

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ
ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
ΤΜΗΜΑΤΟΣ ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΗΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ



**ΔΙΑΔΙΚΤΥΟ ΤΩΝ ΠΡΑΓΜΑΤΩΝ ΚΑΙ ΔΙΚΤΥΑ 5G. ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΣΤΟΝ
ΤΟΜΕΑ ΤΟΥ HEALTHCARE ΚΑΙ AGRICULTURE**

Διπλωματική Εργασία

του/της

Τσιτσόπουλος Γεώργιος

Θεσσαλονίκη, 06/2019

ΔΙΑΔΙΚΤΥΟ ΤΩΝ ΠΡΑΓΜΑΤΩΝ ΚΑΙ ΔΙΚΤΥΑ 5G. ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΣΤΟΝ ΤΟΜΕΑ
ΤΟΥ HEALTHCARE ΚΑΙ AGRICULTURE

Τσιτσόπουλος Γεώργιος

Πτυχίο Εφαρμοσμένης Πληροφορικής, Πανεπιστήμιο Μακεδονίας, 2009

Διπλωματική Εργασία

υποβαλλόμενη για τη μερική εκπλήρωση των απαιτήσεων του

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΟΥ ΤΙΤΛΟΥ ΣΠΟΥΔΩΝ ΣΤΗΝ ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΗ
ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗ

Επιβλέπων/ουσα Καθηγητής/τρια
Ψάννης Κωνσταντίνος

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή την 25/6/2019

Όνοματεπώνυμο 1

Ψάννης Κωνσταντίνος

.....

Όνοματεπώνυμο 2

Κασκάλης Θεόδωρος

.....

Όνοματεπώνυμο 3

Ξυνογάλας Στυλιανός

.....

Τσιτσόπουλος Γεώργιος

.....

Abstract

The growth of Broadband Networks increases the devices connecting to internet. Apart from the typical examples of smartphones and tablets, we have several other devices like appliances, cars, or other small devices with sensors that collect information from the environment. The ability to connect objects to internet has created a new technology with a variety of applications called "Internet of Things". This study presents the structure and applications of IoT as well as the technologies used, such as Cloud Computing and Networks.

Several applications and system requirements in the field of Smart Healthcare and Smart Agriculture are presented in more detail. 5G networks and Cloud Computing play an important role for secure and reliable applications. Finally, a Smart Irrigation System based on weather data is proposed.

Λέξεις Κλειδιά: IoT, Cloud Computing, WSN, 5G, Network Technologies, Smart Healthcare, Smart Agriculture

Περίληψη

Τα τελευταία χρόνια παρουσιάζεται μεγάλη αύξηση των συσκευών συνδέονται στο διαδίκτυο. Πέρα από το χαρακτηριστικό παράδειγμα των smartphones, tablets έχουμε πλήθος άλλων συσκευών που έχουν δυνατότητα σύνδεσης στο διαδίκτυο. Τέτοιες συσκευές μπορεί να είναι είτε μεγάλες οικιακές συσκευές, αυτοκίνητα, είτε άλλες μικρό-συσκευές και αισθητήρες που συλλέγουν πληροφορίες από το περιβάλλον. Η δυνατότητα σύνδεσης αντικείμενων στο διαδίκτυο δημιούργησε μια νέα τεχνολογία με πληθώρα εφαρμογών το «Διαδίκτυο των Πραγμάτων ή Internet of Things». Στην παρούσα διπλωματική παρουσιάζονται η δομή και οι εφαρμογές του IoT καθώς και οι τεχνολογίες με τις οποίες συνεργάζεται όπως το Cloud Computing και τα Δίκτυα. Αναλυτικότερα παρουσιάζονται οι εφαρμογές και απαιτήσεις στον τομέα του Smart-Healthcare και Smart Agriculture και οι κατάλληλες ασύρματες τεχνολογίες που είναι απαραίτητες. Παράλληλα εξετάζουμε τα οφέλη των δικτύων 5G στις εφαρμογές IoT και στην επικοινωνία γενικότερα. Τέλος στα πλαίσια του Smart Agriculture προτείνεται μια εφαρμογή έξυπνης άρδευσης η οποία αξιοποιεί την τεχνολογία IoT για τον σωστό προγραμματισμό του ποτίσματος.

Λέξεις Κλειδιά: IoT, Cloud Computing, WSN, 5G, Network Technologies, Smart Healthcare, Smart Agriculture

Περιεχόμενα

1	Εισαγωγή.....	10
1.1	Πρόβλημα – Σημαντικότητα του θέματος.....	10
1.2	Σκοπός – Στόχοι	10
1.3	Διάρθρωση της μελέτης.....	11
2	Θεωρητικό Υπόβαθρο	12
2.1	Το Διαδίκτυο των Πραγμάτων (Internet of Things).....	12
2.1.1	Ορισμός Internet of Things	12
2.1.2	IoT Architecture	15
2.1.3	Communication Models	19
2.2	Υπολογιστικό Νέφος (Cloud Computing).....	20
2.2.1	Ορισμός	20
2.2.2	Cloud Architecture	21
2.2.3	Service Models of Cloud Computing	22
2.2.4	Deployment Models	24
2.3	Δίκτυα 5ης Γενιάς (5G).....	26
3	IoT Communication Technologies	30
3.1	Physical Layer	30
3.2	Network Layer.....	36
3.3	Transport Layer	37
3.4	Application Layer.....	37
3.5	Προκλήσεις και Προβλήματα.....	39
3.6	RFID	40
3.7	Ασύρματα Δίκτυα Αισθητήρων (WSN).....	41
3.8	Τεχνολογίες Δικτύων 5G	43
4	Εφαρμογές IoT & Smart Cities	47
4.1	Smart Cities	47
4.2	IoT Healthcare	52
4.3	IoT Agriculture	58
5	Μεθοδολογία	65
5.1	Σύστημα άρδευσης με χρήση δεδομένων site πρόγνωσης καιρού	65
5.2	Αρχιτεκτονική	66
5.3	Δεδομένα Forecast μέσω www.apixu.com	68

5.4 Δοκιμές και Αποτελέσματα	72
6 Επίλογος	76
6.1 Σύνοψη και Συμπεράσματα	76
6.2 Όρια και Περιορισμοί της Έρευνας.....	76
6.3 Μελλοντικές Επεκτάσεις.....	77
Βιβλιογραφία	78
Πηγή Εικόνων	85

Κατάλογος Εικόνων

- Εικόνα 2-1-1-1: Το Διαδίκτυο των Πραγμάτων [Πηγές Εικόνων 1]
- Εικόνα 2-1-1-2: Εξέλιξη Διαδικτύου των Πραγμάτων [1]
- Εικόνα 2-1-2-1: Αρχιτεκτονική Διαδικτύου των Πραγμάτων [8]
- Εικόνα 2-1-2-2: Επικοινωνία Cloud & Ιό [Πηγές Εικόνες 2]
- Εικόνα 2.2.1: Cloud Computing [Πηγές Εικόνες 3]
- Εικόνα 2-2-2: Cloud Αρχιτεκτονική [Πηγή Εικόνων 15]
- Εικόνα 2-2-3: Cloud Models [Πηγές Εικόνων 3]
- Εικόνα 2-2-4: Cloud-Computing-Deployment-Models [Πηγές Εικόνων 4]
- Εικόνα 2-3-1: 5G Networks [Πηγή Εικόνων 6]
- Εικόνα 2-3-2: IMT Standardization Process [Πηγή Εικόνων 5]
- Εικόνα 3-1: IoT Communication Technologies [8]
- Εικόνα 3-1-1: Wi-Fi Logo [Πηγή Εικόνων 7]
- Εικόνα 3-1-2: Bluetooth Logo [Πηγή Εικόνων 8]
- Εικόνα 3-1-3: ZigBee logo [Πηγή Εικόνων 9]
- Εικόνα 3-1-4: Z-Wave logo [Πηγή Εικόνων 9]
- Εικόνα 3-1-7: LoRa Logo [Πηγή Εικόνων 9]
- Εικόνα 3-1-8: SigFox Logo [Πηγή Εικόνων 9]
- Εικόνα 3-2-1: 6LoWPAN [Πηγή Εικόνων 9]
- Εικόνα 3.5: Εφαρμογές RFID [Πηγή Εικόνων 10]
- Εικόνα 3-5-1: Wireless Sensor Network [Πηγή Εικόνων 11]
- Εικόνα 3-7-1: WSN Τοπολογία [Πηγή Εικόνων 11]
- Εικόνα 3-8-1: Ζώνες Συχνοτήτων 5G [55]
- Εικόνα 4-1-1: Smart City [Πηγή Εικόνων 12]
- Εικόνα 4-1-2: Διαχείριση Κυκλοφορίας [Πηγή Εικόνων 13]
- Εικόνα 4-1-3: Διαχείριση Ενέργειας[5]
- Εικόνα 4-2-2: IoT Healthcare Architecture [Πηγή Εικόνων 14]
- Εικόνα 4-3-1: IoT Agriculture Αρχιτεκτονική [74]
- Εικόνα 4-3-2: IoT Agriculture [Πηγή Εικόνων 15]
- Εικόνα 6-3-1: Επιλογές API APIXU [Πηγή Εικόνων 15]
- Εικόνα 6-3-2: Παράμετροι API APIXU [Πηγή Εικόνων 15]
- Εικόνα 6-3-3: Μεταβλητές Current Weather [Πηγή Εικόνων 15]
- Εικόνα 6-3-4: Μεταβλητές Forecast Weather [Πηγή Εικόνων 15]
- Εικόνα 6-3-5: Κατάσταση καιρού- Forecast Weather [Πηγή Εικόνων 15]

Κατάλογος Πινάκων

Πίνακας 3-1: Σύγκριση ZigBee-Bluetooth-IEEE 802.11b [31]

Πίνακας 3-7-1: Σύγκριση 802.11ac με 802.11ax [73]

Πίνακας 4-2-1 Πρωτόκολλα επικοινωνίας Short Range -Healthcare[51]

Πίνακας 4-2-2 Πρωτόκολλα επικοινωνίας Long Range - Healthcare [51]

Πίνακας 4-3-3: Τεχνολογίες ασύρματης επικοινωνίας για IoT Agriculture [95]

Συμβολισμοί

Συμβολισμός	Επεξήγηση
5G	IPv6 over Low Power Wireless Personal Area Network
6LoWPAN	Application Programming Interface
API	High Efficiency Video Coding
CC	Internet of Things
CoaP	Quality of Service
D2D	Wireless Sensor Network
DDS	Data Distribution Service
GPS	Global Positioning System
HEVC	Radio Frequency Identification
IaaS	Infrastructure as a Service
IoT	Cloud Computing
IPv6	Mobile Cloud Computing
LoRA	Long Range
M2M	Δίκτυα 5ης Γενιάς
MCC	Internet Protocol version 6
MQTT	Message Queue Telemetry Transport
NB-IoT	NarrowBand-IoT
NFC	Near Field Communication
PaaS	Platform as a Service
QoS	Device-to-Device
RFID	Machine-to-Machine
RPL-IPv6	Routing Protocol for Low Power and Lossy Networks
SaaS	Software as a Service
WiFi	Constraint Application Protocol
WSN	Extensible Messaging and Presence Protocol
XMPP	Wireless Fidelity

1 Εισαγωγή

Συμφώνα με μελέτες αναμένεται το 2020 οι συσκευές που θα είναι συνδεδεμένες στο διαδίκτυο να ξεπερνούν τα 25 δις. Πέρα από τις γνωστές συσκευές όπως Laptop, Smartphones, Tablets, πλήθος αντικειμένων με ενσωματωμένους αισθητήρες και κάρτες δικτύου θα έχουν την δυνατότητα πρόσβασης στο διαδίκτυο. Το σύνολο όλων των αντικειμένων που έχουν την δυνατότητα να επικοινωνούν με το διαδίκτυο δημιούργησαν το «Διαδίκτυο των Πραγμάτων ή Internet of Things». Πέρα από την δυνατότητα σύνδεσης στο διαδίκτυο, τα αντικείμενα θα έχουν την δυνατότητα να επικοινωνούν και ανταλλάσσουν δεδομένα απευθείας μεταξύ τους. Στην βιβλιογραφία η απευθείας επικοινωνία μεταξύ συσκευών ονομάζεται ως επικοινωνία «Συσκευής-με- Συσκευή», Machine-to-Machine (M2M), Device-to-Device (D2D) [20][6].

1.1 Πρόβλημα – Σημαντικότητα του θέματος

Το Διαδίκτυο των Πραγμάτων (Internet of Things, IoT) έχει πληθώρα εφαρμογών που σκοπό έχουν να βελτιώσουν την καθημερινότητα μας σε διάφορους τομείς. Είδη έχουν κάνει την εμφάνιση τους οικιακές συσκευές με δυνατότητα απομακρυσμένης διαχείρισης όπως φούρνοι, κλιματισμός, ψυγεία. Επίσης πολύ διαδεδομένες είναι wearable συσκευές που παρακολουθούν τους παλμούς μας, την πίεση, τον χρόνο και τα χιλιόμετρα που τρέξαμε. Κάμερες που ρυθμίζουν την κυκλοφορία, έξυπνα φανάρια, αυτόνομα οχήματα είναι εφαρμογές που αναμένεται να βελτιώσουν την ποιότητα ζωής ειδικά στις μεγάλες πόλεις. Πλέον είναι δυνατόν να συλλέγουμε πληροφορίες και δεδομένα από το περιβάλλον μέσω των αντικειμένων σε σύντομο χρονικό διάστημα [1]. Η ανάπτυξη των δικτύων 5^{ης} γενιάς (5G) αναμένεται να επιτρέπει την ανταλλαγή και μετάδοση δεδομένων σχεδόν σε πραγματικό χρόνο με ελάχιστο χρόνο καθυστέρησης [21][22]. Οι πληροφορίες αυτές είναι δυνατόν να αποθηκευτούν και επεξεργαστούν ώστε να μας βοηθήσουν στην σωστή λήψη αποφάσεων με βάση τα δεδομένα που έχουμε εκείνη την στιγμή. Ωστόσο χρειάζονται και τα κατάλληλα συστήματα και η κατάλληλη υποδομή που θα μπορέσει να υποστηρίξει όλα τα παραπάνω για να έχουμε εύχρηστες και πετυχημένες εφαρμογές.

1.2 Σκοπός – Στόχοι

Το Internet of Things δεν είναι μια νέα τεχνολογία που μπορεί να σταθεί ανεξάρτητη. Συνδυάζεται και εξαρτάτε από πολλές άλλες, ώστε στο τέλος να έχουμε τα

καλύτερα αποτελέσματα με το μικρότερο κόστος. Πέρα από την συλλογή δεδομένων, έχουμε την μεταφορά, αποθήκευση, επεξεργασία και τέλος την λήψη αποφάσεων. Δεν αρκεί μόνο η λήψη και μεταφορά των δεδομένων, το σημαντικότερο ρόλο παίζει η πληροφορία που μπορούμε να εξάγουμε από τα δεδομένα. Δίκτυα, Cloud Computing, Mobile Cloud Computing και Big Data είναι τομείς που συνδυάζονται άμεσα για να πετύχουμε τα επιθυμητά αποτελέσματα. [23][24][41][63].

Ο όγκος της πληροφορίας που παράγεται από όλες τις συσκευές είναι τεράστιος. Ορισμένα ερωτήματα που προκύπτουν είναι ποιες πληροφορίες θέλουμε, που και πως θα τις μεταφέρουμε και αποθηκεύσουμε, και με ποιον τρόπο θα τις επεξεργαστούμε. Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι να παρουσιάσει τις τεχνολογίες που χρησιμοποιεί το IoT και τα οφέλη των δικτύων 5^{ης} γενιάς στην εξέλιξη του. Θα παρουσιάσουμε τις εφαρμογές σε Smart Cities [11], ειδικά στον τομέα του Healthcare και Agriculture και τις διαφορετικές τεχνολογικές απαιτήσεις που έχουν. Τέλος προτείνουμε μια εφαρμογή IoT στον τομέα του Smart Agriculture για έξυπνη άρδευση.

1.3 Διάρθρωση της μελέτης

Στο κεφάλαιο 2 παρουσιάζονται τα βασικά στοιχεία του IoT, Cloud Computing και Δικτύων 5^{ης} γενιάς. Στα κεφάλαιο 3 βλέπουμε τις βασικές τεχνολογίες επικοινωνίας των αντικειμένων, στο κεφάλαιο 4 παρουσιάζονται οι εφαρμογές του IoT στις Smart Cities. Στο κεφάλαιο 5 αφού έχουμε παρουσίαση την βασική δομή και λειτουργία του IoT, προτείνουμε ένα σύστημα για έξυπνη άρδευση το οποίο αξιοποιεί το Διαδίκτυο των Πραγμάτων και το Cloud Computing.

2 Θεωρητικό Υπόβαθρο

2.1 Το Διαδίκτυο των Πραγμάτων (Internet of Things)

Το Διαδίκτυο των πραγμάτων παρουσιάζει μεγάλη ανάπτυξη τα τελευταία χρόνια χάρη στην μείωση του κόστους των αισθητήρων και αναμένεται να αλλάξει τον τρόπο επικοινωνίας των «αντικειμένων». Με τον όρο «αντικείμενα ή objects» εννοούμε οποιαδήποτε συσκευή ανεξαρτήτου μεγέθους που έχει κάρτα δικτύου και έχει δυνατότητα σύνδεσης στο διαδίκτυο. Δεν είναι απαραίτητη η επικοινωνία των αντικειμένων να γίνεται μέσω διαδικτύου (Client-Server), αλλά μπορεί να γίνεται και απευθείας μεταξύ τους. Με αυτόν τον τρόπο θα έχουμε πλέον επικοινωνίες όχι μόνο μεταξύ χρηστών-αντικειμένων αλλά και επικοινωνία των αντικειμένων μεταξύ τους, Device-2-Device, Machine-2-Machine. [20][6].

2.1.1 Ορισμός Internet of Things

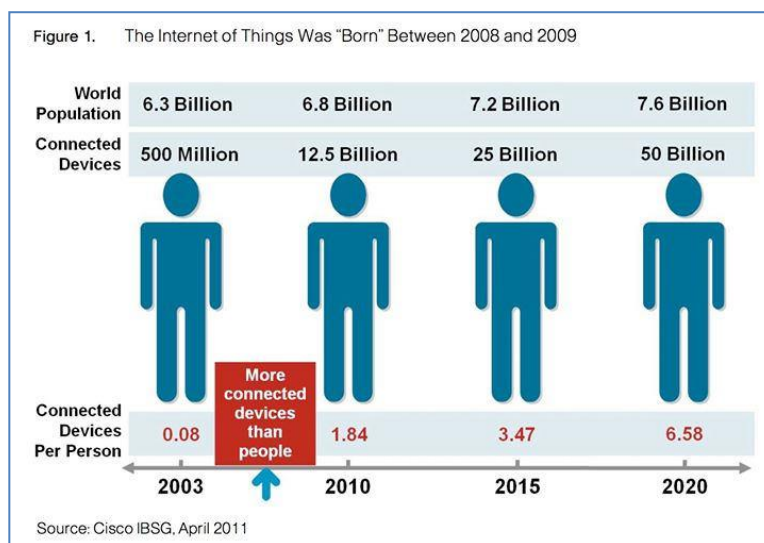
Το «Διαδίκτυο των Πραγμάτων» είναι ένας μια τεχνολογία που τώρα αναπτύσσεται, οπότε δεν υπάρχει ένας συγκεκριμένος ορισμός. Επιστημονικές κοινότητες, Τεχνολογικοί οργανισμοί, Εταιρίες παραγωγής λογισμικού & hardware το ορίζουν με διαφορετικό τρόπο ανάλογα με την οπτική που το βλέπει ο καθένας. Ιστορικά ο όρος Internet of Things εμφανίστηκε πρώτη φορά το 1999, από τον Kevin Ashton, ιδρυτή του Auto-ID Center στο MIT. Η ομάδα του πρότεινε μια μέθοδο για την σύνδεση των αντικειμένων στο διαδίκτυο μέσω ετικετών RFID [2]. Η RFID τεχνολογία έχει αναπτυχθεί για την αναγνώριση αντικειμένων μέσω της επικοινωνίας πομπού και δέκτη και αξιοποιείται σε μεγάλο βαθμό στην εφοδιαστική αλυσίδα [12].



Εικόνα 2-1-1-1: Το Διαδίκτυο των Πραγμάτων [Πηγές Εικόνων 1]

Cisco

Σύμφωνα με την Cisco το Διαδίκτυο των Πραγμάτων είναι το επόμενο βήμα του Internet που πρόκειται να αλλάξει τα πάντα. Η επίδραση που είχε το Internet στην εκπαίδευση, στις επικοινωνίες, στις επιχειρήσεις και στην καθημερινότητα μας ήταν τεράστια. Το επόμενο βήμα πλέον θα περιλαμβάνει και επικοινωνία αντικειμένων μεταξύ τους, την συλλογή δεδομένων με σκοπό την αξιοποίηση της πληροφορίας από συστήματα επεξεργασίας δεδομένων. Ενσωματωμένοι αισθητήρες σε αντικείμενα, συλλέγουν πληροφορίες από το περιβάλλον και την μετατρέπουν σε ψηφιακή μορφή ώστε να μπορεί να μεταδοθεί στο δίκτυο και επεξεργαστεί από τα συνεργαζόμενα συστήματα. Η Cisco θεωρεί σαν χρονιά εμφάνισης του IoT την στιγμή που οι συσκευές που ήταν συνδεδεμένες στο διαδίκτυο ξεπέρασαν τον πληθυσμό της γης. Η χρονιά σταθμός που οι συνδεδεμένες συσκευές ξεπέρασαν τον πληθυσμό της γης ήταν το 2010 όπου είχαμε 12,5 δις αναλογικά με τα 6.8 δις πληθυσμού. Για 1^η φορά τα αντικείμενα στο δίκτυο ξεπέρασαν τον ανθρώπινο πληθυσμό και πιο συγκεκριμένα 1,84 συσκευή αναλογούσε σε κάθε άτομο. Μέχρι το 2020 μάλιστα αναφέρεται ότι οι συσκευές αναμένεται να ξεπεράσουν τα 50 δις [1].



Εικόνα 2-1-1-2: Εξέλιξη Διαδικτύου των Πραγμάτων [1]

GSMA

Σύμφωνα με τον διεθνή οργανισμό GSMA το Internet of Things αναφέρετε στην χρήση δικτυακών έξυπνων συσκευών και συστημάτων αξιοποιώντας τα δεδομένα που συλλέγονται από ενσωματωμένους αισθητήρες σε συσκευές και αντικείμενα. Πλήθος υπηρεσιών αναμένεται να αναπτυχθούν στα επόμενα χρόνια οι οποίες θα βελτιώσουν πολλούς τομείς όπως η ποιότητα ζωής, ασφάλεια, υγεία, ενέργεια, αποδοτικότερη

διαχείριση πόρων αλλά και πλήθος άλλων καθημερινών εργασιών. Όλες οι παραπάνω υπηρεσίες διασύνδεση στο δίκτυο περιγράφονται ως «Connected Life» [3].

IEEE

Ο οργανισμός IEEE χαρακτηρίζει το IoT «σαν ένα δίκτυο αντικειμένων-με ενσωματωμένους αισθητήρες-το οποίο έχει δυνατότητα πρόσβαση στο διαδίκτυο. Σκοπός είναι να ενώσει τον φυσικό με τον ψηφιακό κόσμος μέσα από τις τεχνολογίες και πρότυπο που τώρα αναπτύσσονται. Είδη υπάρχουν πάνω από 140 projects σχετικά με εφαρμογές IoT που αναμένεται να επιταχύνουν την ανάπτυξη της αγοράς του IoT. [2]

ETSI

Ο Ευρωπαϊκός Οργανισμός Τηλεπικοινωνιακών Προτύπων είναι υπεύθυνος για τα πρότυπα και τις προδιαγραφές που αφορούν τις τηλεπικοινωνίες (mobile, internet, radio). Αν και δεν ορίζει το Internet of Things, ασχολείται με ένα μέρος του IoT που έχει να κάνει με τις επικοινωνίες Machines to Machines (M2M). Με τον όρο «Machines to Machines» εννοούμε την επικοινωνία μεταξύ δύο ή περισσότερων αντικειμένων χωρίς να χρειάζεται να παρέμβει κάποια ανθρώπινη οντότητα. Οι υπηρεσίες M2M αναμένεται να προσφέρουν πολλά πλεονεκτήματα σε υπηρεσίες αυτοματισμών. [2]

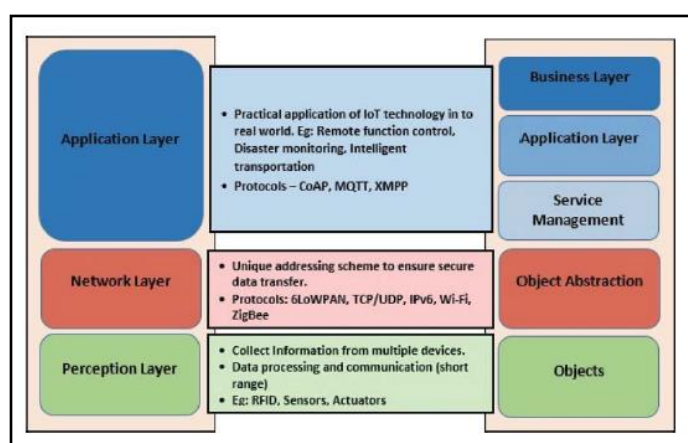
Intel

Η Intel μια από τις μεγαλύτερες εταιρίες πληροφορικής αναπτύσσει τόσο επεξεργαστές, κάρτες δικτύου και γενικά hardware για τα αντικείμενα αλλά και πλατφόρμες για ανάπτυξη εφαρμογών IoT. Σύμφωνα με την Intel το «Διαδίκτυο των Πραγμάτων» αποτελείται από τις αντικείμενα που συνδέονται στο Internet. Ωστόσο δεν αρκεί μόνο αυτό, θα πρέπει τα αντικείμενα να συλλέγουν και αναλύουν τα δεδομένα ώστε να εξάγουμε την πληροφορία που θέλουμε μέσα συστήματα και εφαρμογές που έχουν αναπτυχθεί στο Cloud, όπου έχουμε την δυνατότητα να έχουμε πιο ισχυρά συστήματα [4].

2.1.2 IoT Architecture

Το IoT θα πρέπει να μπορεί να υποστηρίξει την σύνδεση δις διαφορετικών αντικείμενων με διαφορετική δομή και τεχνολογία. Υπάρχουν διαφορετικές απόψεις σχετικά με την αρχιτεκτονική και την δομή που θα πρέπει να έχει το Διαδίκτυο των Πραγμάτων [8]. Καθώς είναι μια νέα τεχνολογία που διαμορφώνεται μέχρι και σήμερα συνεχώς νέα πρότυπα προτείνονται από την ερευνητική κοινότητα. Ωστόσο πρέπει να υπάρχει μια κοινή λογική ώστε όλοι οι οργανισμοί που συμμετέχουν στην διαμόρφωση του IoT να δημιουργήσουν μια ανοικτή κοινότητα που τα αντικείμενα της να μπορούν να συνεργάζονται μεταξύ τους. Η αρχιτεκτονική που προτείνεται από πολλούς οργανισμούς είναι ένα μοντέλο 3-επιπέδων (3-layers), και πιο συγκεκριμένα αποτελείται από το [8]:

- 1.Perception Layer
- 2.Network Layer
- 3.Application Layer



Εικόνα 2-1-2-1: Αρχιτεκτονική Διαδικτύου των Πραγμάτων [8]

1. Επίπεδο Αντίληψης - Perception Layer

Στο αρχικό στάδιο έχουμε την συλλογή της πληροφορίας από το περιβάλλον. Σε αυτό επίπεδο περιλαμβάνονται όλα τα αντικείμενα και συσκευές που μέσω αισθητήρων συλλέγουν τα δεδομένα του περιβάλλοντος και τα μετατρέπουν σε ψηφιακή μορφή. Το χαμηλό κόστος τους και η εξέλιξη των επικοινωνιών, οδήγησε στην αύξηση του αριθμού των αισθητήρων και τον όγκο των δεδομένων που παράγονται. Σε αυτό το στάδιο κάνουν την εμφάνιση τους τα Big Data [41]. Οι εφαρμογές IoT βασίζονται στα δεδομένα που συλλέγουν οι αισθητήρες από το περιβάλλον. Συνήθως είναι μικροί σε μέγεθος και έχουν χαμηλό κόστος και κατανάλωση ενέργειας. Αυτοί οι παράγοντες σε συνδυασμό με

την βελτίωση στις υποδομές διαδικτύου έχουν δώσει μεγάλη ώθηση στην ανάπτυξη του IoT. Βασικά στοιχεία για την αναγνώριση, ανίχνευση και λήψη δεδομένων είναι οι [8]:

- Sensors: συλλέγουν δεδομένα από το φυσικό περιβάλλον, αναγνωρίζουν συμβάντα και τα μετατρέπουν σε ψηφιακή μορφή για να είναι επεξεργάσιμη στα επόμενα στάδια. Οι πιο διαδεδομένοι τύποι είναι RFID, GPS, cameras, barcodes, αισθητήρες θερμοκρασίας, υγρασίας, κίνησης και δίκτυα αισθητήρων (WSN).
- Actuators: αλλάζουν την κατάσταση διάφορων αντικειμένων ανάλογα με την εντολή που λαμβάνουν. Είναι πολύ διαδεδομένοι σε αυτοματισμούς σπιτιών για ρύθμιση του φωτισμού, θερμοκρασίας και ασφάλειας.
- End-Devices ή Nodes: είναι οι συσκευές που έχουν ενσωματωμένους sensors & actuators. Αποτελούν την βάση του IoT καθώς συλλέγουν τα δεδομένα από το περιβάλλον προκειμένου να τα στείλουν για επεξεργασία σε IoT εφαρμογές. Συνήθως έχουν και μικρές κεραιές που χρησιμοποιούνται για την μετάδοση και λήψη των δεδομένων. Πέραν από το τεχνικό μέρος θα πρέπει να υποστηρίζουν και ανάλογα πρωτόκολλα για μετάδοση δεδομένων ειδικά σε κοντινές αποστάσεις.

