



**ΕΛΛΗΝΙΚΟ ΑΝΟΙΚΤΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ  
ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ**

**ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΣΠΟΥΔΩΝ  
ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΥΛΙΚΟΥ ΚΑΙ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟΥ: ΣΧΕΔΙΑΣΗ ΚΑΙ ΑΝΑΠΤΥΞΗ  
ΔΙΑΧΥΤΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ**

**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

ΗΟΥ-CS-PGP-2024-05

**«Το μέλλον του Διαδικτύου των Πραγμάτων: Απλουστεύοντας την εφαρμογή του μέσω  
της τεχνολογίας Matter»**

**.... ΑΝΔΡΕΑΔΑΚΗΣ ΝΙΚΟΛΑΟΣ ....**



**HELLENIC OPEN UNIVERSITY  
SCHOOL OF SCIENCES AND TECHNOLOGY**





**Διπλωματική Εργασία *HOU-CS- PGP-2024-05***

**Το μέλλον του Διαδικτύου των Πραγμάτων:  
Απλουστεύοντας την εφαρμογή του μέσω της τεχνολογίας  
Matter**

Ανδρεαδάκης Νικόλαος



© ΕΑΠ, 2024

Η παρούσα διατριβή, η οποία εκπονήθηκε στα πλαίσια του ΜΠΣ ΣΔΥ, και τα λοιπά αποτελέσματα της αντίστοιχης Πτυχιακής Εργασίας (ΠΕ) αποτελούν συνιδιοκτησία του ΕΑΠ και του φοιτητή, ο καθένας από τους οποίους έχει το δικαίωμα ανεξάρτητης χρήσης και αναπαραγωγής τους (στο σύνολο ή τμηματικά) για διδακτικούς και ερευνητικούς σκοπούς, σε κάθε περίπτωση αναφέροντας τον τίτλο και το συγγραφέα και το ΕΑΠ όπου εκπονήθηκε η ΠΕ καθώς και τον επιβλέποντα και την επιτροπή κρίσης.



## Το μέλλον του Διαδικτύου των Πραγμάτων: Απλουστεύοντας την εφαρμογή του μέσω της τεχνολογίας Matter

Ανδρεαδάκης Νικόλαος

Όνοματεπώνυμο  
Επιβλέποντα

Νικόλαος Γ. Σκλάβος

Όνοματεπώνυμο  
Μέλους 1

Πέτρος Νικοπολιτίδης

### Περίληψη:

Στη παρούσα διπλωματική εργασία γίνεται μια ανάλυση του πρωτοκόλλου Matter και του τρόπου με τον οποίο μπορεί να βοηθήσει στην αντιμετώπιση του μεγάλου κατακερματισμού που επικρατεί μεταξύ των συσκευών στο Διαδίκτυο των Πραγμάτων. Το Διαδίκτυο των Πραγμάτων είναι ένα πολυσυζητημένο θέμα το οποίο αποτελεί κομμάτι του μέλλοντος με σημαντικό αντίκτυπο στην παγκόσμια αγορά καθώς ολοένα και περισσότεροι χρήστες αποκτούν προϊόντα IoT για να εξυπηρετήσουν διάφορους σκοπούς. Κάτι που παρατηρείται, όμως, είναι ότι υπάρχουν πολλά προβλήματα συμβατότητας μεταξύ της μίας συσκευής με την άλλη, ιδίως όταν πρόκειται για συσκευές από διαφορετικό κατασκευη. Το πρόβλημα αυτό καλείται να λύσει το Matter σαν ένα ενιαίο πρωτόκολλο επικοινωνίας μεταξύ των διάχυτων συσκευών.

Για την μέγιστη δυνατή ανάλυση και για την απόκτηση εμπειρίας υπό πραγματικές συνθήκες, πραγματοποιήθηκε ανάπτυξη δύο δειγμάτων διακοπών για απλή διαχείριση λαμπών. Μέσα από την ανάπτυξη αυτή καταλήξαμε σε πολύτιμα συμπεράσματα σχετικά με το σύνολο της διαδικασίας που απαιτείται για την ανάπτυξη ενός προϊόντος που υποστηρίζει το Matter. Το Matter αποδείχθηκε ένα αξιόλογο και πολλά υποσχόμενο πρωτόκολλο επικοινωνίας, το οποίο κερδίζει ολοένα και περισσότερο έδαφος και σύντομα θα το δούμε και στην ευρεία αγορά. Ωστόσο, υπάρχουν σημεία στο Matter τα οποία χρήζουν περαιτέρω διερεύνησης και αφορούν κυρίως την διασύνδεση συσκευών σε εξωτερικούς χώρους όπου οι αποστάσεις είναι αρκετά μεγαλύτερες.

**Λέξεις-κλειδιά:** Matter, IoT, Internet of Things, CSA, Connectivity Standards Alliance, IoT Integration



**Περιεχόμενο:** Κείμενο, εικόνες, κώδικας γλώσσα C, σχέδιο, πρωτότυπη συσκευή

**Abstract:**

In this postgraduate dissertation, an analysis of the Matter protocol and the ways it can help address the large fragmentation between devices in the Internet of Things. The Internet of Things is a much-discussed topic which is a part of the future with a significant impact on the global market as more and more users acquire IoT products to serve various purposes. It has been observed, though, that there are many compatibility issues between one device and another, especially when it comes to devices of different manufacture. Being a single communication protocol between pervasive devices, Matter has the potential to solve this problem.

In order to realize an in-depth analysis and gain experience under real-world conditions, two sample switches for simple lamp management were developed. Through this deployment we came to valuable conclusions about the entire process required to develop a product that supports Matter. Matter proved to be a worthwhile and promising communication protocol, which will soon gain traction in the development of IoT devices and will be seen in the broader market. However, there are points in Matter that need further investigation and mainly concern the interconnection of devices outdoors where distances are considerably longer.

**Simplifying IoT Integration with Matter**

**Andreadakis Nikolaos**

**Όνοματεπώνυμο**  
**Επιβλέποντα στην Αγγλική**

Nicolas G. Sklavos

**Όνοματεπώνυμο**  
**Μέλους 1 στην Αγγλική**

Petros Nikopolitidis



## Περιεχόμενα

<b>1</b>	<b>Εισαγωγή</b> .....	<b>8</b>
1.1	Σκοπός του διαδικτύου των πραγμάτων .....	8
1.2	Ο αγώνας γύρω από το διαδίκτυο των πραγμάτων.....	9
1.3	Προκλήσεις κατά τον αγώνα .....	10
1.3.1	Θέματα ασφαλείας.....	10
1.3.2	Διαλειτουργικότητα.....	12
1.3.3	Ιδιωτικότητα και προστασία προσωπικών δεδομένων .....	12
<b>2</b>	<b>Παγκόσμια Αγορά</b> .....	<b>13</b>
2.1	Μέγεθος αγοράς.....	13
2.2	Ανάγκες Αγοράς .....	14
2.3	Έξυπνη πόλη.....	16
2.4	Εμπειρία τελικού χρήστη .....	17
<b>3</b>	<b>E-Waste</b> .....	<b>21</b>
3.1	Κύκλος ζωής προϊόντων .....	21
3.2	Ανακύκλωση.....	23
3.3	Λύσεις.....	24
<b>4</b>	<b>Αρχιτεκτονική IoT</b> .....	<b>25</b>
4.1	Αισθητηριακή αντίληψη .....	25
4.2	Επίπεδο δικτύου .....	26
4.3	Επεξεργασία δεδομένων .....	27
<b>5</b>	<b>Ενιαίο Πρωτόκολλο</b> .....	<b>30</b>
5.1	Πρωτόκολλα .....	31
5.2	Πλεονεκτήματα .....	32
5.3	Μειονεκτήματα .....	34
5.4	Στο μέλλον .....	36
<b>6</b>	<b>Λύση του Matter</b> .....	<b>37</b>
6.1	Ιστορία .....	37
6.2	Πρωτόκολλο Matter .....	37
6.3	Ασφάλεια.....	41
6.4	Εφαρμογές που υποστηρίζονται.....	42
6.5	M2M (Machine to Machine) .....	42
6.6	Πλεονεκτήματα .....	44
6.7	Μειονεκτήματα .....	45
<b>7</b>	<b>Εφαρμογή στον πραγματικό κόσμο</b> .....	<b>47</b>



7.1	Σκοπός.....	47
7.2	Σενάριο Χρήσης .....	47
7.3	Εργαλεία ανάπτυξης .....	48
7.4	Διαχείριση έργου .....	50
7.5	Σχεδιασμός PCB.....	53
7.8	Εφαρμογή στο δίκτυο & Εγκατάσταση .....	62
7.9	Κατανάλωση ενέργειας.....	71
8	Αποτελέσματα και συμπεράσματα .....	73
8.1	Παρουσίαση αποτελεσμάτων .....	73
8.2	Ερμηνεία αποτελεσμάτων .....	73
8.3	Συμπεράσματα.....	74
8.4	Προτάσεις βελτίωσης και μελλοντική έρευνα .....	77
8.5	Τελικά σχόλια .....	78
9	Αναφορές .....	79







## 1 Εισαγωγή

Καθώς η σύγχρονη κοινωνία εξελίσσεται με ραγδαίους ρυθμούς και απαιτεί από τον μέσο άνθρωπο να εξοικονομεί χρόνο αφήνοντας καθημερινές εργασίες στην ευκολία του αυτόματου ελέγχου, παρακολούθησης και ανάλυσης δεδομένων, δημιουργείται η ανάγκη για την εμφάνιση των συσκευών IoT (Internet of Things). Το Διαδίκτυο των Πραγμάτων, ή Internet of Things όπως αυτό ορίστηκε από τον Kevin Aston το 1990, αφορά την διασύνδεση μέσω του διαδικτύου συσκευών που είναι ενσωματωμένες σε αντικείμενα καθημερινής χρήσης και μπορούν με τον τρόπο αυτό να ανταλλάσσουν δεδομένα. Παρατηρήθηκε, λοιπόν, τα τελευταία χρόνια μια ταχεία ανάπτυξη συσκευών IoT από ένα μεγάλο αριθμό κατασκευαστών η οποία οδήγησε σε μεγάλο κατακερματισμό στην αγορά των IoT προκαλώντας σύγχυση στους χρήστες των IoT συσκευών, λόγω της περιπλοκότητας, αλλά και της ασυμβατότητας των συσκευών μεταξύ τους. Παρακάτω, λοιπόν, θα γίνει μια ανάλυση του βαθμού κατά τον οποίο το νέο ενιαίο πρωτόκολλο Matter είναι σε θέση να λύσει ή να εξαλείψει εντελώς αυτά τα προβλήματα.

### 1.1 Σκοπός του διαδικτύου των πραγμάτων

Το διαδίκτυο των πράγματα είναι μικρές συσκευές οι οποίες σκοπό έχουν να ανταλλάσσουν πληροφορίες μεταξύ τους μέσω του διαδικτύου ή τοπικών διανομέων (hub). Τις περισσότερες φορές οι συσκευές αυτές αναφέρουν σε κάποιο server τα δεδομένα τους και οι πληροφορίες αποθηκεύονται στο cloud για να μπορούν να είναι διαθέσιμες στους χρήστες σε δεύτερο χρόνο. Επίσης, εκεί γίνεται και όλη η επεξεργασία των δεδομένων η οποία με τη σειρά της παράγει δεδομένα ευανάγνωστα για τους χρήστες.

Ο σκοπός του διαδικτύου των πραγμάτων είναι να κάνει τη ζωή των ανθρώπων πιο εύκολη σε διάφορους τομείς όπως η διαχείριση απορριμμάτων, η μείωση καταναλωμένης ενέργειας κτιρίων, η προσωπική βοήθεια, η υγεία κλπ. Η βοήθεια στην καθημερινότητα και ο αυτοματισμός που θα προσφέρουν σκοπό έχουν να μειώσουν το χρόνο που δαπανάμε στην καθημερινή μας ζωή σε κινήσεις, σκέψεις και λειτουργίες οι οποίες αποτελούν ρουτίνα, παραδείγματος χάριν κάτι απλό όπως το να κάνουμε κάθε μέρα την ίδια κίνηση για να ανάψουμε την λάμπα στο δωμάτιο την ώρα που εισερχόμαστε, ή να σκεπτόμαστε τι φαγητό θα φτιάξουμε και τι υλικά θα χρειαστεί να αγοράσουμε για αυτό. Ενώ ένα IoT (Internet of Things) σύστημα αποτελούμενο από



διάφορες συσκευές θα είναι σε θέση να λύσει ένα μεγάλο μέρος αυτών των προβλημάτων τα οποία είναι καθημερινή δαπάνη. Ο ελεύθερος χρόνος αυτός αθροιστικά θα μπορεί να αφιερωθεί σε πιο σημαντικές ενέργειες που θα αποτελούν προτεραιότητες.

## 1.2 Ο αγώνας γύρω από το διαδίκτυο των πραγμάτων

Με την έννοια ‘Αγώνας’ γύρω από το διαδίκτυο των πραγμάτων εννοούμε τον ανταγωνισμό που επικρατεί μεταξύ των επιχειρήσεων, οι οποίες προσπαθούν να δαμάσουν το διαδίκτυο των πραγμάτων, καθώς και την τεχνολογία που επικρατεί γύρω από αυτό. Τα τελευταία χρόνια βλέπουμε μια πολύ μεγάλη άνοδο στην διάχυτη τεχνολογία με πολλά προϊόντα από διάφορους κατασκευαστές και από διαφορετικές χώρες να βρίσκονται σε μια συνεχόμενη προσπάθεια να παράξουν συσκευές που να καλύπτουν τις όποιες καθημερινές ανάγκες των ανθρώπων που έχουν σε καθημερινή βάση. Οι διάφοροι κατασκευαστές είναι σε μια συνεχή προσπάθεια να παραδίδουν προϊόντα με αξιόπιστα στους πελάτες. Η τεχνολογία του διαδικτύου των πραγμάτων ενεργοποιεί καθημερινά αντικείμενα ώστε να είναι σε θέση να συνδεθούν, να συλλέξουν και να μεταφέρουν δεδομένα μέσω του διαδικτύου. Τέτοιες συσκευές αποτελούν ευκαιρία για πολλές εταιρίες να αυξήσουν την αποδοτικότητα τους, να μειώσουν το κόστος και να σχεδιάσουν καινοτόμα προϊόντα και υπηρεσίες.

Λόγω αυτής της μεγάλης ταχύτητας εξέλιξης που επικρατεί στον χώρο της τεχνολογίας, παρατηρείται ότι οι καταναλωτές πλέον δεν είναι σε θέση να ακολουθήσουν λόγω του ότι οι συσκευές διαφορετικών εταιριών δεν είναι συμβατές μεταξύ τους. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα οι αγοραστές να ‘κολλάνε’ σε μια εταιρεία που μπορεί και να μην είναι η ιδανική για αυτούς ή να έχουν πολλές εφαρμογές στο κινητό τους για τον έλεγχο των διαφορετικών συσκευών, ενώ ο ίδιος έλεγχος θα μπορούσε να πραγματοποιείται από μια και μόνο εφαρμογή. Με αυτόν τον τρόπο αυξάνεται η περιπλοκότητα και το κόστος ανάπτυξης και για τους ίδιους τους κατασκευαστές, αφού κάνουν επανειλημμένα προσπάθεια να είναι συμβατοί με όσο το δυνατόν περισσότερα προϊόντα. Αποτέλεσμα αυτού είναι η δημιουργία ενός κωλύματος το οποίο «φρενάρει» την τεχνολογία.



### 1.3 Προκλήσεις κατά τον αγώνα

Παρά τις απεριόριστες δυνατότητες που έχει να προσφέρει το διαδίκτυο των πραγμάτων, δημιουργούνται και οι ανάλογες προκλήσεις. Μερικές από αυτές τις προκλήσεις αναλύονται παρακάτω:

#### 1.3.1 Θέματα ασφαλείας

Αρχικά, οι συσκευές του διαδικτύου των πραγμάτων είναι μικρές συσκευές χαμηλής κατανάλωσης και επεξεργαστικής ισχύος και λίγων διαθέσιμων πόρων, όπως μνήμη. Τέτοιες συσκευές είναι μόνιμα συνδεδεμένες στο διαδίκτυο και μεταφέρουν συχνά πολύτιμα δεδομένα τα οποία λαμβάνονται μέσα από μια σειρά αισθητήρων. Αρκετές είναι οι φορές που αυτοί οι αισθητήρες μπορούν να συλλέξουν ακόμα και βιομετρικά δεδομένα, ήχο και εικόνα. Τέτοια δεδομένα δεν πρέπει ποτέ να πέσουν σε λάθος χέρια καθώς είναι άκρως προσωπικά. Αυτό καθιστά συχνά αυτές τις μικρές και φαινομενικά “αθώες” συσκευές στόχο επιθέσεων με απώτερο σκοπό την συλλογή των προσωπικών μας δεδομένων. Επομένως, η διασφάλιση της προστασίας τέτοιου είδους πληροφοριών αποτελεί μια αρκετά σημαντική πρόκληση για τους κατασκευαστές οι οποίοι θα πρέπει σε κάθε περίπτωση να χρησιμοποιούν την τελευταία διαθέσιμη τεχνολογία ασφαλείας, να είναι σε θέση να κάνουν αναβάθμιση των συσκευών σε περίπτωση που εντοπιστεί ευπάθεια και, τέλος, τα δεδομένα θα πρέπει να είναι κρυπτογραφημένα από τη συσκευή μέχρι και τον χρήστη. Προκλήσεις όπως η αναγνώριση συσκευών, μη πιστοποιημένων σε ένα δίκτυο είναι πολύ σημαντική, καθώς αυτές μπορεί να αντλήσουν προσωπικά δεδομένα από όλο το δίκτυο και τις συσκευές του δικτύου αυτού.

Επιπλέον, οι διάχυτες συσκευές απειλούνται εξίσου και σε φυσικό επίπεδο επίθεσης, καθώς ο επιτιθέμενος μπορεί να έχει φυσική πρόσβαση στην πλακέτα ή τον μικροελεγκτή. Κατά καιρούς παρατηρούνται προσπάθειες από τις εταιρείες κατασκευής μικροεπεξεργαστών να περιορίσουν τέτοιου είδους επιθέσεις. Μια αρκετά κοινή επίθεση σε φυσικό επίπεδο για μικροελεγκτές ARM στις μέρες μας αποτελεί το «Voltage Fault Injection», κατά το οποίο ο επιτιθέμενος προσπαθεί να ξεγελάσει τον μικροελεγκτή μέσα από μια σειρά διαφοροποιήσεων της τάσης εισόδου. Με αυτή την τεχνική καταφέρνει και αλλάζει την κατάσταση των register που αφορούν την ασφάλεια της συσκευής ανοίγοντας τις πόρτες επικοινωνίας Debug και έτσι η μνήμη πλέον είναι εκτεθειμένη. Άλλες πρακτικές επιθέσεων είναι οι “Clock Glitch Attack” και “Software Attack” (Kazemi et al., 2019; Saß, Mitev & Sadeghi, 2023). Σύμφωνα με τους Fournaris



και Sklavos (2014) οι φυσικές επιθέσεις στα ολοκληρωμένα συστήματα χωρίζονται στις παρακάτω κατηγορίες:

- Επεμβατικές επιθέσεις  
Εφαρμόζονται με την αφαίρεση της προστατευτικής ρητίνης που θωρακίζει το ολοκληρωμένο κύκλωμα. Με τον τρόπο αυτό εκτίθενται όλα τα περιφερικά και ο επιτιθέμενος είναι σε θέση να παραποιήσει τον κώδικα ή να αλλάξει την κατάσταση των register του επεξεργαστή σε πραγματικό χρόνο, μεταβάλλοντας την λειτουργία του. Γενικά είναι μια πολύ δύσκολη μέθοδος η οποία απαιτεί ακριβό εξοπλισμό και πολύ εξειδικευμένες γνώσεις του ολοκληρωμένου κυκλώματος.
- Ημιεπεμβατικές επιθέσεις  
Τρόποι επίθεσης που στοχεύουν στην παρατήρηση της λειτουργίας του ολοκληρωμένου κυκλώματος και δεν εφαρμόζουν τεχνικές αφαίρεσης της προστατευτικής ρητίνης. Σε αυτή την περίπτωση ο επιτιθέμενος προσπαθεί να δημιουργήσει σφάλματα στους υπολογισμούς του επεξεργαστή με σκοπό την εξαγωγή πληροφοριών. Είναι επίσης μια δύσκολη μέθοδος επίθεσης που προϋποθέτει και ακριβό εξοπλισμό.
- Μη επεμβατικές επιθέσεις  
Είναι τεχνικές οι οποίες δεν απαιτούν πολύ υψηλές γνώσεις του ολοκληρωμένου κυκλώματος, αλλά ούτε και ακριβό εξοπλισμό. Ο επιτιθέμενος εφαρμόζει τεχνικές παρατήρησης κατανάλωσης ενέργειας του κυκλώματος, επιθέσεις χρονισμού και ηλεκτρομαγνητικές παρεμβολές.

Η κρυπτογράφηση είναι ένα ακόμα σοβαρό ζήτημα καθώς συμβάλλει σε μεγάλο βαθμό στην διασφάλιση των δεδομένων από μη εξουσιοδοτημένη ανάγνωση, ενώ παράλληλα είναι ένα ακόμα επίπεδο συνολικής ασφάλειας. Παρακάτω θα γίνει αναφορά μερικών σχεδιαστικών παραγόντων που μπορεί να αυξήσουν τη ευπάθεια των συσκευών (Hassan, 2019):

- Η συχνή αναβάθμιση του λειτουργικού
- Μη κρυπτογραφημένο λογιστικό
- Ελλιπείς κρυπτογράφηση της επικοινωνίας με το διακομιστή.
- Ελλιπείς κρυπτογράφηση της επικοινωνίας με το τοπικό δίκτυο ή άλλες συσκευές.



### 1.3.2 Διαλειτουργικότητα

Ένα κατακερματισμένο περιβάλλον ιδιόκτητης υλοποίησης IoT είναι λογικό να προκαλεί σύγχυση και να κουράζει τους χρήστες. Παρόλο που η πλήρης διαλειτουργικότητα μεταξύ προϊόντων και υπηρεσιών δεν είναι πάντα εφικτή, οι χρήστες μπορεί να μην επιθυμούν να αγοράζουν συνεχώς προϊόντα και υπηρεσίες που δεν προσφέρουν ευελιξία, ενώ ταυτόχρονα υπάρχει και ανησυχία σχετικά με την απενεργοποίηση των συσκευών και υπηρεσιών από τις εταιρείες ανά πάσα ώρα και στιγμή. Επιπλέον, τα ανεπαρκώς σχεδιασμένες συσκευές του διαδικτύου των πραγμάτων μπορεί να έχουν αρνητικές συνέπειες στο δίκτυο στο οποίο είναι συνδεδεμένες, επιβαρύνοντάς το και δημιουργώντας ακόμα μεγαλύτερο κατακερματισμό.

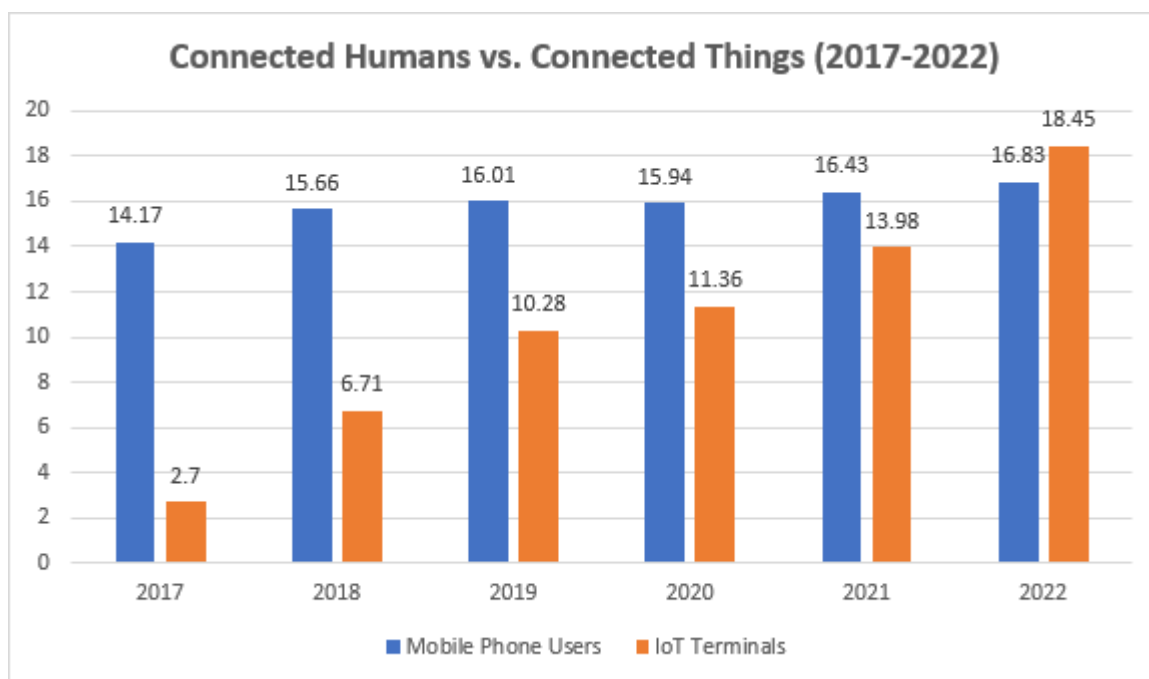
### 1.3.3 Ιδιωτικότητα και προστασία προσωπικών δεδομένων

Η προοπτική της χρησιμότητας του Internet of Things εξαρτάται από τον βαθμό που είναι σε θέση να σέβεται τις επιλογές απορρήτου των ανθρώπων. Οι ανησυχίες σχετικά με το απόρρητο και τους πιθανούς κινδύνους που συνοδεύουν το IoT μπορεί να είναι σημαντικές για την αναστολή της πλήρους υιοθέτησης του. Άλλωστε η ιδιωτικότητα και η προστασία απορρήτου των χρηστών είναι θεμελιώδη για τη διασφάλιση της εμπιστοσύνης των συσκευών IoT. Για τον λόγο αυτό, πραγματοποιείται μεγάλη προσπάθεια ώστε να διασφαλιστεί ότι το IoT επαναπροσδιορίζει ζητήματα απορρήτου, όπως η αύξηση της επιτήρησης και της παρακολούθησης. Οι ανησυχίες για το απόρρητο οφείλονται στα πανταχού παρόντα ενσωματωμένα τεχνουργήματα με νοημοσύνη, όπου η διαδικασία δειγματοληψίας και η διανομή πληροφοριών στο IoT μπορεί να γίνει σχεδόν σε οποιοδήποτε μέρος. Η πανταχού παρούσα συνδεσιμότητα μέσω της πρόσβασης στο Διαδίκτυο είναι επίσης ένας ουσιαστικός παράγοντας που βοηθά στην κατανόηση αυτού του προβλήματος, διότι εάν δεν υπάρχει ένας μοναδικός μηχανισμός, τότε θα είναι αναμφισβήτητα πιο εύκολη η πρόσβαση στις προσωπικές πληροφορίες από οποιαδήποτε γωνιά του κόσμου (Khan & Salah, 2018).

## 2 Παγκόσμια Αγορά

### 2.1 Μέγεθος αγοράς

Κατά το συνέδριο World Economic Forum 2023 γνωστοποιήθηκε ότι ο αριθμός των συνδεδεμένων συσκευών ξεπέρασε σε πληθυσμό τον αριθμό των συνδεδεμένων ανθρώπων στην Κίνα κατά το 2022 (“What challenges to look out for now the ‘era of connected things’ has quietly arrived”, 2023).



Σχήμα 2.1: WEF 2023 Διασυνδεδεμένες συσκευές / άνθρωποι

Ο ρυθμός ανάπτυξη του διαδικτύου των πραγμάτων (IoT) δείχνει να είναι τόσο γρήγορος ώστε, σύμφωνα με τη Cisco, μέχρι το 2030 θα υπάρχουν τουλάχιστον 500 δισεκατομμύρια συσκευές (Du & Li, 2024) και μέχρι και το 2030 είναι πολύ πιθανό το οικονομικό μέγεθος των τεχνολογιών γύρω από το διαδίκτυο των πραγμάτων να έχει φτάσει τα \$606.98 δισεκατομμύρια (Padwal, 2023). Η μεγαλύτερη ανάπτυξη παρατηρήθηκε κατά την περίοδο 2020 και συγκεκριμένα στην Ασία με ποσοστό 17%, ακολουθούν Νότια Αμερική με 14% και η Ευρώπη που ακολουθεί με πιο αργούς ρυθμούς με 9.7% (Nistor & Zadobrischi, 2022). Επίσης παρατηρείται μεγάλη αύξηση στην ανάθεση έργων στην Ευρώπη με σκοπό τη δημιουργία έξυπνων πόλεων (Smart Cities).

