



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΛΟΠΟΝΝΗΣΟΥ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΤΜΗΜΑ
ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ
ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΣΧΕΔΙΑΣΗ ΚΑΙ ΜΕΛΕΤΗ ΙΟΤ ΠΛΑΤΦΟΡΜΑΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗ ΚΑΙ
ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗ ΟΙΚΙΑΣ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΑΣΥΡΜΑΤΩΝ
ΕΝΣΩΜΑΤΩΜΕΝΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

ΑΡΙΣΤΕΙΔΗΣ ΚΟΛΟΦΩΤΙΑΣ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ: ΧΡΗΣΤΟΣ ΑΝΤΩΝΩΠΟΥΛΟΣ, ΕΠΙΚΟΥΡΟΣ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ

ΠΑΤΡΑ 2022

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή

Πάτρα, Ημερομηνία

ΕΠΙΤΡΟΠΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗΣ

1. Ονοματεπώνυμο, Υπογραφή
2. Ονοματεπώνυμο, Υπογραφή
3. Ονοματεπώνυμο, Υπογραφή

Υπεύθυνη Δήλωση Φοιτητή

Βεβαιώνω ότι είμαι συγγραφέας αυτής της εργασίας και ότι κάθε βοήθεια την οποία είχα για την προετοιμασία της είναι πλήρως αναγνωρισμένη και αναφέρεται στην εργασία. Επίσης έχω αναφέρει τις όποιες πηγές από τις οποίες έκανα χρήση δεδομένων, ιδεών ή λέξεων, είτε αυτές αναφέρονται ακριβώς είτε παραφρασμένες. Επίσης βεβαιώνω ότι αυτή η εργασία προετοιμάστηκε από εμένα προσωπικά ειδικά για τη συγκεκριμένη εργασία.

Η έγκριση της διπλωματικής εργασίας από το Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών του Πανεπιστημίου Πελοποννήσου δεν υποδηλώνει απαραίτητως και αποδοχή των απόψεων του συγγραφέα εκ μέρους του Τμήματος.

Η παρούσα εργασία αποτελεί πνευματική ιδιοκτησία του φοιτητή **Αριστείδης Κολοφωτιά** που την εκπόνησε. Στο πλαίσιο της πολιτικής ανοικτής πρόσβασης ο συγγραφέας/δημιουργός εκχωρεί στο Πανεπιστήμιο Πελοποννήσου, μη αποκλειστική άδεια χρήσης του δικαιώματος αναπαραγωγής, προσαρμογής, δημόσιου δανεισμού, παρουσίασης στο κοινό και ψηφιακής διάχυσής τους διεθνώς, σε ηλεκτρονική μορφή και σε οποιοδήποτε μέσο, για διδακτικούς και ερευνητικούς σκοπούς, άνευ ανταλλάγματος και για όλο το χρόνο διάρκειας των δικαιωμάτων πνευματικής ιδιοκτησίας. Η ανοικτή πρόσβαση στο πλήρες κείμενο για μελέτη και ανάγνωση δεν σημαίνει καθ' οιονδήποτε τρόπο παραχώρηση δικαιωμάτων διανοητικής ιδιοκτησίας του συγγραφέα/δημιουργού ούτε επιτρέπει την αναπαραγωγή, αναδημοσίευση, αντιγραφή, αποθήκευση, πώληση, εμπορική χρήση, μετάδοση, διανομή, έκδοση, εκτέλεση, «μεταφόρτωση» (downloading), «ανάρτηση» (uploading), μετάφραση, τροποποίηση με οποιονδήποτε τρόπο, τμηματικά ή περιληπτικά της εργασίας, χωρίς τη ρητή προηγούμενη έγγραφη συναίνεση του συγγραφέα/δημιουργού. Ο συγγραφέας/δημιουργός διατηρεί το σύνολο των ηθικών και περιουσιακών του δικαιωμάτων.

Στην οικογένειά μου...

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ.....	8
ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	9
ΠΡΟΛΟΓΟΣ.....	1
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΕΙΣΑΓΩΓΗ	2
1.1. Έξυπνες οικίες – Περιβάλλοντας υποβοηθούμενης διαβίωσης.....	2
1.1.1. Ορισμός του «έξυπνου σπιτιού».....	2
1.1.2. Εφαρμογές και τεχνολογίες του έξυπνου σπιτιού.....	3
1.1.3. Λειτουργίες του έξυπνου σπιτιού	5
1.1.4. Απαιτήσεις λειτουργίας και κατασκευής του έξυπνου σπιτιού	6
1.1.5. Πλεονεκτήματα έξυπνου σπιτιού.....	8
1.1.6. Μειονεκτήματα έξυπνου σπιτιού.....	9
1.2. Internet of things (IoT) και Cyber-Physical Systems (CPS) συστήματα.....	11
1.2.1. Ορισμός Internet of things	11
1.2.2. Ορισμός Cyber-Physical Systems.....	15
1.2.3. Σύγκριση μεταξύ IoT και CPS.....	23
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΙΟΤ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΓΙΑ ΕΞΥΠΝΕΣ ΟΙΚΙΕΣ.....	27
2.1. Ενσωματωμένα συστήματα.....	27
2.1.1. ARM	28
2.1.2. Intel	29
2.1.3. Raspberry	29
2.1.4. Η αρχιτεκτονική του IoT	31
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΜΟΝΤΕΛΑ ΚΑΙ ΠΡΩΤΟΚΟΛΛΑ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑΣ.....	32
3.1. Μοντέλα επικοινωνίας – συνδεσιμότητας	32
3.1.1. Σύνδεση συσκευή προς συσκευή (device to device communication)	32
3.1.2. Σύνδεση συσκευή προς cloud (device to cloud communication)	33

3.1.3. Σύνδεση συσκευή με διάλογο επικοινωνίας (device to gateway model)	35
3.1.4. Back End μοντέλο ανταλλαγής δεδομένων (Back End Data Sharing Model)	36
3.2. Πρωτόκολλα επικοινωνίας ασύρματων δικτύων	38
3.2.1. WiFi (IEEE 802.11).....	39
3.2.2. Zigbee	43
3.2.3. Bluetooth (IEEE 802.15)	46
3.2.4. Bluetooth Low Energy (BLE).....	48
3.2.5. Z-Wave	51
3.2.6. LoraWan	53
ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	64
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	65

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Με την ολοκλήρωση της συγγραφής της παρούσας πτυχιακής εργασίας, θα ήθελα να ευχαριστήσω από καρδιάς τον επιβλέπων καθηγητή μου, κ. Χρήστο Αντωνόπουλο, για τον πολύτιμο προσωπικό χρόνο που αφιέρωσε για τη ρύθμιση της περάτωσης της εργασίας. Η υποστήριξη, οι καίριες επισημάνσεις και παρατηρήσεις του συνέβαλαν καθοριστικά στην εκπόνηση της παρούσας εργασίας.

Τέλος, ολοκληρώνοντας τις ευχαριστίες μου, θα ήθελα να ευχαριστήσω τους γονείς μου, για την ένθερμη υποστήριξη και βοήθειά τους σε όλα τα χρόνια της φοίτησης μου. Θα ήθελα να ευχαριστήσω εκ βάθους καρδιάς τον παππού και την γιαγιά μου, Παναγιώτη και Γεωργία Βλάχου, που δεν βρίσκονται πλέον εν ζωή, για την πολύτιμη βοήθεια, υποστήριξη και φροντίδα τους σε όλη τη διάρκεια των σπουδών μου.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Αντικείμενο της διπλωματικής: Αντικείμενο μελέτης της παρούσας εργασίας αποτελεί η σχεδίαση και μελέτη IoT πλατφόρμας για την περιβαλλοντική και ενεργειακή παρακολούθηση οικίας με χρήση ασύρματων ενσωματωμένων συστημάτων.

Σκοπός και στόχος εργασίας: σκοπός της παρούσας εργασίας αποτελεί η σχεδίαση και μελέτη μιας IoT πλατφόρμας για την περιβαλλοντική και ενεργειακή παρακολούθηση οικίας με χρήση ασύρματων ενσωματωμένων συστημάτων.

Δομή εργασίας: Η εργασία δομείται ως εξής: αρχικά, στο πρώτο κεφάλαιο, παρουσιάζεται η έννοια του έξυπνου σπιτιού, εστιάζοντας στις εφαρμογές, τις τεχνολογίες, τις λειτουργίες, τις απαιτήσεις λειτουργίας και κατασκευής του έξυπνου σπιτιού, καθώς επίσης τα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα της διαβίωσης σε μια έξυπνη οικία. Παράλληλα, παρουσιάζονται οι έννοιες του Internet of Things και των Cyber-Physical Systems, ενώ γίνεται και μια προσπάθεια σύγκρισης μεταξύ τους. Εν συνεχεία, στο δεύτερο κεφάλαιο, παρουσιάζονται οι τεχνολογίες των IoT συστημάτων για έξυπνες οικίες. Τέλος, στο τρίτο κεφάλαιο, αναπτύσσονται τα μοντέλα και πρωτόκολλα επικοινωνίας των ασύρματων δικτύων. Η εργασία ολοκληρώνεται με την παράθεση των συμπερασμάτων.

Λέξεις κλειδιά: Έξυπνο σπίτι (Smart home), Internet of Things, Cyber-Physical Systems, Wi-Fi, ZigBee, Bluetooth, Bluetooth Low Energy, Z-Wave, LoraWan.

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Αναμφισβήτητα, η τεχνολογική πρόοδος και οι συνεχείς τεχνολογικές εξελίξεις που σημειώθηκαν τις τελευταίες δεκαετίες έχουν επιτρέψει την αυτοματοποίηση πολλών ενεργειών και συνηθειών τα τελευταία έτη. Πλήθος εταιρειών στο χώρο της τεχνολογίας επενδύουν συνεχώς σημαντικά ποσά για τη μελέτη και ανάπτυξη των έξυπνων συσκευών που θα έχουν την δυνατότητα να επικοινωνούν μεταξύ τους με σκοπό την ένταξη των κατοικιών στον ψηφιακό κόσμο. Με τον όρο «έξυπνο σπίτι» εννοούμε ένα σπίτι που είναι εξοπλισμένο με σύγχρονες και διασυνδεδεμένες συσκευές, δίνοντας τη δυνατότητα να επικοινωνούν με τους ιδιοκτήτες ακόμα και χωρίς να είναι απαραίτητη η φυσική παρουσία των τελευταίων. Τα έξυπνα σπίτια αποτελούνται από ένα σύνολο αυτοματισμών με τους οποίους οργανώνονται και αυτοματοποιούνται οι λειτουργίες της οικίας σύμφωνα με τις απαιτήσεις του κάθε χρήστη. Μέσα σε αυτό το πλαίσιο, ο χρήστης έχει πλέον τη δυνατότητα να δημιουργεί σενάρια αυτοματισμών χρησιμοποιώντας κάθε συσκευή για διάφορες χρήσεις.

Η έννοια της αυτοματοποίησης στο σπίτι (Smart Home) μπορεί να εφαρμοστεί σε πολλούς τομείς, όπως, η ασφάλεια, η πυρανίχνευση, ο έλεγχος φωτισμού, η έξυπνη θέρμανση, ο έλεγχος της πόρτας, οι αισθητήρες κίνησης για να προσφέρουν στους χρήστες ασφάλεια, άνεση και ενεργειακή απόδοση (δηλαδή, χαμηλά λειτουργικά έξοδα) ανά πάσα στιγμή. Το Internet of Things ενεργοποιεί μια ποικιλία έξυπνων οικιακών υπηρεσιών στις οποίες κάθε υπηρεσία παρέχει ένα σύνολο λύσεων οικιακού αυτοματισμού. Η επικοινωνία μεταξύ μηχανών (Machine to machine – M2M) είναι μια αρχιτεκτονική επικοινωνίας που επιτρέπει σε ετερογενή συσκευές να αλληλοεπιδρούν μεταξύ τους χωρίς ανθρώπινη παρέμβαση.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1. Έξυπνες οικίες – Περιβάλλοντας υποβοηθούμενης διαβίωσης

1.1.1. Ορισμός του «έξυπνου σπιτιού».

Η έννοια «αυτοματοποιημένο – έξυπνο σπίτι» συστήθηκε αρχικά πριν από περίπου 80 χρόνια και από τότε αντιμετωπίζει διαφορετικούς τεχνικούς περιορισμούς. Αυτή η πρωτοβουλία επιτρέπει στους συνδρομητές της να αποκτήσουν απομακρυσμένη διαχείριση και παρακολούθηση διαφορετικών συσκευών στο σπίτι τους από οπουδήποτε μέσω ενός smartphone ή μέσω του διαδικτύου χωρίς περιορισμούς φυσικής απόστασης [1].

Η έννοια της αυτοματοποίησης στο σπίτι (Smart Home) μπορεί να εφαρμοστεί σε πολλούς τομείς, όπως:

- η ασφάλεια
- η πυρανίχνευση
- ο έλεγχος φωτισμού
- η έξυπνη θέρμανση
- ο έλεγχος της πόρτας
- οι αισθητήρες κίνησης

για να προσφέρουν στους χρήστες ασφάλεια, άνεση και ενεργειακή απόδοση (δηλαδή, χαμηλά λειτουργικά έξοδα) ανά πάσα στιγμή. Το Internet of Things ενεργοποιεί μια ποικιλία έξυπνων οικιακών υπηρεσιών στις οποίες κάθε υπηρεσία παρέχει ένα σύνολο λύσεων οικιακού αυτοματισμού. Η επικοινωνία μεταξύ μηχανών (Machine to machine – M2M) είναι μια αρχιτεκτονική επικοινωνίας που επιτρέπει σε ετερογενή συσκευές να αλληλοεπιδρούν μεταξύ τους χωρίς ανθρώπινη παρέμβαση.

Ο οικιακός αυτοματισμός (home automation) ή domotics είναι ο αυτοματισμός κτιρίου για ένα σπίτι, που ονομάζεται smart home (έξυπνο σπίτι). Ένα σύστημα οικιακού αυτοματισμού θα παρακολουθεί και/ ή θα ελέγχει τα χαρακτηριστικά του σπιτιού όπως ο κλιματισμός, ο φωτισμός, τα συστήματα ψυχαγωγίας και οι συσκευές. Μπορεί επίσης να περιλαμβάνει οικιακή ασφάλεια, όπως τα συστήματα ελέγχου πρόσβασης και συναγερμού. Όταν συνδέονται με το Διαδίκτυο, οι οικιακές συσκευές αποτελούν σημαντικό συστατικό του Internet of Things (IoT).

Ένα σύστημα οικιακού αυτοματισμού (home automation system) συνήθως συνδέει ελεγχόμενες συσκευές σε ένα smart home hub (μερικές φορές ονομάζεται «gateway ή πύλη»). Το user interface για τον έλεγχο του συστήματος χρησιμοποιεί είτε επιτοίχια τερματικά, tablet ή επιτραπέζιους υπολογιστές, μια εφαρμογή κινητού τηλεφώνου ή Web interface που μπορεί επίσης να είναι προσβάσιμη εκτός τοποθεσίας μέσω του Διαδικτύου.

Ενώ υπάρχουν πολλοί ανταγωνιστικοί προμηθευτές, γίνονται αυξανόμενες προσπάθειες για συστήματα ανοιχτού κώδικα. Ωστόσο, υπάρχουν ζητήματα με την τρέχουσα κατάσταση του οικιακού αυτοματισμού, συμπεριλαμβανομένης της έλλειψης τυποποιημένων μέτρων ασφαλείας και της κατάργησης παλαιότερων συσκευών χωρίς συμβατότητα προς τα πίσω. Ο οικιακός αυτοματισμός έχει μεγάλες δυνατότητες για κοινή χρήση δεδομένων μεταξύ μελών της οικογένειας ή έμπιστων ατόμων για προσωπική ασφάλεια και θα μπορούσε να οδηγήσει σε μέτρα εξοικονόμησης ενέργειας με θετικό περιβαλλοντικό αντίκτυπο στο μέλλον.

Η λέξη «domotics» είναι μια συστολή της λατινικής λέξης σπίτι (domus) και της λέξης ρομποτική. Η λέξη «έξυπνο» στο «έξυπνο σπίτι» αναφέρεται στο ότι το σύστημα γνωρίζει την κατάσταση των συσκευών του, κάτι που γίνεται μέσω του πρωτοκόλλου τεχνολογιών πληροφοριών και επικοινωνιών (information and communication technologies – ICT) και του Διαδικτύου των πραγμάτων (IoT) [2].

1.1.2. Εφαρμογές και τεχνολογίες του έξυπνου σπιτιού

Ο οικιακός αυτοματισμός είναι διαδεδομένος σε μια ποικιλία διαφορετικών πεδίων, όπως:

- **Θέρμανση, εξαερισμός και κλιματισμός** (Heating, ventilation and air conditioning – HVAC): είναι δυνατός ο τηλεχειρισμός όλων των οικιακών ενεργειακών οθονών μέσω Διαδικτύου ενσωματώνοντας ένα απλό και φιλικό περιβάλλον εργασίας χρήστη.
- **Σύστημα ελέγχου φωτισμού**: ένα «έξυπνο» δίκτυο που ενσωματώνει την επικοινωνία μεταξύ των διαφόρων εισόδων και εξόδων του συστήματος φωτισμού, χρησιμοποιώντας μία ή περισσότερες κεντρικές υπολογιστικές συσκευές.
- **Σύστημα ελέγχου πληρότητας**: είναι δυνατό να ανιχνευτεί η πληρότητα του σπιτιού χρησιμοποιώντας έξυπνους μετρητές και περιβαλλοντικούς αισθητήρες όπως αισθητήρες CO₂ που μπορούν να ενσωματωθούν στο σύστημα αυτοματισμού κτιρίου για να ενεργοποιήσουν αυτόματες αποκρίσεις για ενεργειακή απόδοση και εφαρμογές άνεσης κτιρίου.

- Έλεγχος της συσκευής και ενσωμάτωση με το έξυπνο δίκτυο και έναν έξυπνο μετρητή, αξιοποιώντας, για παράδειγμα, την υψηλή απόδοση ηλιακού πάνελ στη μέση της ημέρας για τη λειτουργία πλυντηρίων ρούχων.
- Οικιακά ρομπότ και ασφάλεια: ένα σύστημα οικιακής ασφάλειας ενσωματωμένο με σύστημα οικιακού αυτοματισμού μπορεί να παρέχει πρόσθετες υπηρεσίες, όπως απομακρυσμένη επιτήρηση καμερών ασφαλείας μέσω Διαδικτύου ή έλεγχο πρόσβασης και κεντρικό κλείδωμα όλων των περιμετρικών θυρών και παραθύρων.
- Ανίχνευση διαρροών, ανιχνευτές καπνού και CO
- Πτυσσόμενο πλυντήριο ρούχων, κρεβάτι που φτιάχνεται μόνο του
- Συστήματα εντοπισμού θέσης εσωτερικού χώρου (indoor positioning system -IPS).
- Οικιακός αυτοματισμός για ηλικιωμένους και άτομα με ειδικές ανάγκες.
- Φροντίδα κατοικίδιων και μωρών, για παράδειγμα παρακολούθηση των κινήσεων κατοικίδιων και μωρών και έλεγχος των δικαιωμάτων πρόσβασης σε κατοικίδια.
- Έλεγχος ποιότητας αέρα (εσωτερικά και εξωτερικά). Για παράδειγμα, το Air Quality Egg χρησιμοποιείται από ανθρώπους στο σπίτι για να παρακολουθούν την ποιότητα του αέρα και το επίπεδο ρύπανσης στην πόλη και να δημιουργήσουν έναν χάρτη της ρύπανσης.
- Έξυπνη κουζίνα, με απόθεμα ψυγείου, προκατασκευασμένα προγράμματα μαγειρέματος, επιτήρηση μαγειρέματος κ.λπ.
- Συσκευές φωνητικού ελέγχου όπως το Amazon Alexa ή το Google Home που χρησιμοποιούνται για τον έλεγχο οικιακών συσκευών ή συστημάτων [2].

Γενικότερα, η εύκολη εγκατάσταση, η αθόρυβη λειτουργία, η ελάχιστη συντήρηση, η άνεση, η εξοικονόμηση ενέργειας και ο προσωπικός έλεγχος επί του οικιακού περιβάλλοντος από απόσταση αποτελούν τα βασικότερα πλεονεκτήματα της αυτοματοποίησης. Η τεχνολογία των «έξυπνων σπιτιών» που συμβάλλει στην απλοποίηση της καθημερινής ζωής των χρηστών, θα πρέπει να πληροί ορισμένες προϋποθέσεις, όπως:

- την επικοινωνία με το εξωτερικό περιβάλλον
- τη διασφάλιση της ανθρώπινης ζωής και παρουσίας
- τη γνώση για τη διαχείριση της τεχνολογίας

Βασικό χαρακτηριστικό των «έξυπνων σπιτιών» είναι ότι ίδιες περιφερειακές μονάδες χρησιμοποιούνται για πλήθος χρήσεων. Για παράδειγμα, οι αισθητήρες παρουσίας που

μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τον έλεγχο του φωτισμού και του συστήματος θέρμανσης, χρησιμεύουν και για το σύστημα του συναγερμού. Επιπλέον, οι οθόνες των τηλεοράσεων μπορούν να προβάλλουν και την εικόνα της θυροτηλεόρασης. Τα σύγχρονα συστήματα που εφαρμόζονται στα έξυπνα σπίτια προσφέρουν στους ενοίκους πλήθος διευκολύνσεων και συμβάλλουν στην εξοικονόμηση πολύτιμου χρόνου.

1.1.3. Λειτουργίες του έξυπνου σπιτιού

Παρακάτω παρουσιάζονται ενδεικτικά ορισμένα παραδείγματα όσον αφορά στις συνήθεις λειτουργίες των έξυπνων σπιτιών.

- **Φωτισμός:** αυτοματοποιημένος φωτισμός που αυξομειώνεται κατά τη διάρκεια της ημέρας, αυτόματη ενεργοποίηση και απενεργοποίηση των φώτων κλπ.
- **Έλεγχος θέρμανσης, κλιματισμού, αερισμού:** δυνατότητα ρύθμισης εκ των προτέρων ή εξ αποστάσεως της επιθυμητής θερμοκρασίας για το σπίτι. Αντίστοιχες ρυθμίσεις μπορούν να πραγματοποιηθούν για τον κλιματισμό ή αερισμό, ενώ υπάρχει επίσης η δυνατότητα αυτόματης ενεργοποίησης του συστήματος εξαερισμού σε περίπτωση υψηλής συγκέντρωσης αερίων ή καπνού στο χώρο. Επίσης, σε περίπτωση ύπαρξης ανοικτού παραθύρου ή όποτε θεωρείται περιττή η θέρμανση μπορεί να κλείνει.
- **Ασφάλεια:** προστασία από πλημμύρες, βραχυκυκλώματα, πυρκαγιά ή οποιαδήποτε βλάβη. Στην περίπτωση αυτή, το έξυπνο σπίτι λειτουργεί ως σύνολο συναγερμών.
- **Πολυμέσα:** δυνατότητα διασύνδεσης ηχοσυστημάτων, τηλεοπτικών συσκευών, τηλεφωνικών συσκευών είτε μεταξύ τους, είτε με άλλες συσκευές σε όλο το σπίτι.
- **Έλεγχος ηλεκτρικών περσίδων και τεντών:** οι τέντες, οι περσίδες και τα παράθυρα μπορούν να ανοιγοκλείνουν ανάλογα με τη θερμοκρασία, το φως και τον αέρα, ρυθμίζοντας απόλυτα τις συνθήκες διαβίωσης.

Συμπερασματικά, στο αυτόματοποιημένο περιβάλλον ενός «έξυπνου σπιτιού» όλα τα επιλεγόμενα συστήματα μπορούν να λειτουργήσουν αρμονικά μεταξύ τους ρυθμίζοντας αυτόματα τις επιθυμητές συνθήκες διαβίωσης και προσφέροντας ένα άνετο, εύχρηστο και λειτουργικό οικιακό περιβάλλον. Ωστόσο, το κυριότερο πλεονέκτημα είναι ότι μπορούμε να ελέγξουμε πλήρως την κατανάλωση ενέργειας, εξοικονομώντας το μέγιστο, εφόσον η λειτουργία των συσκευών, της θέρμανσης, του φωτισμού και του κλιματισμού καθορίζεται αποκλειστικά από το χρόνο που μας είναι αναγκαία.

1.1.4. Απαιτήσεις λειτουργίας και κατασκευής του έξυπνου σπιτιού

Ένα έξυπνο σπίτι θα πρέπει να διαθέτει ορισμένα χαρακτηριστικά, όπως η ασφάλεια, η οικονομία, η ευκολία στην εγκατάσταση και ο χειρισμός από απόσταση. Το θέμα της ασφάλειας αφορά τόσο τις ώρες που ο ιδιοκτήτης μιας έξυπνης οικίας βρίσκεται μέσα σε αυτή, όσο και κατά τις ώρες που αυτός απουσιάζει. Αδιαμφισβήτητα, τα συστήματα του σπιτιού θα πρέπει να είναι αξιόπιστα ως προς την εκτέλεση των σεναρίων, ώστε να αποφευχθούν ανεπιθύμητες καταστάσεις. Ένα έξυπνο σπίτι παρέχει τη δυνατότητα οικονομίας. Για παράδειγμα, τα φώτα στους εξωτερικούς χώρους, θα πρέπει να έχουν την δυνατότητα να σβήσουν αυτόματα το πρωί. Επιπλέον, τις ώρες που κανείς δεν βρίσκεται στο σπίτι ο θερμοσίφωνας δεν χρειάζεται να είναι ανοιχτός (εκτός εάν κάποιος πλησιάζει στο σπίτι και έχει δώσει εντολή να ανοίξει), ενώ η θερμοκρασία του σπιτιού όταν δεν βρίσκεται κανείς σε αυτό μπορεί να διατηρείται στο επιθυμητό επίπεδο για την εποχή θερμοκρασίας. Ο χρήστης ενός έξυπνου σπιτιού έχει τη δυνατότητα να το ελέγξει από απόσταση, ενώ βρίσκεται εκτός σπιτιού, έχοντας τον πλήρη έλεγχο του. ο έλεγχος μπορεί να γίνει από σταθερό ή κινητό τηλέφωνο ή μέσω διαδικτύου χρησιμοποιώντας ηλεκτρονικό υπολογιστή. Τέλος, χαρακτηριστικό του έξυπνου σπιτιού αποτελεί η ευκολία εγκατάστασης. Όσο ευκολότερη είναι η εγκατάσταση τόσο πιο πολλά σπίτια θα γίνονται έξυπνα και τόσο περισσότερο οι αντίστοιχες τεχνολογίες θα αναπτύσσονται [3].

Για την υλοποίηση ενός έξυπνου σπιτιού απαιτούνται:

- Δίκτυο LAN του σπιτιού: Πυρήνας του «έξυπνου σπιτιού» αποτελεί το δίκτυο υπολογιστών του. Για την μετατροπή του σπιτιού σε δίκτυο τοπικής περιοχής (τοπικό LAN), το μόνο που πρέπει να γίνει είναι η σύνδεση δυο υπολογιστών από κοινού.
- Πλατφόρμες και πρότυπα: σε αυτή τη κατηγορία περιλαμβάνονται όλες οι συσκευές που παρακολουθούν την κατάσταση κάποιου υποκειμένου, όπως ανιχνευτές θραύσης τζαμιών, ανοίγματος πόρτας ή παραθύρου, ανιχνευτές κίνησης, διαρροής νερού ή φυσικού αερίου, καπνού και άλλοι, ενώ στην ίδια κατηγορία εντάσσονται και οι κάμερες παρακολούθησης χώρων. Με εξαίρεση τις κάμερες, όλοι οι υπόλοιποι ανιχνευτές μπορούν να συνδεθούν ακόμη και σε πολύ απλά δίκτυα, μιας και τα δεδομένα που χρειάζεται να

μεταδώσουν είναι ελάχιστα. Αντιθέτως, οι κάμερες απαιτούν συνδέσεις μεγάλου bandwidth, ώστε να μεταδώσουν εικόνα. Οι δύο βασικότερες κατηγορίες είναι τα συστήματα καλωδίων BUS με κύρια πλατφόρμα το KNX ή EIB και τα συστήματα POWER LINE μέσα από το υπάρχον δίκτυο 230volt με κύριες πλατφόρμες το X10 και το κλειστού τύπου HOMEPLUG και τα RF.

Πρωτόκολλο KNX: αποτελεί το διάδοχο μιας σειράς προηγούμενων standards, τα οποία υπήρχαν στον ευρωπαϊκό κυρίως χώρο. Το σύστημα είναι σχεδιασμένο ώστε να μπορεί να ελεγχθεί από κάθε είδους υπολογιστική συσκευή, από έναν απλό μικροελεγκτή έως και ένα κανονικό PC, ενώ τα πρότυπα που το απαρτίζουν είναι ανοιχτά σε κάθε κατασκευαστή.

Πρωτόκολλο X10: αυτό είναι το πιο διαδεδομένο πρότυπο ελέγχου, ιδίως στην άλλη πλευρά του Ατλαντικού, και παράλληλα το πιο παλιό. Το X10 παρουσιάστηκε το 1975 από τη βρετανική εταιρεία Pico Electronics. Στα μειονεκτήματα του (λόγω και της παλαιότητας του συστήματος) περιλαμβάνονται η πολύ μικρή ταχύτητα, η απώλεια δεδομένων, οι περιορισμένες δυνατότητες, η έλλειψη κρυπτογράφησης και οι παρεμβολές.