2. Επίπεδο Δικτύου - Network Layer

Αφού γίνει η συλλογή των δεδομένων από το προηγούμενο επίπεδο, θα πρέπει τα δεδομένα να μεταφερθούν στο δίκτυο σε κάποια πλατφόρμα ή server για επεξεργασία. Το network layer συνδέει perception με το application layer. Εδώ περιλαμβάνονται όλες οι τεχνολογίες που μεταφέρουν τα δεδομένα από τους αισθητήρες, στο δίκτυο για επεξεργασία (addressing, routing). Σημαντικό ρόλο για την ταχύτητα μετάδοσης των δεδομένων παίζει η συμφόρηση που υπάρχει στο δίκτυο εξαιτίας της αύξησης του αριθμού των αισθητήρων, καθώς και η διαχείριση του δικτύου από τους αλγόριθμους δρομολόγησης που χρησιμοποιούνται [48]. Τα δεδομένα μπορούν να μεταφερθούν με διάφορα πρωτόκολλα επικοινωνίας ανάλογα με το τι υποστηρίζουν οι αισθητήρες. Το πιο διαδεδομένο πρωτόκολλο επικοινωνίας είναι το IPv6 σαν συνέχεια του IPv4 (limited addresses) όπου όλα τα αντικείμενα έχουν μια μοναδική IP στο δίκτυο. Πάνω στο IPv6 έχουν βασιστεί νέα πρωτόκολλα που δίνουν έμφαση σε εφαρμογές IoT. Ένα από αυτά είναι το 6LoWPAN. Βασικά μέρη του layer αυτού είναι τα παρακάτω [13]:

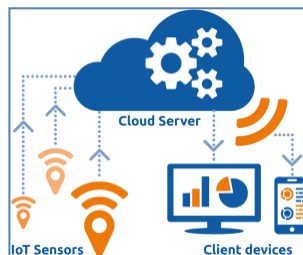
- Communication protocols: τα χρησιμοποιούν οι end-devices για επικοινωνία είτε με άλλα αντικείμενα είτε με το Cloud. Τα πιο διαδεδομένα είναι WiFi, Bluetooth, ZigBee, LoRA.

- Gateways: είναι υπεύθυνοι για να δρομολογούν τα δεδομένα των αισθητήρων στο διαδίκτυο. Είναι η ενδιάμεση συσκευή που συνδέει τους sensors με το διαδίκτυο. Πολλές φορές ειδικά σε μικρούς αισθητήρες που έχουν μικρή ισχύ και εμβέλεια χρησιμοποιούνται IoT Gateways για να μεταδίδουν εκ μέρους τους την πληροφορία στο δίκτυο. Υποστηρίζουν μεγάλο αριθμό πρωτοκόλλων όπως Zigbee, 6LoWPAN, IEEE 802.15.4 ώστε να καλύπτουν όλους τους διαφορετικούς τύπους αισθητήρων.

3. Επίπεδο Εφαρμογής - Application Layer

Είναι το πιο σημαντικό επίπεδο καθώς αποτελεί τον ενδιάμεσο φορέα μεταξύ χρήστη και εφαρμογής. Στο επίπεδο αυτό επεξεργάζονται όλα τα δεδομένα που συλλέχθηκαν. Επίσης περιλαμβάνονται όλες οι εφαρμογές IoT που μπορούν να χρησιμοποιήσουν οι χρήστες για να αξιοποιήσουν τα δεδομένα. Οι χρήστες μπορούν να ελέγχουν απομακρυσμένα αντικείμενα όπως έξυπνες οικιακές συσκευές. Εδώ υπάρχουν όλες οι υπολογιστικές μονάδες για την επεξεργασία δεδομένων. Ορισμένες είναι με μικρή υπολογιστική ισχύ αλλά με μεγάλη χρήση σε μικρό-εφαρμογές IoT όπως είναι τα Arduino και Rasbery PI. Για εφαρμογές που χρειάζονται μεγαλύτερη υπολογιστική ισχύ έχουν αναπτυχθεί πλατφόρμες στο cloud. Λειτουργικά συστήματα που χρησιμοποιούνται για εφαρμογές IoT είναι τα TinyOS, Contiki και Cooja [2][14][92]. Βασικά μέρη είναι:

- IoT Cloud Platform: Είναι online πλατφόρμες που έχουν μεγάλους υπολογιστικούς πόρους. Βρίσκονται σε datacenter με μεγάλο αποθηκευτικό χώρο, επεξεργαστική ισχύ και virtual servers. Εδώ αποθηκεύονται τα δεδομένα που συλλέγονται από τα nodes και παρουσιάζονται μέσα από api, γραφικές αναπαραστάσεις στους χρήστες ανάλογα με την εφαρμογή.
- Software Applications: χρησιμοποιούνται από smartphones, tablets, laptops και επιτρέπουν στους χρήστες να έχουν πρόσβαση στα nodes και να μπορούν να τα χειρίζονται απομακρυσμένα.



Εικόνα 2-1-2-2: Επικοινωνία Cloud & IoT [Πηγές Εικόνες 2]

Πέρα από την αρχιτεκτονική των 3-layer, πολλοί οργανισμοί διαχωρίζουν ακόμη περισσότερο κάποια επίπεδα με αποτέλεσμα να συναντάμε και αρχιτεκτονική 5-layer. Κάποια από τα επιπλέον διαδεδομένα επίπεδα είναι τα Business, Object, Fog Layer [13].

Business Layer

Το επίπεδο αυτό έχει να κάνει με το εμπορικό κομμάτι του IoT και πως οι επιχειρήσεις θα επωφεληθούν οικονομικά από τις εφαρμογές IoT. Εφαρμογές και εργαλεία είναι διαθέσιμες για online χρήση τόσο από κινητές όσο και σταθερές συσκευές. Οι εφαρμογές μπορεί να είναι είτε δωρεάν είτε με συνδρομή και προσφέρουν παρακολούθηση των δεδομένων τους. Στην συνέχεια τα δεδομένα αυτά μπορούν να χρησιμοποιούνται από άλλα συστήματα όπως ERP και BI Tools που ανήκουν σε αυτό το επίπεδο.

Object Layer

Είναι αντίστοιχο του perception και έχει να κάνει με το αρχικό στάδιο της συλλογής των δεδομένων από διαφορετικές συσκευές και αισθητήρες. Αφού συλλέξει τα δεδομένα τα ψηφιοποιεί και τέλος τα μεταδίδει στα επόμενα επίπεδα.

FOG Layer

Είναι ένα ενδιάμεσο layer, ανάμεσα στο physical layer και Network layer. Αντί να ανεβαίνουν όλα τα δεδομένα στο Cloud γίνεται επεξεργασία τους σε κοντινότερα μέρη ώστε να έχουμε γρηγορότερη μετάδοση και επεξεργασία των δεδομένων [75]. Με αυτόν τον τρόπο γίνεται ένα φιλτράρισμα των δεδομένων και διακινούνται όλα στο Cloud. Η ανάπτυξη του Fog Layer και Edge Computing έχει πολλά οφέλη στην συνολική λειτουργία του δικτύου [75].

2.1.3 Communication Models

Πέρα από την κλασική σημερινή επικοινωνία client-server με το IoT θα είναι δυνατή η απευθείας επικοινωνία μεταξύ των αντικειμένων χωρίς κάποιον ενδιάμεσο server. Οι device-to-device ή machine-to-machine επικοινωνίες [6] θα προσφέρουν πολλαπλά οφέλη στην διάδοση της πληροφορίας αλλά και στην διαχείριση της από συστήματα λήψης αποφάσεων που θα αναπτυχθούν. Τα βασικότερα μοντέλα επικοινωνίας μεταξύ αντικειμένων είναι τα: [14]

a. Device-To-Device

Αναφέρεται στην επικοινωνία 2 ή περισσότερων αντικειμένων που επικοινωνούν απευθείας μεταξύ τους. Το μοντέλο αυτό χρησιμοποιείτε σε εφαρμογές αυτοματισμού σπιτιού, που συνήθως μεταδίδουν μικρά πακέτα που δεν έχουν απαιτήσεις υψηλής ταχύτητας μετάδοσης δεδομένων. Το πρόβλημα που εντοπίζεται σε αυτό το μοντέλο είναι ότι οι συσκευές για να επικοινωνούν μεταξύ τους θα πρέπει να υποστηρίζουν το ίδιο πρωτόκολλο, επομένως εμφανίζονται περιπτώσεις ασυμβατότητας μεταξύ συσκευών διαφορετικών κατασκευαστών.

b. Device-To-Cloud

Αναφέρεται στην επικοινωνία ενός αντικειμένου απευθείας με κάποια Cloud πλατφόρμα. Αυτό προϋποθέτει ότι οι συσκευές έχουν την δυνατότητα σύνδεσης στο διαδίκτυο μέσω κάποιας ενσωματωμένης κάρτας δικτύου. Τα αντικείμενα αυτά είναι συνήθως πιο σύνθετα τεχνολογικά και έχουν υψηλές απαιτήσεις σε ενέργεια. Ορισμένα χαρακτηριστικά παραδείγματα είναι οι τηλεοράσεις SmartTV όπου συνδέονται με διαδικτυακές πλατφόρμες για streaming video. Επίσης αυτό το μοντέλο χρησιμοποιείτε για απομακρυσμένη διαχείριση συσκευών μέσω δικτύου.

c. Device-To-Gateway

Αναφέρεται στην σύνδεση στο διαδίκτυο ή σε μια Cloud πλατφόρμα των αντικείμενων μέσω ενός ενδιάμεσου κόμβου. Το αντικείμενο αυτό ονομάζεται gateway και λειτουργεί ως διαμεσολαβητής προσφέροντας υπηρεσίες δικτύωσης, ασφάλειας και υποστήριξης πολλαπλών πρωτοκόλλων. Χαρακτηριστικό παράδειγμα τέτοιων συσκευών είναι τα router στο σπίτι μας και τα smartphones (Hot Spot) οπου λειτουργούν σαν τοπικός router.

Περιορισμοί & Προβλήματα IoT

- Mobility: πέρα από τους σταθερούς, υπάρχουν και κινητοί αισθητήρες που συνεχώς μετακινούνται (wearable sensor). Αυτό σημαίνει ότι μπορεί να μην υπάρχει κάλυψη δικτύου για την αποστολή των δεδομένων. Επίσης η αλλαγή δικτύου πριν την αποστολή όλων των δεδομένων και τα πακέτα που χάνονται είναι ένα άλλο σημαντικό ζήτημα.
- Reliability & real-time actuation: Εφαρμογές που χειρίζονται κρίσιμα δεδομένα απαιτούν πολύ μικρό latency. Με την υπάρχουσα υποδομή μπορεί να υπάρχουν καθυστερήσεις στην μεταφορά δεδομένων που μπορούν να αποβούν κρίσιμες στα αποτελέσματα των εφαρμογών IoT.
- Capacity: Η συνεχής αύξηση των συσκευών σε μια περιοχή δημιουργεί καθυστέρηση στην μετάδοση των δεδομένων. Τα συστήματα δεν μπορούν να ανταπεξέλθουν στον μεγάλο αριθμό συσκευών και στον μεγάλο όγκο δεδομένων.

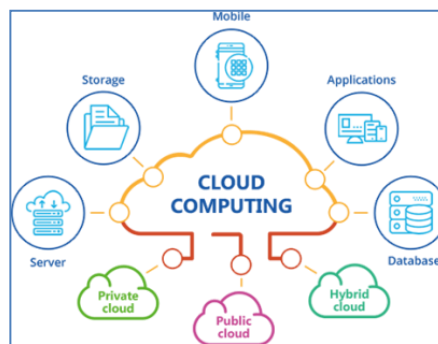
2.2 Υπολογιστικό Νέφος (Cloud Computing)

Μέχρι και πριν λίγα χρόνια, όταν θέλαμε να χρησιμοποιήσουμε κάποια εφαρμογή θα έπρεπε να την αγοράσουμε και να κάνουμε την εγκατάσταση της στον υπολογιστή μας ή το laptop μας. Τα τελευταία χρόνια ωστόσο παρατηρούμε πολλές εφαρμογές που δεν χρειάζεται να τις έχουμε τοπικά στις συσκευές μας, αλλά μπορούμε να τις χρησιμοποιήσουμε μέσω του Internet, αρκεί να έχουμε κάποιον browser και πρόσβαση στο web. Χαρακτηριστικά παραδείγματα τέτοιων εφαρμογών είναι το email μας, όπου η εφαρμογή υπάρχει σε κάποιον απομακρυσμένο server του οργανισμού, και εμείς συνδεόμαστε μέσω τις σελίδας τους με τα credential μας για να τσεκάρουμε τον λογαριασμό μας. Η αύξηση στην αγορά κινητών συσκευών που έχουν υπολογιστική ισχύ, δυνατότητα σύνδεσης στο διαδίκτυο και η βελτίωση της ταχύτητας σύνδεσης στο διαδίκτυο οδήγησε στην ανάπτυξη του Υπολογιστικού Νέφους ή Cloud Computing.

2.2.1 Ορισμός

Στην βιβλιογραφία με τον όρο Cloud Computing εννοούμε ένα νέο μοντέλο όπου όλοι οι υπολογιστικοί πόροι που χρειάζονται οι χρήστες είναι διαθέσιμοι στο διαδίκτυο χωρίς να απαιτείτε η φυσική παρουσία στον χώρο του χρήστη. Στο σύνολο των υπολογιστικών πόρων πέρα από εφαρμογές και υπηρεσίες, περιλαμβάνεται και hardware υποδομή (servers, storage, network) και πλατφόρμες ανάπτυξης εφαρμογών (frameworks, libraries).

Το National Institute Standards and Technology (NIST) ορίζει το Cloud Computing ως «το μοντέλο εκείνο που επιτρέπει την on-demand δικτυακή πρόσβαση σε μια μεγάλη γκάμα από υπολογιστικούς πόρους (όπως είναι networks, servers, storage, εφαρμογές και υπηρεσίες) οι οποίοι μπορούν με την ελάχιστη προσπάθεια να ρυθμιστούν γρήγορα και εύκολα με τέτοιο τρόπο ώστε να αξιοποιούνται από τους χρήστες» [9]. Το υπολογιστικό νέφος αποτελείται από δύο μέρη, το front-end και το back-end. Το front είναι στην ουσία αυτό που βλέπουν και αλληλοεπιδρούν οι χρήστες ενώ το back-end είναι η υποδομή που υπάρχει στο cloud. Για παράδειγμα ο χρήστης μέσω του front-end εφαρμογών της Google θέλει να ελέγξει τα δεδομένα του στο Google drive του, η εφαρμογή συνδέεται με κάποιον απομακρυσμένο server στο cloud, αντίστοιχα ο server στο back-end βρίσκει που είναι αποθηκευμένα τα αρχεία του χρήστη και στέλνει την αντίστοιχη απάντηση πίσω στον χρήστη.



Εικόνα 2.2.1 Cloud Computing [Πηγές Εικόνες 3]

2.2.2 Cloud Architecture [9]

- a. Hardware Layer: Εδώ περιλαμβάνονται όλοι οι φυσικοί πόροι που είναι απαραίτητη για την λειτουργία του Cloud Computing. Ορισμένοι από αυτούς είναι τα router & switch που υποστηρίζουν την δικτυακή δομή, οι server, τα αποθηκευτικά μέσα αλλά και η ενεργειακή υποδομή όπως ups, ηλεκτρολογικοί πίνακες κλπ.
- b. Infrastructure Layer: Ονομάζεται αλλιώς και Virtualization layer. Εδώ ενοποιούνται όλα τα resources όπως cpu, ram, storage με διάφορα εργαλεία ώστε ο τελικός χρήστης να βλέπει συνολικά την υποδομή σαν ένα κομμάτι. Δηλαδή μπορεί να υπάρχουν πολλοί σκληροί δίσκοι αλλά ο τελικός χρήστης βλέπει έναν με χωρητικότητα το σύνολο τους. Ένα από τα πιο γνωστά εργαλεία που χρησιμοποιούνται είναι το VMware [25].
- c. Platform Layer: Αποτελεί το βασικό layer της υποδομής καθώς εδώ περιλαμβάνεται τα λειτουργικά συστήματα που υποστηρίζουν την λειτουργία του «Νέφους».

- d. Application Layer: Εδώ στην ουσία έχουμε το front-end του *Cloud Computing* καθώς περιλαμβάνει όλες τις υπηρεσίες, εφαρμογές που έχουν πρόσβαση οι χρήστες.



Εικόνα 2-2-2 Cloud Αρχιτεκτονική [Πηγή Εικόνων 15]

2.2.3 Service Models of Cloud Computing [26]

a. Software as a Service (SaaS)

Είναι η πιο διαδεδομένη υπηρεσία που χρησιμοποιούν οι χρήστες. Όλες οι εφαρμογές στο διαδίκτυο που χρησιμοποιούμε όπως είναι τα mail μας, κοινωνικά δίκτυα, streaming video περιλαμβάνονται σε αυτή την κατηγορία. Οι υπηρεσίες μπορεί να είναι είτε δωρεάν (mail) είτε με κάποια συνδρομή ανάλογα με την υπηρεσία που θέλει να χρησιμοποιήσει ο χρήστης (Amazon Web Services). Στις υπηρεσίες που υπάρχουν σε αυτό το μοντέλο, ο χρήστης μπορεί να χρησιμοποιεί εφαρμογές, χωρίς όμως να μπορεί να επέμβει στην δομή της εφαρμογής. Οποιαδήποτε αλλαγή μπορεί να κάνει ο χρήστης προϋποθέτει ότι το επιτρέπει ο δημιουργός. Το Gmail, Yahoo, Hotmail είναι χαρακτηριστικό παράδειγμα υπηρεσιών αυτού του μοντέλου, με εκατομμύρια καθημερινούς χρήστες. Πέρα από υπηρεσίες mail, τελευταία έχει αλλάξει και ο τρόπος που αποθηκεύουν οι χρήστες τα δεδομένα τους. Υπηρεσίες όπως Dropbox, Google Drive προσφέρουν κάποιον αριθμό Gigabyte δωρεάν στους χρήστες, αλλά και με πληρωμή και περισσότερο αποθηκευτικό χώρο. Επίσης εφαρμογές επεξεργασίας κειμένου που είχαμε συνηθίσει να τις χρησιμοποιούμε τοπικά στους υπολογιστές μας, όπως είναι το Microsoft Office πλέον η Microsoft τις προσφέρει με συνδρομή και στο cloud μέσω στις εφαρμογής Office 365. Τέλος με την ανάπτυξη των smartphones (android, iphone)

παρατηρούμε την ραγδαία ανάπτυξη εφαρμογών για την κοινή χρήση αρχείων μεταξύ διαφορετικών συσκευών (iCloud, Google Drive).

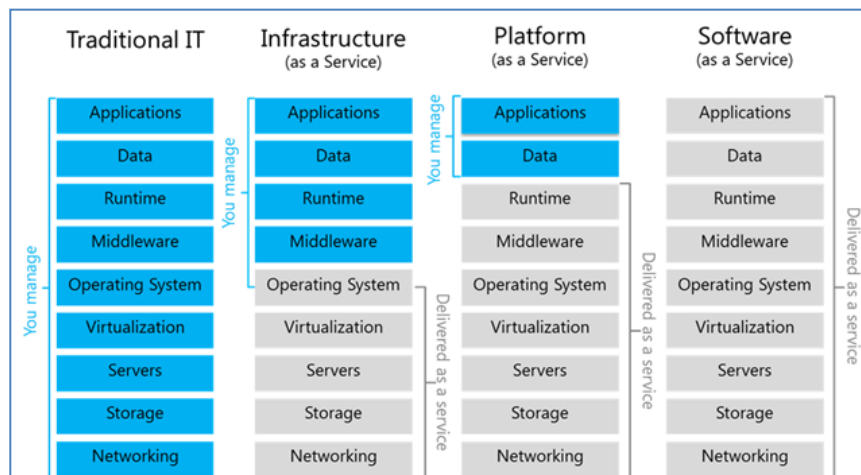
b. Platform as a Service (PaaS)

Σε αυτό το επίπεδο επιτρέπεται στον χρήστη να αναπτύξει εφαρμογές ή υπηρεσίες αξιοποιώντας την υποδομή που υπάρχει στο Cloud. Παρέχεται μια πλατφόρμα, όπου ο χρήστης μπορεί να χρησιμοποιήσει γλώσσες προγραμματισμού, βιβλιοθήκες, υπηρεσίες και άλλα διαθέσιμα εργαλεία. Ο χρήστης δεν μπορεί να επέμβει την υποδομή όπως τους servers, networks, storage, operating systems, αλλά του επιτρέπεται η διαχείριση τους ώστε να μπορέσει να αναπτύξει την εφαρμογή που θέλει. Ωστόσο, θα πρέπει να ξέρει κάποιες βασικές πληροφορίες τις υποδομής όπως τον server, την ip, το port που είναι ρυθμισμένη η εφαρμογή, ώστε να μπορεί κάποιος από το δίκτυο να την χρησιμοποιήσει. Χαρακτηριστικά παραδείγματα εφαρμογών σε αυτό το επίπεδο είναι οι εφαρμογές που φιλοξενούν ιστοσελίδες. Οι administrators μπορούν να ανανεώνουν το περιεχόμενο της σελίδας, να κάνουν αλλαγές σε διάφορες λειτουργίες, αλλά έχουν περιορισμένα δικαιώματα σχετικά με την υποδομή που φιλοξενεί την ιστοσελίδα. Ο αποθηκευτικός χώρος που χρησιμοποιεί η ιστοσελίδα δεν μπορεί να επεξεργαστεί απευθείας από αυτούς. Θα πρέπει πρώτα με την ανάλογη πληρωμή να αναβαθμιστεί το storage. Άλλο παράδειγμα είναι το περιβάλλον Microsoft Azure όπου ο χρήστης μπορεί να χρησιμοποιήσει γλώσσες προγραμματισμού όπως .NET, Java, Python, Ruby, Android για την δημιουργία εφαρμογών.

c. Infrastructure as a Service (IaaS)

Σε αυτό το επίπεδο επιτρέπεται στον χρήστη να έχει πρόσβαση στους πόρους του «Νέφους» όπως είναι servers, storage, networks, operating systems και άλλους υπολογιστικούς πόρους για να μπορέσει να αναπτύξει τις εφαρμογές και υπηρεσίες που θέλει. Δεν ελέγχει την υποδομή του Cloud, αλλά έχει τον έλεγχο των λειτουργικών συστημάτων, αποθηκευτικών χώρων και άλλων εργαλείων. Σε σχέση με τα προηγούμενα επίπεδα, ο χρήστης έχει τις περισσότερες ελευθερίες ανάλογα με την συνδρομή που πληρώνει. Πολλές εταιρίες έχουν εκμεταλλευτεί το μοντέλο αυτό για την ανάπτυξη της υποδομής τους καθώς δεν χρειάζεται να αγοράζουν και να συντηρούν φυσικό εξοπλισμό, αλλά νοικιάζουν online πόρους από διάφορες εταιρίες (Amazon, IBM) για να καλύψουν τις ανάγκες τους. Τα πλεονεκτήματα είναι πάρα πολλά καθώς πέρα από το την υποστήριξη που έχουν για τον εξοπλισμό που νοικιάζουν, μπορούν εύκολα και γρήγορα

να αναβαθμίσουν και αυξήσουν τον εξοπλισμό τους. Επειδή είναι μια νέα υπηρεσία το μόνο πρόβλημα είναι η ασφάλεια των δεδομένα στο Cloud. Αν και οι τεχνολογίες προστασίας των δεδομένων στο Cloud είναι πιο ενημερωμένες και προσφέρουν περισσότερες δικλίδες ασφαλείας [61] σε σχέση με τους τοπικούς server, πολλές εταιρίες φοβούνται για την ασφάλεια και προστασία των δεδομένων τους στο Cloud. Αυτό έχει να κάνει κυρίως με την έλλειψη εμπιστοσύνης για την αποθήκευση των δεδομένων σε άγνωστα μέρη.



Εικόνα 2-2-3: Cloud Models [Πηγές Εικόνων 3]

2.2.4 Deployment Models

Παραπάνω είδαμε τις διάφορες εφαρμογές που έχουν αναπτυχθεί και αξιοποιήσει την υποδομή του Cloud Computing. Όπως είδαμε και παραπάνω με τον όρο Cloud Computing εννοούμε την χρησιμοποίηση εφαρμογών και υπηρεσιών που δεν βρίσκονται στην συσκευή τους αλλά κάπου απομακρυσμένα στο δίκτυο. Στην ουσία όπως οι τοπικές εφαρμογές είναι αποθηκευμένες στον σκληρό δίσκο του υπολογιστή μας, στο Cloud η αποθήκευση βρίσκεται σε μεγάλους οργανισμούς σε οργανωμένα data center, που αποτελούνται από σύγχρονους servers, storage κλπ. Μία άλλη κατηγορία διαχωρισμού του Cloud, είναι με βάση τα δικαιώματα πρόσβασης. Υπάρχουν συνολικά 3 κύριες κατηγορίες οι οποίες παρουσιάζονται παρακάτω: [9]

a. Public Cloud

Η υποδομή του Cloud είναι ελεύθερη διαμοιραζόμενη προς όλους τους χρήστες είτε δωρεάν είτε με συνδρομή ανάλογα με τις υπηρεσίες που χρησιμοποιούν. Οι χρήστες μπορεί να είναι είτε ιδιώτες, φοιτητές, μέλη επιχειρήσεων ή συνδυασμός και μπορούν

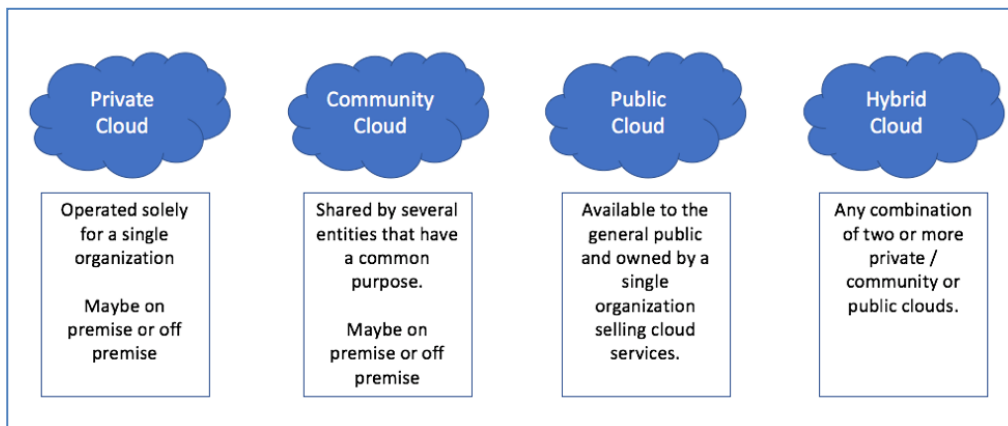
ανάλογα με τον πάροχο που θέλουν να χρησιμοποιήσουν λογισμικό, hardware και πλατφόρμα που θέλουν.

b. Private Cloud

Η υποδομή είναι διαθέσιμη μόνο για μια συγκεκριμένη ομάδα ανθρώπων. Συνήθως μεγάλες εταιρίες έχουν τέτοια υποδομή όπου έχουν μεγάλα data center και προσφέρουν τις υπηρεσίες τους μόνο για τα μέλη τους. Τέτοια παραδείγματα μπορεί να είναι η υποδομή πανεπιστημίων που είναι διαθέσιμη μόνο για τα μέλη και τους φοιτητές του ή σε εταιρίες για τους υπαλλήλους και συνεργάτες τους.

c. Hybrid Cloud

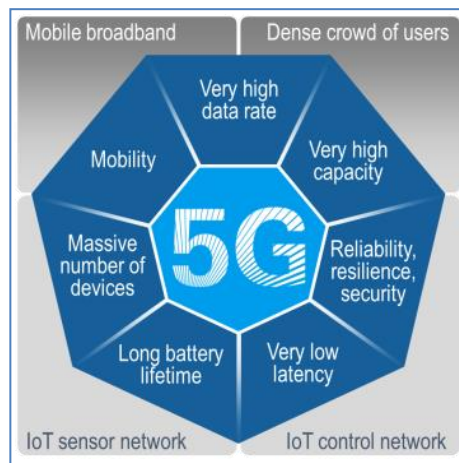
Αυτή η υποδομή χρησιμοποιεί ένα συνδυασμό και από τις δύο προηγούμενες υποδομές ανάλογα με τις ανάγκες που υπάρχουν. Υπάρχει η τοπική υποδομή και ανάλογα με τις επιπλέον ανάγκες γίνεται συνδρομή σε υπηρεσίες public cloud.



