



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΙΩΑΝΝΙΝΩΝ

ΣΧΟΛΗ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ ΚΑΙ ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ ΚΑΙ ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ
ΠΜΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ ΚΑΙ ΔΙΚΤΥΩΝ

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

INTERNET OF THINGS IN SMART EDUCATION: COMPARATIVE STUDY OF
COMMUNICATION TECHNOLOGIES
INTERNET OF THINGS IN SMART EDUCATION

Ισμήνη Ειρήνη Καρατζένη

Επιβλέπουσα: Σπυριδούλα Μαργαρίτη, ΕΔΙΠ, Α

Άρτα, Μάρτιος 2022

**INTERNET OF THINGS IN SMART EDUCATION: COMPARATIVE STUDY OF
COMMUNICATION TECHNOLOGIES**

INTERNET OF THINGS IN SMART EDUCATION

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή

Άρτα, 6/4/2022

ΕΠΙΤΡΟΠΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗΣ

1. Επιβλέπουσα καθηγήτρια

Σπυριδούλα Μαργαρίτη,

ΕΔΙΠ, Α

2. Μέλος επιτροπής

Ελευθέριος Στεργίου,

ΔΕΠ, Αναπληρωτής Καθηγητής

3. Μέλος επιτροπής

Χρυσόστομος Στύλιος

ΔΕΠ, Καθηγητής

© Καρατζένη Ισμήνη, 2022.

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

Δήλωση μη λογοκλοπής

Δηλώνω υπεύθυνα και γνωρίζοντας τις κυρώσεις του Ν. 2121/1993 περί Πνευματικής Ιδιοκτησίας, ότι η παρούσα μεταπτυχιακή εργασία είναι εκ ολοκλήρου αποτέλεσμα δικής μου ερευνητικής εργασίας, δεν αποτελεί προϊόν αντιγραφής ούτε προέρχεται από ανάθεση σε τρίτους. Όλες οι πηγές που χρησιμοποιήθηκαν (κάθε είδους, μορφής και προέλευσης) για τη συγγραφή της περιλαμβάνονται στη βιβλιογραφία.

Καρατζένη Ισμήνη Ειρήνη

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Με την ολοκλήρωση της μεταπτυχιακής διπλωματικής μου εργασίας, θα ήθελα να εκφράσω τις θερμές μου ευχαριστίες σε όσους συνέβαλλαν στην εκπόνησή της. Ευχαριστώ θερμά την επιβλέπουσα καθηγήτριά μου, κυρία Μαργαρίτη Σπυριδούλα, για την επιστημονική της καθοδήγηση, τις υποδείξεις της, τη συμπαράστασή της και τη συνεχή της υποστήριξη από την αρχή μέχρι το τέλος. Επίσης, θα ήθελα εκφράσω την ευγνωμοσύνη μου στην οικογένειά μου και ιδιαίτερα στο σύζυγό μου Αποστόλη και τα δύο μου παιδιά Αναστασία και Βασίλη, για όλη τη στήριξη, τη συμπαράσταση και την κατανόησή τους, καθ' όλη τη διάρκεια των σπουδών μου.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η έξυπνη εκπαίδευση είναι πλέον μια τυπική πρακτική στην εκπαιδευτική διαδικασία. Υιοθετώντας έξυπνες τεχνολογίες πληροφορικής και επικοινωνιών, αποβλέπει στη μάθηση με διάφορους τρόπου ολοκλήρωσης ώστε να διευκολύνει την εκπαιδευτική διαδικασία και να παρέχει ολοκληρωμένες ή εξατομικευμένες υπηρεσίες μάθησης. Η έξυπνη εκπαίδευση απευθύνεται σε ετερογενή μαθητικό πληθυσμό και μπορεί να είναι ευέλικτη και προσαρμόσιμη ανάλογα με τις ανάγκες και τις απαιτήσεις του κάθε ατόμου ξεχωριστά. Το Διαδίκτυο των Πραγμάτων – Internet of Things – IoT, δημιουργεί ένα νέο καινοτόμο και ευέλικτο πλαίσιο για την βελτίωση της ποιότητας της εκπαιδευτικής διαδικασίας σε ένα κατακευματισμένο περιβάλλον. Η εργασία αυτή, μελετά τα έξυπνα περιβάλλοντα μάθησης, εστιάζει στη λειτουργική διάσταση και εξετάζει την ενσωμάτωση της τεχνολογίας του Διαδικτύου των Πραγμάτων ως τεχνολογική λύση σε πραγματικές εφαρμογές, όπως: στην έξυπνη πανεπιστημιούπολη (smart campus), στην έξυπνη τάξη (smart classroom) και στην έξυπνη μάθηση (smart learning). Στόχος είναι να παρουσιάσει μια ολοκληρωμένη έρευνα σχετικά με τις τεχνολογίες επικοινωνίας που εφαρμόζονται για τη δικτύωση του έξυπνου περιβάλλοντος και να προσδιορίσει τις βασικές απαιτήσεις μιας τέτοιας υλοποίησης. Επίσης, συζητά τις ανοικτές προκλήσεις που σχετίζονται με αυτές τις τεχνολογίες και την εφαρμογή τους στην υλοποίηση της έξυπνης εκπαίδευσης. Επιπλέον παρουσιάζονται συγκριτικά συγκεκριμένες περιπτώσεις έξυπνης εκπαίδευσης που αξιοποιούν σύγχρονες αρχιτεκτονικές (Cloud Computing, Fog Computing).

SUMMARY

Smart education is a standard practice in the educational process. Adopting intelligent information and communication technologies, it aims at learning with various ways of integration in order to facilitate the educational process and to provide integrated or personalized learning services. Smart education is aimed at a heterogeneous student population and can be flexible and adaptable according to the needs and requirements of each individual. The Internet of Things - IoT, creates a new innovative and flexible framework for improving the quality of the learning process in a distributed environment. This paper examines smart learning environments, focuses on the functional dimension and examines the integration of Internet of Things technology as a technological solution in real applications, such as: smart campus, smart classroom and smart classroom. smart learning. The aim is to present a comprehensive research on the communication technologies applied for the networking of the smart environment and to identify the basic requirements of such an implementation. It also discusses the open challenges associated with these technologies and their application to the implementation of smart education. In addition, comparatively specific cases of smart training that utilize modern architectures (Cloud Computing, Fog Computing) are presented.

Περιεχόμενα

1.	Εισαγωγή	11
1.1.	Αντικείμενο.....	12
1.2.	Κίνητρο και Στόχος	12
1.3.	Δομή πτυχιακής εργασίας.....	13
2.	Βασικές Έννοιες	15
2.1.	Το Διαδίκτυο των Πραγμάτων.....	15
2.2.	Έξυπνη εκπαίδευση.....	16
2.3.	Έξυπνη εκπαίδευση και IoT.....	17
2.3.1.	Οι έξυπνες συσκευές	17
2.3.2.	Υλικό	20
2.3.3.	Λογισμικό	20
2.4.	Σχετική Βιβλιογραφία.....	21
3.	Έξυπνη εκπαίδευση	24
3.1.	Εισαγωγή	24
3.2.	Η έννοια της έξυπνης μάθησης	25
3.3.	Ορισμός της έξυπνης εκπαίδευσης.....	27
3.3.1.	Έξυπνες παιδαγωγικές	27
3.3.2.	Τα έξυπνα περιβάλλοντα μάθησης.....	28
3.3.3.	Έξυπνοι μαθητές.....	32
4.	Εφαρμογές IoT στην εκπαίδευση.....	34
4.1.	Λήψη αποφάσεων.....	34
4.2.	Η χρήση του IoT στο εκπαιδευτικό περιβάλλον	36
4.3.	Διαχείριση πόρων.....	36
4.4.	Ενίσχυση εκπαιδευτικής διαδικασίας.....	37
4.5.	Δημιουργία ασφαλούς περιβάλλοντος εκπαίδευσης.....	41
5.	IoT Μοντέλα επικοινωνίας και τεχνολογίες δικτύωσης	47
5.1.	Μοντέλα επικοινωνίας.....	47
5.1.1.	Device-to-Device	47
5.1.2.	Device-to-Cloud	48
5.1.3.	Device-to-Gateway	49
5.1.4.	4.4. Back-End Data - Sharing Model	51
5.2.	Τεχνολογίες δικτύωσης	52
5.2.1.	WiFi.....	54
5.2.2.	LPWAN.....	54

5.2.3.	IEEE 802.15	58
5.2.4.	Z-wave	61
5.2.5.	INSTEON	62
5.2.6.	EnOcean.....	63
5.2.7.	Cellular IoT (CIoT)	63
5.2.8.	LTE	63
5.2.9.	NB-IoT	64
6.	Σύγκριση τεχνολογιών επικοινωνίας	65
6.1.	Μεθοδολογία	65
6.1.1.	Ανάλυση Μεθοδολογίας	65
6.1.2.	Μετρικές.....	66
6.2.	Τεχνικές διαφορές για τα : SIGFOX, LORA και NB-IOT	67
6.2.1.	Ποιότητα εξυπηρέτησης.....	69
6.2.2.	Διάρκεια ζωής μπαταρίας & καθυστέρηση	69
6.2.3.	Κόστος	70
6.2.4.	Μοντέλο ανάπτυξης.....	70
6.3.	Σύγκριση.....	71
6.4.	Επιλογή καταλληλότερης τεχνολογίας.....	76
7.	Συμπεράσματα	78
	Βιβλιογραφία	80

1. Εισαγωγή

Το Διαδίκτυο των Πραγμάτων (Internet of Things – IoT) είναι μία σύγχρονη τεχνολογία που πλέον συναντάμε καθημερινά στη ζωή μας. Το IoT δημιουργεί ένα σύνθετο περιβάλλον επικοινωνίας στο οποίο αλληλοσυνδέονται και επικοινωνούν διάφορες συσκευές, όπως υπολογιστικές, μηχανικές και ψηφιακές συσκευές, αυτοκίνητα, οικιακές συσκευές, άνθρωποι ή ζώα, έξυπνα κτίρια και πολλές άλλες οντότητες ή “αντικείμενα”. Τα αντικείμενα διαθέτουν μοναδικά αναγνωριστικά και τη δυνατότητα μεταφοράς δεδομένων μέσω δικτύου χωρίς να απαιτείται αλληλεπίδραση ανθρώπου με άνθρωπο ή ανθρώπου με υπολογιστή.

Καθημερινά δισεκατομμύρια συσκευές συνδέονται μέσω του διαδικτύου δημιουργώντας ένα πλαίσιο ολοκλήρωσης συστημάτων που υποστηρίζει και διευκολύνει την αποδοτική λειτουργία πλήθος εφαρμογών επιτρέποντας τον έλεγχο, τη διαχείριση, την παρακολούθηση/επίβλεψη, τη χρήση μηχανισμών εισόδου/εξόδου, και άλλα. Εφαρμογές βασιζόμενες σε IoT χρησιμοποιούνται σε πολλούς τομείς της ζωής μας όπως είναι η ιατρική, οι τηλεπικοινωνίες, η εκπαίδευση, οι καλλιέργειες, το οδικό δίκτυο, η βιομηχανία και αρκετοί άλλοι τομείς. Τυπικά, ένα σύνολο από έξυπνες συσκευές σε συνδυασμό με τις σύγχρονες τεχνολογίες δικτύωσης οδηγούν στη δημιουργία και λειτουργία έξυπνων περιβαλλόντων, όπως έξυπνα σχολεία, έξυπνα πανεπιστήμια, έξυπνα σπίτια, έξυπνες πόλεις, έξυπνα περιβάλλοντα, έξυπνη βιομηχανία, έξυπνη ενέργεια.

Η ταχεία ανάπτυξη της τεχνολογίας IoT αποτελεί όχημα για την αναδιαμόρφωση της εκπαίδευσης [1.]. Στην εποχή της πληροφορίας, η ενσωμάτωση της τεχνολογίας IoT στην εκπαίδευση θεωρείται αναπόφευκτη επιλογή και αποτελεί σημαντική εξέλιξη για την εκπαιδευτική διαδικασία. Η εκπαίδευση ενισχύεται τεχνολογικά, αναμορφώνεται, γίνεται “έξυπνη” με τη χρήση έξυπνων τεχνολογιών, έξυπνων παιδαγωγικών μεθόδων και την εισαγωγή του έξυπνου τεχνολογικού σχεδιασμού στα μαθησιακά περιβάλλοντα. Η έξυπνη εκπαίδευση βασιζόμενη στο IoT και τις έξυπνες συσκευές, θέτει ένα νέο πλαίσιο απόκτησης

γνώσεων σε οποιαδήποτε στιγμή, σε οποιοδήποτε περιοχή, σε οποιοδήποτε θέμα[2.]. Οι έξυπνες εκπαιδευτικές πρακτικές ενσωματώνουν την τεχνολογία εμπλουτίζοντάς την με πόρους και παρέχοντας ένα πλαίσιο που μπορεί να είναι μαθητοκεντρικό, προσαρμοστικό, εξατομικευμένο, διαδραστικό και συνεργατικό. συνεργατική, με επίγνωση του πλαισίου και πανταχού παρούσα [4.]. Ως ένας αναδυόμενος τρόπος εκπαίδευσης, η έξυπνη εκπαίδευση έχει θεωρηθεί μπορεί να προωθήσει τις ευκαιρίες μάθησης, την υψηλή ποιότητας εκπαίδευσης και να προωθήσει τη βιώσιμη ανάπτυξη .

1.1. Αντικείμενο

Αντικείμενο αυτής της εργασίας είναι η μελέτη της ενσωμάτωσης και χρήσης του IoT στο περιβάλλον εκπαίδευσης εστιάζοντας κυρίως στις τεχνολογίες δικτύωσης στις οποίες μπορεί να βασιστεί. Παρουσιάζονται οι διάφορες λειτουργίες τους, τα πλεονεκτήματα, τα μειονεκτήματα και οι δυσκολίες εφαρμογής τους, και οι περιπτώσεις χρήσης στην εκπαιδευτική πράξη. Ανάλογα με την αρχιτεκτονική υλοποίησης του IoT, προσφέρονται διάφορα μοντέλα επικοινωνίας που η λειτουργία τους βασίζεται σε διάφορες τεχνολογίες δικτύωσης με σημαντικότερες από αυτές τα WLAN, EnOcean, LoRa, SIGFOX, Zigbee, LoWPAN, Zigbee, Z-wave και πολλά άλλα που θα δούμε στα επόμενα κεφάλαια αναλυτικά.

1.2. Κίνητρο και Στόχος

Με την άνθηση των νέων τεχνολογιών και την ραγδαία εξέλιξη της τεχνολογίας IoT και την ευρεία αποδοχή και χρήση των έξυπνων συσκευών αναδύονται νέοι τρόποι διαχείρισης των πόρων του σχολικού περιβάλλοντος και διεξαγωγής της εκπαιδευτικής διαδικασίας εξελίσσοντας την εκπαίδευση σε “έξυπνη”. Η έξυπνη εκπαίδευση (smart education) είναι ένα σύνολο τεχνολογικών λύσεων που χρησιμοποιεί την τεχνολογία του διαδικτύου καθώς και άλλες τεχνολογίες αιχμής με σκοπό να ενισχύσουν και να κάνουν πιο εύκολα προσβάσιμη την εκπαίδευση με χαμηλότερο κόστος [1.]. Υπάρχουν πολλά και διαφορετικά είδη

τεχνολογίας που χρησιμοποιούνται για την υποστήριξη τη βελτίωση την ενίσχυση της εκπαιδευτικής διαδικασίας. Βέβαια, το κλειδί, σε αυτό το σχήμα, για την ολοκληρωμένη λειτουργία και παροχή υπηρεσιών έξυπνης εκπαίδευσης, τόσο των επιμέρους τμημάτων, όσο και του συνόλου έχει η επικοινωνία. Για την ενσωμάτωση του IoT, τη διαχείριση σε σχέση με διάφορες οπτικές γωνίες και την υπολογιστική του ολοκλήρωση μπορεί να χρησιμοποιηθούν οι τεχνολογίες επικοινωνίας σε συνδυασμό με το cloud computing και το fog computing.

Αυτό αποτελεί και το κίνητρο για μια ολιστική διερεύνηση των τεχνολογιών επικοινωνίας IoT και το ρόλο cloud και fog computing υποδομών για την υποστήριξη, παροχή και λειτουργία της έξυπνης εκπαίδευσης.

1.3. Δομή πτυχιακής εργασία

Η συγκεκριμένη εργασία δομείται σε επτά επιμέρους ενότητες. Στην πρώτη ενότητα παρουσιάζεται το αντικείμενο που θα ασχοληθούμε, το κίνητρο της εργασίας αυτής καθώς και οι στόχοι της. Τονίζεται η συνεισφορά της εργασίας στην καθημερινότητά μας αλλά και στην επιστήμη. Στη δεύτερη ενότητα παρουσιάζονται οι βασικές έννοιες και οι ορισμοί του Διαδικτύου των Πραγμάτων - IoT και πιο συγκεκριμένα αναφέρονται διάφοροι ορισμοί που έχουν προσπαθήσει να δώσουν επιστήμονες όλα αυτά τα χρόνια. Παρουσιάζεται το απαραίτητο υλικό - hardware και το λογισμικό - software που χρησιμοποιείται. Στη συνέχεια παρουσιάζεται η έξυπνη εκπαίδευση και πώς αυτή λειτουργεί στην πράξη. Αναφέρεται ο ορισμός της έξυπνης εκπαίδευσης καθώς και το λογισμικό - software που χρησιμοποιείται. Στην τρίτη ενότητα αναφερόμαστε πιο αναλυτικά στην έξυπνη εκπαίδευση – smart education - και τους τρόπους με τους οποίους αυτή πραγματοποιείται. Έξυπνη εκπαίδευση μπορεί να έχουμε σε σχολεία, πανεπιστήμια ή άλλα εκπαιδευτικά ιδρύματα. Η έξυπνη εκπαίδευση έχει να κάνει τόσο με το κτίριο και τις λειτουργίες του, όσο και με τον τρόπο διδασκαλίας που χρησιμοποιεί ο εκπαιδευτικός. Στην 4η ενότητα παρουσιάζεται το Διαδίκτυο των Πραγμάτων – Internet of Things και πιο συγκεκριμένα αναφέρονται τα μοντέλα επικοινωνίας. Μελετώνται οι τεχνολογίες δικτύωσης και τα Πρωτόκολλα επικοινωνίας που χρησιμοποιούνται. Στην 5η ενότητα

μελετάμε την εφαρμογή του IoT στην εκπαίδευση και δίνονται συγκεκριμένα παραδείγματα υλοποίησης της στην εκπαίδευση. Στην έκτη ενότητα έχουμε τη σύγκριση των τεχνολογιών επικοινωνίας που χρησιμοποιούνται πιο συχνά και τέλος, στην 7η ενότητα βγάζουμε συμπεράσματα για μελλοντικές εργασίες, καθώς και τη βιβλιογραφία που χρησιμοποιήθηκε.

2. Βασικές Έννοιες

2.1. Το Διαδίκτυο των Πραγμάτων

Υπάρχουν πολλά και διαφορετικά είδη τεχνολογίας που χρησιμοποιούνται για την υποστήριξη και τη βελτίωση της μάθησης και μεταξύ αυτών είναι και η τεχνολογία IoT. Το IoT ορίζεται ως *«μια καθολική δικτυακή υποδομή, που συνδέει φυσικές και εικονικές οντότητες με δυνατότητες επικοινωνίας και συλλογής δεδομένων»* [2.]. Με άλλα λόγια, το IoT διασυνδέει ανθρώπους, αντικείμενα και συσκευές. Οι Atzori et. al. [2.] αναφέρουν ότι το IoT είναι αποτέλεσμα σύγκλισης τριών διαφορετικών οραμάτων προερχόμενα από το διαδίκτυο (ενδιάμεσο λογισμικό), τα αντικείμενα (πράγματα- αισθητήρες) και τη σημασιολογία (γνώση) [35.]. Το IoT βρίσκεται σε μεταξύ όλων αυτών, στην περιοχή όπου και τέμνονται τα τρία οράματα.

Τεχνολογίες όπως οι RFID χάρη στην ωριμότητα του, Near Field Communications (NFC) και Wireless Sensor and Actuator Networks (WSAN) με σχετικά χαμηλό κόστος πρωτοστατούν στην υποστήριξη του IoT. Η ομάδα του IoT ορίζει το Internet of Things σαν το «παγκόσμιο δίκτυο διασυνδεδεμένων αντικειμένων με μοναδική δυνατότητα διευθυνσιοδότησης βάσει τυπικών πρωτοκόλλων επικοινωνίας» [32.].

Σύμφωνα με το Cluster of European [57.] στο Διαδίκτυο των πραγμάτων, τα «πράγματα» είναι ενεργοί συμμετέχοντες στις επιχειρήσεις, στις πληροφοριακές και τις κοινωνικές διαδικασίες. Τους δίνεται η δυνατότητα να αλληλεπιδρούν και να επικοινωνούν τόσο μεταξύ τους, όσο και με το περιβάλλον. Ανταλλάσσουν δεδομένα και πληροφορίες για το περιβάλλον, ενώ αντιδρούν αυτόνομα στα γεγονότα του πραγματικού-φυσικού κόσμου και επηρεάζουν διαδικασίες που ενεργοποιούν ενέργειες και δημιουργούν υπηρεσίες, με ή χωρίς άμεση ανθρώπινη παρέμβαση [33.].

Σύμφωνα με τον Forrester [37.], ένα έξυπνο περιβάλλον χρησιμοποιεί τεχνολογίες πληροφοριών και επικοινωνιών για να καταστήσει τα κρίσιμα στοιχεία της υποδομής και τις υπηρεσίες μιας πόλης, της εκπαίδευσης, της υγειονομικής περίθαλψης και της δημόσιας ασφάλειας, των ακινήτων, των μεταφορών και των

υπηρεσιών κοινής ωφέλειας, πιο ευαισθητοποιημένα, διαδραστικά και αποτελεσματικά.

2.2. Έξυπνη εκπαίδευση

Έξυπνη εκπαίδευση ορίζεται «η αποτελεσματική και συνεκτική χρήση των τεχνολογιών της πληροφορίας και της επικοινωνίας για την επίτευξη μαθησιακών αποτελεσμάτων, χρησιμοποιώντας μια κατάλληλη παιδαγωγική προσέγγιση» [38].

Ένας προηγούμενος ορισμός που παρέχεται από τους Zhu and He [39.] είναι ότι «η ουσία της έξυπνης εκπαίδευσης είναι να δημιουργεί έξυπνα περιβάλλοντα χρησιμοποιώντας έξυπνες τεχνολογίες, έτσι ώστε οι έξυπνες παιδαγωγικές να μπορούν να διευκολύνουν την παροχή εξατομικευμένων υπηρεσιών μάθησης και να ενδυναμώνουν τους μαθητές να αναπτύξουν ταλέντα σοφίας, που έχουν καλύτερο προσανατολισμό στην αξία, υψηλότερη ποιότητα σκέψης και ισχυρότερη ικανότητα συμπεριφοράς». Οι Zhu και Bin [4.] ορίζουν ως έξυπνη εκπαίδευση «τη δημιουργία έξυπνου περιβάλλοντος με τη χρήση ευφυών τεχνολογιών, έτσι ώστε οι έξυπνες παιδαγωγικές να μπορούν να διευκολυνθούν ώστε να παρέχουν εξατομικευμένες υπηρεσίες μάθησης και να ενδυναμώνουν τους μαθητές για να αναπτύξουν τα ταλέντα τους με αξιακό προσανατολισμό, υψηλότερη ποιότητα σκέψης και ισχυρότερη συμπεριφορά. »

Ένας άλλος ορισμός της έξυπνης εκπαίδευσης είναι «η έννοια της μάθησης στην ψηφιακή εποχή» [37.]. Σύμφωνα με τους Bajaj και Sharma [37.], η έξυπνη εκπαίδευση είναι «η παροχή εξατομικευμένης μάθησης, οπουδήποτε και οποτεδήποτε». Επιπλέον, δηλώνουν ότι «η έξυπνη εκπαίδευση αφορά τη μάθηση έξω από τις παραδοσιακές τάξεις. Είναι μια δραστηριότητα που μπορεί να γίνει οπουδήποτε και οποτεδήποτε». Ο Jang ορίζει την έξυπνη εκπαίδευση ως «ένα εκπαιδευτικό σύστημα που επιτρέπει στους μαθητές να μαθαίνουν χρησιμοποιώντας ενημερωμένη τεχνολογία και δίνει τη δυνατότητα στους μαθητές να μελετούν με διάφορα υλικά με βάση τις ικανότητες και τα πνευματικά τους επίπεδα» (Jang, 2014) [37.].

Τα έξυπνα περιβάλλοντα μάθησης, που μερικές φορές χρησιμοποιούνται για να αναφέρονται στην έξυπνη εκπαίδευση, «αντιπροσωπεύουν ένα νέο κύμα εκπαιδευτικών συστημάτων, που περιλαμβάνουν μια αποτελεσματική και αποδοτική αλληλεπίδραση παιδαγωγικής, τεχνολογίας και τη σύντηξή τους προς τη βελτίωση των μαθησιακών διαδικασιών» [37.]. Παρατηρούμε ότι η έξυπνη εκπαίδευση δεν αφορά μόνο την τεχνολογία, αλλά αφορά επίσης νέες προσεγγίσεις διδασκαλίας και μάθησης.

2.3. Έξυπνη εκπαίδευση και IoT

Ένα έξυπνο εκπαιδευτικό σύστημα μεταξύ άλλων αποτελείται από τα ακόλουθα συστατικά [3.]:

- Smart classroom
- Smart Campus
- Smart learning

Το σημαντικό, σε αυτό το σχήμα, για την ολοκληρωμένη λειτουργία και παροχή υπηρεσιών έξυπνης εκπαίδευσης, τόσο των τμημάτων που συμμετέχουν, όσο και του συνόλου έχει η επικοινωνία. Για την χρήση του IoT, τη διαχείριση του, τη μελέτη των δεδομένων και την υπολογιστική του τελειοποίηση ώστε να βγουν συμπεράσματα μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε το «cloud computing» καθώς και το «fog computing». Αυτό αποτελεί και το κίνητρο για μια ολιστική διερεύνηση των τεχνολογιών επικοινωνίας IoT και το ρόλο cloud και fog computing υποδομών για την υποστήριξη, παροχή και λειτουργία της έξυπνης εκπαίδευσης.

