



**ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ**  
**ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ**  
**ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ**

**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**ΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ ΤΟΥ INTERNET OF THINGS ΚΑΙ ΕΝΣΩΜΑΤΩΣΗ ΤΩΝ  
ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΩΝ ΤΟΥ ΣΤΗΝ ΕΞΥΠΝΗ ΓΕΩΡΓΙΑ**

**ΚΑΚΛΑΜΑΝΗΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ**

**ΑΡΙΘΜΟΣ ΜΗΤΡΩΟΥ: 03111565**

**ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: ΠΑΝΑΓΙΩΤΗΣ Γ. ΚΩΤΤΗΣ,**

**ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ ΕΜΠ**

**ΑΘΗΝΑ, ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ 2020**





**ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ**  
**ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ**  
**ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ**

**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**ΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ ΤΟΥ INTERNET OF THINGS ΚΑΙ ΕΝΣΩΜΑΤΩΣΗ ΤΩΝ**  
**ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΩΝ ΤΟΥ ΣΤΗΝ ΕΞΥΠΙΝΗ ΓΕΩΡΓΙΑ**

ΚΑΚΛΑΜΑΝΗΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ

ΑΡΙΘΜΟΣ ΜΗΤΡΩΟΥ: 03111565

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: ΠΑΝΑΓΙΩΤΗΣ Γ. ΚΩΤΤΗΣ,

ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ ΕΜΠ

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή

.....  
Π. Κωττής  
Καθηγητής Ε.Μ.Π

.....  
Χ. Καψάλης  
Καθηγητής Ε.Μ.Π

.....  
Γ. Φικιώρης  
Καθηγητής Ε.Μ.Π

ΑΘΗΝΑ, ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ 2020



.....

Γεώργιος Σ. Κακλαμάνης

Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο

Copyright © Γεώργιος Σ. Κακλαμάνης, 2020.

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς το συγγραφέα. Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν το συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις επίσημες θέσεις του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.

## Ευχαριστίες

Θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον επιβλέποντα καθηγητή της διπλωματικής μου εργασίας κ. Κωττή Παναγιώτη για τη συνεργασία που είχαμε, καθώς χωρίς τις γνώσεις, τη μεταδοτικότητα και τις συμβουλές του δεν θα ήταν δυνατό να ολοκληρώσω τη διπλωματική μου εργασία. Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένειά μου για τη στήριξη που μου παρείχε όλα τα χρόνια των σπουδών μου. Τέλος, ένα μεγάλο ευχαριστώ στους φίλους και τους συμφοιτητές μου.

## Περιεχόμενα

Περίληψη .....	9
Abstract .....	11
Κατάλογος Σχημάτων .....	13
Κατάλογος Συντμήσεων .....	15
Κεφάλαιο 1.....	19
Εισαγωγή.....	19
1.1 Το Internet of Things στις επιχειρήσεις .....	21
1.2 Ενσωμάτωση τεχνολογιών IoT .....	22
1.3 Σκοπός της εργασίας .....	23
1.4 Διάρθρωση διπλωματικής εργασίας.....	23
Κεφάλαιο 2.....	25
Τα χαρακτηριστικά του Internet of Things και οι κύριες κατηγορίες εφαρμογών του .....	25
2.1 Τα χαρακτηριστικά του Internet of Things.....	25
2.2 Οι κύριες κατηγορίες εφαρμογών του Internet of Things.....	30
Κεφάλαιο 3.....	35
Μοτίβα κατανομής και αρχιτεκτονικές του Internet of Things .....	35
3.1 Μοτίβα κατανομής.....	35
3.2 Αρχιτεκτονικές IoT.....	36
3.2.1 Αρχιτεκτονική 3 στρωμάτων .....	36
3.2.2 Αρχιτεκτονική 4-5 στρωμάτων .....	37
3.2.3 Αρχιτεκτονική προσανατολισμένη σε υπηρεσία (Service oriented Architecture) .....	38
3.2.4 Αρχιτεκτονική 5 στρωμάτων .....	42
3.2.5 Αρχιτεκτονική MEC (Mobile Edge Computing) .....	43
3.2.6 Αρχιτεκτονική αναφοράς IoT-A.....	48
3.3 Παραδείγματα αρχιτεκτονικών.....	63
3.3.1 Εφαρμογή σε αλυσίδα ξενοδοχείων.....	63
3.3.2 Έξυπνο παρκάρισμα .....	65
3.3.3 Παραδείγματα υπηρεσιών Internet of things σε περιβάλλον Mobile Edge Computing .....	68
Κεφάλαιο 4.....	73
Το IoT στη γεωργία.....	73
4.1 Το πρωτόκολλο LoRaWAN και η υλοποίησή του στο σύστημα.....	73
4.2 Επισκόπηση του LoRaWAN .....	74

4.3 Χρήση δικτύου LoRaWAN σε IoT συστήματα γεωργίας .....	75
4.4 Επισκόπηση της αρχιτεκτονικής του συστήματος .....	76
4.4.1 Αρχιτεκτονική υπηρεσίας συλλογής δεδομένων .....	77
4.4.2 Αρχιτεκτονική υπηρεσίας ανάλυσης δεδομένων .....	77
4.4.3 Αρχιτεκτονική υπηρεσίας απομακρυσμένου ελέγχου .....	77
4.5 Ασφάλεια συστήματος.....	77
4.6 Αισθητήρες που χρησιμοποιούνται στη γεωργία.....	78
4.7 WebSocket .....	81
4.8 Χρήση του συστήματος.....	83
4.9 Διαστασιολόγηση αισθητήρων.....	83
Κεφάλαιο 5.....	87
Συμπεράσματα .....	87
Βιβλιογραφία .....	89



## Περίληψη

Το Διαδίκτυο των Πραγμάτων (Internet of Things) αναφέρεται σε ένα μεγάλο αριθμό «πραγμάτων» που είναι συνδεδεμένα στο Διαδίκτυο, ώστε να μπορούν να μοιράζονται δεδομένα με άλλα πράγματα - εφαρμογές IoT, συνδεδεμένες συσκευές, βιομηχανικά μηχανήματα και άλλα. Οι συνδεδεμένες στο Διαδίκτυο συσκευές χρησιμοποιούν ενσωματωμένους αισθητήρες για τη συλλογή δεδομένων και, σε ορισμένες περιπτώσεις, ενεργούν σε αυτό. Οι συσκευές και τα μηχανήματα που συνδέονται με το IoT μπορούν να βελτιώσουν τον τρόπο που εργάζεται και ζει ο άνθρωπος. Τα πραγματικά παραδείγματα Internet of Things κυμαίνονται από ένα έξυπνο σπίτι (smart home) που προσαρμόζει αυτόματα τη θέρμανση και το φωτισμό, σε ένα έξυπνο εργοστάσιο (smart factory) που παρακολουθεί τα βιομηχανικά του μηχανήματα για να αναζητήσει προβλήματα και στη συνέχεια να προσαρμοστεί αυτόματα για την αποφυγή βλαβών. Για την ορθή υλοποίηση του Internet of Things είναι αναγκαίος ο καθορισμός της αρχιτεκτονικής που θα χρησιμοποιηθεί ανάλογα με τις απαιτήσεις του συστήματος. Επιπλέον, σημαντικά είναι τα χαρακτηριστικά του Internet of Things, τα οποία είναι ο κορμός της δύναμης αυτής της τεχνολογίας.

Στο Κεφάλαιο 1 παρέχεται μια γενική εισαγωγή στη διπλωματική εργασία, εισάγοντας τον αναγνώστη στις βασικές έννοιες του Internet of Things. Στο Κεφάλαιο 2, παρουσιάζονται τα κύρια χαρακτηριστικά και οι κατηγορίες των εφαρμογών του IoT σε διάφορους τομείς της καθημερινότητας, καθιστώντας κατανοητό το πόσο ευεργετική είναι η χρήση του Internet of Things. Στο Κεφάλαιο 3, η εργασία επικεντρώνεται στα μοτίβα κατανομής και στις αρχιτεκτονικές του IoT, δίνοντας ιδιαίτερη έμφαση στην IoT-A αρχιτεκτονική αναφοράς. Ταυτόχρονα, παρουσιάζονται μερικά παραδείγματα εφαρμογών των αρχιτεκτονικών. Στο Κεφάλαιο 4, παρουσιάζεται η εφαρμογή του Internet of Things στον τομέα της γεωργίας. Αναλύεται το πρωτόκολλο επικοινωνίας LoRaWAN, η αρχιτεκτονική του συστήματος και τα επιμέρους μέρη του. Επιπλέον, γίνεται αναφορά των σημαντικότερων αισθητήρων που χρησιμοποιούνται στη γεωργία καθώς και η διαστασιολόγησή τους. Τέλος, στο Κεφάλαιο 5, παρουσιάζονται τα συμπεράσματα της διπλωματικής εργασίας μαζί με μελλοντικές προεκτάσεις για μελέτη.