Εικόνα 2-2-4: Cloud-Computing-Deployment-Models [Πηγές Εικόνων 4]

2.3 Δίκτυα 5ης Γενιάς (5G)

Η αύξηση των αριθμών των συσκευών όπως smartphones, tablets, με δυνατότητα σύνδεση στο internet δημιουργεί μεγάλες απαιτήσεις για την ποιότητα υπηρεσιών που προσφέρουν οι εταιρίες κινητής τηλεφωνίας. Μπορεί να υπήρξε μεγάλη διαφορά ανάμεσα στις ταχύτητες των δικτύων 3^{ης} και 4^{ης} γενιάς ωστόσο οι απαιτήσεις τα επόμενα χρόνια μεγαλώνουν ραγδαία με αποτέλεσμα να υπάρχει ανάγκη για βελτίωση των υπηρεσιών. Εφαρμογές Internet of Things, M2M επικοινωνίες, Video Streaming 4K, Mobility των συσκευών, Τηλεϊατρική δεν μπορούν να υποστηριχθούν από την υπάρχουσα υποδομή. Το 2020 αναμένεται οι συνδεδεμένες συσκευές στο δίκτυο να είναι 25 δις, και το data traffic 1000 φορές μεγαλύτερο. Τα δίκτυα 5^{ης} γενιάς αναμένεται να καλύψουν το κενό αλλά και όλα τα δεδομένα που ξέραμε μέχρι σήμερα στις ασύρματες επικοινωνίες. Θα προφέρουν χαμηλή καθυστέρηση (low latency) μικρότερη του 1MS και ροή δεδομένων μεγαλύτερη του 1Gbps [21].



Εικόνα 2-3-1 5G Networks [Πηγή Εικόνων 6]

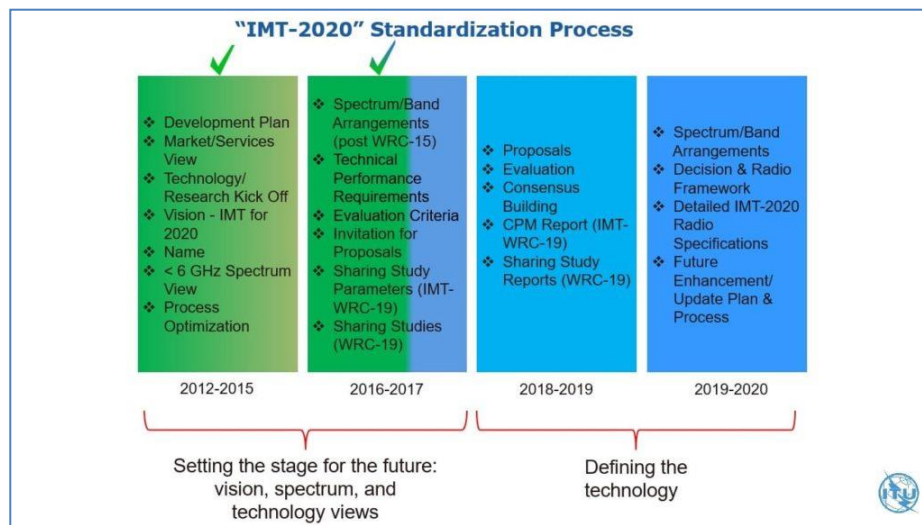
Χαρακτηριστικά και στόχοι Δικτύων 5G [32][33][35][36]

- a. Μαζική Χωρητικότητα και Συνδεσιμότητα (Massive Connectivity and Capacity): Μεγάλος αριθμός συσκευών σε μικρό χώρο θα μπορούν να συνδέονται ταυτόχρονα στο δίκτυο. Προβλήματα επικοινωνίας που μπορεί σήμερα να υπάρχουν όταν μεγάλος αριθμός χρηστών προσπαθεί να συνδεθεί στο δίκτυο ταυτόχρονα στον ίδιο χρόνο θα εξαλειφθούν.
- b. Αύξηση Ρυθμού Μετάδοσης Δεδομένων: Αύξηση του ρυθμού μετάδοσης δεδομένων. Οι ταχύτητες αναμένεται να ξεπεράσουν το 1Gbps. Αυτό αναμένεται να επιτευχθεί με διεύρυνση του υφιστάμενου φάσματος [55].

- c. Απόκριση (Latency): Μείωση της καθυστέρησης για την αποστολή των δεδομένων από τον πομπό στον δέκτη στο ελάχιστο (<1MS). Σημαντικό για ανάπτυξη εφαρμογών που το latency παίζει σημαντικό ρόλο (healthcare, autonomous vehicles).
- d. Ενέργεια: Μείωση του ενεργειακού κόστους λειτουργίας του δικτύου. Σήμερα η μετάδοση δεδομένων των smartphones γίνεται μέσω των ίδιων κυψελών που χρησιμοποιούνται από την τηλεφωνία, οι οποίες έχουν υψηλές ενεργειακές απαιτήσεις. Στόχος είναι να υπάρχουν περισσότερες και μικρότερες κεραιές που θα υποστηρίξουν την υποδομή, μειώνοντας ταυτόχρονα και το συνολικό κόστος του δικτύου.
- e. Συμβατότητα: Η εμφάνιση νέων τεχνολογιών όπως IoT, M2M, συσκευών όπως smartphones, sensors, autonomous vehicles, έχει ως αποτέλεσμα την εμφάνιση διαφορετικών συσκευών με διαφορετικές τεχνολογίες και απαιτήσεις. Η ίδια υποδομή θα μπορεί να υποστηρίξει και να συνδέει όλα τα διαφορετικά αντικείμενα.
- f. Spectral Efficiency: Καλύτερη διαχείριση του φάσματος με την αξιοποίηση διαφορετικών τεχνολογιών όπως MIMO κεραιές, Wifi. Σήμερα χρησιμοποιούμε συχνότητες κάτω από τα 6GHz. Με τα 5G προβλέπεται χρήση πάνω από τα 10GHz που μπορεί να φτάσει σύμφωνα με την Nokia και τα 100GHz. Οι συχνότητες που θα χρησιμοποιούνται και θα είναι από 10GHz και πάνω δεν θα έχουν απώλειες που θα οφείλονται σε ακραίες καιρικές συνθήκες. Οι απώλειες που θα μπορεί να υπάρξουν θα είναι αμελητέες σε σχέση με τους ρυθμούς μετάδοσης που θα έχουμε [55]. Επίσης θα υπάρξουν αλλαγές στην σημερινή τοπολογία, καθώς θα μεταφερθούμε από τις μεγάλες και σε περιορισμένο αριθμό κυψέλες, σε μικρότερες και περισσότερες κεραιές. Σαν στόχος είναι οι κυψέλες να έχουν μικρή απόσταση μεταξύ τους, αξιοποιώντας παράλληλα και την τεχνολογία WiFi ώστε να μπορούν να καλύψουν τον μεγάλο αριθμό χρηστών [35].

Ερευνητικά Προγράμματα

Η Διεθνής Ένωση Τηλεπικοινωνιών (ITU) είναι ένας φορέας που συντονίζει την δημιουργία και λειτουργία δικτύων και τεχνολογίες επικοινωνιών. Τα μέλη της είναι τόσο κυβερνήσεις (193) όσο και ιδιωτικές εταιρίες (700) δικτύων και πληροφορικής. Η ITU καθορίζει τα πρότυπα και τις προδιαγραφές, διανέμει το φάσμα και κάθε άλλη ενέργεια που χρειάζεται για την ομαλή λειτουργία όλων των επικοινωνιών. Το 2012 η ITU ξεκίνησε το πρόγραμμα IMT-2020 που έχει να κάνει με μελέτες και έρευνες για την ανάπτυξη των δικτύων 5^{ης} γενιάς. Στην παρακάτω εικόνα βλέπουμε την εξέλιξη του 5G από το 2012.



Εικόνα 2-3-2: IMT Standardization Process [Πηγή Εικόνων 5]

Σύμφωνα με τον οργανισμό ITU [35] αλλά και άλλες μελέτες που είναι σε εξέλιξη [36][55] οι ελάχιστες απαιτήσεις που θα πρέπει να ικανοποιούν τα δίκτυα 5G είναι:

Ελάχιστες Δυνατότητες Δικτύων 5G

- Ελάχιστο εύρος ζώνης 100MHz. Μέγιστο πάνω από 6GHz
- Ελάχιστη σύνδεση 1 εκατ. συσκευών / ανά 1 τετραγωνικό χιλιόμετρο
- Download peak data rate 20Gbps – Uplink peak data 10Gbps
- Ταχύτητες χρήστη - Download: 100Mbps / Upload: 50Mbps
- 1000 φορές μεγαλύτερη χωρητικότητα
- 10 φορές μεγαλύτερη φασματική απόδοση
- 10 φορές μεγαλύτερη ενεργειακή απόδοση
- Σχετικά με τις κυψέλες θα πρέπει να έχουν 25 φορές καλύτερη απόδοση [36]

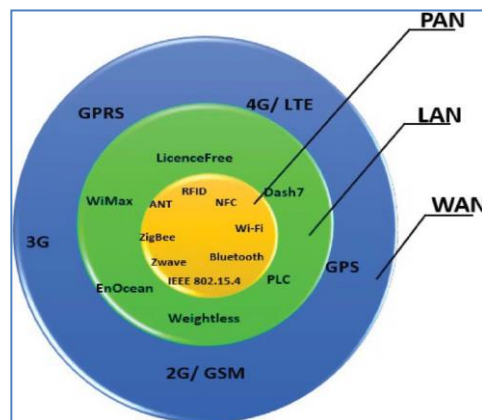
Τα προηγούμενα δίκτυα χρησιμοποιούσαν σταθερά block συχνοτήτων του φάσματος, τα 5G θα υποστηρίζουν την αξιοποίηση όλων των διαθέσιμων συχνοτήτων του φάσματος αλλά και επιπλέον διαθέσιμες τεχνολογίες (Wi-Fi) για την καλύτερη παροχή υπηρεσιών στους χρήστες. Θα πρέπει να εξελιχθούν οι μέθοδοι TDMA,FDMA ώστε να είναι δυνατή η σύνδεση πολλών αντικειμένων και να μειωθεί το latency. Νέος σχεδιασμός στην υποδομή, στις κυψέλες, στις κεραίες (MIMO antennas) θα πρέπει να δημιουργηθεί ώστε να υποστηριχθούν οι απαιτήσεις των δικτύων [22].

Εφαρμογές που θα επωφεληθούν από τα Δίκτυα 5G

- Healthcare: Η τηλεϊατρική έχει παρουσιάσει τεράστια ανάπτυξη τα τελευταία χρόνια. Ωστόσο εξαιτίας των χαμηλών ταχυτήτων των δικτύων δεν μπορούσαν να υλοποιηθούν εφαρμογές όπως η απομακρυσμένη ρομποτική ιατρική, όπου είναι απαραίτητος ο μηδενικός χρόνος απόκρισης μεταξύ γιατρού και μηχανής.
- Autonomous Vehicles: Τα αυτοκίνητα χωρίς οδηγό λειτουργούν με ένα πλήθος από αισθητήρες, οι οποίοι επικοινωνούν τόσο με το cloud, όσο και με τα κοντινά αυτοκίνητα και κεραίες που βρίσκονται στον δρόμο. Στόχος είναι να έχουν όλα τα δεδομένα από το περιβάλλον που κινούνται και μέσα από ανεπτυγμένα συστήματα τεχνητής νοημοσύνης να προσφέρουν ασφαλείς μετακινήσεις. Η γρήγορη μετάδοση δεδομένων μεταξύ των αυτοκινήτων και των υπόλοιπων συστημάτων είναι κομβικής σημασίας για την αποφυγή ατυχημάτων. Τα δίκτυα 5^{ης} γενιάς θα συμβάλουν στην ανάπτυξη αυτής της τεχνολογίας.

3 IoT Communication Technologies

Με την ανάπτυξη του IoT πλέον πέρα από την επικοινωνία των χρηστών μεταξύ τους, θα είναι δυνατόν η επικοινωνία αντικειμένων μεταξύ τους. Για την επικοινωνία των αντικειμένων υπάρχει πληθώρα διαφορετικών τεχνολογιών επικοινωνίας. Υπάρχουν διαφορετικοί τύποι αισθητήρων ανάλογα με τα δεδομένα που συλλέγουν, την περιοχή που βρίσκονται και την συνδεσιμότητα που έχουν. Βασικό διαχωρισμός ανάμεσα στους αισθητήρες ή nodes, είναι ο τρόπος σύνδεσης στο διαδίκτυο. Αυτό μπορεί να γίνει είτε απευθείας είτε μέσω κάποιου ενδιάμεσου κόμβου (gateway). Συνήθως οι φθηνοί αισθητήρες που έχουν μικρή υπολογιστική ισχύ και ενεργειακές ανάγκες χρησιμοποιούν κάποιο gateway για να στέλνουν τα δεδομένα στο διαδίκτυο. Αισθητήρες που έχουν την δυνατότητα σύνδεσης στο διαδίκτυο είναι πιο πολύπλοκοι και έχουν μεγαλύτερες απαιτήσεις σε ενέργεια. Ορισμένα από τα πιο διαδεδομένα πρωτόκολλα που χρησιμοποιούνται για τις ασύρματες επικοινωνίες είναι τα Wifi, Bluetooth, Zibgee, 6LoWPAN, RFID, NFC [30]. Η ανάπτυξη των δικτύων 5^{ης} γενιάς αναμένονται να βελτιώσει πάρα πολύ της κινητές επικοινωνίες και γενικά τον τρόπο επικοινωνίας των αντικείμενων. Νέες τεχνολογίες επικοινωνίας είναι απαραίτητες για να μπορούν να υποστηρίξουν τις απαιτήσεις των 5G. Παρακάτω θα παρουσιάσουμε ορισμένες από τις βασικές τεχνολογίες επικοινωνίας.



Εικόνα 3-1: IoT Communication Technologies [8]

3.1 Physical Layer

Στο Physical Layer οι αισθητήρες κωδικοποιούν σε bits τα δεδομένα που συλλέγουν, και τα στέλνουν στο δίκτυο. Η ταχύτητα και συχνότητα μετάδοσης εξαρτάτε από το πρωτόκολλο επικοινωνίας που χρησιμοποιείται. Κάποιες από τις πιο γνωστές ασύρματες τεχνολογίες επικοινωνίας είναι το Wifi, Bluetooth, Zibgee, 6LoWPan, RFID

και NFC. Τα πιο διαδεδομένα πρωτόκολλα που χρησιμοποιούνται για κοντινές αποστάσεις είναι τα παρακάτω [30][17]:

Short Range

a. Wifi (802.11) – Short Range

Το Wifi είναι το πιο διαδεδομένο πρωτόκολλο επικοινωνίας που χρησιμοποιείτε τόσο σε σπίτια όσο και σε δημόσιους χώρους. Πετυχαίνει υψηλές ταχύτητες μετάδοσης δεδομένων και μπορεί να υποστηρίξει μεγάλο αριθμό χρηστών. Υπάρχουν πολλές διαφορετικές εκδόσεις (a, b, g, n, ac) με την πιο διαδεδομένη να είναι η οικιακή 802.11n. Αποτελείτε από 1 base station, το γνωστό router που έχουμε όλοι στο σπίτι μας στο οποίο συνδέονται τα nodes. Εκπέμπει στα 2.4GHz, έχει υψηλό ρυθμό μετάδοσης (54Mbps) και εμβέλεια περίπου στα 100m. [17]



Εικόνα 3-1-1: Wi-Fi Logo [Πηγή Εικόνων 7]

b. Bluetooth-BLE – Short Range

Μια πολύ διαδεδομένη τεχνολογία short-range επικοινωνιών, ιδιαίτερα στις κινητές συσκευές είναι το Bluetooth. Χρησιμοποιείτε πάρα πολύ από wearable συσκευές για την σύνδεση με τα smartphones και την ανταλλαγή δεδομένων. Η δομή του βασίζεται στην αρχιτεκτονική master-slave και μπορεί να υποστηρίξει μέχρι 7 ταυτόχρονες συνδέσεις. Τα IoT αντικείμενα έχουν χαμηλή κατανάλωση ενέργειας επομένως θα πρέπει να χρησιμοποιούν και αντίστοιχα πρωτόκολλα επικοινωνίας. Μια έκδοση του Bluetooth χαμηλής κατανάλωσης ενέργειας είναι το BLE (Bluetooth Low Energy). Τα βασικά χαρακτηριστικά του είναι εκπέμπει στα 2,4GHz, με εμβέλεια μικρότερη των 100m και ταχύτητα μετάδοσης 1Mbps. Η τελευταία έκδοση Bluetooth 5.0 εστιάζει στην επικοινωνία με IoT αντικείμενα, ενώ δεν είναι συμβατή με παλιότερες εκδόσεις. Αναμένεται να διπλασιάσει την ταχύτητα μετάδοσης δεδομένων, να οκταπλασιάσει τον αριθμό μετάδοσης δεδομένων και να βελτιώσει το εύρος κάλυψης δεδομένων. Προβλέπεται να χρησιμοποιείτε σε εφαρμογές Smart-Home, όπου όλα τα

αντικείμενα θα συνδέονται στο master node, και ο χρήστης θα μπορεί να έχει την απομακρυσμένη διαχείριση τους. [17]



Εικόνα 3-1-2: Bluetooth Logo [Πηγή Εικόνων 8]

c. ZigBee

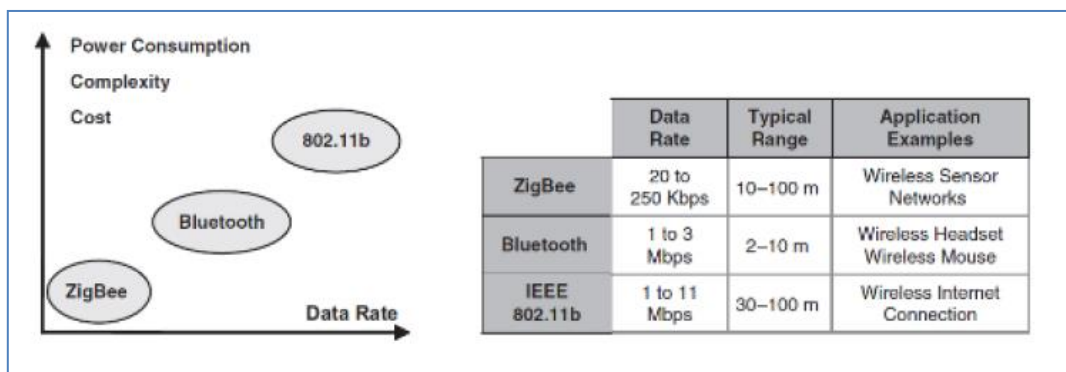
Το ZigBee είναι ένα πρωτόκολλο για ασύρματες επικοινωνίες το οποίο είναι οικονομικότερο σε σχέση με το Bluetooth καθώς υποστηρίζει λειτουργία αδράνειας για μεγαλύτερη εξοικονόμηση ενέργειας. Επίσης βασικό χαρακτηριστικό του είναι ότι χρησιμοποιείτε για την μετάδοση μικρού μεγέθους πακέτων δεδομένων. Η δομή του βασίζεται στο πρότυπο IEEE 802.15.4, εκπέμπει στις συχνότητες 868MHz, 915MHz, 2.4GHZ με ταχύτητες 250Kbps, 40Kbps και 20Kbps αντίστοιχα. Έχει μεγάλη χρήση σε εφαρμογές που θέλουν χαμηλή κατανάλωση ενέργειας, μεγάλο αριθμό συσκευών και δεν υπάρχουν απαιτήσεις για υψηλούς ρυθμούς μετάδοσης δεδομένων. Για την κάλυψη μεγάλης απόστασης, υποστηρίζει την τοπολογία πλέγματος, ώστε τα δεδομένα να μεταφέρονται μέσω ενδιάμεσων κόμβων. Η δυνατότητα δημιουργίας ad-hoc δικτύων είναι σημαντική καθώς συμβάλει στην οικονομία καθώς δεν απαιτείτε κάποια συσκευή (router, δρομολογητής) ελέγχου της ροής του δικτύου. [31]



Εικόνα 3-1-3: ZigBee logo [Πηγή Εικόνων 9]

Τα 3 παραπάνω πρωτόκολλα επικοινωνίας είναι αυτά που χρησιμοποιούνται μαζικά από μεγάλο αριθμό συσκευών. Στον παρακάτω πίνακα παρατηρούμε τα διαφορετικά χαρακτηριστικά που έχουν. Βλέπουμε τις διαφορές που έχουν σε εμβέλεια, ταχύτητα, πολυπλοκότητα και ενεργειακό κόστος.

Πίνακας 3-1: Σύγκριση ZigBee-Bluetooth-IEEE 802.11b [31]



d. Z-Wave [13]

Είναι και αυτό ένα πρωτόκολλο χαμηλής κατανάλωσης το οποίο έχει εφαρμογή σε αυτοματισμούς κτηρίων, όπως διαχείριση λαμπτήρων κλπ. Εκπέμπει στα 1GHz με ταχύτητα 100Kbit/s και εμβέλεια 30m. Τα πλεονεκτήματα σε σχέση με τα υπόλοιπα πρωτόκολλα, είναι ότι δεν έχει παρεμβολές καθώς εκπέμπει σε διαφορετική συχνότητα από τα 2.4 GHz των Wifi, ZigBee, ενώ μπορεί να υποστηρίξει full mesh τοπολογίες έως 232 συνδεδεμένες συσκευές. Το αρνητικό είναι ότι είναι ένα κλειστό πρωτόκολλο που ανήκει στην εταιρία Sigma Designs. [34]



Εικόνα 3-1-4: Z-Wave logo [Πηγή Εικόνων 9]

e. IEEE 802.15.4 [8][13]

Είναι το πρώτο πρωτόκολλο που σχεδιάστηκε για εφαρμογές αισθητήρων και το βασικό χαρακτηριστικό του είναι ότι έχει χαμηλό κόστος και κατανάλωση. Υποστηρίζει και τις 3 τοπολογίες δικτύου (point, star, mesh) και μπορεί να συνδέσει μέχρι 65535 nodes. Χρησιμοποιείται από τα χαμηλότερα layer του μοντέλου OSI (Physical, MAC) και σε αυτό στηρίζονται πρωτόκολλα επομένων layer όπως ZigBee, 6LoWPAN. Η χαμηλή ισχύς του είναι το βασικό πλεονέκτημα του, και είναι κατάλληλο για εφαρμογές που δεν θέλουμε να αλλάζουμε μπαταρίες για χρόνια. Η εμβέλεια του είναι γύρω στα 10m με ταχύτητα 250kbps.

f. NFC – Short Range [34]

Είναι ένα πρωτόκολλο που επιτρέπει την ασφαλή μετάδοση δεδομένων μεταξύ 2 αντικειμένων σε κοντινή απόσταση μεταξύ τους. Χρησιμοποιείτε σε μεγάλο βαθμό από smartphones, για εφαρμογές ανέπαφων χρηματικών συναλλαγών και αναγνώρισης ταυτότητας χρήστη. Εκπέμπει στα 13,56MHz, έχει μικρή εμβέλεια στα 10cm και υποστηρίζει μικρή ταχύτητα αποστολής δεδομένων (100-420Kbps). Είναι η εξέλιξη των τεχνολογιών RFID, Bluetooth καθώς βασίζεται στην κοντινή επαφή για ανταλλαγή δεδομένων μεταξύ 2 συσκευών, χωρίς να απαιτείτε η σύζευξη όπως στο Bluetooth.



Εικόνα 3-1-6: NFC Logo [Πηγή Εικόνων 9]

Long Range

Χαρακτηριστικό όλων των παραπάνω πρωτοκόλλων επικοινωνίας είναι ότι πρέπει να έχουν μικρή απόσταση από τον gateway. Ωστόσο υπάρχουν εφαρμογές που οι αισθητήρες θα πρέπει να καλύπτουν απομακρυσμένες περιοχές, η θα μετακινούνται συνεχώς. Επομένως δημιουργείται η ανάγκη για μεγαλύτερη εμβέλεια. Ορισμένα πρωτόκολλα που χρησιμοποιούνται για αποστολή δεδομένων σε μεγάλες αποστάσεις χιλιομέτρων είναι τα παρακάτω: [30][17]

a. LoRAWAN – Long Range

Μια τεχνολογία για εφαρμογές με μεγαλύτερη εμβέλεια (WAN) είναι το LoRAWAN. Προσφέρει χαμηλή κατανάλωση ενέργειας και είναι διαδεδомένο στην επικοινωνία IoT, M2M σε εφαρμογές Smart Cities που θέλουν να συνδέσουν αντικείμενα που δεν βρίσκονται κοντά σε δίκτυο. Καθώς εκπέμπει σε μεγάλη απόσταση, μπορεί να υποστηρίξει και μεγάλο αριθμό αντικείμενων για την ταυτόχρονη σύνδεση στο δίκτυο, με ταχύτητες 0.3-50kbps. Τέλος έχει εμβέλεια 5 χιλ σε αστικό περιβάλλον και 15 χιλ σε μη αστικό περιβάλλον.



Εικόνα 3-1-7: LoRa Logo [Πηγή Εικόνων 9]

b. Sigfox – Long Range [34]

Είναι μια πολύ διαδεδομένη τεχνολογία με μεγάλη εμβέλεια και χαμηλή κατανάλωση. Κατηγοριοποιείται ανάμεσα στο Wifi και τις Cellular επικοινωνίες. Καθώς το Wifi έχει περιορισμένη κάλυψη δικτύου και οι Cellular επικοινωνίες μεγάλο ενεργειακό κόστος, το κενό αυτό το καλύπτει το Sigfox. Χρησιμοποιεί ISM (Industrial-Scientific-Medical) ζώνες συχνοτήτων που είναι ελεύθερες και δεν απαιτούν άδεια χρήσης. Είναι κατάλληλο για εφαρμογές M2M που θέλουν να στέλνουν μικρά πακέτα δεδομένων και να έχουν μεγάλη διάρκεια ζωής, χωρίς να απαιτείτε η συχνή αλλαγή μπαταριών. Ειδικά για εφαρμογές που καλύπτουν μεγάλη επιφάνεια είναι κατανοητό ότι θα ήταν αδύνατο να αλλάζουμε συνεχώς τις μπαταρίες από τους αισθητήρες ώστε να λειτουργούν σωστά. Γίνεται αποτελεσματική διαχείριση της ενέργειας καθώς λειτουργεί μόνο όταν θέλει ο αισθητήρας να στείλει δεδομένα. Έχει σχεδιαστεί για χαμηλές ταχύτητες μετάδοσης δεδομένων και είναι κατάλληλο για εφαρμογές παρακολούθησης απομακρυσμένων περιοχών. (συναγερμοί, έλεγχος θερμοκρασίας, πυρκαγιάς, ποιότητας εδάφους σε αγροτικές εφαρμογές). Έχει εμβέλεια 10 χιλ σε αστικό περιβάλλον και 50 χιλ σε μη αστικό περιβάλλον και ταχύτητα 10-100bps.