2.3.1. Οι έξυπνες συσκευές

Οι συσκευές που χρησιμοποιούνται στην έξυπνη εκπαίδευση μπορεί να είναι ο διαδραστικός πίνακας, ο έξυπνος πίνακας, η ηλεκτρονική τσάντα, το κινητό

τηλέφωνο, η φορητή συσκευή, οι αισθητήρες, κ.ά. Η διαλειτουργικότητα και η αποτελεσματικότητα όλων αυτών των έξυπνων συσκευών εξαρτάται σε μέγιστο βαθμό από τη δικτύωση. Η δικτύωση μπορεί να υποστηριχθεί από μια πληθώρα διαφορετικών τεχνολογιών [5.],[6.], ενώ παράλληλα υπάρχει απαίτηση για συνδεσιμότητα από μια μεγάλη ποικιλία διαθέσιμων έξυπνων συσκευών που:

- εκτελούν εφαρμογές
- συνδέονται σε on-line πλατφόρμες

με διαφορετικές ανάγκες και απαιτήσεις.

Η όλο και περισσότερο χρήση και βελτίωση των έξυπνων φορητών συσκευών έχει να κάνει σε μεγάλο βαθμό με την ανάπτυξη ασύρματων δικτύων και τεχνολογιών, δηλαδή έχουμε:

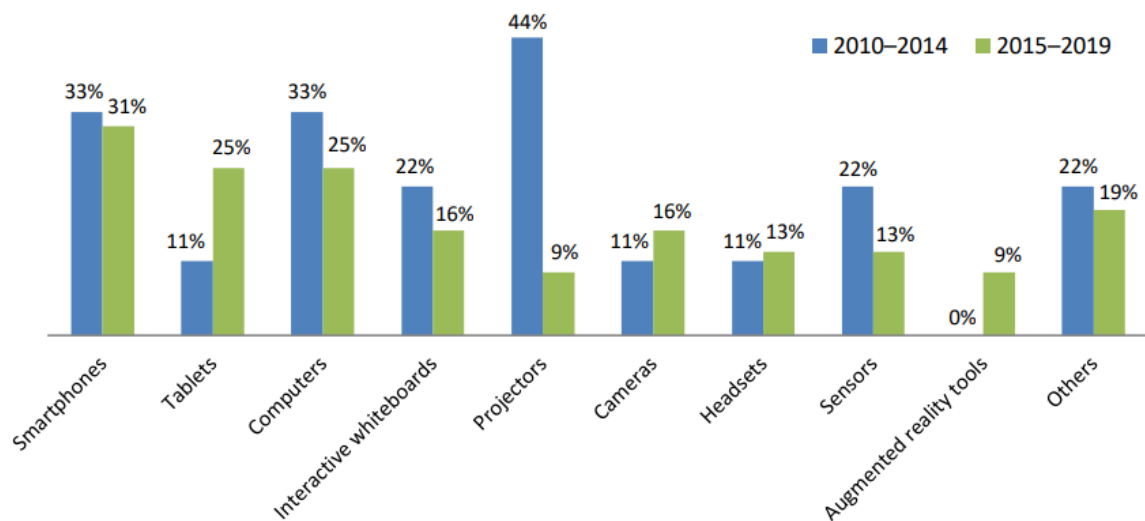
- έξυπνες οθόνες,
- έξυπνες μηχανές,
- τεχνολογία cloud,
- τεχνητή νοημοσύνη,
- internet των πραγμάτων (IoT)

Από όλα αυτά προκύπτει ένα εκπαιδευτικό σύστημα μέσα σε ένα «έξυπνο» μαθησιακό περιβάλλον, και μετατρέπεται η κλασική τάξη σε «έξυπνη τάξη». Παράλληλα με την έξυπνη μάθηση και ασχολούνται και δείχνουν ενδιαφέρον τους όλο και περισσότεροι ερευνητές και ασχολούνται με καινούρια αντικείμενα.

Οι έξυπνες συσκευές και τα εργαλεία εκμάθησης ταξινομήθηκαν ως εξής :

- έξυπνα τηλέφωνα
- υπολογιστές
- τάμπλετ
- αισθητήρες
- διαδραστικοί πίνακες
- προβολείς
- ακουστικά
- κάμερες

- εργαλεία επαυξημένης πραγματικότητας

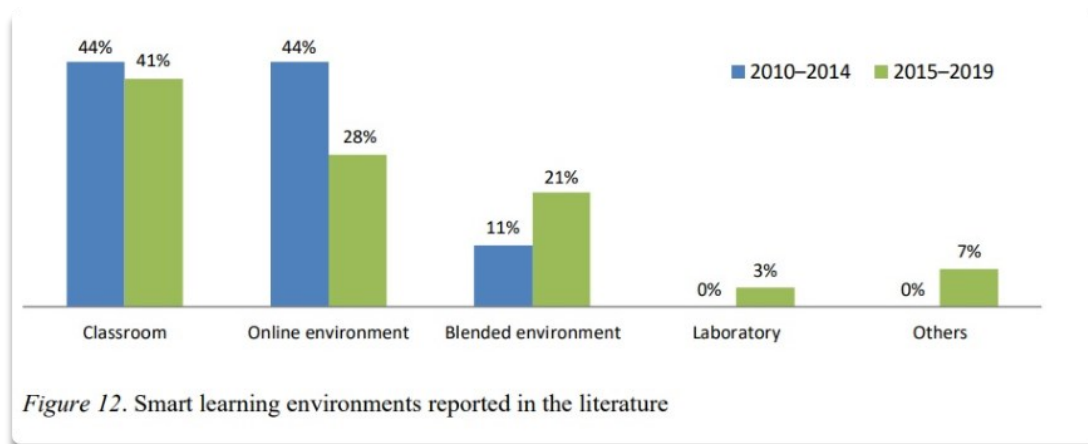


Εικόνα 2-1: Έξυπνες συσκευές μάθησης ή εργαλεία μάθησης που αναφέρονται στην έξυπνη εκπαίδευση. (Πηγή: [43.])

Στην εικόνα 2-1, φαίνονται οι αλλαγές στο ποσοστό των μελετών που χρησιμοποιούν διάφορες έξυπνες συσκευές ή εργαλεία μάθησης.

Όπως φαίνεται, η χρήση ταμπλέτες υπερδιπλασιάστηκε, από 11% σε 25%. Οι προβολείς ως μέσο διδασκαλίας φαίνεται ότι δεν χρησιμοποιούνται τόσο πολύ μιας και κατέγραψαν μείωση από 44% την πρώτη περίοδο σε 9% τη δεύτερη περίοδο, κάτι που δείχνει ότι η συγκεκριμένη συσκευή έχει σταδιακά απαρχαιωθεί στην διδασκαλία.

Επίσης, τα εργαλεία επαυξημένης πραγματικότητας άρχισαν να υιοθετούνται στη δεύτερη περίοδο, υποδηλώνοντας ότι έχει γίνει ένα από τα χαρακτηριστικά της έξυπνης μάθησης.



Εικόνα 2-2: Έξυπνα περιβάλλοντα μάθησης. (Πηγή: [43.])

2.3.2. Υλικό

Οι συσκευές που χρησιμοποιούνται στην έξυπνη εκπαίδευση μπορεί να είναι ο διαδραστικός πίνακας, ο έξυπνος πίνακας (smart whiteboard), η ηλεκτρονική τσάντα, το κινητό τηλέφωνο, η φορητή συσκευή, οι αισθητήρες, κ.ά. Η διαλειτουργικότητα και η αποτελεσματικότητα όλων αυτών των έξυπνων συσκευών εξαρτάται σε μέγιστο βαθμό από το πως έχει γίνει δικτύωση.

Όταν αναφερόμαστε στο υλικό, ο όρος «έξυπνος» αναφέρεται στην έξυπνη συσκευή που είναι πολύ μικρή, είναι φορητή και προσιτή στο χρήστη. Είναι αποτελεσματικό να υποστηρίζεται η εκμάθηση του εκπαιδευόμενου οποτεδήποτε και οπουδήποτε με έξυπνες συσκευές. Κάποιο υλικό όπως smartphone, φορητός υπολογιστής, γυαλιά Google, κ.λπ. έχουν λειτουργίες για να αναγνωρίζουν και να συλλέγουν τα δεδομένα ώστε να βοηθηθεί ο εκπαιδευόμενος στην αδιάκοπη και διαρκή μάθηση. [9.]

2.3.3. Λογισμικό

Υπάρχουν πολλές εφαρμογές που χρησιμοποιούνται σε έξυπνες συσκευές και στην έξυπνη εκπαίδευση. Τα λογισμικά που χρησιμοποιούνται συνεχώς εξελίσσονται και συνδέουν ολοένα και περισσότερες συσκευές μεταξύ τους. Παράλληλα αυξάνεται η αλληλεπίδραση του χρήστη και της διεπαφής. Οι περισσότερες συσκευές στην καθημερινότητά μας συνδέονται σε διάφορα δίκτυα, αποθηκεύουν τα δεδομένα

που χρησιμοποιούν σε cloud και μπορεί ο χρήστης ανά πάσα στιγμή να έχει πρόσβαση σε αυτά ακόμα και από απόσταση, έστω και αν είναι στην άλλη άκρη του πλανήτη. Οι λειτουργίες εκτελούνται από όποιο χώρο βολεύεται και χρειάζεται ο χρήστης ή προγραμματίζονται για την κατάλληλη στιγμή. Μέσω κινητού τηλεφώνου ο χρήστης χειρίζεται διάφορες λειτουργίες και παρέχονται άμεσα αυτοματοποιημένες λύσεις.

2.4. Σχετική Βιβλιογραφία

Την έξυπνη εκπαίδευση έχουν μελετήσει και ορίσει διάφοροι μελετητές και επαγγελματίες με βάση το συνολικό όραμα της εξολοκλήρου ψηφιοποίησης της μάθησης και γενικότερα της μαθησιακής διαδικασίας, χρησιμοποιώντας έξυπνες τεχνολογίες σε όλο το πανεπιστημιακό σύστημα.

Η IBM βλέπει και θεωρεί την έξυπνη εκπαίδευση ως «το πολυεπιστημονικό εκπαιδευτικό σύστημα που έχει ως επίκεντρο τους μαθητές και είναι άμεσα συνδεδεμένο με ολόκληρο το σύστημα μάθησης και κατάρτισης εργατικού δυναμικού χρησιμοποιώντας προσαρμοζόμενες εφαρμογές μάθησης, συνεργατικές τεχνολογίες, διαδικτυακοί πόροι εκμάθησης και αρτιότερες πληροφορίες στους μαθητές, για μάθηση οπουδήποτε και ανά πάσα στιγμή» [52.].

Αυτός ο ορισμός μπορεί να μας δώσει την κεντρική ιδέα για το όραμα του έξυπνου εκπαιδευτικού συστήματος και των υποσυστημάτων που το απαρτίζουν. Ωστόσο, στερείται ανάλυσης των έξυπνων παιδαγωγικών μεθόδων που υποστηρίζει η θεωρία της μάθησης. Το έξυπνο εκπαιδευτικό σύστημα δεν επικεντρώνεται μόνο στην τεχνολογία και τους μαθητές, αλλά στο πώς ο μαθητής μπορεί να χρησιμοποιεί, προσαρμόζει και εξατομικεύει το σύστημα ώστε να βελτιώσει το μαθησιακό αποτέλεσμα. Έτσι, προκύπτει η ανάγκη να επεκτείνουμε και να εμπλουτίσουμε αυτόν τον ορισμό για να συμπεριλάβει και άλλα στοιχεία ώστε να αποδοθεί καλύτερα το όραμα του έξυπνου εκπαιδευτικού συστήματος.

Οι Similar Vein, Cocoli, Guercio, Marescca και Stanganelli [52.] ορίζουν την έξυπνη εκπαίδευση ως ένα «έξυπνο περιβάλλον που υποστηρίζεται από έξυπνες τεχνολογίες,

χρησιμοποιώντας έξυπνα εργαλεία και έξυπνες συσκευές». Αυτό σημαίνει ότι η έξυπνη εκπαίδευση είναι ένα ψηφιακά υποστηριζόμενο μαθησιακό περιβάλλον που χρησιμοποιεί τα χαρακτηριστικά των έξυπνων τεχνολογιών και συσκευών για την υποστήριξη της μάθησης οπουδήποτε οποτεδήποτε. Ωστόσο, αυτός ο ορισμός στερείται της ακριβούς ανάλυσης των έξυπνων τεχνολογιών μάθησης και του τρόπου σύνδεσης του συστήματος για την επίτευξη μιας έξυπνης πανεπιστημιούπολης.

Η IBM ανέλυσε και αποσαφήνισε αυτά τα ζητήματα ως ονομάζοντας το «περιβάλλον προσαρμοζόμενης, συνεργατικής και διαδικτυακής χρήσης των μαθησιακών πόρων σε όλα τα εκπαιδευτικά ιδρύματα ».

Επομένως, αυτός ο ορισμός και άποψη θα πρέπει να ενσωματωθούν με τα υπόλοιπα στοιχεία του συστήματος της έξυπνης εκπαίδευσης για να παρέχει μια ευρύτερη άποψη του έξυπνου εκπαιδευτικού συστήματος.

Υπάρχει ένα κενό στον ακριβή τρόπο που ο "έξυπνος εκπαιδευόμενος" μπορεί να χρησιμοποιεί τους πόρους στην ψηφιακή μάθηση και πώς συνδέονται οι πόροι και οι τεχνολογίες σε όλη την έξυπνη πανεπιστημιούπολη. Έτσι, αυτός ο ορισμός χρειάζεται ανάλυση των έξυπνων παιδαγωγικών μεθόδων και τον ορισμό της έξυπνης πανεπιστημιούπολης για να αποδώσει επακριβώς το όραμα της έξυπνης εκπαίδευσης. Έχουν γίνει πολλές ερευνητικές εργασίες για την σωστότερη απόδοση - ερμηνεία, της έξυπνης εκπαίδευσης. Αυτό το άρθρο επικεντρώθηκε στα πιο πρόσφατα και σχετικά ερευνητικά έργα που πρότειναν και ανέπτυξαν ένα μοντέλο ή ένα πλαίσιο έξυπνης εκπαίδευσης.

Οι Putra & Putro [17.], οι συγγραφείς πρότειναν τρισδιάστατα στοιχεία μιας έξυπνης εκπαίδευσης με βάση την πρωτότυποποίηση (conceptualisation). Τα στοιχεία περιλαμβάνουν ένα έξυπνο περιβάλλον εξάσκησης, έξυπνες τεχνολογίες εκπαίδευσης, Επαγγελματικές διασυνδεδεμένες κοινότητες και έξυπνους εκπαιδευτικούς πόρους, γρήγορη παράδοση γνώσεων στον μαθητή. Αυτή η πρωτότυποποίηση (conceptualisation) περιλαμβάνει μόνο τις εμπειρίες και το πώς κατανοούν οι συγγραφείς το σύστημα της έξυπνης εκπαίδευσης και όχι με βάση πρότερους ορισμούς. Τα συστατικά και οι διαστάσεις που περιλαμβάνονται είναι μόνο υποστοιχεία του συνόλου της έξυπνης εκπαίδευσης που πρέπει να διευρυνθεί και να εμπλουτιστεί για να κατανοήσουμε πλήρως το σύστημα γύρω από την έξυπνη εκπαίδευση.

Έξυπνα περιβάλλοντα μάθησης είναι τα μαθησιακά περιβάλλοντα στα οποία εφαρμόζεται η έξυπνη μάθηση. Αυτά αποτελούνται από την τάξη, το διαδικτυακό περιβάλλον, το μικτό περιβάλλον και το εργαστήριο.

3. Έξυπνη εκπαίδευση

3.1. Εισαγωγή

Η εκθετική εξέλιξη της τεχνολογίας μέρα με τη μέρα, δεν αφήνει ανεπηρέαστη την εκπαίδευση, δημιουργώντας νέες συνθήκες και πρακτικές. Υπάρχει πληθώρα παραδειγμάτων σε παγκόσμια κλίμακα που αξιοποιούν την τεχνολογία στο χώρο της εκπαίδευσής [3.], [6.], [7.], [8.]. Το 1997, η Μαλαισία πρώτη πραγματοποίησε ένα πρόγραμμα έξυπνης εκπαίδευσης, το Μαλαισιανό Σχέδιο Εφαρμογής Έξυπνου Σχολείου [3.]**Error! Reference source not found.** Τα έξυπνα αυτά σχολεία, στόχευαν στη βελτίωση του εκπαιδευτικού συστήματος ώστε να προετοιμάσει το εργατικό δυναμικό να ανταποκριθεί στις προκλήσεις του 21ου αιώνα. Το σχέδιο αυτό στηρίχτηκε έμπρακτα από την κυβέρνηση. Η Σιγκαπούρη υπέγραψε το Γενικό Σχέδιο Intelligent Nation (iN2015) [7.] το 2006, στο οποίο η εκπαίδευση στηρίζεται στην τεχνολογία σε ένα μεγάλο μέρος της [7.]. Στο σχέδιο αυτό, διαμορφώθηκαν αντίστοιχα οκτώ Σχολεία του Μέλλοντος που επικεντρώνονται στη δημιουργία διαφορετικών περιβαλλόντων μάθησης. Η Αυστραλία συνεργάστηκε με την IBM και σχεδίασε ένα έξυπνο διεπιστημονικό εκπαιδευτικό σύστημα με επίκεντρο τους μαθητές [7.]. Το σύστημα αυτό συνδέει πολλά σχολεία, Πανεπιστήμια και κέντρα κατάρτισης εργατικού δυναμικού. Η Νότια Κορέα εκπόνησε το εκπαιδευτικό πρόγραμμα SMART, το οποίο είχε σαν κύριο καθήκον τη μεταρρύθμιση του υπάρχοντος εκπαιδευτικού συστήματος και τη βελτίωση των εκπαιδευτικών υποδομών [6.]. Το πρόγραμμα Smart School της Νέας Υόρκης δίνει έμφαση στην ενσωμάτωση της τεχνολογίας μέσα στην τάξη Έκθεση της Επιτροπής Smart Schools της Νέας Υόρκης, 2014 . Αυτό το πρόγραμμα εστιάζει στην ενίσχυση της επίδοσης των μαθητών και παράλληλα τους προετοιμάζει να συμμετάσχουν στο 21^ο αιώνα. Η Φινλανδία υλοποίησε επίσης ένα πρόγραμμα έξυπνης εκπαίδευσης με θέμα τις συστημικές λύσεις μάθησης (SysTech) το 2011. Το έργο στοχεύει στην προώθηση της μάθησης στον 21^ο αιώνα με μεθόδους μάθησης που έχουν γνώμονα τους χρήστες και τα κίνητρα που έχουν [8.]. Τα Ηνωμένα Αραβικά Εμιράτα άρχισαν να επενδύουν σε ένα πρόγραμμα έξυπνης μάθησης με όνομα Mohammed Bin Rashid Smart

Learning Program (MBRSLP) το 2012, το οποίο στοχεύει στη διαμόρφωση ενός νέου περιβάλλοντος μάθησης και μια νέα κουλτούρα στα δημόσια σχολεία τους μέσω των έξυπνων τάξεων.

Συνοψίζοντας θα λέγαμε ότι η έξυπνη εκπαίδευση έχει γίνει μια νέα τάση στην παγκόσμια εκπαίδευση.[8.]

3.2. Η έννοια της έξυπνης μάθησης

Δεν υπάρχει μέχρι στιγμής σαφής και ενιαίος ορισμός της έξυπνης μάθησης. Οι ερευνητές και οι επαγγελματίες της εκπαίδευσης συζητούν συνεχώς την έννοια της έξυπνης μάθησης. Αρκετά κρίσιμα στοιχεία έχουν συζητηθεί στην πρόσφατη βιβλιογραφία. Ο Hwang [9.] και οι Scott & Benlamri [10.] θεωρούν ότι η έξυπνη μάθηση έχει επίγνωση του πλαισίου σε όλες τις κατηγορίες της μάθησης. Ο Gwak [11.] θεωρεί ότι α) η έξυπνης μάθησης επικεντρώνεται σε μαθητές και στο περιεχόμενο περισσότερο από ότι στις συσκευές και β) είναι αποτελεσματική, έξυπνη, εξατομικευμένη μάθηση που βασίζεται σε προηγμένη υποδομή. Στην έξυπνη μάθηση η τεχνολογία παίζει σημαντικό ρόλο, αλλά δεν πρέπει να εστιάζουμε μόνο στις έξυπνες συσκευές.

Οι Kim et al. [12.] θεώρησαν ότι η έξυπνη μάθηση, όταν συνδυάζει τα πλεονεκτήματα της κοινωνικής μάθησης και της ευρέως διαδεδομένης μάθησης, είναι μαθητοκεντρικό μοντέλο και εκπαιδευτικό υπόδειγμα προσανατολισμένο στις υπηρεσίες, αντί να είναι επικεντρωμένο στη χρήση.

Ο Lee et al. ([13.] πρότεινε ότι τα χαρακτηριστικά της έξυπνης μάθησης περιλαμβάνουν την επίσημη αλλά και την άτυπη μάθηση, την κοινωνική και τη συνεργατική μάθηση, την εξατομικευμένη και την εντοπισμένη μάθηση εστιάζοντας σε εφαρμογές και στο περιεχόμενο.

Η International Association of Smart Learning Environments (IASLE) [42.] έδωσε τον ορισμό για την έξυπνη μάθηση ως εξής: *«είναι μια αναδυόμενη περιοχή παράλληλα με άλλες σχετικές αναδυόμενες περιοχές όπως είναι η έξυπνη τεχνολογία, η έξυπνη διδασκαλία, η έξυπνη εκπαίδευση, το smart-e-learning, οι smart αίθουσες διδασκαλίας, τα έξυπνα πανεπιστήμια, η έξυπνη κοινωνία. Η εκμετάλλευση έξυπνων περιβαλλόντων για μάθηση μαζί με νέες τεχνολογίες και προσεγγίσεις όπως η*

ευρέως διαδεδομένη μάθηση και η μάθηση μέσω κινητού θα μπορούσε να ονομαστεί έξυπνη μάθηση» [42.]

Το «Smart», ωστόσο, είναι ένας όρος που έχει συσχετιστεί εδώ και πολύ καιρό με τους υπολογιστές [17.] ,[18.], [19.]. Έχει επίσης υψηλή χρησιμότητα σε πολλές συζητήσεις και επομένως μπορεί να υπάρχει πρόβλημα κατά τον ορισμό του. Έτσι, το IASLE εξηγεί ότι το «επί της ουσίας «έξυπνο» στην έξυπνη μάθηση περιλαμβάνει ορισμένα παρόμοια χαρακτηριστικά τα οποία αποδίδονται σε ένα άτομο που θεωρείται «έξυπνο» (IASLE, n.d.). [42.]

Οι Zhu, Yu and Riezebos [20.], το 2016 κατέληξε στο συμπέρασμα ότι «δεν υπάρχει σαφής και ενοποιημένος ορισμός της έξυπνης μάθησης μέχρι στιγμής». Απαιτείται λοιπόν περισσότερη εννοιολογική αυστηρότητα σε τέτοιες περιπτώσεις. Αυτό όμως είναι δύσκολο για όρους που ήδη χρησιμοποιούνται συνεχώς στην καθημερινότητά μας.

Ως νέο εκπαιδευτικό παράδειγμα, η έξυπνη μάθηση βασίζεται στις έξυπνες συσκευές και ευφυείς τεχνολογίες 2014 [13.], [30.]. Όπως φαίνεται στις μελέτες των τελευταίων δεκαετιών, η τεχνολογία μπορεί να εφαρμοστεί και να χρησιμοποιηθεί για να βοηθήσει τους εκπαιδευόμενους στο πώς να μαθαίνουν. Αυτό περιγράφεται ως τεχνολογικά ενισχυμένη μάθηση. Υπάρχει ευελιξία στον τρόπο μάθησης και οι τεχνολογίες μπορεί να είναι μέσα ή εργαλεία για την πρόσβαση στο εκπαιδευτικό περιεχόμενο [14.], την έρευνα, την επικοινωνία και τη συνεργασία, την κατασκευή [15.], την έκφραση και την αξιολόγηση [16.] στην τεχνολογικά ενισχυμένη μάθηση. Η υποστήριξη της τεχνολογίας στην εκπαιδευτική διαδικασία έχει προκαλέσει πολλές αλλαγές στο μαθησιακό στυλ. Η μάθηση μπορεί να πραγματοποιηθεί οποιαδήποτε στιγμή και οπουδήποτε χωρίς τους περιορισμούς χρόνου, τόπου και περιβάλλοντος [21.] .

Σε πολλές πρόσφατες έρευνες δίνουν σημασία στην αναγκαιότητα οι μαθητές να εργάζονται σε προβλήματα στον πραγματικό κόσμο και σε αυθεντικές δραστηριότητες [21.]. Προκειμένου να τοποθετηθούν οι μαθητές σε αυθεντικά περιβάλλοντα μάθησης, είναι σημαντικό να σχεδιάζεται η μάθηση σε πραγματικό και εικονικό περιβάλλον και μπορεί να περιλαμβάνει την τυπική και άτυπη μάθηση, ατομική και κοινωνική μάθηση μέσω έξυπνων προσωπικών συσκευών [23.].

3.3. Ορισμός της έξυπνης εκπαίδευσης

Οι Zhu και He [4.] ορίζουν ως έξυπνη εκπαίδευση *"τη δημιουργία έξυπνων περιβαλλόντων με τη χρήση έξυπνων τεχνολογιών, έτσι ώστε να διευκολυνθούν οι έξυπνες παιδαγωγικές μέθοδοι για την παροχή υπηρεσιών εξατομικευμένης μάθησης και να ενδυναμώνουν τους εκπαιδευόμενους, και έτσι τα ταλέντα της σοφίας τους έχουν καλύτερο αξιακό προσανατολισμό, υψηλότερη ποιότητα σκέψης και ισχυρότερη ικανότητα συμπεριφοράς"*.