### Λέξεις Κλειδιά

IoT, αρχιτεκτονικές IoT, κατηγορίες εφαρμογών IoT, IoT στον τομέα της γεωργίας, LoRaWAN, αισθητήρες



## Abstract

The Internet of Things refers to a large number of "things" that are connected to the Internet so that they can share data with other things - IoT applications, connected devices, industrial machines, and more. Internet-connected devices use built-in sensors to collect data and, in some cases, act on it. IoT-connected devices and machines can improve the way people work and live. The real examples of Internet of Things range from a smart home that automatically adjusts heating and lighting to a smart factory that monitors its industrial machinery to look for problems and then automatically adjusts to damage prevention. For the correct implementation of the Internet of Things it is necessary to determine the architecture that will be used according to the requirements of the system. In addition, the features of the Internet of Things are important, which are the backbone of the power of this technology.

Chapter 1 provides a general introduction to the dissertation, introducing the reader to the basic concepts of the Internet of Things. Chapter 2 presents the main features and categories of IoT applications in various areas of everyday life, making understandable how beneficial the use of the Internet of Things is. In Chapter 3, the dissertation focuses on IoT distribution patterns and architectures, with particular emphasis on the IoT-A reference architecture. At the same time, some examples of applications that use these architectures are presented. Chapter 4 presents the application of the Internet of Things in the field of agriculture. The LoRaWAN communication protocol, the system architecture and its individual parts are analyzed. In addition, the most important sensors used in agriculture are referred as well as their sizing. Finally, in Chapter 5, the conclusions of the dissertation are presented together with future extensions for study.

### Key Words

Internet of Things, IoT architectures, IoT application, IoT in agriculture, LoRaWAN, sensors



## Κατάλογος Σχημάτων

Σχήμα 1.1	Εξέλιξη του Διαδικτύου
Σχήμα 1.2	Το Internet of Things με αριθμούς
Σχήμα 1.3	Η υιοθέτηση και χρήση του Internet of Things στις βιομηχανίες
Σχήμα 2.1	Τα χαρακτηριστικά του IoT
Σχήμα 2.2	Κατηγορίες εφαρμογών IoT
Σχήμα 3.1	Μοτίβα κατανομής αρχιτεκτονικών IoT
Σχήμα 3.2	Αρχιτεκτονική 3 στρωμάτων
Σχήμα 3.3	Service Oriented Architecture
Σχήμα 3.4	Αρχιτεκτονική 5 στρωμάτων
Σχήμα 3.5	Αρχιτεκτονική δικτύου με χρήση MEC κόμβων
Σχήμα 3.6	MEC Framework
Σχήμα 3.7	Αρχιτεκτονική αναφοράς MEC
Σχήμα 3.8	Διάγραμμα λειτουργικής προβολής IoT-A
Σχήμα 3.9	Λειτουργική Ομάδα Διαχείρισης Διαδικασιών
Σχήμα 3.10	Λειτουργική Ομάδα Οργάνωσης Υπηρεσιών
Σχήμα 3.11	Λειτουργική Ομάδα Εικονικής Οντότητας
Σχήμα 3.12	Λειτουργική Ομάδα Υπηρεσίας IoT
Σχήμα 3.13	Λειτουργική Ομάδα Επικοινωνίας
Σχήμα 3.14	Λειτουργική Ομάδα Ασφαλείας
Σχήμα 3.15	Λειτουργική Ομάδα Διαχείρισης
Σχήμα 3.16	Smart Hotel
Σχήμα 3.17	Προβολή κεντρικής πλατφόρμας IoT
Σχήμα 3.18	Αρχιτεκτονική IoT Smart Parking
Σχήμα 3.19	Κατηγορίες χώρων στάθμευσης αυτοκινήτων
Σχήμα 3.20	Παρακολούθηση και επεξεργασία βίντεο με χρήση MEC κόμβου
Σχήμα 3.21	Χρήση MEC για συνδεδεμένα αυτοκίνητα και κινούμενες συσκευές
Σχήμα 4.1	Αρχιτεκτονική IoT για έξυπνη γεωργία
Σχήμα 4.2	Αισθητήρας υγρασίας/θερμοκρασίας περιβάλλοντος
Σχήμα 4.3	Αισθητήρας ηλεκτρικής αγωγιμότητας
Σχήμα 4.4	Αισθητήρας pH
Σχήμα 4.5	Αισθητήρας υπερήχων
Σχήμα 4.6	Αισθητήρας ανίχνευσης φλόγας
Σχήμα 4.7	Αισθητήρας έντασης φωτός
Σχήμα 4.8	Αισθητήρας υγρασίας εδάφους
Σχήμα 4.9	Ροή πληροφοριών HTTP και WebSocket
Σχήμα 4.10	Ογκομετρική περιεκτικότητα σε νερό και ορισμός ζωνών
Σχήμα 4.11	Διαστασιολόγηση αισθητήρων και ενεργοποιητών στη γεωργία



## Κατάλογος Συντμήσεων

3G	3rd Generation
3GPP	3rd Generation Partnership Project
4G	4th Generation
5G	5th Generation
	Internet Protocol (IPv6) Low-power Wireless Personal Area
6LoW-PAN	Networks
ABC&S	Always Best Connected and best Served
AC-DC	Alternating Current-Direct Current
AES	Advanced Encryption Standard
AI	Artificial intelligence
API	Application Programming Interface
ARM	Advanced RISC Machine
BLE	Bluetooth Low Energy
BPEL	Business Process Execution Language
CAN	Controller Area Network
CEC	Cation Exchange Capacity
CFS	Customer-Facing Service
CoAP	Constrained Application Protocol
CSS	Chirp Spread Spectrum
dB	Decibel
DoS	Denial-of-Service
ECa	Apparent Electrical Conductivity
EPC	Electronic Product Code
ERP	Enterprise Resource Planning
ETSI	European Telecommunications Standards Institute
FC	Functional Component
FCAPS	Fault, Configuration, Accounting, Performance, Security
FG	Functional Group
FSK	Frequency-Shift Keying
GIS	Geographic Information Systems
GPS	Global Positioning System
GSM	Global System for Mobile Communications
HTTP	Hypertext Transfer Protocol Secure
IaaS	Infrastructure as a Service
ID	Identity Document
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
IETF	Internet Engineering Task Force
IoE	Internet of Everything
IOsA	Internet of smart Agriculture
IOsC	Internet of smart City
IOsE	Internet of smart Environment
IOsH	Internet of smart Health
IOsI	Internet of smart Industry

IOsL	Internet of smart Living
IoT	Internet of Things
IoV	Internet of Vehicles
IP	Internet Protocol
IPv4	Internet Protocol version 4
IPv6	Internet Protocol version 6
ITS	Intelligent Trasport Systems
IwIP	lightweight IP
KEM	Key Exchange and Management
LAN	Local Area Network
LCD	Liquid-Crystal Display
LoRaWAN	Long Range Low-Power Wide-Area Network
LPWAN	Low-Power Wide-Area Network
LTE	Long-Term Evolution
LWM2M	Lightweight M2M
M2M	Machine-to-machine
ME	Mobile Edge
MEO	Mobile Edge Orchestrator
MEPM	Mobile Edge Platform Manager
mIP	mobile Internet Protocol
NB-IoT	NarrowBand Internet of Things
NETCONF	Network Configuration Protocol
NFC	Near Field Communication
NFV	Network Function Virtualization
No-SQL	Not only Structured Query Language
NRF	Network Repository Functions
OMA	Open Mobile Alliance
OSS	Operations Support System
PaaS	Platform as a service
PaaS	Platform as a service
PDA	Personal Digital Assistant
pH	power of Hydrogen
QoS	Quality of Service
RAN	Radio Access Network
REST	Representational State Transfer
RFID	Radio-Frequency IDentification
RPL	Routing Protocol
SaaS	Software as a Service
SMS	Short Message Service
SOA	Service Oriented Architecture
SOLACE	Smart Object Lifecycle Architecture for Constrained Environments
TCP	Transmission Control Protocol
TTN	The Things Network
UDP	User Datagram Protocol
UE	User Equipment
UMTS	Universal Mobile Telecommunications System



VEs	Virtual Entities
VIM	Virtualization Infrastructure Manager
VMs	Virtual Machines
VoIP	Voice over Internet Protocol
VWC	Volumetric Water Content
WiFi	Wireless Fidelity
WSDL	Web Service Definition Language