Εικόνα 3-1-8: SigFox Logo [Πηγή Εικόνων 9]

c. Cellular – Long Range [34]

Αν και είναι ένα πρωτόκολλο που έχει υψηλές ενεργειακές απαιτήσεις είναι κατάλληλο σε εφαρμογές που βρίσκονται απομακρυσμένες από υποδομή σταθερού δικτύου και χρειάζεται να χρησιμοποιήσουν την υποδομή των δικτύων 3G/4G. Οι συχνότητες που χρησιμοποιούνται είναι 900/1800/1900/2100MHz, οι ταχύτητες 35-170kps (GPRS), 120-384kbps (EDGE), 384Kbps-2Mbps (UMTS), 600kbps-10Mbps (HSPA), 3-10Mbps (LTE) και το Range: 35km max for GSM; 200km max for HSPA



Εικόνα 3-1-9: Cellular Logo [Πηγή Εικόνων 9]

d. NB-IoT (NarrowBand-IoT) – Long Range [28]

Είναι ένα νέο πρωτόκολλο (2018) στα πλαίσια ανάπτυξης των δικτύων 5^{ης} γενιάς 5G. Είναι κατάλληλο για M2M επικοινωνίες χρησιμοποιώντας ζώνες συχνοτήτων των cellular επικοινωνιών, οι οποίες δεν χρησιμοποιούνται από το υπάρχον LTE πρότυπο δικτύων 4G. Εκπέμπει στα 180KHz με ταχύτητες 250Kbits. Το χαρακτηριστικό είναι το χαμηλό latency 1.5 sec. Το NB-IoT είναι κατάλληλο για αστικά περιβάλλοντα και μπορεί να υποστηρίξει μεγάλο αριθμό αντικείμενων χρησιμοποιώντας σταθμούς βάσης, όπως και τα σημερινά δίκτυα κινητής τηλεφωνίας. Το βασικό χαρακτηριστικό του δικτύου είναι η χαμηλή κατανάλωση ενέργειας που επιτρέπει την αλλαγή μπαταριών κάθε 10-15 χρόνια. Τέλος το πλεονέκτημα σε σχέση με τα υπόλοιπα δίκτυα είναι η ασφάλεια, η διασύνδεση διαφορετικών αντικείμενων και η συνεργασία με τα υπόλοιπα διαθέσιμα δίκτυα (2G,3G,4G).

3.2 Network Layer

Το Network Layer είναι υπεύθυνο για την αποστολή των δεδομένων στο δίκτυο. Τα δεδομένα χωρίζονται σε μικρότερα πακέτα δεδομένων τα οποία έχουν μια μοναδική διεύθυνση αποστολής (IP). Το πιο διαδεδομένο πρωτόκολλο αυτής της κατηγορίας είναι το IPv6 το οποίο όμως δεν είναι κατάλληλο για εφαρμογές IoT. Η εξέλιξη του IPv6 για το IoT, είναι το 6LoWPAN το οποίο είναι κατάλληλο για ασύρματα δίκτυα αισθητήρων (WSN) με χαμηλή κατανάλωση ενέργειας.

a. 6LoWPAN

Είναι ένα πρωτόκολλο το οποίο βασίζεται στο IP, ώστε όλα τα αντικείμενα να έχουν μια διεύθυνση IP. Ωστόσο επειδή για εφαρμογές IoT το IP έχει μεγάλο κόστος, το κενό αυτό ήρθε να καλύψει το 6LoWPAN, καθώς μεταδίδει λιγότερα δεδομένα σε σύγκριση με το IP. Αυτό το πετυχαίνει συμπιέζοντας το μήκος της κεφαλίδας του IPv6 (127 bytes). Το IPv6 μπορεί να στείλει μέγιστο μέγεθος πακέτο 1280 bytes. Το 6LoWPAN χρησιμοποιεί το IEEE 802.15.4 για την αποστολή των πακέτων, το οποίο στέλνει πακέτα 127bytes, αντί για 1280 bytes του IPv6. Για να μπορεί να γίνει η μετάδοση των μεγαλύτερο μεγέθους δεδομένων, το 6LoWPAN κάνει χωρίζει τα πακέτα σε μικρότερα (κατακερματισμός). Χρησιμοποιεί mesh τοπολογία, όπου όλοι οι αισθητήρες έχουν κάποια ip και μέσω router ή gateway επικοινωνούν με το δίκτυο

χρησιμοποιώντας ωστόσο σύντομες διευθύνσεις σε αντίθεση με το IPv6 [34]. Εκπέμπει μόνο στα 2.4GHz με ταχύτητα 250Kbps.



Εικόνα 3-2-1: 6LoWPAN [Πηγή Εικόνων 9]

3.3 Transport Layer

Το Transport Layer είναι υπεύθυνο για την δρομολόγηση των πακέτων από τον αποστολέα στον λήπτη μέσω ενδιάμεσων κόμβων. Παράλληλα γίνεται έλεγχος παράδοσης πακέτων, εντοπισμός και επιδιόρθωση σφαλμάτων. Τα πιο διαδεδομένα είναι το TCP, UDP ενώ για IoT εφαρμογές το RPL.

a. RPL-IPv6 (Routing Protocol for Low Power and Lossy Networks)

Έχει σχεδιαστεί για δίκτυα 6LoWPAN για να διαχειρίζεται μη παραδομένα πακέτα κατά την μετάδοση, εξασφαλίζοντας την ενεργειακή απόδοση του δικτύου. Το πρωτόκολλο χρησιμοποιεί την καλύτερη διαδρομή για την παράδοση ενός πακέτου δεδομένων μέσω των ενδιάμεσων κόμβων, ώστε τα δεδομένα να αποσταλούν με το μικρότερο latency. Επίσης όταν κάποιος κόμβος δεν είναι διαθέσιμος, στέλνει τα δεδομένα μόλις είναι διαθέσιμος για καλύτερη ενεργειακή απόδοση του δικτύου.

3.4 Application Layer

Εδώ περιλαμβάνονται πρωτόκολλα για την ανταλλαγή δεδομένων μεταξύ εφαρμογών, αντικειμένων μεταξύ τους, αντικειμένων με servers. Παρατηρούμε ότι τα δεδομένα μεταδίδονται μεταξύ διαφορετικών συστημάτων. Σκοπός των πρωτοκόλλων αυτού του επιπέδου είναι η μετάδοση της πληροφορίας ώστε να μπορεί να αποθηκευτεί και επεξεργαστεί στα επόμενα επίπεδα και όχι στην δομή και τεχνολογία που έχει το κάθε αντικείμενο. Αναλυτικά παρακάτω παρουσιάζουμε τα βασικά πρωτόκολλα επικοινωνίας του Application Layer [13][17] :

a. MQTT (Message Queue Telemetry Transport) [17]

Είναι ένα πρωτόκολλο ανταλλαγής μηνυμάτων για την μεταφορά δεδομένων από nodes. Στοχεύει σε nodes με μικρές δυνατότητες που βρίσκονται σε απομακρυσμένες

περιοχές με περιορισμένη δικτυακή κάλυψη και στέλνουν μικρό μέγεθος δεδομένων. Είναι ιδιαίτερα διαδεδομένο σε M2M επικοινωνίες. Η αρχιτεκτονική που χρησιμοποιείται είναι client-server και το μοντέλο επικοινωνίας publish-subscribe. Όλα τα nodes που θέλουν να στείλουν κάποια πληροφορία συνδέονται στον server ή broker. Οι αισθητήρες ανάλογα με τα δεδομένα που συλλέγουν, αφού στείλουν τα δεδομένα, αυτά ταξινομούνται στην κατάλληλη κατηγορία στον broker. Στην συνέχεια όποιος θέλει να μάθει κάποια πληροφορία σχετικά με τα δεδομένα που συλλέγει ο αισθητήρας, την ζητάει από τον broker και όχι από τον αισθητήρα. Με αυτόν τον τρόπο ειδικά για IoT εφαρμογές που τα nodes έχουν χαμηλές δυνατότητες πετυχαίνουμε μεγάλη οικονομία. Οι αισθητήρες στέλνουν τα δεδομένα ανάλογα με τον προγραμματισμό τους μόνο μια φορά στον broker και ο κάθε ενδιαφερόμενος επικοινωνεί με τον broker όσες φορές θέλει. Σε αντίθετη περίπτωση που πολλές εφαρμογές θα θέλανε κάποια πληροφορία από τον ίδιο αισθητήρα θα είχαμε πολλές ενεργειακές απώλειες.

b. CoAP (Constraint Application Protocol) [17]

Είναι κατάλληλο για αντικείμενα με χαμηλές απαιτήσεις που θέλουν να επικοινωνήσουν με το διαδίκτυο. Χρησιμοποιείται από απλούς αισθητήρες, σε δίκτυα αισθητήρων και από συσκευές που οι χρήστες θέλουν να τις ελέγχουν απομακρυσμένα από το διαδίκτυο. Είναι παρόμοιο με το πρωτόκολλο HTTP αλλά προσαρμοσμένο για συσκευές που έχουν περιορισμένους πόρους. Σε αντίθεση με το HTTP που χρησιμοποιεί TCP, για λόγους οικονομίας το CoAP χρησιμοποιεί UDP. Τέλος για λόγους αξιοπιστίας χρησιμοποιούνται οι μέθοδοι GET, PUT, POST, DELETE για την ανταλλαγή δεδομένων.

c. XMPP (Extensible Messaging and Presence Protocol) [17]

Είναι ένα πρωτόκολλο που σχεδιάστηκε για εφαρμογές chat και ανταλλαγής μηνυμάτων και στηρίζεται στην ανταλλαγή δεδομένων με XML. Υπερτερεί σε σχέση με το CoAP καθώς υποστηρίζει συγχρονισμένη και ασύγχρονη επικοινωνία σε TCP. Το αρνητικό του είναι ότι βασίζεται σε XML που απαιτεί μεγάλη υπολογιστική ισχύ και ενέργεια αντίστοιχα. Είναι ιδανικό για επικοινωνία real-time σε κοντινές αποστάσεις καθώς έχει χαμηλό latency και αφήνει μικρό footprint. Είναι κατάλληλο για IoT εφαρμογές καθώς ο κάθε κόμβος στέλνει μικρά κομμάτια XML σε πολλούς διαφορετικούς κόμβους στο δίκτυο. Προσφέρει πολλά οφέλη καθώς υποστηρίζει την κρυπτογράφηση του καναλιού επικοινωνίας και authentication του κάθε κόμβου.

d. DDS (Data Distribution Service) [17]

Χρησιμοποιεί το μοντέλο publish/subscribe για την επικοινωνία των κόμβων ενός δικτύου. Όπως και στο MQTT, ο κάθε κόμβος που θέλει να στείλει κάποια δεδομένα κάνει publish την πληροφορία, την οποία την κατηγοριοποιεί σε θέματα (topics) ανάλογα με τον τύπο δεδομένων που συλλέγει. Στην συνέχεια το DDS μεταδίδει τα δεδομένα στον παραλήπτη.

3.5 Προκλήσεις και Προβλήματα

Η τεχνολογία επικοινωνίας που χρησιμοποιείτε εξαρτάτε από πολλούς παράγοντες όπως απαιτήσεις εφαρμογής, κινητικότητα, τοποθεσία, κόστος και ενεργειακές απαιτήσεις. Ωστόσο αυτό που είναι απαραίτητο και επιθυμεί ο χρήστης είναι η αποτελεσματική μετάδοση των δεδομένων και η αξιοπιστία. Το Quality of Service προς τους χρήστες είναι από τους σημαντικότερους στόχους του IoT. Για να γίνει αυτό θα πρέπει να καθοριστούν οι τρόποι που θα καλυφθούν διάφοροι τεχνικοί περιορισμοί. Ορισμένοι από αυτούς είναι ο μεγάλος αριθμός συσκευών που συνδέονται στο δίκτυο, η κινητικότητα τους και το ενεργειακό κόστος λειτουργίας τους. Θα ήταν αδύνατο να αλλάζουμε σε τόσο μεγάλο αριθμό συσκευών μπαταρίες σε σύντομο χρονικό διάστημα. Στο IoT κυρίαρχο ρόλο παίζουν οι ασύρματες επικοινωνίες. Οι συνθήκες που υπάρχουν σε ένα δίκτυο αλλάζουν συνεχώς και εξαρτάται από τον αριθμό των συσκευών που συνδέονται ταυτόχρονα, από τον όγκο των δεδομένων που μεταφέρονται και από τον τεχνολογικό εξοπλισμό. Χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι η τηλεφωνική επικοινωνία σε περιπτώσεις εορτών ή φυσικών καταστροφών όπου ταυτόχρονα πολλοί χρήστες προσπαθούν να μιλήσουν στο τηλέφωνο. Αντίστοιχα με την διάδοση των smartphones, μπορεί πολλές συσκευές να θέλουν να στείλουν multimedia δεδομένα όπως video ή ήχο. Σε αυτές τις περιπτώσεις παρατηρείτε καθυστέρηση η απώλεια πακέτων που δεν είναι επιθυμητό για τους χρήστες. Θα πρέπει η υποδομή που θα επιλεγεί να μπορεί να προσφέρει την καλύτερη ποιότητα υπηρεσιών προς τους χρήστες λαμβάνοντας υπόψη όλα τα δεδομένα [60][67][69]. Η παρακάτω μελέτη παρουσιάζει μια ανάλυση δικτύου για μεταφορά multimedia δεδομένων. Εντοπίζεται ότι σε σχέση με τα ενσύρματα δίκτυα, είναι δύσκολο να πετύχουμε ίδια αποτελέσματα μετάδοσης σε ασύρματες multihop επικοινωνίες, ειδικά όταν έχουμε μεγάλο όγκο δεδομένων. Προτείνεται ένας αλγόριθμος ανάλυσης δικτύου για την μεταφορά multimedia δεδομένων σε ασύρματα δίκτυα στο IoT. Αφού γίνει ανάλυση του δικτύου για να βρεθεί η καλύτερη διαδρομή (χρόνο,

κόστος), γίνεται συμπίεση και φιλτράρισμα των δεδομένων με αποτέλεσμα να έχουμε μικρότερη καθυστέρηση μετάδοσης δεδομένων και packet loss [38].

Ζητήματα Ασφαλείας [42]

- Προσωπικά δεδομένα που συλλέγουν οι αισθητήρες.
- Επίθεση σε αισθητήρες
- Υποκλοπή δεδομένων
- Έλεγχο πρόσβασης
- Σπατάλη ενέργειας αισθητήρα ώστε να μην είναι λειτουργικός

3.6 RFID

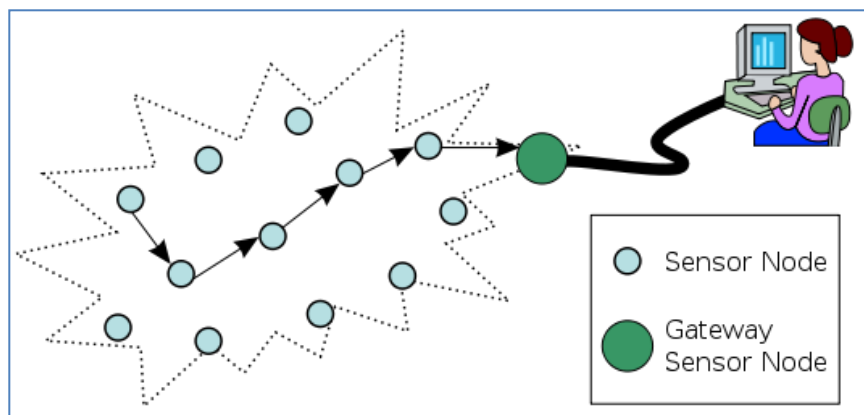
Η τεχνολογία «ταυτοποίησης μέσω ραδιοσυχνότητας» (Radio-Frequency-Identification) είναι στην ουσία ο προπομπός του IoT. Είναι μια τεχνολογία πολύ καλά δοκιμασμένη αφού εμφανίστηκε κατά τον Β' Παγκόσμια πόλεμο για την αναγνώριση των πολεμικών αεροπλάνων. Στόχος αυτής της τεχνολογίας είναι η αναγνώριση, ταυτοποίηση και ανίχνευση των αντικειμένων [12]. Αυτό επιτυγχάνεται με τον εξής τρόπο. Η λογική της τεχνολογίας του RFID αποτελείται από 2 μέρη τον πομπό και τον δέκτη. Οι πομποδέκτες (tags) είναι μικρά chips τα οποία έχουν μνήμη στις οποίες αποθηκεύουμε όλες τις πληροφορίες του αντικείμενου. Είναι γνωστά και ως barcode που τα συναντάμε καθημερινά στα εμπορικά προϊόντα που αγοράζουμε. Πέρα από την μνήμη οι πομποδέκτες έχουν και μια μικρή κεραία για να μπορούν να αλληλοεπιδρούν με τους δέκτες. Οι δέκτες (readers) έχουν και αυτοί κεραία και μία μονάδα ελέγχου όπου επεξεργάζονται τα δεδομένα που συλλέγουν. Η λειτουργία τους βασίζεται στην αμφίδρομη επικοινωνία μεταξύ πομπού-δέκτη όταν έρθουν σε κοντινή επαφή. Οι εφαρμογές που υπάρχουν είναι πάρα πολλές με ποιο χαρακτηριστικό παράδειγμα τα barcode στα προϊόντα super market[16].



Εικόνα 3.5 Εφαρμογές RFID [Πηγή Εικόνων 10]

3.7 Ασύρματα Δίκτυα Αισθητήρων (WSN)

Με τον όρο «Ασύρματο δίκτυο αισθητήρων» εννοούμε ένα δίκτυο από μεγάλο αριθμό αντικείμενων τα οποία έχουν ενσωματωμένους αισθητήρες με σκοπό την συλλογή δεδομένων και ανίχνευση πχ φυσικών φαινομένων όπως πλημμύρες, πυρκαγιές, σεισμούς. Τα WSN αναμένεται να παίξουν ζωτικό ρόλο στην ανάπτυξη του IoT αφού μπορούν να αναπτυχθούν εύκολα και οικονομικά δίκτυα για έλεγχο δύσβατων περιοχών. Η επεκτασιμότητα των ασύρματων δικτύων αισθητήρων είναι ένα συγκριτικό πλεονέκτημα σε σχέση με τα ενσύρματα αφού είναι πιο οικονομικά και εύκολα υλοποιήσιμα χάρη στην ανάπτυξη των ασύρματων τεχνολογιών [5].



Εικόνα 3-7-1 Wireless Sensor Network [Πηγή Εικόνων 11]

Network Topology

Η τοπολογία που χρησιμοποιείτε στο δίκτυο που σχεδιάζεται από τους μηχανικούς, ορίζει και τον τρόπο με τον οποίο επικοινωνούν τα αντικείμενα μεταξύ τους [5]. Οι διαφορές που έχουν οι τοπολογίες έχουν να κάνουν με την κατανάλωση ενέργειας, την ασφάλεια, το κόστος αλλά και την πολυπλοκότητα τους. Η τοπολογία που θα επιλέξουμε εξαρτάτε από την εφαρμογή που θέλουμε να αναπτύξουμε καθώς σε κάθε περίπτωση κάτι κερδίζουμε και κάτι χάνουμε. Οι πιο συνηθισμένες τοπολογίες δικτύου είναι οι Mesh Topology, Star Topology, Point Topology [5][7]

a. *Point Topology*

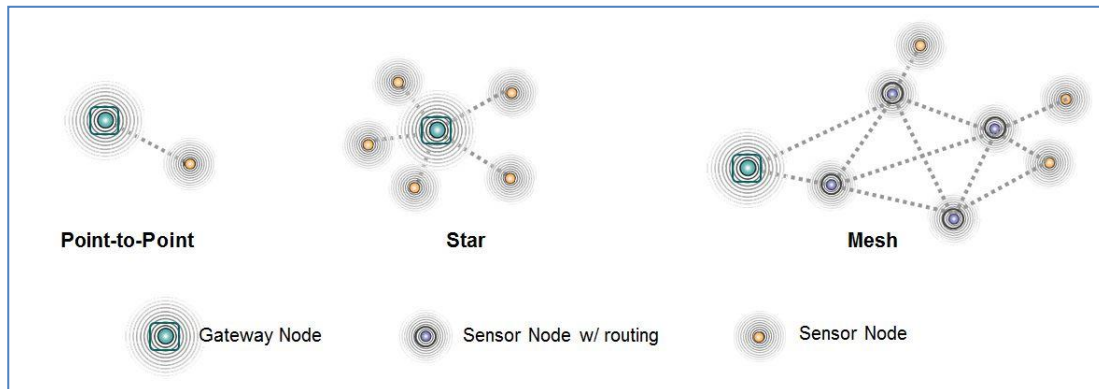
Είναι η απευθείας σύνδεση μεταξύ δύο κόμβων. Ένα παράδειγμα τέτοιας επικοινωνίας είναι η σύνδεση μέσω Bluetooth δύο κινητών. Τα πλεονεκτήματα αυτής της σύνδεσης είναι η απλή δομή και το χαμηλό κόστος. Ωστόσο ένα σημαντικό πρόβλημα είναι δεν μπορεί να υποστηρίξει επικοινωνία πέρα από τις δύο συσκευές. Επομένως το εύρος του δικτύου καθαρίζεται από την εμβέλεια των δύο συσκευών.

b. Star Topology

Όλοι οι κόμβοι συνδέονται με έναν κεντρικό κόμβο (gateway). Είναι από τα πιο εύκολα για εγκατάσταση και για διαχείριση δίκτυα, αφού όλοι η κυκλοφορία ρυθμίζεται από τον gateway. Για μεγάλο αριθμό αισθητήρων δεν είναι τόσο λειτουργικό καθώς παρουσιάζονται καθυστερήσεις σε ταυτόχρονη μετάδοση από μεγάλο αριθμό κόμβων.

c. Mesh Topology

Είναι από τις πιο διαδεδομένες τοπολογίες για εφαρμογές IoT. Οι κόμβοι συνδέονται μεταξύ τους με διαφορετικούς τρόπους. Όταν κάποιος κόμβος θέλει να στείλει σήμα κάπου, βρίσκει την κατάλληλη διαδρομή μέσω πολλαπλών βημάτων και ενδιάμεσων κόμβων. Είναι εύχρηστη τοπολογία αφού είναι εύκολα επεκτάσιμη σε περίπτωση που θέλουμε να καλύψουμε μεγαλύτερη περιοχή με αισθητήρες. Πολλές εφαρμογές του Internet of things χρησιμοποιούν αυτήν την τοπολογία.



Εικόνα 3-7-2: WSN Τοπολογία [7]

Δομή

Τα χαρακτηριστικά όλων των κόμβων είναι ότι αποτελούνται από ένα πομποδέκτη για την μετάδοση των δεδομένων, τους αισθητήρες και το ηλεκτρονικό κύκλωμα που συντονίζει την συνολική λειτουργία τους. Τέλος έχουν και μια πηγή ενέργειας η οποία μπορεί αν είτε κάποια μπαταρία, είτε ρεύμα, ή κάποιο ηλιακό panel για μεγαλύτερη διάρκεια ζωής του συστήματος. Η συνεργασία των αισθητήρων είναι ένα πολύ σημαντικό κομμάτι καθώς με αυτόν τον τρόπο μπορούν να μεταδοθούν τα δεδομένα από απομακρυσμένα σημεία. Ειδικά για μετάδοση δεδομένων μέσω cellular δικτύων, τα πρωτοκόλλα δρομολόγησης, η διαχείριση του φάσματος και οι αλγόριθμοι που χρησιμοποιούνται παίζουν σημαντικό ρόλο στην γρήγορη και αξιόπιστη μετάδοση των δεδομένων.[43]

Ζητήματα Ασφάλειας

Τα δίκτυα αισθητήρων παίζουν σημαντικό ρόλο για την ανάπτυξη εφαρμογών IoT με τα δεδομένα που συλλέγουν. Ωστόσο η απλότητα τους θέτει πολλά ζητήματα ασφαλείας. Πέρα από την ασφάλεια των δεδομένων κατά την μεταφορά τους στο Cloud και την διασφάλιση ότι δεν θα γίνουν γνωστά σε τρίτους, υπάρχουν επιπλέον ζητήματα ασφαλείας [62][63][70]. Μπορεί να γίνει επίθεση στους αισθητήρες ώστε να μην μπορούν να προσφέρουν τις υπηρεσίες στους χρήστες, υποκλοπή και χρησιμοποίηση τους από τρίτους, αλλά και συνεχής ενεργοποίηση τους ώστε να τελειώσουν οι μπαταρίες τους. Το IoT θα πρέπει να προσφέρει μηχανισμούς επαλήθευσης της ταυτότητας του χρήστη ώστε να αποτρέπεται η πρόσβαση σε δεδομένα ή και συσκευές από κακόβουλους χρήστες. Γενικά οι εφαρμογές IoT θα πρέπει και αυτές να διασφαλίζουν τις βασικές αρχές ασφαλείας που αφορούν την Εμπιστευτικότητα-Ακεραιότητα-Διαθεσιμότητα, οι οποίες εν συντομία τις συναντάμε στην βιβλιογραφία ως CIA Triad (Confidentiality-Integrity-Availability). Εφαρμογές που χρησιμοποιούν αισθητήρες χαμηλού κόστους και δυνατοτήτων ενδέχεται να αντιμετωπίσουν θέματα ασφαλείας. Πολλές σχετικές μελέτες έχουν ασχοληθεί με τα ζητήματα ασφαλείας IoT [54].

3.8 Τεχνολογίες Δικτύων 5G [46][59][77]

a. IEEE 802.11ax

Το πρωτόκολλο 802.11ax είναι η εξέλιξη της τεχνολογίας Wi-Fi και της τελευταίας έκδοσης 802.11ac. Καλύπτει πολλά από τα χαρακτηριστικά των δικτύων 5G που έχει ορίζει ο οργανισμός IMT-2020. Πέρα από την βελτίωση της ταχύτητας, υποστηρίζει και την σύνδεση μεγάλου αριθμού αντικείμενου. Εκπέμπει στα 5GHz με αποτέλεσμα να μην υπάρχουν παρεμβολές από τις πιο συχνές επικοινωνίες στα 2.4GHz, με ταχύτητες που μπορούν να φτάσουν τα 10Gbps. Υποστηρίζει την τεχνολογία (MU-MIMO/OFDMA) όπου είναι δυνατή η ταυτόχρονη σύνδεση πολλών αντικείμενων με ορθογώνια πολυπλεξία διαίρεσης συχνοτήτων. Τα δεδομένα που μεταδίδονται συμπιέζονται με αποτελεσματικότερο τρόπο, με αποτέλεσμα να είναι δυνατή η υποστήριξη μεγάλου αριθμού συσκευών με υψηλή ταχύτητα και χαμηλή κατανάλωση[45]. Στον παρακάτω πίνακα 3-7-1 παρατηρούμε τις διαφορές που υπάρχουν μεταξύ του 802.11.ac και του νέου 802.11ax [73].