## 2.2 Ανάγκες Αγοράς

Η αγορά του Internet of Things (IoT) έχει σημαντικές επιπτώσεις σε πολλούς τομείς, επιτυγχάνοντας σημαντική ανάπτυξη και καινοτομία. Πιο συγκεκριμένα:

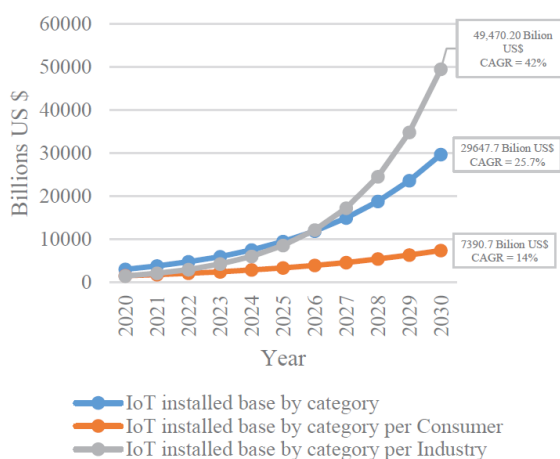
Στον τομέα της υγείας, οι έξυπνες συσκευές και αισθητήρες επιτρέπουν την παρακολούθηση των βιομετρικών δεδομένων σε πραγματικό χρόνο, προσφέροντας ακριβή δεδομένα για τη διαχείριση της υγείας ασθενών, αλλά και την πρόληψη ασθενειών.

Στη βιομηχανία, το IoT εφαρμόζεται για την παρακολούθηση της παραγωγής, την προγραμματισμένη συντήρηση μηχανημάτων και τη βελτιστοποίηση των διαδικασιών παραγωγής. Έπειτα, οι εταιρείες χρησιμοποιούν έξυπνες λύσεις για τη μείωση των διοικητικών εξόδων και την αύξηση της αποδοτικότητας.

Στον τομέα των μεταφορών, το IoT συμβάλλει στη δημιουργία έξυπνων πόλεων με αισθητήρες και δίκτυα συνδεδεμένων οχημάτων που βελτιώνουν την κυκλοφορία, μειώνοντας την κατανάλωση καυσίμου και εκπέμποντας λιγότερα αέρια ρύπανσης.

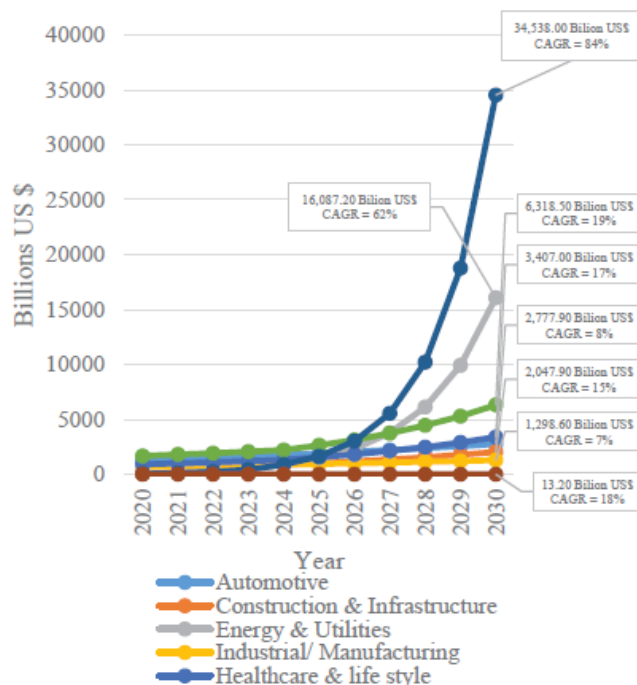
Στον τομέα της ενέργειας, το IoT επιτρέπει τη δημιουργία έξυπνων δικτύων παραγωγής και κατανάλωσης ενέργειας. Έξυπνες συσκευές και αισθητήρες βοηθούν στην εξοικονόμηση ενέργειας και στη βελτίωση της διαχείρισης των πόρων.

Σύμφωνα με το σχήμα 2.2.1 κατά τα επόμενα χρόνια η μεγαλύτερη αύξηση στην χρήση των IoT πρόκειται να σημειωθεί στον τομέα της βιομηχανίας, ενώ παρατηρείται μια μικρή ανοδική πορεία και στον καταναλωτικό τομέα (Al-Sarawi et al., 2020).



Σχήμα 2.2.1 Ανάπτυξη ανά τομέα (Al-Sarawi et al., 2020)

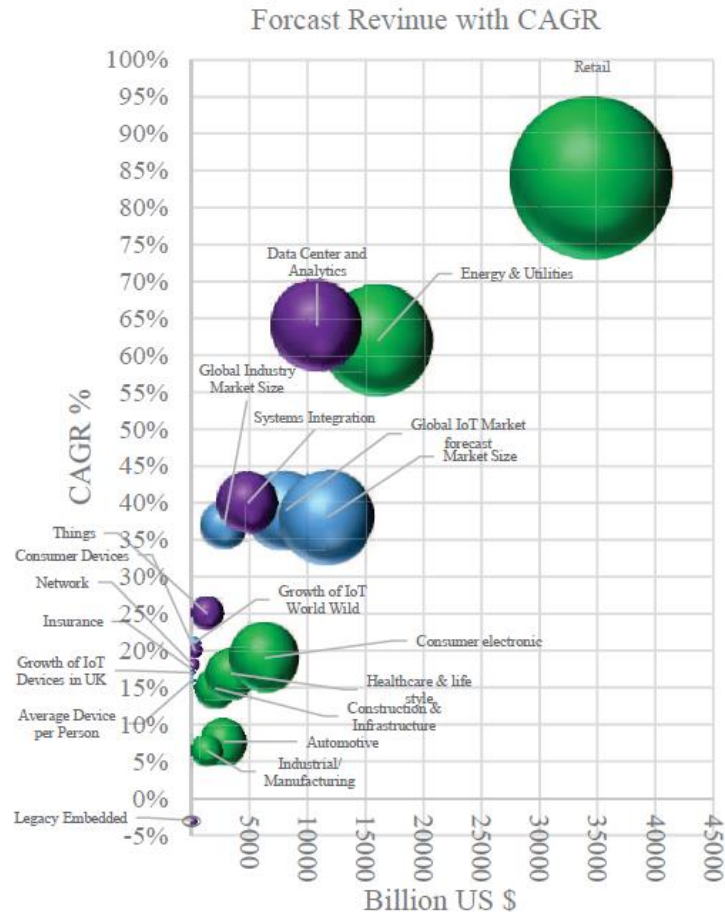
Πιο αναλυτικά, στο Σχήμα 2.2.2 έχουμε τα ποσά που επενδύονται ετησίως στην τεχνολογία που αφορά το ΙοΤ και βλέπουμε ότι η μεγαλύτερη ανάπτυξη θα σημειωθεί στον τομέα της υγείας, του τρόπου ζωής και της ενέργειας. Στους υπόλοιπους τομείς βλέπουμε μια αρκετά πιο αργή ανοδική πορεία.



Σχήμα 2.2.2 Επενδύόμενο κεφάλαιο ανά τομέα (Al-Sarawi et al., 2020)

Στο σχήμα 2.2.3 εντοπίζουμε τον ετήσιο ρυθμό ανάπτυξης ο οποίος μας δείχνει ότι το λιανικό εμπόριο υπερτερεί έναντι των άλλων τομέων στα προϊόντα ΙοΤ. Οι άλλοι τομείς είναι αρκετά πιο χαμηλά, ενώ λόγω της αυξημένης ενεργειακής κατανάλωσης τα τελευταία χρόνια η εφαρμογή και ζήτηση συσκευών διαχείρισης ενέργειας (Raptis, Oberschelp & Pfister, 2020), αυξάνει τον ρυθμό ανάπτυξης τους.





Σχήμα 2.2.3: Ποσοστά ρυθμού ανάπτυξης /Τομέα (Al-Sarawi et al., 2020)

### 2.3 Έξυπνη πόλη

Μια έξυπνη πόλη ή smart city αντιπροσωπεύει μια πόλη που ενσωματώνει ευφύως τις ψηφιακές τεχνολογίες στις υποδομές, τα δίκτυα και τις υπηρεσίες της, μετατρέποντάς την σε πιο αποδοτική και βιώσιμη για το καλό των κατοίκων της και της τοπικής επιχειρηματικής κοινότητας. Οι έξυπνες πόλεις ξεκίνησαν να εφαρμόζονται τα τελευταία χρόνια ώστε να εξυπηρετήσουν τις αυξημένες ανάγκες των πυκνοκατοικημένων περιοχών. Πρωτοβουλίες σαν αυτές καταφέρνουν να αναδιαμορφώνουν το αστικό τοπίο. Ο όρος μέσα του περιέχει διάφορες εφαρμογές που αφορούν από έξυπνα συστήματα μεταφορών που μειώνουν την κυκλοφοριακή συμφόρηση έως συνδεδεμένα ενεργειακά δίκτυα που προάγουν την ενεργειακή απόδοση. Επιπλέον, η ανάπτυξη αισθητήρων και ανάλυσης δεδομένων επιτρέπει την παρακολούθηση σε πραγματικό χρόνο της ποιότητας του αέρα, της διαχείρισης των



απορριμμάτων και της κατανάλωσης νερού, επιτρέποντας την προληπτική λήψη αποφάσεων για ένα πιο υγιεινό και καθαρό περιβάλλον.

Η συμμετοχή των πολιτών είναι ένας ακρογωνιαίος λίθος στην δημιουργία των έξυπνων πόλεων. Μέσω εφαρμογών για κινητές συσκευές και διαδικτυακών πλατφορμών, οι κάτοικοι μπορούν να συμμετέχουν ενεργά στη διακυβέρνηση, να αναφέρουν ζητήματα και να έχουν πρόσβαση σε πληροφορίες σε πραγματικό χρόνο σχετικά με τις υπηρεσίες της πόλης. Αυτή η συμμετοχικότητα καλλιεργεί την αίσθηση της κοινότητας και δίνει τη δυνατότητα στα άτομα να συμβάλλουν στη βελτίωση του περιβάλλοντός τους.

Η πληθυσμιακή αύξηση στα αστικά κέντρα που ενδέχεται να ξεπεράσει το 66% μέχρι το 2050 (Lai et al., 2020) θα προκαλέσει και μεγάλη ανάλωση/παραγωγή στα είδη IoT. Έτσι η διαχείριση κρίνεται απαραίτητη καθώς θα βοηθήσει στη βελτίωση των συνθηκών διαβίωσης των πολιτών. Βέβαια οι προκλήσεις για τον σχεδιασμό μιας έξυπνης πόλης παραμένουν πολλές ώστε να είναι αυτή άμεσα διαθέσιμη στους πολίτες της. Οι βασικότερες προκλήσεις παραμένουν να είναι τόσο η διαλειτουργικότητα των συσκευών που θα τοποθετηθούν, όσο και άλλες όπως παρουσιάζονται παρακάτω (Lai et al., 2020):

- Προστασία προσωπικών δεδομένων
- Ασφάλεια
- Προσαρμοστικότητα
- Υποδομή δικτύου

Τα οφέλη τα οποία θα προσφέρει η τεχνολογία γύρω από το Smart City βέβαια δίνουν την ώθηση να ξεπεραστούν τα όποια από τα παραπάνω κολλήματα. Πλέον έχουν δημιουργηθεί και σχετικές πιστοποιήσεις γύρω από τον όρο Smart City όπως το ISO 37122:2019 (Lai et al., 2020).

Με την καινοτομία στον πυρήνα της, το ταξίδι προς ένα πιο έξυπνο και πιο συνδεδεμένο αστικό μέλλον βρίσκεται σε εξέλιξη, υποσχόμενο ένα φωτεινότερο και πιο αποτελεσματικό αύριο για τους κατοίκους των πόλεων σε όλο τον κόσμο.

#### **2.4 Εμπειρία τελικού χρήστη**

Οι χρήστες έχουν όλο και περισσότερες προσδοκίες για συσκευές IoT (Internet of Things), καθώς αυτές οι διασυνδεδεμένες τεχνολογίες ενσωματώνονται περισσότερο



στην καθημερινή ζωή. Ακολουθούν ορισμένες βασικές προσδοκίες που έχουν οι χρήστες από τις συσκευές IoT:

- **Απρόσκοπτη συνδεσιμότητα:**  
Οι χρήστες αναμένουν ότι οι συσκευές IoT θα συνδέονται και θα επικοινωνούν απρόσκοπτα μεταξύ τους. Θέλουν μια εμπειρία χωρίς προβλήματα, κατά την οποία οι συσκευές μπορούν να μοιράζονται πληροφορίες και να συνεργάζονται χωρίς να απαιτούν περίπλοκες ρυθμίσεις ή συνεχή αντιμετώπιση προβλημάτων.
- **Φιλικές προς το χρήστη διεπαφές:**  
Οι διαισθητικές και φιλικές προς το χρήστη διεπαφές είναι ζωτικής σημασίας. Οι χρήστες αναμένουν να αλληλοεπιδρούν αβίαστα με συσκευές IoT μέσω βελτιστοποιημένων εφαρμογών ή εντολών που ενεργοποιούνται με φωνή. Οι απλές διαδικασίες εγκατάστασης και η εύκολη πλοήγηση βελτιώνουν τη συνολική εμπειρία χρήστη.
- **Αξιοπιστία και σταθερότητα:**  
Η αξιοπιστία είναι πρωταρχικής σημασίας. Οι χρήστες αναμένουν ότι οι συσκευές IoT θα λειτουργούν με συνέπεια και αξιοπιστία. Οι σταθερές συνδέσεις, ο ελάχιστος χρόνος διακοπής λειτουργίας και η ισχυρή απόδοση είναι απαραίτητα για την οικοδόμηση εμπιστοσύνης σε αυτές τις τεχνολογίες (Solaimani, Bouwman & Secomandi, 2013).
- **Ασφάλεια δεδομένων και απόρρητο:**  
Οι χρήστες ανησυχούν όλο και περισσότερο για την ασφάλεια των δεδομένων τους. Αναμένουν αυστηρά μέτρα ασφαλείας για την προστασία των προσωπικών τους πληροφοριών και τη διασφάλιση του απορρήτου. Ο ασφαλής έλεγχος ταυτότητας, η κρυπτογραφημένη επικοινωνία και οι διαφανείς πρακτικές δεδομένων είναι ζωτικής σημασίας για την εμπιστοσύνη των χρηστών (Solaimani, Bouwman & Secomandi, 2013).
- **Διαλειτουργικότητα:**  
Οι χρήστες επιθυμούν τη διαλειτουργικότητα μεταξύ διαφορετικών συσκευών και πλατφορμών IoT. Η δυνατότητα σύνδεσης συσκευών από διάφορους κατασκευαστές και η απρόσκοπτη συνεργασία τους είναι ζωτικής σημασίας για τη δημιουργία ενός συνεκτικού και ολοκληρωμένου έξυπνου περιβάλλοντος.
- **Προσαρμογή και εξατομίκευση:**



Η εξατομίκευση είναι βασική προσδοκία. Οι χρήστες θέλουν τη δυνατότητα να προσαρμόζουν τις ρυθμίσεις, τις προτιμήσεις και τους κανόνες αυτοματισμού σύμφωνα με τις ανάγκες τους. Η ευελιξία προσαρμογής των συσκευών IoT στις μεμονωμένες προτιμήσεις βελτιώνει την εμπειρία του χρήστη (Solaimani, Bouwman & Secomandi, 2013).

- **Ενεργειακή απόδοση:**

Με αυξανόμενη εστίαση στη βιωσιμότητα, οι χρήστες αναμένουν ότι οι συσκευές IoT είναι ενεργειακά αποδοτικές. Η χαμηλή κατανάλωση ενέργειας, οι λειτουργίες εξοικονόμησης ενέργειας και η δυνατότητα συμβολής σε έναν πιο φιλικό προς το περιβάλλον τρόπο ζωής είναι χαρακτηριστικά που εκτιμούν οι χρήστες.

- **Τακτικές ενημέρωσης και υποστήριξη:**

Οι χρήστες αναμένουν τακτικές ενημέρωσης λογισμικού για τη βελτίωση των δυνατοτήτων, τη διόρθωση σφαλμάτων και την αντιμετώπιση των τρωτών σημείων ασφαλείας. Η συνεχής υποστήριξη πελατών, είτε μέσω ενημερώσεων λογισμικού είτε μέσω γραφείων βοήθειας που ανταποκρίνονται, είναι ζωτικής σημασίας για μια θετική εμπειρία χρήστη (Solaimani, Bouwman & Secomandi, 2013).

- **Προσιτή τιμή:**

Η οικονομική προσιτότητα παραμένει ένας σημαντικός παράγοντας. Οι χρήστες αναμένουν ότι οι συσκευές IoT θα έχουν λογικές τιμές, προσφέροντας αξία για τα χρήματα που θα ξοδέψουν. Οι οικονομικά αποδοτικές λύσεις που παρέχουν απτά οφέλη συμβάλλουν στην ευρεία υιοθέτηση (Aldossari & Sidorova, 2020).

- **Συμβατότητα με οικοσυστήματα:**

Οι χρήστες έχουν συχνά υπάρχοντα οικοσυστήματα συσκευών, όπως smartphones, έξυπνα ηχεία ή κόμβους οικιακού αυτοματισμού. Αναμένουν από τις νέες συσκευές IoT να ενσωματωθούν απρόσκοπτα με τις υπάρχουσες ρυθμίσεις τους, ελαχιστοποιώντας την ανάγκη για πρόσθετες επενδύσεις ή αλλαγές (Solaimani, Bouwman & Secomandi, 2013).

- **Διαφανείς πολιτικές χρήσης δεδομένων:**

Οι χρήστες συνειδητοποιούν όλο και περισσότερο τον τρόπο με τον οποίο συλλέγονται και χρησιμοποιούνται τα δεδομένα τους. Οι διαφανείς πολιτικές χρήσης δεδομένων και η σαφής επικοινωνία σχετικά με το ποιες πληροφορίες συλλέγονται και για ποιο σκοπό είναι απαραίτητες για την οικοδόμηση εμπιστοσύνης (Aldossari & Sidorova, 2020).



Ικανοποιώντας αυτές τις προσδοκίες, οι κατασκευαστές συσκευών IoT μπορούν να εξασφαλίσουν μια θετική εμπειρία χρήστη, να προωθήσουν την υιοθέτηση και να συμβάλουν στη συνεχή ανάπτυξη και εξέλιξη του Διαδικτύου των πραγμάτων.



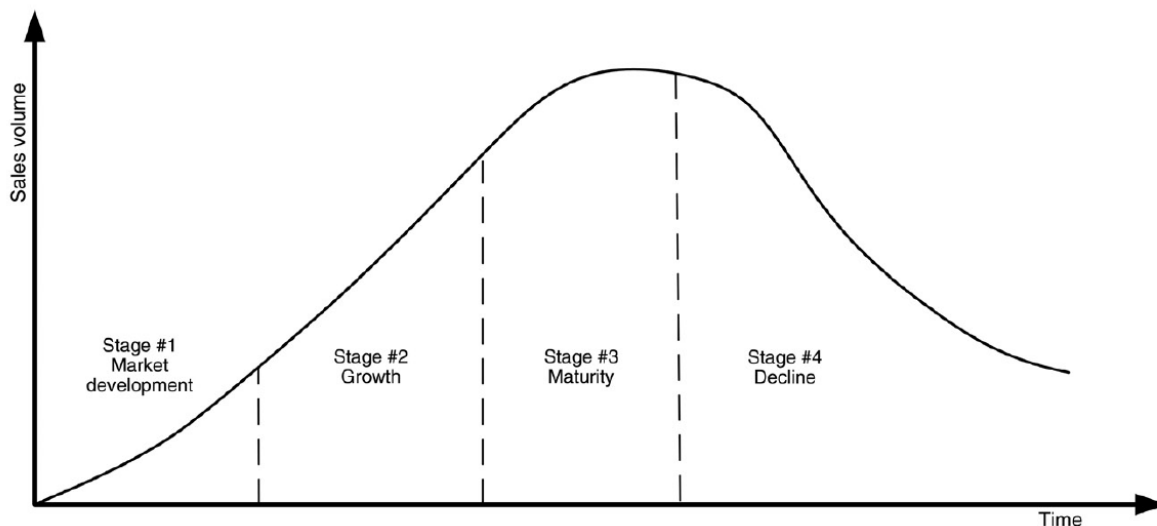
### 3 E-Waste

Σε αυτό το κεφάλαιο θα γίνει μια ανάλυση του παγκόσμιου προβλήματος το οποίο αφορά τις ηλεκτρονικές συσκευές μετά το πέρας της ζωής τους. Θα διερευνηθεί το που καταλήγουν, κατά πόσο μπορούν να ανακυκλωθούν και τι επιπτώσεις έχουν στο φυσικό περιβάλλον αλλά και την υγεία των ανθρώπων.

#### 3.1 Κύκλος ζωής προϊόντων

Κάθε προϊόν που παράγεται έχει μια διάρκεια και έναν κύκλο ζωής που τελειώνει είτε όταν αυτή υπόκειται σε φυσική φθορά, είτε όταν τα χαρακτηριστικά της πλέον θεωρούνται ξεπερασμένα λόγω ανάπτυξης νέων τεχνολογιών. Τα βασικά στάδια του κύκλου ενός προϊόντος (Σχήμα 3.1.1: Πορεία ενός προϊόντος) είναι τα εξής :

- Εισαγωγή  
Εισαγωγή του προϊόντος πραγματοποιείται όταν παρατηρηθεί ένα κενό στην αγορά και επομένως ξεκινάει μια συζήτηση για την παραγωγή ιδεών που θα καλύψουν αυτό το κενό. Με αυτόν τον τρόπο γεννιέται ένα νέο προϊόν.
- Ανάπτυξη  
Κατά την φάση της ανάπτυξης γίνεται ο σχεδιασμός και ορισμός των προδιαγραφών του νέου αυτού προϊόντος. Η ανάπτυξη ενός νέου προϊόντος αποτελεί ένα από τα πιο κοστοβόρα στάδια για μια εταιρία.
- Ωριμότητα  
Αντιθέτως, η ωριμότητα του προϊόντος αποτελεί την πιο επικερδή περίοδο. Αυτό συμβαίνει καθώς κατά το στάδιο της ωριμότητας του προϊόντος παρουσιάζονται οι περισσότερες πωλήσεις αυτού.
- Παρακμή  
Τέλος, αναπόσπαστο μέρος του κύκλου ενός προϊόντος είναι η παρακμή του, όταν, δηλαδή, παρατηρείται μείωση στις πωλήσεις του πλέον και έχει έρθει ο καιρός για την απόσυρση ή αναβάθμιση του.



**Σχήμα 3.1.1:** Πορεία ενός προϊόντος (Cao & Folan, 2012)

Μια αλλαγή που παρατηρείται ιδιαίτερα κατά τα τελευταία χρόνια στον κύκλο ζωής των IoT συσκευών είναι ότι οι συσκευές που παράγονται έχουν την τάση να παρουσιάζουν ωριμότητα περιορισμένης χρονικής διάρκειας και να οδηγούνται γρηγορότερα στο τελικό στάδιο, αυτό της παρακμής. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι ο ρυθμός ανάπτυξης της τεχνολογίας είναι τόσο γρήγορος ώστε οι νέες συσκευές καθίστανται ξεπερασμένες πριν καν κυκλοφορήσουν στην αγορά και “μπουν στο ράφι” για να ξεκινήσει η πώλησή τους.

Δυστυχώς την δεδομένη χρονική στιγμή δεν υπάρχει κάποιος κανονισμός που να ρυθμίζει τις υποχρεώσεις των εταιριών απέναντι στην υποστήριξη των προϊόντων τους στον τομέα των IoT. Επομένως, είναι στην ευχέρεια της κάθε εταιρίας η διάρκεια του διαστήματος κατά το οποίο θα παρέχει υποστήριξη στο εκάστοτε προϊόν. Κάποιες πιστοποιήσεις που έχουν εφαρμοστεί από την Ευρώπη σχετικά με την κυβερνοασφάλεια (Khurshid et al., 2022) οδήγησαν κάποιες εταιρίες να εστιάσουν στην μακροχρόνια υποστήριξη των προϊόντων τους μέσω της ασφάλειας, αλλά και πάλι δεν τις υποχρεώνουν για αυτό.

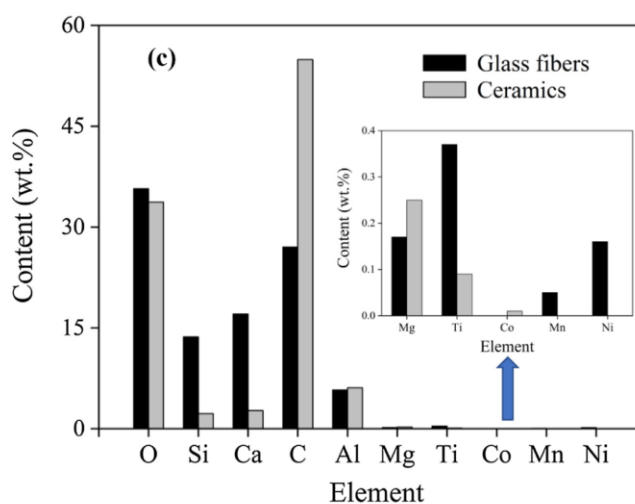
Αυτό βέβαια επιφέρει συνέπειες στους καταναλωτές, οι οποίοι αναγκάζονται να προχωρήσουν στην ανανέωση των παλαιών συσκευών ακόμα και αν οι ίδιες λειτουργούσαν ομαλά ή κάλυπταν τις ανάγκες τους. Έπειτα, οι κατασκευαστές έχουν την τάση να περιορίζουν τα προϊόντα τους στις δικιές τους υπηρεσίες με αποτέλεσμα, αν ο κατασκευαστής αποφασίσει να αποκόψει μια συσκευή αυστηρά δεμένη με τις υπηρεσίες του, τότε αυτόματα αυτές οι συσκευές παύουν να λειτουργούν και οι πελάτες

πρέπει αναγκαστικά να αντικαταστήσουν τις συσκευές τους ακόμα και αν δεν υπάρχει κάποιος άλλος λόγος ή πρόθεση αντικατάστασης.

Όλα τα παραπάνω δημιουργούν και ανατροφοδοτούν μια κατάσταση υπερκαταναλωτισμού, η οποία λειτουργεί μόνο προς όφελος των εταιριών και όχι προς όφελος των καταναλωτών ή του περιβάλλοντος. Σαν αποτέλεσμα η κατάσταση αυτή οδηγεί σε σπατάλη πόρων και παραγωγή προϊόντων με σύντομη ημερομηνία λήξης.

### 3.2 Ανακύκλωση

Κάθε χρόνο 44.7 εκατομμύρια τόνοι ηλεκτρονικών αποβλήτων παράγονται, και ο αριθμός αυτός αναμένεται να αυξηθεί περαιτέρω στο εγγύς μέλλον (Yao et al., 2020). Οι ηλεκτρονικές συσκευές έχουν αρκετά μέρη προς ανακύκλωση, ωστόσο, η απομόνωση των σημαντικών ανακυκλώσιμων υλικών είναι αρκετά δύσκολη και συνοδεύεται από σημαντικό ενεργειακό κόστος. Επίσης, η πλειοψηφία των ηλεκτρικών συσκευών φέρει βαρέα μέταλλα τα οποία είναι άκρως επικίνδυνα τόσο για την υγεία των ανθρώπων, όσο και των υπόλοιπων ζωντανών οργανισμών. Πολλά από τα βαρέα μέταλλα όπως ο χαλκός, το χρώμιο, το κάδμιο και ο μόλυβδος (Σχήμα 3.2.1 Ποσοστά πρόσμιξης) περνάνε στην τροφική αλυσίδα και επιστρέφουν ξανά σε εμάς μέσα από την τροφή που καταναλώνουμε. Τα βαρέα μέταλλα έχουν την τάση να παραμένουν στους οργανισμούς μας για μεγάλα χρονικά διαστήματα ή ακόμα να μην εξαλείφονται ποτέ. Με αυτόν τον τρόπο, οι επιπτώσεις τους στην υγεία είναι κατά την πλειοψηφία αθροιστικές προκαλώντας μακροχρόνια προβλήματα.