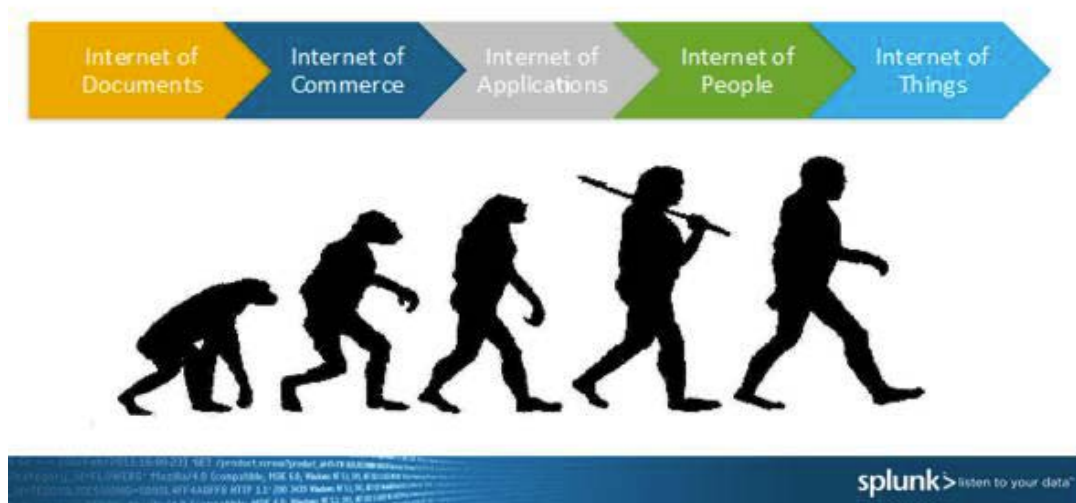


# Κεφάλαιο 1

## Εισαγωγή

Ο όρος Διαδίκτυο των Πραγμάτων (Internet of Things) αναφέρεται στη σύνδεση διάφορων φυσικών συσκευών και αντικειμένων σε όλο τον κόσμο μέσω του διαδικτύου. Ο όρος IoT προτάθηκε αρχικά από τον Kevin Ashton το 1999. Ο Kevin Ashton (γεννημένος το 1968) είναι ένας βρετανός πρωτοπόρος της τεχνολογίας που είναι γνωστός για την επινόηση του όρου «Διαδίκτυο των Πραγμάτων» για να περιγράψει ένα σύστημα όπου το Διαδίκτυο συνδέεται με το φυσικό κόσμο μέσω των πανταχού παρόντων αισθητήρων.

Ο Kevin Ashton ανέφερε το IoT ως μοναδικά αναγνωρίσιμα συνδεδεμένα αντικείμενα με την τεχνολογία αναγνώρισης ραδιοσυχνοτήτων (RFID). Ωστόσο, ο ακριβής ορισμός του IoT εξακολουθεί να βρίσκεται στη διαδικασία διαμόρφωσης που υπόκειται στις προοπτικές που λαμβάνονται. Το IoT γενικά ορίστηκε ως «δυναμική υποδομή παγκόσμιου δικτύου με αυτοδιαμορφωτικές δυνατότητες που βασίζεται σε πρότυπα και πρωτόκολλα επικοινωνίας».



Σχήμα 1.1 Εξέλιξη του Διαδικτύου

Εξετάζοντας την εξέλιξη του Διαδικτύου, μπορεί να ταξινομηθεί σε πέντε εποχές:

1. Το Διαδίκτυο των Εγγράφων - Ηλεκτρονικές βιβλιοθήκες, ιστοσελίδες που βασίζονται σε έγγραφα
2. Το Διαδίκτυο του Εμπορίου - Ηλεκτρονικό Εμπόριο, Ηλεκτρονική Τραπεζική και Ιστοσελίδες Χρηματιστηριακών Συναλλαγών
3. Το Διαδίκτυο των Εφαρμογών - Web 2.0
4. Το Διαδίκτυο των Ανθρώπων - Κοινωνικά δίκτυα
5. Το Διαδίκτυο των Πραγμάτων - Συνδεδεμένες συσκευές και μηχανές

Μέχρι τώρα η λογική της αλληλεπίδρασης των τεχνολογιών είχε σαν άξονα – σημείο αποφάσεων τον άνθρωπο, ενώ η λογική του IoT θέλει τα συστήματα να αλληλοεπιδρούν μεταξύ τους και, σε πολλές περιπτώσεις, να λαμβάνουν εκείνα αυτόματα μία σειρά αποφάσεων (με βάση τα δεδομένα που προκύπτουν και από την αλληλεπίδραση), και ο άνθρωπος να λειτουργεί ως ελεγκτής του όλου συστήματος, φυσικά με δυνατότητα άμεσης παρέμβασης σε όποιον τομέα και χρονικό διάστημα εκείνος κρίνει.

Παρά το γεγονός ότι οι τεχνολογίες IoT έγιναν γνωστές κυρίως τα τελευταία χρόνια, η ιδέα ενός δικτύου έξυπνων συσκευών συζητήθηκε ήδη από το 1982, με μια τροποποιημένη μηχανή οπτανθρακοποίησης, στο πανεπιστήμιο Carnegie Mellon, να γίνει η πρώτη συνδεδεμένη με το διαδίκτυο συσκευή, ικανή να αναφέρει την απογραφή της και εάν τα πρόσφατα φορτωμένα ποτά ήταν κρύα. Επίσης, ορισμένα ERP συστήματα έδιναν τη δυνατότητα σε μία επιχείρηση για αυτόματη παρακολούθηση των αποθεμάτων προϊόντων της, και αυτόματης τοποθέτησης παραγγελίας στους προμηθευτές της (με βάση και σύγκριση τιμών, όπου αυτό ήταν εφικτό), χωρίς να χρειάζεται η χειροκίνητη σχετική ενέργεια από κάποιον άνθρωπο. Τα παραπάνω βέβαια είχαν ως προϋπόθεση την ύπαρξη της βασικής παραμέτρου που είναι και σήμερα απαραίτητη για να λειτουργήσουν οι τεχνολογίες IoT: τον ψηφιακό μετασχηματισμό των επιχειρήσεων.

Το IoT περιγράφει την επόμενη γενιά Διαδικτύου, όπου τα φυσικά πράγματα μπορούν να αποκτήσουν πρόσβαση και να αναγνωριστούν μέσω του Διαδικτύου. Ανάλογα με τις διάφορες τεχνολογίες για την εφαρμογή, ο ορισμός του IoT ποικίλλει. Ωστόσο, το θεμελιώδες του IoT υποδηλώνει ότι τα αντικείμενα σε ένα IoT μπορούν να αναγνωριστούν μοναδικά στις εικονικές αναπαραστάσεις. Μέσα σε ένα IoT, όλα είναι σε θέση να ανταλλάσσουν δεδομένα και, αν χρειαστεί, να επεξεργάζονται δεδομένα σύμφωνα με προκαθορισμένα μοντέλα.

Αναλυτικότερα, το Διαδίκτυο των Πραγμάτων (IoT) επιτρέπει σε κάθε φυσική συσκευή, ενσωματωμένη με μια έγκυρη διεύθυνση IP, να μεταφέρει δεδομένα απρόσκοπτα μέσω ασύρματου δικτύου. Πρόκειται για ένα σύστημα αλληλένδετων υπολογιστικών συσκευών, μηχανικών και ψηφιακών μηχανών, αντικειμένων και φυσικών οντοτήτων που διαθέτουν όλα μοναδικά αναγνωριστικά. Η αντιστοίχιση των κοινών καθημερινών «πραγμάτων» με ένα μοναδικό αναγνωριστικό είναι αυτό που τα καθιστά να λέγονται «έξυπνα». Επιπλέον, η συνδεσιμότητα παρέχει σε αυτά τα αντικείμενα τη δυνατότητα μεταφοράς δεδομένων χωρίς να απαιτείται αλληλεπίδραση μεταξύ ανθρώπου ή ανθρώπου-υπολογιστή.

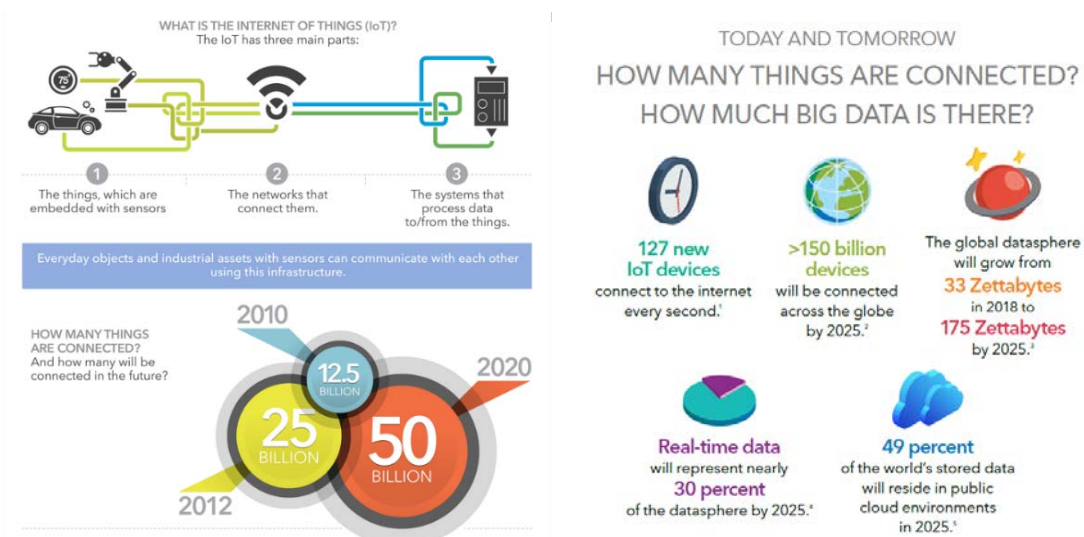
Το τελικό αποτέλεσμα αυτής της συνδεσιμότητας είναι ότι τα προηγουμένως στατικά αντικείμενα (π.χ. ψυγείο) μπορούν να εξοπλιστούν ώστε να παρέχουν σημαντικά μεγαλύτερη χρησιμότητα. Αντί το ψυγείο να διατηρεί μόνο το φαγητό κρύο, θα είναι πλέον σε θέση να στείλει κουπόνια για το αγαπημένο παγωτό, να ενημερώσει ότι το φίλτρο νερού πρέπει να αλλάχτεί ή ότι η εγγύηση μπορεί να λήγει σύντομα.