Πίνακας Σύγκρισης 3-8-1: Σύγκριση 802.11ac με 802.11ax [73]

	802.11ac	802.11ax
BANDS	5 GHz	2.4 GHz and 5 GHz
CHANNEL BANDWIDTH	20 MHz, 40 MHz, 80 MHz, 80+80 MHz & 160 MHz	20 MHz, 40 MHz, 80 MHz, 80+80 MHz & 160 MHz
FFT SIZES	64, 128, 256, 512	256, 512, 1024, 2048
SUBCARRIER SPACING	312.5 kHz	78.125 kHz
OFDM SYMBOL DURATION	3.2 us + 0.8/0.4 us CP	12.8 us + 0.8/1.6/3.2 us CP
HIGHEST MODULATION	256-QAM	1024-QAM
DATA RATES	433 Mbps (80 MHz, 1 SS) 6933 Mbps (160 MHz, 8 SS)	600.4 Mbps (80 MHz, 1 SS) 9607.8 Mbps (160 MHz, 8 SS)

b. Millimeter Waves

Το φάσμα συχνοτήτων που χρησιμοποιείτε από τον συνεχώς αυξανόμενο αριθμό αντικείμενων έχει αρχίσει να μην επαρκεί. Νέες ζώνες συχνοτήτων που μπορεί να φτάνουν μέχρι 300GHz προβλέπεται να επιτρέπουν την σύνδεση μεγάλο αριθμό χρηστών σε εμβέλεις που δεν έχουν χρησιμοποιηθεί μέχρι σήμερα. Το αρνητικό των μικροκυμάτων είναι έχουν παρεμβολές από τις καιρικές συνθήκες και από φυσικά εμπόδια [20][46][59][77].

c. Small Cells

Με την σημερινή υποδομή, οι κυψέλες καλύπτουν μεγάλες περιοχές και έχουν υψηλό ενεργειακό κόστος. Ένα άλλο πρόβλημα ειδικά σε αστικές περιοχές είναι η έλλειψη σήματος όταν παρεμβάλλονται εμπόδια. Στα δίκτυα 5G η υποδομή που προτείνεται, η χρησιμοποίηση περισσότερων και μικρότερων κυψελών που θα έχουν μικρότερες ενεργειακές απαιτήσεις και θα καλύπτουν περιοχές που υπάρχουν εμπόδια [36][55][77].

d. Massive MIMO

Είναι μια νέα τεχνολογία όπου οι σταθμοί βάσης αλλά και οι συσκευές αποτελούνται από μεγάλο αριθμό κεραιών. Με αυτόν τον τρόπο ο κάθε σταθμός βάσης, θα μπορεί να υποστηρίξει μεγάλο αριθμό χρηστών ταυτόχρονα, ανάλογα με τον αριθμό κεραιών που έχει. Πέρα από την αύξηση της χωρητικότητας, μπορεί να χρησιμοποιούνται και διαφορετικές συχνότητες ώστε να μην υπάρχουν παρεμβολές [36][77].

e. Hardware

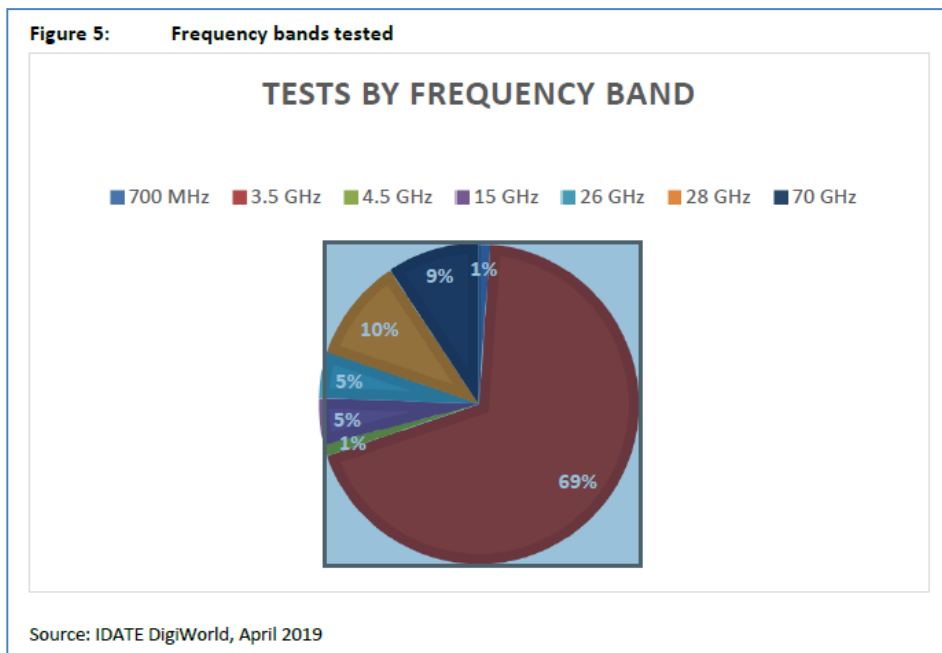
Για να είναι δυνατή η χρήση των δικτύων 5G, δεν αρκεί η αξιοποίηση της υπάρχουσας τεχνολογίας. Νέα smartphones, modem, κεραίες σχεδιάζονται για να υποστηρίξουν τις απαιτήσεις. Η εταιρία Qualcomm έχει παρουσιάσει το μόντεμ Snapdragon X55 [78] το οποίο μπορεί να υποστηρίξει πολλαπλά δίκτυα (2G-5G), σε συχνότητες από 1GHz μέχρι τις νέες συχνότητες mmWaves [55]. Εταιρίες όπως Samsung, Intel, Huawei έχουν ξεκινήσει και αυτές στην διάθεση στην αγορά νέων modem που υποστηρίζουν τα δίκτυα 5G. Παρακάτω βλέπουμε έναν πίνακα με τα χαρακτηριστικά τους.

Πίνακας 3-8-2: 5G Chipsets [55]

Vendor	Product name	Announcement	Availability	Bands	Throughputs
Qualcomm	X50 (baseband)	First announced in 2016	End of 2018	Sub 6 GHz and 28 GHz	Up to 5 Gbps
Qualcomm	X55 modem	February 2019	S1 2019	Sub 6 GHz and mm-waves	Up to 7 Gbps downlink and 3 Gbps uplink
Intel	XMM 8160	November 2018	2nd half of 2019	Sub 6 GHz and mm-waves	6 Gbps
Samsung	Exynos 5100	August 2018	End of 2018	Sub 6 GHz and mm-waves	Up to 2 Gbps in sub-6 GHz and 6 Gbps in mm-waves
Hi-Silicon/ Huawei	Balong 5G01	February 2018	End of 2018	Sub 6 GHz and mm-waves	Up to 2.3 Gbps

Μελλοντικές Επεκτάσεις

Σύμφωνα με ανακοίνωση της Ευρωπαϊκής Επιτροπής στις 14 Μαΐου 2019, αποφασίστηκε για την μελλοντική επέκταση των δικτύων 5G να χρησιμοποιηθεί η ζώνη συχνοτήτων πάνω από 26GHz. Η αξιοποίηση των 26GHz θα επιτρέψει την μέγιστη αξιοποίηση του φάσματος, της αύξησης της χωρητικότητας του δικτύου και αύξηση της ταχύτητας. Enhanced Mobile Broadband (eMBB) [76] υπηρεσίες που απαιτούν υψηλές ταχύτητες σε ευρεία περιοχή, μετάδοση βίντεο High-Definitions και βιομηχανικές εφαρμογές. Το 2018 έγινε η 1^η χρήση εφαρμογών στην ζώνη συχνοτήτων 28GHz στους χειμερινούς αγώνες στην Κορέα. Βίντεο 4K, 360VR μεταδόθηκε σε δίκτυα 5G όπου συνεργάστηκαν οι εταιρίες Samsung, Intel, Ericson, Nokia [55]. Στο παρακάτω διάγραμμα παρατηρούμε τις δοκιμές που γίνονται σε διάφορα ερευνητικά προγράμματα και τις αντίστοιχες συχνότητες. Βλέπουμε ότι οι περισσότερες έρευνες στηρίζονται στα 3.5 GHz.



Εικόνα 3-8-2: Ζώνες Συχνοτήτων 5G [55]

Μία άλλη επέκταση των δικτύων 5G που μελετάται είναι το Network Slicing (αντίστοιχο των Virtual Machines). Βασίζεται στον διαχωρισμό του δικτύου, σε πολλαπλά virtual δίκτυα για τον διαχωρισμό των υπηρεσιών [53].

4 Εφαρμογές IoT & Smart Cities

Η σύνδεση συσκευών, κτηρίων, οχημάτων και πλήθος άλλων αντικειμένων που έχουν ενσωματωμένους αισθητήρες, με το διαδίκτυο επιτρέπει την ένωση του φυσικού κόσμου με τον ψηφιακό. Με το IoT πέρα από την δυνατότητα ανίχνευσης, έχουμε και την δυνατότητα απομακρυσμένης διαχείρισης αντικείμενων. Όλο αυτό επιτρέπει την αποτελεσματικότερη διαχείριση των δεδομένων, ώστε να πετυχαίνουμε ακριβείς, οικονομικά και αποδοτικά αποτελέσματα, με την σωστή λήψη αποφάσεων μέσα από συστήματα που λειτουργούν στο Cloud. Πλήθος εφαρμογών συνεχώς αναπτύσσονται για διάφορους τομείς της καθημερινότητας μας. Σύμφωνα με μελέτη του οργανισμού Gartner το IoT θα προσφέρει τεράστια οφέλη στην επιχειρηματική κοινότητα, καθώς θα μετατρέψει πολλές επιχειρήσεις σε ψηφιακές οι οποίες θα χρησιμοποιήσουν εφαρμογές IoT για να βελτιώσουν την αποδοτικότητα τους. Εκείνες που θα μπορέσουν να χρησιμοποιήσουν τις διαθέσιμες τεχνολογίες αναμένεται να αποκτήσουν τεράστιο συγκριτικό πλεονέκτημα [15]. Ορισμένοι από τους τομείς που αναμένεται να ωφεληθούν από το IoT είναι οι υπηρεσίες υγείας, οι μεταφορές, η βιομηχανία και η διαχείριση ενέργειας.

4.1 Smart Cities

Η συνεχής αύξηση του πληθυσμού σε συνδυασμό με την τάση να συσσωρεύετε στις πόλεις έχει ως αποτέλεσμα το 70% του πληθυσμού να κατοικεί σε πόλεις μέχρι το 2050 σύμφωνα με εκτιμήσεις του Οργανισμού Ηνωμένων Εθνών. Όλα αυτά σε συνδυασμό με την κλιματική αλλαγή δημιουργούν την ανάγκη για την σωστή αξιοποίηση των διαθέσιμων πόρων, μειώνοντας παράλληλο τις άσκοπες σπατάλες. Ορισμένα από τα προβλήματα που προκύπτουν εξαιτίας της αστικοποίησης των πόλεων, είναι η έλλειψη διαθέσιμων πόρων, η ρύπανση, τα απορρίμματα, το parking η αυξημένη κυκλοφορία και ο τομέας υγείας. Το IoT δημιούργησε την έννοια των «Smart Cities», όπου καλείτε η τεχνολογία να βοηθήσει στην σωστή διαχείριση των πόρων που υπάρχουν. Όπως και με το IoT δεν υπάρχει κάποιος κοινός ορισμός για την Smart Cities, καθώς ο κάθε φορέας τις περιγράφει ανάλογα με την οπτική του. Γενικά ο σκοπός της ανάπτυξης των Smart Cities είναι η αξιοποίηση των διαθέσιμων τεχνολογιών για την βελτίωση της ποιότητας ζωής των κατοίκων. Παρακάτω βλέπουμε ορισμένους από τους βασικούς στόχους των Smart Cities [76].



Εικόνα 4-1-1 Smart City [Πηγή Εικόνων 12]

Στόχοι Smart Cities

- Ορθολογική διαχείριση αστικού και φυσικού χώρου
- Χρήση εναλλακτικών πηγών ενέργειας και μείωση εκπομπής CO₂
- Χρήση των δικτύων επικοινωνιών, αισθητήρων, ευφυών συστημάτων
- Διαχείριση μεγάλου πληροφορίας
- Χρήση ψηφιακών εργαλείων και διαδραστικές πλατφόρμες
- Σύνδεση της κυβέρνησης και των πολιτών μέσω του διαδικτύου.

Αρχιτεκτονική Έξυπνων Πόλεων

Οι έξυπνες πόλεις συνδυάζουν από ένα σύνολο διαφορετικών τεχνολογιών για την βελτίωση της ποιότητας ζωής των κατοίκων. Για να είναι δυνατή η συνεργασία διαφορετικών συστημάτων θα πρέπει να υπάρχει σύνδεση ανάμεσα στις συνεργαζόμενες τεχνολογίες. Η βασική δομή που έχει μια Έξυπνη Πόλη αποτελείται από τα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων, την υποδομή δικτύων και τις Cloud πλατφόρμες.

- Sensors
- Network
- Applications

Αρχικά τα δεδομένα συλλέγονται από διάφορους τύπους αισθητήρων που βρίσκονται στην πόλη ή είναι ενσωματωμένοι σε άλλα αντικείμενα. Στην συνέχεια μέσω δικτύου τα δεδομένα στέλνονται σε πλατφόρμες στο cloud. Εκεί γίνεται η αποθήκευση και επεξεργασία των δεδομένων και λαμβάνονται οι αποφάσεις από τα συστήματα με

βάση τα δεδομένα που συλλέγουν. Υπάρχουν πολλές πρωτοβουλίες από πολλές πόλεις για να εφαρμόσουν τεχνολογίες και εφαρμογές IoT. Βασικός στόχος είναι η βελτίωση της αποδοτικότητας, καλύτερη αξιοποίηση των πόρων και ευκολίες για τους κατοίκους και επισκέπτες των πόλεων. Παράδειγμα Smart Cities είναι το Amsterdam με εφαρμογές για την κίνηση, διαχείριση νερού, ρεύματος και parking [11]. Για να υλοποιηθούν αυτές οι εφαρμογές υπάρχουν και τεχνικά προβλήματα που έχουν να κάνουν με τον όγκο, την ταχύτητα των δεδομένων που παράγονται και πως θα διαχειρίζονται. Νέες αρχιτεκτονικές δικτύων είναι αναγκαίες. Μια ενδιαφέρουσα πρόταση είναι η αξιοποίηση του Edge Computing για επεξεργασία των δεδομένων σε κοντινότερά μέρη, ώστε να μειωθεί το latency κατά την ανταλλαγή δεδομένων μεταξύ αισθητήρων και cloud [27] [75].

Προκλήσεις

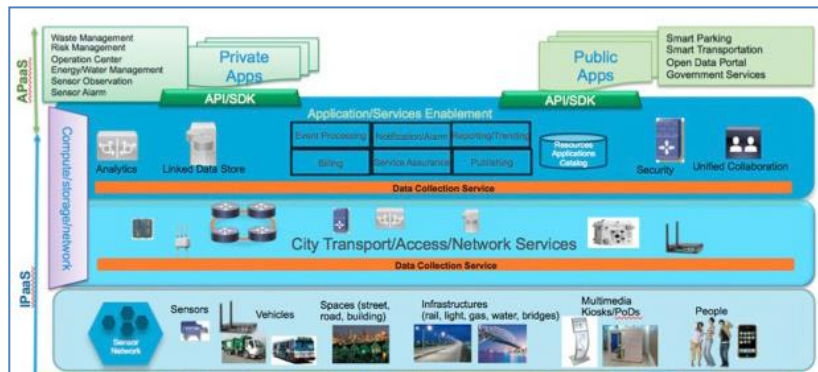
Με τα τωρινά δεδομένα μπορεί οποιοδήποτε θέλει και έχει την υποδομή να αναπτύξει ένα δίκτυο από αισθητήρες και να συλλέγει δεδομένα από μια περιοχή για να αναπτύξει την αντίστοιχη εφαρμογή. Ένα ζήτημα που τίθεται είναι ότι υπάρχουν πολλά δίκτυα από αισθητήρες που συλλέγουν ίδια τύπου δεδομένα (πχ θερμοκρασία, υγρασία, ποιότητα αέρα) στην ίδια περιοχή που και τα διαχειρίζονται διαφορετικοί φορείς (ιδιωτικός τομέας, δημόσιο). Σημαντικό ρόλο για την δημιουργία μιας σωστής υποδομής είναι η συνεργασία όλων των εταίρων ώστε να μπορεί να δημιουργηθεί ένα ενιαίο δίκτυο αισθητήρων με χαμηλό κόστος που θα μπορεί ο καθένας να έχει πρόσβαση στην πληροφορία [59]. Σε αυτήν την περίπτωση θα μπορούσε να υπάρχει ένα δίκτυο όπου θα έχουν πρόσβαση όλοι οι ενδιαφερόμενοι, καθώς τα δεδομένα που συλλέγονται είναι ελεύθερα για όλους.

Παράδειγμα Smart City - Η πόλη της Νίκαιας

Ένα παράδειγμα έξυπνης πόλης είναι στην Γαλλία η πόλη της Νίκαιας, όπου για να μπορεί να υποστηρίξει όλα τα παραπάνω χρησιμοποιεί μια αρχιτεκτονική με 4 Layer [11].

- *Layer 1*: Περιλαμβάνει την υποδομή και όλα τα μέρη που αποτελούν το δίκτυο αισθητήρων. Δίνεται έμφαση σε αισθητήρες που συλλέγουν κρίσιμα δεδομένα. Στόχος είναι η συλλογή δεδομένων να βοηθήσει στην λήψη των κατάλληλων αποφάσεων για μια βιώσιμη πόλη.

- Layer 2: Συλλογή-Μετάδοση των δεδομένων. Η επεξεργασία δεν γίνεται σε κάποιο κεντρικό server αλλά σε κατακεντρωμένους σε όλη την πόλη. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα να πετυχαίνουμε καλύτερη ταχύτητα, να είναι πιο εύκολη η επεκτασιμότητα και συντήρηση της υποδομής. Μπορούμε εύκολα να προσθέσουμε κόμβους ενώ αν κάποιος έχει πρόβλημα θα αντικατασταθεί από τους υπόλοιπους. Με αυτόν τον τρόπο πετυχαίνετε ταυτόχρονη επεξεργασία δεδομένων real-time που βοηθάει στην καλύτερη λήψη αποφάσεων.
- Layer 3: Οι εφαρμογές συλλέγουν τα δεδομένα και παρουσιάζουν τα αντίστοιχα reports, αποφάσεις, alerts κλπ.
- Layer 4: Νέες εφαρμογές και υπηρεσίες για τους κατοίκους της πόλης που πρόκειται να αναπτυχθούν.



Εικόνα 4-1-2: Αρχιτεκτονική 4-Layer, Smart City Νίκαια, Γαλλία [11]

Εφαρμογές Smart Cities

a. Smart Economy

Στόχος είναι η βελτίωση της λειτουργίας των επιχειρήσεων με στόχο να αυξήσουν την παραγωγικότητα τους. Με την βοήθεια των νέων τεχνολογιών σκοπός είναι ο εκσυγχρονισμός της παραγωγικής διαδικασίας, της εφοδιαστικής αλυσίδας και της προώθησης των προϊόντων. Χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι η τεχνολογία RFID η οποία έχει βελτιώσει πάρα πολύ την διαχείριση της εφοδιαστικής αλυσίδα [12][16].

b. Smart Transport

Η αύξηση των αυτοκινήτων ειδικά στο μεγάλα αστικά κέντρα συχνά δημιουργεί τεράστια προβλήματα μποτιλιαρίσματος. Οι μεταφορές προϊόντων είτε οδικές είτε με πλοία δημιουργεί την ανάγκη για να γνωρίζουμε ανά πάσα στιγμή που βρίσκονται τα προϊόντα αλλά και την κατάσταση τους. Σε περίπτωση τροφίμων για παράδειγμα πέρα από το μέρος τον χρόνο που θα κάνει για να φτάσει το προϊόν στον τελικό προορισμό σημαντικό ρόλο παίζουν και οι συνθήκες συντήρησης. Νέες τεχνολογίες και εφαρμογές

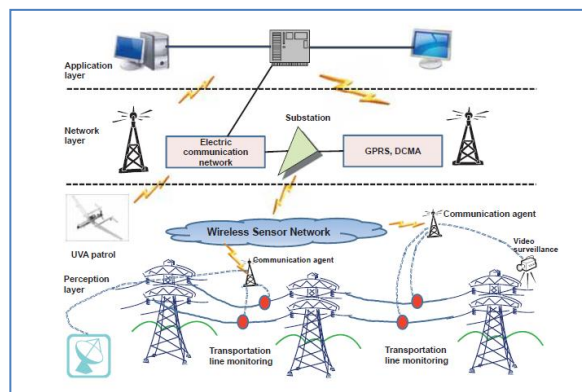
βοηθάνε στην επίλυση των παραπάνω προβλημάτων με την συνεχή λήψη δεδομένων μέσω ενός δικτύου αισθητήρων, την επικοινωνία των οχημάτων μεταξύ τους για την αποφυγή ατυχημάτων [19]. Επίσης η βελτίωση της λειτουργίας των μέσων μαζικής μεταφοράς μέσω εφαρμογών ενημέρωσης των πολιτών δημιουργούν ένα συνολικό ευνοϊκό περιβάλλον στις πόλεις για τους κατοίκους της. Σημαντικό ρόλο για την διαχείριση της κυκλοφορίας και αποφυγή μπουτιλιαρίσματος θα παίζουν και τα έξυπνα φανάρια, όπου θα λειτουργούν με βάση τις πραγματικές συνθήκες που υπάρχουν σε κάθε περιοχή.



Εικόνα 4-1-2: Διαχείριση Κυκλοφορίας [Πηγή Εικόνων 13]

c. Smart Grid-Energy

Διαχείριση της ενέργειας των πόλεων, δημόσιων κτιρίων και σπιτιών περιλαμβάνονται σε αυτήν την κατηγορία. Στόχος είναι η μείωση της κατανάλωσης ενέργειας στις πόλεις με την χρήση των νέων τεχνολογιών [5]. Μέσω αισθητήρων και των κατάλληλων εφαρμογών συλλέγουν δεδομένα και ρυθμίζουν αντίστοιχα την θερμοκρασία των κτηρίων, τον φωτισμό κλπ. Με αυτό τον τρόπο επιτυγχάνεται το καλύτερο αποτέλεσμα με τις λιγότερες απώλειες. Επίσης με την ανάπτυξη των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, την ανακύκλωση γίνεται προσπάθεια να μειωθεί η σπατάλη πόρων στον μέγιστο βαθμό.



Εικόνα 4-1-3: Διαχείριση Ενέργειας[5]

4.2 IoT Healthcare

Η αξιοποίηση του IoT στον τομέα της υγείας αναμένεται να προσφέρει πολλές υπηρεσίες [18] σχετικές με την απομακρυσμένη παρακολούθηση ασθενών, τις χρόνιες παθήσεις και την φροντίδα των ηλικιωμένων. Μέσα από την μετάδοση των δεδομένων στα νοσοκομείων ή σε άλλα κέντρα, οι γιατροί θα γνωρίζουν την κατάσταση της υγείας των ασθενών και θα φροντίζουν για την θεραπεία τους με την κατάλληλη αγωγή ευκολότερα και γρηγορότερα. Με αυτήν την μέθοδο αναμένεται να μεγαλώσει η πρόληψη πολλών ασθενειών αφού θα αντιμετωπίζονται στα πρώτα στάδια εμφάνισης τους. Επίσης θα είναι δυνατή η πρόσβαση σε υπηρεσίες υγείας, σε άτομα που ζούνε σε απομακρυσμένες περιοχές και ηλικιωμένους που θα μπορούν να ζουν πιο ανεξάρτητοι. Επίσης με την βελτίωση της ταχύτητας των δικτύων, θα είναι δυνατή η επικοινωνία ασθενή-ιατρού για απομακρυσμένες συμβουλές αφού ο γιατρός θα έχει δεδομένα του ασθενή μέσα από το δίκτυο αισθητήρων [64]. Τέλος θα υπάρχουν συστήματα που θα μπορούν να ειδοποιούν ασθενοφόρο σε έκτακτες περιπτώσεις όταν κάμερες δεν ανιχνεύουν κίνηση των ασθενών ή έχουν χαμηλός σφυγμό. Με την αξιοποίηση του εφαρμογών IoT Healthcare αναμένεται να μειωθεί ο αριθμός των ασθενών που επισκέπτεται τα νοσοκομεία, να βελτιωθούν οι υπηρεσίες και να μειωθεί το συνολικό κόστος της περίθαλψης.

Το IoT πέρα από τους απομακρυσμένους χρήστες, θα βελτιώσει και την λειτουργία των νοσοκομείων. Αισθητήρες, actuators θα λαμβάνουν τα δεδομένα και θα τα στέλνουν σε real time σε cloud πλατφόρμες για επεξεργασία και αποθήκευση. Βίντεο από κάμερες και άλλα αντικείμενα θα στέλνεται στο δίκτυο για την παρακολούθηση των ασθενών αλλά και την προστασία των χώρων των νοσοκομείων [44][69]. Επίσης πέρα από τις υπηρεσίες για τους ασθενείς, επιπλέον εφαρμογές smart-homes, smart-grid μπορούν να εφαρμοστούν για την μείωση του κόστους λειτουργίας και κατανάλωσης ενέργειας [40].

Εφαρμογές IoT HealthCare

a. Απομακρυσμένος έλεγχος ασθενών:

Μέσω αισθητήρων, πληροφορίες σχετικές με την υγεία του ασθενή μεταδίδονται σε πραγματικό χρόνο είτε στον γιατρό τους, είτε σε κάποιο νοσοκομείο [64]. Ειδικά για χρόνιες ασθένειες είναι πολύ σημαντικό να γνωρίζουν οι γιατροί την κατάσταση που βρίσκεται ο ασθενής ώστε να μπορούν να επέμβουν όταν υπάρξει κάποιο πρόβλημα.

Μέχρι σήμερα κάτι τέτοια δεν ήταν δυνατό παρά μόνο αν ο ασθενής βρισκόταν σε κάποιο νοσοκομείο υπό επιτήρηση.

b. Τηλεϊατρική:

Με τον όρο αυτό εννοούμε την χρησιμοποίηση της τεχνολογίας για την παροχή υπηρεσιών υγείας χωρίς να είναι αναγκαία η φυσική παρουσία του γιατρού ή του ασθενή. Ειδικά σε περιπτώσεις απομακρυσμένων περιοχών, με την βοήθεια των τεχνολογιών επικοινωνιών μπορούμε έγκαιρα να μεταφερθούν πληροφορίες για την διάγνωση και θεραπεία ασθενειών. Επίσης με την ανάπτυξη ρομποτικών μηχανημάτων θα είναι δυνατή η απομακρυσμένη διαχείριση τους από κάποιον γιατρό που θέλει να κάνει κάποια επέμβαση. Επίσης μέσω video, και τους κατάλληλους αισθητήρες θα μπορεί ο γιατρός να επικοινωνεί με τον ασθενή και να κάνει κάποια διάγνωση. Σημαντικό ρόλο παίζει η ταχύτητα της ανταλλαγής δεδομένων καθώς πρόκειται για κρίσιμα δεδομένα υγείας. Στην παρακάτω έρευνα βλέπουμε ένα πρότυπο για την μετάδοση Video με HEVC κωδικοποίηση το οποίο πετυχαίνει υψηλό ρυθμό μετάδοσης δεδομένων σε πραγματικό χρόνο, μειώνοντας παράλληλα το μέγεθος του Video [48][64][66][67][68]. Καθώς τα δεδομένα του video που μεταφέρονται για εφαρμογές υγείας είναι προσωπικά είναι απαραίτητο να τηρούνται οι βασικές αρχές ασφαλείας. Η παρακάτω έρευνα ασχολείται με τα ζητήματα ασφαλείας στην μετάδοση video, και προτείνει δύο αλγόριθμοι κρυπτογράφησης που βασίζονται στον AES, για την εξασφάλιση της εμπιστευτικότητας [39].

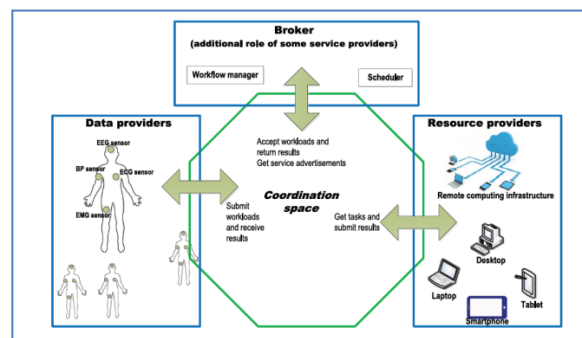
c. Mobile-Health:

Με την βοήθεια των smartphones, οι χρήστες θα μπορούν να χρησιμοποιούν εφαρμογές υγείας όπου θα στέλνουν δεδομένα στον γιατρό τους, θα λαμβάνουν οδηγίες και συμβουλές και υπενθυμίσεις για φαρμακευτική αγωγή. Πέρα από την επικοινωνία με τον γιατρό, θα υπάρχουν και εφαρμογές όπου ο χρήστης θα βρίσκει προτάσεις και πληροφορίες με βάση το προφίλ του. Για παράδειγμα ανάλογα με την ηλικία και το ιατρικό του προφίλ, εφαρμογές θα προτείνουν προγράμματα διατροφής και άσκησης. Θα υπάρχουν αντίστοιχα εφαρμογές για τα στάδια της πρόληψης, διάγνωσης, θεραπείας και παρακολούθησης.

Προβλήματα

- a. Όγκος δεδομένων: μεγάλος όγκος κρίσιμων δεδομένων τα οποία θα πρέπει να μεταδίδονται και επεξεργάζονται άμεσα. Αξιοπιστία στην συλλογή και επεξεργασία μεγάλου αριθμού δεδομένων [65].