Σχήμα 3.2.1: Ποσοστά πρόσμιξης (Yao et al., 2020)





### 3.3 Λύσεις

Στην ενότητα αυτή θα γίνει εστίαση στην ανάπτυξη μίας συσκευής και τον τρόπο με τον οποίο μία καλά μελετημένη και ανεπτυγμένη συσκευή μπορεί πολύ εύκολα να παρατείνει την διάρκεια ζωής της και να μην καταλήξει στην ανακύκλωση ή, ακόμα χειρότερα, γίνει μέρος της περιβαλλοντολογικής μόλυνσης. Για να επιτευχθεί αυτό θα πρέπει κατά τον σχεδιασμό της συσκευής να λάβουμε υπόψιν μας σημαντικά χαρακτηριστικά που σχετίζονται με την βιωσιμότητα του προϊόντος. Τέτοια χαρακτηριστικά αποτελούν η δυνατότητα απομακρυσμένης αναβάθμισης του λειτουργικού, η καλή συμβατότητα με άλλες συσκευές και υπηρεσίες που δεν επηρεάζονται σε σημαντικό βαθμό από την πάροδο του χρόνου. Αυτοί είναι κάποιοι βασικοί τρόποι για να παραμείνει ένα προϊόν παρόν στο χώρο. Έτσι, εξοικονομούνται οι απαιτούμενοι πόροι, αλλά και μειώνεται το περιβαλλοντολογικό αποτύπωμα κατακόρυφα. Για να επιτευχθούν τα παραπάνω θα πρέπει οι συσκευές IoT να παρέχουν τη δυνατότητα επικοινωνίας χωρίς διακομιστή όπως επίσης, να επικοινωνούν μεταξύ τους μέσω του τοπικού δικτύου. Η τεχνική αυτή αποκαλείται αλλιώς Edge Computing και ως στόχο έχει οι συσκευές χαμηλής κατανάλωσης, επεξεργαστικής ισχύος, μνήμης και μεγέθους να μπορούν να έχουν δυνατότητες διασύνδεσης και άμεσης επικοινωνίας (Benedetti et al., 2021). Αν και οι παραπάνω λύσεις έρχονται σε αντιπαράθεση με το μοντέλο του καταναλωτισμού επιφέροντας οικονομικές επιπτώσεις μακροχρόνια στις εταιρείες, αυτό δεν σημαίνει ότι δεν υπάρχει ανάγκη να βρεθεί μια χρυσή τομή η οποία από τη μία θα καλύπτει τις ανάγκες των εταιρειών να έχουν ένα σταθερό ετήσιο κέρδος, και από την άλλη, δεν θα έχει αρνητικές επιπτώσεις στο περιβάλλον.



## 4 Αρχιτεκτονική IoT

Η αρχιτεκτονική του IoT είναι ένα πλαίσιο που καθορίζει τη δομή και τα στοιχεία ενός συστήματος Διαδικτύου των Πραγμάτων και περιλαμβάνει συνήθως τέσσερα επίπεδα: το επίπεδο αισθητηριακής αντίληψης, όπου οι αισθητήρες και οι συσκευές συλλέγουν δεδομένα. το επίπεδο δικτύου, που διευκολύνει τη μετάδοση δεδομένων μέσω πρωτοκόλλων όπως το MQTT, TCP ή το CoAP, το επίπεδο διαχείρισης δεδομένων, όπου τα δεδομένα που λαμβάνονται επεξεργάζονται αναλόγως για να γίνουν χρήσιμη πληροφορία και το επίπεδο εφαρμογής, όπου η πληροφορία υποβάλλεται σε επεξεργασία, αναλύεται και επεξεργάζεται.

### 4.1 Αισθητηριακή αντίληψη

Το επίπεδο αντίληψης IoT αποτελεί θεμελιώδες στοιχείο στην αρχιτεκτονική του Διαδικτύου των Πραγμάτων (IoT), έχοντας κεντρικό ρόλο στη λήψη και τη συλλογή δεδομένων από τον φυσικό κόσμο. Βρίσκεται στην άκρη του οικοσυστήματος IoT, με το επίπεδο να είναι υπεύθυνο για την ανάπτυξη μιας ποικιλίας αισθητήρων και συσκευών που μπορούν να αντιληφθούν και να συλλέξουν πληροφορίες σχετικά με το περιβάλλον.

Αυτοί οι αισθητήρες είναι διαφορετικοί και αφορούν από απλούς αισθητήρες θερμοκρασίας και υγρασίας έως και πιο σύνθετες συσκευές, όπως κάμερες, επιταχυνσιόμετρα και περιβαλλοντικούς αισθητήρες. Κάθε αισθητήρας έχει σχεδιαστεί για να παρακολουθεί συγκεκριμένα φυσικά χαρακτηριστικά ή να ανιχνεύει συγκεκριμένα γεγονότα. Για παράδειγμα, σε μια βιομηχανική εφαρμογή IoT, οι αισθητήρες μπορεί να μετρήσουν τα επίπεδα θερμοκρασίας και κραδασμών στα μηχανήματα για να αξιολογήσουν την απόδοση και να προβλέψουν τις ανάγκες συντήρησης (Beato et al., 2019).

Τα δεδομένα που συλλέγονται από αισθητήρες στο επίπεδο αντίληψης IoT είναι συχνά στην ακατέργαστη μορφή τους και χρειάζονται επεξεργασία στο αρχικό στάδιο πριν μεταδοθούν σε υψηλότερα επίπεδα για μία πιο ολοκληρωμένη ανάλυση. Αυτό το επίπεδο περιλαμβάνει επίσης την ενσωμάτωση τεχνολογιών όπως η Αναγνώριση Ραδιοσυχνότητας (RFID) και το Παγκόσμιο Σύστημα Εντοπισμού Θέσης (GPS), επιτρέποντας την ακριβή παρακολούθηση τοποθεσίας και αναγνώριση αντικειμένων.



Πρωτόκολλα επικοινωνίας, όπως το MQTT (Message Queuing Telemetry Transport) και το CoAP (Constrained Application Protocol), χρησιμοποιούνται συνήθως στο επίπεδο ανίχνευσης για να επιτρέψουν την αποτελεσματική και ελαφριά μετάδοση δεδομένων από τους αισθητήρες στα επόμενα επίπεδα της αρχιτεκτονικής IoT (Bayilmiş et al., 2022).

Τέλος, το στρώμα ανίχνευσης IoT χρησιμεύει ως τα μάτια και τα αυτιά του οικοσυστήματος IoT, συλλαμβάνοντας δεδομένα από τον πραγματικό κόσμο που τροφοδοτούν τις γνώσεις και τις δυνατότητες λήψης αποφάσεων ολόκληρου του συστήματος. Η αποτελεσματικότητα και η ακρίβειά του είναι κρίσιμες για την επιτυχία των εφαρμογών IoT σε τομείς όπως οι έξυπνες πόλεις, η υγειονομική περίθαλψη, η γεωργία και ο βιομηχανικός αυτοματισμός.

#### **4.2 Επίπεδο δικτύου**

Η κύρια λειτουργία του επιπέδου δικτύου είναι να διευκολύνει τη δρομολόγηση και την προώθηση πακέτων δεδομένων μεταξύ συσκευών σε διαφορετικά δίκτυα, διασφαλίζοντας την αποτελεσματική και αξιόπιστη επικοινωνία από άκρο σε άκρο. Στο επίπεδο δικτύου, το Πρωτόκολλο Διαδικτύου (IP) βρίσκεται στο επίκεντρο, διαδραματίζοντας κρίσιμο ρόλο στη διευθυνσιοδότηση και τη δρομολόγηση πακέτων. Οι διευθύνσεις IP προσδιορίζουν μοναδικά τις συσκευές σε ένα δίκτυο, επιτρέποντας στους δρομολογητές να κατευθύνουν πακέτα δεδομένων στους προορισμούς τους. Οι αποφάσεις δρομολόγησης που λαμβάνονται σε αυτό το επίπεδο βασίζονται σε λογική διευθυνσιοδότηση, επιτρέποντας τη διασύνδεση μεταξύ διαφορετικών δικτύων.

Το επίπεδο δικτύου χρησιμοποιεί δρομολογητές για τη λήψη έξυπνων αποφάσεων σχετικά με τις βέλτιστες διαδρομές για τη μετάδοση δεδομένων. Αυτοί οι δρομολογητές χρησιμοποιούν αλγόριθμους δρομολόγησης για να καθορίσουν την πιο αποτελεσματική διαδρομή, λαμβάνοντας υπόψιν παράγοντες όπως η συμφόρηση δικτύου, η αξιοπιστία σύνδεσης και η συντομότερη διαδρομή προς τον προορισμό (Stiller et al., 2020).

#### **4.3 Εξέλιξη τεχνολογίας ασύρματων δικτύων**

Στον σύγχρονο κόσμο τα ασύρματα δίκτυα δεν παύουν να εξελίσσονται. Η αρκετά γρήγορη εξέλιξη αυτή οφείλεται τόσο στην μεγάλη ανάπτυξη των φορητών συσκευών, όσο και στην γρήγορη ταχύτητα των δεδομένων, αλλά και τον αυξημένο αριθμό των συνδεδεμένων χρηστών (Djehaiche, 2023).



Έπειτα, τα τελευταία χρόνια παρατηρούμε ότι η συνεχόμενη ανάγκη για επέκταση της ταχύτητας των ασύρματων δικτύων μας ωθεί στο να μεταπηδήσουμε σε αρκετά υψηλότερες συχνότητες, όπως τα 60GHz, οι οποίες μας παρέχουν μεγαλύτερο εύρος καναλιών που μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε και να επιτύχουμε με αυτόν τον τρόπο ταχύτητες μέχρι και 7Gbit/s (Sklavos, Hübner, Goehringer & Kitsos, 2014)

Επιπλέον, παρουσιάζεται η ανάγκη τα ασύρματα δίκτυα αυτά να είναι όσο το δυνατόν λιγότερο απαιτητικά από θέμα κατανάλωσης ενέργειας, ώστε να καθίσταται δυνατό για τις φορητές συσκευές να αντέχουν για μεγάλο χρονικό διάστημα μακριά από πηγές τροφοδοσίας. Μάλιστα, σύμφωνα με μελέτη (Sklavos & Toulou, 2007), η λειτουργία της επικοινωνίας ευθύνεται για το 21,5% της συνολικής κατανάλωσης ενέργειας σε ένα κινητό τηλέφωνο. Ο παρακάτω πίνακας συνοψίζει την κατανάλωση της ενέργειας από διάφορες λειτουργίες της συσκευής.

Typical Energy Distribution In Multimedia Mobile Phone

Subsystem Application	Application Energy Distribution	Subsystem	Subsystem Energy Distribution
<i>A/V and Transport</i>	4.4 %	<i>Multimedia</i>	39.5 %
<i>Video Encode</i>	9.9%		
<i>Audio</i>	15.5%		
<i>Modem Processing Multimedia</i>	9.8 %	<i>Modem Operation</i>	21.5 %
<i>Modem Processing</i>	8.3%		
<i>Receive</i>	5.0%		
<i>Transmit</i>	8.2%	<i>Memory</i>	19.4 %
<i>Memory</i>	19.4%		
<i>LCD Control</i>	3.7%	<i>LCD</i>	17.6 %
<i>LCD Driver</i>	13.9%		
<i>Other Peripherals / Units</i>	2%	<i>Others</i>	2%

Πίνακας 4.3.1 Κατανάλωση ενέργειας ανά εφαρμογή στα κινητά τηλέφωνα.

#### 4.4 Επεξεργασία δεδομένων

Το Επίπεδο Επεξεργασίας Δεδομένων αποτελεί ένα κρίσιμο στρώμα στα συστήματα πληροφοριών, αφιερωμένο στη μετατροπή και τη χειραγώγηση των ακατέργαστων δεδομένων σε πολύτιμες γνώσεις. Αυτό το επίπεδο είναι κομβικό στη διοχέτευση δεδομένων, λειτουργώντας μεταξύ της απορρόφησης δεδομένων και της ανάλυσης. Ο πρωταρχικός του στόχος είναι να βελτιώσει, να καθαρίσει και να δομήσει τα ανεπεξέργαστα δεδομένα που αποκτήθηκαν από διάφορες πηγές, διασφαλίζοντας ότι είναι σε μορφή που ευνοεί την ουσιαστική ανάλυση. Αυτό περιλαμβάνει εργασίες όπως



καθαρισμός δεδομένων, κανονικοποίηση και εμπλουτισμός. Επιπλέον, το επίπεδο επεξεργασίας δεδομένων μπορεί να περιλαμβάνει δυνατότητες επεξεργασίας σε πραγματικό χρόνο για τη διαχείριση δεδομένων ροής, επιτρέποντας άμεσες πληροφορίες και γρήγορη λήψη αποφάσεων. Αυτό είναι ιδιαίτερα σημαντικό σε σενάρια όπου η έγκαιρη ανταπόκριση στην αλλαγή δεδομένων είναι απαραίτητη, όπως για παράδειγμα όταν προσπαθούμε να διαβάσουμε δεδομένα από ένα αισθητήρα θερμοκρασίας (Θερμίστορ), το οποίο ουσιαστικά είναι μια αντίσταση που αλλάζει με βάση τη θερμοκρασία. Σε αυτήν την περίπτωση, πρέπει να μετατρέψουμε τα δεδομένα που λαμβάνουμε από το περιφερειακό ADC (Analog to Digital) σε θερμοκρασία μέσα από μαθηματικούς τύπους. Αρκετές είναι και οι φορές που μέσα σε αυτό το επίπεδο τοποθετούνται παθητικά φίλτρα για την εξομάλυνση των τιμών, καθώς τα δεδομένα από τους αισθητήρες είναι ασταθή. Για παράδειγμα, κατά την χρήση του GPS γίνεται εκτεταμένη χρήση και του φίλτρου Kalman (Grewal, Andrews & Bartone, 2020). Επιπλέον, το επίπεδο επεξεργασίας δεδομένων μπορεί να περιλαμβάνει δυνατότητες επεξεργασίας σε πραγματικό χρόνο για τη διαχείριση δεδομένων ροής, επιτρέποντας άμεσες πληροφορίες και γρήγορη λήψη αποφάσεων. Αυτό είναι ιδιαίτερα σημαντικό σε σενάρια όπου η έγκαιρη ανταπόκριση στην αλλαγή δεδομένων είναι απαραίτητη.

#### 4.5 Επίπεδο εφαρμογής

Το επίπεδο εφαρμογής σε συσκευές IoT (Internet of Things) είναι ένα κρίσιμο στοιχείο που επιτρέπει τη λειτουργικότητα και την επικοινωνία αυτών των διασυνδεδεμένων συσκευών. Στο πλαίσιο του IoT, το επίπεδο εφαρμογής διέπει τον τρόπο δημιουργίας, επεξεργασίας και κοινής χρήσης δεδομένων μεταξύ συσκευών και εφαρμογών. Στο επίπεδο εφαρμογής των συσκευών IoT, διάφορα πρωτόκολλα και πρότυπα μπαίνουν στο παιχνίδι για να εξασφαλίσουν απρόσκοπτη επικοινωνία. Πρωτόκολλα όπως το MQTT (Message Queuing Telemetry Transport) και το CoAP (Constrained Application Protocol) χρησιμοποιούνται συνήθως για τη διευκόλυνση της αποτελεσματικής ανταλλαγής δεδομένων μεταξύ συσκευών. Αυτά τα πρωτόκολλα καθορίζουν τον τρόπο με τον οποίο οι συσκευές δημοσιεύουν, εγγράφονται και ανακτούν πληροφορίες εντός του οικοσυστήματος IoT. Μια βασική πτυχή του επιπέδου εφαρμογής στο IoT είναι η υλοποίηση συγκεκριμένων λειτουργιών σε επίπεδο εφαρμογής. Αυτό περιλαμβάνει την ανάπτυξη εφαρμογών και υπηρεσιών που αξιοποιούν τα δεδομένα που συλλέγονται από συσκευές IoT. Για παράδειγμα, σε ένα



περιβάλλον έξυπνου σπιτιού, το επίπεδο εφαρμογής διαχειρίζεται την επικοινωνία μεταξύ αισθητήρων, ενεργοποιητών και του κεντρικού διανομέα έξυπνου σπιτιού. Επιπλέον, επιτρέπει λειτουργίες όπως η απομακρυσμένη παρακολούθηση, η αυτοματοποίηση και οι αλληλεπιδράσεις με τον χρήστη μέσω αποκλειστικών εφαρμογών ή διεπαφών ιστού. Η ασφάλεια είναι μια ακόμη κρίσιμη ανησυχία στο επίπεδο εφαρμογής του IoT. Οι μηχανισμοί κρυπτογράφησης, ελέγχου ταυτότητας και εξουσιοδότησης εφαρμόζονται για την προστασία των δεδομένων που ανταλλάσσονται μεταξύ των συσκευών, αποτρέποντας τη μη εξουσιοδοτημένη πρόσβαση και διασφαλίζοντας την ακεραιότητα του οικοσυστήματος IoT.

Συνοπτικά, το επίπεδο εφαρμογής στις συσκευές IoT παίζει καθοριστικό ρόλο στη διαμόρφωση των αλληλεπιδράσεων και των υπηρεσιών εντός του περιβάλλοντος IoT. Περιλαμβάνει τα πρωτόκολλα, τις λειτουργίες και τα μέτρα ασφαλείας που είναι απαραίτητα για την αποτελεσματική επικοινωνία και τη χρήση δεδομένων στον ολοένα και πιο διασυνδεδεμένο κόσμο του IoT (Bayilmiş et al., 2022).

Ο υπολογισμός ακμών (edge computing) μπορεί να χρησιμοποιηθεί για επεξεργασία σε πραγματικό χρόνο μειώνοντας την καθυστέρηση. Επιπλέον, οι πλατφόρμες cloud αποθηκεύουν και διαχειρίζονται τεράστια σύνολα δεδομένων. Μέτρα ασφαλείας, όπως κρυπτογράφηση και έλεγχος ταυτότητας, είναι ενσωματωμένα παντού. Οι προσπάθειες τυποποίησης, όπως και οι αρχιτεκτονικές αναφορές IoT, συμβάλλουν στη δημιουργία επεκτάσιμων, διαλειτουργικών και ασφαλών πλαισίων για διάφορες εφαρμογές IoT.



## 5 Ενιαίο Πρωτόκολλο

Η τυποποίηση του Διαδικτύου των Πραγμάτων (IoT) είναι μια κομβική προσπάθεια που διαμορφώνει το μέλλον των συνδεδεμένων συσκευών. Καθώς το τοπίο του IoT επεκτείνεται εκθετικά, η ανάγκη για συνεκτικές και διαλειτουργικές λύσεις γίνεται όλο και πιο επιτακτική. Οι προσπάθειες τυποποίησης προσανατολίζονται στη δημιουργία ενός κοινού πλαισίου που προωθεί την απρόσκοπτη επικοινωνία και τη συνεργασία μεταξύ διαφορετικών συσκευών.

Στον πυρήνα της, η τυποποίηση του IoT στοχεύει στην αντιμετώπιση των προκλήσεων που θέτει ο πολλαπλασιασμός ανομοιογενών πρωτοκόλλων και τεχνολογιών. Καθορίζοντας ενοποιημένα πρωτόκολλα επικοινωνίας, μορφές δεδομένων και μέτρα ασφαλείας, η τυποποίηση όχι μόνο ενισχύει τη διαλειτουργικότητα, αλλά επιπλέον ενισχύει τη συνολική αξιοπιστία και ανθεκτικότητα των οικοσυστημάτων IoT. Αυτή η εναρμόνιση είναι ζωτικής σημασίας για την ενσωμάτωση των συσκευών IoT σε διάφορους τομείς, που εκτείνονται σε εφαρμογές όπως έξυπνα σπίτια, βιομηχανίες, υγειονομική περίθαλψη και όχι μόνο.

Η ασφάλεια αποτελεί πρωταρχικό σημείο εστίασης στις πρωτοβουλίες τυποποίησης του IoT. Η διαδικασία τυποποίησης περιλαμβάνει την ανάπτυξη ισχυρών πρωτοκόλλων ασφαλείας, μηχανισμών κρυπτογράφησης και προτύπων ελέγχου ταυτότητας. Συστήματα όπως η κρυπτογράφηση AES και one time password μπορούν να βοηθήσουν τόσο την ασφάλεια των δεδομένων, όσο και στην πιστοποίηση των χρηστών (Panagiotou, Sklavos, Darra & Zaharakis, 2020). Αυτά τα μέτρα είναι απαραίτητα για την προστασία ευαίσθητων δεδομένων, την προστασία από απειλές στον κυβερνοχώρο και τη διασφάλιση της ακεραιότητας των διασυνδεδεμένων συστημάτων.

Επιπλέον, οι προσπάθειες τυποποίησης επεκτείνονται στην αντιμετώπιση της ενεργειακής απόδοσης των συσκευών IoT, αναγνωρίζοντας την επικράτηση των αισθητήρων και των gadget που λειτουργούν με μπαταρία. Βελτιστοποιώντας τα πρωτόκολλα επικοινωνίας και προωθώντας λειτουργίες χαμηλής κατανάλωσης, η τυποποίηση συμβάλλει στην παρατεταμένη διάρκεια ζωής της συσκευής και στη μείωση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων.

Ουσιαστικά, η τυποποίηση του IoT είναι ένα δυναμικό και εξελισσόμενο τοπίο, που καθοδηγείται από συνεργατικές προσπάθειες από τους ενδιαφερόμενους φορείς του



κλάδου, φορείς τυποποίησης και κοινοπραξίες. Ο απώτερος στόχος είναι να δημιουργηθεί ένα θεμέλιο ικανό όχι μόνο να φιλοξενεί την τρέχουσα ποικιλομορφία των εφαρμογών IoT, αλλά και να προβλέπει και να προσαρμόζεται στις αναδυόμενες ανάγκες ενός συνδεδεμένου κόσμου.

## 5.1 Πρωτόκολλα

Η επιλογή των προτύπων εξαρτάται συχνά από τις ειδικές απαιτήσεις της εφαρμογής και του οικοσυστήματος στο οποίο λειτουργεί. Ωστόσο, πολλά πρότυπα και πρωτόκολλα χρησιμοποιούνται συνήθως στον χώρο του IoT για να διασφαλιστεί η διαλειτουργικότητα, η ασφάλεια και η αποτελεσματική επικοινωνία. Παρακάτω γίνεται αναφορά σε μερικά από τα πιο αξιοσημείωτα πρωτόκολλα:

- **MQTT (Message Queuing Telemetry Transport):** Ένα ελαφρύ και ανοιχτό πρωτόκολλο ανταλλαγής μηνυμάτων σχεδιασμένο για μικρούς αισθητήρες και κινητές συσκευές. Χρησιμοποιείται ευρέως για δίκτυα χαμηλού εύρους ζώνης, υψηλής καθυστέρησης ή αναξιόπιστα.
- **CoAP (Πρωτόκολλο Περιορισμένης Εφαρμογής):** Ένα άλλο ελαφρύ πρωτόκολλο σχεδιασμένο για συσκευές με περιορισμένους πόρους και δίκτυα χαμηλής κατανάλωσης. Χρησιμοποιείται συνήθως σε περιορισμένα περιβάλλοντα όπου το HTTP μπορεί να είναι πολύ βαρύ.
- **HTTP/HTTPS (Πρωτόκολλο μεταφοράς υπερκειμένου/Ασφαλές):** Τα παραδοσιακά πρωτόκολλα ιστού χρησιμοποιούνται επίσης σε εφαρμογές IoT, ειδικά σε σενάρια όπου οι συσκευές διαθέτουν επαρκείς πόρους και η ασφάλεια αποτελεί προτεραιότητα.
- **DDS (Data Distribution Service):** Ένα πρωτόκολλο ενδιάμεσου λογισμικού που υποστηρίζει επικοινωνία σε πραγματικό χρόνο, επεκτάσιμη και υψηλής απόδοσης μεταξύ συσκευών. Χρησιμοποιείται συχνά σε βιομηχανικές εφαρμογές IoT.
- **LoRaWAN (Δίκτυο ευρείας περιοχής μεγάλης εμβέλειας):** Πρωτόκολλο δικτύωσης χαμηλής κατανάλωσης, ευρείας περιοχής σχεδιασμένο για επικοινωνία μεγάλης εμβέλειας με χαμηλούς ρυθμούς δεδομένων. Είναι κατάλληλο για εφαρμογές που απαιτούν συνδεσιμότητα μεγάλης εμβέλειας, όπως έξυπνες πόλεις ή εφαρμογές σχετικές με τη γεωργία.





- **Zigbee και Z-Wave:** Πρότυπα ασύρματης επικοινωνίας σχεδιασμένα για επικοινωνία χαμηλής κατανάλωσης και μικρής εμβέλειας σε συσκευές οικιακού αυτοματισμού και IoT.
- **Bluetooth και Bluetooth Low Energy (BLE):** Χρησιμοποιείται ευρέως για επικοινωνία μικρής εμβέλειας σε προσωπικά δίκτυα περιοχής. Το BLE είναι ιδιαίτερα κατάλληλο για συσκευές χαμηλής κατανάλωσης.
- **Thread:** Ένα ασύρματο πρωτόκολλο IoT χαμηλής κατανάλωσης που αναπτύχθηκε από την ομάδα Thread, σχεδιασμένο για οικιακούς αυτοματισμούς και παρόμοιες εφαρμογές.
- **OMA LightweightM2M (LwM2M):** Πρωτόκολλο διαχείρισης συσκευής σχεδιασμένο για απομακρυσμένη διαχείριση συσκευών IoT.
- **Πρότυπα ασφαλείας:** Διάφορα πρότυπα ασφαλείας, όπως TLS (Transport Layer Security) για ασφαλή επικοινωνία, τρόποι πιστοποίησής χρήστη για εξουσιοδότηση και πρόσβαση, καθώς και DTLS (Datagram Transport Layer Security) για την ασφάλεια επικοινωνίας που βασίζεται σε UDP.

## 5.2 Πλεονεκτήματα

Η τυποποίηση του Διαδικτύου των Πραγμάτων (IoT) προσφέρει πολλά βασικά πλεονεκτήματα που συμβάλλουν στην απρόσκοπτη ενσωμάτωση και την ευρεία υιοθέτηση των συνδεδεμένων συσκευών. Ακολουθεί καταγραφή μερικών αξιοσημείωτων πλεονεκτημάτων:

Διαλειτουργικότητα: Η τυποποίηση διασφαλίζει ότι οι συσκευές από διαφορετικούς κατασκευαστές και από διάφορους τομείς μπορούν να επικοινωνούν και να συνεργάζονται απρόσκοπτα. Αυτή η διαλειτουργικότητα είναι απαραίτητη για τη δημιουργία συνεκτικών οικοσυστημάτων IoT, επιτρέποντας στις συσκευές να μοιράζονται δεδομένα και λειτουργίες χωρίς προβλήματα συμβατότητας (Konduru & Bharamagoudra, 2017).

Επεκτασιμότητα: Τα τυποποιημένα πρωτόκολλα και τα πλαίσια διευκολύνουν την επεκτάσιμη ανάπτυξη λύσεων IoT. Είτε απευθύνεται σε έξυπνες πόλεις, σε βιομηχανικά περιβάλλοντα, ή σε καταναλωτικές εφαρμογές, μια τυποποιημένη προσέγγιση επιτρέπει την αποτελεσματική επέκταση των δικτύων IoT και την ενσωμάτωση μιας μεγάλης ποικιλίας συσκευών (Alasbali et al., 2022).



Ασφάλεια: Η τυποποίηση του IoT δίνει μεγάλη έμφαση στα μέτρα ασφαλείας. Καθορίζοντας κοινά πρωτόκολλα ασφαλείας, πρότυπα κρυπτογράφησης και μηχανισμούς ελέγχου ταυτότητας, η τυποποίηση βοηθά στην αντιμετώπιση τρωτών σημείων και διασφαλίζει ότι τα συστήματα IoT είναι ανθεκτικά έναντι των απειλών στον κυβερνοχώρο, προστατεύοντας τόσο τα δεδομένα όσο και τις συνδεδεμένες συσκευές (Alasbali et al., 2022).

Μειωμένο κόστος ανάπτυξης: Η υιοθέτηση τυποποιημένων πρωτοκόλλων και προδιαγραφών μπορεί να μειώσει το κόστος ανάπτυξης για τους κατασκευαστές συσκευών IoT. Οι προγραμματιστές μπορούν να αξιοποιήσουν τα υπάρχοντα πρότυπα αντί να δημιουργούν αποκλειστικές λύσεις, οδηγώντας σε εξοικονόμηση κόστους από άποψη χρόνου και πόρων (Saleem et al., 2018).

Επιταχυνόμενη καινοτομία: Η τυποποίηση παρέχει μια σταθερή βάση για καινοτομία ενισχύοντας με αυτόν τον τρόπο ένα περιβάλλον συνεργασίας. Οι προγραμματιστές μπορούν να επικεντρωθούν στη δημιουργία νέων και καινοτόμων εφαρμογών χωρίς τους περιορισμούς ασυμβίβαστων τεχνολογιών. Αυτό επιταχύνει τον ρυθμό της καινοτομίας IoT σε όλους τους κλάδους (Saleem et al., 2018).

Ανάπτυξη και υιοθέτηση της αγοράς: Η τυποποίηση διαδραματίζει κρίσιμο ρόλο στην προώθηση της ανάπτυξης της αγοράς και στην ευρεία υιοθέτηση των τεχνολογιών IoT. Όταν οι συσκευές συμμορφώνονται με κοινά πρότυπα, γίνεται ευκολότερο για τις επιχειρήσεις και τους καταναλωτές να επενδύσουν και να αναπτύξουν λύσεις IoT, γνωρίζοντας ότι αποτελούν μέρος ενός καλά καθορισμένου και υποστηριζόμενου οικοσυστήματος (Saleem et al., 2018).