## 1.1 Το Internet of Things στις επιχειρήσεις

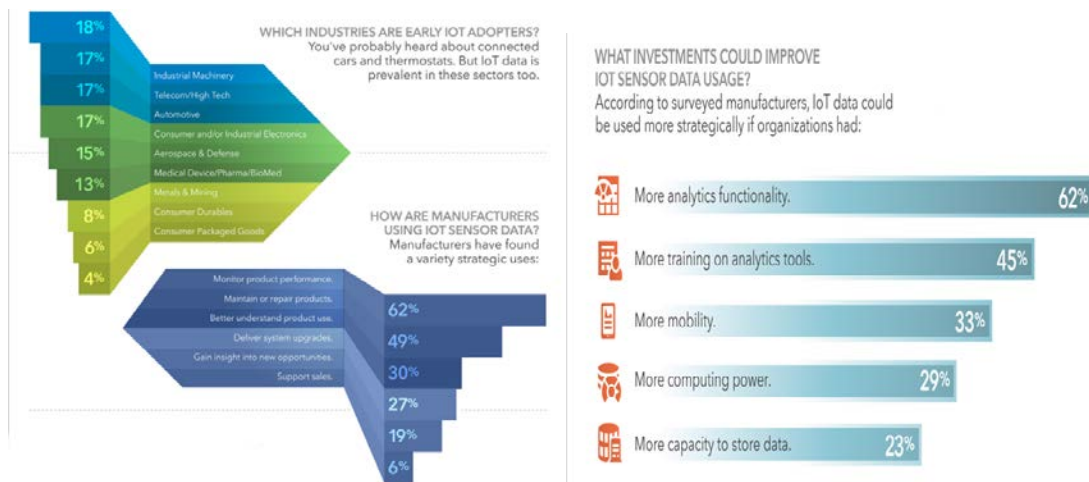
Αν και το μεγαλύτερο μέρος της προβολής των τεχνολογιών IoT επικεντρώνεται στις πλέον «εμπορικές» εφαρμογές για τον τελικό χρήστη, στην πραγματικότητα η εφαρμογή των εν λόγω τεχνολογιών είναι αποδοτικότερη για τις επιχειρήσεις, καθώς μπορεί να φέρει έντονη ανάπτυξη της παραγωγικότητας, αλλά και ανταγωνιστικού πλεονεκτήματος, πολύ καλύτερη εκμετάλλευση των υποδομών της και των περιουσιακών στοιχείων της, δυνατότητα διείσδυσης σε νέους παραγωγικούς κλάδους και προσφοράς νέων υπηρεσιών (με ανάλογες θετικές επιπτώσεις στα έσοδα), ακόμα καλύτερη οικονομική διαχείριση και περικοπή κόστους.

Πέραν αυτών όμως, οι τεχνολογίες IoT δίνουν στις επιχειρήσεις τη δυνατότητα που δεν είχαν μέχρι τώρα, να αξιοποιήσουν δεδομένα, ώστε να βελτιώσουν τα προϊόντα και τις υπηρεσίες τους, και να παρέχουν εξατομικευμένες λύσεις για την κάλυψη των ιδιαίτερων αναγκών του κάθε πελάτη, αλλά και να μειώσουν σημαντικά και οι ίδιες τα κόστη λειτουργίας τους.

Όλα τα παραπάνω βέβαια οδηγούν με γρήγορους ρυθμούς στην αλλαγή του επιχειρηματικού μοντέλου λειτουργίας, και η γρήγορη προσαρμογή στα νέα δεδομένα αποτελεί ζήτημα επιβίωσης για τις εταιρείες, καθώς σε άλλη περίπτωση κινδυνεύουν να βρεθούν σύντομα σε μειονεκτική θέση σε σχέση με τους ανταγωνιστές τους και, τελικά, εκτός αγοράς.



Σχήμα 1.2 Το Internet of Things με αριθμούς



Σχήμα 1.3 Η υιοθέτηση και χρήση του Internet of Things στις βιομηχανίες

## 1.2 Ενσωμάτωση τεχνολογιών IoT

Οι τεχνολογίες IoT έχουν εξελιχθεί και συνεχίζουν να εξελίσσονται με εκθετικό ρυθμό. Οι εταιρείες που επιθυμούν να αντλήσουν πραγματική αξία από την υιοθέτησή τους, θα πρέπει να ακολουθήσουν προσεκτικά βήματα και δοκιμασμένες μεθοδολογίες. Το πρώτο μεγάλο βήμα αφορά τη συλλογή δεδομένων IoT, δηλαδή δεδομένων που παράγονται από συσκευές και μετρητές σε αξιοποιήσιμη μορφή. Δεύτερο βήμα, η οπτικοποίηση των δεδομένων, για τη γρήγορη κατανόηση προτύπων σε αυτά και εξαγωγή γνώσης για το πώς οι συσκευές χρησιμοποιούνται και αποδίδουν. Η αναγνώριση αυτών των προτύπων επιτρέπει στους χρήστες να καθορίσουν πού και πώς μπορούν να εξοικονομήσουν πόρους και χρήματα ή να παράγουν μεγαλύτερη αξία στον οργανισμό τους. Τρίτο βήμα στην υιοθέτηση τεχνολογιών IoT, είναι να καταστούν τα δεδομένα ακόμα εξυπνότερα με τη χρήση εξελιγμένων λύσεων ανάλυσης δεδομένων. Έτσι, σε πραγματικό χρόνο είναι δυνατή η συσχέτιση δεδομένων IoT με άλλες πηγές δεδομένων αλλά και με ιστορικά στοιχεία για την κατανόηση του τι πραγματικά συμβαίνει, όχι μόνο στις συσκευές, αλλά και στο περιβάλλον τους. Μόνο έτσι είναι δυνατή η δημιουργία προβλέψεων και η υιοθέτηση νέων πρακτικών, οι οποίες όταν εφαρμόζονται αποτρέπουν πιθανά προβλήματα, όπως τη μη διαθεσιμότητα των συστημάτων που περιορίζει σημαντικά τη συνολική παραγωγικότητα μιας εταιρείας. Το τέταρτο βήμα επικεντρώνεται στην αξιοποίηση της Τεχνητής Νοημοσύνης (AI), για να είναι δυνατή η προηγμένη ταξινόμηση των δεδομένων σε σημαντικά και λιγότερα σημαντικά, μια που όλα τα δεδομένα δεν είναι ίδια. Η Τεχνητή Νοημοσύνη είναι αυτή που βοηθάει στην επίτευξη της βέλτιστης ποιότητας δεδομένων και των συνεργιών μεταξύ τους, ακόμα και μεταξύ αυτών που παρουσιάζονται με την πρώτη ματιά ασυσχέτιστα και δεν μπορούν να βρεθούν με τη χρήση παραδοσιακών τεχνικών ανάλυσης. Έτσι, τα μοντέλα πρόβλεψης, η προληπτική συντήρηση και η άμεση ανίχνευση ανωμαλιών μπορούν να εφαρμοστούν με μεγαλύτερη ακρίβεια.

### 1.3 Σκοπός της εργασίας

Ο κύριος σκοπός αυτής της εργασίας είναι να παρέχει μια σαφή, περιεκτική και βαθιά κατανόηση του IoT παρουσιάζοντας τα χαρακτηριστικά του, τις κύριες εφαρμογές και αρχιτεκτονικές του. Επίσης, μέσω μιας εφαρμογής στην έξυπνη γεωργία, γίνονται αντιληπτά τόσο η δομή ενός συστήματος IoT όσο και η απλοποίηση που προσφέρεται στις γεωργικές διεργασίες, αυτοματοποιώντας τους μηχανισμούς και ελαχιστοποιώντας τη φυσική παρουσία του αγρότη.

### 1.4 Διάρθρωση διπλωματικής εργασίας

Το παρόν κεφάλαιο παρέχει μια γενική εισαγωγή στη διπλωματική εργασία, εισάγοντας τον αναγνώστη στις βασικές έννοιες του Internet of Things. Στο Κεφάλαιο 2, παρουσιάζονται τα κύρια χαρακτηριστικά και οι κατηγορίες των εφαρμογών του IoT σε διάφορους τομείς της καθημερινότητας, καθιστώντας κατανοητό το πόσο ευεργετική είναι η χρήση του Internet of Things. Στο Κεφάλαιο 3, η εργασία επικεντρώνεται στα μοτίβα κατανομής και στις αρχιτεκτονικές του IoT, δίνοντας ιδιαίτερη έμφαση στην IoT-A αρχιτεκτονική αναφοράς. Ταυτόχρονα, παρουσιάζονται μερικά παραδείγματα εφαρμογών των αρχιτεκτονικών. Στο Κεφάλαιο 4, παρουσιάζεται η εφαρμογή του Internet of Things στον τομέα της γεωργίας. Αναλύεται το πρωτόκολλο επικοινωνίας LoRaWAN, η αρχιτεκτονική του συστήματος και τα επιμέρους μέρη του. Επιπλέον, γίνεται αναφορά των σημαντικότερων αισθητήρων που χρησιμοποιούνται στη γεωργία καθώς και η διαστασιολόγησή τους. Τέλος, στο Κεφάλαιο 5, παρουσιάζονται τα συμπεράσματα της διπλωματικής εργασίας μαζί με μελλοντικές προεκτάσεις για μελέτη.