- b. Διασύνδεση συσκευών: υπάρχουν πλήθος διαφορετικών τύπων αισθητήρων, συστήματα επικοινωνιών. Θα πρέπει να δημιουργηθεί ένα πλαίσιο ώστε να μπορούν όλα να επικοινωνούν μεταξύ τους.
- c. Ανθεκτικότητα αντικειμένων: Καθώς οι αισθητήρες είναι ενσωματωμένοι σε αντικείμενα του φυσικού κόσμου θα πρέπει να διασφαλίζεται η αδιάκοπη λειτουργία τους χωρίς να επηρεάζεται από τις εξωτερικές συνθήκες. Η μη σωστή λειτουργία τους θα μπορεί να δημιουργήσει μεγάλα προβλήματα για την ζωή του ασθενή.
- d. Ασφάλεια δεδομένων: Τα δεδομένα που συλλέγονται είναι προσωπικά και θα πρέπει να διασφαλίζεται το απόρρητο των χρηστών. Εξαιτίας της απλότητας των αντικείμενων υπάρχουν ζητήματα ασφαλείας κατά την μετάδοση των δεδομένων στο δίκτυο.[40]



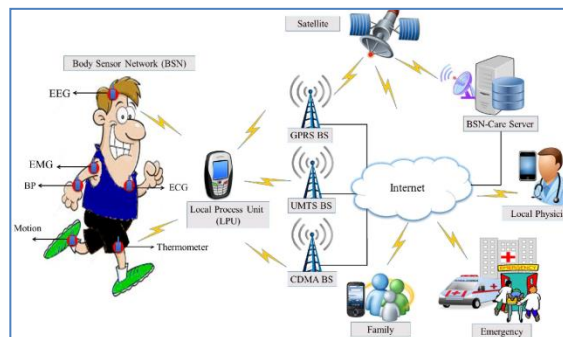
Εικόνα 4-2: IoT-based ubiquitous healthcare solutions [18]

Αρχιτεκτονική IoT Healthcare

Ασύρματα δίκτυα αισθητήρων υγείας θα μεταδίδουν τα δεδομένα των ασθενών με αποτέλεσμα να συνεισφέρουν στην αντιμετώπιση χρόνιων παθήσεων, διάγνωση, παρακολούθηση και αντιμετώπιση ασθενειών. Πέρα από τα δίκτυα, gateway που συνδέουν τους αισθητήρες με το δίκτυο, servers και βάσεις δεδομένων για την διαχείριση των δεδομένων, παίζουν σημαντικό ρόλο για την ανάπτυξη και λειτουργία εφαρμογών IoT Healthcare. Ένα τέτοια παράδειγμα είναι το IoThNet που συνδέει αισθητήρες που φορούν οι ασθενείς, συσκευές που συλλέγουν και μεταδίδουν τα δεδομένα (smartphone) και τον Broker που είναι ο πυρήνας της υποδομής που αποθηκεύονται και επεξεργάζονται τα δεδομένα. [18]

- a. Wearable Sensors: Συλλέγουν πληροφορίες από τους χρήστες. Παλμούς, πίεση, θερμοκρασία σώματος. Στέλνουν την πληροφορία σε κάποιο κεντρικό Node που αφού κάνει κάποιο preprocessing, αποφασίζει αν θα στείλει την πληροφορία στο cloud.

- b. Communication Technologies: Ειδικά για αισθητήρες που είναι σταθεροί μέσα στο σπίτι είναι προτιμότερη η σύνδεση τους με κάποιο gateway για αποστολή των δεδομένων στο cloud. Οι λόγοι είναι για οικονομία, ταχύτητα αλλά και για καλύτερη διαχείριση των δεδομένων. Για λόγους ασφαλείας αλλά και ταχύτητας, δεν θα θέλαμε όλα τα δεδομένα να φεύγουν στο cloud, αλλά να γίνεται κάποιο φιλτράρισμα και να φεύγουν μόνο εκείνα που πραγματικά χρειάζονται. Επίσης είναι πιο δύσκολο να υποκλαπούν τα δεδομένα από τον κεντρικό node σε σχέση με τους απλούς αισθητήρες καθώς έχει μεγαλύτερες δυνατότητες και μπορεί να προσφέρει υπηρεσίες ασφάλειας και ακεραιότητας των δεδομένων. Μετά το φιλτράρισμα των δεδομένων από το κεντρικό node, είναι απαραίτητο να σταλούν τα δεδομένα σε κάποια πλατφόρμα που θα τα επεξεργαστεί. Για παράδειγμα αν ο χρήστης χρειάζεται ιατρική βοήθεια, η πληροφορία αυτή θα πρέπει να φτάσει κάπως στον γιατρό του και δεν αρκεί να το ξέρει ο κεντρικός node. Επειδή πρόκειται για δεδομένα υγείας, είναι απαραίτητο να υπάρχει ασφάλεια στην μετάδοση δεδομένων, μικρό latency, συμβατότητα συστημάτων και διαθεσιμότητα υπηρεσιών.
- c. Cloud Platform: Συλλογή, επεξεργασία των δεδομένων, ενημέρωση ιατρικού προσωπικού για την κατάσταση υγείας των ασθενών.



Εικόνα 4-2-2: IoT Healthcare Architecture [Πηγή Εικόνων 14]

Οι πιο συχνές τεχνολογίες επικοινωνίας που χρησιμοποιούνται για κοντινές αποστάσεις σε εφαρμογές Healthcare, είναι το Bluetooth Low Energy (BLE) και το ZigBee. [51]

- a. BLE-Short Range: Χρησιμοποιεί Star Topology με εμβέλεια τα 150 μέτρα και μέγιστη ταχύτητα 1 Mbps. Εκπέμπει στα 2.4GHz όπως Wifi, ZigBee και έχει χαμηλή κατανάλωση (180mAH).

- b. ZigBee- Short Range: Χρησιμοποιεί Mesh Topology με εμβέλεια 30 μέτρα και ταχύτητα 250Kbps. Ανάλογα με την έκδοση μπορεί να εκπέμπει σε διαφορετικές συχνότητες και να αλλάζει και η ταχύτητα μετάδοσης.

Πίνακας 4-2-1 Πρωτόκολλα επικοινωνίας Short Range -Healthcare[51]

	Bluetooth Low Energy	ZigBee
Band of operation	2.4GHz	2.4GHz
Topology	Star	Mesh
Range	150m	30m
Data rate	1Mbps	250kbps
Suitability for healthcare	High	Moderate

Υπάρχουν περιπτώσεις που τα παραπάνω πρωτόκολλα δεν επαρκούν. Για παράδειγμα οι wearable sensor θα πρέπει να μπορούν να στέλνουν τα δεδομένα όταν βρισκόμαστε εκτός σπιτιού όπου δεν υπάρχει σταθερή σύνδεση δικτύου. Τα κατάλληλα πρωτόκολλα για περιπτώσεις όπου θέλουμε μεγάλη εμβέλεια είναι:

- a. Sig Fox: Χρησιμοποιεί Star Topology και χρησιμοποιείται κυρίως για αποστολή δεδομένων και όχι λήψη. Είναι ιδανικό για μη κρίσιμες εφαρμογές όπου η ταχύτητα μετάδοσης δεδομένων δεν μας απασχολεί.
- b. LoRa: Έχει εμβέλεια χιλιομέτρων. Σε σχέση με τα κυψελοειδή δίκτυα μεταδίδει δεδομένα σε μικρότερα πακέτα ώστε να μπορεί να υποστηρίζεται από τους αισθητήρες. Είναι ιδανικό για συσκευές που θέλουμε να έχουν μεγάλη διάρκεια ζωής, κάτι που είναι απαραίτητο για εφαρμογές που αφορούν την υγεία. Εκπέμπει στα 125MHz που σημαίνει χαμηλή κατανάλωση. Χρησιμοποιεί star-topology, και υποστηρίζει ασύγχρονη επικοινωνία, τα Node ενεργοποιούνται μόνο όταν έχουν να στείλουν δεδομένα. Έχει μεγάλη χωρητικότητα, 1 gateway μπορεί να υποστηρίξει μέχρι 40,000 nodes για ταυτόχρονη μετάδοση. Μικρότερο από SigFox, κατάλληλο για αγροτικές μεγάλες περιοχές. Είναι πιο γρήγορο από SigFox και μπορούμε να βελτιώσουμε την κάλυψη προσθέτοντας νέους Base Station.
- c. NB-IoT: Εκπέμπει σε διαφορετικές συχνότητες και έχει εμβέλεια στα 15km. Παρά την μεγάλη εμβέλεια που έχει μπορεί να υποστηρίξει και υψηλές ταχύτητες μετάδοσης δεδομένων (250kbps). Αυτά τα χαρακτηριστικά είναι που το κάνουν κατάλληλο για εφαρμογές υγείας. Υποστηρίζει μέχρι 52,547 Nodes στο δίκτυο και έχει χαμηλές απαιτήσεις σε ενέργεια.

Πίνακας 4-2-2 Πρωτόκολλα επικοινωνίας Long Range - Healthcare [51]

	SigFox	LoRaWAN	NB-IoT
Licensed band of operation?	no	no	yes
Band of operation	868MHz (Eu)	868MHz (Eu)	Various
Communication directions	Unlimited uplink, Downlink on request, no more than 4x per day	Uplink & downlink	Uplink & downlink
Network capacity	50,000 nodes	40,000 nodes	53,547 nodes
Range	9.5km	7.2km	15km
Data rate	100bps	0.25-5.5kpbs	250kpbs
Suitability for healthcare	Low	Moderate	High

ΩΦΕΛΗ ΔΙΚΤΥΩΝ 5^{ΗΣ} ΓΕΝΙΑΣ 5G σε εφαρμογές Υγείας

- Latency: μείωση του χρόνου μετάδοσης των δεδομένων (ms) που στέλνουν οι αισθητήρες στις εφαρμογές.
- Reliability: Αξιόπιστη μετάδοση δεδομένων, καθώς θα μειωθεί το packet-loss.
- Mobility: Παρά την εναλλαγή δικτύων και κινητικότητας αισθητήρων, θα είναι δυνατή η μετάδοση δεδομένων με υψηλές ταχύτητες.

Τα δίκτυα 5^{ης} γενιάς αναμένεται να καλύψουν τις απαιτήσεις των εφαρμογών υγείας και να βελτιώσουν τις υπηρεσίες προς τους χρήστες. Η ευρεία κάλυψη δικτύου όλων σχεδόν των περιοχών με υψηλές ταχύτητες επιτρέπει την απομακρυσμένη παρακολούθηση των ασθενών [46]. Όπως βλέπουμε και από την σύγκριση των παραπάνω πρωτοκόλλων με την υπάρχουσα τεχνολογία δεν μπορούν να δημιουργηθούν εφαρμογές για χρήση εκτός σταθερού δικτύου. Η ανάπτυξη του NB-IoT αναμένεται να βοηθήσει στην αξιοπιστία των εφαρμογών που χρειάζονται μεγάλη εμβέλεια.

4.3 IoT Agriculture

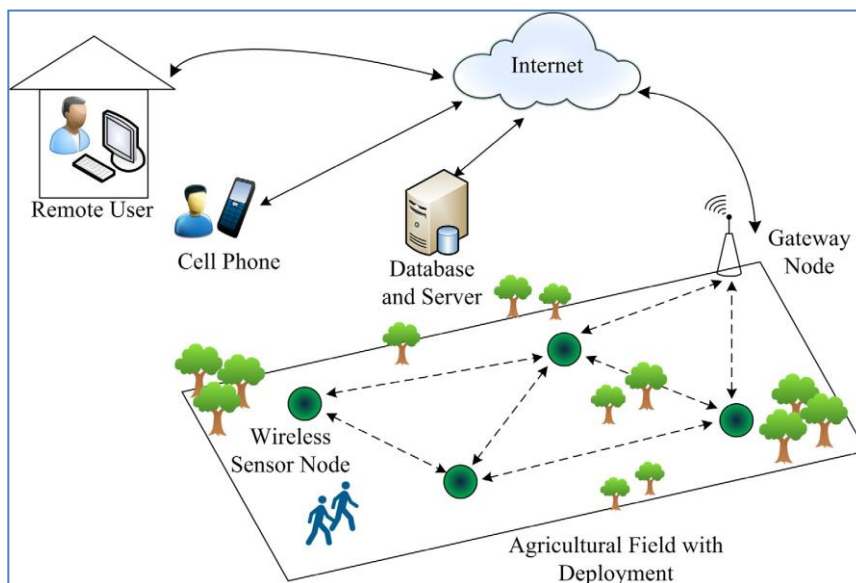
Η αύξηση του πληθυσμού δημιουργεί ανάγκες για μεγαλύτερη παραγωγή τροφίμων. Σε συνδυασμό με την κλιματική αλλαγή, την έλλειψη νερού σε πολλές περιοχές δημιουργείται η ανάγκη για την αύξηση της παραγωγικότητας των καλλιεργειών. Η αυτοματοποίηση λειτουργιών και η χρήση νέων τεχνολογιών θα συμβάλουν σε αυτόν τον στόχο. Η αξιοποίηση των δεδομένων που συλλέγονται από τους αισθητήρες και η εξαγωγή την επιθυμητής πληροφορίας αναμένεται να προσφέρει πάρα πολλά οφέλη στον τομέα της γεωργίας και κτηνοτροφίας [52][56]. Η αξιοποίηση όλων των πόρων με τον καλύτερο τρόπο, η παρακολούθηση των δεδομένων της παραγωγής σε πραγματικό χρόνο, μπορεί να προσφέρει αύξηση της παραγωγής μέσα από την άμεση ανταπόκριση σε απροβλέπτους παράγοντες (ασθένειες, έντονα καιρικά φαινόμενα). Επίσης είναι δυνατή η καλύτερη διαχείριση της παραγωγής καθώς θα είναι γνωστές οι συνθήκες ανάπτυξης της καλλιέργειας σε κάθε στάδιο. Μπορεί να γίνεται καλύτερη πρόβλεψη του ποτίσματος, των ψεκασμών αλλά και πρόβλεψη για τα αποτελέσματα της παραγωγής. Για να επιτευχθούν όλα τα παραπάνω απαιτούνται αισθητήρες θερμοκρασίας, υγρασίας, συνθηκών εδάφους για την γεωργία, και για την κτηνοτροφία αισθητήρες που παρακολουθούν την υγεία και άλλα χαρακτηριστικά του κάθε ζώου. Πέρα από τους αισθητήρες, απαραίτητες είναι οι τεχνολογίες δικτύωσης για την συλλογή και αποστολή δεδομένων, και Cloud πλατφόρμες για την επεξεργασία των δεδομένων [74].

Αρχιτεκτονική IoT Agriculture

- a. Αισθητήρες εδάφους: μετράνε την θερμοκρασία, υγρασία και άλλα συστατικά του εδάφους (pH). Δίνουν σημαντικές πληροφορίες στον χρήστη καθώς μπορεί να γνωρίζει αν χρειάζεται πότισμα το χωράφι του, αν υπάρχει κάποια ασθένεια στο υπέδαφος οπότε θα μπορεί έγκαιρα να προβεί στις κατάλληλες ενέργειες.
- b. Αισθητήρες κτηνοτροφίας: Είναι αισθητήρες που ελέγχουν και ενημερώνουν την κατάσταση της υγείας του κάθε ζώου συλλέγοντας τις αντίστοιχες πληροφορίες. Επίσης πέρα από την κατάσταση της υγείας του, μπορεί να συλλέγουν πληροφορίες για την τοποθεσία του, που είναι σημαντικό για τον έλεγχο κοπαδιών που είναι ελεύθερα σε μεγάλες περιοχές.
- c. Drones: Τα drones είναι πολύ χρήσιμα για τις εφαρμογές στον τομέα του IoT Agriculture. Ενσωματώνοντας αισθητήρες στα drones είναι δυνατή η γρήγορη

συλλογή δεδομένων από μεγάλες γεωργικές περιοχές. Ο χρήστης μπορεί να έχει πληροφορίες για το μέγεθος της παραγωγής, της κατάστασης της υγείας των φυτών, του ύψος των φυτών και φωτογράφιση καλλιεργειών. Σχετικά με την κτηνοτροφία μπορεί να ελέγχεται η κινητικότητα και η ακριβή θέση κοπαδιών.

- d. Networks: Τεχνολογίες δικτύωσης των αισθητήρων με το cloud. Για εφαρμογές IoT Agriculture απαιτείται μεγάλη εμβέλεια για την αποστολή των δεδομένων καθώς καλύπτουν μεγάλες περιοχές και βρίσκονται μακριά από σταθερές συνδέσεις δικτύου [74].
- e. Cloud Platform: Εφαρμογές που μπορούν να προβλέπουν με βάση τις πληροφορίες που έχουν την παραγωγή που θα έχει ο αγρότης ή και τις ενέργειες θα πρέπει να γίνουν για να υπάρξουν τα καλύτερα αποτελέσματα.



Εικόνα 4-3 IoT Agriculture Αρχιτεκτονική [74]

Στόχοι IoT Agriculture [74]

- Παρακολούθηση των καλλιεργειών με ακρίβεια σε πραγματικό χρόνο, με σκοπό την βελτίωση της ποιότητας παραγωγής και την μείωση του κόστους.
- Γρήγορη και αποτελεσματική επέμβαση σε προβλήματα που μπορεί να προκύψουν (είτε με actuators είτε με ενημέρωση και επέμβαση του χρήστη)
- Εξοικονόμηση φυσικών πόρων και μείωση κόστους παραγωγής
- Προστασία του περιβάλλοντος. Χρησιμοποίηση φυτοφαρμάκων μόνο σε αναγκαίες περιπτώσεις. Ορθολογική χρήση υδάτινων πόρων.

Εφαρμογές IoT Agriculture [37][56][74]

a. Yield Monitoring

Παρακολούθηση των γεωργικών περιοχών σε πραγματικό χρόνο από τους αγρότες. Η λήψη δεδομένων σε πραγματικό χρόνο οδηγεί σε ορθότερες αποφάσεις, μείωση του κόστους παραγωγής και αύξηση της παραγωγικότητας καθώς μπορούν να προληφθούν μη επιθυμητές καταστάσεις.

b. Διαχείριση ποτίσματος

Ο σωστός προγραμματισμός στην άρδευση της καλλιέργειας παίζει κομβικό ρόλο για την τελική παραγωγή. Πέρα από την ποιότητα του τελικού προϊόντος, το κόστος της άρδευσης σε συνδυασμό με την ορθολογική χρήση που πρέπει να γίνεται είναι επίσης σημαντικού παράγοντες. Με το IoT είναι δυνατή η αυτοματοποιημένη άρδευση ανάλογα με τις ανάγκες και τις συνθήκες που επικρατούν στον αγρό. Αισθητήρες υγρασίας και θερμοκρασίας του εδάφους τοποθετούνται στους αγρούς ώστε ο χρήστης να γνωρίζει την κατάσταση της γης και τότε χρειάζεται πότισμα. Επίσης υπάρχει περίπτωση να μην χρειάζεται όλος ο αγρός το ίδιο νερό πράγμα που μπορεί να εντοπισθεί από τον μεγάλο αριθμό sensor σε διαφορετικά σημεία. Με την μετάδοση των πληροφοριών αυτών, είναι δυνατή η έναρξη του ποτίσματος μέσω actuator μόνο όταν είναι πραγματικά αναγκαίο. Όταν το επίπεδο υγρασίας φτάσει στο σημείο που επιθυμεί ο χρήστης, μέσω actuator το πότισμα διακόπτεται. Οι αισθητήρες συνδέονται με κάποιο κεντρικό gateway που βρίσκεται κοντά στον αγρό. Στην συνέχεια ο gateway δρομολογεί τα δεδομένα στο cloud ώστε να είναι διαθέσιμα στον τον χρήστη. Οι αισθητήρες χρησιμοποιούν κάποιο πρωτόκολλο επικοινωνίας για κοντινές (ZigBee) αποστάσεις σε αντίθεση με τον gateway (Cellular) που χρησιμοποιεί για μεγάλες αποστάσεις, λόγω των απομακρυσμένων περιοχών που βρίσκονται οι αγροί [74].

c. Έλεγχος ποιότητας εδάφους, νερού και ασθενειών

Ο έλεγχος και η άμεση επέμβαση σε περίπτωση ασθενειών είναι πολύ σημαντική για τους αγρότες. Αν και είναι δύσκολο μέσω των αισθητήρων να αναγνωριστεί κάποια ασθένεια στο φυτό, είναι εφικτό ο χρήστης να λαμβάνει ειδοποιήσεις αν το έδαφος έχει χαρακτηριστικά που συμβάλουν στην εμφάνιση ασθενειών. Με βάση τα δεδομένα που συλλέγουν οι αισθητήρες, θα γίνεται σύγκριση των δεδομένων και αν συντρέχουν λόγοι για την ανάπτυξη συγκεκριμένων ασθενειών. Τα αποτελέσματα μεταδίδονται στον χρήστη ώστε να μπορεί να λάβει το μέτρα του εγκαίρως [57].

d. Έλεγχος στην χρήση λιπασμάτων

Μέσα από αισθητήρες εδάφους, ο χρήστης γνωρίζει τα χαρακτηριστικά του εδάφους (PH, υγρασία) και ανάλογα με την καλλιέργεια και της απαιτήσεις της, μπορεί να προβεί στην χρήση λιπασμάτων.

e. Παρακολούθηση θερμοκηπίων

Έξυπνη διαχείριση των θερμοκηπίων με την κατάλληλη υποδομή. Με την αξιοποίηση αισθητήρων και actuators είναι δυνατή η διατήρηση της εσωτερικής θερμοκρασίας του θερμοκηπίου στα επιθυμητά επίπεδα ανάλογα με τα στάδια της παραγωγής. Μπορεί να γίνεται ανίχνευση της εσωτερικής και εξωτερικής θερμοκρασίας και αντίστοιχα να ανοίγουν ή να κλείνουν τα παράθυρα του θερμοκηπίου. Αντίστοιχα μπορεί να ρυθμίζεται η άρδευση των φυτών με βάση της συνθήκες του περιβάλλοντος και την υγρασία του εδάφους. Αισθητήρες θα αναγνωρίζουν τις συνθήκες που αναπτύσσονται τα φυτά και ανάλογα με τις συνθήκες περιβάλλοντος και θερμοκηπίου θα επεμβαίνουν για αλλαγή διάφορων καταστάσεων. Μετάδοση real-time βίντεο για τον έλεγχο και ασφάλεια του θερμοκηπίου [44].

f. Παρακολούθηση εγκαταστάσεων & Απομακρυσμένος έλεγχος

Η βελτίωση των συνδέσεων δικτύου σε συνδυασμό με τις συσκευές και μηχανήματα που συνδέονται σε αυτό, οι χρήστες θα μπορούν να χειρίζονται απομακρυσμένα διάφορες συσκευές όπως αντλίες άρδευσης, φωτισμό θερμοκηπίων κα.

g. Έξυπνη Πλοήγηση

Τα autonomous vehicles βρίσκονται στο στάδιο της έρευνας αυτόν τον καιρό. Αντίστοιχα οχήματα για την γεωργική παραγωγή θα μπορούν να λειτουργούν χωρίς οδηγό λαμβάνοντας υπόψη μέσω GPS συντεταγμένες της περιοχής αλλά και μέσω αισθητήρων τις συνθήκες του περιβάλλοντος.

h. Precision Agriculture

Με την έννοια της ακριβής γεωργίας εννοείτε η αξιοποίηση των πληροφοριών για την βέλτιστη διαχείριση των πόρων ώστε να αποδίδει το μέγιστο η καλλιέργεια. Αυτό επιτυγχάνεται καθώς με τα δίκτυα αισθητήρων και τις τεχνολογίες επικοινωνιών είναι δυνατή συλλογή πληροφοριών του αέρα, εδάφους, του καιρού για την καλύτερη λήψη αποφάσεων. Δύο είναι οι κατηγορίες συλλογής δεδομένων. Πρώτον, οι εδάφους που είναι συγκεκριμένοι αισθητήρες για κάθε περιοχή και χρήστη και δεύτερον οι

εναέριοι που καλύπτουν μεγαλύτερες περιοχές και είναι συνήθως αισθητήρες, κάμερες σε εναέρια μέσα (drones, αεροπλάνα, δορυφόροι).

Προκλήσεις

- Ασύρματη δικτυακή κάλυψη σε απομακρυσμένες γεωργικές περιοχές
- Καθορισμός κατάλληλων IoT πρωτοκόλλων για γεωργικές εφαρμογές
- Ασφάλεια δεδομένων και διαχείρισης αισθητήρων
- Διαχείριση Big Data για εύρεση λύσεων
- Εύχρηστες εφαρμογές για μη εξοικειωμένους χρήστες
- Χαμηλό κόστος

Network Technologies

Σε αντίθεση με άλλες εφαρμογές του IoT, στον τομέα της γεωργίας οι αισθητήρες είναι σταθεροί και δεν αλλάζει οι τοποθεσία τους. Επομένως πέρα από την αρχική εγκατάσταση που μπορεί η εφαρμογή να χρειάζεται να γνωρίζει τις γεωγραφικές συντεταγμένες του κάθε αισθητήρα δεν υπάρχουν απαιτήσεις για κινητικότητα. Επομένως η σύνδεση των κόμβων με το δίκτυο εξαρτάτε από την υποδομή δικτύων που υπάρχει στην περιοχή. Cellular, LoRa, 6LowPan είναι ορισμένα παραδείγματα.

- Short Range: BLE, ZigBee, IEEE802.15.4, WiFi/IEEE 802.11
- Long Range: LoRa, Sig Fox, Cellular, NB-IoT

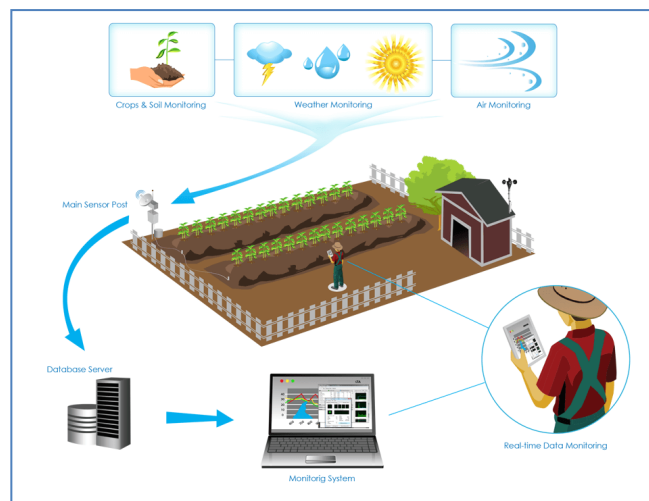
Πίνακας 4-3-3 Τεχνολογίες ασύρματης επικοινωνίας για IoT Agriculture [95]

Τεχνολογία	Εμβέλεια	Κατανάλωση Ρεύματος(mA)	Ρυθμός Μετάδοσης
Wi-Fi	100m	60/160	10-300 Mbps
Bluetooth Low Energy	50m	<15	1 Mbps
ZigBee	30m	58/140	250 Kbps
LoRaWAN	7,2 -15 km	48/125	5 Kbps
SigFox	9,5 km		100bps
NB-IoT	15 km		250kbps
Cellular (3G, 4G)	Δίκτυο	120/260	1-50 Mbps

Παράδειγμα Εφαρμογές για Έξυπνη Άρδευση

Για να είναι οικονομικά εφικτή η ανάπτυξη εφαρμογών IoT , σημαίνει ότι τα στρέμματα που θα καλύπτουν οι αισθητήρες θα είναι αρκετά. Επομένως από τα παραπάνω πρωτόκολλα βλέπουμε ότι αυτό που είναι αποδοτικό για μετάδοση δεδομένων σε μεγάλες αποστάσεις είναι το δίκτυο LoRaWAN [56]. Οι αισθητήρες θα βρίσκονται

διασκορπισμένη σε όλη την καλλιέργεια του χρήστη και επικοινωνούν ασύρματα με κάποιο gateway. Το δίκτυο αισθητήρων συλλέγει πληροφορίες σχετικά με την υγρασία, θερμοκρασία κ.α που έχει το έδαφος, τις στέλνει μέσω του gateway στο δίκτυο και στο Cloud. Στην συνέχεια η εφαρμογή αποφασίζει μέσω κάποιου trigger εάν θα πρέπει να ενεργοποιηθεί το πότισμα ή όχι. Πέρα από τις συνθήκες του εδάφους είναι χρήσιμο να μπορεί να γίνει και πρόβλεψη του καιρού. Δεν είναι λογικό να ξεκινήσουμε το πότισμα όταν γνωρίζουμε ότι έρχεται βροχόπτωση. Για αυτό τον λόγο έχουν αναπτυχθεί μετεωρολογικοί σταθμοί που μπορούν να εγκατασταθούν τοπικά στις καλλιέργειες και να συμβάλουν στην δημιουργία «έξυπνων λύσεων».