Υπό αυτή την προοπτική, ο Zhu et al. [4.], ορίζουν το πλαίσιο της έξυπνης εκπαίδευσης ως αποτέλεσμα συνεργίας τριών βασικών στοιχείων: έξυπνα περιβάλλοντα, έξυπνη παιδαγωγική και έξυπνος μαθητής.

3.3.1. Έξυπνες παιδαγωγικές

Καθώς παρατηρούμε τις τεχνολογίες να αναπτύσσονται με ραγδαία έχουμε ολοένα και περισσότερο ευέλικτη και αποτελεσματική μάθηση. Οι γνώσεις και οι δεξιότητες είναι στενά συνδεδεμένες. [22.].

Ο Zhu et al. [4.], προτείνει τέσσερις εκπαιδευτικές προσεγγίσεις οι οποίες φαίνονται και στην εικόνα 3-1.

Οι στρατηγικές αυτές διαφοροποιούνται με βάση:

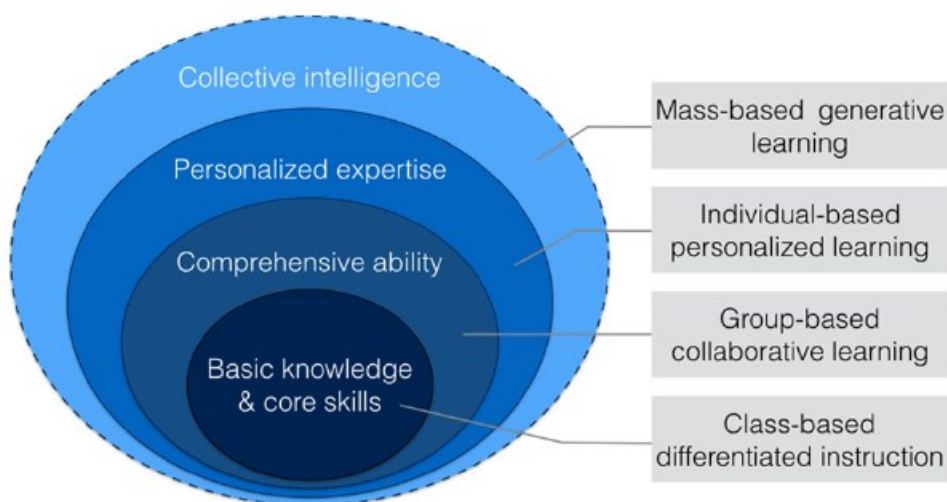
- τη διδασκαλία,
- την ομαδικοσυνεργατική μάθηση,
- την εξατομικευμένη μάθηση (με γνώμονα τα ενδιαφέροντα του κάθε μαθητή)
- τη μαζική μάθηση (μέσω διαδραστικότητας στο δίκτυο κυρίως).

Όλες αυτές οι στρατηγικές περιλαμβάνουν την τυπική και άτυπη μάθηση, σε πραγματικό χρόνο αλλά και στον ψηφιακό κόσμο. Τα τέσσερα επίπεδα έξυπνων στρατηγικών περιγράφονται στη συνέχεια:

- *Διαφοροποιημένη διδασκαλία με βάση την τάξη.* Είναι μια διαδικασία για μαθητές με διαφορετικές ανάγκες και ικανότητες που βρίσκονται ταυτόχρονα στην ίδια τάξη [24.] . Μπορεί να συνυπάρχει με την εκπαίδευση

βασισμένη σε κάποια συγκεκριμένα πρότυπα [25.]. Εκεί η τάξη είναι μια κοινότητα στην οποία οι μαθητές αντιμετωπίζονται ξεχωριστά ανάλογα με τις ανάγκες τους [26.].

- *Η Ομαδοσυνεργατική μάθηση.* Η συνεργατική μάθηση είναι η μάθηση στην οποία δύο ή περισσότεροι άνθρωποι μαθαίνουν σε ομάδες [27.].
- *Η Εξατομικευμένη μάθηση με βάση το άτομο.* Η εξατομικευμένη μάθηση είναι όταν η μάθηση συνδυάζεται με τα ενδιαφέροντα και τυχόν εμπειρίες των μαθητών [28.] .



Εικόνα 3-1: Οι παιδαγωγικές προσεγγίσεις που μπορούν να εφαρμοστούν στην έξυπνη εκπαίδευση. (Πηγή: [4.])

Οι περισσότεροι μαθητές σήμερα είναι ψηφιακοί ιθαγενείς, οι εξοικειωμένοι στη χρήση έξυπνων φορητών συσκευών και ψηφιακών πόρων ώστε να επικοινωνούν μεταξύ τους. Με τον τρόπο αυτό μαθαίνουν και ψυχαγωγούνται στην καθημερινή τους ζωή [29.].

3.3.2. Τα έξυπνα περιβάλλοντα μάθησης

Τα έξυπνα περιβάλλοντα μάθησης (Smart learning environments - SLEs) χρησιμοποιούν μια σειρά ψηφιακών τεχνολογιών ώστε να μπορέσουν να υποστηρίξουν τη μάθηση, την εκπαίδευση και την κατάρτιση. Επίσης παρέχουν μια

ένδειξη για το πώς μπορεί να διαμορφωθούν στο μέλλον τα μαθησιακά περιβάλλοντα. Ενώ η καινοτομία συνεχώς προχωρά, τα SLE λαμβάνουν όλο και μεγαλύτερη προσοχή από την ερευνητική κοινότητα.

Τα έξυπνα περιβάλλοντα μάθησης βασίζονται στην αρχιτεκτονική τριών επιπέδων που περιλαμβάνει το cloud computing, την ομίχλη και το σμήνος στη χρήση του υπολογιστή. Οι εφαρμογές εκμάθησης μπορεί να έχουν στοιχεία που εκτελούνται στο cloud, την ομίχλη και το σμήνος.

(1) **cloud computing.** Το εσωτερικό επίπεδο είναι το cloud computing, το οποίο παρέχεται από το λογισμικό ως υπηρεσία. Αναπτύσσει ομάδες απομακρυσμένων διακομιστών και δικτύων λογισμικού που επιτρέπουν την κεντρική αποθήκευση δεδομένων και την ηλεκτρονική πρόσβαση σε υπηρεσίες υπολογιστών και πόρους.

Χρησιμοποιώντας το cloud computing, στα έξυπνα περιβάλλοντα μάθησης μπορούμε να συνειδητοποιήσουμε την έξυπνη έλξη, την έξυπνη προοπτική, το έξυπνο περιεχόμενο και την έξυπνη ώθηση [30.] .

(2) **Υπολογισμός ομίχλης.** Το μεσαίο επίπεδο της αρχιτεκτονικής των τριών επιπέδων είναι ο υπολογισμός ομίχλης. Σήμερα στα IoTs, κυριολεκτικά οτιδήποτε μπορεί να γίνει μέρος του. Αυτή η τεχνολογία είναι ένα ιδιαίτερα virtualized πλατφόρμα που παρέχει υπολογιστική σκέψη, υπηρεσίες αποθήκευσης και δικτύωσης μεταξύ τελικών συσκευών και παραδοσιακού υπολογιστικού [32.].

(3) **Swarm Computing.** Το εξωτερικό στρώμα είναι το swarm computing. Η τεχνολογία συνεχίζει να γίνεται ολοένα και πιο διάχυτη και είναι πλέον ευρέως διαδεδομένη. Swarm Computing, ονομάζεται επίσης η περιβαλλοντική επίγνωση που μπορεί να εκτελεστεί σε σμήνη έξυπνων συσκευών και σε δίκτυα αισθητήρων. Τα δεδομένα αυτών των αισθητήρων θα μεταφερθούν στη διαχείριση δεδομένων συστημάτων για ανάλυση.

Ο έξυπνος υπολογισμός επιτρέπει στις τεχνολογίες πληροφορικής να είναι πιο έξυπνες λόγω των πέντε βασικών λειτουργιών της νοημοσύνης που είναι [31].:

- η επίγνωση
- η ανάλυση
- οι εναλλακτικές λύσεις
- οι ενέργειες
- η δυνατότητα ελέγχου

Στην αρχιτεκτονική τριών επιπέδων, η υποστήριξη της υπολογιστικής σμήνους την επίγνωση, ο υπολογισμός ομίχλης υποστηρίζει την ανάλυση και τις εναλλακτικές λύσεις και το νέφος υποστηρίζουν δράσεις και δυνατότητα ελέγχου.

- (1) Επίγνωση. Η μάθηση γίνεται οπουδήποτε και οποτεδήποτε. Μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε τεχνολογίες όπως το υπολογιστικό σμήνος, η αναγνώριση προτύπων, η εξόρυξη δεδομένων, τα αναλυτικά στοιχεία εκμάθησης και άλλα εργαλεία, για να καταγράψουμε δεδομένα σχετικά με την ταυτότητα του χρήστη, την κατάσταση του χρήστη και την τοποθεσία των μαθητών. Τα δίκτυα μπορούν να μεταφέρουν αυτά τα δεδομένα από τις συσκευές του μαθητή μέσω της έξυπνης μάθησης σε κεντρικούς διακομιστές και να τα αναλύσουν.
- (2) Ανάλυση. Οι διακομιστές συστήματος λαμβάνουν δεδομένα σε πραγματικό χρόνο από συσκευές εκμάθησης, χρησιμοποιούν ευφυή συστήματα και διάφορα εργαλεία ανάλυσης, όπως είναι τα αναλυτικά στοιχεία εκμάθησης, τα μεγάλα δεδομένα, η εξόρυξη δεδομένων τα οποία χρησιμοποιούνται για τη συλλογή, την ανάλυση και την αποθήκευση των δεδομένων μάθησης. Έπειτα, μετά από όλα αυτά προτείνουν πρότυπα για αποτελεσματικότερη μάθηση και χρήση των κατάλληλων πόρων στους μαθητές.
- (3) Εναλλακτικές λύσεις. Όταν χρησιμοποιούμε μηχανές ροής μάθησης και εργασίας, αναγνωρίζονται είτε αυτόματα είτε μέσω ανθρώπινης δράσης εναλλακτικούς τρόπους δράσης σε απάντηση στα πρότυπα μάθησης. Όταν πάρει κάποιος κάποια απόφαση, ενεργοποιείται η μαθησιακή δράση.

- (4) Δράσεις. Χρησιμοποιώντας ολοκληρωμένες συνδέσεις, τα συστήματα εκτελούν ενέργειες για τις κατάλληλες αιτήσεις επεξεργασίας. Αυτές οι εφαρμογές της διαδικασίας μπορούν να προσαρμοστούν σε διάφορα σενάρια, με συγκεκριμένα στοιχεία εφαρμογών τα οποία ωθούνται στις έξυπνες συσκευές μας, για να μπορούμε να εκτελέσουμε κάποιες εργασίες.
- (5) Ελεγκτή. Το αν πραγματοποιήθηκε πράγματι η σωστή μαθησιακή δράση μπορεί να εξαρτηθεί από το πλαίσιο του ελέγχου. Στην έξυπνη εκπαίδευση, είναι σημαντικό να παρακολουθούμε τη μαθησιακής διαδικασίας και να γίνει πιο αποτελεσματική αυτή. Τα έξυπνα αυτά συστήματα μάθησης πρέπει να συλλαμβάνουν, να παρακολουθούν και να αναλύουν τα δεδομένα μαθησιακών δραστηριοτήτων σε κάθε στάδιο για σκοπούς αξιολόγηση και βελτίωση της μάθησης.

Ο Zhu et al., [4.], με βάση τη ζήτηση της έξυπνης εκπαίδευσης, προτείνει δέκα βασικά χαρακτηριστικά του περιβάλλοντος έξυπνης εκπαίδευσης:

1. **Επίγνωση θέσης:** μπορεί να αισθανθεί κάποιος τη θέση του εκπαιδευόμενου σε πραγματικό χρόνο.
2. **Επίγνωση περιεχομένου:** βλέπουμε ότι υπάρχουν διαφορετικά σενάρια και πληροφορίες δραστηριότητας.
3. **Κοινωνική επίγνωση:** υπάρχει αίσθηση κοινωνικής σχέσης.
4. **Διαλειτουργικότητα:** είναι ο Ορισμός προτύπων μεταξύ διαφορετικών πόρων, υπηρεσιών και πλατφόρμας.
5. **Απρόσκοπτη σύνδεση:** Παρέχεται συνεχή υπηρεσία όταν συνδέεται οποιαδήποτε συσκευή.
6. **Προσαρμοστικότητα:** Οι πόροι μάθησης προσαρμόζονται σύμφωνα με την μαθησιακή πρόσβαση, τις προτιμήσεις και
7. **Ζήτηση.** ευρέως διαδεδομένη: παρέχεται διαφανής τρόπος πρόσβασης σε πόρους και υπηρεσίες μάθησης στον εκπαιδευόμενο
8. **Ολόκληρο το αρχείο:** Γίνεται καταγραφή των δεδομένων της διαδρομής της μάθησης για εξόρυξη και ανάλυση σε βάθος . Στη συνέχεια έρχεται αξιολόγηση, πρόταση και υπηρεσία ώθησης κατ' απαίτηση.

9. **Φυσική αλληλεπίδραση:** Χρησιμοποιούνται οι αισθήσεις της αλληλεπίδρασης συμπεριλαμβανομένων της αναγνώρισης θέσης και των έκφρασης του προσώπου.
10. **High Engagement:** Βυθίζεται κάποιος σε πολυκατευθυντική εμπειρία μάθησης και υπάρχει αλληλεπίδραση σε περιβάλλον πλούσιο στην τεχνολογία.

3.3.3. Έξυπνοι μαθητές

Οι έξυπνοι μαθητές είναι οι βασικοί εμπλεκόμενοι και το αντικείμενο της έξυπνης εκπαίδευσης οι οποίοι προετοιμάζονται για να για να καλύψουν τις ανάγκες των της εργασίας και στον 21ο αιώνα. Οι μαθητές θα αλληλεπιδράσουν με το έξυπνο περιβάλλον χρησιμοποιώντας έξυπνες συσκευές και βασιζόμενοι στις έξυπνες παιδαγωγικές. Ο Zhu et al [4.], προτείνει τέσσερα επίπεδα ικανοτήτων στην έξυπνη εκπαίδευση στα οποία οι μαθητές θα πρέπει να κατακτήσουν άριστα ώστε να ανταποκρίνονται στις ανάγκες της σύγχρονης κοινωνίας.

Αυτές οι ικανότητες είναι:

- οι βασικές γνώσεις και δεξιότητες,
- οι ολοκληρωμένες ικανότητες,
- η εξατομικευμένη τεχνογνωσία
- η συλλογική νοημοσύνη.

Αυτά ομαδοποιούνται στις:

- γνώσεις
- τις δεξιότητες
- τις στάσεις
- τις αξίες

Τα τέσσερα επίπεδα ικανοτήτων μπορούμε να τα παρουσιάσουμε ως εξής:

- Βασικές γνώσεις και βασικές δεξιότητες. Αναφέρονται σε γνώσεις και δεξιότητες σε βασικά θέματα όπως το STEM, η ανάγνωση, η γραφή, η τέχνη κ.λπ. Η γνώση αυτών των βασικών θεμάτων είναι απαραίτητη για την επιτυχία των μαθητών. Σύμφωνα με τον Jenkins [50.] η ανάγνωση, η γραφή και τα μαθηματικά είναι ο πυρήνας των Δυνατότητων του 21ου αιώνα.
- Ολοκληρωτικές ικανότητες. Οι ολοκληρωμένες ικανότητες αναφέρονται στις ικανότητες για κριτική σκέψη έτσι ώστε να λύνεται το πραγματικό πρόβλημα κάθε φορά. Τα πλαίσια δεξιοτήτων αυτά αναγκάζουν τους ανθρώπους να σκέφτονται με πιο σωστό τρόπο [33.]. Τότε οι μαθητές χρησιμοποιήσουν κατάλληλους συλλογισμούς και κατανοούν τις καταστάσεις καλύτερα. Έτσι λύνουν πληθώρα προβλημάτων με αποτελεσματικότερες λύσεις.
- Εξατομικευμένη τεχνογνωσία. Στο επίπεδο αυτό οι μαθητές κατακτούν πληροφορίες και δεξιότητες καινοτομίας, δημιουργικότητας και τεχνολογικής φύσεως. Στην Πληροφορική και την Τεχνολογία μελετάμε τον ψηφιακό αλφαριθμητισμό και οι μαθητές αποκτούν δεξιότητες στις ΤΠΕ που περιλαμβάνουν τη χρήση διαφορετικών ITC Εφαρμογών και συνδυάζουν γνωστικές ικανότητες και δεξιότητες ανώτερης τάξης [34.]. Οι μαθητές σκέφτονται και εργάζονται δημιουργικά με άλλους και συνεισφέρουν στον τομέα της καινοτομίας.
- Συλλογική νοημοσύνη. Η συλλογική νοημοσύνη αναφέρεται στη γνώση που δημιουργείται από μια ομάδα ανθρώπων που επικοινωνούν και συνεργάζονται.

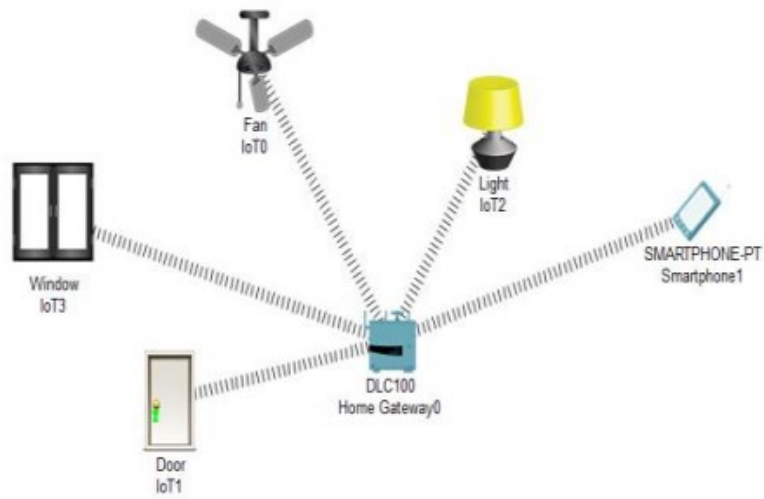
4. Εφαρμογές IoT στην εκπαίδευση

4.1. Λήψη αποφάσεων

Στην εργασία τους οι Abdel-Basset et al. [54.] προτείνουν τη δημιουργία ενός έξυπνου περιβάλλοντος εκπαίδευσης για την λήψη ορθών αποφάσεων διαχείρισης σχετικά με τη λειτουργία του σχολείου. Μια σειρά από έξυπνες συσκευές IoT συλλέγουν δεδομένα αυτόματα και η ανάλυσή τους προσβλέπει στην ενίσχυση της εκπαιδευτικής διαδικασίας. Καθημερινές δραστηριότητες της εκπαιδευτικής κοινότητας όπως καταγραφή μαθητών, καθαρισμός αιθουσών αυτοματοποιούνται, ενώ η συλλογή στοιχείων της γνωστικής εγκεφαλικής δραστηριότητας των μαθητών, με τη χρήση νευροαισθητήρων ή η παρακολούθηση της υγείας των μαθητών μπορεί να υποστηρίξει σίγουρα την εξατομικευμένη μάθηση μέσω διαφόρων έξυπνων συσκευών. Ψηφιακοί πίνακες και οθόνες, αποθηκευτικοί χώροι αρχείων και προγραμμάτων χρησιμοποιούνται επίσης για το σκοπό αυτό. Για την λειτουργικότητα του χώρου ή και την ασφάλεια των μαθητών προτείνεται η χρήση ηλεκτρονικών κλειδαριών, αισθητήρων για την παρακολούθηση των λεωφορείων και την επαλήθευση των επιβατών μαθητών, καμερών παρακολούθησης ασφαλείας και wearables για τον αθλητισμό και την παρακολούθηση της παρουσίας αισθητήρων στο χώρο στάθμευσης και στους δρόμους κίνησης, αισθητήρων σε δοχεία απορριμμάτων και ρομπότ καθαρισμού και πολλά ακόμη. Η μετάβαση σε ένα έξυπνο περιβάλλον αναμένεται να βελτιώσει την ποιότητα του μαθησιακού περιβάλλοντος, να μειώσει το χρόνο που δαπανάται στις παραδοσιακές πρακτικές διδασκαλίας, να διασφαλίζει την ασφάλεια των μαθητών και των εργαζομένων, να ανταπεξέλθει σε έκτακτες περιπτώσεις, να φανεί χρήσιμο τόσο για τους μαθητές όσο και για τους εκπαιδευτικούς από κάθε άποψη [44.].

Η επικοινωνία των δεδομένων μπορεί να βασιστεί σε Wifi τεχνολογίες, που επίσης θα επιτρέπει την επικοινωνία μεταξύ των μαθητών αλλά και των μαθητών με τον έξω κόσμο. Η χρήση τεχνολογιών IoT παρέχει διάφορες επιλογές στη διατήρηση

του περιβάλλοντος και της ενέργειας, την οργάνωση του οικοσυστήματος, τις μεταφορές και διευκολύνει τη διαχείρισή τους.



Εικόνα 4-1 . (Πηγή: [4.])

4.2. Η χρήση του IoT στο εκπαιδευτικό περιβάλλον

Σύμφωνα με τους Abdel-Basset et al. [44.], προτείνεται η χρήση του IoT στο εκπαιδευτικό περιβάλλον, ώστε να χειρίζονται από μακριά διάφορες λειτουργίες. Τέτοιες λειτουργίες είναι και ο έλεγχος στις πόρτες εισόδου και εξόδου της σχολικής μονάδας. Οι πόρτες ανοίγουν μόνο με τη χρήση ηλεκτρονικής ταυτότητας, έξυπνων περικάρπιων, μέσω NFC, Smartphone, με δαχτυλικό αποτύπωμα ή αναγνώστη αμφιβληστροειδή. Η ηλεκτρονική ταυτότητα του μαθητή, μπορεί να περιέχει πλήθος πληροφοριών για τον μαθητή, όπως είναι το ιστορικό των μαθημάτων που παρακολουθεί, η τάξη του, τα μαθήματα του και το γενικότερο ιστορικό του. Από μακριά, μέσω wifi μπορεί να χειρίζεται κάποιος τη θέρμανση και την ψύξη του χώρου και ανάλογα με τις καιρικές συνθήκες να επιλέγει και την κατάλληλη θερμοκρασία. Έτσι θα υπάρξει η μέγιστη εξοικονόμηση χρημάτων και το κλίμα θα είναι ανεκτό ευχάριστο. Ακόμα καλύτερα μπορεί να υπάρχει αυτοματισμός ώστε ανάλογα τις τιμές που θα έχουν συγκεκριμένοι αισθητήρες, θα ρυθμίζει και τη θέρμανση. Η σκίαση ομοίως θα βοηθάει στις ιδανικές συνθήκες εργασίας και οι αυτοματισμοί θα γλυτώνουν χρόνο και κόπο από τους εργαζόμενους και τους μαθητές ώστε να αφοσιώνονται στα μαθήματά του και το έργο τους. Η αυτόματη ρύθμιση στο φωτισμό εντός και εκτός του κτηρίου θα παρέχει ασφάλεια στους εξωτερικούς και εσωτερικούς χώρους, αλλά και τις ιδανικές συνθήκες μελέτης ανάλογα με τις εξωτερικές συνθήκες και τις εκάστοτε ανάγκες των χρηστών. Ιδιαίτερα, αν γίνεται χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας όπως είναι τα ηλιακή ενέργεια και τα φωτοβολταϊκά έχουμε αξιοσημείωτη μείωση του κόστους αλλά και καλλιέργεια περιβαλλοντικής συνείδησης [44.].

4.3. Διαχείριση πόρων

Το IoT χρησιμοποιείται για την διαχείριση της παροχής ενέργειας και την παρακολούθηση του οικοσυστήματος για να πετύχει καλύτερη απόδοση με γνώμονα τη βιωσιμότητα [45.]. Αναπτύσσοντας ένα έξυπνο δίκτυο και μια ειδική εφαρμογή διαχείρισης ενέργειας του IoT, μπορεί να εξισορροπηθεί η παραγωγή

ενέργειας και η χρήση της. Δηλαδή, προσθέτοντας νοημοσύνη στην υπάρχουσα υποδομή οι λειτουργίες γίνονται αποδοτικότερες, βελτιώνεται η οικονομία και η αξιοπιστία του συστήματος. Στο χώρο των πανεπιστημίων μπορεί να δημιουργηθεί ένα πράσινο περιβάλλον που θα μειώνει τις εκπομπές CO₂, θα παρακολουθεί και θα ελέγχει τη χρήση της ενέργειας και του νερού με στόχο την παροχή ενός υγιεινού περιβάλλοντος για διδασκαλία και μάθηση. Έχει προταθεί η διαχείριση των υπολογιστών και του κλιματισμού σε μια πανεπιστημιούπολη με τη βοήθεια του IoT με σκοπό την εξοικονόμηση ενέργειας. Στην πανεπιστημιούπολη Luigi Einaudi, στο Πανεπιστήμιο του Τορίνο, το εφαρμοζόμενο σύστημα έξυπνου campus, εκμεταλλεύεται τεχνολογίες IoT για τη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης του κτιρίου. Αυτό επιτυγχάνεται με τη συλλογή δεδομένων μέσω έξυπνων συσκευών (π.χ., τηλέφωνα) και σταθερών αισθητήρων που έχουν τοποθετηθεί στους χώρους του πανεπιστημίου και συλλέγουν μετρήσεις για τη θερμοκρασία, την υγρασία, το διοξείδιο του άνθρακα και τη φωτεινότητα. Η ανταλλαγή των δεδομένων βασίζεται στο ασύρματο δίκτυο. Η επεξεργασία και ανάλυση των δεδομένων καθορίζεται η πολιτική διαχείρισης ενέργειας. Παράλληλα, υπάρχει η δυνατότητα ανατροφοδότησης από το προσωπικό και τους φοιτητές μέσω κατάλληλης εφαρμογής [49.].