HOMEPLUG: το HomePlug Command & Control αφορά τον οικιακό αυτοματισμό. Καθώς η τεχνολογία HomePlug είναι σχεδιασμένη ώστε να λειτουργεί επάνω στην υπάρχουσα ηλεκτρική καλωδίωση, αφενός μεν οι ταχύτητες που προσφέρει είναι πολύ μεγάλες αφετέρου λειτουργώντας παράλληλα με το απλό HomePlug δίκτυο που ήδη υπάρχει στα περισσότερα σπίτια αντιμετωπίζει διάφορα προβλήματα αυξομείωσης της τάσης στις συσκευές.

Προγραμματιζόμενος λογικός ελεγκτής – PLC: αποτελεί την «καρδιά» του έξυπνου σπιτιού. Ο όρος προκύπτει από τον αγγλικό όρο programmable logic controller. Πρόκειται για ένα ψηφιακό ηλεκτρονικό σύστημα, σχεδιασμένο για χρήση σε βιομηχανικό περιβάλλον, το οποίο χρησιμοποιεί μια

προγραμματιζόμενη μνήμη για την αποθήκευση εντολών, ώστε να επιτελούνται διάφορες λειτουργίες, όπως λογικές, χρονικές, μετρητικές και αριθμητικές πράξεις και να ελέγχονται μέσω αναλογικών/ ψηφιακών μονάδων, διάφορες μηχανές ή διαδικασίες». Οι μικρές διαστάσεις των PLC, η ταχύτητα και η ευκολία στον προγραμματισμό τους, αλλά και η μεγάλη διάρκεια ζωής τους, αποτέλεσαν τις αιτίες για να διαδοθούν ταχύτατα και να παράγονται από μεγάλο αριθμό εταιρειών.

1.1.5. Πλεονεκτήματα έξυπνου σπιτιού

Ένα έξυπνο σπίτι, μπορεί να κάνει τη ζωή των ενοίκων του πιο εύκολη και αποτελεσματική. Επιπρόσθετα, οι νέες τάσεις και τα τεχνολογικά επιτεύγματα που εφαρμόζονται στο έξυπνο σπίτι μπορούν να έχουν σημαντικές και αξιόλογες περιβαλλοντικές και οικονομικές επιπτώσεις. Ως έξυπνο σπίτι, νοείτε ένα σπίτι που έχει ως χαρακτηριστικά ηλεκτρονικές και τεχνολογικές καινοτομίες σχεδιασμένες ώστε να ελέγχουν και να αυτοματοποιούν τις διάφορες λειτουργίες του σπιτιού. Η μουσική και άλλα μέσα ψυχαγωγίας μπορούν να ελεγχθούν με ένα μόνο κουμπί ενώ το σπίτι μπορεί να παρακολουθείται μέσω κινητού τηλεφώνου ή διαδικτύου καθώς οι ένοικοι βρίσκονται μακριά. Παρακάτω επισημαίνονται τα πλεονεκτήματα ενός έξυπνου σπιτιού.

- **Ασφάλεια:** Σε ένα έξυπνο σπίτι η ηλεκτρική ενέργεια μπορεί να ρυθμιστεί ώστε να προσαρμόζει αυτόματα την τάση της στις διάφορες συσκευές και μηχανήματα του χώρου. Επίσης, το ηλεκτρολογικό σύστημα ενός έξυπνου σπιτιού, σε αντίθεση με τα συμβατικά ηλεκτρολογικά συστήματα στο εσωτερικό των σπιτιών, παρέχει ενέργεια μόνο στις πρίζες που έχουν συνδεδεμένες συσκευές αλλά είναι και ανοιχτές. Οι ανιχνευτές τέλος, εντοπίζουν διαρροές νερού και αερίου όπως και τα πρώτα σημάδια καπνού και ειδοποιούν άμεσα τους ενοίκους. Το σημαντικότερο όλων είναι ότι το σπίτι επικοινωνεί με το τοπικό αστυνομικό τμήμα ή την ιδιωτική εταιρεία ασφάλειας σε περίπτωση προσπάθειας παραβίασης του χώρου.
- **Ευκολία:** Η ευκολία αποτελεί έναν από τους κυριότερους λόγους για όσους επιλέγουν να κατασκευάσουν ή να αγοράσουν ένα έξυπνο σπίτι. Το έξυπνο σπίτι εστιάζει σε συσκευές, τα επίπεδα του κλίματος και της θερμοκρασίας καθώς και άλλες πλευρές της ζωής. Ο έλεγχος δύναται να καθοριστεί με τέτοιο τρόπο ώστε οι λειτουργίες να γίνονται αυτόματα σύμφωνα με έναν χρονοδιακόπτη ή ανιχνευτή κινήσεων. Οι λειτουργίες που ελέγχονται από οθόνες αφής και κινητά τηλέφωνα καθιστούν το

άνοιγμα των φώτων, την προσαρμογή της θερμοκρασίας των δωματίων και την αναπαραγωγή μουσικής σύμφωνα με τη διάθεση των ενοίκων τόσο απλά όσο το πάτημα ενός κουμπιού.

- **Περιβάλλον:** Τα έξυπνα σπίτια είναι πράσινα σπίτια. Χάρη στην αποτελεσματική χρήση των παροχών, η κατανάλωση του νερού, του ηλεκτρικού ρεύματος και του αερίου μειώνεται, προστατεύοντας με αυτό τον τρόπο τους φυσικούς πόρους αλλά και τους πόρους ορυκτών καυσίμων. Καινοτομίες όπως τα ηλιακά πλέγματα για περαιτέρω ελάττωση της ανάγκης συγκαταβατικών ορυκτών καυσίμων για λόγους ενέργειας περιλαμβάνονται στα έξυπνα σπίτια. Βιώσιμοι λαχανόκηποι, οργανικοί κήποι και πράσινες οροφές βελτιώνουν αισθητικά το περιβάλλον του σπιτιού ενώ ωφελούν σημαντικά το περιβάλλον γενικότερα.
- **Οικονομία:** Ένα έξυπνο σπίτι μπορεί να ρυθμίσει την χρήση της παροχής νερού, ηλεκτρισμού κ.α. προς όφελος των ανθρώπων που κατοικούν στην οικία εξασφαλίζοντας τους με αυτόν τον τρόπο χαμηλότερους λογαριασμούς. Τέλος, χαμηλότερη σπατάλη σημαίνει πως οι καταναλωτές δε θα χρεώνονται για συσκευές και μηχανήματα που βρίσκονται συνεχώς σε λειτουργία χωρίς να χρησιμοποιούνται [3].

1.1.6. Μειονεκτήματα έξυπνου σπιτιού

Τα έξυπνα σπίτια χρησιμοποιούν κορυφαίες καινοτομίες όπως στοιχεία φωτισμού και συστήματα ασφαλείας προκειμένου να εξασφαλίσουν την άνεση και την ευκολία κινήσεων των ανθρώπων που ζουν σε αυτά στην καθημερινότητα τους. Με δεδομένο ότι τα έξυπνα σπίτια γίνονται όλο ένα και πιο δημοφιλή και τα νέα τεχνολογικά επιτεύγματα χρησιμοποιούνται ευρέως, η διαβίωση σε ένα τέτοιο χώρο έχει τα πλεονεκτήματα της. Ωστόσο, υπάρχουν πολλοί παράγοντες που καθιστούν διστακτικούς τους ιδιοκτήτες των σπιτιών με την αγορά ενός έξυπνου σπιτιού. Παρακάτω αναφέρονται ορισμένα μειονεκτήματα διαβίωσης σε ένα έξυπνο σπίτι.

- **Κόστος:** Η εγκατάσταση χαρακτηριστικών τελευταίας τεχνολογίας στο εσωτερικό ενός σπιτιού συνεπάγεται και τη μεγαλύτερη αγοραστική αξία. Το κόστος για την αγορά ενός σπιτιού που κάνει τη ζωή πιο άνετη και εύκολη είναι υψηλό λόγω της τεχνολογίας που χρησιμοποιείται, όπως ασύρματες κάμερες, αισθητήρες φωτός και

αυτοματοποιημένα συστήματα. Επιπλέον, τα έξοδα παραμονής, συντήρησης και επισκευής αυτών των τεχνολογιών είναι υψηλά.

- Σύστημα επιτήρησης με βίντεο: Η επιτήρηση του χώρου με βίντεο μπορεί να είναι ένα εξαιρετικό εργαλείο για την εξασφάλιση υψηλής ασφάλειας και αποτροπής του εγκλήματος, αλλά όταν η τεχνολογία βρεθεί σε λάθος χέρια τότε προκύπτουν ζητήματα προστασίας της ιδιωτικής ζωής.
- Εξοικείωση με την τεχνολογία: Η κατοχή ενός έξυπνου σπιτιού συνεπάγεται ότι οι άνθρωποι που ζουν σε αυτό θα πρέπει να μάθουν πώς να το χρησιμοποιούν. Εν αντιθέσει με τα παραδοσιακά σπίτια, η τεχνολογία που χρησιμοποιείται στα έξυπνα σπίτια απαιτεί την προσαρμογή των ατόμων σε καινοτομίες όπως τα συστήματα ασφαλείας, οι μονάδες αέρα και το τηλεχειριστήριο που ελέγχει όλο το σπίτι. Για τα άτομα που είναι εξοικειωμένα με την τεχνολογία, η άνεση που παρέχει το έξυπνο σπίτι θα επιτευχθεί νωρίτερα, ενώ άλλοι θα χρειαστούν περισσότερο χρόνο έως ότου να διαβάσουν τα εγχειρίδια και να μάθουν τους τρόπους με τους οποίους θα μπορέσουν να επωφεληθούν από τις ευκολίες που τους παρέχει ένα έξυπνο σπίτι [3].

1.2. Internet of things (IoT) και Cyber-Physical Systems (CPS) συστήματα

Οι φράσεις “cyber-physical systems,” ή “CPS,” και “Internet of Things,” ή “IoT”, έχουν διαφορετικές προελεύσεις αλλά αλληλοεπικαλυπτόμενους (υπάρχουν κοινά σημεία) ορισμούς. Και οι δυο αναφέρονται στις τάσεις ενσωμάτωσης των δυνατοτήτων της ψηφιακής τεχνολογίας, συμπεριλαμβανομένης της συνδεσιμότητας δικτύου και υπολογιστικής ικανότητας, με φυσικές συσκευές και συστήματα. Τα παραδείγματα κυμαίνονται από έξυπνα οχήματα έως προηγμένη κατασκευή συστημάτων, σε ποικίλους (διαφορετικούς) τομείς, όπως η ενέργεια, η γεωργία, οι έξυπνες πόλεις και όχι μόνο [4].

1.2.1. Ορισμός Internet of things

Μια καταγραφή της ιστορικής αναδρομής του IoT, συμπεριλαμβανομένων των τεχνολογικών προόδων που οδήγησαν στην ιδέα, περιγράφεται παρακάτω. Η προέλευση της συγκεκριμένης φράσης ‘Internet of Things’ αποδίδεται γενικά στον Kevin Ashton το 1999, με μια παρουσίαση στον Proctor and Gamble και σχετικές εργασίες στο MIT Auto-ID Center. Έτσι, η ιδέα του IoT προέκυψε από το RFID (radio-frequency identification) community και αρχικά επικεντρώθηκε στη δυνατότητα παρακολούθησης της τοποθεσίας και της κατάστασης για οποιοδήποτε φυσικό αντικείμενο ή πράγμα, ιδιαίτερα σε εφαρμογές εφοδιαστικής αλυσίδας.

Εάν είχαμε υπολογιστές που ήξεραν τα πάντα για τα πράγματα-χρησιμοποιώντας δεδομένα που συγκεντρώθηκαν χωρίς καμία βοήθεια από εμάς- θα μπορούσαμε να παρακολουθούμε και να μετράμε τα πάντα, και να μειωθούν σημαντικά τα απόβλητα, οι απώλειες και το κόστος. Θα ξέραμε πότε χρειάζονταν αντικατάσταση, επισκευή ή ανάκληση [4],[5].

Παραδείγματα ορισμών Internet of things

2002: Είναι το απόλυτο στη διαχείριση αποθεμάτων: δεν απαιτείται μέτρηση με τα χέρια- απλώς επιτρέψτε στα chip να μιλήσουν μέχρι να βεβαιωθείτε ότι κάθε μονάδα που έχει παραγγείλει έχει όντως φτάσει, έγκαιρα και άθικτη. Σε δέκα χρόνια, σχεδόν κάθε το καταναλωτικό προϊόν πιθανότατα θα φέρει ένα μικροσκοπικό τσιπ που θα μεταδίδει συνεχώς την ύπαρξη του σε αναγνώστες ραδιοσυχνότητας σε αποβάθρες φόρτωσης, ράφια καταστημάτων, εισόδους, σταθμούς ασφαλείας και χώρους στάθμευσης- σχεδόν παντού [4],[6].

2003: Το Web (Ιστός), η συλλογή όλων των συσκευών που είναι συνδεδεμένες στο Internet, βρίσκεται στα πρόθυρα μιας τεράστιας εξέλιξης από έναν Ιστό υπολογιστών σε έναν Ιστό

πραγμάτων ως νέες συσκευές όπως τηλέφωνα, ηχητικά σήματα (beepers), αισθητήρες, wearable computers, telemetry sensors και tracking agents συνδέονται στο ίντερνετ [4],[7].

2005: Μια νέα διάσταση προστέθηκε στον κόσμο των πληροφοριών και των τεχνολογιών επικοινωνίας (information and communication technologies ICTs): από οποιαδήποτε στιγμή, σε οποιοδήποτε μέρος συνδεσιμότητα για οποιονδήποτε, θα έχουμε πλέον συνδεσιμότητα για οτιδήποτε [4],[8].

2009: Αυτό οδήγησε στον ορισμό για το Internet of Things: «Ένας κόσμος όπου τα φυσικά αντικείμενα ενσωματώνονται απρόσκοπτα στο δίκτυο πληροφοριών και όπου τα φυσικά αντικείμενα μπορούν να γίνουν ενεργοί συμμετέχοντες στις επιχειρηματικές διαδικασίες. Οι υπηρεσίες είναι διαθέσιμες για αλληλεπίδραση με αυτά τα «Έξυπνα αντικείμενα» μέσω του διαδικτύου, για αναζήτηση της κατάστασής τους και οποιασδήποτε πληροφορίας που σχετίζεται με αυτά, λαμβάνοντας υπόψη ζητήματα ασφάλειας και απορρήτου» [4],[9].

2009: Αν είχαμε υπολογιστές που γνώριζαν τα πάντα για τα πράγματα-χρησιμοποιώντας δεδομένα που συγκέντρωναν χωρίς καμία βοήθεια από εμάς- θα μπορούσαμε να παρακολουθούμε και να μετράμε τα πάντα και να μειώνουμε σημαντικά τη σπατάλη, την απώλεια και το κόστος. Θα ξέραμε πότε χρειάζονταν αντικατάσταση, επισκευή ή ανάκληση των πραγμάτων και αν ήταν νέα ή περασμένα από τα καλύτερά τους [4],[10].

2010: Το Internet of Things (IoT) είναι ένα νέο παράδειγμα που κερδίζει γρήγορα έδαφος στο σενάριο των σύγχρονων ασύρματων τηλεπικοινωνιών. Η βασική ιδέα αυτής της έννοιας είναι η διάχυτη παρουσία γύρω μας μιας ποικιλίας πραγμάτων ή αντικειμένων- όπως ετικέτες αναγνώρισης ραδιοσυχνότητας (RFID), αισθητήρες, ενεργοποιητές, έξυπνα τηλέφωνα κ.λπ.- τα οποία, μέσω μοναδικών σχημάτων διευθύνσεων, είναι σε θέση να αλληλεπιδρούν μεταξύ τους και να συνεργάζονται με τους γείτονές τους για την επίτευξη κοινών στόχων [4],[11].

2011: Το Internet of Things είναι μια έννοια στην οποία ο εικονικός κόσμος της τεχνολογίας πληροφοριών ενσωματώνεται άψογα με τον πραγματικό κόσμο των πραγμάτων [4],[12].

2011: Η σύνδεση φυσικών πραγμάτων με το Διαδίκτυο καθιστά δυνατή την πρόσβαση σε δεδομένα απομακρυσμένων αισθητήρων και τον έλεγχο του φυσικού κόσμου από απόσταση. Ο συνδυασμός των συλλεγόμενων δεδομένων με δεδομένα που ανακτώνται από άλλες πηγές, π.χ. με δεδομένα που περιέχονται στο Web, δημιουργεί νέες συνεργατικές υπηρεσίες που υπερβαίνουν τις υπηρεσίες που μπορούν να παρέχονται από ένα απομονωμένο ενσωματωμένο σύστημα. Το Internet of Things βασίζεται σε αυτό το όραμα [4],[13].

2012: Το Internet-of-Things (IoT) αντιπροσωπεύει ένα «παγκόσμιο δίκτυο και υποδομή υπηρεσιών μεταβλητής/ασταθής/ποικίλης πυκνότητας και συνδεσιμότητας με δυνατότητες αυτορύθμισης βασισμένες σε τυπικά και διαλειτουργικά πρωτόκολλα και μορφές (που) αποτελούνται από ετερογενή πράγματα που έχουν ταυτότητες, φυσικά και εικονικά χαρακτηριστικά, και ενσωματώνονται απρόσκοπτα και με ασφάλεια στο Διαδίκτυο». Έτσι, το IoT ακολουθεί το όραμα «οτιδήποτε συνδεδεμένο» της ITU και υποθέτει ότι οποιοδήποτε φυσικό ή εικονικό πράγμα που θα μπορούσε να ωφεληθεί από μια σύνδεση στο Διαδίκτυο θα συνδεθεί τελικά [4],[14].

2013: Το Internet of Things (IoT) αναφέρεται σε ένα ευρύ όραμα όπου «πράγματα» όπως καθημερινά αντικείμενα, μέρη και περιβάλλοντα διασυνδέονται μεταξύ τους μέσω του Διαδικτύου [4],[15].

2014: Το Internet of Things (IoT) ορίζεται από την ITU και το IERC ως μια δυναμική παγκόσμια υποδομή δικτύου με δυνατότητες αυτόματης ρύθμισης παραμέτρων που βασίζονται σε τυπικά και διαλειτουργικά πρωτόκολλα επικοινωνίας όπου τα φυσικά και εικονικά «πράγματα» έχουν ταυτότητες, φυσικά χαρακτηριστικά και εικονικές προσωπικότητες, χρησιμοποιούν ευφυείς διεπαφές και ενσωματώνονται απρόσκοπτα στο δίκτυο πληροφοριών [4],[16].

2015: Ο όρος “Internet of Thongs” (IoT) υποδηλώνει μια τάση όπου ένας μεγάλος αριθμός ενσωματωμένων συσκευών χρησιμοποιούν υπηρεσίες επικοινωνίας που προσφέρονται από πρωτόκολλα διαδικτύου. Πολλές από αυτές τις συσκευές, που συχνά ονομάζονται «έξυπνα αντικείμενα», δεν λειτουργούν απευθείας από τον άνθρωπο, αλλά υπάρχουν ως εξαρτήματα σε κτίρια ή οχήματα ή απλώνονται στο περιβάλλον [4],[17].

2015: Το μοντέλο IoT περιλαμβάνει αίσθηση, σκέψη και δράση, συνήθως επαναλαμβανόμενα με αυτή τη σειρά. Το IoT περιέχει ήδη μυριάδες αισθητήρων και περισσότεροι προστίθενται καθημερινά. Τα δεδομένα του αισθητήρα απαιτούν κάποια μορφή επεξεργασίας, η οποία αποτελεί τη φάση σκέψης του μοντέλου. Τα επεξεργασμένα δεδομένα, έπειτα, ξεκινούν κάποιο είδος ενέργειας [4],[18].

2016: Η προσέγγιση του Internet of Things (IoT) έχει αποκτήσει δυναμική όσον αφορά τη σύνδεση καθημερινών αντικειμένων με το διαδίκτυο και τη διευκόλυνση της επικοινωνίας machine-to-human και machine-to-machine με τον φυσικό κόσμο. Το IoT προσφέρει τη δυνατότητα σύνδεσης και ενοποίησης τόσο ψηφιακών όσο και φυσικών οντοτήτων, επιτρέποντας μια εντελώς νέα κατηγορία εφαρμογών και υπηρεσιών [4],[19].

2016: Η ιδέα του IoT είναι να διασυνδέσει τον φυσικό κόσμο με τον ψηφιακό κόσμο. Επομένως, οι αισθητήρες μετρούν τις παραμέτρους του φυσικού κόσμου καθώς και τις αλλαγές του. Κατά συνέπεια, αυτές οι πληροφορίες μεταφράζονται σε δεδομένα επεξεργάσιμα από υπολογιστές. Επιπλέον, ο στόχος του IoT είναι να ενεργεί στον φυσικό κόσμο μέσω ενεργοποιητών (actuators) [4],[20].

2017: Τόσο η ιδέα όσο και η τεχνολογία για τη σύνδεση αισθητήρων και ενεργοποιητών (actuators) σε ένα δίκτυο απομακρυσμένων φυσικών συστημάτων παρακολούθησης και ελέγχου είναι γνωστά εδώ και πολλά χρόνια και αναπτύχθηκαν ανάλογα. Ωστόσο, λίγο περισσότερο από μια δεκαετία πριν επινοήθηκε η έννοια του Internet of Things (IoT) και χρησιμοποιούνται για την ενσωμάτωση τέτοιων προσεγγίσεων σε ένα κοινό πλαίσιο. Η τεχνολογία εξελίσσεται συνεχώς και το ίδιο ισχύει και για την έννοια του Internet of Things, που ενσωματώνει νέα ορολογία κατάλληλη για τεχνολογικές εξελίξεις και διαφορετικούς τομείς εφαρμογών [4],[21].

2017: Τα τελευταία χρόνια, έχουν δημιουργηθεί διαφορετικοί ορισμοί του Internet of Things (IoT) που περιγράφουν το IoT και ως τεχνολογικό σύστημα και ως έννοια. Για παράδειγμα, στο (www.cpsos.eu), το IoT ορίζεται ως «μια νέα εποχή πανταχού παρούσας συνδεσιμότητας και ευφυΐας, όπου ένα σύνολο στοιχείων, προϊόντων, υπηρεσιών και πλατφόρμων συνδέουν, εικονικοποιούν και ενσωματώνουν τα πάντα σε ένα δίκτυο επικοινωνίας για ψηφιακή επεξεργασία», ενώ ο ορισμός του IERC (http://www.internet-of-thingsresearch.eu/about_iiot.htm) δηλώνει ότι το IoT είναι «μια δυναμική παγκόσμια υποδομή δικτύου με δυνατότητες αυτοδιαμόρφωσης που βασίζονται σε τυπικά και διαλειτουργικά πρωτόκολλα επικοινωνίας όπου φυσικά και εικονικά «πράγματα» έχουν ταυτότητες, φυσικές ιδιότητες και εικονικές προσωπικότητες και χρησιμοποιούν ευφυείς διεπαφές και ενσωματώνονται απρόσκοπτα στο δίκτυο πληροφοριών [4],[22].

2018: Το Internet of Things είναι το δίκτυο φυσικών αντικειμένων ή «πραγμάτων» ενσωματωμένα με ηλεκτρονικά, λογισμικό, αισθητήρες και συνδεσιμότητα για να επιτρέπεται στα αντικείμενα να ανταλλάσσουν δεδομένα με τον κατασκευαστή, τον χειριστή ή/και άλλες συνδεδεμένες συσκευές. Το Διαδίκτυο των Πραγμάτων (IoT) αναφέρεται σε συσκευές, που συχνά είναι περιορισμένη στις δυνατότητες επικοινωνίας και υπολογισμού, που πλέον γίνεται πιο συχνά συνδεδεμένη με το Διαδίκτυο και σε διάφορες υπηρεσίες που είναι χτισμένες πάνω από τις δυνατότητες αυτών των συσκευών που παρέχουν από κοινού [4],[23].

2018: Το Internet of Things ή IoT, αναφέρεται σε δισεκατομμύρια φυσικές συσκευές σε όλο τον κόσμο που συνδέονται τώρα στο διαδίκτυο, συλλέγουν και μοιράζονται δεδομένα. Χάρη

στους φθηνούς επεξεργαστές και τα ασύρματα δίκτυα, είναι δυνατό να μετατραπεί οτιδήποτε, από ένα χάπι σε ένα αεροπλάνο, σε μέρος του IoT. Αυτό προσθέτει ένα επίπεδο ψηφιακής νοημοσύνης σε συσκευές που διαφορετικά θα ήταν ανόητες, επιτρέποντάς τους να επικοινωνούν χωρίς ένα ανθρώπινο όν που εμπλέκεται και συγχωνεύει τον ψηφιακό και τον φυσικό κόσμο [4],[24].

2018: Το Internet of Things (IoT) μπορεί να οριστεί ως ένας κόσμος διασυνδεδεμένων πραγμάτων που είναι ικανά για sensing, actuating και communicating μεταξύ τους και με το περιβάλλον (δηλαδή, έξυπνα πράγματα ή έξυπνα αντικείμενα). Επιπλέον, το IoT παρέχει τη δυνατότητα ανταλλαγής πληροφοριών και αυτόνομης απόκρισης σε γεγονότα του πραγματικού/φυσικού κόσμου, ενεργοποιώντας διαδικασίες και δημιουργώντας υπηρεσίες με ή χωρίς άμεση ανθρώπινη παρέμβαση [4],[25].

1.2.2. Ορισμός Cyber-Physical Systems

Πρόσφατες δημοσιευμένες ιστορικές αναδρομές για τα CPS αποδίδουν γενικά τη δημιουργία/επινοήση της φράσης ‘cyber-physical systems’ το 2006 στην Helen Gill από το Εθνικό Ίδρυμα Επιστημών των ΗΠΑ (US National Science Foundation (NSF), αλλά επίσης υποδεικνύουν την εμφάνιση της από προγενέστερες έννοιες, συμπεριλαμβανομένων των mechatronics, ενσωματωμένων συστημάτων, pervasive computing, cybernetics και άλλα. Τα βασικά αρχικά γεγονότα ήταν: NFS Workshop on Cyber-Physical System τον Οκτώβριο του 2006 [26], ένα workshop on Network Embedded Control for Cyber-Physical Systems τον Νοέμβριο του 2006 [27], μια έκθεση του 2007 από το Συμβούλιο Συμβούλων του Προέδρου για την Επιστήμη και την Τεχνολογία (a report from the President’s Council of Advisors on Science and Technology (PCAST) που τόνισε το CPS ως εθνική προτεραιότητα έρευνας και ανάπτυξης [28] και μια έκκληση υποβολής προτάσεων για CPS έρευνα από το NSF [29]. Αυτά τα γεγονότα οδήγησαν σε σταθερή ανάπτυξη της έρευνας στα cyber-physical systems [30].

Παραδείγματα ορισμών CPS

2006: Τα Cyber-Physical Systems (CPS) είναι ενοποιήσεις υπολογισμού με φυσικές διαδικασίες-διεργασίες. Οι ενσωματωμένοι υπολογιστές και τα δίκτυα παρακολουθούν και ελέγχουν τις φυσικές διαδικασίες, συνήθως με βρόχους ανάδρασης (ανατροφοδότησης) όπου οι φυσικές διαδικασίες επηρεάζουν τους υπολογισμούς και αντίστροφα. Στον φυσικό κόσμο, το πέρασμα του χρόνου είναι αμείλικτο (αδιάλλακτο) και η σύμπτωση είναι εγγενής (φυσική). Καμία από αυτές τις ιδιότητες δεν υπάρχει στις σημερινές περιλήψεις υπολογιστών και δικτύων [4], [31].

2007: Τα συστήματα NIT που συνδέονται με τον φυσικό κόσμο -που ονομάζονται επίσης ενσωματωμένα, μηχανικά ή κυβερνο-φυσικά συστήματα - είναι απαραίτητα για την αποτελεσματική λειτουργία των αμυντικών και πληροφοριακών συστημάτων των ΗΠΑ και των κρίσιμων υποδομών (π.χ. έλεγχος εναέριας κυκλοφορίας, ηλεκτρικό δίκτυο και συστήματα παροχής νερού). Τα κυβερνο-φυσικά συστήματα αποτελούν επίσης τον πυρήνα των δομών της ανθρώπινης κλίμακας, όπως οχήματα και συσκευές κλινικής και οικιακής υγειονομικής περίθαλψης, καθώς και εφαρμογές πολιτικής μεγάλης κλίμακας, όπως η παρακολούθηση του περιβάλλοντος, ο έλεγχος της βιομηχανικής διαδικασίας και η διαχείριση των επίγειων μεταφορών. Αυτά τα συστήματα NIT, στα οποία ο υπολογιστής και η δικτύωση είναι βαθιά ενσωματωμένα σε άλλα μηχανικά συστήματα, συνδέονται με τον φυσικό κόσμο μέσω αισθητήρων και ενεργοποιητών για την εκτέλεση κρίσιμων λειτουργιών παρακολούθησης και ελέγχου με ασφάλεια και αξιοπιστία [4],[32].