Ευκολότερη ρύθμιση και συμμόρφωση: Η τυποποίηση μπορεί να απλοποιήσει τη διαδικασία κανονιστικής συμμόρφωσης για συσκευές IoT. Η συμμόρφωση με τα καθιερωμένα πρότυπα διασφαλίζει ότι οι συσκευές πληρούν συγκεκριμένες προδιαγραφές σχετικά με την ασφάλεια, το απόρρητο και άλλους ρυθμιστικούς παράγοντες, διευκολύνοντας την είσοδο και την αποδοχή στην αγορά (Saleem et al., 2018).



Βελτιωμένη εμπειρία χρήστη: Με τυποποιημένες διεπαφές και αλληλεπιδράσεις, οι χρήστες μπορούν να βιώσουν ένα πιο συνεπές και φιλικό προς τον χρήστη περιβάλλον όταν αλληλεπιδρούν με διάφορες συσκευές IoT. Επομένως, ενισχύεται η συνολική εμπειρία του χρήστη και ενθαρρύνεται η ευρύτερη αποδοχή των εφαρμογών IoT (Saleem et al., 2018).

Συνοπτικά, η τυποποίηση IoT παρέχει τη βάση για ένα πιο διασυνδεδεμένο, ασφαλές και επεκτάσιμο τοπίο IoT, ενισχύοντας την καινοτομία και διευκολύνοντας την ανάπτυξη και την υιοθέτηση συνδεδεμένων τεχνολογιών σε όλους τους κλάδους.

### 5.3 Μειονεκτήματα

Ενώ η τυποποίηση του IoT επιφέρει πολλά οφέλη, υπάρχουν επίσης ορισμένες προκλήσεις και πιθανά μειονεκτήματα που σχετίζονται με τη διαδικασία. Παρακάτω γίνεται αναφορά σε ορισμένες σκέψεις γύρω από αυτά:

Περιορισμοί καινοτομίας: Η αυστηρή τήρηση των προτύπων μπορεί να καταπνίξει την καινοτομία περιορίζοντας την ευελιξία τόσο των κατασκευαστών, όσο και των προγραμματιστών συσκευών. Η καινοτομία συχνά περιλαμβάνει την εξερεύνηση νέων προσεγγίσεων και τεχνολογιών, οι οποίες ενδέχεται να έρχονται σε αντίθεση με τυποποιημένα πρωτόκολλα.

Ρυθμός Τυποποίησης: Η ταχεία εξέλιξη των τεχνολογιών IoT μπορεί να ξεπεράσει τη διαδικασία τυποποίησης. Ως αποτέλεσμα, τα πρότυπα ενδέχεται να δυσκολεύονται να συμβαδίσουν με τις πιο πρόσφατες εξελίξεις, οδηγώντας ενδεχομένως σε κενά στην υποστήριξη αναδυόμενων τεχνολογιών και περιπτώσεων χρήσης.

Ανησυχίες κατακερματισμού: Παρά τις προσπάθειες τυποποίησης, το οικοσύστημα IoT παραμένει ποικίλο και τα ανταγωνιστικά πρότυπα μπορούν να οδηγήσουν σε κατακερματισμό. Ασυμβίβαστα πρότυπα μπορεί να εξακολουθούν να υπάρχουν σε διαφορετικούς κλάδους ή περιοχές, εμποδίζοντας τη διαλειτουργικότητα και δημιουργώντας προκλήσεις για χρήστες και προγραμματιστές.



Κόστος συμμόρφωσης: Η τήρηση των προτύπων μπορεί να συνεπάγεται πρόσθετο κόστος για τους κατασκευαστές συσκευών, ιδιαίτερα τις μικρές, αλλά και τις μεγάλες επιχειρήσεις. Η διαδικασία εφαρμογής και δοκιμής της συμμόρφωσης με τα πρότυπα μπορεί να αυξήσει το συνολικό κόστος ανάπτυξης, επηρεάζοντας την είσοδο ορισμένων εταιρειών στην αγορά. Για παράδειγμα, είναι γνωστό ότι προκειμένου να είσαι μέλος στο LoRa-Alliance (<https://loro-alliance.org/membership-benefits/>) οφείλεις να καταβάλεις ένα ετήσιο ποσό και το ίδιο ισχύει και για πολλές άλλες παρόμοιες περιπτώσεις.

Κίνδυνοι ασφάλειας: Ενώ τα πρότυπα αντιμετωπίζουν συχνά προβλήματα ασφάλειας, η διαδικασία δημιουργίας και εφαρμογής προτύπων μπορεί να εισάγει επιπρόσθετους κινδύνους για την ασφάλεια. Εάν τα πρότυπα δεν αναπτυχθούν αυστηρά ή είναι ξεπερασμένα, ενδέχεται να εισαγάγουν ακούσια τρωτά σημεία που θα μπορούσαν να εκμεταλλευτούν κακόβουλοι παράγοντες (Klement, Pöhls & Katzenbeisser, 2022).

Έλλειψη ευελιξίας: Οι τυποποιημένες λύσεις ενδέχεται να μην ανταποκρίνονται στις μοναδικές απαιτήσεις συγκεκριμένων βιομηχανιών ή εφαρμογών. Σε ορισμένες περιπτώσεις, μια προσέγγιση που ταιριάζει σε όλους μπορεί να μην είναι κατάλληλη και η προσαρμογή μπορεί να είναι περιορισμένη, επηρεάζοντας την απόδοση και τη λειτουργικότητα των συσκευών IoT σε εξειδικευμένες περιπτώσεις χρήσης.

Αργή υιοθέτηση: Η επίτευξη ευρείας υιοθέτησης προτύπων στο ποικίλο τοπίο του IoT μπορεί να είναι μια αργή διαδικασία. Η αντίσταση από τα υπάρχοντα συστήματα, απροθυμία για αλλαγές ή η παρουσία παλαιών συσκευών μπορεί να εμποδίσει την καθολική υιοθέτηση τυποποιημένων πρωτοκόλλων.

Περιορισμένη τυποποίηση σε ορισμένους τομείς: Σε ορισμένες βιομηχανίες ή εξειδικευμένες εφαρμογές, ενδέχεται να λείπουν ολοκληρωμένα πρότυπα. Αυτό μπορεί να οδηγήσει σε ένα κατακερματισμένο τοπίο στο οποίο εξακολουθούν να υπάρχουν προκλήσεις διαλειτουργικότητας, περιορίζοντας τα πιθανά οφέλη της τυποποίησης.



Εξάρτηση από ένα ενιαίο πρότυπο: Η υπερβολική στήριξη πάνω σε ένα μόνο πρότυπο δημιουργεί ένα μόνο σημείο αποτυχίας. Εάν αυτό το πρότυπο καταστεί παρωχημένο ή αντιμετωπίζει σημαντικές ευπάθειες ασφαλείας, μπορεί να έχει εκτεταμένες επιπτώσεις για ολόκληρο το οικοσύστημα IoT.

Ανησυχίες περί απορρήτου: Η τυποποίηση μπορεί να μην αντιμετωπίζει πάντα επαρκώς τα ζητήματα απορρήτου που σχετίζονται με τα δεδομένα IoT. Καθώς οι συσκευές συλλέγουν και μοιράζονται τεράστιες ποσότητες προσωπικών πληροφοριών, η διασφάλιση ισχυρής προστασίας απορρήτου αποτελεί όλο και μεγαλύτερη πρόκληση (Klement, Pöhls & Katzenbeisser, 2022).

Είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι αυτά τα μειονεκτήματα δεν είναι εγγενή στην τυποποίηση του IoT, αλλά είναι ζητήματα που πρέπει να αντιμετωπίζονται αποτελεσματικά καθώς εξελίσσεται το τοπίο. Η επίτευξη της σωστής ισορροπίας μεταξύ τυποποίησης και ευελιξίας είναι ζωτικής σημασίας για τη διασφάλιση ότι τα οικοσυστήματα IoT συνεχίζουν να αναπτύσσονται και να προσαρμόζονται στις αναδυόμενες τεχνολογίες και περιπτώσεις χρήσης.

#### 5.4 Στο μέλλον

Στο μέλλον θα επέλθει η ανάγκη για υλοποίηση νέων ή τροποποίηση των υπάρχοντων πρωτοκόλλων, με τέτοιον τρόπο ώστε να είναι σε θέση να καλύψουν τις ανάγκες της συνεχώς αναπτυσσόμενης κοινωνίας στην οποία ζούμε. Με ολοένα περισσότερες συσκευές να είναι συνδεδεμένες στο διαδίκτυο των πραγμάτων και να αναλύουν δεδομένα για διάφορους σκοπούς καθημερινά, η περιπλοκότητα των διασυνδέσεων θα παίζει κυρίαρχο ρόλο στην ταχύτητα ανάπτυξης των διάχυτων συσκευών. Με την ανάπτυξη της τεχνητής νοημοσύνης πιθανότατα να κάνουν την εμφάνισή τους στο μέλλον συστήματα τα οποία δεν θα χρειάζονται κάποιο συγκεκριμένο πρωτόκολλο επικοινωνίας, αλλά, αντιθέτως, θα είναι ικανά και σε θέση να αυτοεκπεδευτούν αναλόγως με το περιβάλλον στο οποίο θα βρίσκονται και άλλες τέτοιου είδους συσκευές μέσα σε αυτό. Επιπλέον, θα είμαστε σε θέση και να απλουστεύσουμε το σχεδιασμό των συσκευών, αλλά να λυθούν και αρκετά από τα ζητήματα όπως της ασφάλειας, προστασίας προσωπικών δεδομένων και διαλειτουργικότητας τα οποία έχουμε αυτή τη στιγμή (Shi et al., 2020).



## 6 Λύση του Matter

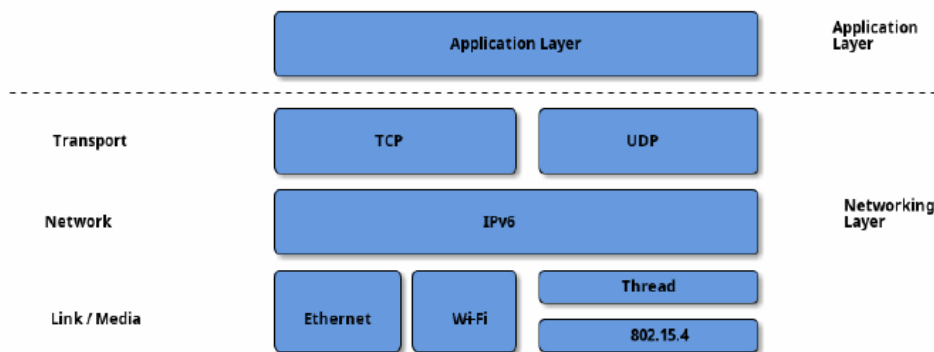
Το Matter είναι ένα νέο πρωτόκολλο διασύνδεσης διάχυτων συσκευών στο δίκτυο το οποίο υπόσχεται να λύσει τα προβλήματα συμβατότητας που υπήρχαν στο παρελθόν μεταξύ συσκευών αλλά και κατασκευαστών. Το παρόν κεφάλαιο ξεκινάει με μία αναδρομή στην ιστορία του Matter και στη συνέχεια προχωράει σε μια γενική ανάλυση του πρωτοκόλλου καθαυτού, της διαθέσιμης ασφάλειας που παρέχει και των δυνατοτήτων που είναι σε θέση να υποστηρίξει. Έπειτα γίνεται μία περιγραφή του τρόπου άμεσης επικοινωνίας μεταξύ των συσκευών στο δίκτυο και, κλείνοντας, αναφέρονται τα πιθανά πλεονεκτήματα και μειονεκτήματά του.

### 6.1 Ιστορία

Το πρωτόκολλο Matter αναπτύχθηκε από τον οργανισμό ZigBee Alliance που μετονομάστηκε σε CSA - IoT (Connectivity Standards Alliance) τον Μάιο του 2021 (“The Zigbee Alliance Rebrands as Connectivity Standards Alliance”, 2021). Το Matter έκανε την εμφάνιση του το Δεκέμβριο του 2019 με το όνομα Connect Home IP (CHIP), με κύριο στόχο να μπορέσει επεκτείνει την επικοινωνία των έξυπνων συσκευών σπιτιού με τις υπηρεσίες cloud και τις φορητές εφαρμογές. Η ανάπτυξη του πρωτοκόλλου πραγματοποιήθηκε αρχικά από εταιρίες όπως οι Amazon, Apple, Google και τον οργανισμό ZigBee Alliance έχοντας ως κεντρική ιδέα ότι οι συσκευές θα πρέπει να είναι ασφαλείς, αξιόπιστες και να προσφέρουν απρόσκοπτη χρήση. Με το πέρασμα του χρόνου, περισσότερες εταιρείες εντάχθηκαν στον οργανισμό και έλαβαν μέρος στην ανάπτυξη του Matter (“Amazon, Apple, Google, and the Alliance and Its Board Members Form Industry Working Group to Develop a New, Open Standard for Smart Home Device Connectivity”, 2019), με την πιο πρόσφατη έκδοση του κατά τον χρόνο συγγραφής να είναι η Matter 1.2 (<https://github.com/project-chip/connectedhomeip>).

### 6.2 Πρωτόκολλο Matter

Το Matter, με σκοπό να είναι όσο το δυνατόν πιο συμβατό με τα υπάρχοντα συστήματα, θα έπρεπε να κάνει χρήση των ήδη αποδεδειγμένα αποτελεσματικών τεχνολογιών που είναι ευρέως διαθέσιμες σε όλες τις κατηγορίες υλικών. Στο σχήμα 6.2.1 βλέπουμε ένα διάγραμμα στοίβας που μας βοηθάει να κατανοήσουμε σε μεγαλύτερο βάθος τα επίπεδα του Matter.



Σχήμα 6.2.1: Επίπεδα Matter

Ξεκινώντας την ανάλυση του παραπάνω διαγράμματος από το χαμηλότερο επίπεδο παρατηρούμε ότι:

Το Matter κάνει εκτεταμένη χρήση τόσο των ασύρματων, όσο και ενσύρματων φυσικών πρωτοκόλλων όπως τα WiFi, Bluetooth, Thread και LAN ώστε να μπορέσει να καλύψει όλες τις συσκευές που διαθέτουν έστω ένα από τα παραπάνω. Με τον τρόπο αυτό εξασφαλίζει ότι θα υπάρχει ενιαία συμβατότητα με το υλικό των συσκευών. Η επικοινωνία δικτύου βασίζεται στο IPv6 (Internet Protocol) το οποίο είναι επίσης ένα αρκετά διαδεδομένο πρωτόκολλο και αυτή την στιγμή καλύπτει το μεγαλύτερο μέρος των συσκευών. Επίσης, η ανάπτυξη της τεχνολογίας LTE σε εσωτερικούς χώρους μπορεί να βοηθήσει ακόμα περισσότερο στην εξάπλωση του Matter καθώς έχει βασιστεί στην τεχνολογία IP (Sklavos, Hübner, Goehringer & Kitsos, 2014). Για την μεταφορά των δεδομένων εντός του δικτύου γίνεται χρήση των πρωτοκόλλων TCP (Transmission Control Protocol) και UDP (User Datagram Protocol) τα οποία είναι διαθέσιμα διαδικτυακά για τα μέλη (<https://csa-iot.org/>). Το πρωτόκολλο μεταφοράς δεδομένων TCP βασίζεται στην άμεση διασύνδεση μεταξύ των συσκευών και θεωρείται ιδιαίτερα αξιόπιστο, καθώς πραγματοποιεί τόσο διαχείριση της ροής των δεδομένων, όσο και έλεγχο σφαλμάτων. Κάνει χρήση πορτών για τη διασύνδεση και μεταφορά δεδομένων από τη μια διεργασία στην άλλη.

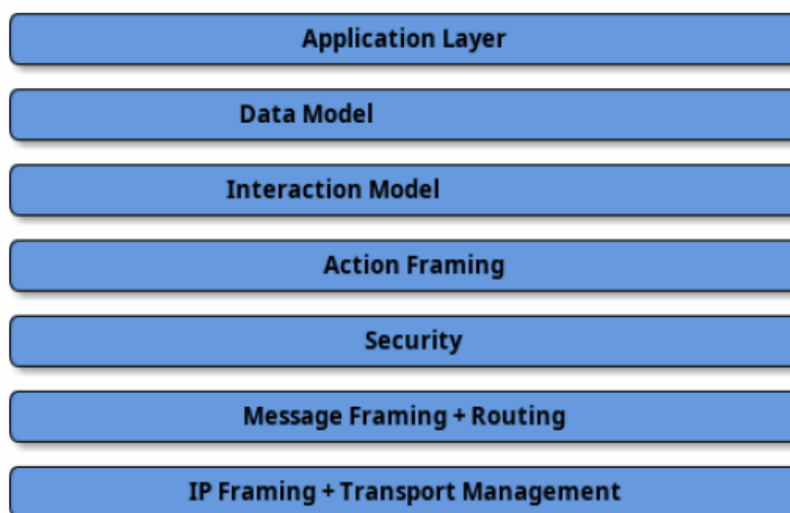
Το UDP είναι ένα αντίστοιχο, ευρέως γνωστό, πρωτόκολλο μεταφοράς δεδομένων που χρησιμοποιείται όταν υπάρχει ανάγκη να μεταφέρουμε δεδομένα με μεγάλη ταχύτητα, αλλά χωρίς να μας προσφέρεται εγγύηση ότι ο παραλήπτης θα τα λάβει σωστά ή με τη σωστή σειρά. Αυτό συμβαίνει καθώς το UDP δεν διαθέτει μηχανισμό επιτήρησης συμφόρησης, αλλά και σφαλμάτων. Ωστόσο, δίνει την



δυνατότητα αποστολής πακέτων δεδομένων σε πολλούς παραλήπτες/ συσκευές ταυτόχρονα (Multicast) χωρίς να προϋποθέτει κάποια διαδικασία σύνδεσης πριν από τη μεταφορά του πακέτου, κάτι το οποίο δεν είναι δυνατόν με το πρωτόκολλο TCP (Masirap et al., 2016).

Στην παρούσα ενότητα, ιδιαίτερη έμφαση θα δοθεί στο Επίπεδο Εφαρμογής (Application Layer), καθώς είναι αυτό το οποίο εξασφαλίζει την ομαλή διασύνδεση και μεταφορά δεδομένων από μια έξυπνη συσκευή σε μια άλλη, την άμεση επικοινωνία μεταξύ τους, ακόμα και σε επίπεδο τοπικού δικτύου, την εισαγωγή και αφαίρεση από ένα δίκτυο κλπ.

Το Επίπεδο Εφαρμογής (Σχήμα 6.2.2) χωρίζεται στις εξής υποκατηγορίες: Επίπεδο Μοντέλου Δεδομένων, Επίπεδο Μοντέλου Αλληλεπίδρασης, Επίπεδο Πλαισίωσης, Επίπεδο Ασφαλείας, Επίπεδο Πλαισίωσης και Δρομολόγησης Μηνύματος και, τέλος, την Αποστολή Μηνύματος.



**Σχήμα 6.2.2:** Περιεχόμενο του Application layer

Το Επίπεδο Εφαρμογής είναι το υψηλότερο επίπεδο σχεδίασης μιας συσκευής και το γενικό μοντέλο σχεδίασης. Για παράδειγμα, μπορεί να είναι ένας διακόπτης ο οποίος ανοίγει/ κλείνει μια λάμπα και ρυθμίζει τη φωτεινότητα της.

Στο Επίπεδο Μοντέλου Δεδομένων έχουμε τα δεδομένα καθώς και τα στοιχεία που συνθέτουν τη λειτουργικότητα της συσκευής. Αποτελείται από δομές δεδομένων που περιγράφουν τους τρόπους αλληλεπίδρασης.





Στο Επίπεδο Μοντέλου Αλληλεπίδρασης ορίζεται η σύνθεση των αλληλεπιδράσεων μεταξύ της συσκευής και διακοσμητή. Για παράδειγμα, όταν ένας πελάτης (client) θέτει μια παράμετρο στο εξυπηρετητή (server), τότε ορίζεται και η συμπεριφορά της συσκευής σύμφωνα με την παράμετρο αυτή. Οι αλληλεπιδράσεις ορίζονται μέσα σε ένα μοντέλο δεδομένων στο επίπεδο μοντέλου.

Το Επίπεδο Πλαισίωσης συνθέτει τα δεμένα που ορίστηκαν στο Επίπεδο Αλληλεπίδρασης, σε δυαδική μορφή και τα ετοιμάζει προς αποστολή. Στη συνέχεια τα επεξεργασμένα δεδομένα κρυπτογραφούνται στο Επίπεδο Ασφαλείας και σε αυτά προστίθεται η αυθεντικότητα του μηνύματος. Έτσι εξασφαλίζεται η πιστότητα του μηνύματος μεταξύ αποστολέα και παραλήπτη.

Το Επίπεδο Πλαισίωσης και Δρομολόγησης Μηνύματος μορφοποιεί την ενδιάμεση μνήμη των προηγούμενων επιπέδων και προσθέτει στην αρχή του μηνύματος τα ανάλογα δεδομένα, ώστε να προχωρήσει στην Αποστολή Μηνύματος.

Πλέον, το μήνυμα μπορεί να δοθεί στο πρωτόκολλο μεταφοράς TCP το οποίο είναι υπεύθυνο για την μεταφορά των δεδομένων μεταξύ των συσκευών και έτσι έχουμε μια συνεχόμενη ροή δεδομένων στο δίκτυο. Τα μηνύματα που στέλνονται στο δίκτυο για την επικοινωνία των συσκευών μεταξύ τους έχουν συγκεκριμένη μορφοποίηση η οποία βοηθάει τόσο την επικοινωνία μεταξύ δύο συσκευών (Unicast), όσο και αυτή πολλών συσκευών ταυτόχρονα (Multicast). Επίσης, η διαμόρφωση του μηνύματος δεν βοηθάει μόνο στην επικοινωνία των συσκευών, αλλά και του ίδιου του πρωτοκόλλου Matter. Στο σχήμα 6.2.3 βλέπουμε τον τρόπο σύνθεσης ενός μηνύματος.

Header							
[Message Length]	Message Flags	Session ID	Security Flags	Message Counter	[Source Node ID]	[Destination Node ID]	[Message Extensions ...]
2 bytes	1 byte	2 bytes	1 byte	4 bytes	0/8 bytes	0/2/8 bytes	variable length
Payload							
[Message Payload ...] (Encrypted)							
variable length							
Footer							
[Message Integrity Checker]							
variable length							

Σχήμα 6.2.3: Σύνθεση μηνύματος (Belli, Barsocchi & Palumbo, 2023)



Κάθε μήνυμα ξεκινάει με την επικεφαλίδα που περιέχει παραμέτρους που αφορούν το είδος, το μέγεθος, τον αριθμό ταυτοποίησης αποστολέα, τον παραλήπτη του μηνύματος, τον έλεγχο ακεραιότητας, κλπ. Ακολουθεί το μήνυμα μεταβαλλόμενου μήκους που θέλουμε να φτάσει στην συσκευή και, τέλος, κλείνει με το υποσέλιδο το περιεχόμενο του οποίου αφορά την ακεραιότητα του μηνύματος.

Η τοπολογία του δικτύου Matter είναι τέτοια που βοηθάει την ανάπτυξη συσκευών μέσα σε ένα δίκτυο και την άμεση επικοινωνία μεταξύ τους. Τα κύρια μέρη που συγκροτούν το δίκτυο matter είναι τα εξής:

- a. Fabric, το σύνολο του δικτύου Matter που μέσα σε αυτό εγγράφονται (commission) όλες οι συσκευές στο δίκτυο. Μπορεί σε ένα δίκτυο να υπάρχουν παραπάνω από ένα υποδίκτυο (fabrics). Κάθε συσκευή μέσα σε ένα υποδίκτυο (fabric) έχει ένα μοναδικό ID το οποίο βοηθάει στην εύρεση της από άλλες συσκευές.
- b. Τα Nodes είναι οποιαδήποτε συσκευή μέσα στο δίκτυο fabric. Οι κόμβοι (nodes) είναι συσκευές εικονικές ή ακόμα και φυσικές που περιέχουν ιδιότητες και λειτουργίες και ονομάζονται endnodes.
- c. Matter Controller είναι επίσης κόμβοι (nodes) μέσα στο υποδίκτυο (fabric) οι οποίες σκοπό έχουν την παροχή απομακρυσμένης πρόσβασης στο τοπικό δίκτυο. Μπορούν να ελέγχουν ή να παραμετροποιούν άλλες συσκευές στο δίκτυο που έχουν πρόσβαση. Επίσης, τις χρησιμοποιούνται για να μπορέσουμε να βάλουμε μια νέα συσκευή (node) στο δίκτυο (fabric).

### 6.3 Ασφάλεια

Λόγω της συνεχούς εξάπλωσης των συσκευών IoT, που πρόκειται να ξεπεράσουν σε αριθμό τις 400 δις ενεργές συσκευές μέχρι το 2030, το πρωτόκολλο στο οποίο είναι βασισμένες θα πρέπει να διαθέτει υψηλή ασφάλεια και προστασία των προσωπικών δεδομένων από εξωτερικές επιθέσεις. Εξαιτίας της φύσης του πρωτοκόλλου Matter να ενεργοποιεί τη σύνδεση συσκευών από διάφορους κατασκευαστές δημιουργείται αυξημένη επικοινωνία η οποία είναι και η αιτία οι συσκευές αυτές να μπορούν να πέσουν θύματα επιθέσεων. Στην περίπτωση που υπάρξουν κακόβουλες συσκευές μέσα σε ένα δίκτυο, τότε αυτές είναι σε θέση να επηρεάσουν άλλες συσκευές, και επομένως, όλο το δίκτυο τίθεται σε κίνδυνο. Για το λόγο αυτό, κατά τον σχεδιασμό του Matter έγινε μια πρόβλεψη τέτοιων συνθηκών ώστε τέτοιου είδους επιθέσεις να αποτρέπονται



εξολοκλήρου. Σύμφωνα με τη μέθοδο που αποτρέπει τέτοιες επιθέσεις, κάθε συσκευή στο δίκτυο διαθέτει ένα πιστοποιητικό Device Attestation Certificate (DAC) το οποίο είναι υπογεγραμμένο από τον κατασκευαστή Product Attestation Intermediate (PAI), αλλά και από τον οργανισμό Attestation Authority (PAA) όπου οι συσκευές περνάνε από ένα σύστημα πιστοποιήσεων και πριν την υπογραφή και η λίστα αυτή διατηρείται από τον οργανισμό αυτό. Η διατήρηση της λίστας των πιστοποιητικών που αφορά τους πιστοποιημένους κατασκευαστές βασίζεται σε μέθοδο Blockchain Distributed Compliance Ledger (DCL). Η συντήρηση και ανανέωση γίνεται από τον οργανισμό Connectivity Standards Alliance (CSA). Έτσι, κατά την ενσωμάτωση της συσκευής στο δίκτυο η εφαρμογή που κάνει την ανάθεση θα πρέπει να πιστοποιήσει αν η συσκευή είναι πιστοποιημένη στην αλυσίδα Blockchain Distributed Compliance Ledger (DCL). Επίσης η ασφάλεια κατά την επικοινωνία των συσκευών στο δίκτυο αποτελείται από ένα αρκετά ισχυρό σύστημα κρυπτογράφησης βασισμένο σε αλγόριθμους SHA-256 σε συνδυασμό με αύξοντες αριθμούς μηνυμάτων κάνοντας χρήση πραγματικά τυχαίων τιμών. (Shashwat et al., 2023) (22-27351-002\_Matter\_1.1-Device-Library-Specification) (22-27350-002\_Matter-1.1-Application-Cluster-Specification)( Loos, 2023).

#### **6.4 Εφαρμογές που υποστηρίζονται**

Το πρωτόκολλο Matter αυτή την στιγμή υποστηρίζει 34 διαφορετικά είδη εφαρμογών τα οποία είναι χωρισμένα στις παρακάτω κατηγορίες: φωτισμού, έξυπνων πριζών, διακοπών, αισθητήρων, διαχείριση κλειδαριών, κλιματισμού χώρου και πολυμέσων. Η κάθε εφαρμογή διαθέτει και τις ανάλογες παραμετροποιήσεις που έχουν να κάνουν με τις δυνατότητες της συσκευής, αλλά και τα δεδομένα που θέλουμε να ανταλλάσσει με άλλες συσκευές στο χώρο. Όλες οι συσκευές Matter είναι υποχρεωμένες να έχουν μια βασική κατηγορία τη root στην οποία βρίσκονται βασικές παράμετροι (clusters) της συσκευής, οι κωδικοί κατασκευαστή και συσκευής που βοηθούν αργότερα στη πιστοποίηση του προϊόντος. Πέραν του root και των κατηγοριών συσκευών, υπάρχουν και οι κατηγορίες τροφοδοσίας, αναβάθμισης λογισμικού και διασύνδεσης (Shashwat et al., 2023).