4.4. Ενίσχυση εκπαιδευτικής διαδικασίας

Με την είσοδο του IoT στην εκπαίδευση ενισχύθηκε σημαντικά η εκπαιδευτική διαδικασία. Εκπαιδευτικές εφαρμογές αντικαθιστούν καθημερινά την παραδοσιακή μάθηση και μετατρέπουν τη διαδικασία της μάθησης σε διασκέδαση. Οι εκπαιδευόμενοι μαθαίνουν παίζοντας, κάνοντας χρήση εφαρμογών και εκπαιδευτικών site όπως το hankoun, το code.org και άλλων τέτοιων πολυμεσικών εφαρμογών. Ενδιαφέρον παρουσιάζουν προσομοιωτές εργαστηρίων που δίνουν τη δυνατότητα να έχουν οι φοιτητές εξοικείωση με νέα συστήματα και τεχνολογίες.

Σημαντική ακόμα είναι η πρόσβαση σε απομακρυσμένα εργαστήρια όπως φαίνεται και στο παρακάτω σχήμα:

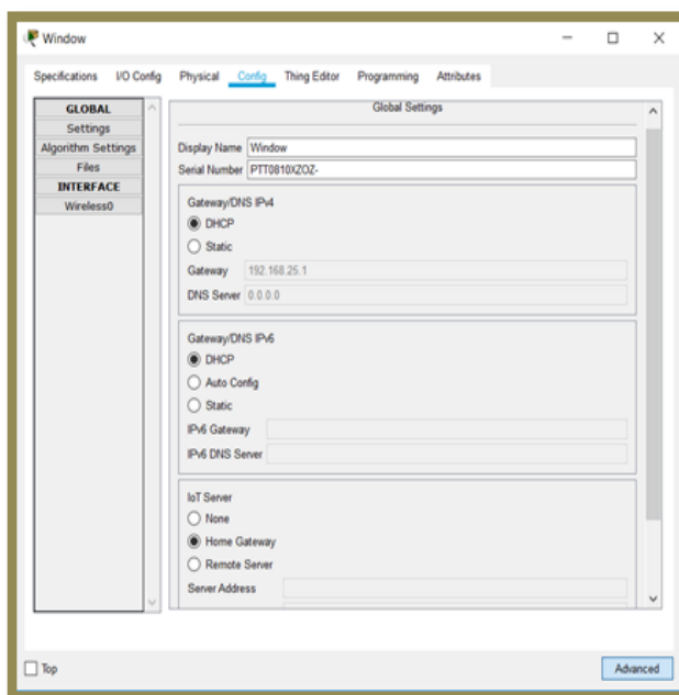
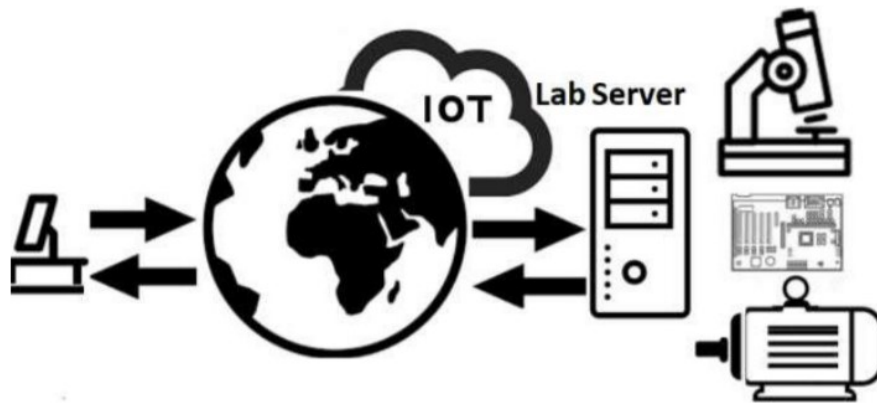


Fig 3: Example of IOT Device after changed the IOT Server to home gateway

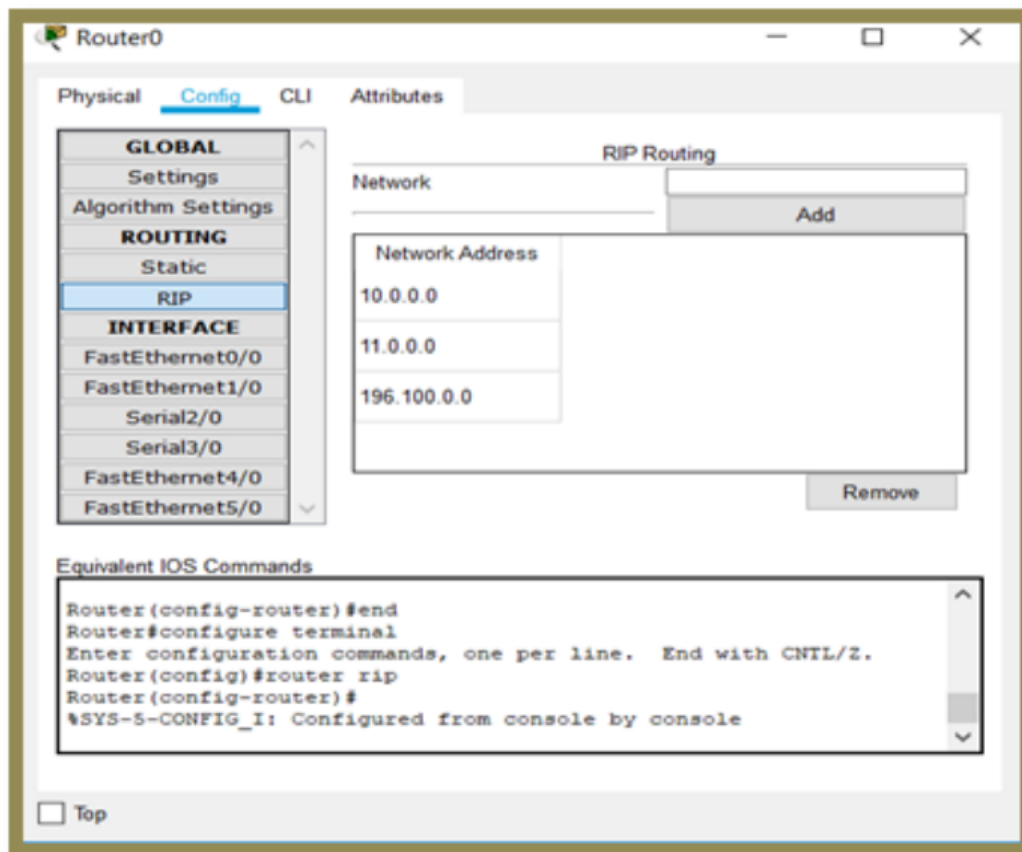


Fig 14: RIP Routing in Router0

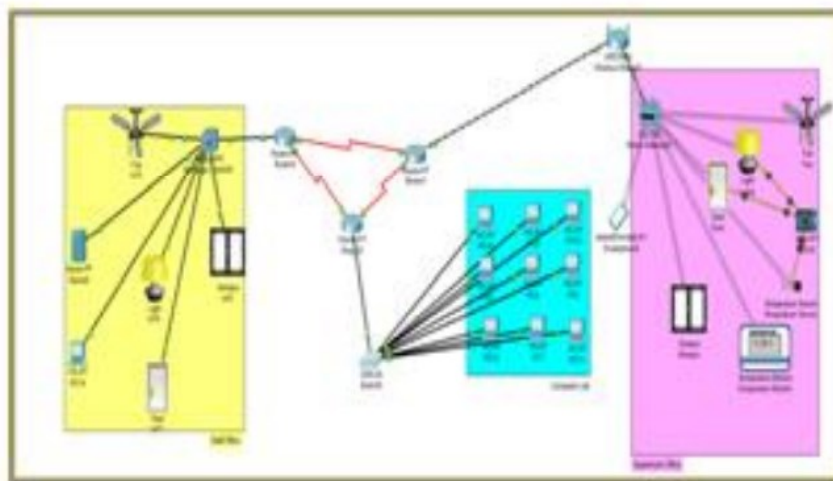


Fig13: Cisco Packet Tracer layout of Smart-College simulation

Άλλος ένας τομέας που χρησιμοποιούμε το IoT, είναι αυτός των Ευρωπαϊκών προγραμμάτων. Πλήθος εκπαιδευτικών και μαθητών συμμετέχει σε προγράμματα Erasmus της Ευρωπαϊκής Ένωσης, κάνοντας χρήση της Έξυπνης Εκπαίδευσης. Με τη χρήση του IoT επικοινωνούν οι εκπαιδευτικοί μεταξύ τους, αναζητούν υλικό, ανταλλάσσουν εργασίες, διαμοιράζονται εφαρμογές, παρουσιάζουν τις αναλύσεις τους και προάγουν την έρευνα σε πολλούς τομείς. Έτσι μπορούν να παρακολουθήσουν μαθήματα σε νέα και πρωτοποριακά αντικείμενα, εμβαθύνοντάς τις γνώσεις τους στις νέες τάσεις των πραγμάτων. Οι φοιτητές πάλι μπορούν να εργαστούν και να κάνουν την πρακτική τους αποκτώντας ωφέλιμη για την μετέπειτα καριέρα τους εμπειρία. Η χρήση IoT διευκολύνει στο να συλλέγουν δεδομένα και να αντλούν πληροφορίες από μακρινά εκπαιδευτικά ιδρύματα και να εκμηδενίζονται οι αποστάσεις έχοντας πρόσβαση σε οποιαδήποτε μορφής γνώση. Πολλά εκπαιδευτικά ιδρύματα δίνουν τη δυνατότητα στους φοιτητές να σπουδάζουν από απόσταση χρησιμοποιώντας για την τηλεεκπαίδευση σύγχρονες πλατφόρμες οι οποίες συνδυάζουν την σύγχρονη και την ασύγχρονη μάθηση. Για να δώσουμε μια πιο κατατοπιστική εικόνα της εφαρμογής των τεχνολογιών IoT στην εκπαίδευση θα αναφέρουμε κάποια εκπαιδευτικά ιδρύματα και τα επιτεύγματά τους. Το Ανοιχτό Πανεπιστήμιο δίνει τη δυνατότητα να σπουδάζει κάποιος παράλληλα με άλλες υποχρεώσεις παρακολουθώντας μαθήματα από τον υπολογιστή.

Άτομα με ειδικές ικανότητες όπως δυσλεξία ή αυτισμό έμεναν κατά κάποιο τρόπο αποστασιοποιημένα από την εκπαιδευτική διαδικασία λόγω φυσικών δυσκολιών. Η χρήση νέων τεχνολογιών ενθάρρυνε τη συμμετοχή τους και απέδειξε ότι μπορούν να ανταποκριθούν πολύ καλά στη χρήση έξυπνων συσκευών. Με τον τρόπο αυτό τα ίδια αυτά άτομα ενθαρρύνθηκαν να εργάζονται σε ένα ουδέτερο περιβάλλον, αλλά βοηθήθηκε και η ευρύτερη κοινωνία στο να αντιμετωπίσει τα άτομα αυτά ισότιμα. Η εφαρμογή της smart education σε μαθητές με αναπηρίες όπως άτομα με κινητικά προβλήματα ή άτομα σε αναπηρικά αμαξίδια άλλαξε τη ζωή τους, δίνοντας νέες ευκαιρίες. Η χρήση αυτόματων ραμπών, οι φωνητικές οδηγίες σε διαδρόμους, οι ανελκυστήρες με φωνητικά μηνύματα, και τα ηχητικά μηνύματα σε λογισμικό βοήθησαν πλήθος μαθητών με αναπηρίες. Η έξυπνη

εκπαίδευση σε μαθητές με μαθησιακές δυσκολίες ή ΔΕΠΥ (διάσπαση προσοχής) τους βοήθησε να ενταχτούν στο σύνολο και τους κέντρισαν το ενδιαφέρον στη μάθηση. Εκπαιδευτικά παιχνίδια online, quiz τεστ, επαναληπτικές ασκήσεις διαδραστικοί χάρτες, πλατφόρμες e-class, e-me έχουν γίνει πλέον καθημερινότητα.

Τα εργαστήρια ρομποτικής, προάγουν την αλγοριθμική σκέψη και κεντρίζουν το ενδιαφέρον των μαθητών. Χρησιμοποιώντας διαδραστικούς πίνακες, σειсмоγράφους online που είναι συνδεδεμένοι με smartphone, εργαστήρια με εξοπλισμό Raspberry, όπως στην Λυγιά Λευκάδας, με μικρό κόστος κτήσης μπορεί και λειτουργεί ένα εργαστήριο πληροφορικής. Υπάρχουν έξυπνες βιβλιοθήκες όπου η αναζήτηση των βιβλίων είναι εύκολη μέσω μιας βάσης δεδομένων και εύκολα μπορεί να βρεθεί ποιος έχει καθυστερήσει να επιστρέψει κάποιο βιβλίο. Τέλος υπάρχουν δωρεάν e-books στα οποία μπορεί ο καθένας να έχει πρόσβαση αλλά και το ένα Πανεπιστήμιο έχει δυνατότητα σύνδεσης με κάποιο άλλο πανεπιστήμιο και τις βιβλιοθήκες του. Τα έξυπνα περιβάλλοντα μάθησης βοηθούν ώστε να μειωθεί το ψηφιακό χάσμα μεταξύ απομακρυσμένων περιοχών και αστικών κέντρων. Η ηλεκτρονική βάση δεδομένων μαθητών και εκπαιδευτικών δίνει τη δυνατότητα καταγραφής πληροφοριών για μαθητές όπως είναι η καταγραφή προβλημάτων υγείας οικογενειακά προβλήματα ή τυχών αλλεργιών. Κάθε φοιτητής έχει το δικό του ιστορικό και όλες οι πληροφορίες είναι καταχωρημένες στην καρτέλα του.

4.5. Δημιουργία ασφαλούς περιβάλλοντος εκπαίδευσης

Με το εκπαιδευτικό σύστημα συμβάλουμε στην οικοδόμηση της κοινωνίας μας μιας και είναι αυτό που συμβάλει στη βελτίωση του ανθρώπου σε όλους τους τομείς. Σημαντικό κεφάλαιο σε κάθε εκπαιδευτικό οργανισμό που θα πρέπει να μας απασχολήσει είναι η ασφάλεια και το απόρρητο. Πολλές φορές καλούμαστε να αντιμετωπίσουμε διάφορα συμβάντα όπως επιθέσεις και απάτες. Η σωματική ασφάλεια των μαθητών μέσα και έξω από το σχολείο είναι ένα ζήτημα που έχει μεγάλη προτεραιότητα. Σε χώρες του εξωτερικού ακούμε για εγκληματικότητα, επιθέσεις, ακόμα και για απαγωγές, πολλές φορές και μέσα στο σχολικό

περιβάλλον. Εκτός από τις κλασικές επιθέσεις, έχουμε τις κυβερνοεπιθέσεις, στις οποίες ένας κακόβουλος εισβολέας καταφέρνει και αποκτά πρόσβαση και ελέγχει το σχολικό σύστημα διαχείρισης του σχολείου και της διοίκησης. Εκεί έχει ο οποιοσδήποτε πρόσβαση σε προσωπικά δεδομένα. Πάντα γινόταν χρήση κάποιων συστημάτων ασφάλειας αλλά άφηναν πολλά μέρη ακάλυπτα. Έτσι, είναι αναγκαίο να σχεδιαστεί ένα πιο αποτελεσματικό έξυπνο σύστημα ασφαλείας, όχι μόνο στον τομέα της μάθησης αλλά και στον τομέα της επίβλεψης.

Όταν γίνεται χρήση έξυπνων τεχνολογιών σε έξυπνα τέτοια συστήματα πολλές φορές η ασφάλεια παραμελείται και δεν τηρούνται βασικοί κανόνες ασφαλείας είτε μέσα στα εκπαιδευτικά ιδρύματα, είτε έξω από αυτά. Τότε, γίνονται ο εύκολος στόχος για επιθέσεις. Σημαντικό είναι να αντιμετωπίζονται και ηθικά ζητήματα που προκύπτουν και να αντιμετωπίζονται θέματα για την ασφαλή χρήση των μέσων κοινωνικής δικτύωσης. Αυτό είναι δύσκολο, μιας και οι χάκερς εκμεταλλεύονται πιθανά κενά σε εφαρμοσμένες λύσεις ασφάλειας. Σαν λύση στην κατάσταση αυτή, υπάρχει η πρόταση για το σύστημα Internet of Schools Things (S-IoST) , ένα ασφαλές σύστημα για έξυπνα σχολεία που θα μελετήσουμε παρακάτω. Αξίζει λοιπόν να ασχοληθούμε με αυτό το σύστημα [51.] Στα έξυπνα αυτά σχολικά συστήματα γίνεται χρήση ενδοεπικοινωνίας μεταξύ του προσωπικού, συγχρονισμός διαφόρων συσκευών και λογισμικών, εκμετάλλευση της τεχνολογίας 5G και χρήση διαφόρων αισθητήρων. Το IoST είναι ένα τέτοιο σύστημα, το οποίο καλύπτει διάφορους τομείς στο εκπαιδευτικό αυτό περιβάλλον, από το σπίτι του μαθητή και τη μεταφορά του στο σχολείο αλλά και την πρόσβαση του στην σχολική αίθουσα. Ασχολείται με χρήση πολυμεσικών εφαρμογών στην τάξη αλλά και με τη χρήση έξυπνων συστημάτων στη διαδικασία της μάθησης. Τα συστήματα αυτά χρησιμοποιούν δίκτυα που συνδέονται μεταξύ τους και κυψελοειδή υποδομή που ήδη προϋπάρχει και χρησιμοποιείται. Πολλές φορές κάνουν χρήση μιας τεχνολογικής πλατφόρμας ώστε να επικοινωνεί και να ενημερώνει το εκπαιδευτικό προσωπικό και τους γονείς των μαθητών ότι κάποια απειλή έχει ανιχνευτεί. Η πρόσβαση γίνεται ακόμα και με έξυπνα κινητά τηλέφωνα. Έξυπνες συσκευές και κόμβοι αισθητήρων χρησιμοποιούνται για συνεχή παρακολούθηση του χώρου και των κινήσεων. Τέτοια είναι οι έξυπνες ετικέτες, η αναγνώριση ραδιοσυχνοτήτων (RFID), τσάντες με σύστημα εντοπισμού θέσης (GPS), τα βραχιολάκια παρακολούθησης

δραστηριότητας, έξυπνα ρολόγια και πολλές άλλες έξυπνες φορέσιμες ή μη συσκευές.

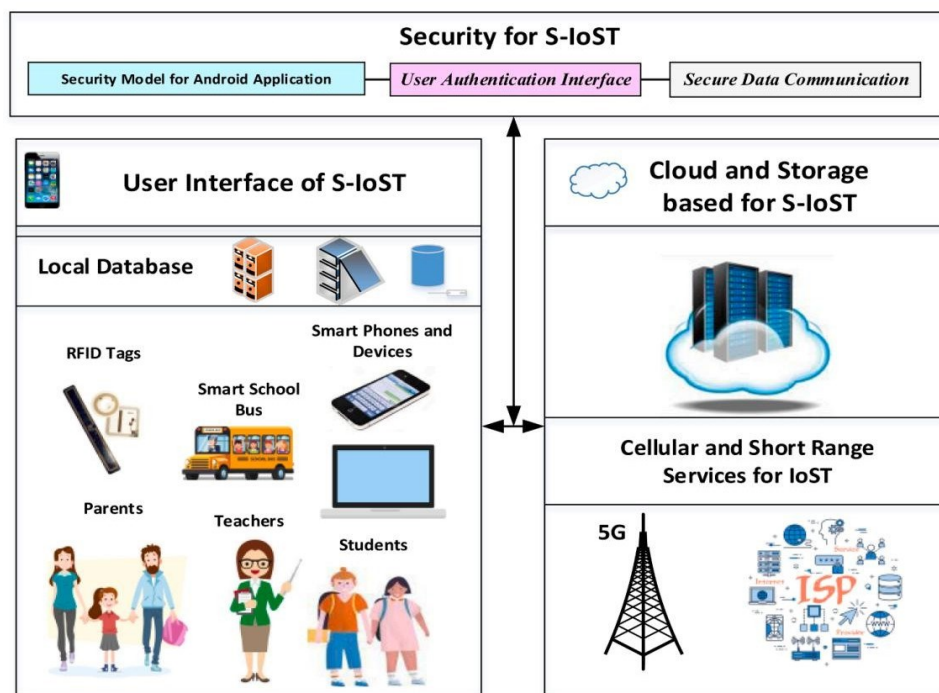
Ιδιαίτερη σημασία έχει το προτεινόμενο μοντέλο S-IoST. [51.] Αυτό το προτεινόμενο σύστημα βασίζεται στην τεχνολογία έχει σχεδιαστεί για την ασφάλεια στα σχολεία. Διαθέτει στοιχεία σε υλικό και σε λογισμικό.

Οι δραστηριότητες διαχείρισης χρησιμοποιούνται για τη διαμόρφωση ενός συστήματος με πλήρεις δυνατότητες που έχει γρήγορη απόκριση. Ο βασικός σκοπός είναι να παρέχει στο σχολείο ασφάλεια και να διασφαλίζει ότι τα δεδομένα θα είναι προφυλαγμένα. Το λογισμικό που χρησιμοποιείται ενημερώνεται ανάλογα με τις ανάγκες. Σε περίπτωση που υπάρχουν κενά ασφαλείας χρησιμοποιούνται λογισμικά εγχώριας παραγωγής. Δίνεται ιδιαίτερη προσοχή σε πιθανά τρωτά σημεία GSM και RFID και συζητούνται με την πρόταση μιας τεχνικής χαρτογράφησης. Ένα ελαφρύ πρωτόκολλο ελέγχου ταυτότητας το οποίο βασίζεται στις χαμηλού κόστους ετικέτες RFID χρησιμοποιείται για να προστατεύσει το σύστημα από επιθέσεις. Ελέγχει επίσης το υλικό για μη εξουσιοδοτημένη πρόσβαση ή πιθανή κακόβουλη κίνηση. Κάρτες RFID, όπως είναι η κάρτα Mifare classic 1k μπορούν εύκολα να κλωνοποιηθούν με κακόβουλη πρόθεση με τη χρήση μιας συσκευής ανάγνωσης καρτών RFID και ενός μικροελεγκτή. Το πιο πρόσφατο και ασφαλέστερο σύστημα υλικού επιλέγεται για να σχεδιάσει το προτεινόμενο σύστημα S-IoST. Το ασφαλές σύστημα υλικού βασίζεται σε πρόσφατες μεθόδους κρυπτογράφησης και αποκρυπτογράφησης.

Το σύστημα S-IoST βασίζεται σε τέσσερις ενότητες. Της διεπαφής χρήστη, της διεπαφής υποδομής, του cloud, της αποθήκευσης και της ασφάλειας.

Βέβαια το σύστημα αυτό χρειάζεται επίγνωση για να το χειριστεί κάποιος και τα μικρά παιδιά πρέπει να έρχονται με συνοδό. Το σύστημα S-IoST είναι εφαρμόσιμο σε παιδιά μεγαλύτερων τάξεων. Τα παιδιά θα πρέπει να κατανοήσουν ότι αν αφαιρέσουν τη συσκευή δημιουργείται πρόβλημα και το μήνυμα ειδοποίησης δεν είναι δυνατό να σταλεί.

Άλλος ένας πρόβλημα με την ετικέτα RFID είναι η απόσταση. Γι αυτό και στο μέλλον θα αντικαταστήσουμε το RFID με έναν πιο έξυπνο κόμβο αισθητήρα.



Εικόνα 4-2 - Προτεινόμενο μοντέλο S-IoST.

Η εικόνα 4-2 δείχνει τα προτεινόμενα μοντέλα και τα βασικά εξαρτήματα.

Όταν ένας μαθητής φεύγει από το σπίτι για το σχολείο, ο μαθητής φοράει μια έξυπνη ετικέτα, ένα έξυπνο περικάρπιο ή κρατά μια έξυπνη σχολική τσάντα. Αυτά τα στοιχεία συνδέονται με τους γονείς και τις σχολικές βάσεις δεδομένων, χρησιμοποιώντας προηγμένες και γρήγορες δυνατότητες δικτύου κινητής τηλεφωνίας 5G. Εάν κάποιος προσπαθήσει να κλέψει την έξυπνη τσάντα, την ετικέτα ή το συγκρότημα, τότε η εικόνα που περιβάλλει τη γύρω περιοχή και ένα μήνυμα ειδοποίησης μεταδίδεται στο σχολείο, τους γονείς ή στην ασφάλεια, όπως είναι η αστυνομία ή οι ιδιωτικές εταιρίες security. Ομοίως, υπάρχει ένας μηχανισμός ελέγχου ταυτότητας για να γίνουν αυτά τα στοιχεία ασφαλή και μόνο ο κάτοχος των συσκευών μπορεί να έχει πρόσβαση σε αυτά τα στοιχεία και να στέλνει μηνύματα από αυτά. Εάν οι μαθητές χρησιμοποιούν σχολικά λεωφορεία, τα έξυπνα αυτά οχήματα είναι επίσης εξοπλισμένα με έξυπνες συσκευές για την ασφάλεια του παιδιού με αυτόματη καταμέτρηση εισόδου στο λεωφορείο και καταγράφεται σε αρχείο στο λεωφορείο και ο συνολικός χρόνος ταξιδιού

στο λεωφορείο. Αυτά τα δεδομένα ενημερώνονται και αποθηκεύονται σε υπηρεσίες cloud χρησιμοποιώντας δίκτυα 5 G. Έτσι η ασφάλεια των μαθητών είναι εξασφαλισμένη από τη διαδρομή για το σχολείο μέχρι τη λήξη των μαθημάτων και την επιστροφή του. Η ασφάλεια του μαθητή στην είσοδο του σχολείου ξεκινά με τη χρήση καρτών RFID και την αυτόματη προσθήκη ετικετών στο σχολείο, την τεχνική αυθεντικοποίησης φωτογραφίας, η οποία είναι επίσης ενσωματωμένη με μια ετικέτα για να μεγαλύτερη ασφάλεια, ειδικά όταν η ετικέτα κλαπεί ή χρησιμοποιείται εσφαλμένα από λάθος άτομα. Μέσα στο σχολείο, ορισμένοι κόμβοι ανίχνευσης είναι εγκατεστημένοι στο σχολείο σε διαφορετικές τοποθεσίες για την παρακολούθηση των δραστηριοτήτων, της τοποθεσίας και της παρουσίας του παιδιού. Οι κάμερες ασφαλείας χρησιμοποιούνται και στο σχολείο για λόγους ασφαλείας.