## Κεφάλαιο 2

# Τα χαρακτηριστικά του Internet of Things και οι κύριες κατηγορίες εφαρμογών του

## 2.1 Τα χαρακτηριστικά του Internet of Things

Το IoT είναι ένα πολύπλοκο σύστημα που διαθέτει διάφορα χαρακτηριστικά, τα οποία ποικίλλουν από τον έναν τομέα του διαδικτύου στον άλλο. Ορισμένα από τα γενικά και βασικά χαρακτηριστικά του είναι τα εξής:

**Διαθεσιμότητα:** Η διαθεσιμότητα του IoT πρέπει να πραγματοποιηθεί σε επίπεδο υλικού και λογισμικού για να παρέχει οπουδήποτε και οποτεδήποτε υπηρεσίες στους πελάτες. Η διαθεσιμότητα λογισμικού αναφέρεται στην ικανότητα των εφαρμογών IoT να παρέχουν υπηρεσίες για όλους σε διαφορετικά μέρη ταυτόχρονα. Η διαθεσιμότητα υλικού αναφέρεται στην ύπαρξη συσκευών που είναι συμβατές με τις λειτουργίες και τα πρωτόκολλα IoT. Πρωτόκολλα όπως IPv6, 6LoW-PAN, RPL, CoAP, κ.λπ., θα πρέπει να ενσωματωθούν στις συσκευές περιορισμένης χρήσης πόρων που παρέχουν τη λειτουργικότητα IoT. Μία λύση για την επίτευξη υψηλής διαθεσιμότητας υπηρεσιών IoT είναι η παροχή πλεονασμού για κρίσιμες συσκευές και υπηρεσίες. Επιπλέον, υπάρχουν μερικές μελέτες για την εκτίμηση και αξιολόγηση της διαθεσιμότητας εφαρμογών IoT στα πρώτα στάδια του σχεδιασμού του συστήματος [13],[14]. Τέτοια εργαλεία μπορούν να βοηθήσουν τους σχεδιαστές συστημάτων να λάβουν εμπειριστατωμένες αποφάσεις για να μεγιστοποιήσουν τη διαθεσιμότητα του συστήματός τους.

**Αξιοπιστία:** Η αξιοπιστία αναφέρεται στην ορθή λειτουργία του συστήματος βάσει των προδιαγραφών του [13]. Η αξιοπιστία στοχεύει στην αύξηση του ποσοστού επιτυχίας της παροχής υπηρεσιών IoT. Έχει στενή σχέση με τη διαθεσιμότητα, καθώς από αξιοπιστία, εγγυάται η διαθεσιμότητα πληροφοριών και υπηρεσιών με την πάροδο του χρόνου. Η αξιοπιστία είναι ακόμη κρισιμότερη και έχει αυστηρότερες απαιτήσεις όταν πρόκειται για εφαρμογές έκτακτης ανάγκης [15]. Σε αυτά τα συστήματα, το κρίσιμο μέρος είναι το δίκτυο επικοινωνίας που πρέπει να αντέχει σε αστοχίες προκειμένου να πραγματοποιηθεί αξιόπιστη διανομή πληροφοριών. Η αξιοπιστία πρέπει να εφαρμόζεται σε λογισμικό και υλικό σε όλα τα επίπεδα του IoT. Προκειμένου ένα σύστημα να είναι αποτελεσματικό, η υποκείμενη επικοινωνία πρέπει να είναι αξιόπιστη, γιατί για παράδειγμα μια αναξιόπιστη ανίχνευση, συλλογή δεδομένων, επεξεργασία και μετάδοση μπορεί να οδηγήσει σε μεγάλες καθυστερήσεις, απώλεια δεδομένων και τελικά λανθασμένες αποφάσεις, οι οποίες μπορεί να οδηγήσουν σε καταστροφικά σενάρια και κατά συνέπεια μπορεί να κάνει το IoT λιγότερο αξιόπιστο [16]. Το [15] προτείνει ένα πλάνο αξιοπιστίας σε επίπεδο μετάδοσης για την ελαχιστοποίηση των απωλειών πακέτων σε περιβάλλοντα IoT. Η παροχή υπηρεσιών σε έξυπνες συσκευές χρειάζεται αξιόπιστη σύνθεση υπηρεσιών. Στο [17], [18], οι συγγραφείς εκμεταλλεύονται πιθανοτικές μεθόδους ελέγχου μοντέλου για να αξιολογήσουν την

αξιοπιστία και το κόστος της σύνθεσης υπηρεσιών σε συστήματα IoT.

**Κινητικότητα:** Η κινητικότητα είναι ένα άλλο χαρακτηριστικό των υλοποιήσεων του IoT, καθώς οι περισσότερες από τις υπηρεσίες αναμένεται να παραδοθούν σε κινητούς χρήστες. Η σύνδεση των χρηστών με τις επιθυμητές υπηρεσίες τους συνεχώς ενώ κινούνται είναι μια σημαντική προϋπόθεση του IoT. Διακοπή υπηρεσίας για κινητές συσκευές μπορεί να προκύψει όταν αυτές οι συσκευές μεταφέρονται από τη μία πύλη στην άλλη. Το [18] προτείνει ένα πλάνο κινητικότητας πόρων που υποστηρίζει δύο τρόπους: caching και tunneling για υποστήριξη της συνέχειας των υπηρεσιών. Αυτές οι μέθοδοι επιτρέπουν στις εφαρμογές να έχουν πρόσβαση στα δεδομένα IoT σε περίπτωση προσωρινής μη διαθεσιμότητας πόρων. Ο τεράστιος αριθμός έξυπνων συσκευών σε συστήματα IoT απαιτεί επίσης αποτελεσματικούς μηχανισμούς για τη διαχείριση της κινητικότητας. Μια εφικτή προσέγγιση έχει παρουσιαστεί στο [19]. Σε αυτό το πλάνο, η ομαδική κινητικότητα διαχειρίζεται από έναν ηγέτη με βάση κάποια μέτρηση ομοιότητας που βασίζεται στο μοτίβο κινητικότητας των συσκευών.

Ένα άλλο σχέδιο διαχείρισης κινητικότητας προτείνεται στο [20] στο οποίο αντιμετωπίζεται η κινητικότητα των κόμβων αισθητήρων καθώς και η διαθεσιμότητα υπηρεσιών παρέχοντας έναν μηχανισμό διαχείρισης κύκλου ζωής κατανεμημένων υπηρεσιών. Αυτή η τεχνική ελέγχει τον κύκλο ζωής των παρουσιών υπηρεσίας ιστού που αντιπροσωπεύουν έναν αισθητήρα. Το Διαδίκτυο των Οχημάτων (IoV) ως αναδυόμενη περιοχή του IoT χρειάζεται ακριβή προσοχή στα θέματα κινητικότητας. Το [21] εξετάζει διάφορες λύσεις που υποστηρίζουν την κινητικότητα για δικτύωση οχήματος προς όχημα. Ένας ομαδικός μηχανισμός κινητικότητας για κινητά δίκτυα ad-hoc παρουσιάζεται στο [22] που είναι εμπνευσμένος από πτηνά που πετούν σε κοπάδια.

**Απόδοση:** Η αξιολόγηση της απόδοσης των υπηρεσιών IoT είναι μια μεγάλη πρόκληση, καθώς εξαρτάται από την απόδοση πολλών στοιχείων καθώς και από την απόδοση των υποκείμενων τεχνολογιών. Το IoT, όπως και άλλα συστήματα, πρέπει να αναπτύσσει και να βελτιώνει συνεχώς τις υπηρεσίες του για να ικανοποιεί τις απαιτήσεις των πελατών. Οι συσκευές IoT πρέπει να παρακολουθούνται και να αξιολογούνται ώστε να παρέχουν την καλύτερη δυνατή απόδοση σε προσιτή τιμή για τους πελάτες. Πολλές μετρήσεις μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την αξιολόγηση της απόδοσης του IoT, συμπεριλαμβανομένης της ταχύτητας επεξεργασίας, της ταχύτητας επικοινωνίας, του συντελεστή φόρμας συσκευής και του κόστους.

Αξιολόγηση απόδοσης των μεμονωμένων υποκείμενων πρωτοκόλλων και τεχνολογιών όπως BLE, IEEE 802.15.4, RFID, 6LoWPAN, RPL, application layer protocols και QoS έχουν αναφερθεί στη βιβλιογραφία, αλλά η έλλειψη μιας εμπειριστατωμένης αξιολόγησης απόδοσης για εφαρμογές IoT εξακολουθεί να είναι ένα ανοιχτό ζήτημα.