#### **6.5 M2M (Machine to Machine)**

Ένα από τα μεγαλύτερα πλεονεκτήματα του Matter είναι όχι μόνο ότι έχει βασιστεί σε αποδεδειγμένες τεχνολογίες, αλλά και ότι είναι σε θέση να καταστήσει δυνατή την



άμεση επικοινωνία μιας συσκευή με μία άλλη (M2M) χωρίς να είναι απαραίτητο να μεσολαβεί κάτι άλλο ενδιάμεσα πέραν των δύο συσκευών που θα πρέπει να είναι στο ίδιο δίκτυο. Αυτό έχει επιτευχθεί γιατί μπορούν οι συσκευές matter να λειτουργούν σαν διακομιστής (server), αλλά και σαν πελάτης (client), δίνοντας δεδομένα η μία στην άλλη απευθείας. Πίσω από αυτή τη δυνατότητα κρύβεται η λειτουργία Binding η οποία επιτρέπει στις συσκευές να τους τεθούν παράμετροι για άλλες συσκευές στο χώρο και να ξεκινήσει μια επικοινωνία. Ένα πολύ απλό παράδειγμα είναι όταν υπάρχει ένας διακόπτης και θέλουμε να χρησιμοποιηθεί για να ανάψει μια απομακρυσμένη λάμπα. Σε αυτήν την περίπτωση, τόσο ο διακόπτης, όσο και η λάμπα θα πρέπει να παραμετροποιηθούν με τέτοιο τρόπο ώστε να ανταλλάσσουν πληροφορίες μεταξύ τους. Αυτό γίνεται στο Matter στέλνοντας τις πληροφορίες ελέγχου ACL (Access Control List) στη ελεγχόμενη συσκευή (Λάμπα) με περιεχόμενο της συσκευής ελέγχου (Διακόπτης). Οι πληροφορίες αυτές είναι ένα JSON String το οποίο περιέχει το ID της συσκευής ελέγχου (Διακόπτης) και κάποιες πληροφορίες αυθεντικότητας. Ύστερα, πρέπει να τεθούν παράμετροι διασύνδεσης (Binding) στην συσκευή ελέγχου (διακόπτης), το οποίο θα γίνει γράφοντας τις πληροφορίες της συσκευής που ελέγχεται (Λάμπα) στον διακόπτη. Το περιεχόμενο εγγραφής είναι ένα JSON String που περιέχει το ID (node) της ελεγχόμενης συσκευής (λάμπα), το είδος της συσκευής προς έλεγχο (endpoint) και την μεταβαλλόμενη τιμή (cluster). Παρακάτω είναι ένα παράδειγμα των δύο εντολών για να εκτελεστεί μία τέτοια διαδικασία διασύνδεσης δύο συσκευών (Shashwat et al., 2023).

Node ID του διακόπτη 0x7283 (29315 σε δεκαδικό)

Node ID της λάμπας 0x5164 (20836 σε δεκαδικό)

Εντολή προς την ελεγχόμενη συσκευή (Λάμπα)

```
accesscontrol write acl '[{"privilege": 5, "authMode": 2, "subjects": [ 112233, 29315], "targets": null}]' 0x5164 0x0
```

Εντολή προς την συσκευή ελέγχου (Διακόπτης)

```
binding write binding '[{"node":20836, "endpoint":1, "cluster":6}]' 0x7283 0x1
```



Οι παραπάνω εντολές μπορούν να δοθούν μέσω της εφαρμογής Chip-Tool σε γραμμή εντολών. Το Chip Tool είναι μια εφαρμογή διαχείρισης των συσκευών στο δίκτυο κατά την ανάπτυξη (<https://github.com/project-chip/connectedhomeip>).

## 6.6 Πλεονεκτήματα

Σε αυτό το μέρος θα αναφερθούμε στα πλεονεκτήματα που επιφέρει η εφαρμογή του Matter για τις συσκευές IoT.

**Διαλειτουργικότητα:** Το υλικό έχει σχεδιαστεί για να διασφαλίζει τη διαλειτουργικότητα μεταξύ διαφορετικών συσκευών και οικοσυστημάτων. Με την υιοθέτηση αυτού του πρωτοκόλλου, οι συσκευές είναι σε θέση να λειτουργούν απρόσκοπτα με άλλες συσκευές συμβατές με Matter, ανεξάρτητα από τον κατασκευαστή.

**Υποστήριξη κλάδου:** Η υποστήριξη του Matter από μεγάλες εταιρείες τεχνολογίας είναι θετικό σημάδι για την υιοθέτηση και τη μακροπρόθεσμη υποστήριξη του πρωτοκόλλου. Αυτή η υποστήριξη μπορεί να συμβάλει στην επιτυχία και τη μακροζωία των προϊόντων.

**Ασφάλεια:** Το Matter δίνει μεγάλη έμφαση στην ασφάλεια, η οποία είναι ζωτικής σημασίας για τις συσκευές IoT. Η τήρηση των προδιαγραφών του Matter μπορεί να βοηθήσει να διασφαλιστεί ότι η συσκευές πληρούν τα πρότυπα υψηλών προδιαγραφών ασφαλείας.

**Κοινότητα και πόροι:** Ως έργο ανοιχτού κώδικα, το Matter διαθέτει μια κοινότητα προγραμματιστών και πολλαπλές πηγές πόρων που μπορούν να βοηθήσουν στη διαδικασία ανάπτυξης. Αυτό μπορεί να είναι επωφελές τόσο για την αντιμετώπιση προβλημάτων, όσο και για την ανταλλαγή γνώσεων και ιδεών, αλλά και την παρακολούθηση των ενημερώσεων.

**Διαχρονικότητα:** Ως τυποποιημένο πρωτόκολλο, το Matter έχει σχεδιαστεί για να εξελίσσεται με την πάροδο του χρόνου με σκοπό να ανταποκρίνεται στις μεταβαλλόμενες ανάγκες της βιομηχανίας IoT. Με την υιοθέτηση του Matter, οι συσκευές τοποθετούνται με τρόπο ώστε να είναι συμβατές με μελλοντικές ενημερώσεις και βελτιώσεις στο πρωτόκολλο.



## 6.7 Μειονεκτήματα

Όπως όλες οι εφαρμογές, έτσι και το Matter παρουσιάζει και ορισμένα μειονεκτήματα.

- a. **Πολυπλοκότητα υλοποίησης:** Η εφαρμογή ενός νέου πρωτοκόλλου μπορεί να είναι δύσκολη και θα πρέπει να διασφαλιστεί ότι η ομάδα ανάπτυξης είναι εξοικειωμένη με τις προδιαγραφές του Matter. Ο περιορισμένος αριθμός και η περιπλοκότητα των παραδειγμάτων, μέχρι τη δημιουργία μιας συσκευής το καθιστούν αρκετά χρονοβόρο και με υψηλό κόστος υλικών.
- d. **Ποσοστό υιοθέτησης:** Ενώ μεγάλες εταιρείες υποστηρίζουν το Matter, το ποσοστό υιοθέτησης μπορεί να διαφέρει. Είναι σημαντικό να ληφθεί υπόψιν η τρέχουσα διείσδυση στην αγορά και οι μελλοντικές προβλέψεις για την υιοθέτηση του Matter.
- e. **Ανταγωνιστικά πρότυπα:** Το τοπίο του IoT εμπεριέχει μία σειρά από διάφορα πρωτόκολλα και πρότυπα. Στην εκάστοτε περίπτωση χρήσης θα πρέπει να αξιολογηθεί εάν το Matter ταιριάζει καλύτερα, τόσο στη συγκεκριμένη περίπτωση, όσο και στην αγορά για το προϊόν υλοποίησης.
- f. **Κόστος:** Η εφαρμογή ενός νέου πρωτοκόλλου μπορεί να συνεπάγεται δαπάνες που σχετίζονται με την ανάπτυξη, τη δοκιμή και την πιστοποίησή του. Σημαντικό είναι, επομένως, να σταθμιστεί το κόστος σε σχέση με τα πιθανά οφέλη. Το ελάχιστο κόστος του Matter για ένα προϊόν, σύμφωνα με τον τιμοκατάλογο στον οργανισμό CSA (<https://csa-iot.org/become-member/>), ανέρχεται στα 2500€ για κάθε συσκευή και 500€ το χρόνο για τη διατήρηση των πιστοποιητικών στο σύστημα. Η υποχρεωτική πιστοποίηση της συσκευής ώστε να μπει στο σύστημα αποτελεί ένα επιπλέον κόστος που πρέπει να ληφθεί υπόψιν κατά την κατασκευή του (Belli, Barsocchi & Palumbo, 2023).
- g. **Κατανάλωση ενέργειας:** Το πρωτόκολλο Matter υποστηρίζει μια σειρά εντολών που θέτουν τον μικροελεγκτή σε κατάσταση χαμηλής κατανάλωσης, από την οποία για να εξέλθει ο μικροελεγκτής απαιτείται να διαθέτει το Wake On Lan πρωτόκολλο (22-27350-002\_Matter-1.1-Application-Cluster-Specification). Το Wake On Lan εξαρτάται καθαρά από τον μικροελεγκτή και τις δυνατότητες που διαθέτει αναλόγως τις απαιτήσεις της εφαρμογής. Ωστόσο,



σε ένα περιβάλλον πραγματικά χαμηλής ενέργειας, όπως αυτό της τροφοδότησης με μπαταρία, θα πρέπει οι συσκευές να είναι σε θέση απενεργοποιούν εντελώς τα περιφερειακά τους. Η απενεργοποίηση των περιφερειακών, όπως της ασύρματης επικοινωνίας σημαίνει αυτόματα παύση επικοινωνίας με το δίκτυο και τότε, κατά συνέπεια, μόνο η ίδια η συσκευή μπορεί να ανακτήσει ξανά την επικοινωνία με το δίκτυο σε δικό της χρόνο και όχι από ερέθισμα εξωτερικής συσκευής. Επίσης, το πρωτόκολλο Matter διαθέτει μόνο την επιλογή Wake On Lan στο δίκτυο το οποίο είναι ενεργοβόρο. Καλό θα ήταν, λοιπόν, να υπάρχουν περισσότερες επιλογές, όπως με Bluetooth, οι οποίες απαιτούν αρκετά πιο χαμηλή κατανάλωση ενέργειας.



## 7 Εφαρμογή στον πραγματικό κόσμο

Σε αυτή την ενότητα γίνεται παρουσίαση ενός παραδείγματος πραγματικής ανάπτυξης μια συσκευής με βάση το πρωτόκολλο Matter.

### 7.1 Σκοπός

Το παράδειγμα που αναπτύχθηκε αποσκοπεί στον εντοπισμό και την ανάδειξη των πλεονεκτημάτων και των μειονεκτημάτων του πρωτοκόλλου Matter. Για τον σκοπό αυτό, δημιουργήθηκαν δύο πανομοιότυπες συσκευές, εκ των οποίων η μία έχει την ικανότητα να ελέγχει άλλες συσκευές Matter στο δίκτυο. Συγκεκριμένα, το τελικό αποτέλεσμα αποτελείται από τη συσκευή A, η οποία έχει το ρόλο μόνο του απομακρυσμένου διακόπτη μέσω του δικτύου, και τη συσκευή B που έχει το ρόλο του τοπικού διακόπτη, αλλά επιπλέον παρέχει και φυσικές εξόδους για να τοποθετηθούν έως και δύο λάμπες πάνω της, των οποίων το άναμμα και κλείσιμο μπορεί να ελέγξει αλλά και τη φωτεινότητα τους.

Αρχικά, θα γίνει ανάλυση των βημάτων που ακολουθήθηκαν για την προετοιμασία του περιβάλλοντος προγραμματισμού του μικροελεγκτή. Στη συνέχεια, παρουσιάζονται οι διάφορες βιβλιοθήκες που χρησιμοποιήθηκαν, καθώς και τμήματα του κώδικα που επικεντρώνονται στην ευκολία και στις διαθέσιμες επιλογές. Τέλος, θα πραγματοποιηθεί ανάλυση των εμπειριών που αποκτήθηκαν κατά την ανάπτυξη ενός πραγματικού προϊόντος που υποστηρίζει το πρωτόκολλο Matter. Πιο συγκεκριμένα, θα εξεταστούν τα πλεονεκτήματα και τα σημεία πρόκλησης που προέκυψαν κατά την προσπάθεια υλοποίησης του πρωτοκόλλου Matter σε ένα πραγματικό περιβάλλον.

### 7.2 Σενάριο Χρήσης

Θεωρούμε ότι είμαστε ο αγοραστής και θέλουμε να αυτοματοποιήσουμε τις λάμπες στον κήπο μας, αλλά κάτι που μας ενδιαφέρει ιδιαίτερος είναι η δυνατότητα να πραγματοποιηθεί αυτό εσωτερικά του σπιτιού από διάφορους χώρους χωρίς απαραίτητα τη χρήση κινητού ή διαδικτύου. Αγοράζουμε, λοιπόν, μια συσκευή διαχείρισης των λαμπτήρων, η οποία να υποστηρίζει το πρωτόκολλο Matter και επιπλέον, επιθυμούμε παραπάνω από ένα ασύρματους διακόπτες ώστε να τοποθετηθούν στα επιθυμητά σημεία ελέγχου. Μετά την τοποθέτηση των συσκευών στα κατάλληλα σημεία, σειρά έχει η σύνδεσή τους στο δίκτυο. Κατεβάζουμε μια εφαρμογή στο κινητό που διαθέτει το πρωτόκολλο Matter και ξεκινάμε την εγκατάσταση. Αφού εγκατασταθούν όλες οι συσκευές, πλέον μπορούμε να ορίσουμε ποιες συσκευές θα αναγνωρίζονται μεταξύ τους






και προχωράμε σε ενοποίηση. Στο εξής, το δίκτυο Matter είναι έτοιμο και πλήρως λειτουργικό.

### 7.3 Εργαλεία ανάπτυξης

#### Eclipse

 Το Eclipse είναι ένα ολοκληρωμένο περιβάλλον ανάπτυξης ανοιχτού κώδικα το οποίο δημιουργήθηκε αρχικά από την IBM, ενώ στην συνέχεια πήραν και άλλες εταιρείες μέρος στην ανάπτυξη του, με άδεια χρήσης τύπου Eclipse Public License (EPL) 2.0 (<https://github.com/eclipse-platform/eclipse.platform>). Με τη βοήθεια του Eclipse κατασκευάζονται ποίκιλα λογισμικά ανεξαρτήτως πλατφόρμας, για αυτό και έχει γνωρίσει άνθηση σε αρκετούς τομείς ανάπτυξης λογισμικού.

#### cMake



Το cMake είναι ένα εργαλείο για την αυτοματοποιημένη διαδικασία συλλογής και επεξεργασίας αρχείων κώδικα C++. Αναπτύχθηκε το 2000, και σχεδιάστηκε για τη διαμόρφωση του περιβάλλοντος ανάπτυξης πολλαπλών αρχείων κώδικα. Αργότερα και έπειτα από αρκετά στάδια ανάπτυξής του, πραγματοποιήθηκαν επιπλέον προσθήκες, με αποτέλεσμα να είναι πλέον ένα αρκετά διαδεδομένο εργαλείο (<https://cmake.org/features/>).

#### C programming language



Σχεδιάστηκε από τον Dennis Ritchie στα εργαστήρια της Bell στις αρχές τους 1970, έχει μια από τις πιο πλούσιες ιστορίες και είναι μία από τις γλώσσες με τη μεγαλύτερη επιρροή. Ο κεντρικός σχεδιασμός στόχευε σε μια φορητή, ελαφριά και υψηλής απόδοσης γλώσσα προγραμματισμού για τα Unix τα οποία επίσης αναπτύσσονταν ταυτόχρονα στα εργαστήρια της Bell. Έκτοτε, έχουν πραγματοποιηθεί αρκετές αλλαγές και βελτιώσεις και πλέον υπόκειται σε κανονισμό στάνταρ ISO/IEC 9899:\*\*\*\* με τον πιο πρόσφατο να είναι το ISO/IEC 9899:2018 (<https://www.iso.org/standard/74528.html>). Επιπλέον, η C αποτελεί έμπνευση και βασική αρχή σχεδιασμού των γλωσσών C++, C# και Objective-C, και στο παράδειγμα μας είναι η κεντρική γλώσσα διαχείρισης μικροελεγκτή (<https://github.com/espressif/esp-idf>). Με αυτή τη γλώσσα υψηλού επιπέδου έχουν γραφτεί όλοι οι driver για την χρήση των περιφερειακών, καθώς μας δίνει την



δυνατότητα μέσα από απλοποιημένες συναρτήσεις να γράφουμε απευθείας στους διάφορους καταχωρητές του μικροελεγκτή. Κατά την διαδικασία του compile η γλώσσα υψηλού επιπέδου μεταφράζεται σε assembly.

### C++ programming language



Μια από τις πιο γνωστές γλώσσες προγραμματισμού, σχεδιαστηκε επίσης στα εργαστήρια της Bell, από τον Δανό Bjarne Stroustrup το 1985 με τον αρχικό σκοπό να προσθέσει στη γλώσσα C αντικειμενοστραφή προγραμματισμό και, επομένως, χαρακτηρίζεται ως μια εξέλιξη της γλώσσας προγραμματισμού C. Σχεδιάστηκε, και χρησιμοποιείται, με την αρχή να είναι λειτουργική τόσο όσο μια γλώσσα υψηλού επιπέδου, αλλά και σαν γλώσσα χαμηλού επιπέδου, με δυνατότητα εξοικονόμηση πόρων. Έχει χρησιμοποιηθεί για την ανάπτυξη πολλών εφαρμογών, παιχνιδιών κλπ. (Kernighan & Ritchie, 1988; Stroustrup, 1996). Στο παράδειγμα μας γίνεται εκτεταμένη χρήση της C++ στις βιβλιοθήκες Matter όπου και γίνεται η διαχείριση της επικοινωνίας με το δίκτυο και τις υπόλοιπες συσκευές.

### Python programming language



Είναι μια γλώσσα υψηλού επιπέδου γενικού σκοπού που αναπτύχθηκε από τον Van Rossum το 1991. Είναι μια από τις πιο γνωστές γλώσσες προγραμματισμού και υπερέρχει σε ευκολία έναντι άλλων γλωσσών όπως C, C++, Java.

### FreeRTOS



Το πρόγραμμα που τρέχει στον μικροελεγκτή βασίζεται σε freeRTOS, το οποίο, όπως δηλώνει και το όνομα του (Real Time Operating system), είναι ένα λειτουργικό πραγματικού χρόνου ανοιχτού κώδικα το οποίο αναπτύχθηκε το 2003 από τον Richard Barry. Το μεγάλο του πλεονέκτημα είναι η ευκολότερη διαχείριση της μνήμης του μικροελεγκτή, αλλά και η ευκολία κατασκευής διεργασιών με προτεραιότητα. Αυτά τα πλεονεκτήματα κάνουν τη χρήση του αρκετά ελκυστική, ειδικότερα σε περιβάλλοντα που έχουμε ασύγχρονες επικοινωνίες, όπως σε ένα δίκτυο (Gay, 2016).

## MCU



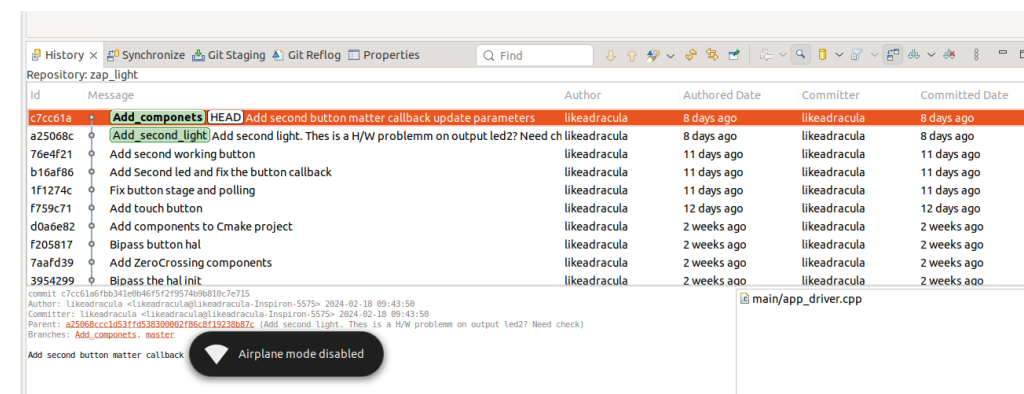
Η εφαρμογή και η δοκιμή της τεχνολογίας Matter πραγματοποιήθηκαν με τη χρήση του μικροελεγκτή ESP32-32E του οίκου Espressif. Η επιλογή αυτού του συγκεκριμένου μικροελεγκτή οφείλεται στο γεγονός ότι είναι ειδικά σχεδιασμένος για να υποστηρίζει εφαρμογές παρόμοιου είδους. Τα βασικά χαρακτηριστικά του ESP32-32E είναι εξαιρετικά σημαντικά για την ομαλή λειτουργία της τεχνολογίας Matter. Καταρχάς, η ενσωματωμένη επεξεργαστική ισχύς του είναι εντυπωσιακή, επιτρέποντας την αποτελεσματική εκτέλεση πολλαπλών εργασιών. Επιπλέον, η δυνατότητα παράλληλης εκτέλεσης διεργασιών, χάρη στους δύο ενσωματωμένους πυρήνες, προσφέρει υψηλή απόδοση.

Επισημαίνεται, επίσης, η μεγάλη χωρητικότητα σε μνήμη flash που υποστηρίζει, καθώς και η δυνατότητα χρήσης εξωτερικής flash μνήμης συνδεδεμένης μέσω διαύλου SPI. Το ESP32-32E είναι εξοπλισμένο με τεχνολογίες WiFi και Bluetooth για αποτελεσματική επικοινωνία δεδομένων, επιτρέποντας τη σύνδεση με το τοπικό δίκτυο, το διαδίκτυο, καθώς και με περιφερειακές συσκευές Bluetooth ή κινητά τηλέφωνα.

Όσον αφορά τις επαφές, το ESP32-32E διαθέτει μια εκτενή γκάμα I/O επαφών, πολλές από τις οποίες προσφέρουν επιπλέον δυνατότητες όπως Pulse Width Modulation (PWM), UART (universal asynchronous receiver / transmitter), SPI (serial peripheral interface), I2C (Inter-Integrated Circuit), αισθητήρες αφής κ.λπ. Αυτά τα χαρακτηριστικά καθιστούν τον ESP32-32E ιδανικό για την ανάπτυξη καινοτόμων εφαρμογών που απαιτούν υψηλή απόδοση και ευελιξία στην επικοινωνία δεδομένων.

### 7.4 Διαχείριση έργου

Πολλές είναι οι φορές που, τόσο στην σχεδίαση, όσο και την ανάπτυξη ενός προϊόντος απαιτείται πολύς χρόνος και η εμπλοκή αρκετών ατόμων. Για τον λόγο αυτό χρειαζόμαστε εργαλεία διευκόλυνσης για εμάς και την ομάδα, τα οποία θα μπορούν να εντοπίσουν τις αλλαγές που γίνονται, ειδικότερα στο επίπεδο του κώδικα όπου τα λάθη δεν είναι πάντα εμφανή (Božić, 2023). Αυτή τη στιγμή το πιο γνωστό εργαλείο εντοπισμού αλλαγών στον κώδικα είναι το Git (εικ 7.4.1) που προσφέρει δυνατότητες εντοπισμού αλλαγών, τροποποίησης από πολλούς χρήστες, επαναφορά κώδικα σε παλαιότερες εκδόσεις κλπ.

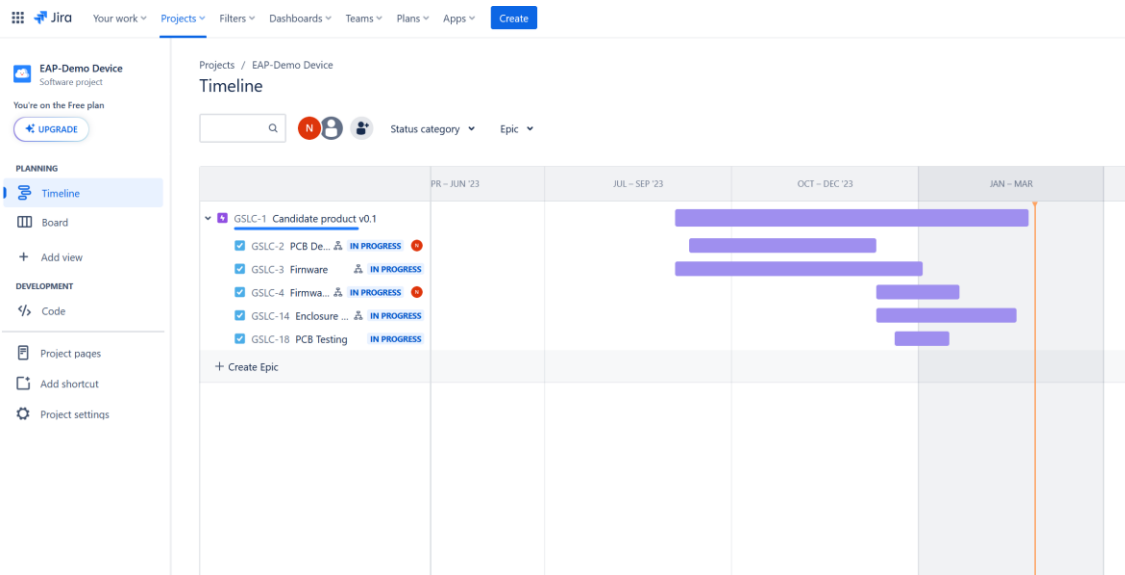


Εικόνα 7.4.1 Στάδια ανάπτυξης κώδικα

Επειδή οι αλλαγές στον κώδικα πρέπει να είναι ορατές σε όλους τους σχεδιαστές που εργάζονται πάνω στο ίδιο έργο, υπάρχουν διαθέσιμα εργαλεία διαδικτυακής φιλοξενίας (Cloud hosting) τα οποία συγχρονίζονται με τους υπολογιστές όλων των σχεδιαστών και μπορούν να λειτουργούν ως ενιαίο σύνολο. Δύο δημοφιλής υπηρεσίες φιλοξενίας είναι το GitHub (<https://github.com/>) και το Bitbucket (<https://bitbucket.org/>). Στο παράδειγμα μας θα γίνει χρήση του Bitbucket καθώς συνεργάζεται απευθείας με το Jira και προσφέρει τη δυνατότητα να ενοποιήσεις τις αλλαγές του κώδικα με τα ζητήματα που έχουν τοποθετηθεί στο χρονοδιάγραμμα.

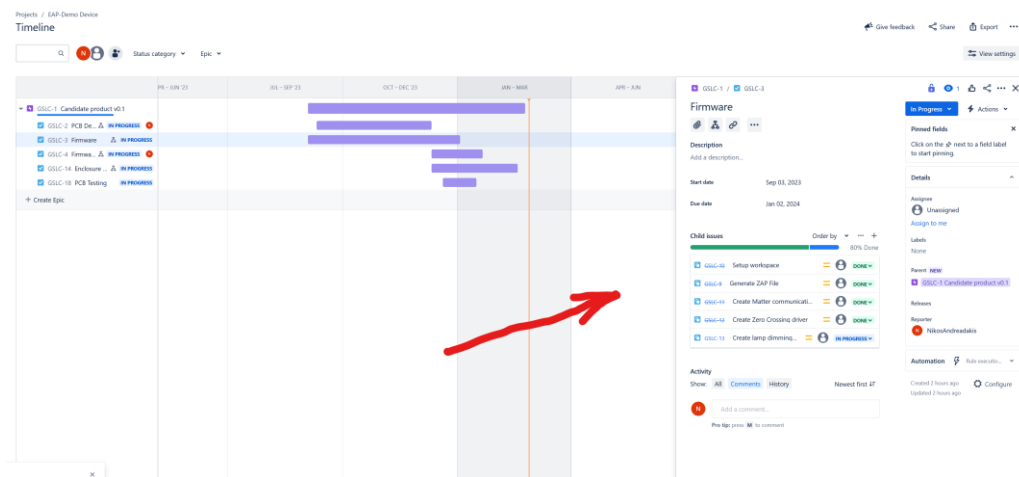
Το Jira είναι ένα προϊόν που διατίθεται από την εταιρεία Atlassian (<https://www.atlassian.com>) και βοηθάει στην διαχείριση έργων και σχεδιασμού κώδικα. Παρέχει επιλογές καταγραφής λαθών στον κώδικα και ανάπτυξη τρόπων επίλυσης. Χρησιμοποιείται τόσο από μικρές, όσο και μεγάλες εταιρίες για καταγραφή και διαχείριση προβλημάτων κατά την ανάπτυξη, παραγωγή και την εισαγωγή του προϊόντος στην αγορά. Το εργαλείο Jira είναι αρκετά παραμετροποιήσιμο και εύκολο στην χρήση του.

Στην περίπτωση του παραδείγματος, έγινε εκτεταμένη χρήση του Jira για τη σωστή οργάνωση σε βάθος χρόνου, την περιγραφή προβλημάτων και των τρόπων επίλυσης. Στην εικόνα 7.4.2 βλέπουμε την κεντρική σελίδα του πρότζεκτ όπου γίνεται ανάλυση των επιμέρους εργασιών. Επίσης, παρατηρούμε τους υπολογιζόμενους χρόνους εκτέλεσης που έχουν σημειωθεί με μωβ χρωματισμό πάνω στο χρονοδιάγραμμα.