Το προτεινόμενο σύστημα S-IoST χρησιμοποιεί για ιχνηλάτηση GPS και παρακολουθεί τη θέση του παιδιού αλλά και άλλων παραμέτρων όπως η κίνηση, η γεωγραφική θέση του ατόμου και η διαδρομή σε πραγματικό χρόνο. Το Σχ. 2 δείχνει τις συσκευές που χρησιμοποιούνται στο προτεινόμενο σύστημα S-IoST.

Το Ublox 6 M GPS συνδέεται με το σχολείο και το διακομιστή cloud με τη χρήση μικροελεγκτή. Αυτά τα δεδομένα είναι ορατά από ένα κινητό τηλέφωνο. Αυτό το GPS χρησιμοποιεί επίσης γεωγραφικές συντεταγμένες και παρακολουθεί και καταγράφει την ώρα που παίρνεις το λεωφορείο ή το φορτηγό ή φτάνεις στο σχολείο.

Το δεύτερο εξάρτημα είναι ο αναγνώστης RFID που είναι ο RFID MFRC522. Αυτή η ετικέτα χρησιμοποιείται για την ανάγνωση της ταυτότητας κάθε μαθητή, συμπεριλαμβανομένης της φοιτητικής ταυτότητας από την ταυτότητα αν υπάρχει. Η ταυτότητα και η έξυπνη τσάντα των παιδιών είναι ενσωματωμένα με ετικέτες RFID. Ο μικροελεγκτής ESP8266–12f χρησιμοποιείται και συνδέεται με ένα τσιπ Wi-Fi για την ανάγνωση των δεδομένων που συλλέγονται από την ετικέτα GPS και RFID και τη μεταφόρτωση στο cloud.

Στη συνέχεια στα κινητά τηλέφωνα εγκαθίσταται η εφαρμογή Android

front-end και ενσωματώνεται με το Arduino IDE. Η διαδικασία ροής του προτεινόμενου συστήματος φαίνεται στην εικόνα 4-3.



Εικόνα 4-3 Συσκευές που χρησιμοποιούνται στο μοντέλο S-IoST.

5. IoT Μοντέλα επικοινωνίας και τεχνολογίες δικτύωσης

5.1. Μοντέλα επικοινωνίας

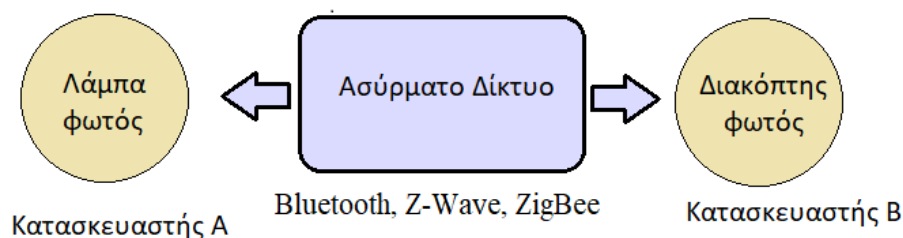
Οι υλοποιήσεις IoT βασίζονται σε διαφορετικές τεχνικές επικοινωνίες και μοντέλα. Το RFC 7452 [1] περιγράφει τέσσερα διαφορετικά μοντέλα επικοινωνίας και εξηγεί τα βασικά χαρακτηριστικά τους. Τα μοντέλα αυτά είναι:

- Device-to-Device
- Device-to-Cloud
- Device-to-Πύλη
- Κοινή χρήση δεδομένων Back-End.

5.1.1. Device-to-Device

Δύο ή περισσότερες συσκευές, οι οποίες συνδέονται απευθείας μεταξύ τους και επικοινωνούν η μία με την άλλη. Αυτές δεν συνδέονται με διακομιστή ενδιάμεσων εφαρμογών. Οι συσκευές αυτές επικοινωνούν μέσω διαφόρων τύπων δικτύωσης, όπως IP ή του Διαδικτύου. Οι συσκευές πολλές φορές χρησιμοποιούν πρωτόκολλα όπως είναι το Bluetooth, το Z-Wave, το ZigBee ώστε να είναι δυνατή η απευθείας επικοινωνία των συσκευών, όπως φαίνεται και στην εικόνα 5-1. Συνήθως, το μοντέλο αυτό χρησιμοποιείται σε εφαρμογές, οι οποίες χρησιμοποιούν μικρά πακέτα δεδομένων για επικοινωνία μεταξύ συσκευών, με σχετικά μικρό ρυθμό μετάδοσης δεδομένων όπως για παράδειγμα σε οικιακούς αυτοματισμούς. Οι οικιακές συσκευές IoT όπως είναι οι λαμπτήρες, [54.] οι διακόπτες φωτός, οι θερμοστάτες και οι κλειδαριές θυρών ανταλλάσσουν πληροφορίες μεταξύ τους στα καθημερινά σενάρια οικιακού αυτοματισμού με χαμηλό ρυθμό δεδομένων. Ωστόσο, πολλές φορές υπάρχουν προβλήματα διαλειτουργικότητας που πρέπει να αντιμετωπιστούν καθώς οι συσκευές αυτές έχουν ενσωματωμένη ασφάλεια και απαιτείται προσπάθεια από τους κατασκευαστές για την ανάπτυξη συγκεκριμένων εφαρμογών και όχι ανοιχτές προσεγγίσεις. Για το χρήστη αυτό σημαίνει ότι πολλές φορές τα πρωτόκολλα επικοινωνίας δεν είναι συμβατά με όλες τις συσκευές, αναγκάζοντας τον να επιλέγει μέσα από μία συγκεκριμένη οικογένεια συσκευών

που χρησιμοποιούν κοινά πρωτόκολλα. Ένα τέτοιο παράδειγμα είναι αυτό των συσκευών που κάνουν χρήση του πρωτοκόλλου Z-Wave, οι οποίες δεν είναι συμβατές με τις συσκευές που χρησιμοποιούν το πρωτόκολλο ZigBee.



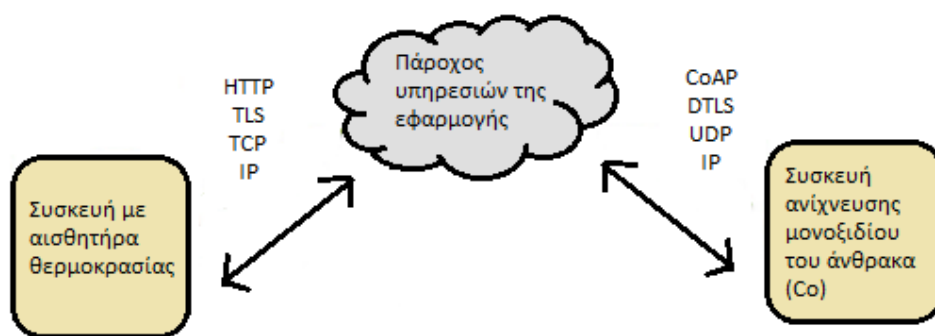
Εικόνα 5-1

5.1.2. Device-to-Cloud

Σε αυτό το μοντέλο, η συσκευή IoT συνδέεται άμεσα με μια υπηρεσία cloud σε έναν πάροχο υπηρεσιών στο Διαδίκτυο, για την ανταλλαγή δεδομένων και τον έλεγχο της κίνησης των μηνυμάτων. Αυτή η μέθοδος χρησιμοποιεί παραδοσιακούς τρόπους επικοινωνίας που προϋπάρχουν ήδη, όπως είναι οι ενσύρματες συνδέσεις Ethernet και το Wifi, ώστε να επιτευχθεί σύνδεση μεταξύ της συσκευής και του δικτύου IP, το οποίο και συνδέεται με την υπηρεσία cloud, όπως φαίνεται στην εικόνα 5-2 . Αυτό το μοντέλο χρησιμοποιούν κάποιες IoT συσκευές, όπως ο έξυπνος θερμοστάτης και η έξυπνη τηλεόραση. Στο πρώτο παράδειγμα, ο θερμοστάτης μεταδίδει τα δεδομένα στη βάση cloud και στη συνέχεια τα δεδομένα αυτά χρησιμοποιούνται στην ανάλυση της κατανάλωσης της ενέργειας του σπιτιού. Ο χρήστης μπορεί να έχει πρόσβαση από μακριά στο θερμοστάτη μέσω κινητού τηλεφώνου ή μέσω ίντερνετ. Παράλληλα, μπορεί να ενημερώνεται το λογισμικό της συσκευής με τις τελευταίες εκδόσεις. Το ίδιο συμβαίνει και με την έξυπνη τηλεόραση. Μέσω Διαδικτύου μεταδίδονται πληροφορίες σε σχέση με το χρήστη στη τηλεόρασης, οι οποίες στη συνέχεια αναλύονται και χρησιμοποιούνται σε διαδραστικές λειτουργίες, όπως αυτή της αναγνώρισης φωνής.

Πολλές φορές όμως προκύπτουν προβλήματα και δυσλειτουργίες τα οποία έχουν να κάνουν με ασυμβατότητες μεταξύ κατασκευαστών. Προτιμάται η συσκευή και η

υπηρεσία cloud να ανήκουν στον ίδιο προμηθευτή. Το ίδιο συμβαίνει και με πρωτόκολλα που χρησιμοποιούνται στη σύνδεση συσκευής και υπηρεσίας cloud, ειδικά αν πρόκειται για ιδιόκτητα πρωτόκολλα δεδομένων. Πολλές φορές ο χρήστης ή ο κάτοχος της συσκευής συνδέεται με μια συγκεκριμένη υπηρεσία cloud, αποτρέποντας τη χρήση εναλλακτικών παρόχων. Αυτό προσθέτει και κατά κάποιο τρόπο την «εγγύηση» ότι οι συσκευές που ανήκουν στην συγκεκριμένη «οικογένεια» είναι συμβατές.

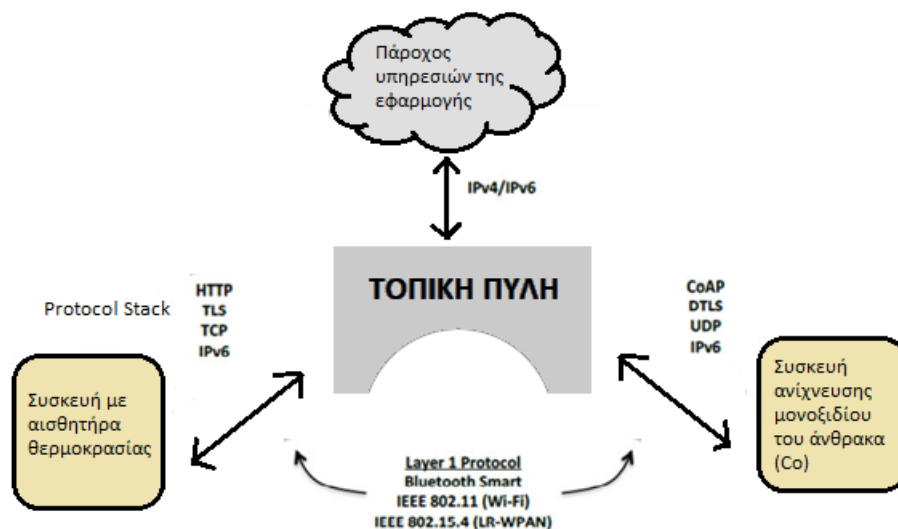


Εικόνα 5-2

5.1.3. Device-to-Gateway

Σε αυτό το μοντέλο, η IoT συσκευή συνδέεται στην υπηρεσίας cloud μέσω ενός ενδιάμεσου κόμβου και της υπηρεσίας Gateway του επιπέδου εφαρμογής. Δηλαδή χρησιμοποιεί ένα λογισμικό εφαρμογών που λειτουργεί σε μια local gateway device, το οποίο λειτουργεί ως ενδιάμεσος μεταξύ της συσκευής και της υπηρεσίας cloud, όπως φαίνεται στο εικόνα 5-3. Αυτός ο τρόπος επικοινωνίας, παρέχει ασφάλεια και διάφορες άλλες λειτουργίες όπως μετάφραση δεδομένων και πρωτοκόλλων. Αυτό εφαρμόζεται σε αρκετές καταναλωτικές συσκευές, όπως για παράδειγμα σε συσκευές παρακολούθησης φυσικής κατάστασης ή άσκησης του σθνθρώπου. Συνήθως, τέτοιες συσκευές δεν έχουν τη δυνατότητα να συνδεθούν απευθείας σε cloud αλλά βασίζονται στο λογισμικό εφαρμογών των smartphones, τα οποία και αποτελούν ενδιάμεση πύλη. Άλλος ένας τρόπος χρήσης του μοντέλου αυτού είναι οι

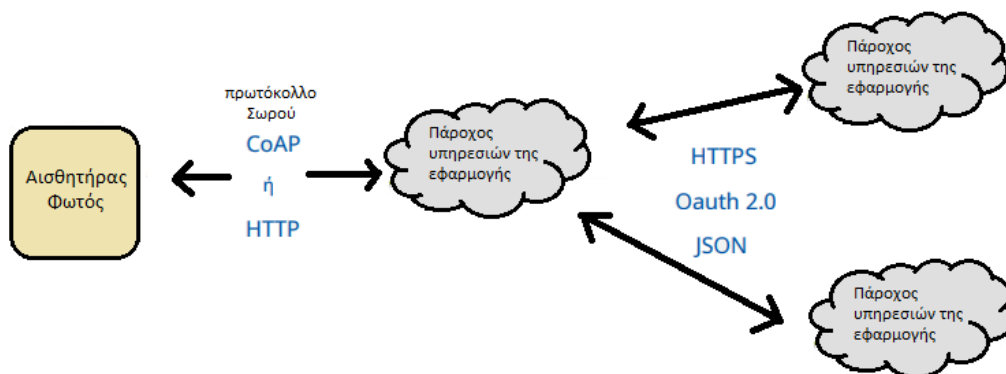
συσκευές «hub» οικιακού αυτοματισμού. Οι συσκευές αυτές αποτελούν την τοπική πύλη μεταξύ συσκευών IoT και υπηρεσίας cloud, αλλά και βοηθάνε στη διαλειτουργικότητα μεταξύ των συσκευών αυτών. Για παράδειγμα, ο SmartThings hub είναι μία αυτόνομη συσκευή πύλη με εγκατεστημένους πομποδέκτες Z-Wave και Zigbee ώστε να είναι σε θέση να επικοινωνούν δύο διαφορετικές οικογένειες συσκευών. Στη συνέχεια συνδέεται στην υπηρεσία cloud SmartThings, ώστε ο χρήστης να έχει πρόσβαση στις συσκευές μέσω κατάλληλων εφαρμογών σε smartphone ή μέσω διαδικτύου. Το συγκεκριμένο μοντέλο χρησιμοποιείται πολλές φορές όταν θέλουμε να ενσωματώσουμε νέες έξυπνες συσκευές σε ένα παλαιού τύπου σύστημα. Το μειονέκτημα στη χρήση του μοντέλου αυτού είναι ότι είναι απαραίτητο να αναπτυχθεί κατάλληλο λογισμικό κάτι το οποίο προσθέτει πολυπλοκότητα στο σύστημα και αυξάνει αρκετά το κόστος. Βέβαια, τα συστήματα αυτά συνεχώς εξελίσσονται ώστε να ξεπερνιούνται προβλήματα διαλειτουργικότητας μεταξύ των συσκευών.



Εικόνα 5-3

5.1.4. 4.4. Back-End Data - Sharing Model

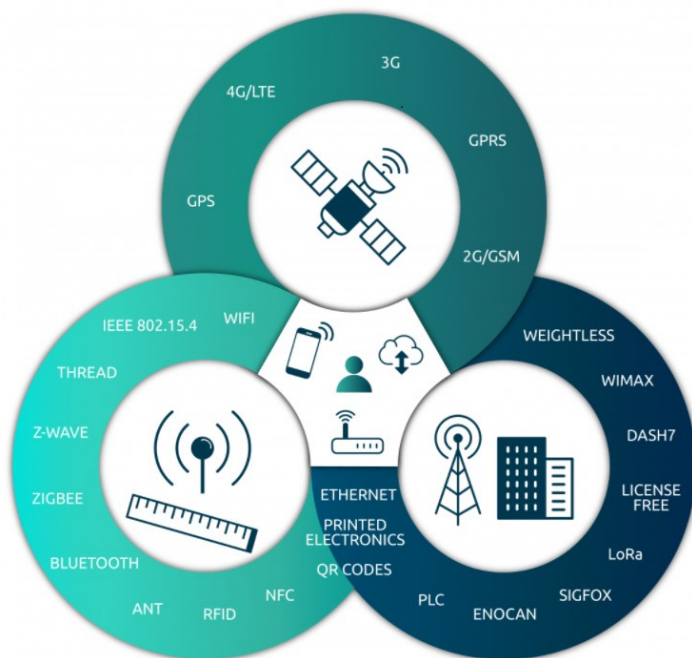
Πρόκειται για μια αρχιτεκτονική επικοινωνίας, η οποία επιτρέπει στους χρήστες να εξάγουν και να αναλύουν δεδομένα έξυπνων αντικειμένων από μια υπηρεσία cloud σε συνδυασμό με δεδομένα από άλλες πηγές, όπως στην εικόνα 5-4. Επιτρέπει επίσης τη συγκέντρωση και ανάλυση των δεδομένων που συλλέγονται από ροές δεδομένων μιας συσκευής IoT. Ο χρήστης παραχωρεί πρόσβαση στα μεταφορτωμένα δεδομένα των αισθητήρων σε τρίτα άτομα. Έτσι, επιτρέπεται η συγκέντρωση και η ανάλυση δεδομένων τα οποία συλλέγονται από μεμονωμένες ροές συσκευών IoT. Για παράδειγμα, ένας εταιρικός χρήστης που είναι υπεύθυνος για κάποιο συγκρότημα γραφείων έχει τη δυνατότητα να ενοποιήσει και να αναλύσει την κατανάλωση ενέργειας και τα δεδομένα κοινής ωφελείας που λαμβάνει από όλους τους αισθητήρες IoT και τα βοηθητικά συστήματα με δυνατότητα σύνδεσης στο Internet. Το πλεονέκτημα του μοντέλου αυτού είναι ότι μία εταιρία μπορεί να έχει εύκολη πρόσβαση ανάλυση των δεδομένων στο cloud που συνδέονται όλες οι συσκευές στο κτίριο. Βλέπουμε λοιπόν ότι η αρχιτεκτονική αυτή ευνοεί τη φορητότητα των δεδομένων. Οι χρήστες μετακινούν τα δεδομένα τους όταν εναλλάσσονται μεταξύ υπηρεσιών IoT, καταρρίπτοντας τα παραδοσιακά εμπόδια σιλό δεδομένων.



Εικόνα 5-4

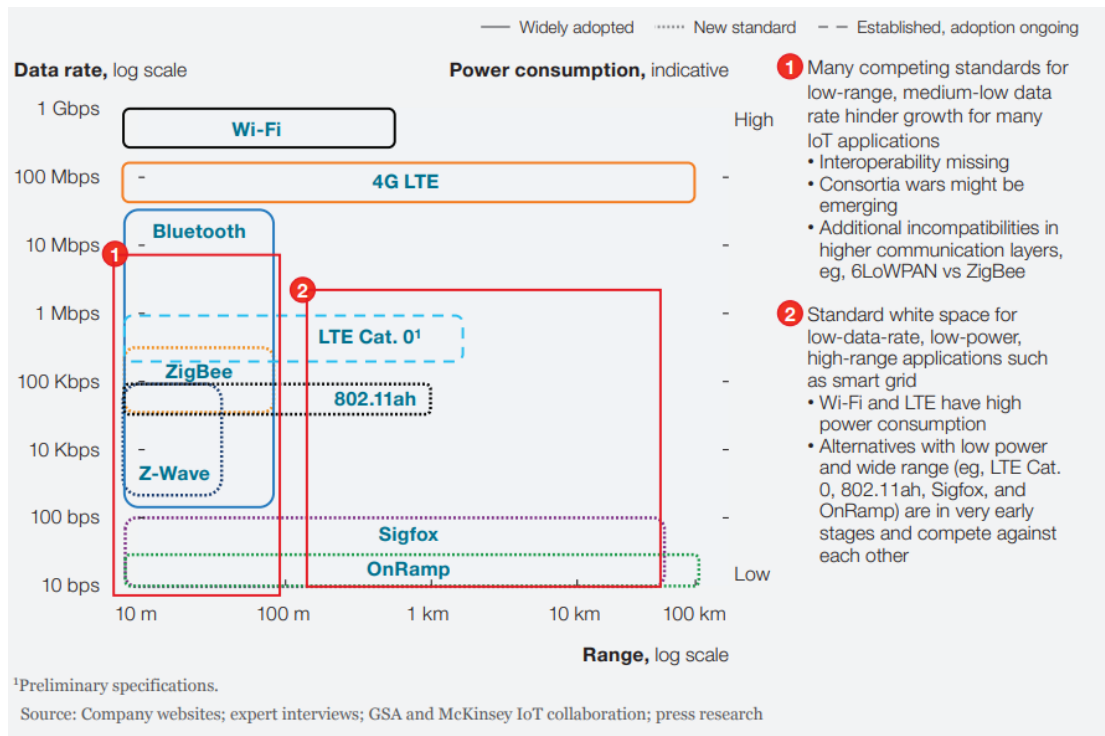
5.2. Τεχνολογίες δικτύωσης

Τα τελευταία χρόνια, ένα πλήθος τεχνολογιών επικοινωνίας αναδύεται ικανών να χρησιμοποιηθούν ευρέως στα ετερογενή IoT περιβάλλοντα. Ο ρόλος των τεχνολογιών επικοινωνίας είναι ιδιαίτερα σημαντικός καθώς επιτρέπει την συνδεσιμότητα, στη συλλογή των πληροφοριών, την ανάλυση, τη διανομή και την παροχή υπηρεσιών στους χρήστες του έξυπνου περιβάλλοντος (π.χ. της έξυπνης πόλης) (Enabling Communication Technologies for Smart Cities) [53.] Μερικές από τις πιο γνωστές λύσεις για δικτύωση είναι οι WLAN, EnOcean, LoRa, SigFox, Zigbee, 6LoWPAN, Zigbee RF4CE, Z-wave, NFC, RFID, CEBus.



Εικόνα 5-5

Οι κατηγορίες των ασύρματων δικτύων χωρίζονται σε τρία κύρια είδη, μικρής εμβέλειας, μεσαίας εμβέλειας και μεγάλης εμβέλειας. Τα παρακάτω σχήματα αντιπροσωπεύουν μια επισκόπηση αυτών.



Εικόνα 5-6

Η δικτύωση μπορεί να υποστηριχθεί από μια πληθώρα διαφορετικών τεχνολογιών ενώ παράλληλα υπάρχει απαίτηση για συνδεσιμότητα από μια μεγάλη ποικιλία διαθέσιμων έξυπνων συσκευών [56.] που:

- Εκτελούν εφαρμογές
- Συνδέονται σε on-line πλατφόρμες
- Με διαφορετικές ανάγκες και απαιτήσεις

Εκτός από τις λύσεις τοπικού δικτύου, όπως το δίκτυο WiFi ή τα απομακρυσμένα και λειτουργικά δίκτυα Lora, Sigfox ή NB-IoT, χρησιμοποιούνται τυπικά πρωτόκολλα επικοινωνίας για βιομηχανικό περιβάλλον, όπως είναι τα: WirelessHART, ISA100.11a ή IEEE 802.15.4e. Αυτά τα συναντάμε πολύ συχνά στην κατασκευή δικτύων σε περιπτώσεις όπου η αξιοπιστία του δικτύου, η ευαισθησία, η ασφάλεια των δεδομένων, ο συγχρονισμός δεδομένων και ο μεγάλος όγκος συλλογής δεδομένων μας περιορίζουν.

5.2.1. WiFi

Το Wi-Fi είναι μια τεχνολογία ασύρματης δικτύωσης υπολογιστών που χρησιμοποιείται πλέον ευρέως. Είναι τοπικής εμβέλειας και επιτρέπει σε ηλεκτρονικές συσκευές να συνδέονται σε δίκτυο. Χρησιμοποιώντας συνήθως 2.4 GHz (12 cm) ζώνη UHF (Ultra High Frequency) ή 5 GHz (6 cm) ζώνη SHF (Super High Frequency) ISM (Industrial, Scientific and Medical radio bands). Βασίζεται στο πρότυπο 802.11 του Ινστιτούτου Ηλεκτρολόγων και Ηλεκτρονικών Μηχανικών (Institute of Electrical and Electronics Engineers - IEEE)". Το Wi-Fi παρέχει μεγαλύτερη απόσταση κάλυψης και υψηλότερο ρυθμό μετάδοσης δεδομένων σε σύγκριση με τα πρωτόκολλα Bluetooth, ZigBee, κ.α. αλλά καταναλώνει περισσότερη ενέργεια. Οι κόμβοι αισθητήρων που χρησιμοποιούν Wi-Fi, χρειάζονται φόρτιση πολύ συχνά, συνεπώς δεν είναι κατάλληλο για αυτόνομες εφαρμογές ή εφαρμογές με πολύ χαμηλή ισχύ. Χρησιμοποιείται σε άπειρες εφαρμογές καθημερινά μιας και προσφέρει μεγάλες ταχύτητες.