2008: Τα Cyber-Physical Systems (CPS) ενσωματώνουν υπολογιστικές και επικοινωνιακές δυνατότητες με την παρακολούθηση και τον έλεγχο οντοτήτων στον φυσικό κόσμο. Αυτά τα συστήματα αποτελούνται συνήθως από ένα σύνολο δικτυωμένων παραγόντων, συμπεριλαμβανομένων: αισθητήρων, ενεργοποιητών, μονάδων επεξεργασίας ελέγχου και συσκευών επικοινωνίας [4],[33].

2008: Αυτές οι ανησυχίες έχουν ιδιαίτερη σημασία στα κυβερνοφυσικά συστήματα στα οποία ο υπολογισμός και ο χρόνος επικοινωνίας και η σημασιολογία συμβάντων (γεγονότων) αλληλοεξαρτώνται από τη φυσική χρονομέτρηση και τη σημασιολογία συμβάντων (γεγονότων) [4],[34].

2008: Τα Cyber-Physical Systems (CPS) είναι μεγάλης κλίμακας διασυνδεδεμένα συστήματα ετερογενών συστατικών που προβλέπεται να παρέχουν ενσωμάτωση του υπολογισμού με φυσικές διαδικασίες [4],[35].

2008: Τα κυβερνο-φυσικά συστήματα είναι φυσικά, βιολογικά και κατασκευασμένα (μηχανικά) συστήματα των οποίων οι λειτουργίες είναι ενσωματωμένες, παρακολουθούνται και/ή ελέγχονται από υπολογιστικό πυρήνα. Τα εξαρτήματα είναι δικτυωμένα σε κάθε κλίμακα. Ο υπολογισμός είναι «βαθιά ενσωματωμένος» σε κάθε φυσικό συστατικό, πιθανώς ακόμη και σε υλικά. Ο υπολογιστικός πυρήνας είναι ένα ενσωματωμένο σύστημα, συνήθως απαιτεί ανταπόκριση σε πραγματικό χρόνο και είναι συχνότερα διανεμημένος (κατανεμημένος). Η συμπεριφορά ενός κυβερνο-φυσικού συστήματος είναι ένας πλήρως ενσωματωμένος υβριδισμός υπολογιστικής (λογικής) και φυσικής δράσης [4],[36].

2008: Η ενσωμάτωση φυσικών συστημάτων και διαδικασιών με δικτυακό υπολογισμό οδήγησε στην εμφάνιση μιας νέας γενιάς μηχανικών συστημάτων: Cyber-Physical Systems (CPS). Τέτοια συστήματα χρησιμοποιούν υπολογισμούς και επικοινωνία βαθιά ενσωματωμένα και αλληλεπιδρούν με φυσικές διαδικασίες για να προσθέσουν νέες δυνατότητες στα φυσικά συστήματα [4],[37].

2008: Τα Cyber-Physical Systems (CPS) είναι ενοποιήσεις υπολογιστικών και φυσικών διαδικασιών. Οι ενσωματωμένοι υπολογιστές και τα δίκτυα παρακολουθούν και ελέγχουν τις φυσικές διαδικασίες, συνήθως με βρόχους ανατροφοδότησης όπου οι φυσικές διαδικασίες επηρεάζουν τους υπολογισμούς και αντίστροφα ... Υπάρχουν σημαντικές προκλήσεις, ιδιαίτερα επειδή τα φυσικά συστατικά αυτών των συστημάτων εισάγουν απαιτήσεις ασφάλειας και αξιοπιστίας ποιοτικά διαφορετικές από τους υπολογισμούς γενικής χρήσης. Επιπλέον, τα φυσικά στοιχεία είναι ποιοτικά διαφορετικά από τα αντικειμενοστραφή στοιχεία λογισμικού [4],[38].

2008: Τα Cyber-Physical Systems είναι μια συλλογή συνδεδεμένη στο δίκτυο επόμενης γενιάς από χαλαρά συνδεδεμένα καταναμημένα συστήματα στον κυβερνοχώρο και φυσικά συστήματα που παρακολουθούνται/ελέγχονται από σημασιολογικούς νόμους καθορισμένους από τον χρήστη. Εδώ, τα συστήματα στον κυβερνοχώρο είναι συλλογές λογικής ελέγχου και μονάδων αισθητήρων, ενώ τα φυσικά συστήματα είναι συλλογές μονάδων ενεργοποίησης [4],[39].

2009: Τα Cyber-Physical Systems (CPS) είναι ενσωματώσεις υπολογισμού, επικοινωνίας και ελέγχου με τον φυσικό κόσμο. Πιο συγκεκριμένα, ένα CPS θεωρείται ότι είναι ένα ετερογενές σύστημα συστημάτων, που αποτελείται από υπολογιστικές συσκευές και ενσωματωμένα συστήματα συμπεριλαμβανομένων καταναμημένων αισθητήρων και ενεργοποιητών. Αυτά τα στοιχεία συνδέονται μεταξύ τους σε μεγάλη κλίμακα και εκτελούνται αυτόνομα καθήκοντα για τη σύνδεση του κυβερνοχώρου με τον φυσικό κόσμο [4],[40].

2009: Τα αναδυόμενα κυβερνο-φυσικά συστήματα (CPS) προβλέπεται να ενσωματώνουν υπολογισμούς, επικοινωνία και έλεγχο με τον φυσικό κόσμο. Επομένως, το CPS απαιτεί στενές αλληλεπιδράσεις μεταξύ του κυβερνοχώρου και του φυσικού κόσμου τόσο στο χρόνο όσο και στο χώρο. Αυτές οι αλληλεπιδράσεις συνήθως διέπονται από γεγονότα, που συμβαίνουν στον φυσικό κόσμο και πρέπει να αντικατοπτρίζονται αυτόνομα στον κυβερνοχώρο και τις δράσεις, που λαμβάνονται από το CPS ως αποτέλεσμα αντίχτυπου γεγονότων και ορισμένων μηχανισμών απόφασης [4],[41].

2010: Τα κυβερνο-φυσικά συστήματα (CPS) είναι φυσικά και κατασκευασμένα (μηχανικά) συστήματα των οποίων οι λειτουργίες παρακολουθούνται, οργανώνονται, ελέγχονται και ενσωματώνονται από έναν πυρήνα υπολογιστών και επικοινωνιών [4],[42].

2010: Το CPS, αφορά τη διασταύρωση, όχι την ένωση, του φυσικού και του κυβερνοχώρου. Στον φυσικό κόσμο, κεντρική ιδιότητα ενός συστήματος είναι η δυναμική του, η εξέλιξη της κατάστασής του με την πάροδο του χρόνου. Στον κόσμο του κυβερνοχώρου, η δυναμική μειώνεται σε αλληλουχίες/σειρές αλλαγών καταστάσεων χωρίς χρονική σημασιολογία. Η πνευματική καρδιά του CPS είναι στη μελέτη της κοινής δυναμικής των φυσικών διεργασιών, λογισμικού και δικτύων [4],[43].

2010: Τα κυβερνο-φυσικά συστήματα (CPS) είναι φυσικά και κατασκευασμένα συστήματα των οποίων οι λειτουργίες παρακολουθούνται, συντονίζονται, ελέγχονται και ενσωματώνονται από έναν πυρήνα υπολογιστών και επικοινωνιών [4],[44].

2010: Το CPS είναι μια πολλά υποσχόμενη νέα κατηγορία συστημάτων που ενσωματώνουν βαθιά ικανότητες του κυβερνοχώρου (διαδικτυακές ικανότητες) στον φυσικό κόσμο, είτε σε ανθρώπους, υποδομές ή πλατφόρμες, ώστε να μεταμορφωθούν αλληλεπιδράσεις με τον φυσικό κόσμο. Οι πρόοδοι στον κόσμο του κυβερνοχώρου όπως οι επικοινωνίες, η δικτύωση, η ανίχνευση, ο υπολογισμός, η αποθήκευση και ο έλεγχος, καθώς και στον φυσικό κόσμο όπως υλικά, εξοπλισμός (εργαλεία) και τα ανανεώσιμα «πράσινα» καύσιμα, όλα συγκλίνουν ταχέως στο να συνειδητοποιήσουν αυτήν την κατηγορία ιδιαίτερων (άκρως) συλλογικών υπολογιστικών συστημάτων που εξαρτώνται από αισθητήρες και ενεργοποιητές για την παρακολούθηση και επίδραση της αλλαγής. Το αυριανό CPS αναμένεται να εμπλουτίσει τις κυβερνο-φυσικές αλληλεπιδράσεις με στενή σύζευξη περιουσιακών στοιχείων και δυναμική των φυσικών και μηχανικών συστημάτων με υπολογισμούς και επικοινωνίες των κυβερνο-συστημάτων, σε μεγάλες κλίμακες και βάθη από νανοσυστήματα έως γεωγραφικά διεσπαρμένα (διάχυτα) συστήματα-συστήματα [4],[45].

2011: Τα CPS ενσωματώνουν τη δυναμική των φυσικών διεργασιών με εκείνη των λογισμικού και επικοινωνίας, παρέχοντας αφηρημένες έννοιες και τεχνικές μοντελοποίησης, σχεδίασης και ανάλυσης για το ολοκληρωμένο σύνολο. Η δυναμική μεταξύ των υπολογιστών, των δικτύων και των φυσικών συστημάτων αλληλεπιδρούν με τρόπους που απαιτούν θεμελιωδώς νέες τεχνολογίες σχεδιασμού [4],[46].

2011: Ο όρος κυβερνοφυσικά συστήματα (CPS) αναφέρεται σε μια νέα γενιά συστημάτων με ολοκληρωμένα υπολογιστικές και φυσικές δυνατότητες που μπορούν να αλληλεπιδράσουν με

τους ανθρώπους μέσω πολλών νέων τρόπων. Η ικανότητα αλληλεπίδρασης και επέκτασης των δυνατοτήτων του φυσικού κόσμου μέσω υπολογισμών, η επικοινωνία και ο έλεγχος είναι βασικός παράγοντας για τις μελλοντικές τεχνολογικές εξελίξεις [4],[47].

2012: Το CPS είναι μια ενοποίηση (ενσωμάτωση) του υπολογισμού με τις φυσικές διεργασίες, αφορά τη διασταύρωση, όχι την ένωση του φυσικού και του κυβερνοχώρου (διαδικτύου). Επίσης, ένας πολύπλοκος ορισμός των CPS δόθηκε από τον Shankar Sastry από το Πανεπιστήμιο της Καλιφόρνια, Berkeley (Μπέρκλεϋ) το 2008: «Ένα κυβερνοφυσικό σύστημα (CPS) ενσωματώνει δυνατότητες υπολογισμού, επικοινωνίας και αποθήκευσης με παρακολούθηση και/ή έλεγχο οντοτήτων στον φυσικό κόσμο, και πρέπει να το κάνει με αξιοπιστία, ασφάλεια, αποτελεσματικότητα και σε πραγματικό χρόνο». Τα CPS δεν είναι: τα παραδοσιακά ενσωματωμένα συστήματα ή τα συστήματα σε πραγματικό χρόνο, τα σημερινά δίκτυα αισθητήρων και μόνο οι εφαρμογές επιτραπέζιου υπολογιστή, αλλά έχουν ορισμένα χαρακτηριστικά που τα καθορίζουν, όπως αναφέρεται στον Huang (2008) και παρουσιάζεται παρακάτω: (1) Δυνατότητες Cyber σε κάθε φυσικό στοιχείο. (2) Δικτυωμένο σε πολλαπλή και ακραία κλίμακα. (3) Δυναμική αναδιαμόρφωση/αναδιοργάνωση. (4) Υψηλοί βαθμοί αυτοματισμού, οι βρόχοι ελέγχου πρέπει να κλείσουν (the control loops must Close) (5) Η λειτουργία πρέπει να είναι αξιόπιστη και πιστοποιημένη σε ορισμένες περιπτώσεις. (6) διαδικτυακά (cyber) και φυσικά στοιχεία είναι ενσωματωμένα για μάθηση και προσαρμογή, υψηλότερες επιδόσεις, αυτοοργάνωση, αυτοσυναρμολόγηση [4],[48].

2013: Οι ενσωματωμένες δυνατότητες δικτύωσης, επεξεργασίας πληροφοριών, ανίχνευσης και ενεργοποίησης επιτρέπουν στις φυσικές συσκευές να λειτουργούν σε μεταβαλλόμενο (μεταβλητό) περιβάλλον. Αυτό καθιστά δυνατά τα έξυπνα συστήματα, αλλά δημιουργεί επίσης και την ανάγκη για μια νέα «επιστήμη συστημάτων» που μπορεί να οδηγήσει σε άνευ προηγουμένου (πρωτόγνωρες) ικανότητες. Στενά συνδεδεμένος κυβερνοχώρος και φυσικά συστήματα που παρουσιάζουν αυτό το επίπεδο ολοκληρωμένης νοημοσύνης αναφέρονται μερικές φορές ως κυβερνοφυσικά συστήματα (CPS). Όλα τα CPS έχουν υπολογιστικές διαδικασίες που αλληλεπιδρούν με φυσικά στοιχεία [4],[49].

2013: Τα κυβερνοφυσικά συστήματα (CPS) μπορούν να περιγραφούν ως έξυπνα συστήματα που περιλαμβάνουν υπολογιστικά συστήματα (δηλαδή, υλικό (hardware) και λογισμικό (software)) και φυσικά στοιχεία, ενσωματωμένα άψογα-απρόσκοπτα και σε στενή αλληλεπίδραση ώστε να γίνεται αισθητή η μεταβαλλόμενη κατάσταση του πραγματικού κόσμου. Αυτά τα συστήματα περιλαμβάνουν υψηλό βαθμό πολυπλοκότητας σε πολυάριθμες

χωρικές και χρονικές κλίμακες και εξαιρετικά δικτυωμένες επικοινωνίες που ενσωματώνουν υπολογιστικές και φυσικά συστατικά [4],[50].

2013: Συστήματα που ενσωματώνουν τον κόσμο του κυβερνοχώρου με τον φυσικό κόσμο αναφέρονται συχνά ως κυβερνοφυσικά συστήματα (CPS). Τα υπολογιστικά και φυσικά στοιχεία τέτοιων συστημάτων είναι στενά διασυνδεδεμένα και συντονισμένα για να συνεργάζονται αποτελεσματικά, μερικές φορές με ανθρώπους στο βρόγχο (in the loop) [4],[51].

2014: Ο ρόλος που διαδραματίζουν οι συσκευές δεν περιορίζεται πλέον στη σύνδεση των χρηστών στο Διαδίκτυο , αλλά έχει επεκταθεί/διευρυνθεί και γίνεται/εξελίσσεται σε μια ευκαιρία διασύνδεσης του φυσικού κόσμου με τον κόσμο του κυβερνοχώρου, οδηγώντας στην εμφάνιση των κυβερνοφυσικών συστημάτων (CPS). Η έννοια του CPS αναφέρεται σε μια επόμενη γενιά ενσωματωμένων ICT συστημάτων όπου ο υπολογισμός και η δικτύωση ενσωματώνονται με φυσικές διαδικασίες και ελέγχουν και διαχειρίζονται τη δυναμική τους και τους καθιστούν πιο αποτελεσματικούς, αξιόπιστους, προσαρμόσιμους και ασφαλείς. Πληροφορίες σχετικά με φυσικές διεργασίες, για παράδειγμα που συλλέγονται μέσω αισθητήρων, μεταφέρονται, υποβάλλονται σε επεξεργασία και χρησιμοποιούνται στον ψηφιακό κόσμο, αλλά μπορεί επίσης να επηρεάσουν τις φυσικές διαδικασίες μέσω ανατροφοδότησης βρόγχων (feedback loops), για παράδειγμα με χρήση ενεργοποιητών (using actuators). Η ιδιαιτερότητα των CPS είναι ότι το ICT σύστημα σχεδιάζεται μαζί με τα φυσικά στοιχεία για τη μεγιστοποίηση της συνολικής απόδοσης, όντας έτσι σε αντίθεση με τα κλασικά ενσωματωμένα συστήματα όπου ο στόχος είναι να συμπεριληφθούν ηλεκτρονικό σύστημα (ηλεκτρονική)/ υπολογισμός/ επικοινωνία/ χρήση αφηρημένων εννοιών σε έναν ήδη λειτουργικό φυσικό κόσμο [4],[52].

2015: Τα Cyber Physical Systems (CPS) είναι έξυπνα δικτυωμένα συστήματα με ενσωματωμένους αισθητήρες, επεξεργαστές και ενεργοποιητές που έχουν σχεδιαστεί για να αισθάνονται και να αλληλεπιδρούν με τον φυσικό κόσμο (συμπεριλαμβανομένου των ανθρώπινων χρηστών) και υποστηρίζουν σε πραγματικό χρόνο, εγγυημένη απόδοση σε κρίσιμες για την ασφάλεια εφαρμογές. Στα συστήματα CPS, η κοινή συμπεριφορά των «κυβερνό» και «φυσικών» στοιχείων του συστήματος είναι κρίσιμη- ο υπολογισμός, ο έλεγχος, η ανίχνευση και η δικτύωση μπορούν να ενσωματωθούν σε βάθος σε κάθε στοιχείο και οι ενέργειες/δράσεις των στοιχείων και τα συστήματα πρέπει να είναι ασφαλή και διαλειτουργικά [4],[53].

2015: Κύρια χαρακτηριστικά των Cyber Physical Systems είναι επομένως η αυτοματοποιημένη ενσωμάτωση των φυσικών και ψηφιακών στοιχείων, η παρακολούθηση της φυσικής πραγματικότητας μέσω αισθητήρων και η δυνατότητα να ενεργήσει πάνω σε αυτή την πραγματικότητα μέσω ενεργοποιητών. Επιπλέον, η ενσωματωμένη επεξεργασία πληροφοριών και δεδομένων, καθώς και οι δυνατότητες αυτόνομης λήψης αποφάσεων και ελέγχου, αποτελούν βασικές λειτουργίες. Τελικά, τα Cyber Physical Systems θα πρέπει να περιέχουν τις τεχνικές δυνατότητες επικοινωνίας και συντονισμού μεταξύ τους, καθώς και με τα σχετικά συστήματα πληροφοριών και με τις ανθρώπινες αρχές, και να ανταποκρίνονται δυναμικά και έξυπνα στις αλλαγές μέσα στον φυσικό κόσμο βελτιώνοντας έτσι τις ικανότητές, την εμπειρία και τη γνώση (δίκτυα) [4],[54].

2016: Τα κυβερνοφυσικά συστήματα (CPS) είναι «μηχανικά συστήματα που είναι κατασκευασμένα από, και εξαρτώνται από, την απρόσκοπτη ενοποίηση υπολογιστικών αλγορίθμων και φυσικών στοιχείων». Το CPS μπορεί να είναι μικρό και κλειστό, όπως ένα τεχνητό πάγκρεας, ή πολύ μεγάλο, πολύπλοκο και διασυνδεδεμένο, όπως ένα περιφερειακό ενεργειακό δίκτυο. Η μηχανική των CPS επικεντρώνεται στη διαχείριση αλληλεξαρτήσεων και επιπτώσεων φυσικών πτυχών σχετικά με πτυχές του κυβερνοχώρου και αντίστροφα... Το CPS γεφυρώνει τις εφαρμογές μηχανικής και φυσικού κόσμου και το υλισμικό μηχανικής υπολογιστών και του κυβερνοχώρου της επιστήμης των υπολογιστών. Βασικές αρχές του φυσικού κόσμου περιλαμβάνουν τη φυσική, τη μαθηματική μοντελοποίηση, την ανάλυση και τον αλγόριθμο και το σχεδιασμό και την αντιμετώπιση των συστημάτων τη σχετική αβεβαιότητα και τον κίνδυνο. Αρχές Μηχανικής Υπολογιστών και Επιστήμης Υπολογιστών. Οι (κυβερνο)κόσμοι ασχολούνται με ενσωματωμένα συστήματα υλικού υπολογιστών και επικοινωνιών, λογισμικό προγραμματισμού και δικτύωσης, Εθνικής Ακαδημίας Επιστημών, Μηχανικής και Ιατρικής [4],[55].

2016: Τα CPS είναι χωρικά κατανομημένα, ευαίσθητα στο χρόνο και πολλαπλής κλίμακας, δικτυωμένα ενσωματωμένα συστήματα, συνδέοντας τον φυσικό κόσμο του κυβερνοχώρου μέσω αισθητήρων και ενεργοποιητών [4],[56].

2016: Ένα CPS μπορεί να θεωρηθεί ως η χρήση των λογικών και διακριτών ιδιοτήτων των υπολογιστών που ελέγχει και επιβλέπει τις συνεχείς και δυναμικές ιδιότητες των φυσικών συστημάτων [4],[57].

2017: Τα Cyber-Physical Systems (CPS) περιλαμβάνουν αλληλεπιδρώντα ψηφιακά, αναλογικά, φυσικά και ανθρώπινα εξαρτήματα σχεδιασμένα για λειτουργία μέσω ολοκληρωμένης φυσικής και λογικής [4],[58].

2018: Τα κυβερνοφυσικά συστήματα (CPS) είναι μηχανικά συστήματα που κατασκευάζονται από, και εξαρτώνται από, την απρόσκοπτη ενοποίηση υπολογιστικών αλγορίθμων και φυσικών στοιχείων [4],[59].

2018: Το CPS αντιμετωπίζει τις στενές αλληλεπιδράσεις και το feedback loop μεταξύ των στοιχείων του κυβερνοχώρου, όπως συστήματα αίσθησης και τα φυσικά στοιχεία, όπως ποικίλα συστήματα περιβάλλοντος και ενέργειας. Οι υποδειγματικές ερευνητικές περιοχές των CPS περιλαμβάνουν τη θεωρία και την πρακτική ανίχνευσης και χειρισμού δεδομένων, τη μηχανική θεμελίωση των κυβερνο-φυσικών αλληλεπιδράσεων, τον σχεδιασμό και την επαλήθευση των ενσωματωμένων υπολογιστικών συστημάτων και την εφαρμογή μεθοδολογιών CPS σε διάφορους τομείς όπως τα συστήματα έξυπνης ενέργειας, έξυπνο σπίτι/κτίριο/κοινότητα/πόλη, συνδεδεμένο και αυτόνομο σύστημα οχημάτων, ιατρικά προσθετικά, φορητή συσκευή, internet of things κ.λπ [4],[60].

2018: Το Cyber-Physical Systems (CPS) έχει αναδειχθεί ως ενοποιητικό όνομα για συστήματα όπου τα μέρη του κυβερνοχώρου, δηλαδή, τα μέρη υπολογιστών και επικοινωνίας και τα φυσικά μέρη είναι στενά ενσωματωμένα, τόσο στο χρόνο σχεδίασης όσο και κατά τη λειτουργία. Τέτοια συστήματα χρησιμοποιούν υπολογισμούς και επικοινωνία σε βάθος ενσωματώνονται και αλληλεπιδρούν με φυσικές διαδικασίες για να προσθέσουν νέες δυνατότητες στα φυσικά συστήματα. Αυτά τα κυβερνοφυσικά συστήματα κυμαίνονται από μικροσκοπικά (ρυθμιστές) έως μεγάλης κλίμακας (ένα εθνικό δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας) [4],[61].

1.2.3. Σύγκριση μεταξύ IoT και CPS

Οι έννοιες CPS και IoT προέκυψαν από διαφορετικές κοινότητες, με το CPS να προέρχεται κυρίως από την προοπτική της μηχανικής και του ελέγχου συστημάτων (systems engineering and control perspective). Ένα κυβερνο-φυσικό σύστημα είναι ένα σύστημα συνεργαζόμενων υπολογιστικών στοιχείων που ελέγχουν φυσικές οντότητες. Είναι όταν τα μηχανικά και ηλεκτρικά συστήματα...δικτυώνονται χρησιμοποιώντας στοιχεία λογισμικού. Χρησιμοποιούν κοινές γνώσεις και πληροφορίες από διαδικασίες για να ελέγχουν ανεξάρτητα τα συστήματα logistics και τα συστήματα παραγωγής [4],[62].

Αντίθετα, η έννοια του IoT προέκυψε κυρίως από μια τεχνολογία προοπτικής δικτύωσης και πληροφοριών, η οποία οραματιζόταν την ενσωμάτωση του ψηφιακού πεδίου στον φυσικό κόσμο. Ο όρος «Internet of Things» χρησιμοποιείται ως λέξη-κλειδί ομπρέλα για την κάλυψη διαφόρων πτυχών που σχετίζεται με την επέκταση του Internet και του Web στο φυσικό πεδίο, μέσω της ευρείας ανάπτυξης χωρικά κατανεμημένων συσκευών με ενσωματωμένη αναγνώριση, ανίχνευση ή/και δυνατότητες ενεργοποίησης [4],[63].

2011: Μέσω των cyber-physical systems, ο φυσικός κόσμος συνδέεται με τον εικονικό κόσμο για να σχηματίσει ένα Internet of Things, Data και Services (Διαδίκτυο Πραγμάτων, Δεδομένων και Υπηρεσιών). Η κινητήρια δύναμη των Cyber-Physical Systems για την καινοτομία στην Κινητικότητα, την Υγεία, την Ενέργεια και την Παραγωγή [4],[64].

2011: Μολονότι τόσο το IoT όσο και το CPS στοχεύουν στην αύξηση της σύνδεσης μεταξύ του κυβερνοχώρου και του φυσικού κόσμου χρησιμοποιώντας την τεχνολογία ανίχνευσης πληροφοριών και τη διαδραστική τεχνολογία, έχουν προφανείς διαφορές: το IoT δίνει έμφαση στη δικτύωση (networking) και στοχεύει στη διασύνδεση όλων των πραγμάτων στον φυσικό κόσμο, επομένως είναι μια ανοιχτή πλατφόρμα δικτύου και υποδομή. Το CPS δίνει έμφαση στην ανταλλαγή πληροφοριών και την ανατροφοδότηση, όπου το σύστημα πρέπει να παρέχει ανατροφοδότηση (feedback) και να ελέγχει τον φυσικό κόσμο εκτός από την αίσθηση του φυσικού κόσμου, σχηματίζοντας ένα closed-loop system [4],[65].

2012: Ο όρος «Internet of Things» χρησιμοποιείται ως μια ομπρέλα λέξη-κλειδί για την κάλυψη διαφόρων πτυχών που σχετίζονται με την επέκταση του Internet και του Web στο φυσικό πεδίο, μέσω της ευρείας ανάπτυξης χωρικά κατανεμημένων συσκευών με ενσωματωμένη αναγνώριση, αίσθηση και/ή δυνατότητες ενεργοποίησης. Το Internet of Things οραματίζεται ένα μέλλον στο οποίο οι ψηφιακές και φυσικές οντότητες μπορούν να συνδεθούν, μέσω

κατάλληλων τεχνολογιών πληροφοριών και επικοινωνιών, για να καταστεί δυνατή μια εντελώς νέα κατηγορία εφαρμογών και υπηρεσιών [4],[66].

2013: Στο παράδειγμα του Internet of Things (IoT), πολλά από τα αντικείμενα που μας περιβάλλουν θα βρίσκονται στο δίκτυο με τη μια ή την άλλη μορφή. Οι τεχνολογίες αναγνώρισης ραδιοσυχνοτήτων (RFID) και δικτύων αισθητήρων θα ανταποκριθούν σε αυτή τη νέα πρόκληση, στην οποία τα συστήματα πληροφοριών και επικοινωνιών είναι αόρατα ενσωματωμένα στο περιβάλλον γύρω μας. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα τη δημιουργία τεράστιων ποσοτήτων δεδομένων που πρέπει να αποθηκευτούν, να υποβληθούν σε επεξεργασία και να παρουσιαστούν σε απρόσκοπτη, αποτελεσματική και εύκολα ερμηνεύσιμη μορφή. Αυτό το μοντέλο θα αποτελείται από υπηρεσίες που είναι εμπορεύματα και παρέχονται με τρόπο παρόμοιο με τα παραδοσιακά εμπορεύματα.[4],[67].

2014: Το Internet of Things εστιάζει γενικά στην αίσθηση του φυσικού κόσμου και στη συνδεσιμότητα (διαδίκτυο), δίνοντας έμφαση σε μεμονωμένα πράγματα που παρέχουν δεδομένα μέσω του δικτύου για να κατευθύνουν (συνήθως οργανωτικές) διαδικασίες. Ενώ η ανίχνευση φυσικών δεδομένων και η κοινοποίηση τους-δεν είναι απαραίτητη μέσω Διαδικτύου- απαιτείται γενικά και για κυβερνοφυσικά συστήματα, αυτά τα συστήματα στοχεύουν επίσης στον έλεγχο συνδυασμένων οργανωτικών και φυσικών διαδικασιών και, ως εκ τούτου, αντιμετωπίζουν συγκεκριμένα τη στενή αλληλεπίδραση ανθρώπου-μηχανής, η οποία ως επί το πλείστον δεν αντιμετωπίζεται στο Internet of Things [4],[68].

2015: Στις περισσότερες ακαδημαϊκές δραστηριότητες και δραστηριότητες έργου, η διαφορά μεταξύ “Internet of Things” and “CyberPhysical Systems (CPS)” δεν καθίσταται σαφής και είναι δύσκολο να βρεθεί μια πηγή που να κάνει μια σαφή διάκριση μεταξύ των δυο όρων. Τα περισσότερα άτομα θεωρούν τους δυο ορισμούς ως διαφορετικές εξηγήσεις για την ίδια ιδέα (έννοια) και χρησιμοποιούν τις λέξεις εναλλακτικά. Ένα κυβερνοφυσικό σύστημα είναι ένα σύστημα συνεργαζόμενων υπολογιστικών στοιχείων που ελέγχουν φυσικές οντότητες. Είναι όταν τα μηχανικά και ηλεκτρικά συστήματα (π.χ. αισθητήρες και εργαλεία επικοινωνίας) που είναι ενσωματωμένα σε προϊόντα και υλικά δικτυώνονται χρησιμοποιώντας στοιχεία λογισμικού.