Εικόνα 7.4.2 Jira Time Table

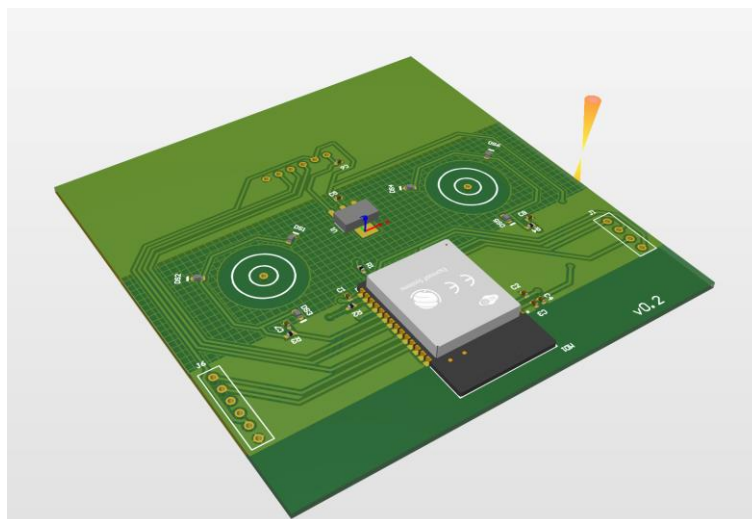
Κάθε κεντρική εργασία περιέχει υποεργασίες, όπως βλέπουμε στην εικόνα 7.4.2, οι οποίες συνοδεύονται με το δικό τους χρονοδιάγραμμα. Με αυτή τη μέθοδο επιτυγχάνουμε πλήρη ανάλυση του πρότζεκτ και παραμένουμε πάντα μέσα στα όρια του χρονοδιαγράμματος. Τέλος, σε κάθε διεργασία εκτέλεσης υπάρχει και η επιλογή ρύθμισης της κατάστασής της.



Εικόνα 7.4.4 Υποεργασίες κατά την ανάπτυξη του λειτουργικού.

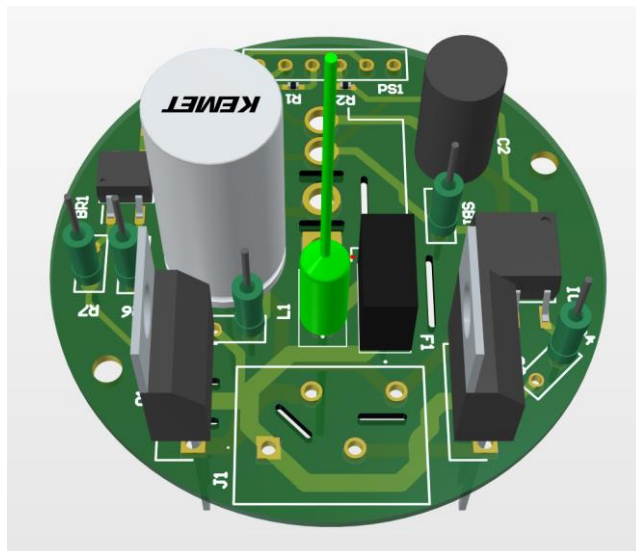
## 7.5 Σχεδιασμός PCB

Για τον σχεδιασμό των ολοκληρωμένων κυκλωμάτων έγινε εκτεταμένη χρήση του προγράμματος Altium designer. Η σχεδίαση έγινε πάνω σε πλακέτα υλικού FR-4 δύο στρώσεων χαλκού για να διατηρηθεί το κόστος χαμηλά. Η κάθε συσκευή έχει ένα κύκλωμα τροφοδοσίας το οποίο κατεβάζει την υψηλή τάση του δικτύου σε χαμηλή 5V, επίσης υπάρχει γραμμικός ρυθμιστής τάσης ο οποίος κατεβάζει την τάση λειτουργίας από τα 5V στα 3.3V για την τροφοδοσία του μικροελεγκτή και των περιφερειακών του. Η διαχείριση των λαμπτήρων για αυξομείωση φωτεινότητας, ανοίγματος καθώς και κλεισίματος γίνεται από διάταξη κυκλώματος με TRIAC, επίσης υπάρχει και κύκλωμα Zero Crossing στο εναλλασσόμενο ρεύμα που είναι χρήσιμο για τον σωστό έλεγχο αυξομείωσης της φωτεινότητας του λαμπτήρα. Το κύκλωμα Zero Crossing βλέπει τα σημεία της ημιτονοειδούς καμπύλης του εναλλασσόμενου ρεύματος τη στιγμή που μηδενίζει.



**Εικόνα 7.4.1:** Σχέδιο ολοκληρωμένου κυκλώματος μικροελεγκτή

Στην εικόνα 7.4.1 βλέπουμε μια τριών διαστάσεων απεικόνιση της πλακέτας που σχεδιάστηκε για να καλύψει τις ανάγκες του παραδείγματος. Αναλυτικότερα, τα εξαρτήματα που παρατηρούμε πάνω στην πλακέτα είναι ο μικροελεγκτής (με ενσωματωμένη την κεραία), το κύκλωμα τροφοδοσίας, μερικά παθητικά εξαρτήματα και τις φωτοдиодους. Οι δύο μεγάλοι λευκοί κύκλοι αριστερά και δεξιά είναι τα κουμπιά αφής.



**Εικόνα 7.pc2:** Κύκλωμα τροφοδοσίας

Το κύκλωμα του μικροελεγκτή συνδέεται μέσω επαφών με το κύκλωμα τροφοδοσίας μέσα στο οποίο περιέχεται και άλλο κύκλωμα πέρα της τροφοδοσίας το οποίο αφορά στη ρύθμιση φωτεινότητας της λάμπας μέσω Triac και Zero Crossing (Zhang, Zeng & Jiang, 2012). Η σχεδιασμένη έκδοση για την αυξομείωση της φωτεινότητας του λαμπτήρα είναι ενδεικτική και αρκετά απλουστευμένη, εφόσον σαν σκοπό έχει να αναδείξει την τεχνολογία Matter και όχι την τεχνολογία ελέγχου φωτεινότητας των λαμπών.

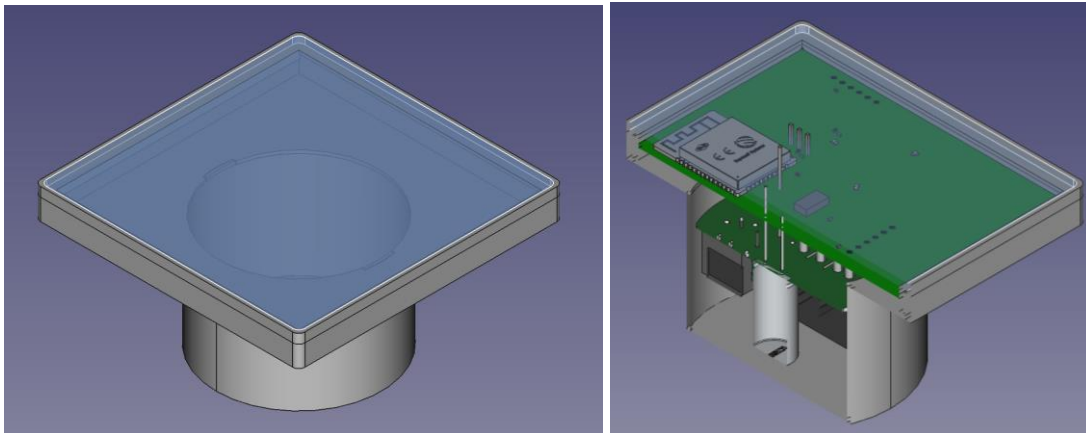
## 7.6 Σχεδιασμός κυτίου

Για το σχεδιασμό του κυτίου έγινε χρήση του προγράμματος σχεδίασης FreeCAD, το οποίο είναι ένα εργαλείο παραμετρικής απεικόνισης, ανοιχτού κώδικα, χωρίς άδεια πώλησης (<https://www.freecad.org/>).

Η βασική σκέψη του σχεδίου (εικ. 7.5.1) γύρω από το κυτίο περιλάμβανε την δυνατότητα να χωράει το κύκλωμα μέσα αφενός, και αφετέρου να ταιριάζει στις διαστάσεις των ηλεκτρολογικών υποδοχών. Τέλος, έχοντας καταλήξει στο γενικό σχέδιο, έγινε μια επιπλέον προσπάθεια ώστε να είναι όσο το δυνατόν πιο καλαίσθητο το αποτέλεσμα.

Με την ολοκλήρωση του σχεδίου έγινε εκτύπωση του κυτίου σε εκτυπωτή τριών διαστάσεων από υλικό PLA, ενώ για το τζάμι μπροστά κόπηκε κομμάτι Plexiglass. Με αυτόν τον τρόπο έχουμε ένα δείγμα προϊόντος όσο το δυνατόν πιο κοντά στην

πραγματικότητα ως προς τον έλεγχο και την καλή λειτουργία, αλλά και ικανό να μας βοηθήσει να οδηγηθούμε σε αληθοφανή συμπεράσματα.



**Εικόνα 7.5.1** Σχέδιο κτιού στο FreeCad (Αριστερή εικόνα χωρίς το PCB, Δεξιά σε τομή με το PCB τοποθετημένο)

### 7.7 Σχεδιασμός & Ανάπτυξη κώδικα

Οι βασικές προδιαγραφές σχεδίασης που αποφασίστηκαν για το παράδειγμα είναι οι εξής: ένας διακόπτης λάμπας, ο οποίος να μπορεί να ανοίγει μέχρι και δύο ρεύματα λαμπτήρων και, επιπλέον, να μπορεί να ρυθμίσει την φωτεινότητα των λαμπτήρων ανεξάρτητα. Έπειτα, θα πρέπει να είναι σε θέση να επικοινωνήσει με συσκευές στο δίκτυο, αλλά και να λάβει εντολές από αυτές. Πριν την ανάπτυξη του κώδικα, έγινε ένας σχεδιασμός με διάγραμμα ροής για να δούμε τα ακριβή βήματα που πρέπει να ακολουθηθούν προς την υλοποίηση. Το διάγραμμα ροής του σχήματος 7.6 περιγράφει μια περίληψη των όσων πρέπει να γραφτούν σε μορφή κώδικα για να μπορέσει το ολοκληρωμένο κύκλωμα μαζί με τα περιφερικά του να λειτουργήσει.

Για να προχωρήσουμε στην απαιτούμενη ανάπτυξη κώδικα έπρεπε να γίνει το απαραίτητο “κατέβασμα” απευθείας από το αποθετήριο του Matter στο GitHub με όνομα connecthomeip. Πακέτα κώδικα που αφορούν το κομμάτι του υλικού του μικροελεγκτή κατέβηκαν απευθείας από το αποθετήριο της espressif και, τέλος, έγινε ρύθμιση του περιβάλλοντος ανάπτυξης (εικ. 7.6.5) για την εγκατάσταση του λογισμικού στην MCU.

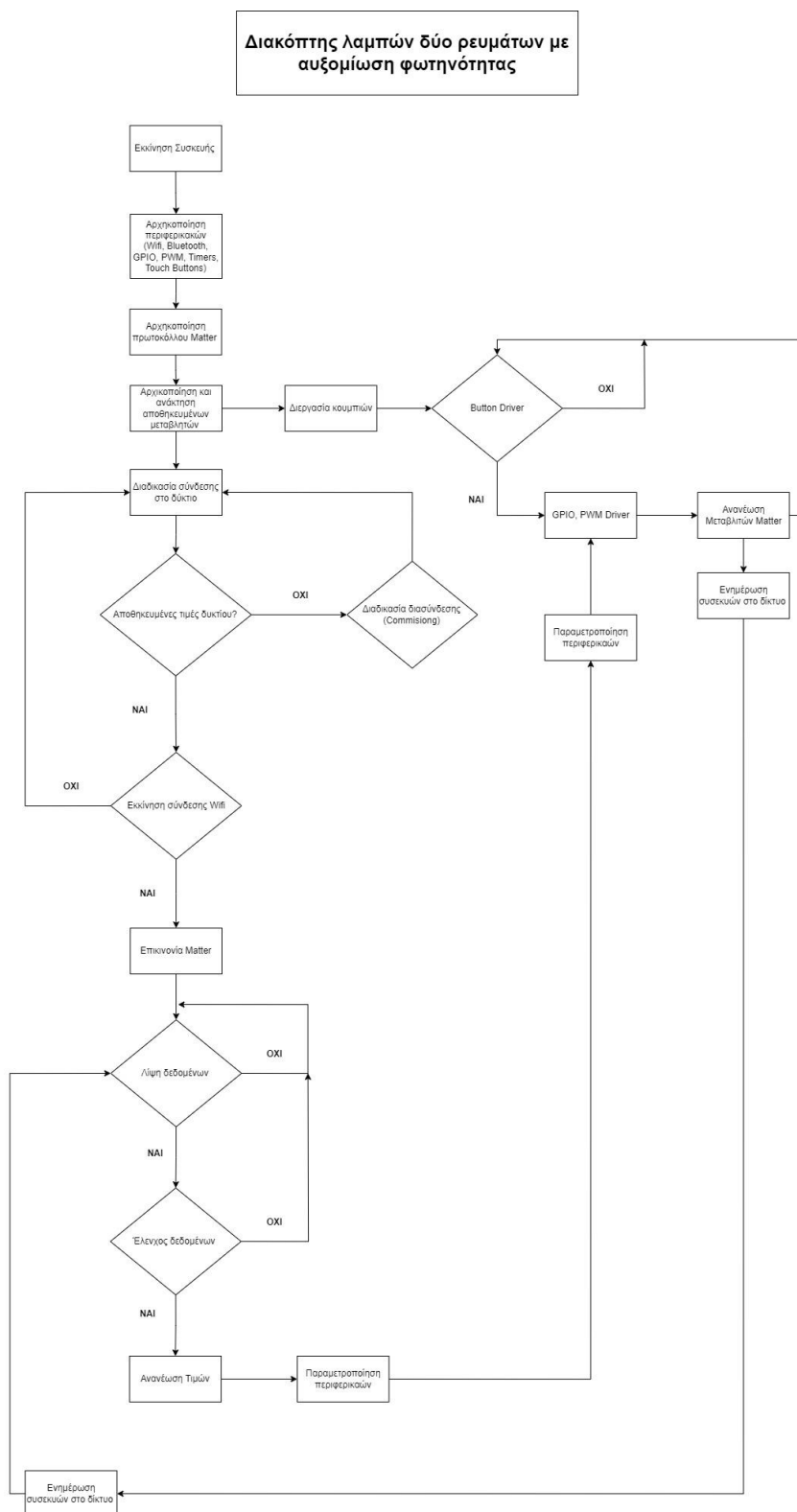




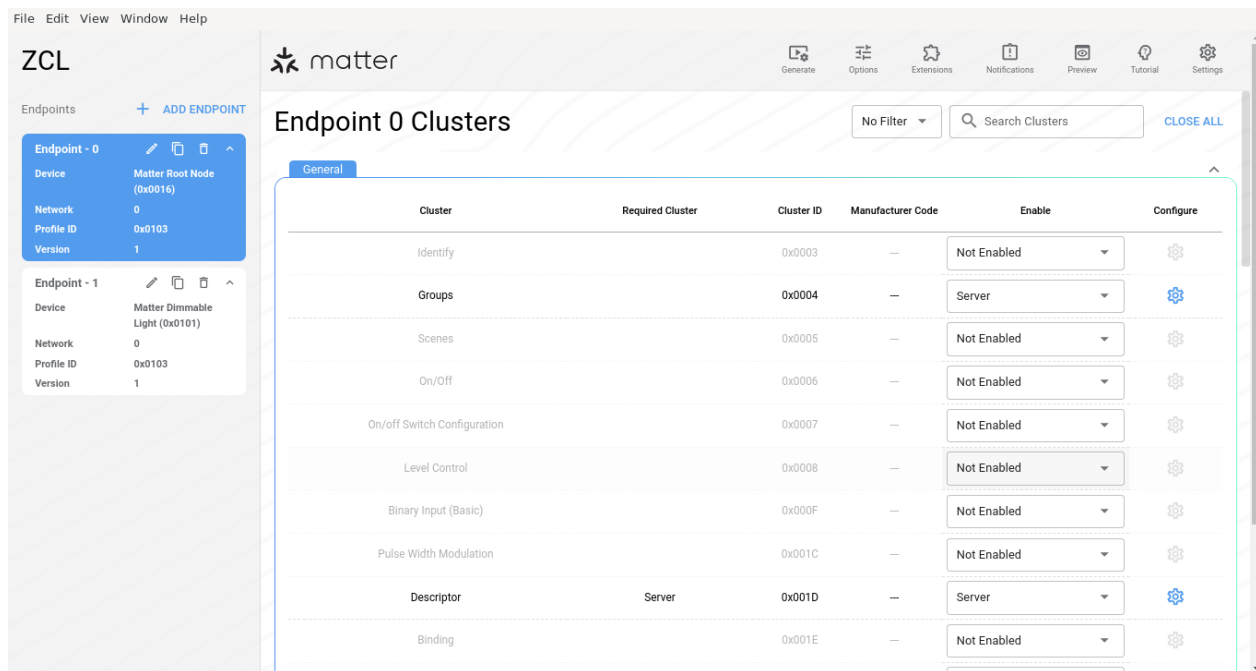
Για τη γρήγορη ανάπτυξή του, ο κώδικας έσπασε σε τρεις διαφορετικές φάσεις κατασκευής.

- Επικοινωνία δικτύου και Matter
- Έλεγχος και ανάπτυξη οδηγού κουμπιών αφής.
- Έλεγχος και ανάπτυξη οδηγού λαμπτήρων

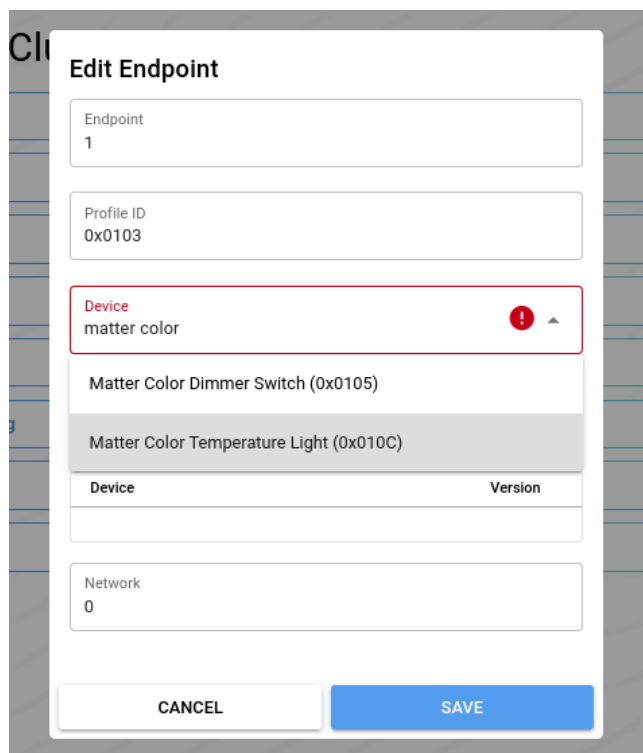
Στη διαχείριση του δικτύου και του πρωτοκόλλου Matter έπρεπε να εξασφαλίσουμε τη σωστή επικοινωνία και σταθερότητα με το ασύρματο δίκτυο (WiFi). Μετά την σωστή επικοινωνία με το φυσικό δίκτυο, πρέπει να εξασφαλιστεί και η σωστή χρήση του Matter ώστε να έχουμε μια σταθερή διασύνδεση με τις υπόλοιπες συσκευές στο δίκτυο. Η βασική παραμετροποίηση του Matter γίνεται από ένα εργαλείο ανοιχτού κώδικα “ZAP” (εικ. 7.6.1) γραμμένο σε γλώσσα Javascript με electron το οποίο προσφέρεται στον πηγαίο κώδικά του Matter. Το ZAP προσφέρει μεγάλη ευκολία παραμετροποίησης της συσκευής σε πολύ μικρό χρονικό διάστημα και, επιπλέον, διαθέτει γραφικό περιβάλλον το οποίο είναι πολύ εύκολο στην εκμάθηση. Μετά την φάση της παραμετροποίησης στο γραφικό περιβάλλον, με το πάτημα ενός κουμπιού το ZAP θα παράξει μερικά βασικά αρχεία τα οποία περιγράφουν τις δυνατότητες και τα περιφερειακά της συσκευής. Αυτά τα αρχεία τα τοποθετούμε απευθείας μέσα στον κώδικα που είναι υπό ανάπτυξη. Στο ZAP η συσκευή περιγράφεται από Endpoints τα οποία έχουν ένα αύξοντα αριθμό. Κάθε Endpoint περιγράφει το είδος της συσκευής και το προφίλ της (εικ. 7.6.2). Το κάθε Endpoint επίσης περιέχει και μια σειρά από υποτμήματα (clusters, εικ. 7.6.3) που περιγράφουν την λειτουργία και τις δυνατότητες του Endpoint. Το κάθε cluster περιέχει όλες τις υποστηριζόμενες μεταβλητές μιας δυνατότητας (εικ. 7.6.4) (“Amazon, Apple, Google, and the Alliance and Its Board Members Form Industry Working Group to Develop a New, Open Standard for Smart Home Device Connectivity”, 2019). Τα clusters μπορούν να ρυθμιστούν σαν Server, αλλά και σαν Client ανάλογα με την εφαρμογή. Για τη συσκευή A που κάνει άμεσο έλεγχο των λαμπτήρων τα cluster είναι ρυθμισμένα σαν Server, ενώ για τη συσκευή B είναι ρυθμισμένα σαν Client. Η συσκευή A είναι σε θέση να ελέγχει απευθείας τη B, ωστόσο, για να πραγματοποιηθεί ο έλεγχος, θα πρέπει και οι δύο συσκευές να είναι στο ίδιο δίκτυο και να έχουν παραμετροποιηθεί κατάλληλα, όπως αναγράφεται στο κεφάλαιο 6.5.



Σχήμα 7.6 Διάγραμμα ροής σησκευής Α



**Εικόνα 7.6.1** Περιβάλλον ZAP (“Amazon, Apple, Google, and the Alliance and Its Board Members Form Industry Working Group to Develop a New, Open Standard for Smart Home Device Connectivity”, 2019)



**Εικόνα 7.6.2** Endpoint (“Amazon, Apple, Google, and the Alliance and Its Board Members Form Industry Working Group to Develop a New, Open Standard for Smart Home Device Connectivity”, 2019)



### Endpoint 1 Clusters

Enabled Clusters  CLOSE ALL

**General**

Cluster	Required Cluster	Cluster ID	Manufacturer Code	Enable	Configure
On/Off	Server	0x0006	---	Server	
Level Control	Server	0x0008	---	Server	

**ENABLE ALL CLUSTERS**

**Lighting**

Cluster	Required Cluster	Cluster ID	Manufacturer Code	Enable	Configure
Color Control	Server	0x0300	---	Server	

**ENABLE ALL CLUSTERS**

**Εικόνα 7.6.3** Cluster (“Amazon, Apple, Google, and the Alliance and Its Board Members Form Industry Working Group to Develop a New, Open Standard for Smart Home Device Connectivity”, 2019)

### On/Off

Endpoint 1 / General / On/Off

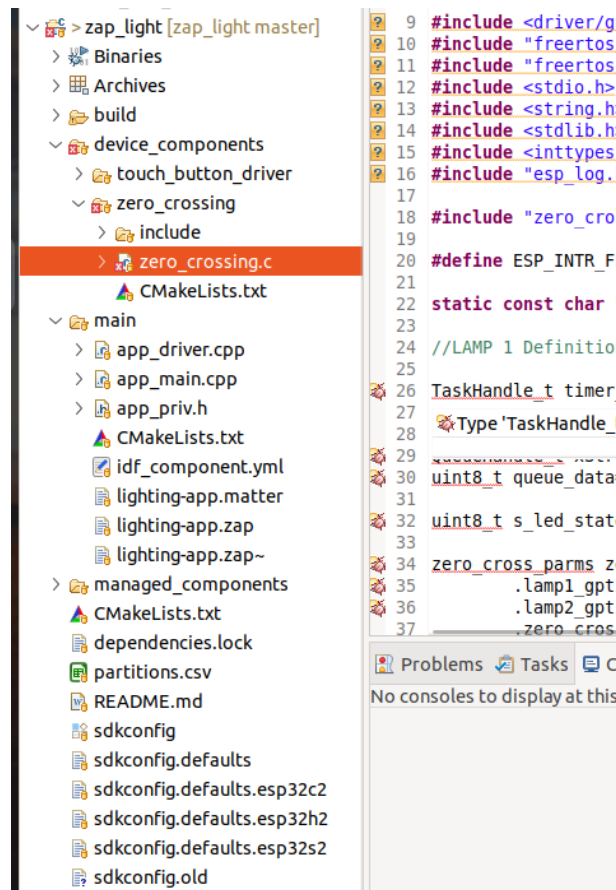
Attributes and commands for switching devices between 'On' and 'Off' states.  
Cluster ID: 0x0006, Enabled for **Server**

**Attributes** | Attribute Reporting | Commands

Enabled	Attribute ID	Attribute	Required	Client/Server	Mfg Code	Storage Option	Singleton	Bounded	Type	Default
<input checked="" type="checkbox"/>	0x0000	OnOff	Yes	Server		NVM	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	BOOLEAN	0x00
<input checked="" type="checkbox"/>	0x4000	GlobalSceneControl	Yes	Server		RAM	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	BOOLEAN	0x01
<input checked="" type="checkbox"/>	0x4001	OnTime	Yes	Server		RAM	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	INT16U	0x0000
<input checked="" type="checkbox"/>	0x4003	StartUpOnOff	Yes	Server		NVM	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	ONOFFSTARTUPONOFF	0xFF <span>NULL</span>
<input checked="" type="checkbox"/>	0xFFFD	ClusterRevision	Yes	Server		RAM	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	INT16U	4

Records per page: All 1-5 of 5

**Εικόνα 7.6.4** Παράμετροι Cluster [31] (“Amazon, Apple, Google, and the Alliance and Its Board Members Form Industry Working Group to Develop a New, Open Standard for Smart Home Device Connectivity”, 2019)



Εικόνα 7.6.5 περιβάλλοντος ανάπτυξης.

Για τα κουμπιά αφής, ο μικροελεγκτή διαθέτει εσωτερικά ειδικό υλικό το οποίο μπορεί να παραμετροποιήσει τις εξόδους με τέτοιο τρόπο ώστε να συμπεριφέρονται σαν πυκνωτικοί διακόπτες. Έχοντας γραφτεί ο κατάλληλος κώδικας για το περιφερειακό (εικ. 7.6.6), απομένει να γίνει η διαχείριση του όσον αφορά τη λειτουργία του. Οι διακόπτες θα πρέπει να μπορούν να ανοίγουν και να κλείνουν το κάθε ρεύμα λάμπας για το οποίο είναι ρυθμισμένοι. Έπειτα, με το παρατεταμένο πάτημα ενός διακόπτη, θα πρέπει αυτός να είναι σε θέση να προχωρήσει σε reset της συσκευής.

```
perf_touch_driver.c x
27
28 uint8_t init_status=0;
29
30 uint8_t touch_get_value(void *data){
31     init_touch_data *touch_enum = (init_touch_data*)data;
32     uint16_t touch_value;
33     uint16_t touch_filter_value;
34
35     touch_pad_read_raw_data(touch_enum->bt_enum, &touch_value);
36     touch_pad_read_filtered(touch_enum->bt_enum, &touch_filter_value);
37     if(touch_filter_value<500){
38         return 0;
39     }else return 1;
40 }
41
42 void init_periferals(void){
43     if(!init_status){
44         ESP_LOGI(TAG, "Initializing touch pad periferals");
45         ESP_ERROR_CHECK(touch_pad_init());
46         // Set reference voltage for charging/discharging
47         // In this case, the high reference valtage will be 2.7V - 1V = 1.7V
48         // The low reference voltage will be 0.5
49         // The larger the range, the larger the pulse count value.
50         touch_pad_set_voltage(TOUCH_HVOLT_2V7, TOUCH_LVOLT_0V5, TOUCH_HVOLT_ATTEN_0V5);
51         touch_pad_filter_start(TOUCHPAD_FILTER_TOUCH_PERIOD);
52         init_status = 1;
53     }
54 }
55 }
56
57 esp_err_t deinit_touch_bt(void *data){
58     // init_touch_data *touch_enum = (init_touch_data*)data;
59     esp_err_t ret = ESP_FAIL;
60     ret = touch_pad_deinit();
61     if(!ret){
62         init_status=0;
63     }
64     return ret;
65 }
66
67 esp_err_t init_touch_bt(void *data){
68     init_touch_data *touch_enum = (init_touch_data*)data;
69     esp_err_t ret = ESP_FAIL;
70     init_periferals();
71     ret = touch_pad_config(touch_enum->bt_enum, TOUCH_THRESH_NO_USE);
72     return ret;
73 }
```

Εικόνα 7.6.6 Οδηγός κουμπιών αφής.