5.2.2. LPWAN

Οι αρχιτεκτονικές του Low Power Wide Area Network (LPWAN) στοχεύουν στην εκμετάλλευση του IoT σε μια ευρεία περιοχή, αναπτύσσοντας συνδέσεις μικρών συσκευών σε ζώνες φάσματος χωρίς άδεια [20.]. Αυτό επιτρέπει αυστηρές απαιτήσεις, όπως χαμηλό κόστος ανά συσκευή, μεγάλη διάρκεια μπαταρίας, χαμηλό κόστος εγκατάστασης, υψηλή κάλυψη (η οποία παρέχεται από τη μετάδοση μεγάλης εμβέλειας) σε όλα τα σενάρια (π.χ. εσωτερικού και εξωτερικού χώρου) και υψηλή επεκτασιμότητα. Οι ιδιόκτητες τεχνολογίες LPWAN μπορούν επίσης να βασίζονται στην άμεση ανάπτυξη, καθώς δεν χρειάζεται να συνυπάρχουν με παλαιού τύπου πρότυπα κινητής τηλεφωνίας λόγω των διαφορετικών ζωνών

συχνοτήτων.

Με την ταχεία χρήση του Internet of Things (IoT) στη ζωή μας, τα δίκτυα LPWAN χρησιμοποιούνται ευρέως. Είναι μια δημοφιλής τεχνολογία και τα κορυφαία στις κατηγορίες τους Sigfox, LoRa και NB-IoT ανταγωνίζονται το ένα το άλλο ποιο θα επικρατήσει. Αυτά παρέχουν αποτελεσματικές λύσεις στη σύνδεση έξυπνων, αυτόνομων αλλά και ετερογενών συσκευών. Τα Sigfox και LoRa έχουν πλεονεκτήματα σε σχέση με τη διάρκεια ζωής της μπαταρίας, τη χωρητικότητα αλλά και το κόστος. Το NB-IoT είναι αποτελεσματικό στις καθυστερήσεις και παρέχει ποιότητα στις υπηρεσίες.

Θεωρούνται επίσης ένα ελκυστικό ερευνητικό θέμα, καθώς τα αντικείμενα που συνδέονται με LPWAN αναμένεται να είναι 3,6 δισεκατομμύρια μέχρι το 2024, σύμφωνα με τις προβλέψεις της Machina Research [54.], και να καταλαμβάνουν ένα εντυπωσιακό κομμάτι της αγοράς. Επί του παρόντος ανταγωνίζονται τις κυψελοειδείς τεχνολογίες 3GPP που λειτουργούν σε ζώνες με άδεια χρήσης.

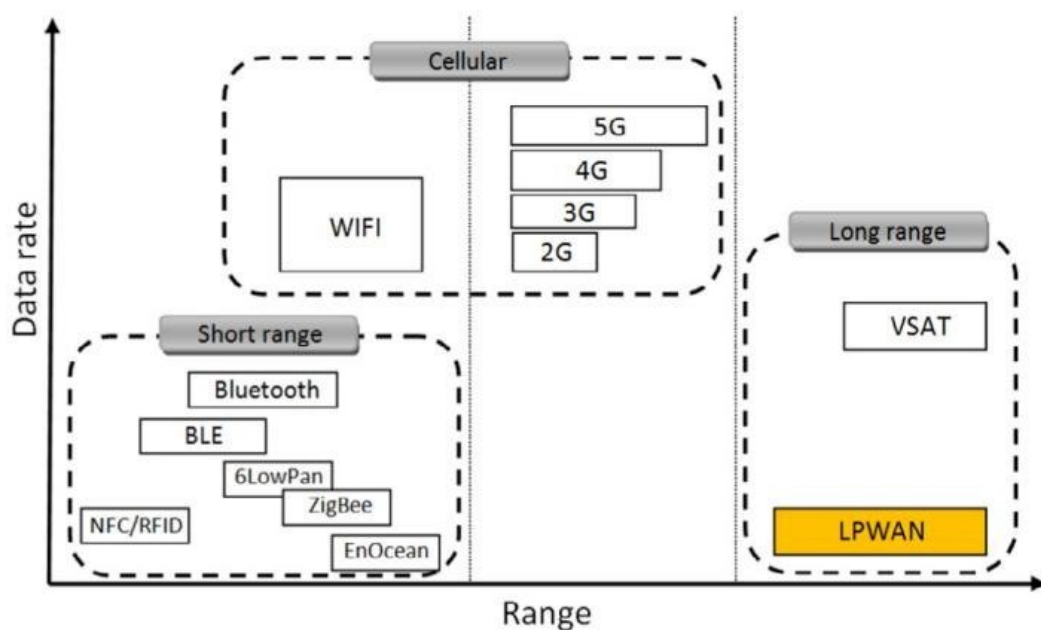
Η τεχνολογία Sigfox ξεκίνησε στη Τουλούζη της Γαλλίας το 2010 από την start up Sigfox.

5.2.2.1. SigFox

Το SigFox3 είναι μια αποκλειστική τεχνολογία επικοινωνίας M2M που χρησιμοποιεί ζώνες συχνοτήτων χωρίς άδεια για ραδιοεπικοινωνία. Αναπτύχθηκε το 2009 στη Γαλλία από την ομώνυμη εταιρεία που και ήταν η πρώτη που πρότεινε μια λύση LPWAN. Από τότε είχε αναπτυχθεί πολύ γρήγορα, λειτουργώντας τώρα σε περισσότερες από 30 χώρες και σήμερα καταχωρεί αρκετά εκατομμύρια συνδεδεμένες συσκευές που παράγουν petabyte δεδομένων καθημερινά. [54.] Ήταν, μέχρι πριν από λίγα χρόνια, ο κορυφαίος ιδιωτικός πάροχος συνδεσιμότητας LPWA στον κόσμο, που τώρα ξεπεράστηκε από τη LoRa.

Συγκεκριμένα, βασίζεται στην ασύρματη διαμόρφωση UNB (Ultra Narrow Band) (η

ίδια που χρησιμοποιείται στον Παγκόσμιο Πόλεμο από τα υποβρύχια) με βάση το BPSK σε uplink και GFSK σε downlink, ωστόσο, ως αποκλειστική τεχνολογία, δεν υπάρχει δημόσια τεκμηρίωση σχετικά με το επίπεδο δικτύου. Είναι κατάλληλο για πολύ μικρά μηνύματα (μέγεθος 8–12 byte), μικρό εύρος ζώνης (περίπου 100 Hz) και χαμηλό ρυθμό μετάδοσης δεδομένων (100 bps), επομένως η επίτευξη ευρείας περιοχής κάλυψης με μικρή κατανάλωση ενέργειας ήταν αρκετά εύκολη, επίσης λόγω η ραδιοπρόσβαση που βασίζεται στο UNB που επιτρέπει πολύ χαμηλή επιβάρυνση σήματος. Η μέση κάλυψη περιοχής έχει εντοπιστεί σε 13 km, ωστόσο η SigFox ισχυρίζεται ότι είναι δυνατό να επιτευχθεί κάλυψη περιοχής 30–50 km για αγροτικές περιοχές και ένα εκατομμύριο συνδεδεμένα αντικείμενα ανά πύλη. Στην πραγματικότητα, η τεχνολογία προσανατολίζεται κυρίως σε αγροτικά σενάρια, στα οποία τα μηνύματα είναι μικρά και σπάνια και απαιτούν μεγάλο εύρος μετάδοσης. Το μειονέκτημα είναι ότι, για να στείλει και να λάβει μηνύματα SigFox, μια συσκευή πρέπει να ενσωματώσει αντίστοιχα ένα συμβατό μόντεμ και μια ενσωμάτωση με τους διακομιστές SigFox, δηλαδή να είναι μια συσκευή SigFox.



Εικόνα 5-7: Απαιτούμενος ρυθμός δεδομένων σε σχέση με τη χωρητικότητα εμβέλειας των τεχνολογιών ραδιοεπικοινωνιών σε LPWAN. (Πηγή: [55].)

Έχει κατοχυρωμένες τεχνολογίες και ιδιόκτητους σταθμούς βάσης, εξοπλισμένους με ραδιόφωνα που καθορίζονται από γνωστικό λογισμικό και μέσω δικτύου IP συνδέονται με διακομιστές υποστήριξης. Η Sigfox χρησιμοποιεί εξαιρετικά στενή ζώνη με αποτέλεσμα να έχει πολύ χαμηλά επίπεδα θορύβου, πολύ χαμηλή κατανάλωση ενέργειας, υψηλή ευαισθησία δέκτη και χαμηλού κόστους σχεδιασμό κεραίας. Το Sigfox αρχικά υποστήριζε μόνο επικοινωνία ανοδικής ζεύξης, αλλά αργότερα άρχισε να υποστηρίζει και αμφίδρομη τεχνολογία με ασυμμετρία ζεύξης.

5.2.2.2. LoRa

Το LoRa είναι μια ιδιόκτητη τεχνολογία που υποστηρίζεται από τη LoRa Alliance, ένα έργο που ξεκίνησε το 2015 και είναι δημοφιλές ακόμα στις τεχνολογίες LPWAN. Έχει κατοχυρωθεί με δίπλωμα ευρεσιτεχνίας από την Semtech Corporation [54.]. Βασίζεται στην τεχνολογία PHY Chirp Spread Spectrum (CSS) και κάθε σύμβολο κωδικοποιείται σε μεγαλύτερη ακολουθία bit, αυξάνοντας έτσι το SINR που προκύπτει. Η διάρκεια ζωής της μπαταρίας είναι σημαντικά μεγαλύτερη, έως και 3-5 φορές μεγαλύτερη από τις αντίστοιχες ασύρματες τεχνολογίες. Στην Ευρώπη, το LORAWAN διαθέτει 10 κανάλια, 8 από τα οποία είναι πολλαπλών δεδομένων με ταχύτητες από 250 bps έως 5,5 kbps, άλλο ένα είναι κανάλι υψηλής απόδοσης και το τελευταίο είναι ένα κανάλι FSK που επιτρέπει ρυθμό μετάδοσης δεδομένων έως και 50 kbps. Η χρήση της πρόσβασης καναλιού ALOHA εξασφαλίζει χαμηλή κατανάλωση ενέργειας.

Το LoRa δεν χρειάζεται να διαθέτει τσιπ GPS, το οποίο θεωρείται υπερβολικά απαιτητικό σε ενέργεια και αυξάνει το κόστος. Αυτό το κάνει ιδιαίτερα χρήσιμο σε νέες εφαρμογές, όπως σε αισθητήρες και ιχνηλάτες διάσωσης, παρακολούθηση περιβάλλοντος βάσει τοποθεσίας, παρακολούθηση κατοικίδιων ζώων και αντικειμένων.

Τα LoRa βασίζονται στην τεχνολογία φυσικού επιπέδου στην οποία τα σήματα διαμορφώνονται στη ζώνη ISM υπο-GHZ χρησιμοποιώντας μια ιδιόκτητη τεχνική

εξάπλωσης φάσματος. Όπως το Sigfox, έτσι και το LoRa χρησιμοποιεί ζώνες ISM χωρίς άδεια, δηλαδή 868 MHz για την Ευρώπη, 915 MHz για τη Βόρεια Αμερική και 433 MHz για την Ασία.

5.2.3. IEEE 802.15

5.2.3.1. IEEE 802.15.1 Bluetooth Low Energy

Το πρότυπο Bluetooth (BT) έχει στόχο τη σύνδεση συσκευών σε μικρά Wireless Personal Area Network (WPAN), για την ανταλλαγή πληροφοριών χρησιμοποιώντας υψηλούς ρυθμούς δεδομένων. Τα πλεονεκτήματα του BT είναι ο υψηλός ρυθμός μετάδοσης δεδομένων (έως 3 Mbps) και το χαμηλό κόστος της συσκευής. Διαθέτει υψηλή κατανεμημένη ισχύ και δεν είναι κατάλληλο για εφαρμογές M2M αλλά και λόγω μεγέθους είναι ακατάλληλο για πολύ μεγάλα δίκτυα.

Το bluetooth low energy χρησιμοποιείται σε IoT συσκευές γιατί ο ρυθμός μετάδοσης δεδομένων φτάνει μέχρι 1 Mbps, άρα η ισχύς του μειώνεται κατά 20 με 100 φορές. Είναι κατάλληλο για μικρά δίκτυα, με μικρή απόσταση μεταξύ τους και στις οποίες επίσης ο τακτικός έλεγχος της συσκευής λειτουργεί στη ζώνη συχνοτήτων 2,4 ghz και έχει 40 κανάλια με απόσταση καναλιών 2 MHz. Διαθέτει κρυπτογράφηση AES 128bit και οι τεχνολογίες του βασίζονται στο IEEE 800.15.4 πρότυπο. Συγκεκριμένα μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε:

- Ασύρματα ακουστικά
- Μεταφορά αρχείων μεταξύ συσκευών
- Ασύρματα πληκτρολόγια και εκτυπωτές
- Κλήσεις hands-free στο αυτοκίνητο
- Ασύρματα ακουστικά
- - Ασύρματα ηχεία

Η τεχνολογία BT βρίσκεται σε συνεχή ανάπτυξη. Η έκδοση 5 κυκλοφόρησε το 2016 και παρέχεται υποστήριξη για δίκτυα πλέγματος, έχει αυξημένη εμβέλεια και υποστηρίζει μεγάλη ταχύτητα [54.].

5.2.3.2. IEEE 802.15.4-based technologies

Το 800.15.4 είναι ένα πρότυπο IEEE που έχει μικρή εμβέλεια με χαμηλό bit rate και εμβέλεια 10 έως 75 μέτρα. Χρησιμοποιήθηκε αρχικά για συσκευές με χαμηλή κατανάλωση και συνδέει συσκευές σε μικρά WPAN. Υποστηρίζει διάφορες τοπολογίες, όπως αστέρα, ιεραρχικό δέντρο και πλέγματος και δύο κατηγορίες συσκευών: Συσκευές πλήρους λειτουργίας, οι οποίες μπορούν να επικοινωνούν με οποιονδήποτε και συσκευές μειωμένης λειτουργίας, οι οποίες επικοινωνούν μόνο με μια συσκευή πλήρους λειτουργίας. Η τεχνολογία έχει μέγιστο ρυθμό δεδομένων 250 kbps και κατανάλωση ισχύος συνήθως είναι κάτω από 1 mW, χρησιμοποιώντας την τεχνική DSSS και CSMA/CA για την πρόσβαση στο φυσικό μέσο. Το μέγιστο μέγεθος πακέτου είναι 127 bytes,

Το IEEE 802.15.4 υλοποιεί 16 κανάλια στη ζώνη των 2,4 GHz, διαμορφωμένα με O-QPSK, με κανάλια που αριθμούνται από 11 έως 26 και κενό 5 MHz μεταξύ δύο γειτονικών καναλιών. Λόγω των χαρακτηριστικών του, αρκετές συσκευές IoT έχουν κατασκευαστεί με ενσωματωμένη συμβατότητα με το IEEE 802.15.4 και πολλές οργανισμοί τυποποίησης εφάρμοσαν τη δική τους στοίβα πρωτοκόλλων χαμηλής κατανάλωσης ενέργειας σε αυτό. Στην κορυφή των επιπέδων IEEE 802.15.4 βρίσκονται τα πρωτόκολλα και οι στοίβες δικτύων όπως τα Thread 6LoWPAN, ZigBee, WirelessHART και ISA 100.11a.

5.2.3.3. 6LoWPAN

Το IPv6 Over Low Power WPAN (6LoWPAN) είναι μια προσαρμογή σύνδεσης δεδομένων που υλοποιείται πάνω από τη στοίβα IEEE 802.15.4, εστιάζοντας στην προσαρμογή του πρωτοκόλλου IPv6 στο MTC. Η Thread Group (TG) αποτελεί μια προσπάθεια τυποποίησης για έξυπνες οικιακές συσκευές (εφαρμογή IPv6/UDP). Το πρωτόκολλο Thread χρησιμοποιείται σε δίκτυα πλέγματος οικιακού αυτοματισμού. Χρησιμοποιεί τις δυνατότητες του επιπέδου MAC IEEE 802.15.4 για να προωθήσει το

πλαίσιο χωρίς να το μεταβιβάσει στο επίπεδο IP για προώθηση εντός υποδικτύου μέσω διευθύνσεων MAC 16-bit. [54.]

5.2.3.4. ZigBee

Το ZigBee είναι μια τεχνολογία που χρησιμοποιείται ευρέως. Εφαρμόζεται σύμφωνα με το πρότυπο IEEE 802.15.4. Η έκδοσή 1.0 κυκλοφόρησε το 2005 από την ZigBee Alliance, μια ένωση εταιρειών που εργάζονται πάνω στα πρότυπα επικοινωνίας χαμηλής ισχύος και καθυστέρησης. Το ZigBee μπορεί να προσαρμοστεί σε άλλα τυπικά πρωτόκολλα υψηλού επιπέδου. Σε τοπολογίες δέντρου και αστέρα το δίκτυο ZigBee χρησιμοποιούν μια απλή εκχώρηση διευθύνσεων μαζί με κάποιο μηχανισμό σήμανσης, έτσι ώστε κάθε κόμβος να γνωρίζει εάν το πακέτο θα προωθηθεί στα παιδιά του ή στον γονέα του. Το slotted CSMA/CA διασφαλίζει ότι η επικοινωνία μεταξύ ενός παιδιού και του γονέα του συμβαίνει κατά τη διάρκεια της Περιόδου Πρόσβασης Διεκδίκησης (CAP) του γονέα. Τα δίκτυα πλέγματος λοιπόν, είναι εξαιρετικά αξιόπιστα λόγω περιττών διαδρομών και αυτόματων επαναλήψεων και πολλών επιβεβαιώσεων. Οι δρομολογητές διατηρούν τους πίνακες δρομολόγησης στη μνήμη και χρησιμοποιούν τον αλγόριθμο Ad-hoc On-Demand Distance Vector (AODV) όταν δεν υπάρχει διαθέσιμη γνωστή διαδρομή. [54.]

Επίσης δίνει διαδοχική ανανέωση μέσω ενός κωδικού πέντε οκτάδων στο πλαίσιο MAC ώστε να αποτρέψει πιθανές επιθέσεις, προεπιλεγμένη ακεραιότητα μηνύματος 64-bit, έλεγχο ταυτότητας επιπέδου δικτύου μέσω ενός κοινού κοινόχρηστου κλειδιού δικτύου και κρυπτογράφηση AES-128 με κοινό κλειδί που διανέμεται από μια αξιόπιστη συσκευή που ονομάζεται «κέντρο εμπιστοσύνης ασφαλείας». Το ZigBee είναι ένα από τα πρωτόκολλα που συναντάμε πολύ συχνά στα σενάρια οικιακού αυτοματισμού αλλά και σε εφαρμογές ζήτησης-απόκρισης ενέργειας και διαχείρισης φορτίου.

5.2.3.5. WirelessHART

Το WirelessHART είναι το πρώτο ανοιχτό ασύρματο πρότυπο και έχει σχεδιαστεί για τον ασύρματο έλεγχο διεργασιών M2M για βιομηχανικούς αυτοματισμούς. Κυκλοφόρησε τον Σεπτέμβριο του 2007 από τον Οργανισμό Highway Addressable Remote Transducer (HART). Χρησιμοποιεί συνεχώς ένα κεντρικό και συντονιστή και ο κάθε κόμβος είναι αφοσιωμένος σε μια και μόνο συγκεκριμένη και μοναδική εργασία. Λειτουργεί στη ζώνη ραδιοφώνου ISM 2,4 GHz και είναι σχεδιασμένο για να λειτουργεί σε τοπολογίες αστέρα, δέντρου και πλέγματος. [54.]

ISA 100.11a

Όπως και το WirelessHART, έτσι και το ISA 100.11a είναι ένα ανοιχτό πρότυπο πρωτόκολλο M2M το οποίο σχεδιάστηκε για εφαρμογές ελέγχου βιομηχανικών διεργασιών. Αναπτύχθηκε από τη International Society of Automation (ISA) τον Σεπτέμβριο του 2009. Όπως το WirelessHART, το ISA 100.11a βασίζεται στο PHY του IEEE 802.15.4, και μοιράζεται τις ίδιες ζώνες συχνοτήτων. [54.] Έχει όμως σημαντικές διαφορές από το WirelessHART και αυτός είναι και ο λόγος που είναι ανταγωνιστικό στον τομέα του βιομηχανικού αυτοματισμού. Οι συσκευές ISA 100.11a έχουν ξεχωριστούς ρόλους: είτε είναι συσκευές δρομολόγησης με δυνατότητες προώθησης είτε είναι συσκευές εισόδου/εξόδου, ενώ στο WirelessHART κάθε συσκευή έχει και τις δύο δυνατότητες.

5.2.4. Z-wave

Το Z-Wave είναι ένα ασύρματο ιδιόκτητο πρωτόκολλο που χρησιμοποιείται πάντα στον οικιακό αυτοματισμό. Αναπτύχθηκε από τη ZenSys και στη συνέχεια το προώθησε η Z-Wave Alliance. Τα σενάρια οικιακού αυτοματισμού που βασίζονται στο πρωτόκολλο, επωφελούνται από την αξιόπιστη επικοινωνία μεταξύ της μονάδας ελέγχου και τους περιφερειακούς κόμβους. Λειτουργεί στα 868 MHz στις ζώνες ITU

Region 1 και 908 MHz στις ζώνες ITU Region 2. Βέβαια, η επόμενη έκδοση του, Z-Wave 400, λειτουργεί παγκόσμια στα 2,4 GHz με ρυθμό μετάδοσης δεδομένων έως 200 kbps, ενώ η προηγούμενη έκδοση είχε μέγιστη ταχύτητα 40 kbps. Και οι δύο εκδόσεις χρησιμοποιούν το σχήμα διαμόρφωσης BFSK. Ο διαχωρισμός μεταξύ των τύπων κόμβων είναι καλά καθορισμένος: Ένας ελεγκτής στέλνει εντολές στους περιφερειακούς κόμβους, και μπορεί να απαντήσει μόνο σε μηνύματα και να εκτελέσει την εντολή. [54.] Μια τέτοια προσέγγιση κάνει τον μηχανισμό δρομολόγησης να περιορίζεται σε τέσσερα άλματα μόνο και να αποθηκεύει κάθε διαδρομή στον ελεγκτή.

5.2.5. INSTEON

Το INSTEON είναι ένα ιδιόκτητο πρωτόκολλο οικιακού αυτοματισμού που σχεδιάστηκε από την SmartLabs. Υποστηρίζει ταχύτητες δεδομένων έως και 38,4 kbps και χρησιμοποιεί διαμόρφωση που βασισμένη σε FSK στις ζώνες των 904 MHz. Έχει εφαρμοστεί ως μια καθαρή προσέγγιση peer-to-peer mesh, στην οποία οι συσκευές γραμμών ισχύος και οι ασύρματες συσκευές μπορούν να επικοινωνούν ταυτόχρονα χρησιμοποιώντας μοναδικές διευθύνσεις 24-bit. [54.]

Οι ενσύρματες συσκευές χρησιμοποιούν ένα σχήμα αναμετάδοσης με χρονική θυρίδα, ενώ οι ασύρματες συσκευές μπορούν να αναμεταδώσουν το μήνυμα ταυτόχρονα χρησιμοποιώντας μια προσέγγιση που ονομάζεται "simulcast" και βασίζεται στην πολύ μικρή πιθανότητα να συγκρουστούν τα μηνύματα στον δέκτη. Οι ασύρματες συσκευές μεταδίδουν τα μηνύματα ταυτόχρονα για να επιτύχουν ισχυρότερο σήμα στον δέκτη, επομένως η ακύρωση του μηνύματος συμβαίνει μόνο αν δύο πηγές χρησιμοποιούν την ίδια συχνότητα με μετατόπιση φάσης περίπου 180 μοιρών. Αυτό είναι κάτι που πολύ σπάνια συμβαίνει σε ένα τόσο μικρό υποδίκτυο μιας και ο ρυθμός δεδομένων είναι αρκετά χαμηλός.

5.2.6. EnOcean

Το EnOcean είναι μια τεχνολογία που προέρχεται από ένα spin-off από τη Siemens. Το πρωτοποριακό είναι ότι δεν χρησιμοποιούμε μπαταρίες και καλώδια, αλλά οι συσκευές τροφοδοτούνται αποκλειστικά από ενέργειες που συλλέγεται. Είναι απόλυτα συμβατό με ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, όπως είναι τα ηλιακά πάνελ. Αυτός συμβαίνει μιας και η ενέργεια που καταναλώνεται από τις συσκευές είναι πολύ λίγη και έτσι υπάρχει η δυνατότητα χρήσης των συσκευών πολλές ημέρες με απουσία πρωτογενούς πηγής ενέργειας [54.]. Το EnOcean λειτουργεί σε ζώνες υπο-GHz και έχει εύρος τυπικά 30 m, το οποίο μπορεί να επεκταθεί έως και 300 m σε LoS.

5.2.7. Cellular IoT (CIoT)

Οι τεχνολογίες κυψελοειδούς IoT (CIoT) είναι μια ακόμη τεχνολογική επιλογή για επικοινωνία M2M μεγάλης εμβέλειας που αναπτύσσεται σε αδειοδοτημένες ζώνες παράλληλα με τις υπάρχουσες κυψελοειδείς τεχνολογίες, ενώ οι ιδιόκτητες τεχνολογίες LPWAN χρησιμοποιούν μη αδειοδοτημένο φάσμα [54.].

5.2.8. LTE

Βασίζεται σε LTE-M OFDM και χάρη στο Cellular IoT κατέκτησε την αγορά μετά από μια περίοδο τεχνολογικής στασιμότητας, επειδή τα συστήματα 3G που βασίζονται σε CDMA δεν είναι κατάλληλα για MTC [88]. Στο LTE, κάθε Physical Resource Block (PRB) έχει ήδη τοποθετηθεί στα 180 kHz. Μερικά από τα κανάλια LTE πρέπει να τροποποιηθούν για να χωρέσουν στο ίδιο εύρος ζώνης. Ένα κανάλι LTE-M έχει εύρος 15 kHz. Η κάλυψη LTE-M μπορεί να φτάσει και τα 11 km. Βέβαια, μόνο το 10% των συσκευών θα χρειαστούν κάλυψη άνω των 10 dB. Θεωρητικά μόνο ένα κανάλι LTE-M χρειάζεται για την υποστήριξη χιλιάδων έξυπνων μετρητών. Αυτό το αποτέλεσμα εξήχθη μελετώντας την περιοχή της Ουάσιγκτον, λαμβάνοντας υπόψη το ότι ένα κανάλι LTE-M μπορεί να υποστηρίξει έως και 83.000 συσκευές[54.].