Χρησιμοποιούν κοινές γνώσεις και πληροφορίες από διαδικασίες για να ελέγχουν ανεξάρτητα τα συστήματα logistics και παραγωγής. Αντίστοιχα, το CPS τείνει να πάει πέρα από μια απλή μοναδική αναγνώριση και έλεγχο μεμονομένων πραγμάτων στο επίπεδο δικτύωσης μεταξύ ταυτοποιημένων αντικειμένων και ανταλλαγής πληροφοριών σχετικά με μια συγκεκριμένη κατάσταση, έτσι ώστε να επιτευχθεί ένας συγκεκριμένος στόχος με καλύτερη

αποτελεσματικότητα. Αντίθετα, ένα σύστημα IoT ξεκινά από το επίπεδο όπου ένα μεμονωμένο «πράγμα» αναγνωρίζεται χρησιμοποιώντας ένα μοναδικό καθολικό αναγνωριστικό και είναι προσβάσιμο από οπουδήποτε, οποτεδήποτε.

Το επίπεδο πληροφοριών που λαμβάνεται με την πρόσβαση στο «πράγμα» μπορεί να είναι τόσο χαμηλό όσο ένα στατικό δεδομένο που είναι αποθηκευμένα στις ετικέτες RFID. Κατά κύριο λόγο, το IoT ασχολείται με τη μοναδική αναγνώριση, τη σύνδεση με το Internet και την προσβασιμότητα των «πραγμάτων». Ωστόσο, τα αναγνωρισμένα αντικείμενα σε ένα σύστημα IoT μπορούν ακόμα να δικτυωθούν μεταξύ τους, ώστε να ελέγχουν ένα συγκεκριμένο σενάριο με συντονισμένο τρόπο, οπότε ένα σύστημα IoT μπορεί να θεωρηθεί ότι αναπτύσσεται στο επίπεδο ενός CPS. Γενικά, μπορούμε να πούμε ότι το CPS ενδιαφέρεται κυρίως για τη συνεργατική δραστηριότητα αισθητήρων ή ενεργοποιητών για την επίτευξη ενός συγκεκριμένου στόχου και για να γίνει αυτό το CPS χρησιμοποιεί ένα σύστημα IoT για να επιτύχει τη συνεργατική εργασία των κατανεμημένων συστημάτων [4],[69].

2017: Σύμφωνα με τον ορισμό του PICASSO, το IoT θεωρείται ως τεχνολογία ενεργοποίησης για CPS ή CPSoS (CPS Systems of Systems), ενώ άλλοι, πιο περιεκτικοί ορισμοί περιλαμβάνουν επίσης εφαρμογές εκτός του τομέα CPS και CPSoS, όπως συστήματα οικιακής ψυχαγωγίας που συνδέονται με IoT ή υποδομές παρακολούθησης με δυνατότητα γεωγραφικής τοποθεσίας για καταναλωτικά είδη [4],[70].

2018: CPS vs. Internet of Things (IoT), IoT does overlap with CPS, but it does not cover all of the foundations needed for CPS, and it does not address the feedback loops between cyber and physical worlds in general. CPS also tends to have much broader scope than IoT: • CPS encompasses both isolated and networked systems, while IoT usually focuses on the latter. For instance, CPS encompasses both isolated pace makers and those pace makers that may be connected to other health monitors and actuators. • CPS encompasses both time-insensitive and time-sensitive systems, while IoT usually does not focus on time-sensitive systems. For instance, both longer-timescale vehicle traffic flow optimization and real-time control of connected and automated vehicles belong to topics of CPS. • CPS encompasses both open-loop and closed-loop control systems, while IoT usually focuses on open-loop systems. For instance, both dynamic pricing for indirect/human-in-the-loop load control and closed-loop microgrid control belong to the topics of CPS [4],[71].

2018: CPS vs Internet of Things (IoT), το IoT επικαλύπτεται με το CPS, αλλά δεν καλύπτει όλα τα θεμέλια που απαιτούνται για το CPS και δεν αντιμετωπίζει τα feedback loops μεταξύ

του κυβερνοχώρου και του φυσικού κόσμου γενικά. Το CPS τείνει επίσης να έχει πολύ ευρύτερο πεδίο εφαρμογής από το IoT:

- Το CPS περιλαμβάνει τόσο απομονωμένα όσο και δικτυωμένα συστήματα, ενώ το IoT συνήθως εστιάζει στο τελευταίο. Για παράδειγμα, το CPS περιλαμβάνει τόσο απομονωμένους βηματοδότες (pace makers) όσο και εκείνους τους βηματοδότες που ενδέχεται να συνδέονται με άλλα όργανα παρακολούθησης υγείας και ενεργοποιητές.
- Το CPS περιλαμβάνει τόσο συστήματα μη ευαίσθητα στον χρόνο (time-insensitive) όσο και συστήματα ευαίσθητα στον χρόνο (time-sensitive), ενώ το IoT συνήθως δεν εστιάζει σε συστήματα ευαίσθητα στον χρόνο. Για παράδειγμα, τόσο η βελτιστοποίηση της ροής της κυκλοφορίας των οχημάτων μεγαλύτερης κλίμακας όσο και ο έλεγχος σε πραγματικό χρόνο των συνδεδεμένων και αυτοματοποιημένων οχημάτων ανήκουν στα θέματα του CPS.
- Το CPS περιλαμβάνει συστήματα ελέγχου ανοικτού και κλειστού βρόγχου (open-loop and closed-loop control systems), ενώ το IoT συνήθως εστιάζει σε συστήματα open-loop. Για παράδειγμα, τόσο η δυναμική τιμολόγηση για indirect/human-in-the-loop load control και closed-loop microgrid control ανήκουν στα θέματα του CPS [4],[72].

2018: Τα Cyber Physical Systems είναι έξυπνα συστήματα που περιλαμβάνουν τη συγχώνευση και την ενοποίηση Συστημάτων Ελέγχου Βιομηχανίας, Κρίσιμων Υποδομών, Διαδικτύου των πραγμάτων (IoT) και ενσωματωμένων συστημάτων [4],[73].

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΙΟΤ

ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΓΙΑ ΕΞΥΠΝΕΣ ΟΙΚΙΕΣ

2.1. Ενσωματωμένα συστήματα

Παρόλο που σαν όνομα δεν είναι πολύ γνωστά, τα ενσωματωμένα συστήματα αποτελούν πολύ μεγάλο μέρος των συσκευών που χρησιμοποιούμε. Είναι κρυμμένα σε συσκευές όπως το κινητό τηλέφωνο, ο φούρνος μικροκυμάτων, συστήματα πλοήγησης ενός αεροπλάνου, ιατρικός εξοπλισμός, παιχνιδιομηχανές, MP3 players και πολλά ακόμα, που χρησιμοποιούνται από τους ανθρώπους στην καθημερινότητά τους (consumer electronics), στο στρατό, στις μεταφορές, στις τηλεπικοινωνίες, στην ιατρική και φυσικά στη βιομηχανία. Αν κάποιος ψάξει και βρει κάποια συσκευή με μικροεπεξεργαστή, το πιο πιθανό είναι ότι έχει βρει άλλο ένα ενσωματωμένο σύστημα. Η μεγάλη τους διάδοση πέρα από τη χρησιμότητά τους, βασίζεται και σε μια τεχνολογική τάση, η οποία θέλει τις υπολογιστικές μηχανές να σμικρύνονται όλο και περισσότερο, αλλά και την αποκέντρωση της επεξεργαστικής ικανότητας σε επιμέρους επεξεργαστικά κυκλώματα που το καθένα κάνει συγκεκριμένη δουλειά, ενώ παράλληλα συνεργάζονται μεταξύ τους. Η τάση αυτή ονομάζεται “ο εξαφανιζόμενος υπολογιστής” (the disappearing computer). Μια συνοπτική περιγραφή των ενσωματωμένων συστημάτων θα μπορούσε να είναι η εξής: Ενσωματωμένο σύστημα είναι ένας συνδυασμός από υλικό και λογισμικό υπολογιστή και ίσως επιπρόσθετα μηχανικά ή άλλα μέρη, σχεδιασμένο για να επιτελέσει μια συγκεκριμένη λειτουργία [74].

Παρόλο που οι βασικές αρχές σχεδιασμού και λειτουργίας τους είναι παρόμοιες με αυτές ενός υπολογιστή, η ομοιότητά τους δεν είναι εξαρχής εμφανής, κυρίως λόγω του ότι δεν μοιράζονται τα ίδια, παραδοσιακά πλέον, μέσα διασύνδεσης με το χρήστη, το πληκτρολόγιο και το ποντίκι. Κι όμως, τα ενσωματωμένα συστήματα δεν παύουν να αποτελούν αυτό ακριβώς: υπολογιστικές μηχανές, περιορισμένης όμως λειτουργικότητας και χρηστικής αξίας, από τα οποία συνεπάγονται τα άλλα χαρακτηριστικά τους. Συγκεκριμένες επεξεργαστικές και αποθηκευτικές ικανότητες, συγκεκριμένο μέγεθος, απαιτήσεις σε κατανάλωση ενέργειας, χρονικοί περιορισμοί είναι κάποια από αυτά. Τα παραπάνω υπονοούν έμμεσα ότι ο υπολογιστής γενικής χρήσης δεν είναι παρά ένα ενσωματωμένο σύστημα, με πολύ μεγαλύτερη ευελιξία, δυνατότητες και εύρος εφαρμογών. Αυτό όμως δεν περιορίζει τη σημασία των Ενσωματωμένων Συστημάτων, καθώς η αξία τους βασίζεται στο ότι είναι «κομμένα και ραμμένα» στα μέτρα της εφαρμογής που πρόκειται να εκτελέσουν. Κανείς σχεδιαστής που

σέβεται τον εαυτό του δε θα έβαζε για παράδειγμα ένα υπολογιστικό σύστημα με Pentium 4, να εκτελέσει την ταπεινή και ίσως βαρετή δουλειά της θέρμανσης του φαγητού σε ένα φούρνο μικροκυμάτων. Αντίθετα, θα χρησιμοποιηθεί ένα ενσωματωμένο κύκλωμα, που όντας φτιαγμένο στα μέτρα της συγκεκριμένης εφαρμογής, θα κάνει μόνο αυτή τη δουλειά με πολύ αποδοτικότερο τρόπο. Η σχέση των ενσωματωμένων συστημάτων με τους υπολογιστές γενικής χρήσης, φαίνεται ακόμα από το γεγονός ότι πολλά από τα εξαρτήματα των τελευταίων, είναι Ενσωματωμένα Συστήματα. Μια κάρτα γραφικών, μια κάρτα ήχου, ένα μόντεμ, έχουν έναν επεξεργαστή που εκτελεί συγκεκριμένες λειτουργίες και παρέχει συγκεκριμένες διασυνδέσεις (και δυνατότητες) στον επεξεργαστή γενικής χρήσης [74].

2.1.1. ARM

Οι πιο ευρέως χρησιμοποιούμενοι μικροεπεξεργαστές παγκοσμίως. Σχεδιασμένη από την ARM Holdings plc, Cambridge, England (www.arm.com), η εταιρεία ιδρύθηκε το 1990 από την Acorn Computers, την Apple και την VLSI Technology. Το εμπορικό σήμα (brand) ARM αρχικά αντιπροσώπευε το Acorn RISC Machine και αργότερα το Advanced RISC Machine. Το 2016, η ARM εξαγοράστηκε από την Softbank με έδρα την Ιαπωνία, η οποία συμφώνησε να πουλήσει την εταιρεία στην NVIDIA το 2020 για 40 δισεκατομμύρια δολάρια, εν αναμονή της έγκρισης των ΗΠΑ και του Ηνωμένου Βασιλείου. Τα τσιπ της ARM είναι 32-bit και 64-bit RISC-based CPUs που είναι γνωστά για το χαμηλό κόστος και τις χαμηλές απαιτήσεις ενέργειας. Κατασκευάζονται με άδεια της ARM από περισσότερες από δώδεκα εταιρείες ημιαγωγών, δισεκατομμύρια συσκευές που βασίζονται σε ARM κατασκευάζονται κάθε χρόνο, όπως smartphones, tablets, κονσόλες παιχνιδιών, συσκευές ανάγνωσης ηλεκτρονικών βιβλίων, netbooks, τηλεοράσεις και πλήθος άλλων καταναλωτικών και βιομηχανικών προϊόντων. Πολύ συχνά, ένας επεξεργαστής ARM (ARM CPU) είναι ο επεξεργαστής σε ένα σύστημα τσιπ. Για παράδειγμα, το Snapdragon της Qualcomm και το Tegra της NVIDIA είναι smartphone και tablet SoC που βασίζονται σε ARM [75].

Από το 2007, περίπου το 98% άνω του ενός δισεκατομμυρίου κινητών τηλεφώνων που πωλούνται κάθε χρόνο χρησιμοποιούν τουλάχιστον έναν επεξεργαστή ARM. Από το 2009, οι επεξεργαστές ARM αντιπροσωπεύουν περίπου το 90% του συνόλου των ενσωματωμένων 32-bit επεξεργαστών RISC. Χρησιμοποιούνται ευρέως σε καταναλωτικά ηλεκτρικά προϊόντα, όπως PDAs, κινητά τηλέφωνα, ψηφιακά μέσα και συσκευές αναπαραγωγής μουσικής, κονσόλες παιχνιδιών χειρός και αριθμομηχανές [76].

2.1.2. Intel

Η Intel Corporation, Santa Clara, CA www.intel.com είναι η δεύτερη μεγαλύτερη εταιρεία κατασκευής ημιαγωγών semiconductor manufacturing company (η Samsung είναι η μεγαλύτερη από το 2020). Η Intel είναι επίσης κορυφαίος προμηθευτής προϊόντων υπολογιστών, δικτύων και επικοινωνιών. Το υλικό της Intel και το λογισμικό της Microsoft πρωτοστάτησαν στον υπολογιστή και έφεραν επανάσταση στη βιομηχανία των υπολογιστών. Η οικογένεια επεξεργαστών X86 είναι η πιο ευρέως χρησιμοποιούμενη σε επιτραπέζιους υπολογιστές, φορητούς υπολογιστές και διακομιστές. Η Intel ιδρύθηκε το 1968 από τους Robert Noyce, Gordon Moore και Andy Grove στο Mountain View CA. Ένα χρόνο αργότερα παρουσίασε το πρώτο της προϊόν, ένα διπολικό στατικό τριπ RAM 64bit. Μέχρι το 1971, τα πολύ επιτυχημένα τσιπ μνήμης της άρχισαν να καθιστούν την αποθήκευση μαγνητικού πυρήνα ξεπερασμένη. Το ίδιο έτος, η Intel ανέπτυξε τον μικροεπεξεργαστή. Σε απάντηση μιας παραγγελίας τσιπ αριθμομηχανής από τον Ιάπωνα κατασκευαστή Busicom, ο μηχανικός της Intel Marcian E. “Ted” Hoff αποφάσισε ότι ήταν πιο λογικό να σχεδιάσει μια μηχανή γενικής χρήσης. Το τσιπ 4004 που προέκυψε ήταν ο πρώτος μικροεπεξεργαστής στον κόσμο. Μολονότι που είναι γνωστή για τη σειρά X86, με τα χρόνια, η Intel ανέπτυξε μια μεγάλη ποικιλία από τσιπ και προϊόντα σε επίπεδο πλακέτας, συμπεριλαμβανομένου του MULTIBUS που χρησιμοποιείται σε βιομηχανικές εφαρμογές [77].

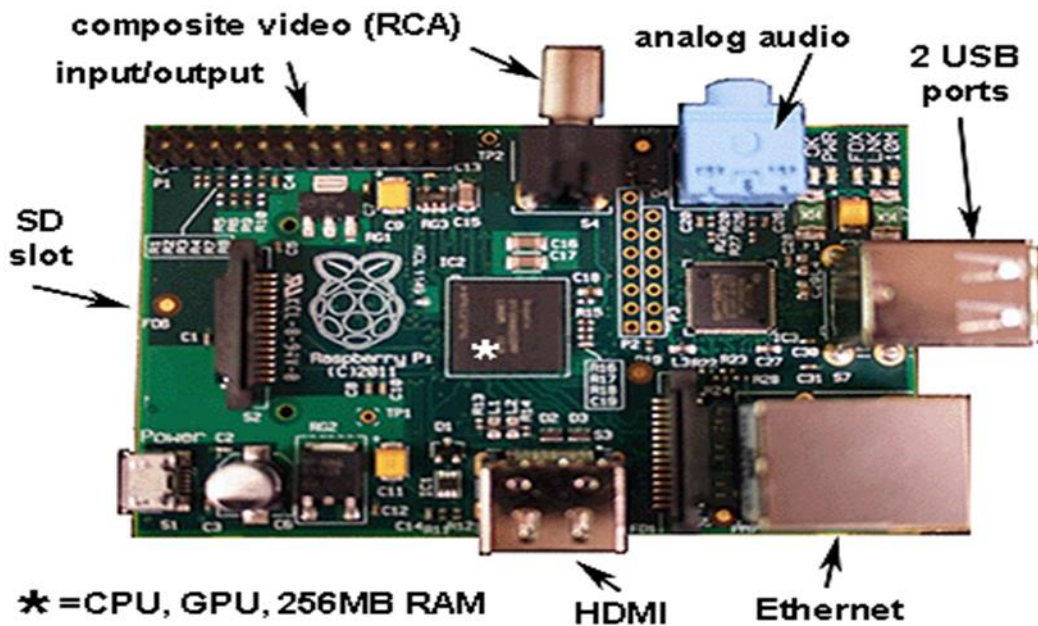
2.1.3. Raspberry

Ένας υπολογιστής χαμηλού κόστους που βασίζεται σε Linux και ARM σε μια μικρή πλακέτα κυκλώματος που χρηματοδοτείται από το Raspberry Pi Foundation στο Ηνωμένο Βασίλειο (www.raspberrypi.org).

Οι υπολογιστές Pi χρησιμοποιούνται με πολλούς τρόπους: ως Web server, media center, robot και model railroad controller, YouTube live streamer, NAS storage, network monitor, digital photo frame, security system, game server, desktop computer και άλλα. Δίνουν στους hobbyists και τους τεχνίτες (tinkerers) έναν οικονομικό υπολογιστή για να πειραματιστούν και παρόλο που πρωτοδιαφημίστηκαν ως εργαλείο εκμάθησης, ένα Raspberry Pi μπορεί να τρέξει πλήθος εφαρμογών.

Το 2011, το πρώτο πρότυπο Raspberry Pi είχε το μέγεθος μιας μονάδας flash (flash drive) με USB στο ένα άκρο και HDMI στο άλλο. Το 2012, η πλακέτα κυκλώματος επεκτάθηκε σε περίπου 3x5 ίντσες και το Pi 1 Model B των 35 δολαρίων ήταν το πρώτο εμπορικό προϊόν. Το Μοντέλο A ακολούθησε αμέσως μετά μαζί με αρκετές βελτιώσεις στο μοντέλο B. Τα Pi Zero

των 5 δολαρίων και Pi Zero W (Wi-Fi και Bluetooth) των 10 δολαρίων είναι μικρότερες μονάδες με λιγότερες θύρες [78].



Εικόνα 1: The First Model B (2012)

Πηγή: <https://www.pcmag.com/encyclopedia/term/raspberry-pi>

Το Raspberry Pi είναι ένας πλήρης υπολογιστής με μέγεθος λίγο μεγαλύτερο από πιστωτική κάρτα. Το πρώτο μοντέλο της σειράς δημιουργήθηκε στο Ηνωμένο Βασίλειο από την ομώνυμη εταιρεία Raspberry Pi Foundation με σκοπό την προώθηση της γνώσης της επιστήμης των υπολογιστών σε σχολεία αλλά και σε αναπτυσσόμενες χώρες. Για αυτό το λόγο, η συγκεκριμένη συσκευή έχει εξαιρετικά χαμηλό κόστος. Το πρώτο μοντέλο της σειράς Raspberry Pi κυκλοφόρησε στην αγορά το 2012 και γνώρισε μεγάλη επιτυχία πράγμα που οδήγησε τους δημιουργούς του στη συνέχεια της σειράς. Ένα από τα ισχυρότερα μοντέλα είναι το Raspberry Pi 3B+ (Plus). Παρά τον μικρό όγκο του, διαθέτει τετραπύρνηνο επεξεργαστή Cortex-A53 (ARMv8) 64-bit SoC στα 1.4GHz, διπύρνηνη κάρτα γραφικών, 1GB μνήμης RAM, τέσσερις θύρες USB, έξοδο HDMI, υποστηρίζει ασύρματη σύνδεση μέσω Bluetooth και Wi-Fi. Τροφοδοτείται μέσω Micro USB και έχει 40pins GPIO γενικής χρήσης για σύνδεση με άλλα ηλεκτρονικά και περιφερειακά [79],[80].

2.1.4. Η αρχιτεκτονική του IoT

Το 2009 μετά από συζήτηση αρκετών χρόνων σχετικά με τις βασικές έννοιες του IoT, μια ομάδα ερευνητών από περισσότερες από 20 μεγάλες βιομηχανικές εταιρίες και ερευνητικά ιδρύματα ένωσαν τις δυνάμεις τους για να τεθούν τα θεμέλια για μια κοινή αρχιτεκτονική για το Internet of Things, και έτσι δημιουργήθηκε το IoTArchitecture (IoT-A). Από τεχνική άποψη ήταν σαφές ότι οι υπάρχουσες λύσεις δεν επαρκούσαν για να καλυφθούν οι απαιτήσεις κλιμάκωσης ενός μελλοντικού IoT, τόσο από άποψη της επικοινωνίας μεταξύ των έξυπνων συσκευών όσο και από άποψη διαχείρισης των σύνθετων υπηρεσιών. Επιπλέον το IoT περιλαμβάνει πολλά διαφορετικά μοντέλα διακυβέρνησης τα οποία είναι συχνά ασύμβατα. Αυτό οδηγεί σε μια κατάσταση όπου η προστασία της ιδιωτικής ζωής και της ασφάλειας αντιμετωπίζονται ανά περίπτωση και ανά νομοθεσία, κατασκευάζοντας λύσεις στα υπάρχοντα σχέδια κάτι το οποίο παρεμποδίζει τη δυνατότητα μεταφοράς, τη διαλειτουργικότητα και την ανάπτυξη. Έγινε σαφές ότι σε αυτόν τον τομέα υπάρχει ανάγκη για κοινό έδαφος. Η κεντρική απόφαση του έργου IoT-A ήταν να στηρίξει το έργο της σχετικά με τη τρέχουσα κατάσταση, αντί να εφαρμοστεί μια καθαρή προσέγγιση. Αυτό είχε σαν αποτέλεσμα να σχηματιστεί το Αρχιτεκτονικό Μοντέλο Αναφοράς (ARM). Δεν είναι δυνατόν πλέον να δημιουργηθούν αρχιτεκτονικές μόνο μέσω ενός εργαστηρίου χωρίς την επαφή με τον πραγματικό κόσμο. Το IoT-A αναγνώρισε αυτή τη πραγματικότητα και με τη βοήθεια των τελικών χρηστών νέες απαιτήσεις έχουν συλλεχθεί και εισαχθεί στην κύρια διαδικασία του νέου μοντέλου αρχιτεκτονικής.

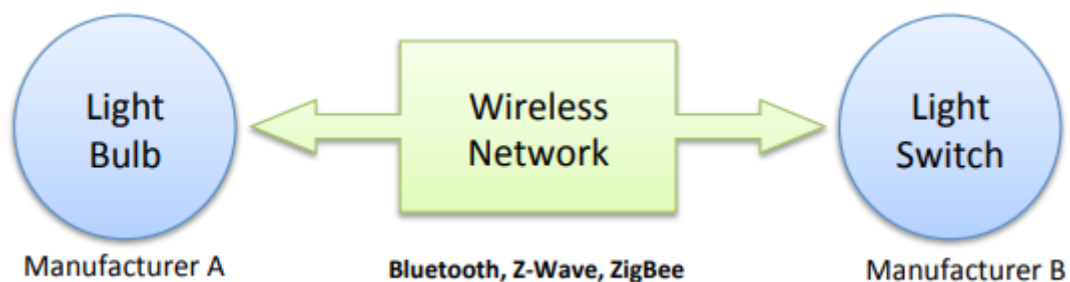
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΜΟΝΤΕΛΑ ΚΑΙ ΠΡΩΤΟΚΟΛΛΑ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑΣ

3.1. Μοντέλα επικοινωνίας – συνδεσιμότητας

Από λειτουργική άποψη, είναι χρήσιμο να σκεφτούμε πως συνδέονται και επικοινωνούν οι συσκευές IoT όσον αφορά τα μοντέλα τεχνικής επικοινωνίας τους. Τον Μάρτιο του 2015, η επιτροπή Αρχιτεκτονικής Διαδικτύου (Internet Architecture Board - IAB) κυκλοφόρησε έναν οδηγό αρχιτεκτονικό έγγραφο για τη δικτύωση έξυπνων αντικειμένων (RFC 7452) [82], το οποίο περιγράφει ένα πλαίσιο τεσσάρων κοινών μοντέλων επικοινωνίας που χρησιμοποιούνται από συσκευές IoT. Παρακάτω παρουσιάζεται αυτό το πλαίσιο και περιγράφονται τα βασικά χαρακτηριστικά του εκάστοτε μοντέλου [83].

3.1.1. Σύνδεση συσκευή προς συσκευή (*device to device communication*)

Το μοντέλο επικοινωνίας σύνδεσης συσκευή προς συσκευή, αντιπροσωπεύει δύο ή περισσότερες συσκευές που συνδέονται απευθείας και επικοινωνούν μεταξύ τους και όχι μέσω ενός ενδιάμεσου διακομιστή εφαρμογών. Αυτές οι συσκευές επικοινωνούν μέσω πολλών τύπων δικτύων, συμπεριλαμβανομένων των δικτύων IP ή του Διαδικτύου. Συχνά, όμως αυτές οι συσκευές χρησιμοποιούν πρωτόκολλα όπως Bluetooth [84] Z-Wave [85] ή ZigBee [86] για να/ώστε να δημιουργήσουν απευθείας συνδέσεις/διαβιβάσεις από συσκευή σε συσκευή [83].



Εικόνα 2: Παράδειγμα μοντέλου device-to-device communication.

Πηγές: The Internet of Things: An Overview. Understanding the Issues and Challenges of a More Connected World. October 2015. [www. Internetsociety.org](http://www.Internetsociety.org) Available online:<https://www.bu.edu/portal/uploads/Engineering,%20Shoubra/Electrical%20Engineering/2460/crs-13718/Files/Internet%20of%20Things%20-%20Overview.pdf> και Tschofenig, H., et. al., Architectural Considerations in Smart Object Networking. Tech. no. RFC 7452. Internet Architecture Board, Mar. 2015. Web. <https://www.rfc-editor.org/rfc/rfc7452.txt>

Αυτά τα δίκτυα συσκευή προς συσκευή επιτρέπουν στις συσκευές που τηρούν ένα συγκεκριμένο πρωτόκολλο επικοινωνίας να επικοινωνούν και να ανταλλάσσουν μηνύματα για

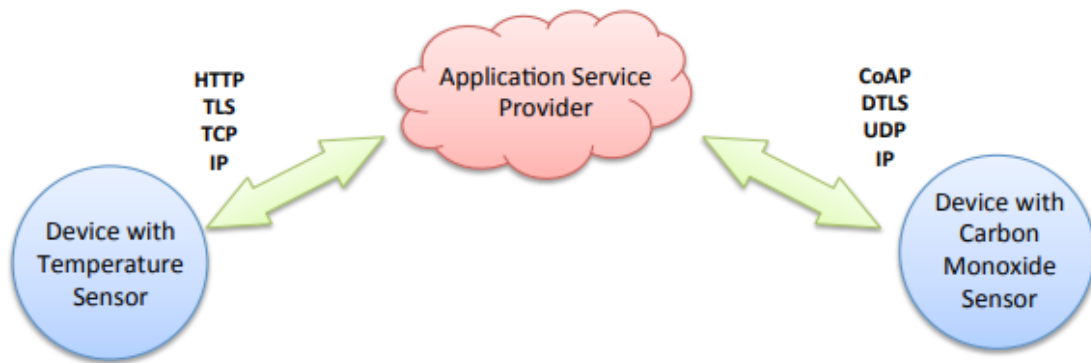
να επιτύχουν τη λειτουργία τους. Αυτό το μοντέλο επικοινωνίας χρησιμοποιείται συνήθως σε εφαρμογές όπως συστήματα οικιακού αυτοματισμού, τα οποία τυπικά χρησιμοποιούν μικρά πακέτα δεδομένων πληροφοριών για να επικοινωνούν μεταξύ συσκευών με σχετικά χαμηλές απαιτήσεις ρυθμού δεδομένων. Οικιακές συσκευές IoT, όπως λαμπτήρες φωτός, διακόπτες φωτών, θερμοστάτες και κλειδαριές θυρών συνήθως στέλνουν μικρές ποσότητες πληροφοριών μεταξύ τους (π.χ. μήνυμα κατάστασης κλειδώματος πόρτας ή εντολή ενεργοποίησης φωτός) σε ένα σενάριο οικιακού αυτοματισμού [83].