Όσον αφορά τον οδηγό των λαμπτήρων (εικ. 7.6.7), αποδείχθηκε αρκετά πιο περίπλοκος, καθώς για τη μεταβολή της φωτεινότητας θα πρέπει να διαβάζεται η φάση του εναλλασσόμενου ρεύματος και πάνω σε αυτή να διαμορφώνεται ο παλμός την ώρα που περνάει από το ZeroCross. Για να επιτευχθεί αυτό, έγινε χρήση δύο γρήγορων ρολογιών για τη δημιουργία γρήγορου PWM σήματος, καθώς και χρήση Interrupt για την ανίχνευση του ZeroCross. Ο οδηγός δέχεται σαν είσοδο συγχρονισμού τη στιγμή που η φάση του εναλλασσόμενου ρεύματος περνάει από το μηδέν και, τότε, ξεκινάει ένα παλμό με το ποσοστό που θέλουμε να ανάψει ο λαμπτήρας και, στη συνέχεια, ρυθμίζει τα περιφερειακά κατάλληλα ώστε να ληφθεί το επιθυμητό αποτέλεσμα Crossing (Zhang, Zeng & Jiang, 2012).



```
zero_crossing.c X
123 // ESP_ERROR_CHECK(gptimer_start((data->lamp1_gptimer));
124 }
125 }
126 }
127
128 void set_lamp_percentage(lamp_num lamp_enum, uint8_t light_percentage){
129
130     /*
131     * Calculate the time on value based on percentage
132     * Max Value:9000
133     * Min value:100
134     */
135
136     gptimer_alarm_config_t lamp1_alarm_timer={
137         .alarm_count=100,
138         .reload_count=0,
139         .flags.auto_reload_on_alarm=1
140     };
141     uint32_t calculated_time_value=0;
142     calculated_time_value = (uint32_t)(15000*light_percentage*(0.01));
143     switch (lamp_enum) {
144         case LAMP_1:
145             zero_cross_user_data.lamp_period[0]=calculated_time_value;
146             lamp1_alarm_timer.alarm_count= calculated_time_value;
147             ESP_ERROR_CHECK(gptimer_set_alarm_action(zero_cross_user_data.lamp1_gptimer,&lamp1_al
148
149             break;
150         default:
151             break;
152     }
153     ESP_LOGI(TAG, "Set dim value %d lamp %d", (int)calculated_time_value, lamp_enum);
154 }
155 }
156
157 void set_lamp_on_off(lamp_num lamp_enum, lamp_condition lamp_cond){
158     switch (lamp_enum) {
159         case LAMP_1:
160             if (lamp_cond){
161                 zero_cross_user_data.lamp_status |= (1<<LAMP_1);
162             }else{
163                 zero_cross_user_data.lamp_status &= ~(1<<LAMP_1);
164             }
165             break;
166         default:
167             break;
168     }
169 }
170
171 void zero_crossing_init()
172 }
```

Εικόνα 7.6.7 Οδηγός Zero Cross dimming

## 7.8 Εφαρμογή στο δίκτυο & Εγκατάσταση

Έχοντας πλέον δύο συσκευές έτοιμες προς χρήση, μπορούμε να προχωρήσουμε στη σύνδεσή τους στο οικιακό δίκτυο για να δούμε πως συμπεριφέρονται σε πραγματικές συνθήκες. Η τοποθέτηση των δοκιμαστικών συσκευών έγινε με απλή αντικατάσταση του παλαιού διακόπτη, όπως βλέπουμε στην εικόνα 7.7.1. Για να τις συνδέσουμε στο δίκτυο πρέπει να τους περάσουμε τα κλειδιά του ασύρματου δικτύου SSID και κωδικό δικτύου, επίσης θέλουμε και τον κωδικό της συσκευής (pairing code) για να περαστεί στο Matter. Η διαδικασία γίνεται μέσω Bluetooth από τον υπολογιστή ή το κινητό, αν διαθέτει ο χρήστης την κατάλληλη εφαρμογή.



**Εικόνα 7.7.1** Εγκατάσταση δοκιμαστικού διακόπτη

Στο παρόν παράδειγμα, έγινε δοκιμή τόσο με εφαρμογή σε κινητό, όσο και με το Chip-tool του οποίου ο κώδικας δίνεται στο αποθετήριο connecthomeip (<https://github.com/project-chip/connectedhomeip>). Παρακάτω θα κάνουμε περιγραφή και των δύο διαδικασιών διασύνδεσης.

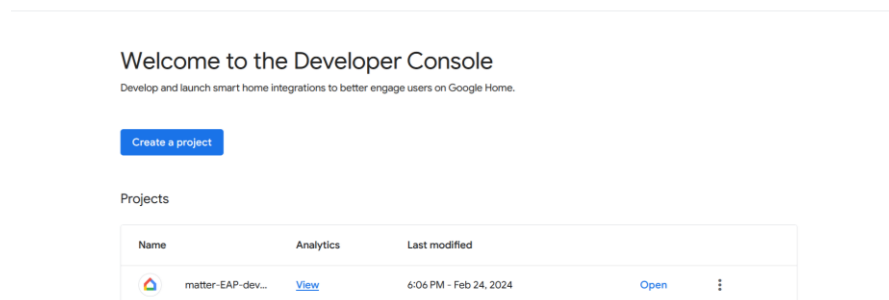
- **Διαδικασία διασύνδεσης με τη χρήση της εφαρμογής.**

Η εφαρμογή που θα χρησιμοποιήσουμε είναι το Google Home το οποίο υποστηρίζει το πρωτόκολλο Matter και διατίθεται στο Play Store της Google. Πριν κάνουμε χρήση της εφαρμογής, θα πρέπει να συνδεθούμε στο Google Developer Console το οποίο μας επιτρέπει να βάλουμε τη συσκευή μας για λόγους ανάπτυξης. Μέσα στο Developer Console κάνουμε δημιουργία ενός Project (εικ. 7.7.2). Κατά τον προγραμματισμό των συσκευών περάσαμε δύο κωδικούς το Vendor ID και Product ID. Τους κωδικούς αυτούς τους περνάμε στο project που φτιάξαμε προηγουμένως (εικ.7.7.3). Πλέον, οι συσκευές είναι έτοιμες για σύνδεση. Τέλος, για να μπορούμε να διαχειριζόμαστε τις συσκευές απομακρυσμένα εκτός τοπικού δικτύου, χρειαζόμαστε ένα από τα διαθέσιμα προϊόντα google nest της Google το οποίο υποστηρίζει το Matter. Αυτό απαιτείται μόνο από τη Google και δεν είναι απαραίτητο





για όλες τις άλλες περιπτώσεις. Η διάταξη δοκιμής φαίνεται στην εικόνα 7.7.5. Τώρα ανοίγουμε τη εφαρμογή στο κινητό και κάνουμε προσθήκη νέας συσκευής Matter. Η εφαρμογή θα ανιχνεύσει αυτόματα την συσκευή μας και θα μας ενημερώσει ώστε να την προσθέσουμε στο δίκτυο. Με την επιλογή της προσθήκης θα μας ζητήσει να σκανάρει το QR code της συσκευής ή θα πρέπει να περάσουμε τον κωδικό χειροκίνητα. Για λόγους ευκολίας καταχωρούμε τον κωδικό με τον QR code τον οποίο έχουμε κολλήσει πάνω στη συσκευή. Τότε η εφαρμογή ξεκινάει την επικοινωνία διασύνδεσης και παραμετροποίησης της συσκευής μας. Εφόσον όλα προχωρήσουν βάσει σχεδίου, θα πρέπει στο τέλος να μας εμφανίσει τη διαθέσιμη συσκευή (εικ. 7.7.4). Παρατηρούμε στην εφαρμογή να προβάλλονται δύο συσκευές, γιατί η συσκευή μας έχει δύο ανεξάρτητες εξόδους για λάμπες. Επίσης, η κατάσταση της δεύτερης εξόδου (light 2) είναι ενεργή και η φωτεινότητα είναι ρυθμισμένη στο 68%.



**Εικόνα 7.7.2** Δημιουργία Project στο Google Developer



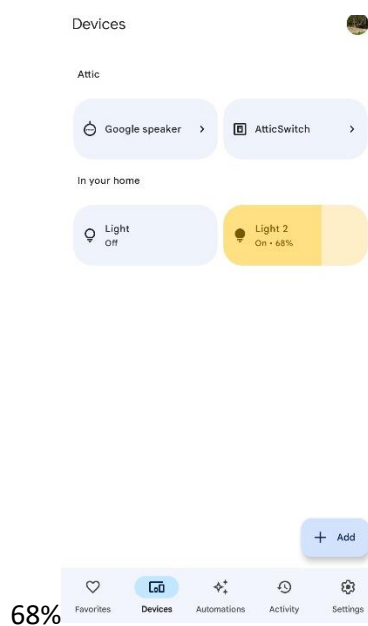
### Matter

Matter-enabled devices that work seamlessly with Google Home and other major ecosystems. [Learn more](#)

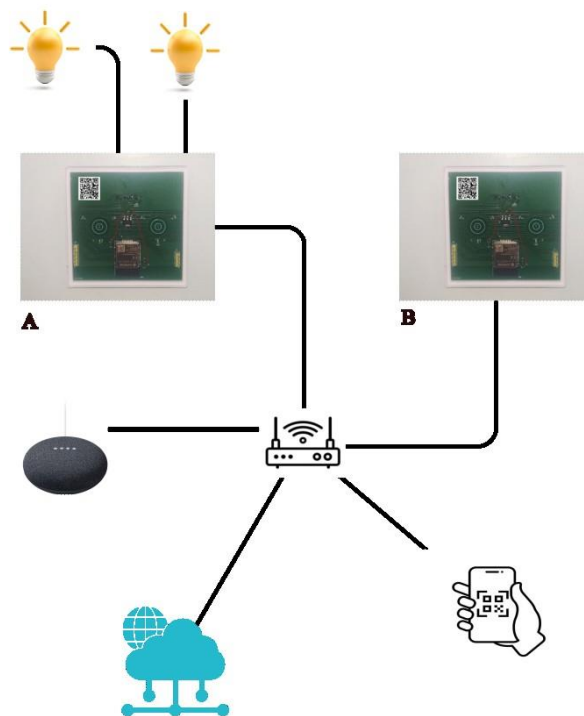
[+ Add Matter integration](#)

Name	Type	Vendor ID	Product ID	Last modified	
Switch	Switch	0xffff2	0x8004	12:20 PM - Oct 14, 2023	<a href="#">Open</a>
Plugs	Outlet	0xffff3	0x8011	8:52 PM - Oct 7, 2023	<a href="#">Open</a>
Lights	Light	0xffff1	0x8001	1:34 PM - Oct 15, 2023	<a href="#">Open</a>
Temp-sensor	Sensor	0xffff1	0x8000	11:22 PM - Oct 7, 2023	<a href="#">Open</a>

**Εικόνα 7.7.3** Τοποθέτηση συσκευών στο Project



**Εικόνα 7.7.4** Διαθέσιμη συσκευή στην εφαρμογή Google Home με το όνομα light & light 2.



Εικόνα 7.7.5 Τυπική διάταξη σύνδεσης με έξυπνο κινητό τηλέφωνο μέσω υπηρεσιών cloud

- **Διαδικασία διασύνδεσης μέσω υπολογιστή (Chip-tool).**

Η διαδικασία σύνδεσης των συσκευών από τον υπολογιστή είναι αρκετά πιο περίπλοκη και προορίζεται για λόγους ανάπτυξης και δοκιμών και όχι για χρήση σε τελικό προϊόν. Στο παρόν παράδειγμα, θα κάνουμε χρήση του Chip-tool (<https://github.com/project-chip/connectedhomeip>) για να αναδείξουμε σε βάθος τις λειτουργίες του Matter. Το εργαλείο chip-tool (εικόνα 7.7.6) καλύπτει όλες τις επιλογές και δυνατότητες του πρωτοκόλλου, κάτι το οποίο οι κατασκευαστές δεν είναι υποχρεωμένοι να καλύπτουν. Με τον τρόπο αυτό, θα αποκτήσουμε μια καλύτερη εικόνα των επιλογών που διαθέτει η τεχνολογία Matter, αλλά παράλληλα θα κάνουμε και δοκιμή στην συσκευή μας, ώστε να ελέγξουμε αν οι προδιαγραφές που ορίσαμε είναι λειτουργικές. Η διαδικασία με τη χρήση του chip-tool (<https://github.com/project-chip/connectedhomeip>) γίνεται μέσα από γραμμή εντολών σε περιβάλλον Linux. Για να εκτελέσουμε το chip-tool στο υπολογιστή πρώτα πρέπει να κάνουμε build τον πηγαίο κώδικα που υπάρχει στο αποθετήριο connecthomeip (<https://github.com/project-chip/connectedhomeip>).



```
* valveconfigurationandcontrol
* wakeonlan
* wifinetworkdiagnostics
* windowcovering
+-----+
+-----+
| Command sets:
+-----+
* any
  - Commands for sending IM messages based on cluster id, not cluster name.
* delay
  - Commands for waiting for something to happen.
* discover
  - Commands for device discovery.
* groupsettings
  - Commands for manipulating group keys and memberships for chip-tool itself.
* icd
  - Commands for client-side ICD management.
* pairing
  - Commands for commissioning devices.
* payload
  - Commands for parsing and generating setup payloads.
* sessionmanagement
  - Commands for managing CASE and PASE session state.
* subscriptions
  - Commands for shutting down subscriptions.
* interactive
  - Commands for starting long-lived interactive modes.
* storage
  - Commands for managing persistent data stored by chip-tool.
+-----+
>>> |
```

Εικόνα 7.7.6 Περιβάλλον Chip-tool

Για τη σύνδεση των συσκευών στο τοπικό δίκτυο θα πρέπει να δοθεί η εντολή pairing για κάθε συσκευή. Η σύνταξη της εντολής περιγράφεται στην εικόνα 7.7.7. Πιο αναλυτικά η σύνταξη της εντολής pairing για περίπτωση δικτύου WiFi έχει ως εξής:

```
pairing ble-wifi <node_id> <ssid> <password> <pin_code> <discriminator>
```

#### Αναλυτικά

**node\_id:** Είναι ο 16 bit αριθμός που έχουμε ορίσει κατά την ανάπτυξη του προϊόντος

**ssid:** Είναι το όνομα του δικτύου.

**Password:** Είναι ο κωδικός του δικτύου

**Pin\_code:** Είναι ο κωδικός που ορίσαμε κατά την ανάπτυξη

**Discriminator:** Είναι ο αριθμός τύπου συσκευής που ορίσαμε κατά την ανάπτυξη.

Παράδειγμα περιεχομένου των παραπάνω δεδομένων που τραβήξαμε από τη συσκευή

254 [DL] Device Configuration:

I: 257 [DL] Serial Number: TEST\_SN

I: 260 [DL] Vendor Id: 65521 (0xFF1)



I: 263 [DL] Product Id: 32768 (0x8000)

I: 267 [DL] Hardware Version: 1

I: 270 [DL] Setup Pin Code: 20202021

I: 273 [DL] Setup Discriminator: 3840 (0xF00)

I: 278 [DL] Manufacturing Date: (not set)

I: 281 [DL] Device Type: 65535 (0xFFFF)

```
Commands:
* unpair
* code
* code-paseonly
* code-wifi
* code-thread
* ble-wifi
* ble-thread
* softap
* already-discovered
* already-discovered-by-index
* already-discovered-by-index-with-wifi
* already-discovered-by-index-with-code
* onnetwork
* onnetwork-short
* onnetwork-long
* onnetwork-vendor
* onnetwork-commissioning-mode
* onnetwork-commissioner
* onnetwork-device-type
* onnetwork-instance-name
* start-udc-server
* open-commissioning-window
* get-commissioner-node-id
* get-commissioner-root-certificate
  - Returns a base64-encoded RCAC prefixed with: 'base64:'
* issue-noc-chain
  - Returns a base64-encoded NOC, ICAC, RCAC, and IPK prefixed with: 'base64:'
>>>
```

**Εικόνα 7.7.7** Επιλογές εντολής pairing

Πλέον και αφού οι συσκευές έχουν εγγραφεί στο τοπικό δίκτυο μπορούμε να εκτελέσουμε το δεύτερο πακέτο εντολών με τη χρήση του Chip-Tool το οποίο αφορά την απευθείας διασύνδεση μεταξύ τους. Οι συσκευές μετά από αυτό το στάδιο θα είναι σε θέση να στέλνουν πληροφορίες η μία στην άλλη, χωρίς την προϋπόθεση ύπαρξης κάποιου ενδιάμεσου μηχανισμού διαχείρισης των δεδομένων. Οι εντολές που θα δώσουμε είναι οι εξής:

Πρώτα γράφουμε τα δεδομένα acl (εικόνα 7.7.8) στον διακόπτη A που αφορούν τις ιδιότητες του διακόπτη B.

```
accesscontrol write acl attribute-values destination-id endpoint-id
```



## Αναλυτικά

**attribute-values:** Λίστα με τα χαρακτηριστικά που θέλουμε να γράψουμε στη συσκευή.

**destination-id:** Το id που δώσαμε στη συσκευή κατά την ανάπτυξη.

**endpoint-id:** Το id που δώσαμε στη συσκευή κατά την ανάπτυξη.

## Παράδειγμα εντολής

```
accesscontrol write acl [{"privilege": 5, "authMode": 2, "subjects": [ 112233, 29315 ], "targets": null}] 0x5164 0x0
```

Η παράμετρος attribute-values γράφει στην συσκευή A τα στοιχεία της B όπως περιγράφονται στο πεδίο subject": [ 112233, 29315 ], οι αριθμοί 112233, 29315 είναι το CaseAdminNode, node-id.

```
accesscontrol write acl attribute-values destination-id endpoint-id ignored-for-group-commands [--paa-trust-store-path] [--cd-trust-store-path] [--commsioner-name] [--commissi
sized-certs] [--only-allow-trusted-cd-keys] [--trace-file] [--trace-log] [--trace-decode] [--trace-to] [--ble-adapter] [--storage-directory] [--commsioner-vendor-id] [--tinedInter
yWaitForMs] [--data-version] [--suppressResponse] [--repeat-count] [--repeat-delay-ms] [--timeout]
attribute-values:
  Comma-separated list of attribute values to write.
destination-id:
  64-bit node or group identifier.
  Group identifiers are detected by being in the 0xFFFF'FFFF'FFFF'xxxx range.
endpoint-id-ignored-for-group-commands:
  Endpoint the command is targeted at.
[--paa-trust-store-path]:
  Path to directory holding PAA certificate information. Can be absolute or relative to the current working directory.
[--cd-trust-store-path]:
  Path to directory holding CD certificate information. Can be absolute or relative to the current working directory.
[--commsioner-name]:
  Name of fabric to use. Valid values are "alpha", "beta", "gamma", and integers greater than or equal to 4. The default if not specified is "alpha".
[--commsioner-noid]:
  The node id to use for chip-tool. If not provided, kTestControllerNodeid (112233, 0x18669) will be used.
[--use-max-sized-certs]:
  Maximize the size of operational certificates. If not provided or 0 ("false"), normally sized operational certificates are generated.
[--only-allow-trusted-cd-keys]:
  Only allow trusted CD verifying keys (disallow test keys). If not provided or 0 ("false"), untrusted CD verifying keys are allowed. If 1 ("true"), test keys are disallowed.
[--trace-to]:
  Trace destinations, comma-separated (json:log, json:<path>, perfetto, perfetto:<path>)
[--storage-directory]:
  Directory to place chip-tool's storage files in. Defaults to $TMPDIR, with fallback to /tmp
[--commsioner-vendor-id]:
  The vendor id to use for chip-tool. If not provided, chip:VendorId::TestVendor1 (65521, 0xFFFF1) will be used.
[--tinedInteractionTimeoutMs]:
  If provided, do a tined write with the given tined interaction timeout. See "7.6.10. Tined Interaction" in the Matter specification.
[--busyWaitForMs]:
  If provided, block the main thread processing for the given time right after sending a command.
[--data-version]:
  Comma-separated list of data versions for the clusters being written.
>>> |
```

## Εικόνα 7.7.8 Επιλογές εντολής ACL

Υστερα γράφουμε τη διασύνδεση binding στη συσκευή B. Με αυτό τον τρόπο, η συσκευή B ξέρει το είδος της εντολής που πρέπει να στείλει στην A. Στην εικόνα 7.7.9 βλέπουμε την εντολή στο Chip-tool, για την σύνταξη της έχουμε:

```
binding write binding attribute-values destination-id endpoint-id
```

**attribute-values:** Λίστα με τα χαρακτηριστικά που θέλουμε να γράψουμε στη συσκευή.

**destination-id:** Το id της συσκευής που θέλουμε να γράψουμε τα attribute-values.



**endpoint-id:** Τον αριθμό του endpoint που θέλουμε να γράψουμε τα attribute-values.

Παράδειγμα εντολής:

```
binding write binding '[{"node":20836, "endpoint":1, "cluster":6}]' 0x7283 0x1
```

Η παράμετρος attribute-values γράφει στην συσκευή B τα παρακάτω περιεχόμενα:

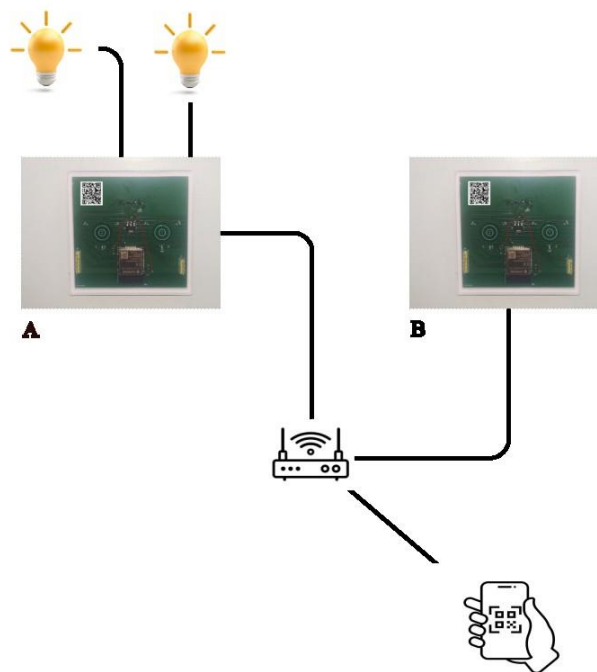
**node-id:** Το id που δώσαμε στη συσκευή κατά την ανάπτυξη.

**Endpoint:** Το id που δώσαμε στη συσκευή κατά την ανάπτυξη.

**Cluster:** Το cluster του Endpoint που θέλουμε να τροποποιήσουμε.

```
binding write binding attribute-values destination-id endpoint-id-ignored-for-group-commands [--paa-trust-store-path] [--cd-trust-store-path] [--commsioner-name] [--commsioner-nodetid] [--only-allow-trusted-cd-keys] [--trace-file] [--trace-log] [--trace-decode] [--trace-to] [--ble-adapter] [--storage-directory] [--commissioner-vendor-id] [--tinedInteractionTimeoutMs] [--data-version] [--suppressResponse] [--repeat-count] [--repeat-delay-ms] [--timeout]
attribute-values:
  Comma-separated list of attribute values to write.
destination-id:
  64-bit node or group identifier.
  Group identifiers are detected by being in the 0xFFFF'FFFF'FFFF'xxxx range.
endpoint-id-ignored-for-group-commands:
  Endpoint the command is targeted at.
[--paa-trust-store-path]:
  Path to directory holding PAA certificate information. Can be absolute or relative to the current working directory.
[--cd-trust-store-path]:
  Path to directory holding CD certificate information. Can be absolute or relative to the current working directory.
[--commissioner-name]:
  Name of fabric to use. Valid values are "alpha", "beta", "gamma", and integers greater than or equal to 4. The default if not specified is "alpha".
[--commissioner-nodetid]:
  The node id to use for chip-tool. If not provided, kTestControllerNodeId (112233, 0x1B669) will be used.
[--use-max-sized-certs]:
  Maximize the size of operational certificates. If not provided or 0 ("false"), normally sized operational certificates are generated.
[--only-allow-trusted-cd-keys]:
  Only allow trusted CD verifying keys (disallow test keys). If not provided or 0 ("false"), untrusted CD verifying keys are allowed. If 1 ("true"), test keys are disallowed.
[--trace-to]:
  Trace destinations, comma-separated (json:log, json:<path>, perfetto, perfetto:<path>)
[--storage-directory]:
  Directory to place chip-tool's storage files in. Defaults to $TMPDIR, with fallback to /tmp
[--commissioner-vendor-id]:
  The vendor id to use for chip-tool. If not provided, chip::VendorId::TestVendor1 (65521, 0xFFFF1) will be used.
[--tinedInteractionTimeoutMs]:
  If provided, do a timed write with the given timed interaction timeout. See "7.6.10. Timed Interaction" in the Matter specification.
[--busyWaitForMs]:
  If provided, block the main thread processing for the given time right after sending a command.
[--data-version]:
  Comma-separated list of data versions for the clusters being written.
>>>
```

Εικόνα 7.7.9 Επιλογές εντολής binding



**Εικόνα 7.7.10**

Τυπική διάταξη σύνδεσης με έξυπνο κινητό τηλέφωνο χωρίς πρόσβαση στο διαδίκτυο.

### **7.9 Κατανάλωση ενέργειας**

Η κατανάλωση ενέργειας της δοκιμαστικής συσκευής εξαρτάται από τις παρακάτω τρεις παραμέτρους:

1. Την κατανάλωση των ηλεκτρονικών περιφερειακών πάνω στο ολοκληρωμένο κύκλωμα.
2. Την επεξεργαστική μονάδα (ESP32) που έχουμε επιλεγεί για το κύκλωμα.
3. Τον τρόπο λειτουργίας της συσκευής, αν δηλαδή απαιτείται συνεχής παροχή ενέργειας ή υποστηρίζονται καταστάσεις (modes) εξοικονόμησης ενέργειας και πόση μπορεί να είναι αυτή.

Το παρόν παράδειγμα δεν σχεδιάστηκε με την ενεργειακή κατανάλωση σαν γνώμονα, παρόλα αυτά, έγινε μια ανάλυση της κατανάλωσης στα παρακάτω στάδια. Η κατανάλωση του τροφοδοτικού είναι στα 620 $\mu$ A, αυτό συνεπάγεται περίπου μια κατανάλωση 0.14 watt στα 220 Volt. Τα περιφερικά του κυκλώματος ελέγχου των λαμπών έχουν κατανάλωση 3.24mA, αυτό συνεπάγεται κατανάλωση περίπου 0.71 watt στα 220 Volt. Η κατανάλωση του επεξεργαστή είναι πιο δύσκολη να μετρηθεί γιατί μεταβάλλεται ανάλογα με την κατάσταση λειτουργίας (εκπομπή, λήψη, ανοιχτά





περιφερειακά), όμως μια μέση κατανάλωση ενός κύκλου λειτουργίας μετρήθηκε ~100mA στα 5 Volt ,αυτό συνεπάγεται περίπου 0.5 Watt.

Από τα παραπάνω καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι η συσκευή έχει μια κατανάλωση συνολικά 1.35 watt, η οποία είναι αρκετά μεγάλη σε αναλογία με το είδος της λειτουργίας της. Αν θέταμε τον μικροελεγκτή σε κατάσταση χαμηλής κατανάλωσης, σύμφωνα με την εικόνα 7.7.5, η συνολική κατανάλωση θα ήταν κάτω από 1 watt. Ο μικροελεγκτής ESP32 έχει αρκετά μεγάλη κατανάλωση σύμφωνα με την εικόνα 7.7.6., καθώς με την εφαρμογή οποιαδήποτε κατάστασης χαμηλής κατανάλωσης πέραν του Modem-Sleep δεν έχουμε επικοινωνία με το δίκτυο καθώς το σύστημα επικοινωνίας απενεργοποιείται. Επιπλέον, το κύκλωμα υλικού για την διαχείριση των λαμπτήρων δέχεται σχεδιαστική αναβάθμιση για πιο χαμηλή κατανάλωση.

Power mode	Description		Power Consumption
Active (RF working)	Wi-Fi Tx packet		Please refer to Table 4-4 for details.
	Wi-Fi/BT Tx packet		
	Wi-Fi/BT Rx and listening		
Modem-sleep	The CPU is powered up.	240 MHz *	Dual-core chip(s) 30 mA ~ 68 mA
			Single-core chip(s) N/A
		160 MHz *	Dual-core chip(s) 27 mA ~ 44 mA
			Single-core chip(s) 27 mA ~ 34 mA
Light-sleep		Normal speed: 80 MHz	Dual-core chip(s) 20 mA ~ 31 mA
			Single-core chip(s) 20 mA ~ 25 mA
Deep-sleep	The ULP coprocessor is powered up.		0.8 mA
Hibernation	ULP sensor-monitored pattern		150 μA
	RTC timer + RTC memory		100 μA @1% duty
Power off	RTC timer only		10 μA
	CHIP_PU is set to low level, the chip is powered down.		5 μA
			1 μA

Εικόνα 7.7.5 Κατανάλωση ενέργειας ανάλογα της επιλεγμένης κατάστασης λειτουργίας στο μικροελεγκτή (ESP32 Datasheet)

Work Mode	Min	Typ	Max	Unit
Transmit 802.11b, DSSS 1 Mbps, POUT = +19.5 dBm	—	240	—	mA
Transmit 802.11g, OFDM 54 Mbps, POUT = +16 dBm	—	190	—	mA
Transmit 802.11n, OFDM MCS7, POUT = +14 dBm	—	180	—	mA
Receive 802.11b/g/n	—	95 ~ 100	—	mA
Transmit BT/BLE, POUT = 0 dBm	—	130	—	mA
Receive BT/BLE	—	95 ~ 100	—	mA

Εικόνα 7.7.6 Κατανάλωση ενέργειας μικροελεγκτή ανάλογα την κατάσταση επικοινωνίας



## 8 Αποτελέσματα και συμπεράσματα

### Εισαγωγή

Στο παρόν κεφάλαιο θα γίνει μία παρουσίαση των κύριων ευρημάτων που θα ακολουθείται από μία σύντομη ερμηνεία τους. Έπειτα, παρατίθενται τα συμπεράσματα που εξήχθησαν όσον αφορά τα πλεονεκτήματα της χρήσης του πρωτοκόλλου Matter. Τέλος, παρουσιάζονται μερικές προτάσεις βελτίωσης γύρω από το Matter και εντοπίζονται επιπρόσθετοι τομείς έρευνας που θα μπορούσε να πραγματοποιηθεί γύρω από αυτό.