5.2.9. NB-IoT

Το NB-IoT είναι τεχνολογία των LPWAN και βασίζεται στην τεχνολογία ραδιοφώνου στενής ζώνης και είναι τυποποιημένη από το έργο συνεργασίας 3ης γενιάς (3GPP). Το NB-IoT είναι μια τεχνολογία Narrow Band IoT που μπορεί να συνυπάρξει με το GSM και το LTE. Το NB-IoT καταλαμβάνει συχνότητα εύρος ζώνης 200 KHz, για το οποίο είναι δυνατοί οι ακόλουθοι τρόποι λειτουργίας:

- Αυτόνομη λειτουργία
- Λειτουργία ζώνης φύλαξης
- Λειτουργία εντός της ζώνης

Το πρωτόκολλο επικοινωνίας NB-IoT βασίζεται στο πρωτόκολλο LTE. Στην πραγματικότητα, το NB-IoT μειώνει τις λειτουργίες του πρωτοκόλλου LTE στο ελάχιστο και τις ενισχύει όπως απαιτείται για τις εφαρμογές IoT.

Οι τελικές συσκευές απαιτούν μόνο μια μικρή ποσότητα μπαταρίας, καθώς στέλνει μικρά και σπάνια μηνύματα δεδομένων, αποφεύγοντας τις μετρήσεις (μετρήσεις για την παρακολούθηση της ποιότητας του καναλιού) καθιστώντας το έτσι οικονομικά αποδοτικό.

Το μέγιστο μήκος ωφέλιμου φορτίου για κάθε μήνυμα downlink είναι οκτώ byte. Χωρίς την επαρκή υποστήριξη των επιβεβαιώσεων, η αξιοπιστία της επικοινωνίας ανοδικής ζεύξης διασφαλίζεται με τη χρήση διαφοροποίησης χρόνου και συχνότητας καθώς και διπλασιασμού της μετάδοσης. Κάθε μήνυμα τελικής συσκευής μεταδίδεται πολλές φορές (τρεις από προεπιλογή) μέσω διαφορετικών καναλιών συχνότητας. Για το σκοπό αυτό, στην Ευρώπη για παράδειγμα, η ζώνη μεταξύ 868.180 MHz και 868.220 MHz χωρίζεται σε 400 ορθογώνια κανάλια 100 Hz (μεταξύ αυτών 40 κανάλια είναι δεσμευμένα και δεν χρησιμοποιούνται). Καθώς οι σταθμοί βάσης μπορούν να λαμβάνουν μηνύματα ταυτόχρονα σε όλα τα κανάλια, η τελική συσκευή μπορεί να επιλέξει τυχαία ένα κανάλι συχνότητας για τη μετάδοση των μηνυμάτων τους. Αυτό απλοποιεί τον σχεδιασμό της τελικής συσκευής και μειώνει το κόστος της.

6. Σύγκριση τεχνολογιών επικοινωνίας

6.1. Μεθοδολογία

6.1.1. Ανάλυση Μεθοδολογίας

Η μεθοδολογία που χρησιμοποιείται για τη σύγκριση των αρχιτεκτονικών για την διασύνδεση των IoT συσκευών και μπορεί να συνοψιστεί στα παρακάτω βήματα [47.]

Στον προσδιορισμό κοινών αρχιτεκτονικών επικοινωνιών

- Στην επιλογή κατάλληλων μετρήσεων
- Στην εκχώρηση συντελεστών στάθμισης για κάθε μετρική, χρησιμοποιώντας την κλίμακα από την υψηλότερη στη χαμηλότερη. Καλή προσαρμογή = 3, μέτρια προσαρμογή = 2, κακή προσαρμογή = 1 και δεν ισχύει (Δ/Y) = 0. Επιπλέον, οι οδηγίες μετρήσεων υιοθετήθηκαν από το [35] και συνοψίζονται στον Πίνακα 6.1. •

Πίνακας 6-1: Πεδίο τιμών για τα οριζόμενα κριτήρια.

	<i>Data Rate</i> (Mb/sec)	<i>Latency</i> (sec)	<i>Distance/Range</i> (meter)	<i>Scalability</i> (nodes/data hub)
Good (3)	>1.5	<0.25	>1000	>1000
Moderate (2)	0.5-1.5	0.25-1	100-1000	100-1000
Poor (1)	<0.5	>1	<100	<100

6.1.2. Μετρικές

Όταν συγκρίνουμε αρχιτεκτονικές επικοινωνίας δικτύων ακολουθούμε συνήθως κάποια κριτήρια για τη σύγκριση τους [46.] Αυτά είναι:

- **Το εύρος ζώνης ή ρυθμός δεδομένων:** είναι ο ρυθμό των δεδομένων που μετριέται σε bit ανά δευτερόλεπτο. Για ψηφιακά σήματα, το εύρος ζώνης είναι η ταχύτητα ή ο ρυθμός δεδομένων, που μετράται σε bit ανά δευτερόλεπτο (bps).
- **Η καθυστέρηση:** είναι η χρονική καθυστέρηση που παρατηρείται σε μια επικοινωνία του δικτύου. Μπορεί να μετρηθεί μονόδρομα ο χρόνος που χρειάζεται ένας αποστολέας για τη μετάδοση των δεδομένων στον προορισμό τους, ή αμφίδρομα ο χρόνος που χρειάζονται τα δεδομένα για να ταξιδέψουν από τον αποστολέα στον παραλήπτη και πίσω στον αποστολέα.
- **Ασφάλεια:** η ασφάλεια του δικτύου είναι πολύ σημαντικό κομμάτι για τη διασφάλιση όλων των προσωπικών δεδομένων των χρηστών.
- **Κλιμάκωση:** είναι η ικανότητα ενός δικτύου να επεκτείνεται χωρίς την ανάγκη να αντικατασταθούν μεγάλα τμήματα του δικτύου. Το δίκτυο πρέπει να είναι ευέλικτο για να δέχεται νέες συνδέσεις.
- **Ανθεκτικότητα:** είναι η ικανότητα του δικτύου να λειτουργεί σωστά όταν υπάρχουν παρεμβολές, είτε τυχαίες είτε σκόπιμες. Για να είναι ένα δίκτυο ανθεκτικό, θα πρέπει να μπορεί να λειτουργήσει ακόμα και με τοπικές βλάβες.
- **Αξιοπιστία:** είναι η ικανότητα ενός δικτύου να λειτουργεί σωστά σε κανονική λειτουργία.
- **Γεωγραφική κάλυψη:** είναι η γεωγραφική περιοχή κάλυψης ή εμβέλειας της τεχνολογίας. Εξαρτάται από το είδος της περιοχής, δηλαδή αν πρόκειται για

αστική ή αγροτική ζώνη, αλλά και από το είδος της χρησιμοποιούμενης τεχνολογίας.

- **Διαλειτουργικότητα:** σημαίνει ότι οι συσκευές και οι υπηρεσίες είναι συμβατές σε μεγάλο βαθμό και από πολλούς προμηθευτές. Είναι πολύ σημαντική για την ανάπτυξη του δικτύου.
- **Προσέγγιση απόστασης:** κάθε ενσύρματη και ασύρματη τεχνολογία επικοινωνίας έχει τις δικές της μοναδικές αποστάσεις εμβέλειας σήματος. Η εμβέλεια του σήματος κυμαίνεται από λίγα μέτρα έως καποιες δεκάδες χιλιόμετρα ανάλογα με την εκάστοτε τεχνολογία.
- **Κόστος ιδιοκτησίας:** είναι πρακτικά ζητήματα κατά το σχεδιασμό οποιουδήποτε δικτύου.
- **Φορητότητα:** Στις εφαρμογές IoT διακρίνεται υψηλή και χαμηλή φορητότητα. Οι εφαρμογές χαμηλής φορητότητας βασίζονται στις υπάρχουσες τεχνολογίες δικτύωσης. Οι εφαρμογές υψηλής φορητότητας (π.χ. αυτοκίνητα, αεροπλάνα κ.λ.π.) έχουν υψηλές απαιτήσεις συνδεσιμότητας και πρέπει να διευθετήσουν διάφορα ζητήματα (π.χ. φαινόμενο doppler ή handover) κυρίως

6.2. Τεχνικές διαφορές για τα : SIGFOX, LORA και NB-IOT

Στα LoRa χρησιμοποιούνται έξι συντελεστές διασποράς από SF7 ως το SF12 ώστε να προσαρμόζεται ο ρυθμός δεδομένων σε σχέση με το εύρος της ανταλλαγής. Ο υψηλός συντελεστής διασποράς επιτρέπει να έχουμε μεγάλη εμβέλεια και χαμηλό ρυθμό δεδομένων και το αντίστροφο.

Άρα ο ρυθμός δεδομένων LoRa είναι από 300 bps έως και 50 kbps ανάλογα με τον παράγοντα διασποράς και το εύρος ζώνης του καναλιού. Ακόμα, τα μηνύματα που μεταδίδονται και χρησιμοποιούν διαφορετικούς παράγοντες διασποράς λαμβάνονται ταυτόχρονα από τους σταθμούς βάσης LoRa. Το μήκος ωφέλιμου

φορτίου για κάθε μήνυμα είναι 243 byte. Το πρωτόκολλο επικοινωνίας που ονομάζεται LoRaWAN τυποποιήθηκε από τη LoRa-Alliance το 2015. Όταν χρησιμοποιείται αυτό, το κάθε ένα μήνυμα που μεταδίδεται από μια συσκευή λαμβάνεται από όλες τις βάσεις - σταθμούς στην περιοχή αυτή. Έτσι, βελτιώνεται την αναλογία μηνυμάτων που ελήφθησαν με επιτυχία. Κάτι τέτοιο όμως, απαιτεί πολλούς σταθμούς βάσης στη γειτονιά, κάτι το οποίο αυξάνει το κόστος ανάπτυξης του δικτύου. Το σύστημα υποστήριξης φιλτράρει τις διπλές λήψεις που προκύπτουν, και γίνεται ο έλεγχος της ασφάλειας στο τελικό μήνυμα. Το NB-IoT είναι μια τεχνολογία IoT στενής ζώνης που κυκλοφόρησε τον Ιούνιο του 2016. Μπορεί να συνυπάρχει με GSM (παγκόσμιο σύστημα για κινητές επικοινωνίες) και LTE (μακροπρόθεσμη εξέλιξη) υπό αδειοδοτημένες ζώνες συχνοτήτων (π.χ. 700 MHz, 800 MHz και 900 MHz). Το NB-IoT καταλαμβάνει ένα εύρος ζώνης συχνοτήτων 200 KHz, το οποίο αντιστοιχεί σε ένα μπλοκ πόρων στη μετάδοση GSM και LTE.

Για την επιλογή της κατάλληλης τεχνολογίας LPWAN σε μια εφαρμογή IoT, λαμβάνουμε υπόψη την ποιότητα των υπηρεσιών, τη διάρκεια ζωής της μπαταρίας, την καθυστέρηση, την επεκτασιμότητα, το μήκος ωφέλιμου φορτίου, την κάλυψη, την εμβέλεια, την ανάπτυξη και το κόστος. Το πρωτόκολλο επικοινωνίας NB-IoT βασίζεται στο πρωτόκολλο LTE. Η τεχνολογία NB-IoT μπορεί να θεωρηθεί ως μια νέα διεπαφή αέρα από την άποψη της στοίβας πρωτοκόλλων και βασίζεται στην καθιερωμένη υποδομή LTE. Το NB-IoT επιτρέπει τη συνδεσιμότητα έως και 100 K τελικών συσκευών ανά κυψέλη με δυνατότητα κλιμάκωσης της χωρητικότητας με την προσθήκη περισσότερων φορέων NB IoT.

6.2.1. Ποιότητα εξυπηρέτησης

Οι Sigfox και LoRa χρησιμοποιούν φάσματα χωρίς άδεια και πρωτόκολλα ασύγχρονης επικοινωνίας. Μπορούν να αναπηδήσουν παρεμβολές, πολλαπλές διαδρομές και εξασθένιση. Ωστόσο, δεν μπορούν να προσφέρουν το ίδιο QoS που παρέχεται από το NB- IoT. Το NB-IoT χρησιμοποιεί ένα αδειοδοτημένο φάσμα και ένα σύγχρονο πρωτόκολλο που βασίζεται σε LTE, τα οποία είναι βέλτιστα για QoS σε βάρος του κόστους, δηλαδή, οι δημοπρασίες φάσματος LTE με άδεια χρήσης είναι πάνω από 500 εκατομμύρια ευρώ ανά MHz. Λόγω του QoS και της αντιστάθμισης κόστους, το NB-IoT προτιμάται για εφαρμογές που απαιτούν εγγυημένη ποιότητα υπηρεσιών, ενώ εφαρμογές οι οποίες δεν έχουν τέτοιο περιορισμό θα πρέπει να επιλέξουν τα LoRa ή Sigfox.

6.2.2. Διάρκεια ζωής μπαταρίας & καθυστέρηση

Στα Sigfox, LoRa και NB-IoT, οι συσκευές βρίσκονται σε κατάσταση αναστολής της λειτουργίας τους ή εκτός λειτουργίας πολλές ώρες, κάτι το οποίο μειώνει την ποσότητα της ενέργειας που καταναλώνει η συσκευή, με αποτέλεσμα τη μεγάλη διάρκεια ζωής της συσκευής. Βέβαια, η τελική συσκευή NB-IoT καταναλώνει επιπλέον ενέργεια λόγω της σύγχρονης επικοινωνίας και του χειρισμού QoS. Αυτή κατανάλωση ενέργειας μειώνει τη διάρκεια ζωής της συσκευής NB-IoT σε σχέση με τα Sigfox και LoRa. Το NB-IoT προσφέρει το πλεονέκτημα της χαμηλής καθυστέρησης. Τα Sigfox και LoRa παρέχουν κλάση C ώστε να χειρίζεται επίσης χαμηλή αμφίδρομη καθυστέρηση σε βάρος της αυξημένης κατανάλωσης ενέργειας. Έτσι, για εφαρμογές οι οποίες δεν είναι ευαίσθητες στον λανθάνοντα χρόνο και δεν έχουν μεγάλο όγκο δεδομένων για αποστολή τα Sigfox και τα class-A LoRa προκύπτει ότι είναι οι καλύτερες επιλογές. Σε εφαρμογές που απαιτούν χαμηλό λανθάνοντα

χρόνο, τα NB-IoT και class-C LoRa είναι οι καλύτερες επιλογές. Τα Sigfox, LoRa και NB-IoT υποστηρίζουν τεράστιο αριθμό συσκευών. Το NB-IoT προσφέρει πολύ υψηλή επεκτασιμότητα σε σχέση με το Sigfox και το LoRa. Επιτρέπει τη συνδεσιμότητα έως και 100 K τελικών συσκευών ανά κυψέλη σε σύγκριση με 50 K ανά κυψέλη για τα Sigfox και LoRa. Από την άλλη μεριά το NB-IoT προσφέρει το πλεονέκτημα του μέγιστου μήκους ωφέλιμου φορτίου.

6.2.3. Κόστος

Το κύριο πλεονέκτημα χρήσης του Sigfox είναι ότι μια ολόκληρη πόλη μπορεί να καλυφθεί από έναν σταθμό βάσης, έχει δηλαδή εμβέλεια >40km. Για παράδειγμα στο Βέλγιο που έχει συνολική επιφάνεια περίπου 30000 km², με το δίκτυο Sigfox καλύπτει ολόκληρη τη χώρα με επτά σταθμούς μόνο. Από την άλλη μεριά το LoRa έχει χαμηλότερη εμβέλεια, δηλαδή μικρότερη από 20 km και απαιτεί μόνο τρεις σταθμούς βάσης για να καλύψει μια ολόκληρη πόλη όπως είναι η Βαρκελώνη. Τέλος, το NB-IoT έχει τη χαμηλότερη εμβέλεια από όλα, δηλαδή μικρότερη από 10 km. Κυρίως χρησιμοποιείται σε συσκευές που εγκαθίστανται σε μέρη που βρίσκονται μακριά από την τυπική πρόσβαση των κυψελοειδών δικτύων όπως είναι εσωτερικοί χώροι ή μέρη με μεγάλο βάθος. Επιπλέον, η ανάπτυξη του NB-IoT περιορίζεται σε σταθμούς βάσης LTE, άρα δεν είναι κατάλληλο για αγροτικές περιοχές ή περιοχές που δεν έχουν κάλυψη LTE.

6.2.4. Μοντέλο ανάπτυξης

Τα Sigfox και LoRa είναι πιο οικονομικά σε σύγκριση με το NB IoT. Μια τεχνολογία δεν μπορεί να εξυπηρετήσει εξίσου όλες τις εφαρμογές IoT. Τα Sigfox και LoRa βρίσκονται εδώ και πολλά χρόνια σε χρήση σε διάφορες χώρες και πόλεις. Το LoRa έχει το πλεονέκτημα του ότι αναπτύσσεται σε 42 χώρες σε αντίθεση με το Sigfox σε

31 χώρες. Τα LoRa και Sigfox βέβαια αναπτύσσονται όλο και περισσότερο με το πέρασμα του χρόνου. Τα LoRa είναι ευέλικτα, σε αντίθεση με το Sigfox και το NB-IoT. Το LoRa προσφέρει ανάπτυξη τοπικού δικτύου, π.χ. LAN χρησιμοποιώντας την πύλη LoRa καθώς και λειτουργία δημόσιου δικτύου μέσω σταθμών βάσης. Στη βιομηχανία θα μπορούσαμε να έχουμε και ένα υβριδικό μοντέλο που θα είχε ένα τοπικό δίκτυο LoRa στον εργοστασιακό τομέα αλλά στις εξωτερικές περιοχές θα γινόταν χρήση ενός δημόσιου δικτύου LoRa, ώστε να υπάρχει πλήρης κάλυψη.

6.3. Σύγκριση

Η επικοινωνία μπορεί να γίνει τόσο ενσύρματη όσο και ασύρματη. Τα ενσύρματα συστήματα επικοινωνίας προτιμώνται γιατί υπάρχει μεγαλύτερο εύρος ζώνης και καλύτερη βιωσιμότητα [48.]. Μπορούμε να έχουμε οπτική ίνα, Ethernet, LoRaWAN στην ενσύρματη επικοινωνία. Ωστόσο, αυτά έχουν αρκετά μεγάλο κόστος και πολλές φορές έχουν δύσκολη εγκατάσταση.

Έτσι πολλοί προτιμούν ασύρματη επικοινωνία για εύκολη εγκατάσταση και μικρότερο κόστος. Εκεί χρησιμοποιούμε ασύρματη Επικοινωνία 5G, Bluetooth, Wi-Fi, ZigBee, GSM, WiMax και LTE.

Το ZigBee είναι μία ασύρματη τεχνολογία χαμηλής κάλυψης που καταναλώνει λιγότερη ισχύς από άλλες ασύρματες τεχνολογίες. Όμως το data rate είναι πολύ φτωχό και χρειάζεται νέα ρύθμιση για να επικοινωνήσει με τις συσκευές.

Το Bluetooth χρησιμοποιεί τις χωρίς άδεια ζώνη συχνοτήτων και καλύπτει την περιοχή ενός σπιτιού περίπου. Η εμβέλεια του Bluetooth είναι περιορισμένη και όσο απομακρύνονται οι συσκευές δεν υπάρχει σύνδεση. Στην τεχνολογία Bluetooth υπάρχει και το θέμα της ασφάλειας που είναι ένα πολύ ανησυχητικό ζήτημα. Η κάλυψη εμβέλεια είναι μέχρι 100 μέτρα αλλά στην πράξη είναι πολύ μικρότερη.

Το GSM δίνει τη δυνατότητα να υπάρχει εξ αποστάσεως πρόσβασης στο σπίτι, αν και υπάρχει μεγάλη χρονική καθυστέρηση. Έχει χαμηλό data rate και είναι ικανό να περάσει σε δύσκολα περιβάλλοντα.

Το 5G έχει μεγάλη απήχηση στην έξυπνη εκπαίδευση και φέρνει νέες ευκαιρίες. Προσφέρει υψηλό data rate και καταφέρνει οι συσκευές και οι χρήστες να επικοινωνούν σε πραγματικό χρόνο. Η επικοινωνία από κτίριο σε κτίριο είναι ένα μεγάλο ζήτημα στα έξυπνα αυτά συστήματα.

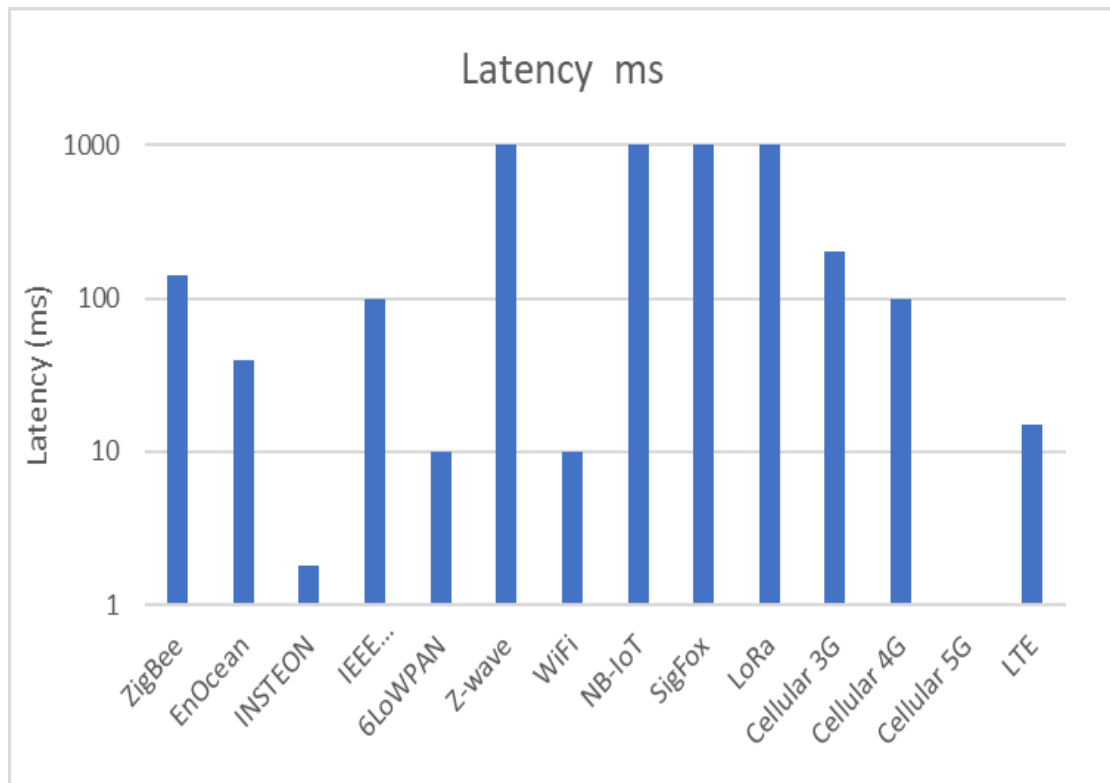
Ένα σύστημα επικοινωνίας που βασίζεται σε αισθητήρες μπορεί να χρησιμοποιεί ZigBee τεχνολογία ώστε να καταφέρει να μειώσει την κατανάλωση ενέργειας [48.], 2016.