Εικόνα 4-3-2: IoT Agriculture [Πηγή Εικόνων 15]

Η εταιρία AURORAS έχει αναπτύξει έναν μετεωρολογικό σταθμό με τεχνολογία LoRa [58]. Για να μπορεί να ανιχνεύει τα καιρικά φαινόμενα έχει ενσωματωμένους αισθητήρες θερμοκρασίας, υγρασίας, βροχής και ταχύτητας αέρα.

Πως λειτουργεί?

- Οι αισθητήρες είναι τοποθετημένοι σε όλη την έκταση του αγρού ανά κάποια τετραγωνικά μέτρα. Αφού συλλέξουν τα δεδομένα, στέλνουν μικρά πακέτα δεδομένων στον gateway που είναι στην εμβέλεια τους. Καθώς το πρωτόκολλο LoRa, έχει περιορισμένο μέγεθος δεδομένων που μπορεί να στείλει το μήνυμα διαιρείται σε μικρότερα κομμάτια.
- Ο gateway που θα επιλέξουμε θα πρέπει να μπορεί να υποστηρίξει την σύνδεση του αριθμού αισθητήρων που βρίσκονται στον αγρό. Ο Gateway συνδέεται με το Cloud για την αποστολή των δεδομένων προς επεξεργασία
- Ο χρήστης μέσω της εφαρμογής παρακολουθεί τα δεδομένα και μπορεί να διαχειρίζεται της συσκευές του απομακρυσμένα.

Τα πλεονεκτήματα του LoRa σε αυτήν την εφαρμογή είναι ότι καλύπτει μια μεγάλη περιοχή και χρειάζεται μικρό αριθμό gateway για την διασύνδεση των αισθητήρων. Επίσης είναι ένα πρωτόκολλο με μικρές ενεργειακές απαιτήσεις πράγμα που είναι σημαντικό ειδικά για αισθητήρες εξωτερικού χώρου που τους κάνουμε εγκατάσταση μια φορά και τους χρησιμοποιούμε. Είναι πρωτόκολλο ανοικτού κώδικα επομένως είναι οικονομικό και μπορεί να συνδυαστεί με άλλα. Χρησιμοποιεί κρυπτογράφηση με τον αλγόριθμο AES128 των δεδομένων που στέλνει.

ΩΦΕΛΗ ΔΙΚΤΥΩΝ 5^{ΗΣ} ΓΕΝΙΑΣ 5G σε εφαρμογές IoT Agriculture

Η υπάρχουσα υποδομή για αγροτικές εφαρμογές είναι προβληματική καθώς η δικτύωση σε απομακρυσμένες περιοχές είναι προβληματική και οι ταχύτητες χαμηλές. Με το 5G θα καλυφθούν τα παραπάνω προβλήματα καθώς θα έχουμε υψηλές ταχύτητες ακόμη και σε μακρινές περιοχές με την χρήση NB-IoT.

5 Μεθοδολογία

Μέχρι σήμερα οι αγρότες εμπειρικά και με βάση τις προγνώσεις καιρού προγραμματίζουν τις ημέρες που θα ποτίσουν ανάλογα με το στάδιο της παραγωγής. Πλέον με το IoT και τα δίκτυα αισθητήρων, οι χρήστες θα γνωρίζουν σε πραγματικό χρόνο τα δεδομένα του χωραφιού τους (θερμοκρασία, υγρασία, pH, ταχύτητα αέρα), ώστε να μπορεί το πότισμα να γίνεται αυτοματοποιημένα, όταν το σύστημα κρίνει ότι είναι απαραίτητο.

5.1 Σύστημα άρδευσης με χρήση δεδομένων site πρόγνωσης καιρού

Το σύστημα θα συλλέγει τα δεδομένα μέσω αισθητήρων και με βάση και άλλες πληροφορίες όπως στάδιο ανάπτυξη του φυτού, κάθε πότε και για πόση ώρα χρειάζεται πότισμα, θα ενεργοποιείται ή όχι. Ωστόσο υπάρχουν και επιπλέον δεδομένα που θα πρέπει να υπολογισθούν για την καλύτερη λήψη αποφάσεων. Η δυνατότητα πρόβλεψης του καιρού για τον καλύτερο προγραμματισμό του ποτίσματος είναι απαραίτητη. Πολλές εταιρίες προσφέρουν ολοκληρωμένα συστήματα άρδευσης με εγκατάσταση μετεωρολογικών σταθμών. Για λόγους οικονομίας αντί της εγκατάστασης ολόκληρου συστήματος μετεωρολογικού σταθμού, το σύστημα μας θα χρησιμοποιήσει δεδομένα από ιστοσελίδες πρόγνωσης καιρού. Πολλές σελίδες προσφέρουν τέτοιες υπηρεσίες με μικρή συνδρομή. Ο χρήστης μπορεί μέσω API να λαμβάνει τα δεδομένα καιρού για την περιοχή που τον ενδιαφέρει. Το κόστος της συνδρομής είναι πολύ μικρό σε σχέση με την εγκατάσταση ενός μετεωρολογικού σταθμού και εξασφαλίζεται η συνεχής λειτουργία της υπηρεσίας καθώς υπάρχει μεγαλύτερη υποστήριξη από ότι σε κάποιον ατομικό σταθμό. Τέλος τα δεδομένα μπορούν να μεταφέρονται σε μια Cloud πλατφόρμα για παρακολούθηση, καταγραφή των δεδομένων αλλά και απομακρυσμένη διαχείριση του ποτίσματος από τον χρήστη.

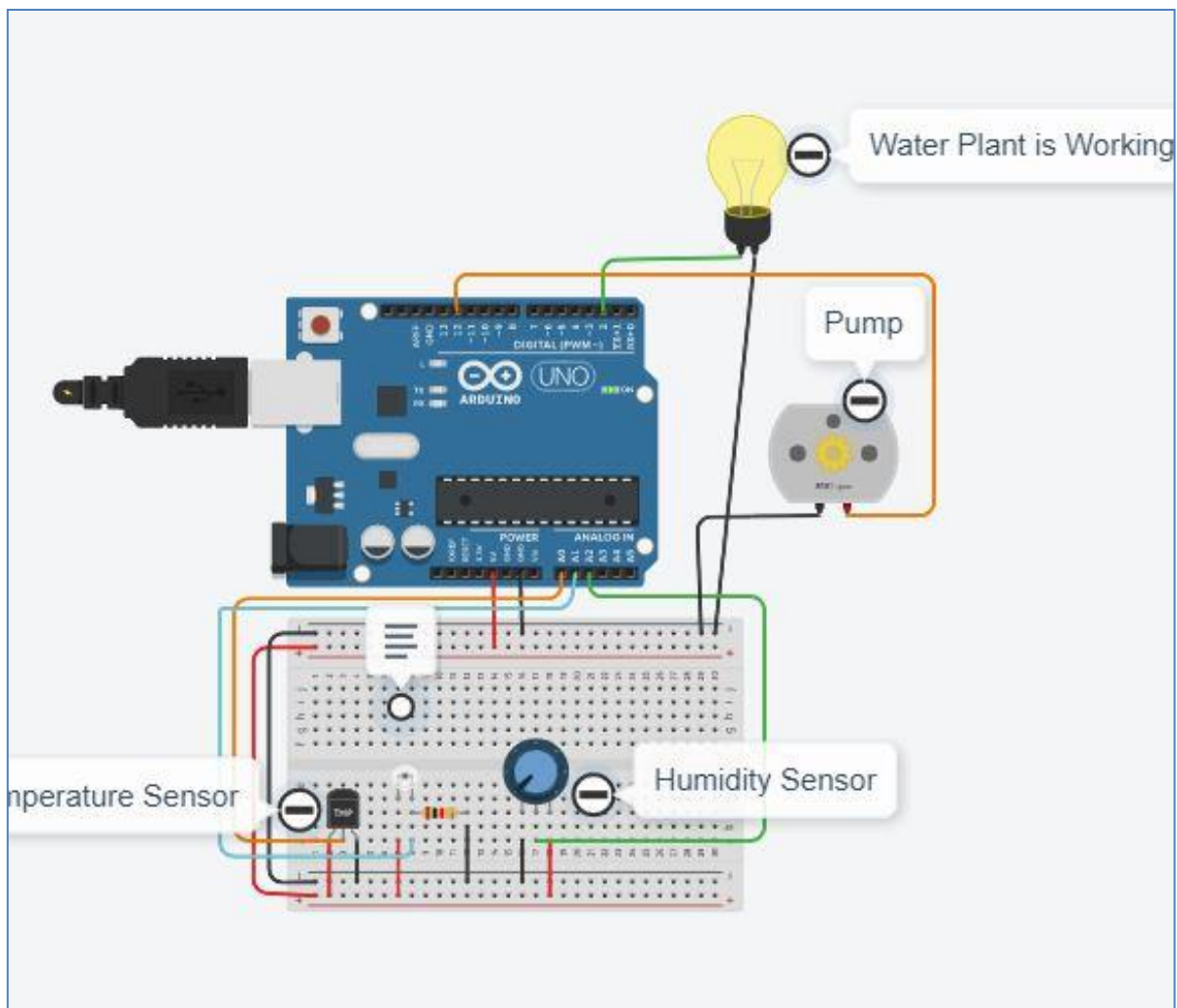
Δομή

Το σύστημα αποτελείται από ένα δίκτυο αισθητήρων όπου συλλέγει τις συνθήκες του αγρού, ένα μοτέρ που ενεργοποιεί την άρδευση και ένα Arduino. Ο χρήστης αφού ορίσει τις συνθήκες που θα ξεκινάει το πότισμα (στάδιο παραγωγής, ώρα, υγρασία, θερμοκρασία), το σύστημα θα λαμβάνει υπόψη και τα δεδομένα πρόγνωσης καιρού για να προγραμματίσει το επόμενο πότισμα. Σαν παράδειγμα χρονικά ορίζουμε ότι χρειάζεται πότισμα κάθε 3 μέρες με απόκλιση +2μέρες σε περίπτωση που προβλέπεται

βροχή. Για παράδειγμα αν είναι να βρέξει σε 2 μέρες, το σύστημα θα λαμβάνει υπόψη αυτά τα δεδομένα και δεν θα ξεκινάει την άρδευση. Εφόσον η πρόβλεψη δεν είναι πετυχημένη και δεν βρέξει το πότισμα, θα ξεκινάει άμεσα. Σε αντίθετη περίπτωση που έχουμε βροχόπτωση, θα προγραμματίζεται το επόμενο πότισμα μετά από 3 ημέρες.

5.2 Αρχιτεκτονική

Τα απαραίτητα μέρη του συστήματος είναι οι αισθητήρες, ένα μοτέρ που ξεκινάει ή όχι το πότισμα, και το Arduino που συνδέονται όλα τα παραπάνω και με βάση τον προγραμματισμό του λαμβάνει τις αποφάσεις. Τέλος απαιτείται να υπάρχει μια συνδρομή σε κάποια ιστοσελίδα προγνώσεων καιρού ώστε να έχουμε δεδομένα πρόγνωσης για τις επόμενες ημέρες. Τέλος είναι δυνατή σαν επέκταση η σύνδεση του Arduino με κάποια πλατφόρμα στο Cloud, για την παρακολούθηση των δεδομένων και τον απομακρυσμένο έλεγχο της άρδευσης.



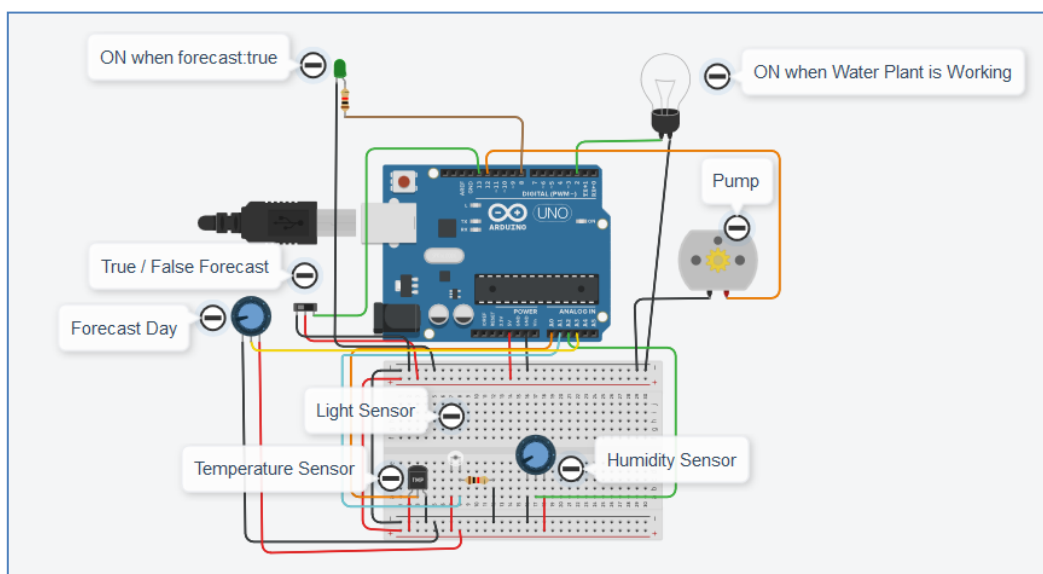
Εικόνα 6-1: Αρχιτεκτονική Έξυπνης Άρδευσης

Αισθητήρες και Λειτουργία Συστήματος

- Θερμοκρασίας: θέλουμε να ποτίζει κάτω από 30 βαθμούς ώστε να μην εξατμίζεται το νερό στις υψηλές θερμοκρασίες. Τιμές από -50 μέχρι 70.
- Light Sensor: Αισθητήρας που αναγνωρίζει την ένταση του φωτός. Δεν θέλουμε να ποτίζει όταν έχει μεγάλη ένταση (εξατμίζεται το νερό αλλά ούτε και πολύ χαμηλή καθώς το βράδυ αυξάνονται η πιθανότητες για εμφάνιση ασθενειών εξαιτίας υψηλής υγρασίας. Τιμές από 1-24 που αντιπροσωπεύουν τις ώρες της ημέρας. Ιδανικές ώρες ποτίσματος μεταξύ 7-12.
- Υγρασίας: Ελέγχει τα επίπεδα υγρασίας του εδάφους και ενεργοποιεί το σύστημα μας όταν κρίνεται απαραίτητο. Τιμές από 0-10 [0 dry, 10 wet]. Πάνω από 5 δεν χρειάζεται πότισμα.

Λειτουργία Πρόγνωσης Καιρού

Για την προσομοίωση της λειτουργίας του συστήματος με την ανάγνωση δεδομένων από site πρόγνωσης καιρού, χρησιμοποιείτε ένα switch και ένα potentiometer. Το switch μπορεί να πάρει τιμή 0 ή 1 ανάλογα με το αν η πρόβλεψη του καιρού είναι αληθής ή όχι. Αυτό το ορίζει ο χρήστης για να ελέγξει την αντίδραση του συστήματος. Με το potentiometer ορίζουμε σε πόσες μέρες από σήμερα πρόκειται να βρέξει. Σε πραγματικές συνθήκες το switch δεν χρειάζεται καθώς το σύστημα θα διαβάζει τις ημέρες που πρόκειται να βρέξει. Εφόσον ξεπεραστεί ο χρόνος που υπήρχε η πρόβλεψη για βροχή, και οι αισθητήρες δεν αναγνωρίζουν βροχή ξεκινάει αυτόματα το πότισμα.



5.3 Δεδομένα Forecast μέσω www.apixu.com

Καθώς το κόστος για την εγκατάσταση ενός μετεωρολογικού σταθμού είναι υψηλό, εναλλακτική λύση είναι η ανάγνωση δεδομένων από online site πρόβλεψης καιρού. Πολλές ιστοσελίδες προσφέρουν υπηρεσίες με συνδρομή ή ελεύθερα api για να μπορούν οι χρήστες να τα προσθέσουν σε προσωπικές εφαρμογές. Μία από αυτές είναι η σελίδα www.apixu.com όπου μετά από εγγραφή, ο χρήστης μπορεί να έχει πρόσβαση σε πληροφορίες καιρού για την περιοχή που επιθυμεί. Οι πληροφορίες αφορούν τωρινά δεδομένα και δεδομένα πρόβλεψης καιρού για τις 10 επόμενες μέρες. Για να έχουμε πρόσβαση στο API ώστε να μπορούμε να χρησιμοποιούμε τα δεδομένα, η σελίδα δίνει σε κάθε χρήστη ένα μοναδικό κλειδί το οποίο θα πρέπει να το ενσωματώνει στα request του.

Request

Μέσω API μπορούμε να τραβήξουμε δεδομένα 4 διαφορετικών κατηγοριών όπως βλέπουμε από την παρακάτω εικόνα. Τα δεδομένα αφορούν τα τωρινά δεδομένα καιρού, δεδομένα πρόβλεψης, αναζήτησης και ιστορικό.

API	API Method
Current weather	/current.json or /current.xml
Forecast	/forecast.json or /forecast.xml
Search or Autocomplete	/search.json or /search.xml
History	/history.json or /history.xml

Εικόνα 6-3-1 Επιλογές API APIXU [Πηγή Εικόνων 15]

URL

```
https://api.apixu.com/v1/forecast.json?key=2add197156bc4848ac5103135191706&q=Thessaloniki&days=2
```

Οι παράμετροι που βάζουμε στο url ορίζουν και τα επιστρεφόμενα αποτελέσματα. Απαραίτητες παράμετροι είναι το API Key που αποκτάμε με την εγγραφή μας στην σελίδα και το query q που αφορά ποια στοιχεία θέλουμε. Κάποιες από τις βασικές παραμέτρους τις βλέπουμε στην παρακάτω εικόνα 6.2, ενώ αναλυτικά την λίστα την βρίσκουμε στο <https://www.apixu.com/doc/>.

Request Parameters

Parameter		Description
key	Required	API Key
q	Required	Query parameter based on which data is sent back
days	Required only with forecast API method.	Number of days of forecast required.
(Optional) hour	Restricting forecast or history output to a specific hour in a given day.	Must be in 24 hour. For example 5 pm should be hour=17, 6 am as hour=6
(Optional) lang	Returns 'condition:text' field in API in the desired language	Please pass 'lang code' from below table. e.g.: lang=fr

Εικόνα 6-3-2 Παράμετροι API APIXU [Πηγή Εικόνων 15]

Εφόσον το αίτημα προς την σελίδα είναι σωστό, το api μας επιστρέφει τα δεδομένα στην επιθυμητή μορφή που θέλουμε. Υπάρχει υποστήριξη για αποστολή δεδομένων σε μορφή JSON και XML. Τα δεδομένα που επιστρέφονται αφορούν στοιχεία θερμοκρασίας, υγρασίας, ταχύτητας & κατεύθυνσης ανέμου, κατάσταση καιρού. Ορισμένες από τις μεταβλητές που χρησιμοποιούνται στο Current και Forecast Request φαίνονται από τις παρακάτω εικόνες.

Current Weather

Field	Data Type	Description
last_updated	string	Local time when the real time data was updated.
temp_c	decimal	Temperature in celsius
temp_f	decimal	Temperature in fahrenheit
feelslike_c	decimal	Feels like temperature in celsius
wind_kph	decimal	Wind speed in kilometer per hour
wind_degree	int	Wind direction in degrees
humidity	int	Humidity as percentage
is_day	int	1 = Yes 0 = No Whether to show day condition icon or night icon

Εικόνα 6-3-3: Μεταβλητές Current Weather [Πηγή Εικόνων 15]

Forecast Weather

Field	Data Type	Description
maxtemp_c	decimal	Maximum temperature in celsius for the day.
mintemp_c	decimal	Minimum temperature in celsius for the day
avgtemp_c	decimal	Average temperature in celsius for the day
maxwind_kph	decimal	Maximum wind speed in kilometer per hour
avghumidity	int	Average humidity as percentage

Εικόνα 6-3-4: Μεταβλητές Current Weather [Πηγή Εικόνων 15]

Κατάσταση Καιρού (Weather Condition)

Η κατάσταση του καιρού για το αν είναι βροχερός, ηλιόλουστος, θυελλώδης αποθηκεύονται στις παρακάτω 3 μεταβλητές condition. Στην text είναι σε μορφή κειμένου η περιγραφή του καιρού, στην icon είναι το link για την αντίστοιχη εικόνα, και στο code ένας μοναδικός κωδικός που σχετίζεται με την κάθε κατάσταση.

condition:text	string	Weather condition text
condition:icon	string	Weather condition icon
condition:code	int	Weather condition code

Εικόνα 6-3-5: Κατάστασης καιρού- Forecast Weather [Πηγή Εικόνων 15]

Παράδειγμα

Ένα παράδειγμα αιτήματος σε μορφή json για την μεταβλητή condition είναι το παρακάτω. Αναλυτικά η λίστα με όλους τους κωδικούς και τις αντίστοιχες συνθήκες είναι βρίσκεται στο αρχείο `Apixu_weather_conditions.json`. [http://www.apixu.com/doc/Apixu_weather_conditions.json].

Conditions Weather

```
{
  "code" : 1000,
  "day" : "Sunny",
  "night" : "Clear",
  "icon" : 113
},
{
  "code" : 1183,
  "day" : "Light rain",
  "night" : "Light rain",
  "icon" : 296
},
{
  "code" : 1195,
  "day" : "Heavy rain",
  "night" : "Heavy rain",
  "icon" : 308
}
```

Για να συνεχίσουμε το παράδειγμα θα κάνουμε ένα ολοκληρωμένο αίτημα για την πόλη της Θεσσαλονίκης για πρόγνωση καιρού για τις επόμενες 2 ημέρες.

Call

```
https://api.apixu.com/v1/forecast.json?key=2add197156bc4848ac5103135191706&q=Thessaloniki&days=2
```

Με τον παραπάνω τρόπο ζητάμε δεδομένα πρόβλεψης καιρού (forecast.json) με το μοναδικό κλειδί για το Api που μας παρέχει η ιστοσελίδα (2add197156bc4848ac5103135191706), στην πόλη της Θεσσαλονίκης (q=Thessaloniki) για τις επόμενες 2 ημέρες (days=2). Το αποτέλεσμα του αιτήματος φαίνεται παρακάτω.

Response Body

```
{
  "location": {
    "name": "Thessaloniki",
    "region": "Central Macedonia",
    "country": "Greece",
    "lat": 40.64,
    "lon": 22.93,
    "tz_id": "Europe/Athens",
    "localtime_epoch": 1560777597,
    "localtime": "2019-06-17 16:19"
  }, "current": {
    "last_updated_epoch": 1560777304,
    "last_updated": "2019-06-17 16:15",
    "temp_c": 28.0,
    "temp_f": 82.4,
    "is_day": 1,
    "condition": {
      "text": "Partly cloudy",
      "icon": "//cdn.apixu.com/weather/64x64/day/116.png",
      "code": 1003
    },
    "wind_mph": 0.0,
    "wind_kph": 0.0,
    "wind_degree": 244,
    "wind_dir": "WSW",
    "pressure_mb": 1012.0,
    "pressure_in": 30.4,
    "precip_mm": 0.0,
    "precip_in": 0.0,
    "humidity": 58,
    "cloud": 75,
    "feelslike_c": 29.5,
    "feelslike_f": 85.1,
    "vis_km": 10.0,
    "vis_miles": 6.0,
    "uv": 7.0,
    "gust_mph": 7.4,
    "gust_kph": 11.9
  },
}
```

Αρχικά μας επιστρέφονται τα τωρινά δεδομένα (“current”) για την περιοχή (“location”) που έχουμε επιλέξει. Όπως βλέπουμε υπάρχουν αναλυτικά όλα τα δεδομένα σχετικά με τον καιρό. Ορισμένες από τις πιο χρήσιμες πληροφορίες που βρίσκουμε εδώ είναι στοιχεία για την περιοχή (όνομα, διαμέρισμα), την ημερομηνία/ώρα που έγινε το αίτημα, την ημερομηνία/ώρα που έγινε η τελευταία ανανέωση δεδομένων. Όσον αφορά τις πληροφορίες για τον καιρό έχουμε στοιχεία για θερμοκρασία, αίσθηση θερμοκρασίας, υγρασία, ταχύτητα αέρα και αν είναι μέρα ή όχι.

Τα δεδομένα για το **forecast** είναι στην συνέχεια του αρχείου json τα οποία φαίνονται παρακάτω αναλυτικά.

```
"forecast": {
  "forecastday": [
    {
      "date": "2019-06-17",
      "date_epoch": 1560729600,
      "day": {
        "maxtemp_c": 31.1,
        "maxtemp_f": 88.0,
        "mintemp_c": 21.6,
        "mintemp_f": 70.9,
        "avgtemp_c": 26.2,
        "avgtemp_f": 79.2,
        "maxwind_mph": 8.7,
        "maxwind_kph": 14.0,
        "totalprecip_mm": 4.8,
        "totalprecip_in": 0.19,
        "avgvis_km": 18.5,
        "avgvis_miles": 11.0,
        "avghumidity": 56.0,
        "condition": {
          "text": "Moderate or heavy rain shower",
          "icon": "//cdn.apixu.com/weather/64x64/day/356.png",
          "code": 1243
        },
        "uv": 8.3
      },
      "astro": {
        "sunrise": "05:57 AM",
        "sunset": "09:02 PM",
        "moonrise": "09:12 PM",
        "moonset": "06:00 AM"
      }
    }
  ]
}
```

Εδώ βλέπουμε τα στοιχεία του καιρού που θα έχουμε σύμφωνα με την πρόγνωση. Η παραπάνω εγγραφή αντιστοιχεί στην ημερομηνία 17/6/2019 (“forecast date). Ανάλογα με το πόσες μέρες επιλέγουμε μας επιστρέφονται οι αντίστοιχες εγγραφές. Όπως βλέπουμε έχουμε την ημερομηνία και αναλυτικά στοιχεία για τον καιρό, όπως μέγιστη, ελάχιστη, μέση θερμοκρασία, ταχύτητα ανέμου, υγρασία, περιγραφή καιρού, και ώρες δύσης και ανατολής. Στο προτεινόμενο σύστημα τα στοιχεία που χρειαζόμαστε είναι “date” και το “condition:text”. Αρχικά από την μεταβλητή “condition:text” θα επιλέγουμε μόνο εκείνες τις τιμές που περιέχουν το “rain” και στην συνέχεια την αντίστοιχη ημερομηνία «date» για να υπολογίσουμε σε πόσες μέρες προβλέπεται βροχή από την σημερινή ημερομηνία.

5.4 Δοκιμές και Αποτελέσματα

Αρχικά κάνουμε εγγραφή στην σελίδα www.tinkercard.com, η οποία προσφέρει ένα περιβάλλον ανάπτυξης εφαρμογών IoT με την χρήση Arduino και βασικών

αισθητήρων. Πέρα από την συνδεσμολογία των αισθητήρων με το Arduino υπάρχει και η δυνατότητα προγραμματισμού για να δούμε πως αντιδράει στα δεδομένα που συλλέγουν οι αισθητήρες που χρησιμοποιήσαμε. Αφού συνδέσαμε τους αισθητήρες που θέλουμε και προγραμματίσουμε κατάλληλα το Arduino μπορούμε να ξεκινήσουμε την προσομοίωση του συστήματος. Μέσα από το Serial Monitor παρατηρούμε τα αποτελέσματα της λειτουργίας του συστήματος μας.