#### 8.1 Παρουσίαση αποτελεσμάτων

Ακολουθώντας την διαδικασία ανάπτυξης που παρουσιάστηκε λεπτομερώς στο προηγούμενο κεφάλαιο (βλ. Κεφάλαιο 7) πραγματοποιήθηκε η δημιουργία και ο προγραμματισμός δύο συσκευών Α και Β με στόχο την αυτοματοποίηση λαμπών χωρίς τη χρήση του διαδικτύου. Η μία εκ των συσκευών είναι σκέτος διακόπτης, ενώ η δεύτερη είναι διακόπτης αλλά κάνει και έλεγχο των λαμπτήρων, και οι δύο ωστόσο υποστηρίζουν το πρωτόκολλο Matter. Όσον αφορά τον προγραμματισμό των συσκευών, η πρόσβαση στις απαραίτητες βιβλιοθήκες για την ανάπτυξη κώδικα ήταν εύκολη και άμεση καθώς αυτές ανακτήθηκαν από το αποθετήριο Matter. Οι οδηγίες που προσφέρονται στο αποθετήριο είναι κατανοητές και γεμάτες χρήσιμες πληροφορίες που βοηθούν κατά την ανάπτυξη. Όσον αφορά την υλοποίηση, με τη βοήθεια της κατάλληλης εφαρμογής σε κινητή συσκευή εγκαταστάθηκαν οι συσκευές και αναγνωρίστηκαν μεταξύ τους ώστε να συνδεθούν. Ο εκάστοτε χρήστης είναι σε θέση να τις παραμετροποιήσει μέσω εφαρμογής με αυτόν τον τρόπο, να προχωρήσει σε τοποθέτηση και να κάνει διαχείριση των λαμπτήρων εύκολα και γρήγορα χωρίς να ακολουθήσει οποιαδήποτε άλλη διαδικασία

#### 8.2 Ερμηνεία αποτελεσμάτων

Συνοψίζοντας, το υλοποιημένο παράδειγμα εφαρμογής του πρωτοκόλλου Matter, κατά το οποίο οι δύο διακόπτες είναι σε θέση να επικοινωνούν και να ανταλλάσσουν δεδομένα μεταξύ τους, ανέδειξε τις δυνατότητες του εν λόγω πρωτοκόλλου και τους τρόπους με το οποίο μπορεί να συμβάλει αυτό στην αντιμετώπιση του προβλήματος άμεσης επικοινωνίας μεταξύ διάχυτων συσκευών.



Πιο συγκεκριμένα, η σημαντικότερη δυνατότητα που προσφέρει αφορά την απευθείας επικοινωνία μεταξύ των συσκευών στο ίδιο δίκτυο χωρίς την ανάγκη παρουσίας κάποιου ενδιάμεσου εξυπηρετητή, όπως συνέβαινε έως τώρα. Με τον τρόπο αυτό, η ανταλλαγή δεδομένων πραγματοποιείται χωρίς να υπάρχει δέσμευση πρόσβασης στο διαδίκτυο, αλλά και διατηρώντας τα προσωπικά δεδομένα σε επίπεδο τοπικού δικτύου. Το γεγονός αυτό καθιστά το Matter ιδανικό για συστήματα αυτοματισμού τόσο σε οικιακό, όσο και σε βιομηχανικό επίπεδο. Έπειτα, το πρωτόκολλο αυτό παρέχει αποτελεσματική ασφάλεια και εύκολη εγκατάσταση, αλλά και λειτουργία. Βέβαια, είναι σημαντικό να αναφερθεί ότι βασική προϋπόθεση αποτελεί η ύπαρξη μιας εφαρμογής κεντρικού ελέγχου που επιτρέπει την εισαγωγή, εξαγωγή και τροποποίηση των συσκευών στο δίκτυο.

### 8.3 Συμπεράσματα

Το τελικό προϊόν πέτυχε τους στόχους του και μας έδειξε τις δυνατότητες του πρωτοκόλλου Matter, καθώς και τις ευκολίες τις οποίες μπορεί να προσφέρει τόσο κατά τον σχεδιασμό του , αλλά και κατά την εφαρμογή του σε πραγματικές συνθήκες. Αποδείχτηκε ένα αντάξιο πρωτόκολλο στο χώρο του Διαδικτύου των Πραγμάτων, το οποίο ήρθε για να λύσει χρόνια σοβαρά προβλήματα, όπως η απευθείας διασύνδεση και επικοινωνία των διάχυτων συσκευών. Αυτό δεν σημαίνει, εντούτοις, ότι δεν υπάρχει χώρος για περαιτέρω βελτιώσεις. Παρακάτω ακολουθεί ο πίνακας 8.1 που συνοψίζει τόσο τα θετικά, όσο και τα αρνητικά στοιχεία του Matter, στη συνέχεια, εξετάζονται τα θετικά και αρνητικά σημεία με περισσότερη λεπτομέρεια.

Πρωτόκολλο Matter	
Θετικά	Αρνητικά
Διαλειτουργικότητα	Έκθεση προσωπικών δεδομένων
Σύντομος χρόνος ανάπτυξης	Περιορισμός αγοράς
Καλή εμπειρία χρήστη	
Ανοιχτός Κώδικας	
Εξατομίκευση	
Ασφάλεια	

Πίνακας 8.1 Σύνοψη θετικών και αρνητικών αποτελεσμάτων πρωτοκόλλου Matter.

Πιο αναλυτικά, τα παραπάνω στοιχεία παρουσιάζονται ως εξής:

Θετικά συμπεράσματα:



- **Διαλειτουργικότητα:** Πράγματι, το πρωτόκολλο Matter μπορεί να χαρακτηριστεί από υψηλή διαλειτουργικότητα, καθώς δεν έχει περιορισμό στο κομμάτι της επικοινωνίας μεταξύ των συσκευών. Παρέχει όλα τα εργαλεία που χρειάζεται κανείς για να αναπτύξει συσκευές και εφαρμογές, οι οποίες είναι ανεξάρτητες από τον εκάστοτε κατασκευαστή και προσφέρουν πολλές επιλογές και παραμέτρους που είναι σχετικά ευκολά διαχειρίσιμες κατά την ανάπτυξη ενός προϊόντος. Όπως είδαμε και μέσα από το παράδειγμα στο κεφάλαιο 7 το Matter εστιάζει να μειώσει τον κατακερματισμό γύρω από το διαδίκτυο των πραγμάτων, κάτι που επιβεβαιώνεται και από την μελέτη του Loos (2023) αλλά και από τους Belli, Barsocchi και Palumbo (2023).
- **Χρόνος ανάπτυξης:** Όπως αναφέρθηκε και στην παρουσίαση του παραδείγματος ανάπτυξης (Βλ. Κεφάλαιο 7), μέσα από μια σειρά εργαλείων που δίνονται στο αποθετήριο “connecthomeip” μπορεί κάποιος πολύ ευκολά να ξεκινήσει την ανάπτυξη μιας συσκευής με το πρωτόκολλο Matter. Τα εργαλεία που δίνονται προσφέρουν αυτόματη δημιουργία κώδικα για το πρωτόκολλο, αλλά και ιδιαίτερα καλοσχεδιασμένα προγράμματα δοκιμών των υπό ανάπτυξη συσκευών. Επιπλέον, παρέχεται πλήρες, καλογραμμμένο εγχειρίδιο για το πρωτόκολλο, καθώς και πληθώρα δοκιμαστικών εφαρμογών για να ξεκινήσει η ανάπτυξη.
- **Εμπειρία χρήστη:** Τόσο μέσα από την τυποποίηση, όσο και τη διαλειτουργικότητα, το Matter προσφέρει μια αρκετά καλή εμπειρία χρήστη. Τα προϊόντα τα οποία είναι συμβατά με το πρωτόκολλο Matter φέρουν την αντίστοιχη ένδειξη η οποία ενημερώνει τον εν δυνάμει χρήστη ότι η εκάστοτε συσκευή ρυθμίζεται και λειτουργεί όπως οι προηγούμενες εγκεκριμένες συσκευές Matter που ήδη διαθέτει. Αυτό σημαίνει ότι δεν χρειάζεται να αποκτήσει νέες γνώσεις και εμπειρία για κάθε νέο προϊόν που αγοράζει, ανεξάρτητα από τον κατασκευαστή από τον οποίο προέρχεται. Κάτι ακόμα που γνωρίζει είναι ότι οι συσκευές αυτές είναι και πλήρως συμβατές μεταξύ τους.
- **Ανοιχτός Κώδικας:** Όπως αναφέρθηκε και σε προηγούμενα άρθρα, το Matter είναι ένα ανοιχτό πρωτόκολλο επικοινωνίας και ο πηγαίος κώδικας του είναι ελεύθερος στο διαδίκτυο, κάτι στο οποίο ο καθένας μπορεί να συνεισφέρει για να βελτιωθεί.



- **Εξατομίκευση:** Το πρωτόκολλο προσφέρει δυνατότητα δημιουργίας νέων τύπων συσκευών που θα καλύπτουν όλες τις πτυχές των προϊόντων. Κάθε νέος τύπος συσκευής εγκρίνεται από τον οργανισμό διαχείρισης CSA του Matter, και μετά την έγκριση ο οργανισμός ενημερώνει μια βάση δεδομένων στην οποία έχουν πρόσβαση όλοι οι ενδιαφερόμενοι (Connectivity Standards Alliance Document).
- **Ασφάλεια:** Το Matter είναι βασισμένο σε υψηλά στάνταρ κρυπτογράφησης και ασφάλειας, τα οποία προστατεύουν τα δεδομένα που μεταφέρονται στο δίκτυο. Χρησιμοποιεί τις τελευταίες τεχνολογίες κρυπτογράφησης οι οποίες το καθιστούν αρκετά ανθεκτικό σε εξωτερικές επιθέσεις. Τα υψηλά επίπεδα ασφάλειας που παρέχει το Matter επιβεβαιώνονται και σε προγενέστερο άρθρο (Loos, 2023), όπου αναγνωρίστηκαν οι δυνατότητες του πρωτοκόλλου λαμβάνοντας, ωστόσο, υπόψιν την ύπαρξη ορισμένων κενών ασφαλείας.

Αρνητικά συμπεράσματα:

- **Προσωπικά δεδομένα:** Οι κατασκευαστές θα πρέπει να παρέχουν πλήρη διαφάνεια για την απόκτηση και χρήση των προσωπικών δεδομένων, καθώς οι συσκευές είναι σε θέση να αντλήσουν πληροφορίες άλλων συσκευών στο τοπικό δίκτυο. Έτσι, τα προσωπικά δεδομένα των χρηστών εκτίθενται σε κίνδυνο. Αυτό συμβαίνει γιατί κάθε συσκευή η οποία βρίσκεται στο υποδίκτυο (fabric) Matter μπορεί να παραμετροποιήσει κατάλληλα άλλες συσκευές μέσα από μια σειρά εντολών αποκτώντας έτσι πρόσβαση σε πληροφορίες (Loos, 2023).
- **Περιορισμός αγοράς:** Για τη χρήση του πρωτοκόλλου οι κατασκευαστές πρέπει να καταβάλουν ένα μεγάλο χρηματικό ποσό κατά την ανάπτυξη, όπως αναφέρεται και στο κεφάλαιο 6, κάτι το οποίο οδηγεί σε μονοπωλιακό χαρακτήρα, καθώς τόσο οι μικρές, όσο και οι αναπτυσσόμενες επιχειρήσεις, δεν είναι σε θέση να παρέχουν τόσο μεγάλα χρηματικά ποσά. Σε αντίστοιχο συμπέρασμα καταλήγουν και οι Belli, Barsocchi και Palumbo (2023) που αναφέρουν ότι το γεγονός ότι το πρωτόκολλο Matter έχει ελεύθερες προδιαγραφές δεν σημαίνει ότι δεν είναι ελεγχόμενο από τους εμπλεκόμενους φορείς.

Κλείνοντας είδαμε ότι το Matter είναι ένα πολλά υποσχόμενο πρωτόκολλο επικοινωνίας το οποίο σε βάθος χρόνου θα μπορούσε να αξιοποιηθεί από όλες τις



συσκευές IoT και όντως να εδραιωθεί ως ένα ενιαίο πρωτόκολλο διασύνδεσης, με τα πιο δυνατά χαρακτηριστικά του να είναι ότι κάνει χρήση αποδεδειγμένων τεχνολογιών επικοινωνίας όπως το TCP και το IP. Πάνω στην επικοινωνία IP όπου ήδη βασίζεται το παγκόσμιο διαδίκτυο (Igulu, Onuodu & Singh, 2024), το Matter είναι σε θέση να παρέχει ασφαλή και απευθείας διασύνδεση των συσκευών δημιουργώντας ένα καταναμημένο δίκτυο. Επίσης διαθέτει τις απαραίτητες μεθόδους ασφάλειας και κρυπτογράφησης καθιστώντας το ανθεκτικό σε εξωτερικές επιθέσεις (Βλ. Κεφάλαιο 6 υποενότητα 6.3).

#### 8.4 Προτάσεις βελτίωσης και μελλοντική έρευνα

Τα οφέλη που προσφέρει το πρωτόκολλο Matter όπως περιγράφονται και παραπάνω είναι αδιαμφισβήτητα, ωστόσο συνεχίζουν να υπάρχουν περιθώρια περαιτέρω έρευνας και εξέλιξης των δυνατοτήτων του. Βελτιώσεις και περαιτέρω έρευνα θα μπορούσαν να αφορούν τους παρακάτω τομείς:

- **Υβριδική Επικοινωνία:** Με την ενσωμάτωση νέων τεχνολογιών, όπως τα νευρωνικά συστήματα, οι διάχυτες συσκευές θα μπορούσαν να προσαρμόζονται στο περιβάλλον το οποίο βρίσκονται αυτόματα. Επίσης, το πρόβλημα κατακερματισμού που υπάρχει την επικοινωνία μεταξύ τους θα μπορούσε πιθανώς να λυθεί με την χρήση της τεχνητής νοημοσύνης. Πιο συγκεκριμένα, οι διάχυτες συσκευές θα είναι σε θέση παρατηρώντας άλλες συσκευές και τον τρόπο που επικοινωνούν να εκπαιδεύονται και οι ίδιες ώστε να συνδέονται με τις γύρω συσκευές, δημιουργώντας έτσι νέους διαύλους επικοινωνίας για κάθε περίπτωση ξεχωριστά (Kumari, Allanki & Jamberi, 2023).
- **Ανάπτυξη Προηγμένου Matter για Sub-GHz Δίκτυα:** Περαιτέρω έρευνα σχετικά με την ανάπτυξη και βελτίωση του Matter για τη λειτουργία σε Sub-GHz μέσω του πρωτοκόλλου IEEE 802.11ah, μπορεί να περιλαμβάνει την εξέταση νέων τεχνολογιών για την αύξηση της εμβέλειας και της αξιοπιστίας της επικοινωνίας (Alam, Ahmed, Matam, Barbhuiya 2024). Παράλληλα, η μελέτη της απόδοσης του Matter σε διάφορες συνθήκες όπως οι εξωτερικοί χώροι και οι πυκνοκατοικημένες περιοχές μπορεί να οδηγήσει σε βελτιώσεις της τεχνολογίας και στην ανάπτυξη πιο αποτελεσματικών λύσεων.



## 8.5 Τελικά σχόλια

Η παρούσα διπλωματική εργασία προσπάθησε να αναδείξει την πολυτιμότητα του πρωτοκόλλου Matter για τον κόσμο του Διαδικτύου των Πραγμάτων στη σύγχρονη κοινωνία. Με βάση την παρουσίαση των αποτελεσμάτων και των προτάσεων βελτίωσης για τις δύο συσκευές που λειτουργούν με πρωτόκολλο Matter, κάποια τελικά συμπεράσματα θα μπορούσαν να περιλαμβάνουν τα εξής:

- **Εύκολη Διαχείριση και Χρήση για τον Τελικό Χρήστη:** Η υιοθέτηση των προτεινόμενων βελτιώσεων στις συσκευές διακόπτη και διαχειριστή συσκευών που χρησιμοποιούν πρωτόκολλο Matter εξασφαλίζει την εύκολη διαχείριση και τη βέλτιστη εκμετάλλευση τους από τους τελικούς χρήστες.
- **Συνεισφορά στην Έξυπνη Πόλη:** Η εφαρμογή του πρωτοκόλλου Matter πέρα από οικιακή χρήση θα μπορούσε να δει και εφαρμογή και σε μεγάλες δομές όπως δρόμους δημόσια κτήρια, συγκοινωνία κλπ. Συμβάλλοντας στην εύκολη διασύνδεσης των διάφορων εφαρμογών που θα μπορούσαν να υποστηρίξουν σε μια έξυπνη πόλη.

Συνολικά, η εφαρμογή των προτάσεων βελτίωσης των συσκευών με πρωτόκολλο Matter δεν προάγει μόνο την τεχνολογική καινοτομία αλλά επίσης συμβάλλει στη δημιουργία πιο έξυπνων και βιώσιμων πόλεων, προσφέροντας ταυτόχρονα εύκολες και αποτελεσματικές λύσεις για τους χρήστες.



## 9 Αναφορές

- Alam, M., Ahmed, N., Matam, R., & Barbhuiya, F. A. (2024). Analysing the suitability of IEEE 802.11ah for next generation Internet of Things: A comparative study. *Ad Hoc Networks*, 156, 103437. 10.1016/j.adhoc.2024.103437.
- Alasbali, N., Azzuhri, S. R. B., Salleh, R. B., Kiah, M. L. M., Shariffuddin, A. A. A. A., Kamel, N. M. I. B. N. M., & Ismail, L. (2022). Rules of smart IoT networks within smart cities towards blockchain standardization. *Mobile Information Systems*, 2022, 1-11.
- Aldossari, M. Q., & Sidorova, A. (2020). Consumer acceptance of Internet of Things (IoT): Smart home context. *Journal of Computer Information Systems*, 60(6), 507-517.
- Al-Sarawi, S., Anbar, M., Abdullah, R., & Al Hawari, A. B. (2020, July). Internet of things market analysis forecasts, 2020–2030. In *2020 Fourth World Conference on smart trends in systems, security and sustainability (WorldS4)* (pp. 449-453). IEEE.
- Amazon, Apple, Google, and the Alliance and Its Board Members Form Industry Working Group to Develop a New, Open Standard for Smart Home Device Connectivity (2019, December 18). Ανακτήθηκε από <https://csa-iot.org/newsroom/connectedhomeip/>
- Bayılmış, C., Ebleme, M. A., Çavuşoğlu, Ü., Küçük, K., & Sevin, A. (2022). A survey on communication protocols and performance evaluations for Internet of Things. *Digital Communications and Networks*, 8(6), 1094-1104.
- Beato, M., De Keijzer, K. L., Carty, B., & Connor, M. (2019). Monitoring fatigue during intermittent exercise with accelerometer-derived metrics. *Frontiers in physiology*, 10, 451274.
- Belli, D., Barsocchi, P., & Palumbo, F. (2023). Connectivity Standards Alliance matter: State of the art and opportunities. *Internet of Things*, 101005.
- Benedetti, P., Femminella, M., Reali, G., & Steenhaut, K. (2021). Experimental analysis of the application of serverless computing to IoT platforms. *Sensors*, 21(3), 928.





- Božić, V., (2023). VERSION CONTROL SYSTEM IN AGILE PROGRAMMING. 10.13140/RG.2.2.23777.17769.
- Cao, H., & Folan, P. (2012). Product life cycle: the evolution of a paradigm and literature review from 1950–2009. *Production Planning & Control*, 23(8), 641-662.
- Connectivity Standards Alliance Document 22-27350-002\_Matter-1.1-Application-Cluster-Specification. Ανακτήθηκε από <https://csa-iot.org/resources/governing-documents/>
- Connectivity Standards Alliance Document 22-27351-002\_Matter\_1.1-Device-Library-Specification. Ανακτήθηκε από <https://csa-iot.org/resources/governing-documents/>
- Djehaiche, Rania. (2023). Deployment and Convergence of M2M Networks and 4G/5G Mobile Networks. 10.13140/RG.2.2.15515.23842.
- Du, R., & Li, S. (2024). Type classification and identification of IoT devices by using traffic characteristics. *Wireless Networks*. 1-17. 10.1007/s11276-024-03736-y.
- ESP32 Series Datasheet 2.4 GHz Wi-Fi + Bluetooth® + Bluetooth LE SoC.
- Fournaris, A. P., & Sklavos, N. (2014). Secure embedded system hardware design – A flexible security and trust enhanced approach. *Computers & Electrical Engineering*, 40(1), 121–133. doi:10.1016/j.compeleceng.2013.11.011
- Gay, W. (2024). FreeRTOS. 10.1007/979-8-8688-0199-0\_5.
- Grewal, M. S., Andrews, A. P., & Bartone, C. G. (2020). *Kalman filtering*.
- Hassan, W. H. (2019). Current research on Internet of Things (IoT) security: A survey. *Computer networks*, 148, 283-294.
- Igulu, K., Onuodu, F., & Singh, T. P. (2024). IPV6: Strengths and Limitations. 10.1007/978-981-97-0052-3\_8.
- Kazemi, Z., Papadimitriou, A., Souvatzoglou, I., Aerabi, E., Ahmed, M. M., Hely, D., & Beroulle, V. (2019, July). On a low cost fault injection framework for security assessment of cyber-physical systems: Clock glitch attacks. In *2019 IEEE 4th International Verification and Security Workshop (IVSW)* (pp. 7-12). IEEE.



- Kernighan, B. W., & Ritchie, D. M. (1988). *The C programming language*.
- Khan, M. A., & Salah, K. (2018). IoT security: Review, blockchain solutions, and open challenges. *Future generation computer systems*, 82, 395-411.
- Khurshid, A., Alsaaidi, R., Aslam, M., & Raza, S. (2022). EU cybersecurity act and IoT certification: landscape, perspective and a proposed template Scheme. *IEEE Access*, 10, 129932-129948.
- Klement, F., Pöhls, H. C., & Katzenbeisser, S. (2022, September). Man-in-the-OBD: A modular, protocol agnostic firewall for automotive dongles to enhance privacy and security. In *International Workshop on Attacks and Defenses for Internet-of-Things* (pp. 143-164). Cham: Springer Nature Switzerland.
- Konduru, V. R., & Bharamagoudra, M. R. (2017, August). Challenges and solutions of interoperability on IoT: How far have we come in resolving the IoT interoperability issues. In *2017 International Conference On Smart Technologies For Smart Nation (SmartTechCon)* (pp. 572-576). IEEE.
- Kumari, P., Allanki, S. R. & Jamberi, K. (2023). Effective Communication between IoT Devices using Machine Learning. *International Journal of Scientific Methods in Intelligence Engineering Networks*. 1. 1-9. 10.58599/IJSMIEN.2023.1501.
- Lai, C. S., Jia, Y., Dong, Z., Wang, D., Tao, Y., Lai, Q. H., ... & Lai, L. L. (2020). A review of technical standards for smart cities. *Clean Technologies*, 2(3), 290-310.
- Loos, M. (2023). Security Analysis of the Matter Protocol. 10.18725/OPARU-48934.
- Masirap, M., Amaran, M. H., Yussoff, Y. M., Ab Rahman, R., & Hashim, H. (2016, May). Evaluation of reliable UDP-based transport protocols for Internet of Things (IoT). In *2016 IEEE Symposium on Computer Applications & Industrial Electronics (ISCAIE)* (pp. 200-205). IEEE.
- Nistor, A., & Zadobrischi, E. (2022, March). Analysis and estimation of economic influence of IoT and telecommunication in regional media based on evolution and electronic markets in Romania. In *Telecom* (Vol. 3, No. 1, pp. 195-217). MDPI.



- Padwal, P. (2023). IoT Connected Machines Market Size, Share & Growth Forecast.
- Panagiotou, P., Sklavos, N., Darra, E., & Zaharakis, I. D. (2020). Cryptographic system for data applications, in the context of internet of things. *Microprocessors and Microsystems*, 72, 102921. doi:10.1016/j.micpro.2019.102921
- Pinto, D., Dias, J. P., & Ferreira, H. S. (2018, October). Dynamic allocation of serverless functions in IoT environments. In *2018 IEEE 16th international conference on embedded and ubiquitous computing (EUC)* (pp. 1-8). IEEE.
- Raptis, C. E., Oberschelp, C., & Pfister, S. (2020). The greenhouse gas emissions, water consumption, and heat emissions of global steam-electric power production: a generating unit level analysis and database. *Environmental Research Letters*, 15(10), 104029.
- Saß, X. M., Mitev, R., & Sadeghi, A. R. (2023). Oops..! I Glitched It Again! How to {Multi-Glitch} the {Glitching-Protections} on {ARM}{TrustZone-M}. In *32nd USENIX Security Symposium (USENIX Security 23)* (pp. 6239-6256).
- Saleem, J., Hammoudeh, M., Raza, U., Adebisi, B., & Ande, R. (2018, June). IoT standardisation: Challenges, perspectives and solution. In *Proceedings of the 2nd international conference on future networks and distributed systems* (pp. 1-9).
- Shashwat, K., Hahn, F., Ou, X., & Singhal, A. (2023, October). Security Analysis of Trust on the Controller in the Matter Protocol Specification. In *2023 IEEE Conference on Communications and Network Security (CNS)* (pp. 1-6). IEEE.
- Shi, Y., Yang, K., Jiang, T., Zhang, J., & Letaief, K. B. (2020). Communication-efficient edge AI: Algorithms and systems. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 22(4), 2167-2191.
- Sklavos, N., Hübner, M., Goehringer, D., & Kitsos, P. (Eds.). (2014). System-Level Design Methodologies for Telecommunication. doi:10.1007/978-3-319-00663-5
- Sklavos, N., & Toulou, K. (2007). A system-level analysis of power consumption & optimizations in 3G mobile devices. *New Technologies, Mobility and Security*, 217-227.



- Solaimani, S., Bouwman, H., & Secomandi, F. (2013). Critical design issues for the development of Smart Home technologies. *Journal of Design Research*, 11(1), 72-90.
- Stiller, B., Schiller, E., Schmitt, C., Ziegler, S., & James, M. (2020). An overview of network communication technologies for IoT. *Handbook of Internet-of-Things*, 12.
- Stroustrup, B. (1996). A history of C++ 1979--1991. In *History of programming languages---II* (pp. 699-769).
- The Zigbee Alliance Rebrands as Connectivity Standards Alliance. (2021, November 5). Ανακτήθηκε από <https://csa-iot.org/newsroom/connectivity-standards-alliance/>
- Tyagi, A. (2020). Tcp/ip protocol suite. *Int. J. Sci. Res. Comput. Sci. Eng. Inf. Technol*, 6(4), 59-71.
- What challenges to look out for now the ‘era of connected things’ has quietly arrived. (2023, February 21). Ανακτήθηκε από <https://www.weforum.org/agenda/2023/02/what-challenges-to-look-out-for-now-the-era-of-connected-things-has-quietly-arrived/>
- Yao, Y., Bai, Q., He, J., Zhu, L., Zhou, K., & Zhao, Y. (2020). Reverse flotation efficiency and mechanism of various collectors for recycling waste printed circuit boards. *Waste management*, 103, 218-227.
- Zhang, J., Zeng, H., & Jiang, T. (2012). A primary-side control scheme for high-power-factor LED driver with TRIAC dimming capability. *IEEE Transactions on Power Electronics*, 27(11), 4619-4629.



ΑΝΔΡΕΑΔΑΚΗΣ ΝΙΚΟΛΑΟΣ, Το μέλλον του Διαδικτύου των Πραγμάτων: Απλουστεύοντας  
την εφαρμογή του μέσω της τεχνολογίας Matter

ΕΛΛΗΝΙΚΟ ΑΝΟΙΚΤΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ  
ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ



HELLENIC OPEN UNIVERSITY  
SCHOOL OF SCIENCES AND TECHNOLOGY

[WWW.EAP.GR](http://WWW.EAP.GR)