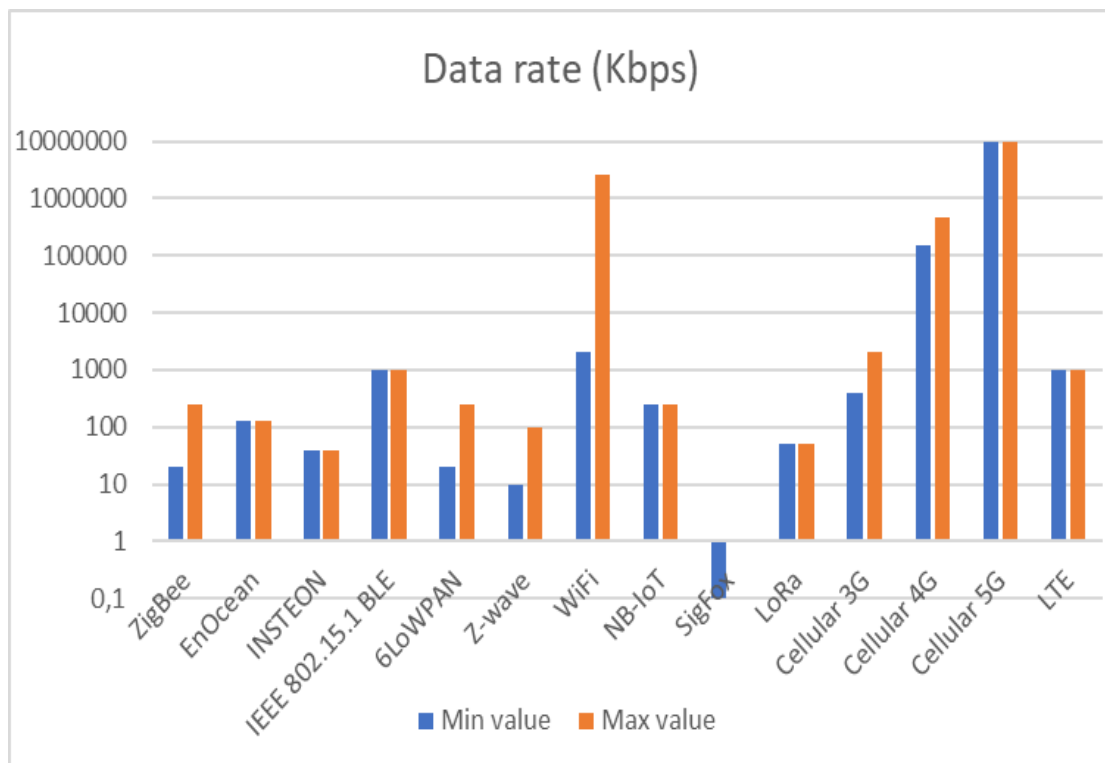
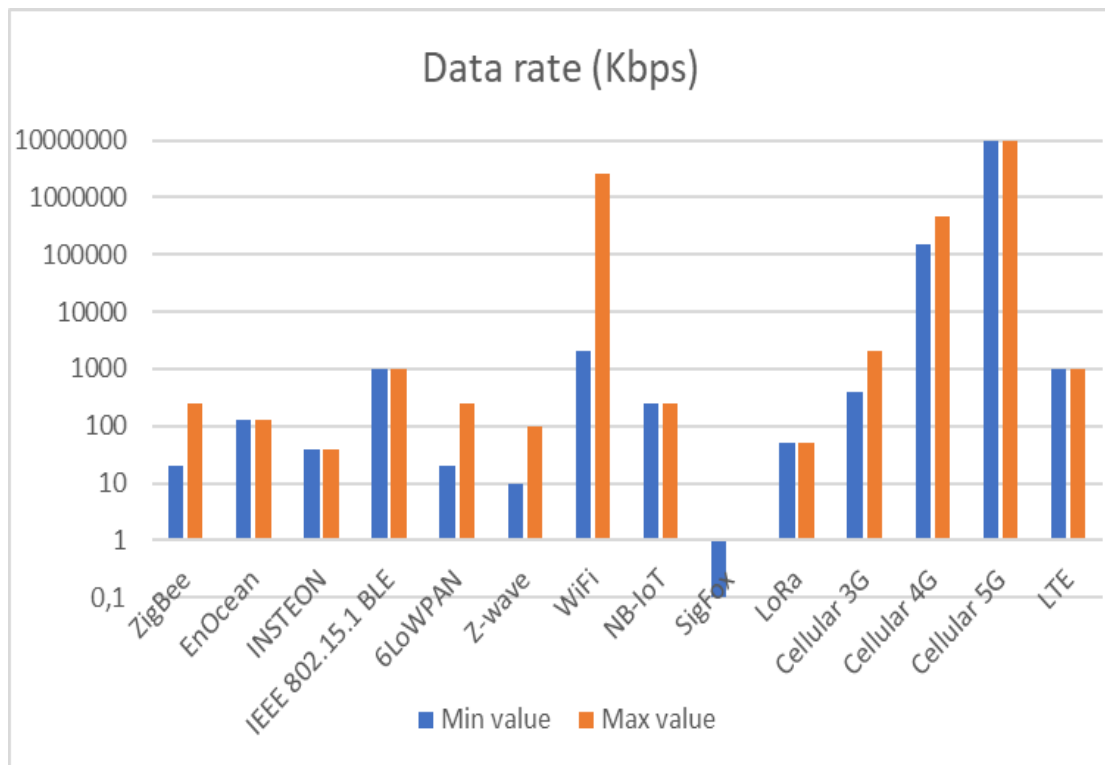
Το Wi-Fi είναι το πιο δημοφιλές σύστημα επικοινωνίας. Λειτουργεί στα 2.4GHz και 5GHz και μεταφέρει μέχρι και 600 Mbps τα δεδομένα. Το μεγαλύτερο πρόβλημα με το wifi είναι ότι δεν έχει μεγάλη κάλυψη. Παίζει μεγάλο ρόλο στη σύνδεση με χρήση αισθητήρων. Οι αισθητήρες στέλνουν τυχαία δεδομένα σε σύντομο χρονικό διάστημα.

Τα ασύρματα δίκτυα συνήθως προτιμώνται ώστε να είναι πιο εύκολη η εγκατάσταση, ειδικά όταν υπάρχουν περιορισμοί στην εγκατάσταση. Έτσι, ελαχιστοποιείται και μειώνεται η καλωδίωση, μειώνεται το κόστος, κάτι που σε βιομηχανικούς χώρους ειδικά λύνονται πολλά προβλήματα, ιδιαίτερα όταν η πρόσβαση είναι δύσκολη.

Πίνακας 6-2:Τεχνικά χαρακτηριστικά Τεχνολογιών Επικοινωνίας.

IoT Technology	Latency	Distance/Range	Data Rate	Range	Frequency	Power Consumption	Battery life
WiFi	10ms	100m	2Mbps-2,5Gbps	100m	2.4 GHz, 3.6 GHz, 4.9 GHz,	High	Hours
SigFox	1 s	10-50Km	1kbps	>20km	Various	Very low	10years
LoRa	1 s	2-5Km urban	50kbps	~11km	Sub-GHz	Very low	10years
IEEE 802.15.1 Bluetooth Low Energy	100ms	1-100m	1Mbps	>100m	2.4GHz	low	Weeks
6LoWPAN	10ms	10-100m	20-250Kbps	N/A	2.4GHz	Very low	1-2 years
ZigBee	140ms	10-20m	20Kbps 250 Kbps	10-100m	787MHz, 868MHz, 915MHz, 2.4GHz	low	Months to years
Z-wave	1000ms	100m	9,6 - 100Kbps	30-100m	900MHz	low	18 months
INSTEON	1.82ms	61m	40kbps	45m	900MHz	Very low	5-6 months
EnOcean	40 ms	30m	125kbits	300m	868 Mhz	Very low	
Cellular 3G	200ms	50-150km	384kbps-2Mbps	35km	1800MHz	Very low	
Cellular 4G	100ms	50-150km	150-450Mbps	35km	1900MHz	Very low	
Cellular 5G	1ms	50-150km	10Gbps		30GHz	Very low	
LTE	15ms	Few Km	1Gbps	~11Km	2.5 GHz,	Low	10years
NB-IoT	1 s	1km (urban), 10km (rural)	250kbps	~15Km	200KHz	Very low	10years





6.4. Επιλογή καταλληλότερης τεχνολογίας

Είναι πάρα πολλοί οι παράγοντες που λαμβάνουμε υπόψη μας, ώστε να βγάλουμε συμπέρασμα σχετικά με το ποια τεχνολογία είναι καταλληλότερη από τις άλλες. Τα κριτήρια που πρέπει να μελετήσουμε είναι η ποιότητα στις υπηρεσίες που προσφέρουν, η καθυστέρηση, η επεκτασιμότητα, το μήκος ωφέλιμου φορτίου, η κάλυψη, η εμβέλεια, το μοντέλο ανάπτυξης, το κόστος και η διάρκεια ζωής της μπαταρίας. Ανάλογα με τη χρήση που κάνουμε, το μέρος της εγκατάστασης και τις συνθήκες που επικρατούν, επιλέγουμε και την καλύτερη τεχνολογία.

Το LoRa χρησιμοποιεί μη συγχρονισμένα πρωτόκολλα επικοινωνίας, και αυτό έχει αποτέλεσμα να μην υπάρχουν παρεμβολές στη μετάδοση των δεδομένων. Υπάρχει δυνατότητα πολλαπλών διαδρομών και δεν υπάρχει εξασθένιση του σήματος fading. Χρησιμοποιεί μη αδειοδοτημένο φάσμα. Το NB-IoT αντίθετα χρησιμοποιεί ένα αδειοδοτημένο φάσμα και το πρωτόκολλο είναι συγχρονισμένο και βασισμένο σε LTE κάτι που ανεβάζει το κόστος αρκετά και προτιμάτε σε εφαρμογές που απαιτούν υψηλή ποιότητα υπηρεσιών. Σε εφαρμογές που δεν έχουν τέτοιες απαιτήσεις χρησιμοποιείται το LoRa. Οι συσκευές LoRa και NB-IoT βρίσκονται σε λειτουργία ύπνου το περισσότερο χρονικό διάστημα, είναι δηλαδή εκτός λειτουργίας. Αυτό συμβάλλει στην εξοικονόμηση της ενέργειας, με αποτέλεσμα να αυξάνεται ραγδαία η διάρκεια ζωής των συσκευών. Όμως η εκπομπή του IoT καταναλώνει πρόσθετη ενέργεια επειδή η επικοινωνία είναι συγχρονισμένη και ο χειρισμός είναι QoS ακόμα οι μέθοδοι πρόσβασης OFDM / FDMA χρησιμοποιούν ενέργεια πολύ περισσότερη κατά τη διάρκεια της σύνδεσης το γεγονός αυτό μειώνει τη διάρκεια ζωής της τελικής συσκευής σε σχέση με τα LoRa. Το NB-IoT έχει όμως το πλεονέκτημα της μικρής καθυστέρηση στην μετάδοση. Το LoRa προσφέρει χαμηλή καθυστέρηση αμφίδρομης μετάδοσης κάτι το οποίο έχει επιπτώσεις στην κατανάλωση ενέργειας. Έτσι σε εφαρμογές που δεν έχουν ευαισθησία στην καθυστέρηση και όταν έχουμε μικρό όγκο αποστολής των δεδομένων, e-class LoRa είναι μία καλή επιλογή σε εφαρμογές όμως που απαιτούν χαμηλή καθυστέρηση σε αμφίδρομη μετάδοση προτιμάμε NB-IoT και LoRa class C.

Η εργασία αυτή μπορούμε να πούμε ότι είναι πιο επίκαιρη από ποτέ μιας και τα τελευταία δύο χρόνια η χώρα μας αλλά και ολόκληρος ο κόσμος πλήττεται από την πανδημία του covid-19. Έξυπνη εκπαίδευση χρησιμοποιούσαμε σε πολλές κατηγορίες της εκπαίδευσης και πιο πριν, αλλά από την πανδημία αυτή και μετά διαπιστώσαμε πόσο σημαντικό ρόλο παίζουν οι υπηρεσίες αυτές στον τομέα της εκπαίδευσης. Το 2020 ολόκληρος ο πλανήτης εξαναγκάστηκε να παραμείνει σπίτι και να αποφύγει όσο γίνεται τις περισσότερες δραστηριότητες του. Οι μαθητές όλων των ηλικιών από το νηπιαγωγείο μέχρι τους φοιτητές, τόσο στην πρωτοβάθμια, τη δευτεροβάθμια και στην τριτοβάθμια εκπαίδευση οδηγήθηκαν στη μέθοδο της τηλεεκπαίδευσης. Χρησιμοποιήθηκαν έξυπνες συσκευές τόσο από τους εκπαιδευόμενους όσο και από τους εκπαιδευτές. Κάθε ένας, ανάλογα με τις ανάγκες του, χρησιμοποιούσε κάποια έξυπνη συσκευή όπως είναι τα Laptop, τα tablet και τα κινητά τηλέφωνα. Τα μαθήματα λοιπόν συνεχίστηκαν μέσω υπολογιστών, μιας και ήταν η μοναδική λύση που μπορούσε να πραγματοποιηθεί. Σίγουρα η δια ζώσης εκπαίδευση είναι αναντικατάστατη αλλά τη συγκεκριμένη περίοδο, με τις συγκεκριμένες συνθήκες, ήταν η μοναδική λύση ώστε οι μαθητές να συνεχίσουν απρόσκοπτα την εκπαίδευσή τους. Πολλοί από αυτούς ήταν ήδη εξοικειωμένοι με διαδικτυακά μαθήματα και IoT συσκευές, ενώ άλλοι αναγκάστηκαν να χρησιμοποιήσουν τις νέες τεχνολογίες και τις IoT συσκευές για πρώτη φορά. Τα διαδικτυακά μαθήματα αυξήθηκαν ραγδαία, ήταν ευέλικτα σε σχέση με το πρόγραμμα και ειδικά σε μεγάλες ηλικίες τα αποτελέσματα ήταν αξιοθαύμαστα. Ο κόβιντ-19 αποτέλεσε την αιτία για μία επανάσταση στην εκπαίδευση και στις τεχνολογίες δικτύων μιας και ήταν η μόνη βιώσιμη επιλογή την περίοδο αυτή της πανδημίας. Θα πρέπει να αναφέρουμε ότι η χρήση της έξυπνης εκπαίδευσης δεν ήταν το ίδιο εύκολη για όλους τους μαθητές μιας και άλλοι είχαν οικονομική δυνατότητα να έχουν πρόσβαση σε εξοπλισμό κατάλληλο, ενώ μαθητές από χαμηλά κοινωνικά στρώματα αναγκαζόταν να χάσουν μαθήματα ή να μην μπορούν να διεκπεραιώσουν με την ίδια άνεση τις σπουδές τους.

7. Συμπεράσματα

Η έξυπνη εκπαίδευση είναι το αποτέλεσμα της συνεργίας τριών κυρίως έξυπνών οντοτήτων, δηλαδή: τα έξυπνα περιβάλλοντα, τις έξυπνες παιδαγωγική και έξυπνος μαθητής. Το Διαδίκτυο των πραγμάτων (IoT) μπορεί να συμβάλλει στη διαμόρφωση ενός έξυπνου περιβάλλοντος εκπαίδευσης, να υποστηρίξει περισσότερο ευέλικτες και αποτελεσματικές παιδαγωγικές μάθησης, και να αποτελέσει ουσιαστικό εργαλείο για την κατάκτηση γνώσεων, δεξιοτήτων και ικανοτήτων από τους μαθητές. Το IoT βρίσκει εφαρμογή στην εκπαίδευση στις ακόλουθες περιπτώσεις: στη λήψη αποφάσεων, στη διαχείριση των πόρων της εκπαιδευτικής κοινότητας, στην ενίσχυση της εκπαιδευτικής διαδικασίας, στη δημιουργία ασφαλούς περιβάλλοντος για τους μαθητές και στην παρακολούθηση της υγείας τους.

Το IoT είναι ένα σύνθετο σύνολο τεχνολογικών λύσεων που μπορεί να διαδραματίσει σημαντικό ρολό στο χώρο της έξυπνης εκπαίδευσης. Τεχνολογικά, είναι συνεχώς εξελισσόμενο και δεδομένου ότι μπορεί να χρησιμοποιηθεί ευρέως εκτός των άλλων εφαρμογών και στην έξυπνη εκπαίδευση ένα σύνολο από ζητήματα και προκλήσεις θα πρέπει να διευθετηθούν ώστε να λειτουργεί αξιόπιστα, με ασφάλεια, και να μεγιστοποιηθεί η απόδοσή του και τα οφέλη του.

Για την ενσωμάτωση του IoT στην εκπαίδευση εφαρμόζονται διάφορα μοντέλα επικοινωνίας με βασικότερα τα Device-to-Device, Device-to-Cloud και Device-to-Gateway. Επίσης ένα πλήθος τεχνολογιών επικοινωνίας είναι διαθέσιμο για την παροχή συνδεσιμότητας και την κάλυψη των αναγκών επικοινωνίας, τη συλλογή και τη μετάδοση των δεδομένων και να εξυπηρετηθούν οι σκοποί της έξυπνης εκπαίδευσης.

Όμως, ο μεγάλος αριθμός έξυπνων ή μη αντικειμένων μπορεί να οδηγήσει σε προβλήματα

σχετικά με τη συνδεσιμότητα που μπορεί να αποτελέσει εμπόδιο στην υλοποίηση της έξυπνης εκπαίδευσης. Στα πλαίσια αυτής της εργασίας, διερευνήθηκαν οι δυνατές τεχνολογίες επικοινωνίας που μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε αυτή την περιοχή σήμερα. Εξετάστηκαν οι δυνατότητές τους, τα βασικά χαρακτηριστικά τους

και οι αδυναμίες τους σε αξιοποιώντας τις ερευνητικές προσπάθειες που έχουν γίνει σε αυτή την κατεύθυνση.

Στόχος είναι να παρουσιασθεί ένα ταξινομημένο πλαίσιο των τεχνολογιών δικτύωσης ώστε να βοηθηθεί ο αναγνώστης και να κατανοήσει τις πρόσφατες προσπάθειες προς αυτή την κατεύθυνση.

Βιβλιογραφία

- [1.] Kang, S.C. and Dossick, C.S., 2015. Smart education method, technology and environment. *International Journal of Automation and Smart Technology*, 5(3), pp.113-114.
- [2.] Li, K.C. and Wong, B.T.M., 2021. Research landscape of smart education: a bibliometric analysis. *Interactive Technology and Smart Education*.
- [3.] Chan, F.M., 2002, October. ICT in Malaysian schools: Policy and strategies. In *a Workshop on the Promotion of ICT in Education to Narrow the Digital Divide* (pp. 15-22).
- [4.] Zhu, Z.T., Yu, M.H. and Riezebos, P., 2016. A research framework of smart education. *Smart learning environments*, 3(1), pp.1-17.
- [5.] Guo, X.R., Li, X. and Guo, Y.M., 2021. Mapping Knowledge Domain Analysis in Smart Education Research. *Sustainability*, 13(23), p.13234.[5.]
- [6.] Choi, J. and Lee, Y., 2012, June. The status of SMART education in KOREA. In *EdMedia+ Innovate Learning* (pp. 175-178). Association for the Advancement of Computing in Education (AACE).
- [7.] Hua*, M.T.A., 2012. Promises and threats: iN2015 Masterplan to pervasive computing in Singapore. *Science, Technology and Society*, 17(1), pp.37-56.
- [8.] Kankaanranta, M. and Mäkelä, T., 2014, June. Valuation of emerging learning solutions. In *EdMedia+ Innovate Learning* (pp. 168-172). Association for the Advancement of Computing in Education (AACE).
- [9.] Hwang, G.J., 2014. Definition, framework and research issues of smart learning environments-a context-aware ubiquitous learning perspective. *Smart Learning Environments*, 1(1), pp.1-14
- [10.] Scott, K. and Benlamri, R., 2010. Context-aware services for smart learning spaces. *IEEE Transactions on Learning Technologies*, 3(3), pp.214-227.
- [11.] Gwak, D., 2010. The Meaning and Predict of Smart Learning, Smart Learning Korea Proceeding. *Korea: Korean e-Learning Industry Association*.
- [12.] Kim, T., Cho, J.Y. and Lee, B.G., 2012, July. Evolution to smart learning in public education: a case study of Korean public education. In *IFIP WG 3.4 international conference on open and social technologies for networked learning* (pp. 170-178). Springer, Berlin, Heidelberg.
- [13.] Lee, J., Zo, H. and Lee, H., 2014. Smart learning adoption in employees and HRD managers. *British Journal of educational technology*, 45(6), pp.1082-1096.

- [14.] Daniel, J., 2012. Making sense of MOOCs: Musings in a maze of myth, paradox and possibility. *Journal of interactive Media in education*, 2012(3).
- [15.] Bruce, B.C. and Levin, J.A., 1997. Educational technology: Media for inquiry, communication, construction, and expression. *Journal of educational computing research*, 17(1), pp.79-102.
- [16.] Meyer, B. and Latham, N., 2008. Implementing electronic portfolios: Benefits, challenges, and suggestions. *Educause Quarterly*, 31(1), p.34.
- [17.] Zuboff, S., 2015. Big other: surveillance capitalism and the prospects of an information civilization. *Journal of information technology*, 30(1), pp.75-89.
- [18.] Bell, G., 2017. Fast, smart and connected: How to build our digital future.
- [19.] Kallinikos, J. Smart machines. *Encyclopedia of Softw. Eng.* 1(1), 1097–1103 (2010)
- [20.] Introducing the smart education framework: Core elements for successful learning in a digital world. *International Journal of Smart Technology and Learning*
- [21.] Hwang, G.J., 2014. Definition, framework and research issues of smart learning environments-a context-aware ubiquitous learning perspective. *Smart Learning Environments*, 1(1), pp.1-14.
- [22.] Scardamalia, M. and Bereiter, C., 2006. Knowledge building. *The Cambridge*.
- [23.] Brown, E.S., Chan, T.F. and Bresson, X., 2012. Completely convex formulation of the Chan-Vese image segmentation model. *International journal of computer vision*, 98(1), pp.103-121.
- [24.] Hall, T., Strangman, N. and Meyer, A., 2003. Differentiated instruction and implications for UDL implementation. *Wakefield, MA: National Center on Accessing the General Curriculum*. Retrieved July, 29, p.2010.
- [25.] McTighe, J. and Brown, J.L., 2005. Differentiated instruction and educational standards: Is détente possible?. *Theory into practice*, 44(3), pp.234-244.
- [26.] Differentiated instruction: Inclusive strategies for standards-based learning that benefit the whole class
- [27.] Dillenbourg, P., 1999. What do you mean by collaborative learning? Collaborative learning: Cognitive and Computational Approaches, ed. P. Dillenbourg.
- [28.] Atkins, D.E., Bennett, J., Brown, J.S., Chopra, A., Dede, C., Fishman, B. and Williams, B., 2010. Transforming American education: Learning powered by technology. *Learning*, 114, p.39.
- [29.] Bennett, S., Maton, K. and Kervin, L., 2008. The 'digital natives' debate: A

critical review of the evidence. *British journal of educational technology*, 39(5), pp.775-786.

- [30.] Kim, T., Cho, J.Y. and Lee, B.G., 2012, July. Evolution to smart learning in public education: a case study of Korean public education. In IFIP WG 3.4 international conference on open and social technologies for networked learning (pp. 170-178). Springer, Berlin, Heidelberg
- [31.] Bartels, A.H., Daley, E., Parker, A., Evelson, B. and Muteba, C., 2009. Smart computing drives the new era of IT growth. *Forrester Inc*, pp.23-33.
- [32.] Bonomi, F., Milito, R., Zhu, J. and Addepalli, S., 2012, August. Fog computing and its role in the internet of things. In *Proceedings of the first edition of the MCC workshop on Mobile cloud computing* (pp. 13-16).
- [33.] P21: Partnership for 21st Century Learning, 2015. P21 framework definitions. *The Partnership for 21st century learning*, pp.1-9.
- [34.] Ananiadou, K. and Claro, M., 2009. 21st century skills and competences for new millennium learners in OECD countries.
- [35.] Gubbi, J., Buyya, R., Marusic, S., & Palaniswami, M. (2013). Internet of Things (IoT): A vision, architectural elements, and future directions. *Future generation computer systems*, 29(7), 1645-1660.
- [36.] Sundmaeker, H., Guillemin, P., Friess, P. and Woelfflé, S., 2010. Vision and challenges for realising the Internet of Things. *Cluster of European research projects on the internet of things, European Commision*, 3(3), pp.34-36.
- [37.] Bélissent, J., 2010. Getting clever about smart cities: New opportunities require new business models. *Cambridge, Massachusetts, USA*, 193, pp.244-77.
- [38.] Demir, K.A., 2021. Smart education framework. *Smart Learning Environments*, 8(1), pp.1-36.
- [39.] Zhang, G., Fang, X., Guo, X., Li, L.I., Luo, R., Xu, F., Yang, P., Zhang, L., Wang, X., Qi, H. and Xiong, Z., 2012. The oyster genome reveals stress adaptation and complexity of shell formation. *Nature*, 490(7418), pp.49-54.
- [40.] Zhu, J.K., 2016. Abiotic stress signaling and responses in plants. *Cell*, 167(2), pp.313-324.
- [41.] Bajaj, R. and Sharma, V., 2018. Smart Education with artificial intelligence based determination of learning styles. *Procedia computer science*, 132, pp.834-842.
- [42.] Hoel, T. and Mason, J., 2018. Standards for smart education—towards a development framework. *Smart Learning Environments*, 5(1), pp.1-25.

- [43.] Li, K.C. and Wong, B.T.M., 2021. Review of smart learning: Patterns and trends in research and practice. *Australasian Journal of Educational Technology*, 37(2), pp.189-204.
- [44.] Abdel-Basset, M., Manogaran, G. and Mohamed, M., 2018. Internet of Things (IoT) and its impact on supply chain: A framework for building smart, secure and efficient systems. *Future Gener. Comput. Syst.*, 86, pp.614-628.
- [45.] Bagheri, M. and Movahed, S.H., 2016, November. The effect of the Internet of Things (IoT) on education business model. In *2016 12th International Conference on Signal-Image Technology & Internet-Based Systems (SITIS)* (pp. 435-441). IEEE.
- [46.] Hammoudeh, M.A., 2012. *Comparative analysis of communication architectures and technologies for smart grid distribution network*. University of Colorado at Denver.
- [47.] Hammoudeh, M.A., Mancilla-David, F., Selman, J.D. and Papantoni-Kazakos, P., 2013, April. Communication architectures for distribution networks within the smart grid initiative. In *2013 IEEE Green Technologies Conference (GreenTech)* (pp. 65-70). IEEE.
- [48.] Ehkan, P., Kerat, N.D., Kelian, V.H., Zakaria, F.F. and Bei, S.Z., 2020, February. A Proposal of Low Cost Home Automation System Using IoT and Voice Recognition. In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* (Vol. 767, No. 1, p. 012068). IOP Publishing.
- [49.] Bagheri, A., Arandiyani, H., Boyer, C. and Lim, M., 2016. Lanthanide-doped upconversion nanoparticles: emerging intelligent light-activated drug delivery systems. *Advanced Science*, 3(7), p.1500437.
- [50.] Jenkins, H., 2009. *Confronting the challenges of participatory culture: Media education for the 21st century* (p. 145). The MIT Press.
- [51.] Qureshi, K.N., Naveed, A., Kashif, Y. and Jeon, G., 2021. Internet of Things for education: A smart and secure system for schools monitoring and alerting. *Computers & Electrical Engineering*, 93, p.107275.
- [52.] Coccoli, M., Guercio, A., Maresca, P. and Stanganelli, L., 2014. Smarter universities: A vision for the fast changing digital era. *Journal of Visual Languages & Computing*, 25(6), pp.1003-1011.
- [53.] Krug, S. and O'Nils, M., 2019. Modeling and comparison of delay and energy cost of IoT data transfers. *IEEE Access*, 7, pp.58654-58675.
- [54.] Montori, F., Bedogni, L., Di Felice, M. and Bononi, L., 2018. Machine-to-machine wireless communication technologies for the Internet of Things: Taxonomy, comparison and open issues. *Pervasive and Mobile Computing*, 50, pp.56-81.
- [55.] Mekki, K., Bajic, E., Chaxel, F. and Meyer, F., 2019. A comparative study of LPWAN technologies for large-scale IoT deployment. *ICT express*, 5(1), pp.1-7.

- [56.] Horyachyy, O., 2017. Comparison of Wireless Communication Technologies used in a Smart Home: Analysis of wireless sensor node based on Arduino in home automation scenario.
- [57.] Sundmaeker, H., Guillemin, P., Friess, P. and Woelfflé, S., 2010. Vision and challenges for realising the Internet of Things. *Cluster of European research projects on the internet of things*, *European Commision*, 3(3), pp.34-36.