**Διαχείριση:** Η σύνδεση δισεκατομμυρίων ή τρισεκατομμυρίων έξυπνων συσκευών δημιουργεί στους παρόχους υπηρεσιών τρομακτικά ζητήματα για τη διαχείριση θεμάτων Σφάλματος, Διαμόρφωσης, Λογιστικής, Απόδοσης και Ασφάλειας (FCAPS) αυτών των συσκευών. Αυτή η προσπάθεια διαχείρισης απαιτεί την ανάπτυξη νέων

ελαφρών πρωτοκόλλων διαχείρισης για το χειρισμό του πιθανού εφιάλτη διαχείρισης που θα προκύψει ενδεχομένως από την ανάπτυξη του IoT τα επόμενα χρόνια. Η διαχείριση συσκευών και εφαρμογών IoT μπορεί να είναι ένας αποτελεσματικός παράγοντας για την εξέλιξη της ανάπτυξης του IoT [24]. Για παράδειγμα, η παρακολούθηση της επικοινωνίας M2M των αντικειμένων IoT είναι σημαντική για τη διασφάλιση συνεχούς σύνδεσης για την παροχή κατ' απαίτηση υπηρεσιών. Το ελαφρύ M2M (LWM2M) [25] είναι ένα πρότυπο που αναπτύσσεται από την Open Mobile Alliance για την παροχή διεπαφής μεταξύ συσκευών M2M και M2M Servers για τη δημιουργία ενός αγνωστικού σχήματος εφαρμογών για τη διαχείριση μιας ποικιλίας συσκευών. Στοχεύει στην παροχή εφαρμογών M2M με δυνατότητες απομακρυσμένης διαχείρισης M2M συσκευών, υπηρεσιών και εφαρμογών. Το πρωτόκολλο NETCONF Light [26], το οποίο είναι μια IETF προσπάθεια για τη διαχείριση περιορισμένων συσκευών, παρέχει μηχανισμούς για την εγκατάσταση, το χειρισμό και τη διαγραφή των ρυθμίσεων συσκευών δικτύου. Είναι ικανό να διαχειρίζεται ένα ευρύ φάσμα συσκευών, από περιορισμένων πόρων συσκευές έως και πλούσιες σε πόρους συσκευές. Η πλατφόρμα MASH [27] IoT είναι ένα παράδειγμα μιας πλατφόρμας που διευκολύνει τη διαχείριση (παρακολούθηση, έλεγχος και διαμόρφωση) των στοιχείων IoT οπουδήποτε σε πραγματικό χρόνο χρησιμοποιώντας έναν πίνακα ελέγχου IoT σε smartphone. Η διατήρηση της συμβατότητας σε όλα τα επίπεδα IoT πρέπει επίσης να διαχειριστεί για να βελτιώσει την ταχύτητα σύνδεσης και να εξασφαλίσει την παροχή υπηρεσιών. Στο [28], οι συγγραφείς προτείνουν ένα πλαίσιο για τη διαχείριση του IoT μέσω της έννοιας της παρεμπόδισης ενδιάμεσου στο οποίο εκτελούν βαριές εργασίες διαχείρισης συσκευών στις άκρες ή τις πύλες των περιορισμένων δικτύων. Η ομάδα εργασίας Open Mobile Alliance (OMA) Device Management καθορίζει πρωτόκολλα και μηχανισμούς για τη διαχείριση κινητών συσκευών και υπηρεσιών σε περιβάλλοντα περιορισμένων πόρων.

Επεκτασιμότητα: Η επεκτασιμότητα του IoT αναφέρεται στη δυνατότητα προσθήκης νέων συσκευών, υπηρεσιών και λειτουργιών για πελάτες χωρίς να επηρεάζεται αρνητικά η ποιότητα των υπάρχουσων υπηρεσιών. Η προσθήκη νέων λειτουργιών και η υποστήριξη νέων συσκευών δεν είναι εύκολη υπόθεση, ιδίως με την παρουσία διαφορετικών πλατφόρμων υλικού και πρωτοκόλλων επικοινωνίας. Οι εφαρμογές IoT πρέπει να σχεδιάζονται από το μηδέν προς τα πάνω ώστε να επιτρέπουν επεκτάσιμες υπηρεσίες και λειτουργίες [29]. Μια γενική αρχιτεκτονική IoT παρουσιάστηκε στο [30] εισάγοντας ένα πρόγραμμα IoT που εκτελείται στο υπόβαθρο και αποτελείται από τρία επίπεδα: εικονικό αντικείμενο, σύνθετο εικονικό αντικείμενο και επίπεδο υπηρεσίας. Η παρουσίαση αυτών των επιπέδων με αυτοματοποίηση, ευφυΐα και μηδενική διαμόρφωση σε κάθε αντικείμενο εγγυάται επεκτασιμότητα καθώς και διαλειτουργικότητα σε περιβάλλον IoT. Προκειμένου να προσφέρουν κλιμακούμενες υπηρεσίες [31], πρότειναν την πλατφόρμα IoT PaaS μέσω της κάθετης παροχής υπηρεσιών. Το IoT-iCore3 είναι ένα έργο υπό διαδικασία που στοχεύει στην παροχή ενός στρωματοποιημένου πλαισίου που προσφέρει κλιμακούμενους μηχανισμούς εγγραφής, αναζήτησης και ανακάλυψης οντοτήτων, καθώς και διαλειτουργικότητας μεταξύ αντικειμένων.

**Διαλειτουργικότητα:** Η διαλειτουργικότητα από άκρο σε άκρο είναι ένα άλλο χαρακτηριστικό για το IoT λόγω της ανάγκης χειρισμού μεγάλου αριθμού ετερογενών πραγμάτων που ανήκουν σε διαφορετικές πλατφόρμες. Η διαλειτουργικότητα πρέπει να εξεταστεί τόσο από τους προγραμματιστές εφαρμογών όσο και από τους κατασκευαστές συσκευών IoT για να διασφαλιστεί η παροχή υπηρεσιών για όλους τους πελάτες ανεξάρτητα από τις προδιαγραφές της πλατφόρμας υλικού που χρησιμοποιούν. Για παράδειγμα, τα περισσότερα smartphone υποστηρίζουν σήμερα κοινές τεχνολογίες επικοινωνίας, όπως WiFi, NFC και GSM, για να εγγυηθούν τη διαλειτουργικότητα σε διαφορετικά σενάρια. Επίσης, οι προγραμματιστές του IoT θα πρέπει να δημιουργούν τις εφαρμογές τους ώστε να επιτρέπεται η προσθήκη νέων λειτουργιών χωρίς να προκαλούν προβλήματα ή να χάνουν λειτουργίες, διατηρώντας ταυτόχρονα την ενοποίηση με διαφορετικές τεχνολογίες επικοινωνίας. Κατά συνέπεια, η διαλειτουργικότητα είναι ένα σημαντικό κριτήριο στο σχεδιασμό και την κατασκευή υπηρεσιών IoT για την κάλυψη των απαιτήσεων των πελατών [32]. Εκτός από την ποικιλία των πρωτοκόλλων, διαφορετικές ερμηνείες του ίδιου προτύπου που εφαρμόζονται από διαφορετικά μέρη αποτελούν μια πρόκληση για τη διαλειτουργικότητα [33]. Για να αποφευχθούν τέτοιες ασάφειες, θα ήταν χρήσιμη η δοκιμή διαλειτουργικότητας μεταξύ διαφορετικών προϊόντων σε μια δοκιμαστική βάση, όπως το ETSI Plugtests. Το PROBE-IT4 είναι ένα ερευνητικό έργο που στοχεύει στη διασφάλιση της διαλειτουργικότητας των επικυρωμένων λύσεων IoT που διεξήγαγαν δοκιμές διαλειτουργικότητας όπως το CoAP, το 6LoWPAN και η σημασιολογική διαλειτουργικότητα του IoT.

**Ασφάλεια και απόρρητο:** Η ασφάλεια αποτελεί μια σημαντική πρόκληση για τις υλοποιήσεις του IoT λόγω της έλλειψης κοινού προτύπου και αρχιτεκτονικής για την ασφάλεια του IoT. Σε ετερογενή δίκτυα όπως στην περίπτωση του IoT, δεν είναι εύκολο να εγγυηθεί η ασφάλεια και το απόρρητο των χρηστών. Η βασική λειτουργικότητα του IoT βασίζεται στην ανταλλαγή πληροφοριών μεταξύ δισεκατομμυρίων ή και τρισεκατομμυρίων αντικειμένων σύνδεσης στο Διαδίκτυο. Ένα ανοιχτό πρόβλημα στην ασφάλεια IoT που δεν έχει ληφθεί υπόψη στα πρότυπα είναι η κατανομή των κλειδιών μεταξύ συσκευών [33]. Η IETF's Smart Object Lifecycle Architecture for Constrained Environments (SOLACE) ξεκίνησε κάποια εργασία για να ξεπεράσει αυτό το πρόβλημα. Από την άλλη πλευρά, τα ζητήματα απορρήτου και οι λειτουργίες πρόσβασης προφίλ μεταξύ συσκευών IoT χωρίς παρεμβολές είναι εξαιρετικά κρίσιμες. Ωστόσο, η διασφάλιση των ανταλλαγών δεδομένων είναι απαραίτητη για την αποφυγή απώλειας ή παραβίασης του απορρήτου. Ο αυξημένος αριθμός έξυπνων πραγμάτων με ευαίσθητα δεδομένα απαιτεί μια διαφανή και εύκολη διαχείριση ελέγχου πρόσβασης με τέτοιο τρόπο ώστε, για παράδειγμα, ένας προμηθευτής να μπορεί να διαβάσει τα δεδομένα, ενώ ένας άλλος να επιτρέπεται να ελέγχει τη συσκευή. Από αυτήν την άποψη, έχουν προταθεί ορισμένες λύσεις όπως η ομαδοποίηση ενσωματωμένων συσκευών σε εικονικά δίκτυα και η παρουσίαση μόνο των επιθυμητών συσκευών σε κάθε εικονικό δίκτυο. Μια άλλη προσέγγιση είναι η υποστήριξη ελέγχου πρόσβασης στο επίπεδο εφαρμογής ανά βάση πωλητή [33].