Αυτή η προσέγγιση επικοινωνίας συσκευής προς συσκευή απεικονίζει πολλές από τις προκλήσεις διαλειτουργικότητας. Όπως περιγράφει ένα άρθρο του IETF Journal, «αυτές οι συσκευές συχνά έχουν μια άμεση σχέση, έχουν συνήθως μια ενσωματωμένη ασφάλεια και εμπιστοσύνη (μηχανισμούς), αλλά χρησιμοποιούν επίσης μοντέλα δεδομένων για συγκεκριμένες συσκευές που απαιτούν περιττές προσπάθειες ανάπτυξης (από τους κατασκευαστές συσκευών)»[87].

Αυτό σημαίνει ότι οι κατασκευαστές των συσκευών πρέπει να επενδύσουν σε προσπάθειες ανάπτυξης για την εφαρμογή μορφών δεδομένων για συγκεκριμένες συσκευές αντί ανοικτές προσεγγίσεις που επιτρέπουν τη χρήση τυπικών μορφών δεδομένων. Από τη πλευρά του χρήστη, αυτό συχνά σημαίνει ότι τα υποκείμενα πρωτόκολλα επικοινωνίας συσκευής προς συσκευή δεν είναι συμβατά, αναγκάζοντας τον χρήστη να επιλέξει μια οικογένεια συσκευών που χρησιμοποιούν ένα κοινό πρωτόκολλο. Για παράδειγμα, η οικογένεια συσκευών που χρησιμοποιούν το πρωτόκολλο Z-Wave δεν είναι εγγενώς συμβατή με την οικογένεια συσκευών ZigBee. Ενώ αυτές οι ασυμβατότητες περιορίζουν την επιλογή του χρήστη σε συσκευές εντός μιας συγκεκριμένης οικογένειας πρωτοκόλλων, ο χρήστης επωφελείται από τη γνώση ότι τα προϊόντα σε μια συγκεκριμένη οικογένεια τείνουν να επικοινωνούν καλά [83].

3.1.2. Σύνδεση συσκευή προς cloud (device to cloud communication)

Σε ένα μοντέλο επικοινωνίας device-to-cloud, η συσκευή IoT συνδέεται απευθείας σε μια διαδικτυακή υπηρεσία cloud όπως ένας πάροχος υπηρεσιών εφαρμογών, για την ανταλλαγή δεδομένων και τον έλεγχο/διαχείριση της κυκλοφορίας μηνυμάτων. Αυτή η προσέγγιση συχνά εκμεταλλεύεται υπάρχοντες μηχανισμούς επικοινωνίας, όπως οι παραδοσιακές ενσύρματες συνδέσεις Ethernet ή Wi-Fi συνδέσεις για την δημιουργία/εγκατάσταση μιας σύνδεσης μεταξύ της συσκευής και του δικτύου IP, το οποίο τελικά συνδέεται με την υπηρεσία cloud [83].



Εικόνα 3: Διάγραμμα μοντέλου device-to-cloud communication.

Πηγή: The Internet of Things: An Overview. Understanding the Issues and Challenges of a More Connected World. October 2015. [www. Internetsociety.org](http://www.Internetsociety.org) Available online:<https://www.bu.edu.eg/portal/uploads/Engineering,%20Shoubra/Electrical%20Engineering/2460/crs-13718/Files/Internet%20of%20Things%20-%20Overview.pdf>

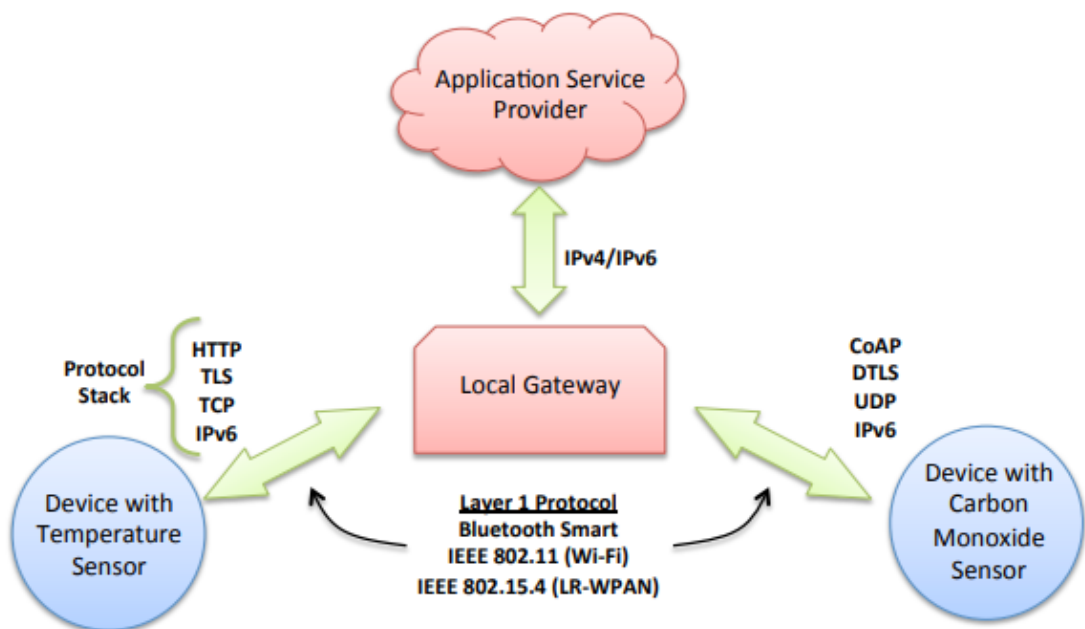
και Tschofenig, H., et. al., Architectural Considerations in Smart Object Networking. Tech. no. RFC 7452. Internet Architecture Board, Mar. 2015. Web. <https://www.rfc-editor.org/rfc/rfc7452.txt>

Αυτό το μοντέλο επικοινωνίας χρησιμοποιείται από ορισμένες δημοφιλείς καταναλωτικές συσκευές IoT, όπως το Learning Thermostat της Nest Labs [87] και η Smart TV της Samsung [88]. Στην περίπτωση του Nest Learning Thermostat, η συσκευή μεταδίδει δεδομένα σε μια βάση δεδομένων cloud όπου τα δεδομένα μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την ανάλυση της κατανάλωσης ενέργειας στο σπίτι. Επιπλέον, αυτή η σύνδεση με το cloud επιτρέπει/δίνει την δυνατότητα στον χρήστη να αποκτήσει απομακρυσμένη πρόσβαση στον θερμοστάτη (στις συσκευές) μέσω ενός smartphone ή μέσω web interface, και υποστηρίζει επίσης ενημερώσεις λογισμικού (software updates) στον θερμοστάτη. Ομοίως, με τη τεχνολογία της Smart TV της Samsung, η τηλεόραση χρησιμοποιεί σύνδεση στο Διαδίκτυο για τη μετάδοση πληροφοριών προβολής χρηστών Samsung για ανάλυση και ενεργοποίηση των διαδραστικών χαρακτηριστικών αναγνώρισης φωνής της τηλεόρασης. Σε αυτές τις περιπτώσεις, το μοντέλο device-to-cloud προσθέτει αξία στον τελικό χρήστη επεκτείνοντας τις δυνατότητες της συσκευής πέρα από τα εγγενή χαρακτηριστικά. Ωστόσο, μπορεί να προκύψουν προκλήσεις διαλειτουργικότητας κατά την προσπάθεια ενσωμάτωσης συσκευών που κατασκευάζονται από διαφορετικούς κατασκευαστές. Συχνά, η συσκευή και η υπηρεσία cloud προέρχονται από τον ίδιο προμηθευτή/πωλητή [87].

Εάν χρησιμοποιούνται πρωτόκολλα ιδιοκτητών δεδομένων μεταξύ της συσκευής και της υπηρεσίας cloud, ο κάτοχος ή ο χρήστης της συσκευής ενδέχεται να είναι συνδεδεμένος με μια συγκεκριμένη υπηρεσία cloud, περιορίζοντας ή αποτρέποντας τη χρήση εναλλακτικών παρόχων υπηρεσιών. Αυτό συνήθως αναφέρεται ως «vendor lock-in (κλείδωμα προμηθευτών)», ένας όρος που περιλαμβάνει/περικλείει άλλες πτυχές/όψεις της σχέσης με τον πάροχο όπως η ιδιοκτησία και η πρόσβαση στα δεδομένα. Ταυτόχρονα, οι χρήστες μπορούν γενικά να έχουν εμπιστοσύνη/να είναι σίγουροι ότι οι συσκευές που είναι σχεδιασμένες για τη συγκεκριμένη πλατφόρμα μπορούν να ενσωματωθούν [83].

3.1.3. Σύνδεση συσκευή με δίαυλο επικοινωνίας (device to gateway model)

Στο device-to-gateway model, ή πιο τυπικά, στο device-to-application-layer gateway (ALG) model, η συσκευή IoT συνδέεται μέσω μιας υπηρεσίας ALG ως αγωγός/μέσο για την πρόσβαση σε μια υπηρεσία cloud. Με πιο απλά λόγια, αυτό σημαίνει ότι υπάρχει λογισμικό εφαρμογής που λειτουργεί σε μια τοπική συσκευή πύλης (local gateway device), η οποία λειτουργεί ως ενδιάμεσος μεταξύ της συσκευής και της υπηρεσίας cloud και παρέχει ασφάλεια και άλλες λειτουργίες, όπως δεδομένα ή μετάφραση πρωτοκόλλου [83].



Εικόνα 4: Διάγραμμα μοντέλου device to – Gateway Model.

Πηγή: The Internet of Things: An Overview. Understanding the Issues and Challenges of a More Connected World. October 2015. [www. Internetsociety.org](http://www.Internetsociety.org) Available

online:<https://www.bu.edu.eg/portal/uploads/Engineering,%20Shoubra/Electrical%20Engineering/2460/crs-13718/Files/Internet%20of%20Things%20-%20Overview.pdf>

Και Tschofenig, H., et. al., Architectural Considerations in Smart Object Networking. Techno. RFC 7452. Internet Architecture Board, Mar. 2015. Web. <https://www.rfc-editor.org/rfc/rfc7452.txt>

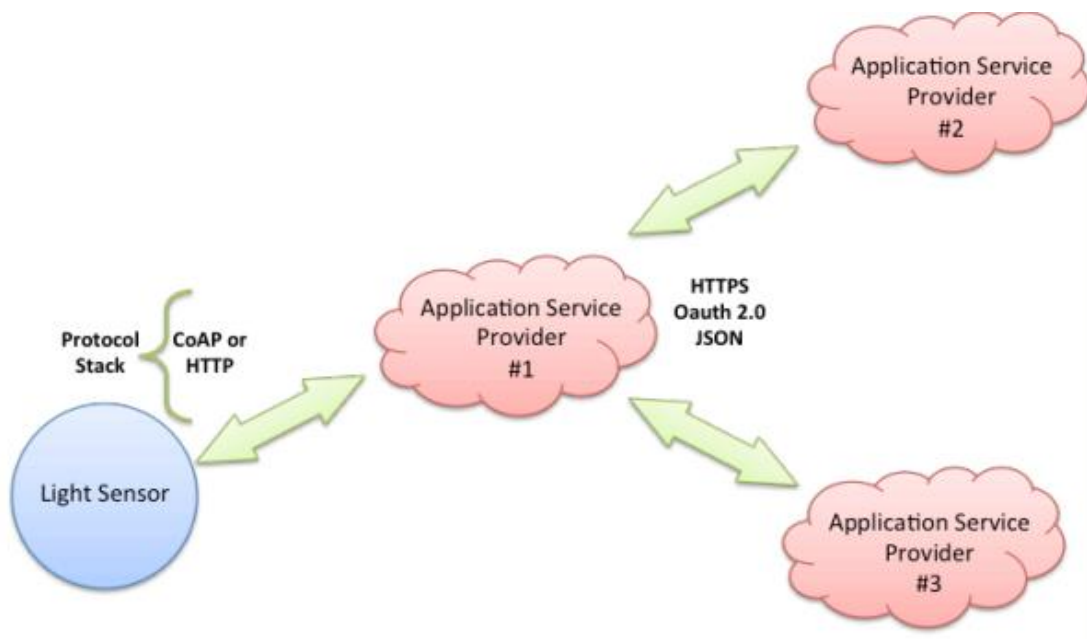
Πολλές μορφές αυτού του μοντέλου βρίσκονται σε καταναλωτικές συσκευές. Σε πολλές περιπτώσεις, η τοπική συσκευή πύλης (local gateway device) είναι ένα smartphone που εκτελεί μια εφαρμογή για να επικοινωνεί με μια συσκευή και να μεταδίδει δεδομένα σε μια υπηρεσία cloud. Αυτό είναι συχνά το μοντέλο που χρησιμοποιείται σε δημοφιλή καταναλωτικά είδη, όπως προσωπικοί ιγχιλάτες γυμναστικής. Αυτές οι συσκευές δεν έχουν την εγγενή ικανότητα να συνδέονται απευθείας σε μια υπηρεσία cloud, έτσι βασίζονται συχνά σε λογισμικό εφαρμογής smartphone ώστε να χρησιμεύει ως ενδιάμεση πύλη για τη σύνδεση της συσκευής γυμναστικής με το cloud. Η άλλη μορφή αυτού του μοντέλου συσκευής σε πύλη (device-to-gateway model) είναι η εμφάνιση συσκευών «hub» στις εφαρμογές οικιακού αυτοματισμού. Πρόκειται για συσκευές που χρησιμεύουν ως τοπική πύλη μεταξύ μεμονομένων συσκευών IoT και μιας υπηρεσίας cloud, αλλά μπορούν επίσης να γεφυρώσουν το χάσμα διαλειτουργικότητας μεταξύ των ίδιων των συσκευών. Για παράδειγμα, το SmartThing hub είναι μια αυτόνομη συσκευή πύλης που έχει εγκατεστημένους πομποδέκτες Z-Wave και Zigbee για να επικοινωνούν και με τις δυο οικογένειες συσκευών [89]. Στη συνέχεια, συνδέεται, με την υπηρεσία SmartThings cloud, επιτρέποντας στον χρήστη να αποκτήσει πρόσβαση στις συσκευές χρησιμοποιώντας μια εφαρμογή smartphone και μια σύνδεση στο Διαδίκτυο [83].

3.1.4. Back End μοντέλο ανταλλαγής δεδομένων (Back End Data Sharing Model)

Το Back-End Data-Sharing Model αναφέρεται σε μια αρχιτεκτονική επικοινωνίας που επιτρέπει στους χρήστες την εξαγωγή και ανάλυση δεδομένων έξυπνου αντικειμένου από μια υπηρεσία cloud σε συνδυασμό με δεδομένα από άλλες πηγές. Αυτή η αρχιτεκτονική υποστηρίζει «την επιθυμία (του χρήστη) για παραχώρηση πρόσβασης στα ανεβασμένα δεδομένα αισθητήρα (uploaded sensor data) σε τρίτους». Αυτή η προσέγγιση είναι μια επέκταση του single device-to-cloud communication model, το οποίο μπορεί να οδηγήσει σε data silos (δεδομένα σιλό) όπου «οι συσκευές IoT ανεβάζουν δεδομένα μόνο σε έναν πάροχο υπηρεσιών εφαρμογής». Μια back-end sharing αρχιτεκτονική επιτρέπει τα δεδομένα που συλλέχθηκαν από μεμονωμένες ροές δεδομένων συσκευών IoT να συγκεντρώνονται και να αναλύονται. Για παράδειγμα, ένας εταιρικός χρήστης υπεύθυνος για ένα συγκρότημα

γραφείων θα ενδιαφερόταν για την εδραίωση/κατοχύρωση και ανάλυση της κατανάλωσης ενέργειας και των δεδομένων κοινής ωφελείας που παράγονται από όλους τους αισθητήρες IoT και με δυνατότητα σύνδεσης στο Διαδίκτυο συστήματα κοινής ωφελείας στις εγκαταστάσεις (utilities data produced by all the IoT sensors and Internet-enabled utility systems on the premises). Συχνά στο μοντέλο μεμονωμένης συσκευής σε cloud (single device-to-cloud model), τα δεδομένα κάθε αισθητήρα ή σύστημα IoT παράγει κάθετα σε ένα αυτόνομο σιλό δεδομένων (the data each IoT sensor or system produces sits in a stand-alone data silo) [83].

Μια αποτελεσματική back-end data sharing architecture αρχιτεκτονική θα επέτρεπε στην εταιρεία να έχει εύκολη πρόσβαση και να αναλύει τα δεδομένα στο cloud που παράγονται από όλο το φάσμα των συσκευών στο κτήριο. Επίσης, αυτού του είδους η αρχιτεκτονική διευκολύνει τις ανάγκες φορητότητας δεδομένων. Οι αποτελεσματικές back-end datasharing architectures αρχιτεκτονικές επιτρέπουν στους χρήστες να μετακινούν τα δεδομένα τους όταν κάνουν εναλλαγή μεταξύ υπηρεσιών IoT, καταρρέοντας παραδοσιακά εμπόδια σιλό δεδομένων (breaking down traditional data silo barriers). Το back-end data-sharing model (μοντέλο κοινής χρήσης δεδομένων back-end) προτείνει μια ομοσπονδιακή προσέγγιση υπηρεσιών cloud (federated cloud services approach- είναι αυτή που συνδυάζει τους πόρους διαφορετικών παρόχων υπηρεσιών cloud για να συναντήσει μια μεγαλύτερη επιχειρηματική ανάγκη) ή cloud applications programmer interfaces (APIs) απαιτούνται για την επίτευξη διαλειτουργικότητας των δεδομένων έξυπνων συσκευών που φιλοξενούνται στο cloud [83].



Εικόνα 5: Διάγραμμα μοντέλου Back-end data sharing model.

Πηγή: The Internet of Things: An Overview. Understanding the Issues and Challenges of a More Connected World. October 2015. [www. Internetsociety.org](http://www.Internetsociety.org) Available online:<https://www.bu.edu/portal/uploads/Engineering,%20Shoubra/Electrical%20Engineering/2460/crs-13718/Files/Internet%20of%20Things%20-%20Overview.pdf>

και Tschofenig, H., et. al., Architectural Considerations in Smart Object Networking. Tech. no. RFC 7452. Internet Architecture Board, Mar. 2015. Web. <https://www.rfc-editor.org/rfc/rfc7452.txt>

3.2. Πρωτόκολλα επικοινωνίας ασύρματων δικτύων

Τα πρωτόκολλα οικιακού αυτοματισμού είναι η γλώσσα που χρησιμοποιούν οι έξυπνες οικιακές συσκευές για να επικοινωνούν μεταξύ τους. Η επικοινωνία είναι ζωτικής σημασίας για τον έξυπνο οικιακό αυτοματισμό, γιατί αν οι συσκευές σας δεν μπορούν να «μιλήσουν» μεταξύ τους χρησιμοποιώντας την ίδια γλώσσα, ο έλεγχος της καθημίας γίνεται περισσότερο αγγαρεία. Εξαιτίας αυτού, είναι σημαντικό να κατανοήσετε πώς λειτουργεί πριν αποφασίσετε ποιο είναι καλύτερο για εσάς και το σπίτι σας. Με περίπου δέκα διαφορετικά πρότυπα οικιακού αυτοματισμού στην αγορά, μπορεί να είναι δύσκολο να γνωρίζετε ποιο είναι το καλύτερο για το σπίτι σας. Υπάρχουν δύο βασικές κατηγορίες για εργασία: ενσύρματη (wired) και ασύρματη (wireless). Συνηθισμένα παραδείγματα ενσύρματων πρωτοκόλλων είναι τα X10 και UPB. Αυτά τα πρωτόκολλα έξυπνου σπιτιού χρησιμοποιούν την υπάρχουσα καλωδίωση του σπιτιού σας για επικοινωνία. Τα ενσύρματα πρωτόκολλα είναι γνωστά για την αξιοπιστία τους, αλλά τείνουν να είναι πιο αργά και πιο δύσκολο να κρυπτογραφηθούν. Τα ασύρματα πρωτόκολλα, από την άλλη πλευρά, είναι συνήθως πιο γρήγορα και είναι συμβατά με ένα ευρύτερο φάσμα συσκευών. Αυτά τα πρωτόκολλα-συμπεριλαμβανομένων των Z-Wave και Zigbee- είναι σε θέση να συνδέονται και να επικοινωνούν χωρίς να βασίζονται στη χρήση ηλεκτρικών γραμμών, κάτι που τα καθιστά ευκολότερο να διασφαλίσουν ότι είναι ασφαλή. Πολλά συστήματα οικιακής ασφάλειας είναι συμβατά με το Z-Wave, καθιστώντας το ιδανικό εάν θέλετε τον πλήρη έλεγχο όλων των συσκευών σας σε μία εφαρμογή. Υπάρχουν επίσης μερικά υβριδικά πρωτόκολλα όπως το Insteon και το C-Bus που χρησιμοποιούν συνδυασμό ενσύρματης και ασύρματης τεχνολογίας [90].

Κατά την επιλογή ενός πρωτοκόλλου οικιακού αυτοματισμού θα πρέπει να δίνεται έμφαση/προσοχή:

- **Συμβατότητα:** ορισμένα πρωτόκολλά σας περιορίζουν στη χρήση συσκευών που μπορεί να μην σας αρέσουν, επομένως επιλέξτε μια που είναι εύκολη στη χρήση σε συνδυασμό με μια ευρεία γκάμα άλλων έξυπνων οικιακών προϊόντων.

- **Εύκολη αναβάθμιση:** η νέα τεχνολογία οικιακού αυτοματισμού εισάγεται συνεχώς στην αγορά, έχοντας ένα σύστημα που είναι εξαιρετικά συμβατό με άλλα προϊόντα θα διασφαλίσει ότι θα μπορείτε να προσθέσετε περισσότερες δυνατότητες και συσκευές στο μέλλον.
- **Άλλα ζητήματα κατά την επιλογή ενός πρωτοκόλλου έξυπνου σπιτιού περιλαμβάνουν το κόστος, την κατανάλωση ενέργειας και το εύρος ζώνης [90].**

Variable	Wi-Fi	Z-Wave	ZigBee	Thread	BLE
Year first launched in Market	1997	2003	2003	2015	2010
PHY/MAC Standard	IEEE 802.11.1	ITU-T G.9959	IEEE 802.15.4	IEEE 802.15.4	IEEE 802.15.1
Frequency Band	2.4 GHz	900 MHz*	2.4 GHz	2.4 GHz	2.4 GHz
Nominal Range (0 dBm)	100 m	30 – 100 m	10 – 100 m	10 – 100 m	30 m
Maximum Data Rate	54 Mbit/s	40-100 kbit/s	250 kbit/s	250 kbit/s	1 Mbit/s
Topology	Star	Mesh	Mesh	Mesh	Scatternet
Power Usage	High	Low	Low	Low	Low
Alliance	Wi-Fi Alliance	Z-Wave Alliance	ZigBee Alliance	Thread Group	Bluetooth SIG

Εικόνα 6: Χαρακτηριστικά Wi-Fi, Z-Wave, ZigBee, Thread, BLE.

Πηγή: H. Munjal, «Medium,» 27 November 2017. [Ηλεκτρονικό], Available: [https://medium.com/\(g\)hardy96tech/communication-wirelessprotocols-in-iot-7da097ebbe96](https://medium.com/(g)hardy96tech/communication-wirelessprotocols-in-iot-7da097ebbe96). <https://medium.com/@hardymunjal/communication-wireless-protocols-in-iot-7da097ebbe96>

3.2.1. WiFi (IEEE 802.11)

Η τυπική τεχνολογία ασύρματου τοπικού δικτύου (wireless local area network – WLAN) για τη σύνδεση υπολογιστών και μυριάδων ηλεκτρονικών συσκευών μεταξύ τους και στο Διαδίκτυο. Το Wi-Fi είναι η ασύρματη έκδοση ενός ενσύρματου δικτύου Ethernet και συνήθως αναπτύσσεται παράλληλα με αυτό. Ωστόσο, ο όρος δεν χρησιμοποιείται πάντα σωστά. Κάθε φορητός υπολογιστής (laptop), tablet και smartphone διαθέτει Wi-Fi, καθώς και οι περισσότερες κάμερες ασφαλείας και οι συσκευές οικιακού κινηματογράφου (home theater devices). Οι εκτυπωτές και οι σαρωτές ενδέχεται επίσης να υποστηρίζουν Wi-Fi και οι οικιακές συσκευές το χρησιμοποιούν όλο και περισσότερο για έλεγχο και ειδοποιήσεις. Αν και το

ψευδώνυμο Wi-Fi εμπνεύστηκε από το “hi-fi” (high fidelity – υψηλή πιστότητα), το όνομα δεν σημαίνει «wireless fidelity - ασύρματη πιστότητα». Το Wi-Fi είναι ένα πρότυπο IEEE: Το Wi-Fi είναι επίσημα το πρότυπο IEEE 802.11. Το Wi-Fi Alliance πιστοποιεί ότι οι συσκευές δικτύου συμμορφώνονται με τα πρότυπα IEEE 802.11 [91].

Τα πρότυπα Wi-Fi:

Τα πρότυπα IEEE 802.11 καλύπτουν κάθε έκδοση Wi-Fi και το Wi-Fi Alliance πιστοποιεί προϊόντα. Το Wi-Fi είναι το ασύρματο αντίστοιχο του «ενσύρματου» Ethernet και το Wi-Fi και το Ethernet συνυπάρχουν σε κάθε σπίτι και επιχείρηση.

Όλες οι εκδόσεις του 802.11 χρησιμοποιούν κωδικοποίηση OFDM εκτός από την 802.11b, η οποία χρησιμοποιεί DSSS.

Υποδομή και Ad Hoc Λειτουργίες

Στη λειτουργία "υποδομής", οι συσκευές Wi-Fi εκπέμπουν σε ένα "σημείο πρόσβασης" ("access point") (σταθμός βάσης-base station), το οποίο μπορεί να είναι μια αυτόνομη μονάδα ή ενσωματωμένη σε έναν ασύρματο router. Στη λειτουργία "ad hoc", δύο συσκευές επικοινωνούν peer-to-peer χωρίς ενδιάμεσο σημείο πρόσβασης

Η απόδοση ποικίλλει

Η ταχύτητα εξαρτάται από την απόσταση. Όσο πιο μακριά είναι η συσκευή από το σταθμό βάσης, τόσο χαμηλότερη είναι η ταχύτητα. Επίσης, η πραγματική απόδοση είναι γενικά η μισή της ονομαστικής ταχύτητας επειδή το 802.11 χρησιμοποιεί «αποφυγή σύγκρουσης» (collision “avoidance”) αντί για τη μέθοδο «ανίχνευσης» σύγκρουσης του Ethernet. Για παράδειγμα, ένα ονομαστικό rated 54 Mbps μπορεί να αποδίδει 27 Mbps σε πραγματική απόδοση δεδομένων [92].

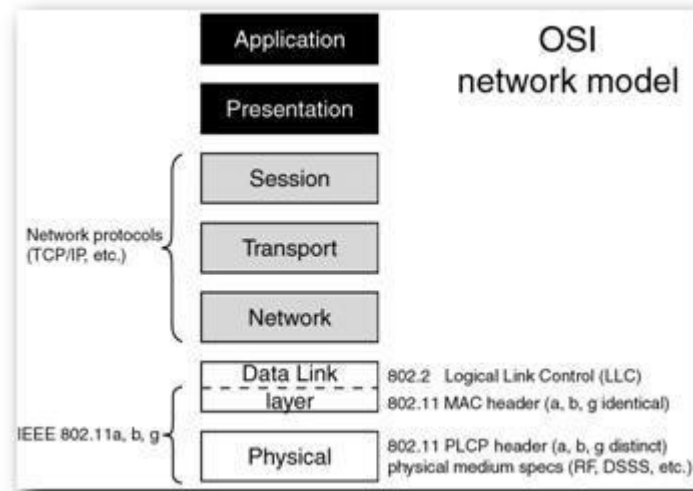
Όλοι γνωρίζουμε για το Wi-Fi. Επιτρέπει την πρόσβαση στο διαδίκτυο ενώ βρίσκεστε εν κινήσει. Οι υπολογιστές με δυνατότητα Wi-Fi στέλνουν και λαμβάνουν δεδομένα σε εσωτερικούς και εξωτερικούς χώρους. Είναι εξίσου γρήγορος με το καλώδιο σύνδεσης μόντεμ. Αναφέρεται στο πρότυπο επικοινωνιών IEEE 802.11. Συνήθως, δημιουργεί ένα τοπικό δίκτυο (LAN).

Ασύρματο LAN:

- Χρησιμοποιεί ραδιοκύματα υψηλής συχνότητας αντί για καλώδια για την επικοινωνία και τη μετάδοση-μεταφορά δεδομένων.
- Ένα Access Point συνδέει ενσύρματα και ασύρματα δίκτυα μεταξύ τους και επιτρέπει την αποστολή και λήψη δεδομένων μεταξύ ασύρματων πελατών και του ενσύρματου δικτύου.
- Τα ασύρματο SSID, γνωστό ως «Network Name» είναι το Service Set Identification που ελέγχει την πρόσβαση σε ένα δεδομένο ασύρματο δίκτυο.



Wi-Fi στο μοντέλο OSI:



Όπως μπορούμε να δούμε στην παραπάνω εικόνα, το Wi-Fi ανήκει τόσο στο Layer1(Physical) όσο και στο Layer2(Data Link).