Βασικές Περιπτώσεις Χρήσης

1.Αρδευσης χωρίς δεδομένα πρόγνωσης	
Κύριες Συνθήκες που ενεργοποιείτε	Υγρασία κάτω από 5, Θερμοκρασία κάτω από 30, Light μεταξύ 7 12, κάθε 3 ημέρες
2.Αρδευσης με δεδομένα πρόγνωσης.	Αναβολή ποτίσματος όταν πρόκειται να βρέξει εντός 2 ημερών από την προγραμματισμένη μέρα
a. Αποτυχημένη Πρόβλεψη Καιρού	Ξεκινάει άμεσα το πότισμα και ο προγραμματισμός αρχίζει από την αρχή
b. Πετυχημένη Πρόβλεψη Καιρού	Εμφανίζει μήνυμα βροχής και ο προγραμματισμός αρχίζει από την αρχή

Περίπτωση 1

1. Start Simulation: Μας εμφανίζει τα στοιχεία φωτός, υγρασίας, θερμοκρασίας και τις ημέρες που έχει να ποτιστεί. Κάθε επανάληψη αναπαριστά την αλλαγή της ημέρας.

```
Plant is OK:
Light: 8 || Humidity: 10 || Temperature: 25
Day without water: 1
Plant is OK:
Light: 0 || Humidity: 0 || Temperature: 25
Day without water: 2
Plant is OK:
Light: 0 || Humidity: 0 || Temperature: 25
Day without water: 3
```

Μετά από 3 ημέρες και εφόσον ικανοποιούνται τα κριτήρια εμφανίζει ειδοποίηση ότι το έδαφος χρειάζεται νερό. Το πότισμα επιτρέπεται να ξεκινήσει μεταξύ 7 και 12 το πρωί.

```
Dry Soil. Water Needed
Temperature: -6 || Light: 0 || Humidity: 0
Water Plant Start Between 7 and 12 o'clock.
Dry Soil. Water Needed
Temperature: -6 || Light: 0 || Humidity: 0
Water Plant Start Between 7 and 12 o'clock.
```

Μόλις ρυθμίσουμε από το Tinker Card τον αισθητήρα φωτός να έχει τιμή μεταξύ του εύρους 7-12 παρατηρούμε ότι αρχίζει το μοτέρ να γυρίζει που αναπαριστά την έναρξη του ποτίσματος από κάποιο πηγάδι ή γεώτρηση και η λάμπα ανάβει ως ένδειξη

σωστής λειτουργίας. Στο serial monitor μας εμφανίζονται τα αντίστοιχα μηνύματα επιβεβαίωσης.

```
Water Plant Start:
Water Plant Completed Successfully:
Plant is OK:
Light: 9 || Humidity: 0 || Temperature: 5 ||
Day without water: 0
```

Παρατηρούμε ότι εμφανίζει το μήνυμα ότι το πότισμα ξεκίνησε και ολοκληρώθηκε. Η μεταβλητή **curDate** μετράει την ημέρα που έγινε το τελευταίο πότισμα. Μόλις ολοκληρωθεί το πότισμα μηδενίζεται και η όλη διαδικασία συνεχίζει από την αρχή.

Περίπτωση 2a-Αποτελέσματα με Forecast

ForecastDate = 4, Switch = 0 (not rain)

```
Plant is OK:
Light: 0 || Humidity: 0 || Temperature: -6
  || ForeCast Date: 4
Day without water: 0
Plant is OK:
Light: 0 || Humidity: 0 || Temperature: -6
  || ForeCast Date: 4
Day without water: 1
Plant is OK:
Light: 0 || Humidity: 0 || Temperature: -6
  || ForeCast Date: 4
Day without water: 2
Dry Soil. Water Needed
Temperature: -6 || Light: 0 || Humidity: 0
  || ForeCast Date: 4
Is Goint to Rain Please Wait
Light: 0 || Humidity: 0 || Temperature: -6
Date to Rain: 1
Dry Soil. Water Needed
Temperature: -6 || Light: 0 || Humidity: 0
  || ForeCast Date: 4
NOT RAIN!!! FORCE START!!!
Day without water: Water Plant Start Between 7 and 12 o'clock.
Water Plant Start:
Water Plant Completed Successfully:
Plant is OK:
Light: 10 || Humidity: 10 || Temperature: 0 ||
Day without water: 0
```

Από τις εκτυπώσεις βλέπουμε ότι προβλέπεται να βρέξει την 4 ημέρα (Forecast Date). Μετά την 3^η ημέρα μας εμφανίζει μήνυμα ότι το έδαφος χρειάζεται νερό, ωστόσο επειδή προβλέπεται βροχή την 4^η ημέρα το σύστημα δεν ξεκινάει αλλά ενημερώνει ότι πρόκειται να βρέξει σε 1 ημέρα. (Date to Rain:). Τέλος αφού έχουμε επιλογή να μην βρέξει σύμφωνα με την πρόγνωση, το σύστημα μας εμφανίζει το αντίστοιχο μήνυμα ότι δεν έβρεξε και χρειάζεται άμεση έναρξη του ποτίσματος(“NOT RAIN. FORCE START!!!”). Αφού περιμένει ο αισθητήρας light να πάρει τιμή [7-12] το πότισμα ξεκινάει και η διαδικασία ξεκινάει από την αρχή, μηδενίζοντας το curDate που κρατάει την τελευταία μέρα ποτίσματος.

Περίπτωση 2b-Αποτελέσματα με Forecast

ForecastDate = 4, Switch = 1 (rain)

```
Plant is OK:
Light: 0 || Humidity: 0 || Temperature: -6
  || ForeCast Date: 4
Day without water: 0
Plant is OK:
Light: 0 || Humidity: 0 || Temperature: -6
  || ForeCast Date: 4
Day without water: 1
Plant is OK:
Light: 0 || Humidity: 0 || Temperature: -6
  || ForeCast Date: 4
Day without water: 2
Dry Soil. Water Needed
Temperature: -6 || Light: 0 || Humidity: 0
  || ForeCast Date: 4
Is Goint to Rain.Please Wait
Light: 0 || Humidity: 0|| Temperature: -6
Date to Rain: 1
Dry Soil. Water Needed
Temperature: -6 || Light: 0 || Humidity: 0
  || ForeCast Date: 4
Raining!!!Plants OK
Plant is OK:
Light: 0 || Humidity: 0 || Temperature: -6
  || ForeCast Date: 4
Day without water: 0
```

Από τις εκτυπώσεις βλέπουμε ότι προβλέπεται να βρέξει την 4 ημέρα (ForeCast Date). Μετά την 3^η ημέρα μας εμφανίζει μήνυμα ότι το έδαφος χρειάζεται νερό ωστόσο επειδή προβλέπεται βροχή την 4^η ημέρα το σύστημα δεν ξεκινάει αλλά ενημερώνει ότι πρόκειται να βρέξει σε 1 ημέρα. (Is Goint to Rain.Please Wait. Date to Rain:1). Εφόσον τώρα έχουμε σαν επιλογή να βρέξει, όταν έρθει η 4^η ημέρα μας εμφανίζει το αντίστοιχο μήνυμα ότι έβρεξε. (“ Raining!!!Plants OK”). Εφόσον έχουν ποτιστεί τα φυτά, το curDate μηδενίζεται και η διαδικασία επαναλαμβάνεται από την αρχή.

6 Επίλογος

6.1 Σύνοψη και Συμπεράσματα

Η ανάπτυξη του IoT σε συνδυασμό με το Cloud και την βελτίωση των δικτύων είδαμε ότι έχει πλήθος εφαρμογών σε τομείς που μπορούν να βελτιώσουν την καθημερινότητα των πολιτών. Η προστασία του περιβάλλοντος με την ορθολογική διαχείριση των διαθέσιμων πόρων είναι περισσότερο εφικτή εφόσον αξιοποιηθούν οι διαθέσιμες τεχνολογίες. Παρατηρήσαμε ότι στον τομέα τις γεωργίας υπάρχουν πολλά οφέλη που σαν τελικό στόχο έχουν την βελτίωση της ποιότητας παραγωγής σε συνδυασμό με την μείωση του κόστους και την προστασία του περιβάλλοντος. Στον τομέα της υγείας επίσης πολλά οφέλη υπάρχουν στον τομέα της πρόληψης αλλά και στην παρακολούθηση και αντιμετώπιση ασθενειών. Η ανάπτυξη των δικτύων 5G αναμένεται να δώσει μεγάλη ώθηση στις εφαρμογές IoT, καθώς θα βελτιωθούν οι ταχύτητες μεταφοράς δεδομένων, η χωρητικότητα του δικτύου και η εμβέλεια. Ειδικά για εφαρμογές όπως στον τομέα της υγείας, η εξέλιξη αυτή είναι απαραίτητη για την λειτουργία αξιόπιστων εφαρμογών που χρησιμοποιούν κρίσιμα δεδομένα όπως τα ιατρικά. Το προτεινόμενο σύστημα άρδευσης με την αξιοποίηση των δεδομένων πρόγνωσης καιρού επιτυγχάνει καλύτερο προγραμματισμό της άρδευσης με βάση τις πραγματικές ανάγκες της καλλιέργειας. Με αυτόν τον τρόπο γίνεται οικονομία στην σπατάλη του νερού, αφού δεν ποτίζουμε όταν γνωρίζουμε ότι θα βρέξει στις επόμενες μέρες. Αυτό έχει επιπλέον οφέλη και στην παραγωγή καθώς πολλές φορές το επιπλέον νερό μπορεί να συμβάλει στην εμφάνιση ασθενειών και παρασίτων εξαιτίας της υψηλής υγρασίας. Τέλος ο χρήστης μέσω του δικτύου αισθητήρων έχει εικόνα για την κατάσταση που επικρατεί στον αγρό με αποτέλεσμα να μπορεί να επέμβει έγκαιρα όταν τα δεδομένα δεν είναι φυσιολογικά.

6.2 Όρια και Περιορισμοί της Έρευνας

Στην παρούσα διπλωματική έγινε μια σύνοψη του Διαδικτύου των Πραγμάτων, όσων αφορά την δομή του, τις τεχνολογίες που συνεργάζεται, τις εφαρμογές του αλλά και τους τρόπους επικοινωνίας των αντικειμένων. Ειδικά έγινε μια πρόταση ενός συστήματος για έξυπνη άρδευση αξιοποιώντας δεδομένα πρόγνωσης καιρού. Το σύστημα βασίζεται σε δεδομένα προσομοίωσης στην πλατφόρμα tinkercard, και όχι πραγματική υλοποίηση.

6.3 Μελλοντικές Επεκτάσεις

Το προτεινόμενο σύστημα μπορεί να επεκταθεί με την χρήση πραγματικών δεδομένων. Με την χρήση Arduino και πραγματικών αισθητήρων και ενσωματώνοντας τον κώδικα μπορεί να λειτουργήσει σε κανονικές συνθήκες. Με την ενσωμάτωση ενός module esp8266 για wifi στο Arduino θα είναι δυνατή η αποστολή των δεδομένων και κάποια online πλατφόρμα για αποστολή των δεδομένων. Έτσι ο χρήστης θα μπορεί να έχει πρόσβαση απομακρυσμένα στις συνθήκες του χωραφιού του ανά πάσα στιγμή. Σε συνδυασμό με την εγγραφή που έχουμε κάνει στο www.apixu.com για πρόσβαση σε δεδομένα πρόγνωσης καιρού θα είναι δυνατός ο συνδυασμός των δεδομένων. Αντί για τον προγραμματισμό που γίνεται στο Arduino στην προσομοίωση μας για τον προγραμματισμό της άρδευσης, ο υπολογισμός θα γίνεται στο Cloud με βάση πραγματικά δεδομένα από αισθητήρες και δεδομένα πρόγνωσης για τον σωστό προγραμματισμό της άρδευσης.

Βιβλιογραφία

1. Cisco. White Paper, «*The Internet of Things, How the Next Evolution of the Internet Is Changing Everything*», April 2011
2. Roberto Minerva, Abyi Biru, Domenico Rotondi, «*Towards a definition of the Internet of Things(IoT)*», IEEE Internet Initiative, 27 May 2015
3. GSMA. White Paper, «*Understanding the Internet of Things (IoT)*», July 2014
4. Intel. White Paper, «*Exploring the Internet of Things in the Enterprise*», February 2015
5. IEC. White Paper, «*Internet of Things: Wireless Sensor Networks*»,2015
6. Emnify. White Paper, «*Globalized M2M & IoT Connectivity*», 2016
7. HTGN. White Paper, «*Internet of Things Whitepaper Fundamentals*», July 2018
8. Bhagya Nathali Silva, Murad Khan & Kijun Han, «*Internet of Things: A Comprehensive Review of Enabling Technologies, Architecture, and Challenges*», IETE Technical Review, Feb 2017, DOI:10.1080/02564602.2016.1276416
9. Anurag Jain, «*Survey Paper on Cloud Computing*», IJIT, April 2014
10. Peter Mell, Timothy Grance, «*The NIST Definition of Cloud Computing*», NIST Special Publication 800-145 , September 2011
11. Shane Mitchell, Nicola Villa, Martin Stewart-Weeks Anne, Lange, «*The Internet of Everything for Cities*», CISCO Point of View, 2013
12. Cisco. White Paper, «*Radio Frequency Identification (RFID) on Cisco Catalyst 9000 Family Switches*»,2017
13. Mehdi Mohammadi, Mohammed Aledhari, «*Internet of Things: A Survey on Enabling Technologies, Protocols and Applications*», Article in IEEE Communications Surveys, January 2015, DOI: 10.1109/COMST.2015.2444095
14. Karen Rose, Scott Eldridge, Lyman Chapin, «*The Internet of Things: An Overview*», ISOC, October 2015
15. Mark Hung, «*Leading The IoT*», Gartner,2017
16. Laran RFID. White Paper, «*A Basic Introduction To RFID Technology and its Use in the Supply Chain*», January 2014
17. Tara Salman, «*Networking Protocols and Standards for Internet of Things*», <http://www.cse.wustl.edu/~jain/cse570-15/index.html>, November 2015

18. S.M. Riazul Islam, Daehan Kwak, Md. Humaun Kabir, Mahmud Hossain, «*The Internet of Things for Health Care: A Comprehensive Survey*», IEEE Access(Digital Object Identifier 10.1109/ACCESS.2015.2437951) , June 2015
19. Safwan M. Ghaleb, Zuriati Ahmad Zukarnain , «*Mobility management for IoT: a survey*», EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking, December 2016, DOI 10.1186/s13638-016-0659-4
20. G. Araniti, A. Raschell`a, A. Orsino, L. Militano, M. Condoluci, «*Device-to-Device Communications over 5G Systems: Standardization, Challenges and Open Issues*», 5G Mobile Communications pp 337-360 , October 2016
21. SK Telecom. White Paper, «*5G Architecture Design and Implementation Guidelines*», 5G Tech Lab Corporate R&D Center SK telecom, October 2015
22. Huawei. White Paper, «*5G Network Architecture, A High Level Perspective*», 2016
23. Peter Mell, Timothy Grance, «*The NIST Definition of Cloud Computing*», NIST Special Publication 800-145, September 2011
24. NIST, «*Big Data Interoperability Framework: Volume 1, Definitions*», NIST Special Publication 1500-1, September 2015,
<http://dx.doi.org/10.6028/NIST.SP.1500-1>
25. VmWare. White Paper, «*VMware Cloud Infrastructure and Management*», 2011
26. APMG. White Paper, «*Cloud Computing Foundation White Paper*», 2014
27. Cisco, «*Smart city infrastructure needs edge networks*»,
https://www.cisco.com/c/en/us/solutions/internet-of-things/smart-city-infrastructure-edge-networks.html?CAMPAIGN=Corporate+Communications&Country_Site=GL&POSITION=Social%2BMedia&REFERRING_SITE=LinkedIn&CREATIVE=Cisco%2B%2B
28. GSMA. White Paper, «*NB-IoT Deployment Guide to Basic Feature set Requirements*», 5 April 2018
29. Huichen Lin, Neil W. Bergmann, , «*IoT Privacy and Security Challenges for Smart Home Environments*», MDPI Article in Information (Switzerland), July 2016, DOI: 10.3390/info7030044
30. Wu Mengdi, «*WIRELESS COMMUNICATION TECHNOLOGIES IN INTERNET OF THINGS (IOT)*», UNIVERSITY OF VAASA,FACULTY OF TECHNOLOGY, COMMUNICATION AND SYSTEMS ENGINEERING, September 2016
31. Μιχαήλ Στεφανίδης, «*Ασύρματα δικτυακά αισθητήρια Zigbee*», ΑΕΙ ΠΕΙΡΑΙΑ, ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ, ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ Τ.Ε, Ιούνιος 2016

32. Huawei White Paper, «5G A Technology Vision», 2013
33. ΚΑΛΛΙΑΚΜΑΝΗΣ ΝΙΚΟΛΑΟΣ, «SMALL CELLS ΣΤΟ 5G», ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ ΠΑΤΡΑ, ΔΙΚΤΥΑ, ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ & ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ, 2017
34. <https://www.rs-online.com/designspark/eleven-internet-of-things-iot-protocols-you-need-to-know-about>
35. <https://www.sdxcentral.com/5g/definitions/imt-2020/>
36. Δημήτριος Γ. Κυριακίδης, «Δίκτυα Υποδομής και Τεχνολογίες Δικτύωσης για Συστήματα 5ης Γενιάς», ΕΘΝΙΚΟ ΚΑΙ ΚΑΠΟΔΙΣΤΡΙΑΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ, ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ ΤΜΗΜΑ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ ΚΑΙ ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ, ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ ΝΕΕΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ ΚΑΙ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ, Οκτώμβριος 2017
37. Nurzaman Ahmed, Debashis De and Md. Iftekhar Hussain, «Internet of Things (IoT) for Smart Precision Agriculture and Farming in Rural Areas», IEEE INTERNET OF THINGS JOURNAL, July 2018
38. George Kokkonis, Kostas E. Psannis, Yutaka Ishibashi, Byung-Gyu Kim, «Transferring Wireless High Update Rate Supermedia Streams Over IoT», Chapter in Studies in Computational Intelligence, June 2017, DOI: 10.1007/978-3-319-58190-3_6
39. Vasileios A. Memos, Kostas E. Psannis, Yutaka Ishibashi, Byung-Gyu Kim, B.B. Gupta, «An Efficient Algorithm for Media-based Surveillance System (EAMSuS) in IoT Smart City Framework», Future Generation Computer Systems Volume 83, June 2018, Pages 619-628, <http://dx.doi.org/10.1016/j.future.2017.04.039>
40. Andreas P. Plageras, Christos Stergiou, Kostas E. Psannis, Byung-Gyu Kim, Brij Gupta, and Yutaka Ishibashi, «Solutions for Inter-connectivity and Security in a Smart Hospital Building», IEEE 15th International Conference on Industrial Informatics, Emden, Germany July 24-26, 2017. [DOI: 10.1109/INDIN.2017.8104766]
41. C. Stergiou, K. E. Psannis, «Recent advances delivered by Mobile Cloud Computing and Internet of Things for Big Data applications: a survey», Wiley, International Journal of Network Management, pp. 1-12, May 2016. Doi:10.1002/nem.1930
42. Christos Stergiou, Kostas E. Psannis, Byung-Gyu Kim, Brij Gupta, «Secure integration of IoT and Cloud Computing», Elsevier, Future Generation Computer

- Systems, Volume 78, Part 3, Pages 964-975, January 2018,
[<https://doi.org/10.1016/j.future.2016.11.031>]
43. Ioanna Kakalou; Danai Papadopoulou; Theofanis Xifilidis; Kostas E. Psannis; K. Siakavara; Yutaka Ishibashi, «*A survey on spectrum sensing algorithms for cognitive radio networks*», IEEE, International Conference on Modern Circuits and Systems Technologies (MOCASST) on Electronics and Communications, 7 - 9 May 2018, Thessaloniki, Greece DOI: 10.1109/MOCASST.2018.8376562
 44. C. Stergiou, K. E. Psannis, A. P. Plageras, G. Kokkonis, Y. Ishibashi, «*Architecture for Security in IoT Environments*», in Proceedings of 26th IEEE International Symposium on Industrial Electronics, 19-21 June 2017, Edinburgh, Scotland, UK.
 45. Wireless Broadband Alliance , «*Enhanced 802.11ax - Overview Use Cases Features 5G Context*», September 2018
 46. 5G-PPP, «*5G and e-Health*», September 2015
 47. Vodafone. White Paper, «*IoT in healthcare*», 2016
 48. G. Kokkonis, Kostas E. Psannis, M. Roumeliotis, Y. Ishibashi, «*Efficient algorithm for transferring a real-time HEVC stream with haptic data through the internet*», Journal of Real-Time Image Processing, Vol. 12, no 2, pp 343–355, Aug. 2016
 49. H.M. Hasan, S.A.Jawad, «*IoT Protocols for Health Care Systems: A Comparative Study*», IJCSMC, November 2018
 50. Moeen Hassanalierragh, Alex Page, Tolga Soyata, Gaurav Sharma, Mehmet Aktas, Gonzalo Mateos, Burak Kantarci, Silvana Andreescu , «*Health Monitoring and Management Using Internet-of-Things (IoT) Sensing with Cloud-based Processing: Opportunities and Challenges*», 2015 IEEE International Conference on Services Computing, June 2015, DOI: 10.1109/SCC.2015.47
 51. Stephanie Baker, Wei Xiang, Ian Atkinson , «*Internet of Things for Smart Healthcare: Technologies, Challenges, and Opportunities*», Article in IEEE Access, November 2017, DOI: 10.1109/ACCESS.2017.2775180
 52. Nurzaman Ahmed, Debashis De, Senior Member, «*Internet of Things (IoT) for Smart Precision Agriculture and Farming in Rural Areas*», IEEE INTERNET OF THINGS JOURNAL, November 2018, DOI 10.1109/JIOT.2018.2879579
 53. GSMA. White Paper, «*An Introduction to Network Slicing*», 2017

54. Deepak Puthal , Rajiv Ranjan, Jinjun Chen , «*Big Data Stream Security Classification for IoT Applications*», link.springer.com, Encyclopedia of Big Data Technologies, January 2019, DOI: 10.1007/978-3-319-63962-8_236-1
55. Nurzaman Ahmed, Debashis De, Md. Iftekhar Hussain, November, «Internet of Things (IoT) for Smart Precision Agriculture and Farming in Rural Areas», IEEE, 2018
56. M. Stočes, J. Vaněk, J. Masner, J. Pavlík , «*Internet of Things (IoT) in Agriculture - Selected Aspects*», Article in Agris On-line Papers in Economics and Informatics, March 2016, DOI: 10.7160/aol.2016.080108
57. Σίμου Φλώρα, «*Εξοικονόμηση ενέργειας μέσα από ελεγκτές αισθητήρων για υποδομή IoT επεξεργασίας και ρύθμισης των συνθηκών του αγρού*», Π.Μ.Σ. ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΚΑΙ ΔΙΟΙΚΗΣΗ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΚΩΝ ΚΑΙ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΗ : ΔΙΚΤΥΑ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ ΚΑΙ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ , Δεκέμβριος 2018
58. The WEATHER STATION: LoRaWAN, <https://www.auroras.eu/the-weather-station-lorawan/>
59. P. Plageras, K. E. Psannis, C. Stergiou, H. Wang, B. B. Gupta, «*Efficient IoT-based sensor BIG Data collection-processing and analysis in Smart Buildings*», Future Generation Computer Systems, vol. 82, pp. 349-357, May 2018.
60. Stergiou, K. E. Psannis, A. P. Plageras, Y. Ishibashi, B.-G. Kim, «*Algorithms for efficient digital media transmission over IoT and cloud networking*», Journal of Multimedia Information System, vol. 5, no. 1, pp. 27-34, March 2018.
61. Stergiou, K. E. Psannis, A. P. Plageras, T. Xifilidis, B. B. Gupta, «*Security and Privacy of Big Data for Social Networking Services in Cloud*», in Proceedings of IEEE conference on Computer Communications (IEEE INFOCOM 2018), 15-20 April 2018, Honolulu, HI, USA.
62. Stergiou, K. E. Psannis, B. Gupta, Y. Ishibashi, «*Security, Privacy & Efficiency of Sustainable Cloud Computing for Big Data & IoT*», Elsevier, Sustainable Computing, Informatics and Systems, vol. 19, pp. 174-184, September 2018.
63. C. Stergiou, A. P. Plageras, K. E. Psannis, B. B. Gupta, «*Secure Machine Learning scenario from Big Data in Cloud Computing via Internet of Things network*», Springer, Handbook of Computer Networks and Cyber Security: Principles and Paradigms, Multimedia Systems and Applications, in Press, 2019.

64. P. Plageras, K. E. Psannis, Y. Ishibashi, B.-G. Kim, «*IoT-based Surveillance System for Ubiquitous Healthcare*», 42nd Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society, 24/10/2016 - 27/10/2016.
65. P. Plageras, K. E. Psannis, «*Algorithms for Big Data Delivery over the Internet of Things*», in Proceedings of 19th IEEE Conference on Business Informatics 2017 (CBI2017), Doctoral Consortium, 24-26 July 2017, Thessaloniki, Greece.
66. Kostas E, Psannis, Christos Stergiou, and B. B. Gupta, «*Advanced Media-based Smart Big Data on Intelligent Cloud Systems*», IEEE Transactions on Sustainable Computing (T-SUSC), June 2018.
67. G. Kokkonis, Kostas E. Psannis, M. Roumeliotis, Y. Ishibashi, «*Efficient algorithm for transferring a real-time HEVC stream with haptic data through the internet*», Journal of Real-Time Image Processing, Vol. 12, no 2, pp 343–355, Aug. 2016.
68. George Kokkonis, Kostas E. Psannis, Manos Roumeliotis and Dan Schonfeld, «*Real-time wireless multisensory smart surveillance with 3D-HEVC streams for internet-of-things (IoT)*», Journal of Supercomputing, 2016, (<http://link.springer.com/article/10.1007%2Fs11227-016-1769-9>)
69. AvishekSaha, Young-Woon Lee, Young-Sup Hwang, Kostas E. Psannis, Byung-Gyu Kim, «*Context-aware Block-based Motion Estimation Algorithm for Multimedia Internet of Things (IoT) Platform*», Personal and Ubiquitous Computing (Springer), February 2018, Volume 22, Issue 1, pp 163–172
70. Brij Gupta; Nalin A.G. Arachchilage, and Kostas E. Psannis, «*Defending against Phishing Attacks: Taxonomy of Methods, Current Issues and Future Directions*», Telecommunication Systems, [SCOPUS] [Thomson Reuters], [Q2, scimagojr], February 2018, Volume 67, Issue 2, pp 247–267 [<https://doi.org/10.1007/s11235-017-0334-z>]
71. Kostas E. Psannis, «*Radio Resource Allocation on Complex 4G Wireless Cellular Networks*», Journal of Physics (Conference Series), Volume 633, Issue 1, 21 September 2015, Article number 012004, [SCOPUS, [Q3,scimagojr], Journal of Physics: Conference Series 633 (2015) 012004, doi:10.1088/1742-6596/633/1/012004.
72. Kostas E. Psannis, S. Xinogalos and A. Sifaleras, «*Convergence of Internet of things and mobile cloudcomputing*», Systems Science & Control Engineering: An Open

- Access Journal, 2:1, pp. 476-483, May 2014
(<http://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/21642583.2014.913213>)
73. <http://ciscorouterswitch.over-blog.com/2019/01/when-to-upgrade-to-802.11ax.html>
74. Tamoghna Ojha, Sudip Misra, Narendra Singh Raghuwanshi, «*Wireless sensor networks for agriculture: The state-of-the-art in practice and future challenges*», Elsevier, Computers and Electronics in Agriculture 118 (2015) 66–84, September 2015
75. GSMA. White Paper, «*Opportunities and Use Cases for Edge Computing in the IoT*», September 2018
76. <https://5g.co.uk/guides/what-is-enhanced-mobile-broadband-emb/>
77. Παναγιώτης Γ. Τζαγκαράκης, Τεχνολογίες κινητών δικτύων πέμπτης γενιάς, ΕΘΝΙΚΟ ΚΑΙ ΚΑΠΟΔΙΣΤΡΙΑΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ, ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ ΤΜΗΜΑ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ ΚΑΙ ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ, Νοέμβριος 2016
78. <https://www.qualcomm.com/products/snapdragon-x55-5g-modem>

Πηγή Εικόνων

1. <https://ellak.gr/2015/02/to-internet-of-things-diadiktio-ton-pragmaton-stin-fosdem/>
2. <https://www.compass.ie/cloud-lot-mobile/>
3. <https://www.kcsitglobal.com/cloud-computing-services>
4. <https://chrislazari.com/wp-content/uploads/2017/08/Cloud-Computing-Deployment-Models.png>
5. <https://www.sdxcentral.com/5g/definitions/imt-2020/>
6. <http://rumor-dispensary.com/wp-content/uploads/2018/05/outside-cellular-communication-in-the-usa-5g-networks.png>
7. <http://www.digiwhoop.in/wifi-standards-802-11a-b-g-n-ac-speed-and-protocol-explained/>
8. <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Bluetooth.svg>
9. <https://www.rs-online.com/designspark/eleven-internet-of-things-protocols-you-need-to-know-about>
10. <http://www.cieramicrotech.com/RFID-application.html>
11. <https://www.auroras.eu/wireless-sensor-networks-why-adopt-it/>
12. https://br.123rf.com/photo_53823728_smart-city-concept-with-different-icon-and-elements-modern-city-design-with-future-technology-for-li.html?fromid=NCtWU0c3d2VyaGVibWJsMEVzdVNGZz09
13. <https://www.quantzig.com/blog/smart-transportation-telematics>
14. <https://www.semanticscholar.org/paper/BSN-Care%3A-A-Secure-IoT-Based-Modern-Healthcare-Body-Gope-Hwang/415aed0291fa7c9a048792805a1ba1fe8438f984>
15. <https://www.apixu.com/doc/request.aspx>