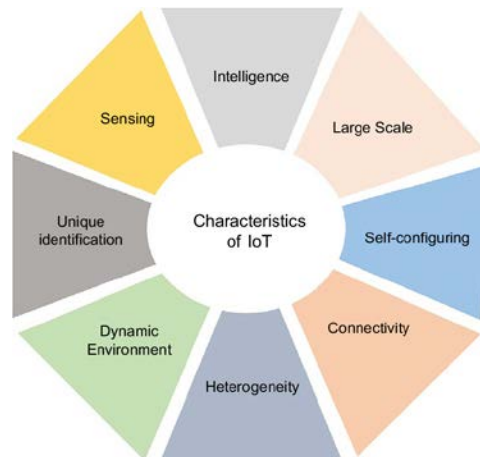
**Ενεργειακή απόδοση:** Οι μικροσκοπικές συσκευές αποτελούν τη ραχοκοκαλιά του

IoT. Ωστόσο, αυτές οι συσκευές έχουν περιορισμένες δυνατότητες επεξεργασίας, μνήμης και ισχύος μπαταρίας. Κατά συνέπεια, οι εφαρμογές εντατικών υπολογισμών και οι διαδικασίες δρομολόγησης δεν μπορούν να εκτελεστούν σε συσκευές IoT, καθώς αυτές οι συσκευές είναι πολύ ελαφριές. Ακόμα δεν έχει ληφθεί υπόψη η ενεργειακή επίγνωση στα πρωτόκολλα δρομολόγησης. Αν και κάποια πρωτόκολλα υποστηρίζουν επικοινωνία χαμηλής ισχύος, βρίσκονται σε πρώιμο στάδιο ανάπτυξης. Στο μέλλον, οι τεχνικές συλλογής ενέργειας μπορούν να είναι πολλά υποσχόμενες λύσεις για την εκπλήρωση των ενεργειακών απαιτήσεων στο IoT.

Ευελιξία: Δεδομένου ότι υπάρχουν πολλές εφαρμογές του IoT, η παροχή υπηρεσιών στις διάφορες εφαρμογές IoT σύμφωνα με τις απαιτήσεις τους έχει γίνει πολύ δύσκολη. Οι χρήστες του IoT συνήθως χρειάζονται δυναμικά διαμορφωμένες, προσαρμοσμένες και αυτόνομες εν κινήσει υπηρεσίες. Επιπλέον, εξατομικευμένες, προσαρμοσμένες, αυτόνομες και δυναμικές υπηρεσίες μπορούν να υποστηριχθούν με την κατασκευή και αξιοποίηση της προσαρμοστικής, συνειδητοποιημένης και αναδιαμορφώσιμης αρχιτεκτονικής δικτύου πολλαπλών υπηρεσιών. Στο μέλλον, απαιτούνται μοντέλα δηλωτικών προδιαγραφών υπηρεσίας για την κατασκευή μελλοντικών αρχιτεκτονικών υπηρεσιών δικτύου.

Αίσθηση: Το IoT δεν θα ήταν δυνατό χωρίς αισθητήρες που θα ανιχνεύουν ή θα μετρούν τυχόν αλλαγές στο περιβάλλον για τη δημιουργία δεδομένων που μπορούν να αναφέρουν την κατάστασή τους ή ακόμη και να αλληλεπιδρούν με το περιβάλλον. Οι τεχνολογίες ανίχνευσης παρέχουν τα μέσα για τη δημιουργία δυνατοτήτων που αντικατοπτρίζουν την πραγματική επίγνωση του φυσικού κόσμου και των ανθρώπων σε αυτόν. Οι πληροφορίες ανίχνευσης είναι απλώς η αναλογική είσοδος από το φυσικό κόσμο, αλλά μπορεί να παρέχει την πλούσια κατανόηση του περίπλοκου κόσμου.

Δυναμική φύση: Η κύρια δραστηριότητα του IoT είναι η συλλογή δεδομένων από το περιβάλλον του, αυτό επιτυγχάνεται με τις δυναμικές αλλαγές που πραγματοποιούνται γύρω από τις συσκευές. Η κατάσταση των συσκευών αλλάζει δυναμικά, π.χ. αδρανοποίηση και ενεργοποίηση, σύνδεση και / ή αποσύνδεση, καθώς και το περιβάλλον συσκευών, συμπεριλαμβανομένης της θερμοκρασίας, της θέσης και της ταχύτητας. Εκτός από την κατάσταση της συσκευής, ο αριθμός των συσκευών αλλάζει επίσης δυναμικά με ένα άτομο, μέρος και ώρα.



Σχήμα 2.1 Τα χαρακτηριστικά του IoT

## 2.2 Οι κύριες κατηγορίες εφαρμογών του Internet of Things

Οι δυνητικές εφαρμογές του IoT είναι πολυάριθμες και ποικίλες, περνώντας σχεδόν σε όλες τις περιοχές της καθημερινής ζωής των ατόμων, των επιχειρήσεων και της κοινωνίας στο σύνολό της. Η εφαρμογή IoT καλύπτει "έξυπνα" περιβάλλοντα / χώρους σε τομείς όπως: Μεταφορές, Κτίρια, Πόλεις, Τρόπους Ζωής, Λιανικό Εμπόριο, Γεωργία, Εργοστάσια, Αλυσίδα Εφοδιασμού, Έκτακτη Ανάγκη, Υγεία, Αλληλεπίδραση Χρηστών, Πολιτισμό και Τουρισμό, Περιβάλλον και Ενέργεια. Παρακάτω παρατίθενται ορισμένες από τις εφαρμογές IoT.

### A. IosL (Διαδίκτυο της έξυπνης διαβίωσης):

- Συσκευές τηλεχειρισμού: ενεργοποίηση και απενεργοποίηση εξ αποστάσεως συσκευών για αποφυγή ατυχημάτων και εξοικονόμηση ενέργειας
- Καιρός: Εμφανίζει εξωτερικές καιρικές συνθήκες όπως υγρασία, θερμοκρασία, πίεση, ταχύτητα ανέμου και βροχόπτωση με δυνατότητα μετάδοσης δεδομένων σε μεγάλες αποστάσεις
- Έξυπνες οικιακές συσκευές: ψυγεία με οθόνη LCD που αναφέρουν τι υπάρχει μέσα, τρόφιμα που πρόκειται να λήξουν, προϊόντα που πρέπει να αγοραστούν, με όλες τις διαθέσιμες πληροφορίες σε μια εφαρμογή smartphone. Πλυντήρια ρούχων που επιτρέπουν να παρακολουθούνται τα ρούχα από μακριά και κουζινικά σκεύη με διασύνδεση με μια εφαρμογή smartphone που επιτρέπει την εξ αποστάσεως ρύθμιση θερμοκρασίας και παρακολούθηση της λειτουργίας αυτοκαθαρισμού του φούρνου
- Παρακολούθηση Ασφαλείας: κάμερες και συστήματα συναγερμού στο σπίτι, κάνοντας τους ανθρώπους να αισθάνονται ασφαλείς στην καθημερινή τους ζωή στο σπίτι
- Συστήματα ανίχνευσης εισβολών: Ανίχνευση ανοίγματος ή παραβίασης παραθύρων και θυρών για την πρόληψη εισβολών
- Ενέργεια και Χρήση Νερού: παρακολούθηση της κατανάλωσης ενέργειας και νερού για να λαμβάνονται συμβουλές σχετικά με τον τρόπο εξοικονόμησης κόστους και πόρων.