Πλεονεκτήματα	Μειονεκτήματα
Απελευθερώνει τις συσκευές δικτύου από τα καλώδια	Το 802.11b/g χρησιμοποιεί το φάσμα 2.4GHz, το οποίο είναι γεμάτο με άλλες συσκευές (Bluetooth...)
Φθηνότερη ανάπτυξη για ενσωματωμένο σύστημα	Το 802.11n διπλασιάζει το ραδιοφάσμα/εύρος ζώνης(40MHz)
Αξιόπιστα προϊόντα	Κατανάλωση ενέργειας
Ασφάλεια	Περιορισμένη εμβέλεια δικτύου
Υψηλή ταχύτητα	Κίνδυνοι ασφαλείας (διαμόρφωση)

Πίνακας 1: Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα του Wi-Fi [93].

Εφαρμογές Wi-Fi [93]:

- Πρόσβαση στο διαδίκτυο
- Hotspots
- City-wide Wi-Fi (Wi-Fi σε όλη την πόλη)
- Campus-wide Wi-Fi (Wi-Fi σε όλη την πανεπιστημιούπολη)
- Άμεση επικοινωνία υπολογιστή με υπολογιστή
- Ασύρματο Ad Hoc δίκτυο (wireless ad hoc network)

3.2.2. Zigbee

Ένα ασύρματο δίκτυο (wireless network) που χρησιμοποιείται για έλεγχο σπιτιού, κτηρίου και βιομηχανίας που κυβερνάται από την Zigbee Alliance. Το Zigbee συμμορφώνεται με το ασύρματο πρότυπο IEEE 802.15.4 για δίκτυα χαμηλής ταχύτητας δεδομένων. Σχεδιασμένες για χαμηλή ισχύ ώστε οι μπαταρίες να μπορούν να διαρκέσουν για μήνες και χρόνια, πολλές έξυπνες οικιακές συσκευές χρησιμοποιούν το Zigbee για επικοινωνία. Με μέγιστη ταχύτητα 250Kbps στα 2.4GHz, το Zigbee είναι πιο αργό από το Wi-Fi και το Bluetooth. Το τυπικό εύρος του Zigbee είναι περίπου 50 μέτρα, αλλά αυτό μπορεί να ποικίλλει ανάλογα με τη θερμοκρασία, την υγρασία και την ποιότητα του αέρα [94].

Το Zigbee και το Z-Wave είναι πολύ παρόμοια πρωτόκολλα, αν και το Zigbee είναι πιο κοινό σε προϊόντα κινεζικής επωνυμίας. Αρχικά αναπτύχθηκε για εμπορική χρήση, σήμερα το Zigbee χρησιμοποιείται πλέον ευρέως τόσο σε πρωτόκολλα οικιακού όσο και εμπορικού αυτοματισμού.



Χαρακτηριστικά του Zigbee [90]:

Γρήγορη επικοινωνία: Παρόμοια με το Z-wave, το Zigbee χρησιμοποιεί ραδιοσυχνότητες για να επικοινωνήσει. Το Zigbee τρέχει στο 802.15.4 radio standard. Χρησιμοποιώντας ένα mesh network, το Zigbee μπορεί να επιτύχει γρήγορη επικοινωνία και επικοινωνία μεγαλύτερης εμβέλειας. Ένα ενιαίο hub τροφοδοτεί πολλαπλές συσκευές οικιακού αυτοματισμού.

Εύκολο στην δημιουργία. Το Zigbee είναι ένα εύκολο πρωτόκολλο για τους προγραμματιστές για να σχεδιάσουν νέα προϊόντα που είναι συμβατά με αυτό. Επί του παρόντος, υπάρχουν πάνω από 1.200 προϊόντα που είναι συμβατά με το Zigbee. Αυτή είναι μια ανοιχτή τεχνολογία με νέα προϊόντα να δημιουργούνται συνεχώς.

Χαμηλή κατανάλωση ενέργειας: Ένα από τα πιο ισχυρά πλεονεκτήματα της επιλογής του Zigbee για τον έξυπνο αυτοματισμό του σπιτιού σας είναι η εξαιρετικά χαμηλή κατανάλωση ενέργειας. Το Zigbee είναι απίστευτα αποδοτικό, επομένως μπορείτε πραγματικά να χειρίζεστε μια συσκευή Zigbee με το ίδιο σύνολο μπαταριών για χρόνια τη φορά.

Μείωση της χρήσης της μπαταρίας: Μιλώντας για αποτελεσματικότητα, το Zigbee προσφέρει πράσινη ισχύ (green power) που εξαλείφει την ανάγκη χρήσης μπαταριών μαζί. Αυτό σημαίνει ότι δεν χρειάζεται να ανησυχείτε για την αγορά νέων μπαταριών και ότι μπορείτε να αισθάνεστε καλά με το να είστε φιλικό προς το περιβάλλον και αποτελεσματικοί.

Βελτιωμένη ασφάλεια: Επιπρόσθετα, το Zigbee είναι ένα από τα πιο ασφαλή πρωτόκολλα που υπάρχουν. Χρησιμοποιεί την ίδια κρυπτογράφηση σε επίπεδο τράπεζας 128-bit που χρησιμοποιούν τα περισσότερα μεγάλα χρηματοοικονομικά συστήματα.

Ένα πρόβλημα που αντιμετώπισε το Zigbee στο παρελθόν είναι η κακή διαλειτουργικότητα, που σημαίνει ότι ορισμένες συσκευές Zigbee δεν μπορούσαν να επικοινωνήσουν σωστά μεταξύ τους. Ωστόσο, νεότερες εκδόσεις του Zigbee έχουν εισέλθει στην αγορά, οι οποίες στοχεύουν να λύσουν αυτό το ζήτημα και να λειτουργούν καλά με άλλες συσκευές ανεξάρτητα από το εμπορικό τους σήμα [90].

Το Zigbee είναι μια νέα ασύρματη τεχνολογία. Αποτελεί ένα τεχνολογικό πρότυπο που δημιουργήθηκε για δίκτυα ελέγχου και αισθητήρων. Βασίζεται στο πρότυπο IEEE 802.15.4. Δημιουργήθηκε από την Zigbee Alliance. Η Philips, η Motorola, η Intel και η HP είναι όλα μέλη του Alliance. Είναι βασικά σχεδιασμένα για χαμηλή κατανάλωση ενέργειας, επιτρέποντας στις μπαταρίες να διαρκέσουν ουσιαστικά για πάντα. Το Zigbee καθιστά δυνατά σπίτια πλήρως δικτυωμένα, όπου όλες οι συσκευές μπορούν να επικοινωνούν και να ελέγχονται

από μια μόνο μονάδα. Παρέχει υπηρεσίες ασφάλειας δικτύου και υποστήριξης εφαρμογών που λειτουργούν στην κορυφή του IEEE.



H. Munjal, «Medium,» 27 November 2017. [Ηλεκτρονικό], Available: [https://medium.com/\(g\)hardy96tech/communication-wirelessprotocols-in-iot-7da097ebbe96](https://medium.com/(g)hardy96tech/communication-wirelessprotocols-in-iot-7da097ebbe96).

Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα του Zigbee	
Πλεονεκτήματα	Ασύρματοι κόμβοι που είναι ικανοί για πολυετή διάρκεια ζωής της μπαταρίας
	Άμεση επικοινωνία
	Είναι λιγότερο περίπλοκο από το Bluetooth
	Χαμηλή κατανάλωση ενέργειας
	Ασύρματο (wireless)
	Mesh-networking
Μειονεκτήματα	Εργασία σε μικρή απόσταση με χαμηλή ταχύτητα
	Δαπανηρό

Πίνακας 2: Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα του Zigbee [93].

Εφαρμογές του Zigbee [93]:

- Προϊόντα οδικού χάρτη-παρακολούθηση
- Καταναλωτικά ηλεκτρονικά είδη
- Προσωπική και υγειονομική περίθαλψη
- Εμπορικός και οικιστικός έλεγχος
- Βιομηχανικές και κρατικές αγορές παγκοσμίως
- Οικιακή δικτύωση (home networking)
- Βιομηχανικός έλεγχος και διαχείριση

3.2.3. Bluetooth (IEEE 802.15)

Το 1994, η εταιρεία L.M. Ericsson έδειξε ενδιαφέρον για τη σύνδεση των κινητών της τηλεφώνων σε άλλες συσκευές, όπως φορητούς υπολογιστές, χωρίς καλώδια. Το 1998, μαζί με τις εταιρείες IBM, Intel, Nokia και Toshiba), σχημάτισε μια ομάδα ειδικού ενδιαφέροντος (Special Interest Group – SIG) για την ανάπτυξη ενός προτύπου ασύρματης διασύνδεσης υπολογιστών και επικοινωνιακών συσκευών και εξαρτημάτων με χρήση ραδιοκυματικών πομποδεκτών μικρής εμβέλειας, χαμηλής ισχύος, και χαμηλού κόστους. Το έργο πήρε το όνομα Bluetooth από τον Harald Blaatand II (δηλαδή μπλε δόντι), έναν βασιλιά των Βίκινγκς που ενοποίησε τη Δανία και τη Νορβηγία, επίσης χωρίς τη χρήση καλωδίων [95].

Η τυπική τεχνολογία ασύρματου δικτύου για μικρής εμβέλειας μετάδοση ψηφιακού ήχου και δεδομένων από την Bluetooth Special Interest Group (SIG). www.bluetooth.com . Χρησιμοποιώντας ραδιοκύματα, το Bluetooth εκπέμπει μέσα από τοίχους και άλλα μη μεταλλικά εμπόδια. Αν και ο όρος είναι συνώνυμος με τα ακουστικά κινητών τηλεφώνων και την τηλεφωνία hands-free στα οχήματα, το Bluetooth χρησιμοποιείται επίσης για ασύρματα ηχεία, πληκτρολόγια, ποντίκια, χειριστήρια παιχνιδιών, smartwatches και άλλα.

Spread Spectrum Frequency Hopping

Το Bluetooth είναι ένα ασύρματο προσωπικό δίκτυο (wireless personal area network -WPAN) που αλλάζει συνεχώς τη συχνότητά του. Αλλάζει τυχαία σε ένα από τα 79 κανάλια 1.600 φορές το δευτερόλεπτο στην ίδια ζώνη χωρίς άδεια 2,4 GHz με το Wi-Fi.

Έχει Σκανδιναβική καταγωγή. Το Bluetooth πήρε το όνομά του από τον βασιλιά των Βίκινγκ Harald "Blatan" Gormsson της Δανίας, ο οποίος λάτρευε τα βατόμουρα. Το παρατσούκλι του βασιλιά "Blatan" σήμαινε «μπλε δόντι». Η Ericsson με έδρα τη Σουηδία ανέπτυξε το Bluetooth και συνίδρυσε το διοικητικό όργανο το 1998 (www.bluetooth.com). Το Bluetooth είναι επίσης ένα πρότυπο IEEE προσωπικού δικτύου (personal area network -PAN) (802.15).

Υποστηρίζοντας αρχιτεκτονικές από σημείο σε σημείο και πολλά σημεία (point-to-point and multipoint architectures), υπάρχουν δισεκατομμύρια συσκευές Bluetooth σε χρήση [96].

Το Bluetooth είναι μια ασύρματη τεχνολογία έξυπνου οικιακού αυτοματισμού που χρησιμοποιεί ραδιοκύματα για την επικοινωνία. Όλες οι συσκευές Bluetooth περιέχουν ένα τσιπ υπολογιστή (computer chip) με λογισμικό Bluetooth που του επιτρέπει να συνδέεται απλά με άλλες συσκευές.

Χαρακτηριστικά του Bluetooth:

- **Η συμβατότητα του Bluetooth είναι εξαιρετική.** Μπορείτε να συνδέσετε οποιαδήποτε συσκευή με δυνατότητα Bluetooth σε οποιαδήποτε άλλη συσκευή με δυνατότητα Bluetooth εύκολα.
- **Μπορείτε να κάνετε αισθητή εξοικονόμηση ενέργειας.** Ένα από τα μεγαλύτερα πλεονεκτήματα της επιλογής Bluetooth για το πρότυπο οικιακού αυτοματισμού σας είναι ότι καταναλώνει σημαντικά λιγότερη ενέργεια από άλλες εναλλακτικές λύσεις. Αυτό είναι ιδανικό για όσους τους αρέσει να παρακολουθούν την κατανάλωση ενέργειας και να είναι φιλικό προς το περιβάλλον.
- **Περιορισμένο εύρος επικοινωνίας.** Ένα μειονέκτημα αυτού του αυτοματισμού είναι ότι τείνει να έχει περιορισμένη εμβέλεια, επομένως η συσκευή σας μπορεί να σταματήσει να λειτουργεί εάν μετακινηθείτε εκτός εμβέλειας. Ευτυχώς, αυτό μπορεί να αλλάξει καθώς βρίσκονται σε εξέλιξη τεχνολογικές βελτιώσεις που θα επιτρέψουν τελικά στο Bluetooth να έχει μεγαλύτερη εμβέλεια που μπορεί να ανταγωνιστεί καλύτερα τα πρωτόκολλα ZigBee και Z-wave [90].

Αποτελεί ένα ανοιχτό πρότυπο για την ανάπτυξη Personal area network (PAN). Τα χαρακτηριστικά του περιλαμβάνουν χαμηλό κόστος, χαμηλή ισχύ και μικρή εμβέλεια συνήθως περίπου 10 μέτρα. Μπορεί να ανταλλάσσει πληροφορίες με άλλη συσκευή Bluetooth μέσω ραδιοκύματα. Χρησιμοποιείται για τη δημιουργία ενός μικρού δικτύου συσκευών που είναι κοντά το ένα στο άλλο. Υποστηρίζει IEEE802.15.4 και λειτουργεί σε εύρος συχνοτήτων 2.4 GHz.

Λόγω της χαμηλής και αδύναμης εμβέλειας δεν ενδείκνυται για αισθητήρες που

απαιτούν διαρκή σύνδεση. Οι νεότερες εκδόσεις βέβαια επιτυγχάνουν

καλύτερη εμβέλεια και σταθερότητα ωστόσο είναι ευάλωτες και αυτές σε παρεμβολές τρίτων σημάτων. Το σημαντικό σε αυτό το πρωτόκολλο είναι ότι τις περισσότερες δεν απαιτείται η χρήση κάποιου hub, πράγμα που το καθιστά μια εύκολη και άμεση λύση. Είναι ικανό να μεταφέρει και δεδομένα φωνής και ήχου [93].

ΘΕΤΙΚΑ	ΑΡΝΗΤΙΚΑ
Χαμηλό κόστος	Εύκολο στο να παραβιαστεί
Εύκολο στην εγκατάσταση	Μικρή εμβέλεια
Απουσία καλωδίων	Περιορισμένος αριθμός συνδεδεμένων συσκευών
Είναι δωρεάν	Μπορεί να χαθεί η σύνδεση

Πίνακας 3: Θετικά και αρνητικά Bluetooth.

Εφαρμογές Bluetooth:

- Απαιτείται ασύρματη δικτύωση μεταξύ φορητών υπολογιστών (laptops) και επιτραπέζιων υπολογιστών (desktop computers), ή desktop που βρίσκονται σε περιορισμένο χώρο και μικρό εύρος ζώνης.
- Η μεταφορά αρχείων, εικόνων και MP3, μεταξύ κινητών τηλεφώνων.
- Ακουστικά τεχνολογίας Bluetooth για smart phones και κινητά τηλέφωνα.

Εξοπλισμός καταγραφής δεδομένων που μεταφέρει δεδομένα σε υπολογιστή μέσω τεχνολογίας Bluetooth [90],[93],[97].

3.2.4. Bluetooth Low Energy (BLE)

Το Bluetooth Low Energy (Bluetooth LE ή BLE, παλαιότερα γνωστό ως Bluetooth Smart) είναι μια τεχνολογία wireless personal area network (WPAN) που σχεδιάστηκε και διατίθεται στην αγορά από την Bluetooth Special Interest Group (Bluetooth SIG) και που στοχεύει σε νέες εφαρμογές στον τομέα της υγείας, φυσικής κατάστασης (Fitness), beacons, ασφάλεια και βιομηχανίες οικιακής ψυχαγωγίας. Η αρχική προδιαγραφή αναπτύχθηκε από τη Nokia το 2006 με το όνομα Wibree, το οποίο ενσωματώθηκε στο Bluetooth 4.0 τον Δεκέμβριο του 2009 ως Bluetooth Low Energy.

Σε σύγκριση με το Classic Bluetooth, το Bluetooth Low Energy προορίζεται να παρέχει σημαντικά μειωμένη κατανάλωση ενέργειας και κόστος, διατηρώντας παράλληλα ένα παρόμοιο εύρος επικοινωνίας. Λειτουργικά συστήματα για κινητά, συμπεριλαμβανομένων των iOS, Android, Windows Phone και BlackBerry, καθώς και macOS, Linux, Windows 8 και Windows 10, υποστηρίζουν εγγενώς Bluetooth Low Energy.

Radio Interface: Η τεχνολογία Bluetooth Low Energy λειτουργεί στο ίδιο εύρος φάσματος (2.400-2.4835 GHz ISM band) με την κλασική τεχνολογία Bluetooth, αλλά χρησιμοποιεί διαφορετικό σύνολο καναλιών. Αντί για τα κλασικά Bluetooth 79 1-MHz κανάλια, το Bluetooth Low Energy έχει 40 κανάλια 2-MHz. Μέσα σε ένα κανάλι, τα δεδομένα μεταδίδονται χρησιμοποιώντας διαμόρφωση μετατόπισης συχνότητας Gauss (Gaussian frequency shift modulation), παρόμοια με το κλασικό σχήμα βασικού ρυθμού του Bluetooth.

Ο ρυθμός μετάδοσης bit (bit rate) είναι 1 Mbit/s (με δυνατότητα επιλογής 2 Mbit/s στο Bluetooth 5) και η μέγιστη ισχύς μετάδοσης είναι 10 mW (100 mW στο Bluetooth 5) [98].

Η τεχνολογία μετάδοσης χαμηλής κατανάλωσης (low-power transmission technology) εισήχθη στο Bluetooth 4. Το Bluetooth LE ήταν αρχικά η τεχνολογία Wibree από τη Nokia, η οποία μετονομάστηκε σε Bluetooth Ultra Low Power (ULP) το 2007 και Bluetooth LE (BLE) το 2009.

Χρησιμοποιώντας μπαταρίες ρολογιών, οι συσκευές Bluetooth LE μπορούν να λειτουργήσουν για μήνες ή χρόνια πριν απαιτηθεί αντικατάσταση. Λειτουργώντας στη ζώνη συχνοτήτων 2,4 GHz, το Bluetooth LE υποστηρίζει τοπολογίες peer-to-peer και star (peer-to-peer and star topologies).

“Smart” Is Low- “Smart Ready” Is Low and High

Τα προϊόντα με την επωνυμία "Smart Only" είναι Bluetooth LE. Οι συσκευές "Smart Ready" υποστηρίζουν τόσο το κλασικό Bluetooth όσο και το Bluetooth LE.

Bluetooth LE Audio

Μέχρι το 2020, ο κύριος κωδικοποιητής ήχου στο Bluetooth ήταν ο κωδικοποιητής “Smart” Is Low- “Smart Ready” Is Low and High

Τα προϊόντα με την επωνυμία "Smart Only" είναι Bluetooth LE. Οι συσκευές "Smart Ready" υποστηρίζουν τόσο το κλασικό Bluetooth όσο και το Bluetooth LE.

Bluetooth LE Audio

Μέχρι το 2020, ο κύριος κωδικοποιητής ήχου στο Bluetooth ήταν ο κωδικοποιητής υποζώνης (subband codec - SBC). Το Bluetooth LE Audio παρουσίασε το Low Complexity Communications Codec (LC3) που υπόσχεται καλύτερη ποιότητα χρησιμοποιώντας λιγότερη ενέργεια. Ως αποτέλεσμα, προϊόντα όπως τα ακουστικά βαρηκοΐας μπορούν να χρησιμοποιούν

μικρότερες μπαταρίες. Το Bluetooth LE Audio προσθέτει επίσης μετάδοση, η οποία επιτρέπει στους χρήστες να μοιράζονται τη μουσική τους με ένα ή περισσότερα άτομα [99].

Τι είναι το Bluetooth Low Energy (LE):

Το Bluetooth Low Energy ή το Bluetooth 4.0 κυκλοφόρησε στην αγορά το 2011. Η βασική διαφορά μεταξύ Bluetooth Low Energy έναντι Bluetooth έγκειται στην ικανότητα χαμηλής κατανάλωσης ενέργειας του Bluetooth LE. Με χαμηλή κατανάλωση ενέργειας, οι εφαρμογές μπορούν να λειτουργούν με μια μικρή μπαταρία για μεγαλύτερο χρονικό διάστημα. Αν και αυτό δεν είναι ιδανικό για να μιλάτε στο τηλέφωνο, είναι ζωτικής σημασίας για εφαρμογές που ανταλλάσσουν περιοδικά μικρές ποσότητες δεδομένων.

Παρόμοια με το Bluetooth, το Bluetooth Low Energy λειτουργεί στη ζώνη των 2.4 GHz. Η κρυφή διαφορά είναι ότι το Bluetooth Low Energy παραμένει σε κατάσταση αναστολής λειτουργίας εκτός εάν ξεκινήσει μια σύνδεση. Οι πραγματικοί χρόνοι σύνδεσης διαρκούν μόνο μερικά χιλιοστά του δευτερολέπτου, σε αντίθεση με το Bluetooth, το οποίο συνδέεται για λίγα δευτερόλεπτα ή μερικές ώρες τη φορά. Αυτές οι σύντομες συνδέσεις είναι απαραίτητες επειδή οι ρυθμοί δεδομένων είναι σημαντικά υψηλότεροι (1Mb ανά δευτερόλεπτο).

Ακολουθούν ορισμένα κοινά παραδείγματα συσκευών που χρησιμοποιούν Bluetooth LE:

- Παρακολούθηση αρτηριακής πίεσης
- Συσκευές Fitbit
- Βιομηχανικοί αισθητήρες παρακολούθησης
- Στοχευμένες προωθήσεις με βάση τη γεωγραφία
- Εφαρμογές δημόσιας συγκοινωνίας
- Άλλες διάφορες εφαρμογές IoT

Οι λύσεις Bluetooth μπορούν να εφαρμοστούν τόσο σε περιπτώσεις καταναλωτικής όσο και σε εμπορική χρήση. Οι περισσότεροι καταναλωτές έχουν πρόσβαση σε Bluetooth και Bluetooth Low Energy καθημερινά χωρίς καν να το συνειδητοποιούν και οι εμπορικές βιομηχανίες αρχίζουν επίσης να κάνουν το ίδιο.

Το Bluetooth 5.0 και η Βιομηχανική Επανάσταση

Από το 2011, το Bluetooth συνέχισε να κάνει αναθεωρήσεις και βελτιώσεις. Μια σημαντική αλλαγή σημειώθηκε το 2016 όταν το Bluetooth 5.0 αύξησε σημαντικά την εμβέλεια, την ταχύτητα και τη χωρητικότητα δεδομένων. Το 2020, Bluetooth Special Interest Group (SIG) εισήγαγε τον ήχο χαμηλής ενέργειας Bluetooth. Αυτή η τεχνολογία επιτρέπει σε μια συσκευή

να μοιράζεται ήχο με πολλές άλλες συσκευές. Για παράδειγμα, ένα smartphone μπορεί να μοιράζεται ήχο με πολλά ακουστικά ταυτόχρονα. Αν και αυτή η περίπτωση χρήσης απευθύνεται στην καταναλωτική αγορά, είναι ένα άλλο παράδειγμα του πώς αυτή η τεχνολογία ασύρματης επικοινωνίας συνεχίζει να αναπτύσσεται.

Bluetooth έναντι Bluetooth Low Energy - Η διαφορά του IoT

Συνοπτικά, το Bluetooth και το Bluetooth Low Energy είναι παρόμοια στο ότι βοηθούν τους χρήστες να συνδεθούν με τις πιο αγαπημένες και σημαντικές συσκευές τους τόσο για καταναλωτική όσο και για εμπορική χρήση. Η διαφορά έγκειται στον τρόπο διανομής των δεδομένων για εξοικονόμηση ενέργειας. Το Bluetooth μπορεί να χειριστεί πολλά δεδομένα, αλλά καταναλώνει γρήγορα τη διάρκεια ζωής της μπαταρίας και κοστίζει πολύ περισσότερο. Το Bluetooth Low Energy χρησιμοποιείται για εφαρμογές που δεν χρειάζεται να ανταλλάσσουν μεγάλες ποσότητες δεδομένων και μπορούν να λειτουργούν με μπαταρία για χρόνια με φθηνότερο κόστος [100].

3.2.5. Z-Wave

Το Z-Wave είναι ένα δημοφιλές ασύρματο πρωτόκολλο που χρησιμοποιεί ραδιοσυχνότητες για να επικοινωνεί με άλλες συσκευές. Αναπτύχθηκε στη Δανία, το Z-Wave έχει γίνει γρήγορα ένα από τα πιο δημοφιλή πρωτόκολλα επειδή υποστηρίζεται από περισσότερες από 450 εταιρείες σε όλο τον κόσμο.



Χαρακτηριστικά του Z-Wave [90]:

Είναι γρήγορο. Z-Wave τρέχει σε συχνότητα 908.42MHz. Αυτή είναι μια πολύ χαμηλότερη ζώνη από αυτή που χρησιμοποιείται από τα περισσότερα άλλα προϊόντα οικιακής χρήσης (2.4GHz). Δεδομένου ότι οι συσκευές Z-Wave δεν ανταγωνίζονται άλλα οικιακά προϊόντα για το εύρος ζώνης (bandwidth), υπάρχει μικρότερη πιθανότητα παρεμβολής, γεγονός που βελτιώνει την απόδοση και την ταχύτητα.

Είναι εύκολο να το ρυθμίσετε (set up). Οι συσκευές Z-Wave όπως η έξυπνη κλειδαριά Yale είναι γνωστές ως απλές στη ρύθμιση και αρκετά εύχρηστες. Οι συσκευές Z-Wave ελέγχονται μέσω ενός κεντρικού διανομέα (central hub) που σας βοηθά να διαχειριστείτε ολόκληρο το οικιακό σας δίκτυο. Μόλις ρυθμιστεί το δίκτυο, μπορείτε εύκολα να προσθέσετε έξυπνες οικιακές συσκευές που μπορούν στη συνέχεια να ελέγχονται από το οικιακό πρωτόκολλο Z-Wave.

Είναι συμβατό με μεγάλη γκάμα (εύρος) προϊόντων. Ένα από τα καλύτερα στοιχεία για την επιλογή του αυτοματισμού Z-Wave είναι ότι οποιαδήποτε Z-Wave συσκευή μπορεί να επικοινωνήσει με μια άλλη ανεξάρτητα από τη μάρκα, την έκδοση ή τον τύπο.

Επί του παρόντος, υπάρχουν περισσότερες από 1.500 συσκευές συμβατές με το Z-Wave διαθέσιμες σε όλο τον κόσμο. Με τόσες πολλές επιλογές, έχετε πολλές επιλογές για να προσαρμόσετε το πρωτόκολλο αυτοματισμού του σπιτιού σας.

Μειώνει τη χρήση ενέργειας. Επιπλέον, οι συσκευές Z-Wave τείνουν να καταναλώνουν λιγότερη ενέργεια από ορισμένα άλλα πρωτόκολλα, πράγμα που σημαίνει ότι μπορείτε να χρησιμοποιήσετε περισσότερη, ενώ διατηρείτε χαμηλό τον λογαριασμό ενέργειας.

Είναι future-proof. Καθώς τα προϊόντα οικιακού αυτοματισμού συνεχίζουν να εξελίσσονται με την πάροδο του χρόνου, το Z-Wave θα παραμείνει συμβατό τόσο με παλιές όσο και με νέες εκδόσεις προϊόντων. Αυτό είναι ιδανικό γιατί σημαίνει ότι μπορείτε να διατηρήσετε το ίδιο σας πρωτόκολλο ακόμη και όταν η τεχνολογία προχωρά [90].

Το Z-Wave είναι ένα πρωτόκολλο ασύρματης επικοινωνίας που χρησιμοποιείται κυρίως για οικιακούς αυτοματισμούς. Είναι ένα mesh network που χρησιμοποιεί ραδιοκύματα χαμηλής ενέργειας για την επικοινωνία. Λειτουργεί σε sub GHz frequency band- 900 Mhz, 100kbps. Z-wave Alliance - Consortium of 250+ manufacturers (κατασκευαστών). Λειτουργεί με mesh network architecture με ένα κύριο και πολλούς δευτερεύοντες controllers.

Πρότυπο Z-Wave (Z-Wave Standard) [93]:

Το Z-Wave είναι ένα ιδιόκτητο ασύρματο πρότυπο (proprietary wireless standard).

Το πρότυπο δεν είναι ανοιχτό όπως πολλά ασύρματα πρότυπα, αλλά είναι διαθέσιμο σε Zensys/Sigma Design πελάτες.

Η διεθνής ένωση τηλεπικοινωνιών (International Telecommunications Union - ITU) περιλαμβάνει το Z-Wave.



Πλεονεκτήματα Z-Wave [93]:

- Αξιόπιστη και ασφαλής επικοινωνία
- Απλή εγκατάσταση
- Χαμηλή κατανάλωση ενέργειας
- Remote or local control
- Ένας αριθμός διαθέσιμων συσκευών, διαλειτουργικότητα
- Είναι προσιτό

Εφαρμογές του Z-Wave [93]:

- Ασφάλεια σπιτιού
- Εξοικονόμηση ενέργειας
- Έξυπνο προϊόν και εφαρμογή βασισμένη στο IoT


3.2.6. LoraWan

Τι είναι τα LoRa® και LoRaWAN®;

Το LoRa είναι μια τεχνολογία διαμόρφωσης ραδιοσυχνοτήτων (RF modulation technology) για δίκτυα χαμηλής κατανάλωσης (Low-Power Wide Area Networks (LPWANs). Η ονομασία,

LoRa, είναι μια αναφορά στους συνδέσμους δεδομένων εξαιρετικά μεγάλης εμβέλειας (extremely long-range data links) που επιτρέπει αυτή η τεχνολογία. Δημιουργήθηκε από τη Semtech για την τυποποίηση των LPWANs, το LoRa παρέχει επικοινωνίες μεγάλης εμβέλειας: έως τρία μίλια (πέντε χιλιόμετρα) σε αστικές περιοχές και έως 10 μίλια (15 χιλιόμετρα) ή περισσότερο σε αγροτικές περιοχές (line of sight). Ένα βασικό χαρακτηριστικό των λύσεων που βασίζονται στο LoRa είναι οι εξαιρετικά χαμηλές απαιτήσεις ισχύος, οι οποίες επιτρέπουν τη δημιουργία συσκευών που λειτουργούν με μπαταρία που μπορούν να διαρκέσουν έως και 10 χρόνια. Αναπτυγμένο σε μια τοπολογία αστεριού (star topology), ένα δίκτυο που βασίζεται στο ανοιχτό πρωτόκολλο LoRaWAN είναι ιδανικό για εφαρμογές που απαιτούν μεγάλης εμβέλειας ή βαθιά επικοινωνία εντός κτιρίου μεταξύ ενός μεγάλου αριθμού συσκευών που έχουν χαμηλές απαιτήσεις ενέργειας και συλλέγουν μικρές ποσότητες δεδομένων [101].

Εξετάστε τις διαφορές μεταξύ του LoRa και άλλων τεχνολογιών δικτύου που χρησιμοποιούνται συνήθως στο IoT ή στις παραδοσιακές λύσεις συνδεσιμότητας machine-to-machine (M2M):

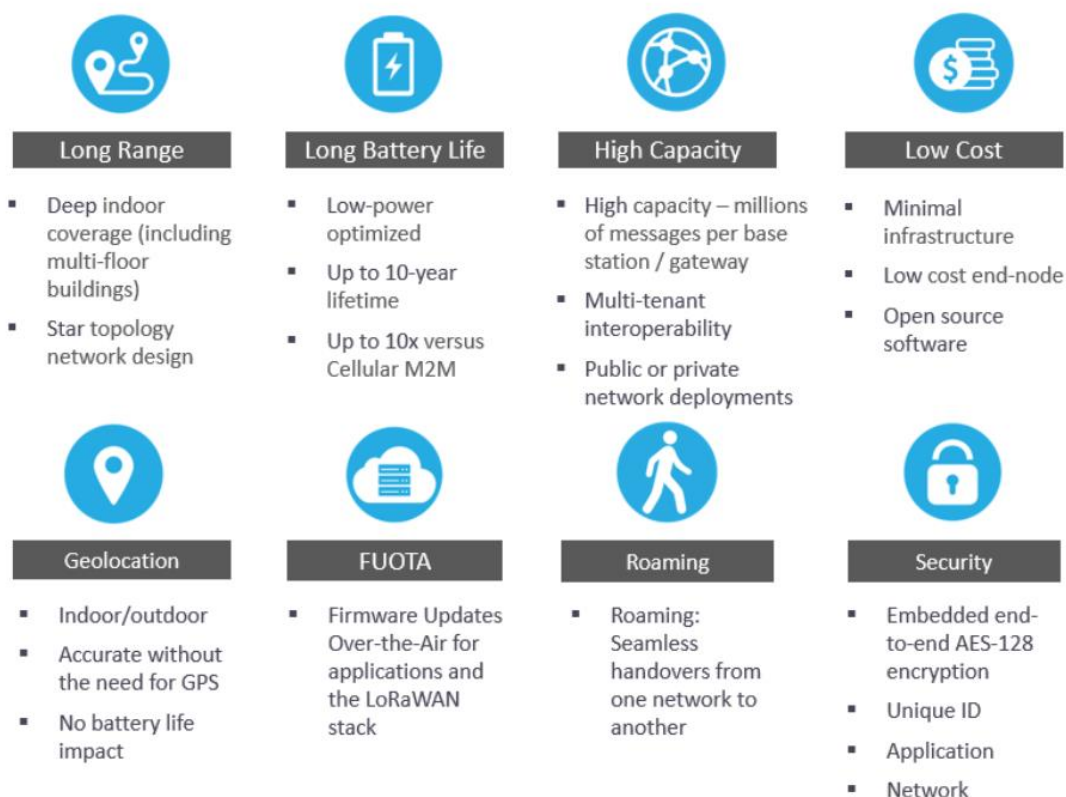
<u>Traditional Cellular</u>	 <p>LPWAN (3-5B in 2022)</p> <ul style="list-style-type: none"> Long Range Low Data Rates Long Battery Life Low Cost High Capacity Potential 	<u>Cat-M1</u>
<ul style="list-style-type: none"> Long Range High Data Rates Low Battery Life High Cost 	<ul style="list-style-type: none"> Long Range High Data Rates Low Battery Life Medium Cost 	
<u>Local Area Network (Wi-Fi)</u>	<u>Narrow-Band IoT (NB-IoT)</u>	<u>Personal Area Network (Bluetooth®)</u>
<ul style="list-style-type: none"> Short Range High Data Rates Low Battery Life Medium Cost 	<ul style="list-style-type: none"> Stationary Devices Short Range (indoor coverage) Low Data Rates Good Battery Life Low Cost 	<ul style="list-style-type: none"> Very Short Range Low data rates Good Battery Life Low Cost

Εικόνα 7: IoT Technologies.

Πηγή: <https://lora-developers.semtech.com/documentation/tech-papers-and-guides/lora-and-lorawan/>

Σημείωση: Στην Ευρώπη, οι εταιρείες δικτύων κινητής τηλεφωνίας (mobile network operators) έχουν εφαρμόσει μια διπλή στρατηγική για την αντιμετώπιση προβλημάτων μεγέθους πακέτων και καθυστέρησης. Συχνά προσφέρουν και LoRaWAN και Cat-M1, οι οποίες είναι συμπληρωματικές τεχνολογίες. Το LoRaWAN ικανοποιεί την ανάγκη για μεγαλύτερη διάρκεια ζωής της μπαταρίας, με αντιστάθμιση μεγαλύτερης καθυστέρησης και μικρότερων μεγεθών πακέτων. Αντίθετα, το Cat-M1 μπορεί να χρησιμοποιηθεί για μεγαλύτερα οφέλιμα φορτία (payloads) με μικρότερο λανθάνοντα χρόνο (latency) σε σχέση με αυτό που μπορεί να φιλοξενήσει το LoRaWAN.

Το παρακάτω σχήμα υπογραμμίζει ορισμένα σημαντικά πλεονεκτήματα της ανάπτυξης ενός δικτύου LoRaWAN:



Εικόνα 8: Advantages of deploying a LoRaWAN network

Πηγή: <https://lora-developers.semtech.com/documentation/tech-papers-and-guides/lora-and-lorawan/>

Πιο αναλυτικά, αυτά τα πλεονεκτήματα:

Όσον αφορά την εμβέλεια, μια πύλη που βασίζεται στο LoRa (a single LoRa-based gateway) μπορεί να λαμβάνει και να μεταδίδει σήματα σε απόσταση μεγαλύτερη από 10 μίλια (15 χιλιόμετρα) σε αγροτικές περιοχές. Ακόμη και σε πυκνά αστικά περιβάλλοντα, τα μηνύματα μπορούν να ταξιδέψουν έως και τρία μίλια (πέντε χιλιόμετρα), ανάλογα με το πόσο βαθιά βρίσκονται σε εσωτερικούς χώρους οι τελικές συσκευές (end nodes).

Όσον αφορά τη διάρκεια ζωής της μπαταρίας, η ενέργεια που απαιτείται για τη μετάδοση ενός πακέτου δεδομένων είναι αρκετά ελάχιστη δεδομένου ότι τα πακέτα δεδομένων είναι πολύ μικρά και μεταδίδονται μόνο μερικές φορές την ημέρα. Επιπλέον, όταν οι τελικές συσκευές (end devices) είναι σε αδράνεια (are asleep), η κατανάλωση ενέργειας μετράται σε milliwatts (mW), επιτρέποντας στην μπαταρία μιας συσκευής να διαρκέσει για πολλά, πολλά χρόνια.

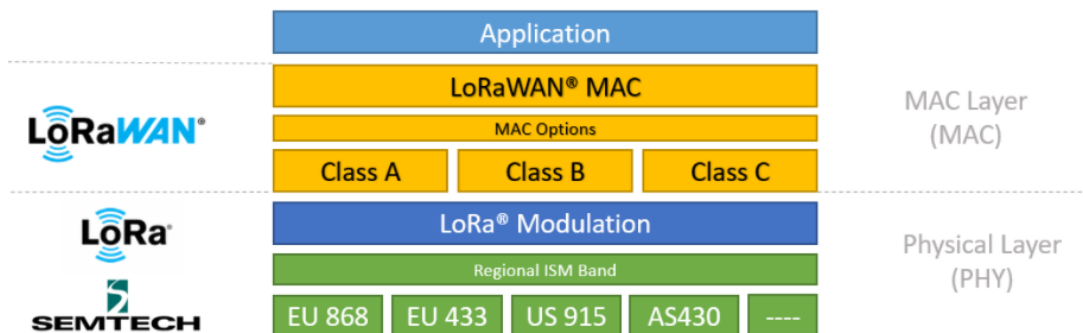
Όσον αφορά τη χωρητικότητα, ένα δίκτυο LoRaWAN μπορεί να υποστηρίξει εκατομμύρια μηνύματα. Ωστόσο, ο αριθμός των μηνυμάτων που υποστηρίζονται σε οποιαδήποτε συγκεκριμένη ανάπτυξη εξαρτάται από τον αριθμό των πυλών που είναι εγκαταστημένες. Μια

πύλη οκτώ καναλιών μπορεί να υποστηρίξει μερικές εκατοντάδες χιλιάδες μηνύματα κατά τη διάρκεια μιας 24ωρης περιόδου. Εάν κάθε τελική συσκευή στέλνει 10 μηνύματα την ημέρα, μια τέτοια πύλη μπορεί να υποστηρίξει περίπου 10.000 συσκευές. Εάν το δίκτυο περιλαμβάνει 10 τέτοιες πύλες, το δίκτυο μπορεί να υποστηρίξει περίπου 100.000 συσκευές και ένα εκατομμύριο μηνύματα. Εάν απαιτείται περισσότερη χωρητικότητα, το μόνο που χρειάζεται είναι να προσθέσετε επιπλέον πύλες στο δίκτυο.

Και έπειτα υπάρχει κόστος. Δεδομένων των δυνατοτήτων των τελικών κόμβων (end nodes) και πύλων (gateways) που βασίζονται στο LoRa απαιτούνται μόνο μερικές πύλες διαμορφωμένες σε δίκτυο αστεριών (star network) για την εξυπηρέτηση πολλών τελικών κόμβων. Αυτό σημαίνει ότι τα κεφαλαιακά και λειτουργικά έξοδα μπορούν να διατηρηθούν σχετικά χαμηλά. Επίσης, όταν οι οικονομικά αποδοτικές μονάδες LoRa RF που είναι ενσωματωμένες σε φθηνούς τερματικούς κόμβους χρησιμοποιούνται σε συνδυασμό με το ανοιχτό πρότυπο LoRaWAN, η απόδοση της επένδυσης μπορεί να είναι σημαντική [101].

Βασικές αρχές δικτύου LoRaWAN

Για να κατανοήσουμε πλήρως τα δίκτυα LoRaWAN, το LoRaWAN είναι ένα ανοιχτό πρωτόκολλο δικτύωσης που παρέχει ασφαλείς υπηρεσίες αμφίδρομης επικοινωνίας, κινητικότητας και υπηρεσίες τοπικής προσαρμογής, τυποποιημένες και συντηρημένες από την LoRa Alliance.

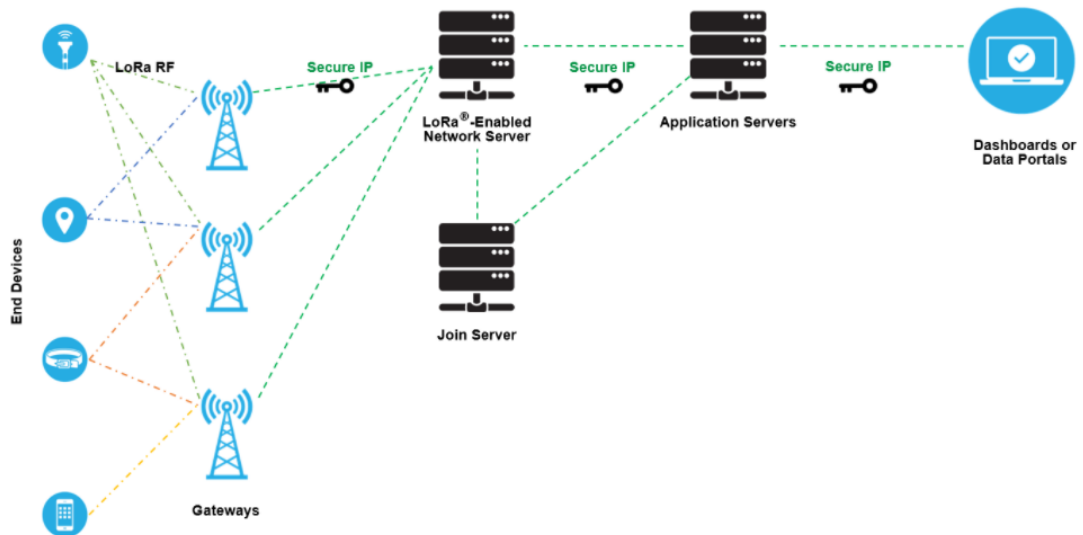


Εικόνα 9: LoRaWAN technology stack

Πηγή: <https://lora-developers.semtech.com/documentation/tech-papers-and-guides/lora-and-lorawan/>

LoRaWAN Network Elements

Εν συνεχεία, εξετάζεται η αρχιτεκτονική ενός δικτύου LoRaWAN. Το παρακάτω σχήμα παρουσιάζει μια τυπική υλοποίηση δικτύου LoRaWAN από άκρη σε άκρη (from end to end).

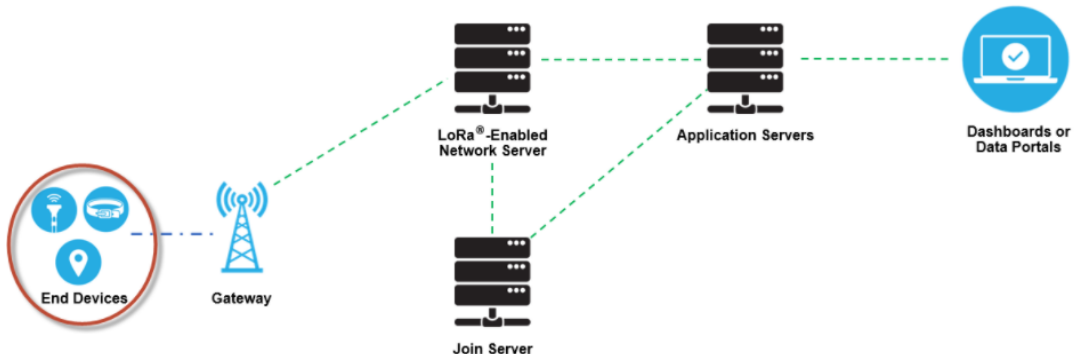


Εικόνα 10: Typical LoRaWAN network implementation

Πηγή: <https://lora-developers.semtech.com/documentation/tech-papers-and-guides/lora-and-lorawan/>

Παρακάτω εξετάζεται το διάγραμμα σε μικρότερα τμήματα.

LoRa-based End Devices



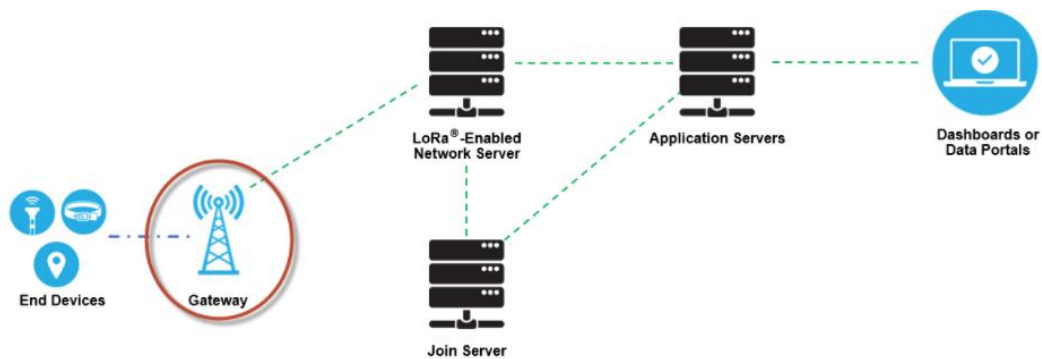
Εικόνα 11: End devices in a typical LoRaWAN network deployment

Πηγή: <https://lora-developers.semtech.com/documentation/tech-papers-and-guides/lora-and-lorawan/>

Μια τελική συσκευή με δυνατότητα LoRaWAN είναι ένας αισθητήρας ή ένας ενεργοποιητής (actuator) που συνδέεται ασύρματα σε ένα δίκτυο LoRaWAN μέσω radio gateways χρησιμοποιώντας τη διαμόρφωση LoRa RF (LoRa RF Modulation). Στην πλειονότητα των εφαρμογών, μια τελική συσκευή είναι ένας αυτόνομος αισθητήρας που λειτουργεί συχνά με μπαταρία και ψηφιοποιεί τις φυσικές συνθήκες και περιβαλλοντικά συμβάντα. Οι τυπικές

περιπτώσεις χρήσης για έναν ενεργοποιητή περιλαμβάνουν μεταξύ άλλων: φωτισμό δρόμου, ασύρματες κλειδαριές, απενεργοποίηση βαλβίδας νερού, πρόληψη διαρροών. Όταν κατασκευάζονται στις συσκευές που βασίζονται στο LoRa εκχωρούνται πολλά μοναδικά αναγνωριστικά (identifiers). Αυτά τα αναγνωριστικά χρησιμοποιούνται για την ασφαλή ενεργοποίηση και διαχείριση της συσκευής, για τη διασφάλιση της ασφαλούς μεταφοράς πακέτων μέσω ενός ιδιωτικού ή δημόσιου δικτύου και για την παράδοση κρυπτογραφημένων δεδομένων στο cloud [101].

LoRaWAN Gateways



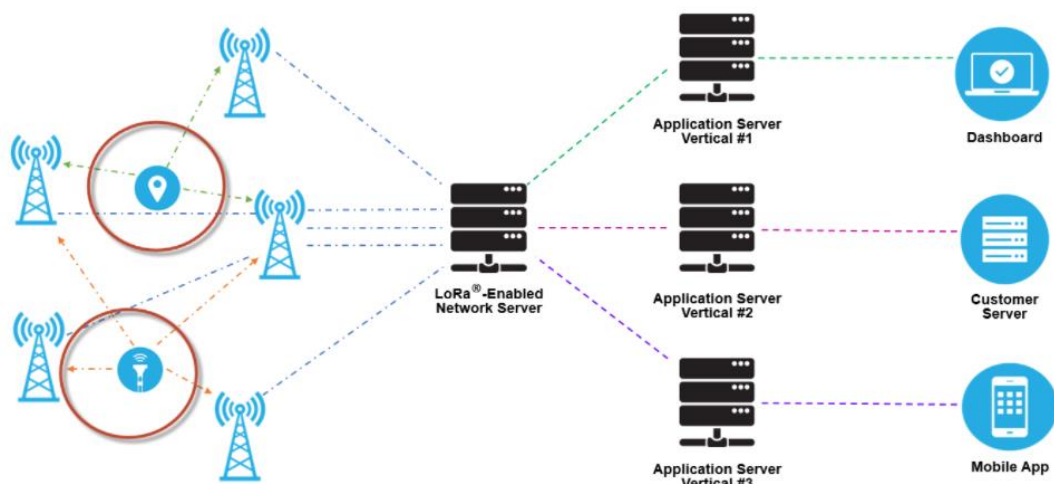
Εικόνα 12: Gateways in a typical LoRaWAN network deployment

Πηγή: <https://lora-developers.semtech.com/documentation/tech-papers-and-guides/lora-and-lorawan/>

Ένα LoRaWAN gateway λαμβάνει μηνύματα ραδιοσυχνότητας με διαμόρφωση LoRa (LoRa modulated RF messages) από οποιαδήποτε τελική συσκευή σε απόσταση ακοής και προωθεί αυτά τα μηνύματα δεδομένων στον LoRaWAN network server (LNS), ο οποίος είναι συνδεδεμένος μέσω ενός IP backbone. Δεν υπάρχει σταθερή συσχέτιση μεταξύ μιας τελικής συσκευής και μιας συγκεκριμένης πύλης. Αντίθετα, ο ίδιος αισθητήρας μπορεί να εξυπηρετηθεί από πολλαπλές πύλες στην περιοχή. Με το LoRaWAN, κάθε uplink packet που αποστέλλεται από την τελική συσκευή θα λαμβάνεται από όλες τις πύλες που είναι προσβάσιμες, όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα. Αυτή η διάταξη μειώνει σημαντικά το ποσοστό σφαλμάτων πακέτου (καθώς οι πιθανότητες τουλάχιστον μια πύλη να λάβει το μήνυμα είναι πολύ υψηλές), μειώνει σημαντικά την επιβάρυνση της μπαταρίας για mobile/nomadic sensors, και επιτρέπει τη γεωγραφική τοποθεσία χαμηλού κόστους (υποθέτωντας ότι οι εν λόγω πύλες έχουν δυνατότητα γεωεντοπισμού) [101].

Η κίνηση Ιραπό μια πύλη προς τον διακομιστή δικτύου (network server) μπορεί να ανακτηθεί μέσω Wi-Fi, ενσύρματου Ethernet ή μέσω σύνδεσης κινητής τηλεφωνίας. Οι πύλες LoRaWAN

λειτουργούν εξ ολοκλήρου στο φυσικό επίπεδο, και στην ουσία, δεν είναι παρά προωθητές μηνυμάτων LoRa radio (LoRa radio message forwards). Ελέγχουν μόνο την ακεραιότητα των δεδομένων κάθε εισερχόμενου μηνύματος LoRa RF. Εάν η ακεραιότητα δεν είναι άθικτη, δηλαδή εάν το CRC είναι λανθασμένο, το μήνυμα θα απορριφθεί. Εάν είναι σωστό, η πύλη θα την προωθήσει στο LNS, μαζί με κάποια μεταδεδομένα που περιλαμβάνουν το επίπεδο λήψης RSSI του μηνύματος καθώς και μια προαιρετική χρονική σήμανση. Για τα LoRaWAN downlinks, μια πύλη εκτελεί αιτήματα μετάδοσης που προέρχονται από το LNS χωρίς καμία ερμηνεία του ωφέλιμου φορτίου (payload). Δεδομένου ότι πολλές πύλες μπορούν να λάβουν το ίδιο μήνυμα LoRa RF από μια μόνο τερματική συσκευή, το LNS εκτελεί τον διπλασιασμό δεδομένων (data-duplication) και διαγράφει όλα τα αντίγραφα. Με βάση τα επίπεδα RSSI των πανομοιότυπων μηνυμάτων, ο network server επιλέγει συνήθως την πύλη που έλαβε το μήνυμα με το καλύτερο RSSI κατά τη μετάδοση ενός downlink message, επειδή αυτή η πύλη είναι η πιο κοντινή στην εν λόγω τελική συσκευή [101].



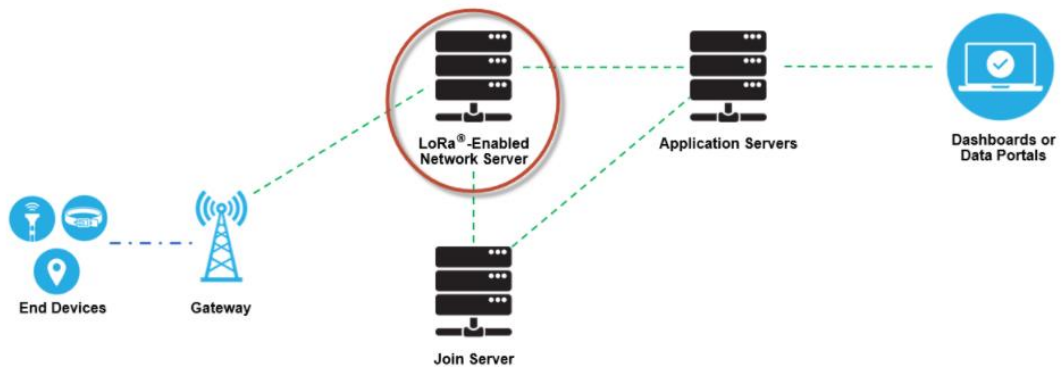
Εικόνα 13: Gateways receiving and transmitting messages from end devices

Πηγή: <https://lora-developers.semtech.com/documentation/tech-papers-and-guides/lora-and-lorawan/>

Επιπλέον, το LoRa επιτρέπει την κλιμακούμενη, βελτιστοποιημένη ως προς το κόστος υλοποίηση πύλης (gateway implementation), ανάλογα με τους στόχους ανάπτυξης. Για παράδειγμα, στη Βόρεια Αμερική, είναι διαθέσιμες πύλες 8, 16 και 64 καναλιών. Οι πύλες 8 καναλιών είναι οι λιγότερο ακριβές. Ο τύπος της πύλης που απαιτείται θα εξαρτηθεί από την περίπτωση χρήσης. Οι πύλες 8 και 16 καναλιών είναι διαθέσιμες τόσο για εσωτερική όσο και για εξωτερική χρήση. Οι πύλες 64 καναλιών είναι διαθέσιμες μόνο σε carrier-grade variant.

Αυτός ο τύπος πύλης προορίζεται για εγκατάσταση σε μέρη όπως πύργους κυψέλης, στέγες πολύ ψηλών κτιρίων κ.λπ.

Network Server



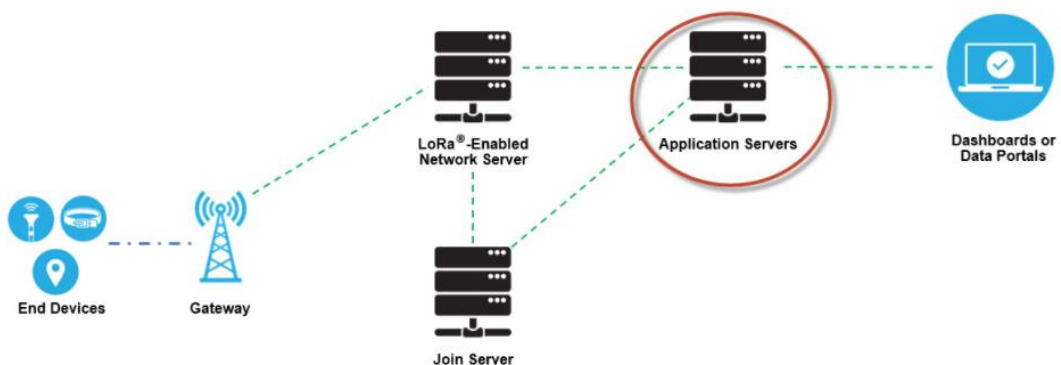
Εικόνα 14: LoRaWAN Network Server in a typical LoRaWAN network deployment

Πηγή: <https://lora-developers.semtech.com/documentation/tech-papers-and-guides/lora-and-lorawan/>

Το LoRaWAN network server (LNS) διαχειρίζεται ολόκληρο το δίκτυο, ελέγχει δυναμικά τις παραμέτρους δικτύου για να προσαρμόσει το σύστημα στις συνεχώς μεταβαλλόμενες συνθήκες και δημιουργεί ασφαλείς συνδέσεις 128-bit AES για τη μεταφορά δεδομένων από άκρο σε άκρο (end to end data) από την τελική συσκευή LoRaWAN στους τελικούς χρήστες εφαρμογής στο cloud, καθώς και για τον έλεγχο της κυκλοφορίας που ρέει από την τελική συσκευή LoRaWAN στο LNS (και πίσω). Ο network server διασφαλίζει την αυθεντικότητα κάθε αισθητήρα στο δίκτυο και την ακεραιότητα κάθε μηνύματος. Ταυτόχρονα, ο network server δεν μπορεί να δει ή να αποκτήσει πρόσβαση στα δεδομένα της εφαρμογής.

Application Servers

Οι application servers (διακομιστές εφαρμογών) είναι υπεύθυνοι για τον ασφαλή χειρισμό, τη διαχείριση και την ερμηνεία των δεδομένων εφαρμογών αισθητήρων. Δημιουργούν επίσης όλα τα application-layer downlink payloads προς τις συνδεδεμένες τελικές συσκευές.



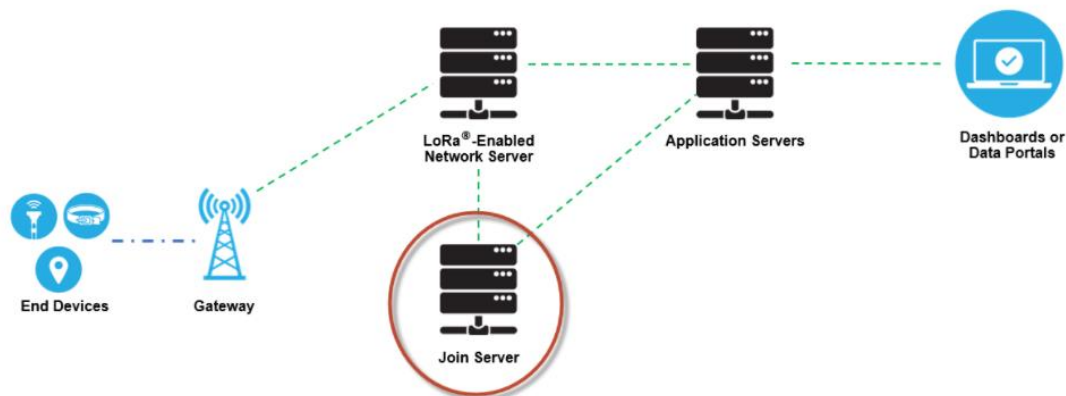
Εικόνα 15: LoRaWAN Application Server in a typical LoRaWAN network deployment [101].

Πηγή: <https://lora-developers.semtech.com/documentation/tech-papers-and-guides/lora-and-lorawan/>

Join Server

Ο διακομιστής σύνδεσης (join server) διαχειρίζεται τη διαδικασία ενεργοποίησης over-the-air για τις τελικές συσκευές που θα προστεθούν στο δίκτυο.

Ο join server περιέχει τις πληροφορίες που απαιτούνται για uplink *join-request* frames και τη δημιουργία downlink *join-accept* frames. Σηματοδοτεί στον network server ποιος διακομιστής εφαρμογών πρέπει να συνδεθεί στην τελική συσκευή και εκτελεί τις παράγωγες κλειδιών κρυπτογράφησης συνεδρίας δικτύου και εφαρμογής (the network and application session encryption key derivations). Επικοινωνεί το Network Session Key της συσκευής στον network server και το Application Session Key στον αντίστοιχο διακομιστή εφαρμογής.



Εικόνα 16: LoRaWAN Join Server in a typical LoRaWAN network deployment.

Πηγή: <https://lora-developers.semtech.com/documentation/tech-papers-and-guides/lora-and-lorawan/>

Για το σκοπό αυτό, ο διακομιστής σύνδεσης (join server) πρέπει να περιέχει τις ακόλουθες πληροφορίες για κάθε τελική συσκευή που βρίσκεται υπό τον έλεγχό του:

DevEUI (end-device serial unique identifier – μοναδικό αναγνωριστικό σειράς τελικής συσκευής)

AppKey (application encryption key- κλειδί κρυπτογράφησης εφαρμογής)

NwkKey (network encryption key – κλειδί κρυπτογράφησης δικτύου)

Application Server identifier – Αναγνωριστικό διακομιστή εφαρμογής

End-Device Service Profile – Προφίλ υπηρεσίας τελικής συσκευής [101].

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στην παρούσα εργασία έγινε μια προσπάθεια να αναλυθεί το IoT και ο ρόλος του στη ζωή μας. Η έννοια της αυτοματοποίησης στο σπίτι (Smart Home) μπορεί να εφαρμοστεί σε πολλούς τομείς, όπως, η ασφάλεια, η πυρανίχνευση, ο έλεγχος φωτισμού, η έξυπνη θέρμανση, ο έλεγχος της πόρτας, οι αισθητήρες κίνησης για να προσφέρουν στους χρήστες ασφάλεια, άνεση και ενεργειακή απόδοση (δηλαδή, χαμηλά λειτουργικά έξοδα) ανά πάσα στιγμή. Το Internet of Things ενεργοποιεί μια ποικιλία έξυπνων οικιακών υπηρεσιών στις οποίες κάθε υπηρεσία παρέχει ένα σύνολο λύσεων οικιακού αυτοματισμού. Η επικοινωνία μεταξύ μηχανών (Machine to machine – M2M) είναι μια αρχιτεκτονική επικοινωνίας που επιτρέπει σε ετερογενή συσκευές να αλληλοεπιδρούν μεταξύ τους χωρίς ανθρώπινη παρέμβαση.

Αρχικά, αναλύθηκε η έννοια του έξυπνου σπιτιού, εστιάζοντας στις εφαρμογές, τις τεχνολογίες, τις λειτουργίες, τις απαιτήσεις λειτουργίας και κατασκευής του έξυπνου σπιτιού, καθώς επίσης εξετάστηκαν τα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα της διαβίωσης σε μια έξυπνη οικία. Παράλληλα, παρουσιάστηκαν εκτενώς οι έννοιες του Internet of Things και των Cyber-Physical Systems, ενώ έγινε και μια προσπάθεια σύγκρισης μεταξύ τους. Εν συνέχεια, στο δεύτερο κεφάλαιο, παρουσιάστηκαν οι τεχνολογίες των IoT συστημάτων για έξυπνες οικίες. Τέλος, στο τρίτο κεφάλαιο, αναπτύχθηκαν τα μοντέλα επικοινωνίας – συνδεσιμότητας, με device to device communication, device to cloud communication, device to gateway model και τα πρωτόκολλα επικοινωνίας των ασύρματων δικτύων, εστιάζοντας στο Wi-Fi, Zigbee, Bluetooth, Bluetooth Low Energy, Z-Wave και LoraWan.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] Salman, L., Salman, S., Jahangirian, S., Abraham, M., German, F., Blair, C., & Krenz, P. (2016). Energy efficient IoT-based smart home. 2016 IEEE 3rd World Forum on Internet of Things (WF-IoT). doi: 10.1109/wf-iot.2016.7845449
- [2] https://en.wikipedia.org/wiki/Home_automation
- [3] Διπλωματική Εργασία του Νικόλαου Τσουρέλη Μεταπτυχιακός Φοιτητής,
«Μελέτη και Σχεδιασμός δικτύου Internet of Things για εφαρμογές Smart Home»
Επιβλέπων καθηγητής: κ. Σκιάνης Χαράλαμπος Σάμος, 4 Φεβρουάριος, 2018. Διαθέσιμο online:
<https://hellanicus.lib.aegean.gr/bitstream/handle/11610/18048/%CE%94%CE%B9%CF%80%CE%BB%CF%89%CE%BC%CE%B1%CF%84%CE%B9%CE%BA%CE%AE%20%CE%95%CF%81%CE%B3%CE%B1%CF%83%CE%AF%CE%B1.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- [4] NIST Special Publication 1900-202. Cyber-Physical Systems and Internet of Things. Christopher Greer, Martin Burns, David Wollman, Edward Griffor. This publication is available free of charge from: <https://doi.org/10.6028/NIST.SP.1900-202>. March 2019. <https://nvlpubs.nist.gov/nistpubs/SpecialPublications/NIST.SP.1900-202.pdf>
- [5] Ashton K (2009) That ‘Internet of Things’ Thing. RFID Journal. <https://www.rfidjournal.com/articles/view?4986>
- [6] C.R. Schoenberger, The Internet of Things, Forbes, Mar. 18, 2002, <https://www.forbes.com/global/2002/0318/092.html#3a6d34043c3e> (accessed August 2018)
- [7] B. Traversat, M. Abdelaziz, D. Doolin, M. Duigou, J.-C. Hugly, E. Pouyoul, Project JXTA-C: enabling a Web of things, in: 36th Annual Hawaii International Conference on System Sciences, <https://doi.org/10.1109/HICSS.2003.1174816>
- [8] ITU Internet Reports 2005: The Internet of Things. http://www.itu.int/osg/spu/publications/internetofthings/InternetofThings_summary.pdf
- [9] Haller S., Karnouskos S., Schroth C. (2009) The Internet of Things in an Enterprise Context. In: Domingue J., Fensel D., Traverso P. (eds) Future Internet – FIS 2008. FIS 2008. Lecture Notes in Computer Science, vol 5468. Springer, https://doi.org/10.1007/978-3-642-00985-3_2

- [10]Kevin Ashton, RFID Journal, June 2009 <http://www.rfidjournal.com/articles/pdf?4986> (accessed August 2018).
- [11]The Internet of Things: A survey. Luigi Atzori, Antonio Lera, Giacomo Morabito, Computer Networks Volume 54, Issue 15, 28 October 2010, Pages 2787-2805 2010 <https://doi.org/10.1016/j.comnet.2010.05.010>
- [12]Uckelmann D., Harrison M., Michahelles F. (2011) An Architectural Approach Towards the Future Internet of Things. In: Uckelmann D., Harrison M., Michahelles F. (eds) Architecting the Internet of Things. Springer, DOI https://doi.org/10.1007/978-3-642-19157-2_1
- [13] Kopetz H. (2011) Internet of Things. In: Real-Time Systems. Real-Time Systems Series. Springer, https://doi.org/10.1007/978-1-4419-8237-7_13
- [14]Oleksiy Mazhelis, Eetu Luoma, Henna Warma, Defining an Internet-of-Things Ecosystem, In: Andreev S., Balandin S., Koucheryavy Y. (eds) Internet of Things, Smart Spaces, and Next Generation Networking. Lecture Notes in Computer Science, vol 7469. https://doi.org/10.1007/978-3-642-32686-8_1
- [15]Treffyn Lynch Koreshoff, Toni Robertson, Tuck Wah Leong, Internet of Things: a review of literature and products, OzCHI '13 Proceedings of the 25th Australian Computer-Human Interaction Conference: Augmentation, Application, Innovation, Collaboration Pages 335-344, Adelaide, Australia, November 25 - 29, 2013, ACM, <http://doi.org/10.1145/2541016.2541048>
- [16]Peter Friess and Francisco Ibanez, Putting the Internet of Things Forward to the Next Level, in Internet of Things – From Research Innovation to Market Deployment, Ovidiu Vermesan and Peter Friess, editors, River Publishers, ISBN: 978-87-93102-94-1.
- [17]Internet Architecture Board (IAB), Architectural Considerations in Smart Object Networking, Request for Comments: 7452, <https://tools.ietf.org/html/rfc7452> (accessed August 2018).
- [18]G. Hurlburt, XRDS: Crossroads, The ACM Magazine for Students - The Internet of Things, Volume 22 Issue 2, Pages 22-26, <https://dl.acm.org/citation.cfm?id=2845143> (accessed August 2018).
- [19]Yongrui Qin, Quan Z. Sheng, Nickolas J.G. Falkner, Schahram Dustdar, Hua Wang, Athanasios V. Vasilakos, When things matter: A survey on datacentric internet of things, Journal of Network and Computer Applications 64 (2016) 137–153; <https://doi.org/10.1016/j.jnca.2015.12.016>

- [20]Jasmin Guth, Uwe Breitenbucher, Michael Flkenthal, Frank Leymann, Lukas Reinfurt, Comparison of IoT platform architectures: A field study based on a reference architecture, 2016 Cloudification of the Internet of Things (CIoT), Paris, pp. 1-6. <http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=7872918&isnumber=7872907>
- [21]Ibarra-Esquer JE, González-Navarro FF, Flores-Rios BL, Burtseva L, Astorga-Vargas MA. Tracking the Evolution of the Internet of Things Concept Across Different Application Domains. Sun Y, Cai Z, Jara A, eds. Sensors (Basel, Switzerland). 2017;17(6):1379. <http://www.doi.org/10.3390/s17061379> .
- [22]PICASSO Opportunity Report, Towards Enhanced EU-US ICT Pre-competitive Collaboration, http://www.picasso-project.eu/wpcontent/uploads/2017/03/PICASSO-Opportunity-Report_March-2017_revMar19.pdf
- [23]IETF, Internet of Things Topics of Interest Page, <https://www.ietf.org/topics/iot/> accessed August 2018.
- [24]Steve Ranger, What is the IoT? Everything you need to know about the Internet of Things right now, ZDNet,Jan. 19, 2018, <https://www.zdnet.com/article/what-is-the-internet-of-things-everything-you-need-to-know-about-theiot-right-now/>
- [25]Qusay Hassan, Introduction to the Internet of Things, in Internet of Things A to Z: Technologies and Applications, Wiley, <http://www.doi.org/10.1002/9781119456735>
- [26], CPS Virtual Organization (2018) NSF Workshop on Cyber-Physical Systems, October 16-17, 2006, Austin, Texas, Available at <https://cps-vo.org/node/179>
- [27] Krogh, B, Ilic M, Sastry S (2007) National Workshop on Beyond SCADA: Networked Embedded Control for Cyber-Physical Systems (NE4CPS): Research Strategies and Roadmap. Available at <https://cps-vo.org/NE4CPS-report>,
- [28] President’s Council of Advisors on Science and Technology (2007) Leadership Under Challenge: Information Technology R&D in a Competitive World (Executive Office of The President, Washington, DC). <https://obamawhitehouse.archives.gov/sites/default/files/microsites/ostp/pcast-07-nitrdreview.pdf>
- [29] National Science Foundation (2007) Computer Systems Research, NSF Program Solicitation 07- 504 <https://www.nsf.gov/pubs/2007/nsf07504/nsf07504.htm>.

[30]NIST Special Publication 1900-202. Cyber-Physical Systems and Internet of Things. Christopher Greer, Martin Burns, David Wollman, Edward Griffor. This publication is available free of charge from: <https://doi.org/10.6028/NIST.SP.1900-202>. March 2019. <https://nvlpubs.nist.gov/nistpubs/SpecialPublications/NIST.SP.1900-202.pdf>

[31]Edward A. Lee, Cyber-Physical Systems - Are Computing Foundations Adequate? Position Paper for NSF Workshop on Cyber-Physical Systems: Research Motivation, Techniques and Roadmap. Austin TX, 2006 https://ptolemy.berkeley.edu/publications/papers/06/CPSPositionPaper/Lee_CPS_PositionPaper.pdf (accessed August 2018)

[32]President's Council of Advisors on Science and Technology, Leadership Under Challenge: Information Technology R&D in a Competitive World; 2007 <https://obamawhitehouse.archives.gov/sites/default/files/microsites/ostp/pcast-07-nitrd-review.pdf> (accessed August 2018)

[33]Alvaro A. Cardenas, Saurabh Amin, Shankar Sastry; The 28th International Conference on Distributed Computing Systems Workshops, IEEE Xplore, DOI: 10.1109/ICDCS.Workshops.2008.40

[34]Terry Tidwell and Christopher Gill, Abstract Interpretation of Time for Preemptive Scheduling of Cyber-Physical Systems, Semantic Scholar, <https://pdfs.semanticscholar.org/a44c/72cb679b6b9074a1b081d3ff3a203d1058f1.pdf> (accessed August 2018).

[35]Yunbo Wang, Mehmet C. Vuran, Steve Goddard Cyber-physical Systems in Industrial Process Control, ACM SIGBED Review - Special issue on the RTSS forum on deeply embedded real-time computing Homepage archive, Volume 5 Issue 1, January 2008, Article No. 12

[36]From Vision to Reality: Cyber-Physical Systems Helen Gill, Ph.D. CISE/CNS National Science Foundation Co-Chair, NITRD High Confidence Software and Systems Coordinating Group HCSS National Workshop on New Research Directions for High Confidence Transportation CPS: Automotive, Aviation, and Rail November 18-20, 2008, URL: https://www2.ee.washington.edu/research/nsl/aar-cps/Gill_HCSS_Transportation_CyberPhysical_Systems_2008.pdf (accessed August, 2018)

[37]Cyber-Physical Systems. CPS Steering Group of the Networking and Information Technology Research and Development Program (NITRD), 2008, http://iccps.acm.org/2011/_doc/CPS-Executive-Summary.pdf (accessed August, 2018)

[38]Edward A Lee, 2008, 11th IEEE Symposium on Object Oriented Real-Time Distributed Computing (ISORC)DOI 10.1109/ISORC.2008.25

[39]Ying Tan, Steve Goddard, and Lance C. Pérez. 2008. A prototype architecture for cyber-physical systems. SIGBED Rev. 5, 1, Article 26, DOI=<http://dx.doi.org/10.1145/1366283.1366309> (accessed August 2018)

[40]Tan, M. C. Vuran and S. Goddard, "Spatio-Temporal Event Model for Cyber-Physical Systems," 2009 29th IEEE International Conference on Distributed Computing Systems Workshops, Montreal, QC, 2009, pp. 44-50. doi: 10.1109/ICDCSW.2009.82 URL: <http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=5158832&isnumber=5158801>

[41]Ying Tan; Mehmet C. Vuran ; Steve Goddard, 2009, 29th IEEE International Conference on Distributed Computing Systems Workshops, IEEE Xplore DOI: 10.1109/ICDCSW.2009.82

[42]R. Rajkumar, I. Lee, L. Sha and J. Stankovic, "Cyber-physical systems: The next computing revolution," Design Automation Conference, Anaheim, CA, 2010, pp. 731-736. doi: 10.1145/1837274.1837461 URL: <http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=5523280&isnumber=5522347> (accessed August 2018)

[43]Edward A. Lee, CPS Foundations. DAC '10 Proceedings of the 47th Design Automation Conference Pages 737-742, ACM, 2010, doi: 10.1145/1837274.1837462 <https://dl.acm.org/citation.cfm?doid=1837274.1837462>

[44]R. Rajkumar, I. Lee, L. Sha, and J. Stankovic, Cyber-physical systems: The next computing revolution,2010, in Proc. 47th Design Autom. Conf., pp. 731–736. <https://www.cs.virginia.edu/~stankovic/psfiles/Rajkumar-DAC2010-Final.pdf> (accessed August 2018).

[45]Radha Poovendran, Cyber–Physical Systems: Close Encounters Between Two Parallel Worlds [Point of View]" in Proceedings of the IEEE, vol. 98, no. 8, pp. 1363-1366, <http://doi.org/10.1109/JPROC.2010.2050377>

[46]Jianhua Shi Jiafu Wan Hehua Yan, Hui Suo Survey of Cyber-Physical Systems. In Proc. of the Int. Conf. on Wireless Communications and Signal Processing, Nanjing, China, November

- 9-11, 2011
<http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.397.4496&rep=rep1&type=pdf>
- [47]IEEE Control Systems Society Pages 1-6 The Impact of Control Technology: Cyber-physical Systems, Baheti, R., Gill, H. 2011
<http://www.ieeecss.org/sites/ieeecss.org/files/documents/IoCT-Part3-02CyberphysicalSystems.pdf>
- [48]Teodora Sanislav, Liviu Miclea CEAI, 2012, Vol.14, No.2, pp. 28-33
<http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.472.8858&rep=rep1&type=pdf>
- [49]Strategic R&D Opportunities for 21st Century Cyber-Physical Systems: Connecting computer and information systems with the physical world, Jan. 2013.
http://www.nist.gov/el/upload/12-CyberPhysical-Systems020113_final.pdf
- [50]Foundations for Innovation in Cyber-Physical Systems Workshop Summary Report, Foundations for Innovation in Cyber-Physical Systems Workshop Summary Report,
<https://www.nist.gov/sites/default/files/documents/el/CPS-WorkshopReport-1-30-13-Final.pdf>
- [51]NIST, Strategic vision and business drivers for 21st century cyber-physical systems, Report from the Executive Roundtable on Cyber-physical Systems (2013),
<https://www.nist.gov/sites/default/files/documents/el/Exec-Roundtable-SumReport-Final-1-30-13.pdf>
- [52]Eleonora Borgia, The Internet of Things vision: Key features, applications and open issues, Computer Communications, Volume 54, Pages 1-31,
<https://doi.org/10.1016/j.comcom.2014.09.008>
- [53]NITRD CPS Interagency W. Group (IWG). CPS Vision Statement. 2015. Working Document.
[https://www.nitrd.gov/nitrdgroups/images/6/6a/Cyber_Physical_Systems_\(CPS\)_Vision_Statement.pdf](https://www.nitrd.gov/nitrdgroups/images/6/6a/Cyber_Physical_Systems_(CPS)_Vision_Statement.pdf) (accessed August 2018).
- [54]Christoph Klotzer and Alexander Pflaum, Cyber-Physical Systems (CPS) in Supply Chain Management – A definitional approach; Article 13 in NOFOMA 2015 Post Conference Proceedings, <http://hdl.handle.net/11250/2359479>, or
<https://brage.bibsys.no/xmlui/handle/11250/2359479>

[55]2016. A 21st Century Cyber-Physical Systems Education. Washington, DC: The National Academies Press. <https://doi.org/10.17226/23686>

[56]Lukas Esterle, Radu Grosu; Elektrotechnik und Informationstechnik, Volume 133, Issue 7, pp 299–303, <https://doi.org/10.1007/s00502-016-0426-6> .

[57]Robust Cyber– Physical Systems: Concept, models, and implementation, Fei Hua, Yu Lua, Athanasios V. Vasilakos, Qi Haoc., Rui Ma, Yogendra Patil, Ting Zhang, Jiang Lua, Xin Li, Neal N. Xiong, Future Generation Computer Systems, Volume 56, March 2016, Pages 449-475, <https://doi.org/10.1016/j.future.2015.06.006>

[58]Edward R. Griffor, Christopher Greer, David A. Wollman, Martin J. Burns; Framework for Cyber-Physical Systems: Volume 1, Overview; NIST SP1500-201, <https://doi.org/10.6028/NIST.SP.1500-201>

[59]NSF Cyber-Physical Systems Program announcement 18-538, 2018, https://www.nsf.gov/funding/pgm_summ.jsp?pims_id=503286 (accessed August 2018)

[60]IEEE Technical Committee on Cyber-Physical Systems (CPS), <http://www.ieeesystemscouncil.org/pages/cyber-physical-systems-technical-committee> (accessed August 2018).

[61]ACM Transactions on Cyber-Physical Systems, <https://tcps.acm.org/> (accessed August 2018).

[62] Minerva R, Biru A, Rotondi D (2015) Towards a definition of the Internet of Things (IoT). IEEE. https://iot.ieee.org/images/files/pdf/IEEE_IoT_Towards_Definition_Internet_of_Things_Issue1_14MAY15.pdf

- [63]Miorandi D, Sicari S, Pellegrini F, Chlamta I (2012) Internet of Things: Vision, Applications and Research Challenges. Ad Hoc Networks 10 (7): 1497-1516. <https://doi.org/10.1016/j.adhoc.2012.02.016>
- [64]Acatech Position Paper, December 2011 https://www.acatech.de/wpcontent/uploads/2018/03/acatech_POSITION_CPS_Englisch_WEB-1.pdf
- [65]Ma HD. Internet of things: Objectives and scientific challenges. J. Comp. Sci. Tech. 26(6): 919–924 Nov. 2011. DOI <https://doi.org/10.1007/s11390-011-1189-5>
- [66]Daniele Miorandi, Sabrina Sicari, Francesco De Pellegrini, Imrich Chlamta, nternet of things: Vision, applications and research challenges, Ad Hoc Networks, Volume 10, Issue 7, Pages 1497-1516, <https://doi.org/10.1016/j.adhoc.2012.02.016>
- [67]Jayavardhana Gubbi, Rajkumar Buyya, Slaven Marusic, Marimuthu Palaniswami, Internet of Things (IoT): A vision, architectural elements, and future directions, Future Generation Computer Systems, Volume 29, Issue 7, Pages 1645-1660, <https://doi.org/10.1016/j.future.2013.01.010>
- [68]CyPhERS – Cyber-Physical European Roadmap & Strategy, Schatz, B., M. Torngren, S. Bensalem, M. V. Cengarle, H. Pfeifer, J. McDermid, R. Passerone, and A. Sangiovanni-Vincentelli. 2014, CyPhERS Research Agenda and Recommendations for Action, <http://cyphers.eu/sites/default/files/d6.1+2-report.pdf>
- [69]Towards a definition of the Internet of Things (IoT), IEEE https://iot.ieee.org/images/files/pdf/IEEE_IoT_Towards_Definition_Internet_of_Things_Issue1_14MAY15.pdf
- [70]PICASSO Opportunity Report, Towards Enhanced EU-US ICT Pre-competitive Collaboration, http://www.picasso-project.eu/wpcontent/uploads/2017/03/PICASSO-Opportunity-Report_March-2017_revMar19.pdf
- [71] Wayne State University, College of Engineering, Cyber-Physical Systems Program. <https://engineering.wayne.edu/cyber/about.php>
- [72]Wayne State University, College of Engineering, Cyber-Physical Systems Program. <https://engineering.wayne.edu/cyber/about.php>
- [73]Yeboah-ofori, A.; Abdulai, J.; Katsriku, F. Cybercrime and Risks for Cyber Physical Systems: A Review. Preprints 2018, <https://doi.org/10.20944/preprints201804.0066.v1>

[74] Σούντρης Δημήτριος . Διδάσκων Σχολή Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών Ε.Μ.Π. Ενσωματωμένα Λειτουργικά Συστήματα και Λειτουργικά Συστήματα Πραγματικού Χρόνου. Σχεδιασμός Ενσωματωμένων Συστημάτων.
<https://ocw.aoc.ntua.gr/modules/document/file.php/ECE102/%CE%A3%CE%B7%CE%BC%CE%B5%CE%B9%CF%8E%CF%83%CE%B5%CE%B9%CF%82%20%CE%9C%CE%B1%CE%B8%CE%AE%CE%BC%CE%B1%CF%84%CE%BF%CF%82/rtos-basic-concepts-for-students.pdf>

[75] <https://www.pcmag.com/encyclopedia/term/arm>

[76] http://arch.icte.uowm.gr/courses/embedded/01ES_oc.pdf

[77] <https://www.pcmag.com/encyclopedia/term/intel>

[78] <https://www.pcmag.com/encyclopedia/term/raspberry-pi>

[79]«Wikipedia,» Raspberry Pi, [Ηλεκτρονικό], Available: https://en.wikipedia.org/wiki/Raspberry_Pi.

[80] «Raspberry Pi,» What is a Raspberry Pi, [Ηλεκτρονικό], Available:

<https://www.raspberrypi.org/help/videos/#what-is-a-raspberry-pi>.

[81].Bassi, Alessandro, και συν. Enabling Things ο Talk: Designing IOT solutions with the IOT Architectural Reference Model. New York : Springer, 2013.

[82]Tschofenig, H., et. al., Architectural Considerations in Smart Object Networking. Tech. no. RFC 7452. Internet Architecture Board, Mar. 2015. Web. <https://www.rfc-editor.org/rfc/rfc7452.txt>

[83] The Internet of Things: An Overview. Understanding the Issues and Challenges of a More Connected World. October 2015. [www. Internetsociety.org](http://www.Internetsociety.org) Available online:<https://www.bu.edu.eg/portal/uploads/Engineering,%20Shoubra/Electrical%20Engineering/2460/crs-13718/Files/Internet%20of%20Things%20-%20Overview.pdf>

[84] <http://www.bluetooth.com> and <http://www.bluetooth.org>.

[85] <http://www.z-wave.com>,

[86] <http://www.zigbee.org>

[87] Duffy Marsan, Carolyn. "IAB Releases Guidelines for Internet-of-Things Developers." IETF Journal 11.1 (2015): 6-8. Internet Engineering Task Force, July 2015. Web. https://www.internetsociety.org/sites/default/files/Journal_11.1.pdf

[88] "Meet the Nest Thermostat | Nest." Nest Labs. Web. 31 Aug. 2015. <https://nest.com/thermostat/meet-nest-thermostat/>

[89] "How It Works." SmartThings, 2015. <http://www.smarthings.com/how-it-works>.

[90] D. Crippin *Alarm New England. Home Automation Protocols Guide 2020. 13 Nov 2020. Ηλεκτρονικό. Available: https://www.alarmnewengland.com/blog/home-automation-protocols*

[91] <https://www.pcmag.com/encyclopedia/term/wi-fi>

[92]. <https://www.pcmag.com/encyclopedia/term/80211>

[93] H. Munjal, «Medium,» 27 November 2017. [Ηλεκτρονικό], Available: [https://medium.com/\(g\)hardy96tech/communication-wirelessprotocols-in-iot-7da097ebbe96](https://medium.com/(g)hardy96tech/communication-wirelessprotocols-in-iot-7da097ebbe96).

[94] <https://www.pcmag.com/encyclopedia/term/zigbee>

[95] Andrew S. Tanenbaum, David J. Wetherall. Δίκτυα Υπολογιστών, Πέμπτη Αμερικανική έκδοση, εκδόσεις κλειδάριθμος, Αθήνα, 2011.

[96] <https://www.pcmag.com/encyclopedia/term/bluetooth>

[97] D. Crippin, «Alarm New England,» 4 February 2019. [Ηλεκτρονικό], Available: <https://www.alarmnewengland.com/blog/home-automation-protocols>.

[98] https://en.wikipedia.org/wiki/Bluetooth_Low_Energy

[99] <https://www.pcmag.com/encyclopedia/term/bluetooth-le>

[100] [BRIAN RAY](#), Bluetooth Vs. Bluetooth Low Energy: What's The Difference? [2021 Update]

PUBLISHED AUGUST 19, 2021

<https://www.link-labs.com/blog/bluetooth-vs-bluetooth-low-energy>

[101] <https://lora-developers.semtech.com/documentation/tech-papers-and-guides/lora-and-lorawan/>