#### Β. IOsC (Διαδίκτυο των έξυπνων πόλεων):

- Δομική διάγνωση: παρακολούθηση των δονήσεων και της κατάστασης των υλικών σε κτίρια, γέφυρες και ιστορικά μνημεία
- Φωτισμός: έξυπνος και προσαρμοζόμενος στον καιρό φωτισμός στα φώτα των δρόμων
- Ασφάλεια: ψηφιακή παρακολούθηση βίντεο, διαχείριση πυρασφάλειας, συστήματα δημόσιων ανακοινώσεων
- Μεταφορά: Έξυπνοι Δρόμοι και Ευφυείς Αυτοκινητόδρομοι με προειδοποιητικά μηνύματα και παρακάμψεις ανάλογα με τις κλιματικές συνθήκες και απροσδόκητα γεγονότα, όπως ατυχήματα ή κυκλοφοριακή συμφόρηση
- Έξυπνο παρκάρισμα: παρακολούθηση σε πραγματικό χρόνο της διαθεσιμότητας των χώρων στάθμευσης στην πόλη, δίνοντας στους κατοίκους τη δυνατότητα να εντοπίσουν και να δεσμεύσουν τις πλησιέστερες διαθέσιμες θέσεις
- Διαχείριση αποβλήτων: ανίχνευση της στάθμης των σκουπιδιών στους κάδους ώστε να βελτιστοποιείται η διαδρομή συλλογής απορριμμάτων. Τα δοχεία απορριμμάτων και οι κάδοι ανακύκλωσης με ετικέτες RFID επιτρέπουν στο προσωπικό των απορριματοφόρων να δει πότε έχουν μαζευτεί τα σκουπίδια

#### Γ. IOsE (Διαδίκτυο του έξυπνου περιβάλλοντος):

- Παρακολούθηση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης: έλεγχος των εκπομπών CO<sub>2</sub> των εργοστασίων, ρύπανση που εκπέμπεται από τα αυτοκίνητα και τα τοξικά αέρια που παράγονται σε αγροκτήματα
- Ανίχνευση πυρκαγιάς σε δασική περιοχή: παρακολούθηση καπνού και προληπτικών συνθηκών πυρκαγιάς για τον καθορισμό ζωνών συναγερμού
- Παρακολούθηση καιρού: παρακολούθηση καιρικών συνθηκών όπως υγρασία, θερμοκρασία, πίεση, ταχύτητα του ανέμου και βροχή
- Έγκαιρη διάγνωση σεισμού
- Ποιότητα νερού: μελέτη της καταλληλότητας του νερού στα ποτάμια και τη θάλασσα για πόσιμη χρήση
- Πλημμύρες ποταμών: παρακολούθηση των μεταβολών της στάθμης του νερού στα ποτάμια, τα φράγματα και τους ταμιευτήρες κατά τις βροχερές ημέρες
- Προστασία της άγριας ζωής: εντοπισμός περιλαίμιων, που χρησιμοποιούν μονάδες GPS / GSM για εντοπισμό, και παρακολούθηση αγρίων ζώων και επικοινωνία των συντεταγμένων τους μέσω SMS.

#### Δ. IOsI (Διαδίκτυο της έξυπνης βιομηχανίας):

- Εκρηκτικά και Επικίνδυνα Αέρια: ανίχνευση επιπέδων αερίων και διαρροών σε βιομηχανικά περιβάλλοντα, περιβάλλοντα χημικών εργοστασίων και

εσωτερικών ορυχείων. Παρακολούθηση των επιπέδων τοξικών αερίων και οξυγόνου εντός των χημικών εγκαταστάσεων για την εξασφάλιση της ασφάλειας των εργαζομένων και των εμπορευμάτων. Παρακολούθηση των επιπέδων νερού, πετρελαίου και αερίου σε δεξαμενές αποθήκευσης και ντεπόζιτα

- Συντήρηση και επισκευή: πρόωρες προβλέψεις σχετικά με τις δυσλειτουργίες του εξοπλισμού και τη συντήρηση μπορούν να προγραμματιστούν αυτόματα πριν από μια πραγματική βλάβη του τμήματος, εγκαθιστώντας αισθητήρες μέσα στον εξοπλισμό για την παρακολούθηση και την αποστολή αναφορών.

#### Ε. ΙΟsH (Διαδίκτυο της έξυπνης υγείας):

- Παρακολούθηση ασθενών: παρακολούθηση της κατάστασης των ασθενών στα νοσοκομεία και στα γηροκομεία
- Ιατρικά Ψυγεία: έλεγχος συνθηκών μέσα σε καταψύκτες που αποθηκεύονται εμβόλια, φάρμακα και οργανικά στοιχεία
- Ανίχνευση πτώσης: βοήθεια για ηλικιωμένους ή άτομα με αναπηρία που ζουν μόνα
- Οδοντιατρική: οδοντόβουρτσα συνδεδεμένη με Bluetooth σε εφαρμογή smartphone αναλύει τις χρήσεις βουρτσίσματος και παρέχει πληροφορίες, σχετικά με τις συνήθειες βουρτσίσματος, στο smartphone για προσωπική ενημέρωση ή για την εμφάνιση στατιστικών στοιχείων στον οδοντίατρο.
- Παρακολούθηση σωματικής δραστηριότητας: ασύρματοι αισθητήρες τοποθετημένοι σε όλο το σώμα που ανιχνεύουν μικρές κινήσεις, όπως η αναπνοή και ο καρδιακός ρυθμός και μεγάλες κινήσεις που προκαλούνται από τα τινάγματα και την περιστροφή κατά τη διάρκεια του ύπνου, παρέχοντας δεδομένα διαθέσιμα μέσω μιας εφαρμογής στο smartphone

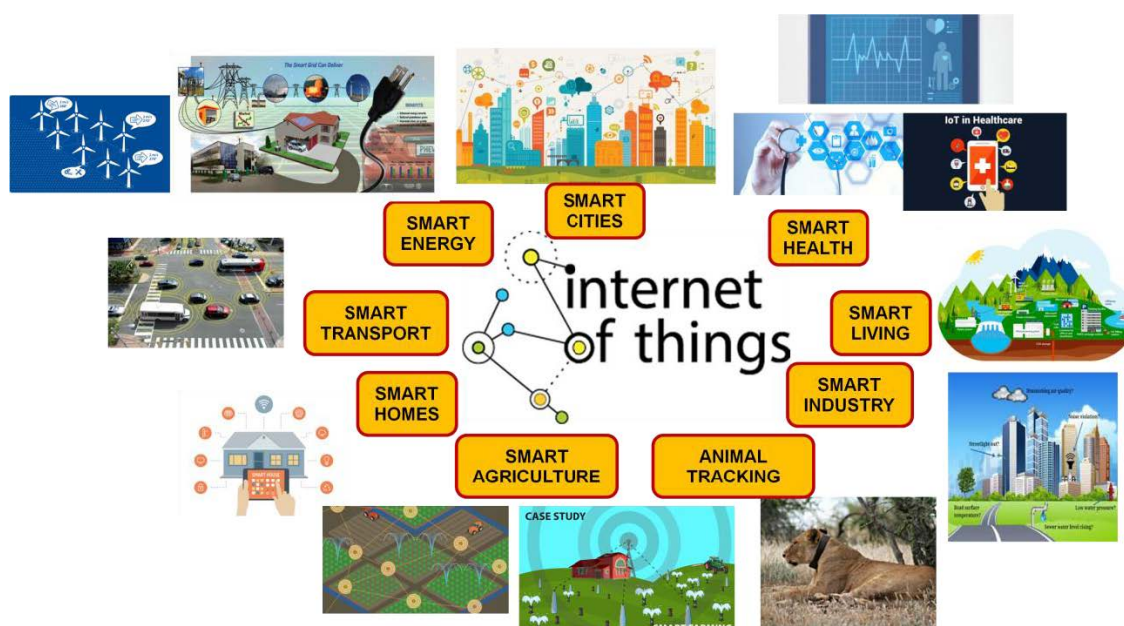
#### Ζ. ΙΟΕ (Διαδίκτυο της έξυπνης ενέργειας):

- Έξυπνο δίκτυο: παρακολούθηση κατανάλωσης και διαχείριση ενέργειας
- Ανεμογεννήτριες / Ισχύς: παρακολούθηση και ανάλυση της ροής της ενέργειας από τις ανεμογεννήτριες και τους σταθμούς ενέργειας, και αμφίδρομη επικοινωνία με τους έξυπνους μετρητές των καταναλωτών για την ανάλυση των καταναλωτικών προτύπων
- Ελεγκτές Τροφοδοσίας: ελεγκτές για τροφοδοτικά AC-DC που καθορίζουν την απαιτούμενη ενέργεια και βελτιώνουν την ενεργειακή απόδοση με λιγότερη απώλεια ενέργειας για τροφοδοτικά που σχετίζονται με ηλεκτρονικούς υπολογιστές, τηλεπικοινωνίες και εφαρμογές ευρείας ηλεκτρονικής κατανάλωσης
- Φωτοβολταϊκές εγκαταστάσεις: Παρακολούθηση και βελτιστοποίηση των επιδόσεων σε εγκαταστάσεις παραγωγής ηλιακής ενέργειας.



## Η. ΙοSA (διαδίκτυο της έξυπνης γεωργίας):

- Θερμοκήπια: έλεγχος συνθηκών μικροκλίματος για τη μεγιστοποίηση της παραγωγής φρούτων και λαχανικών και της ποιότητάς τους
- Κοπρόχωμα: έλεγχος των επιπέδων υγρασίας και θερμοκρασίας στο τριφύλλι, σανό, άχυρο κλπ για την πρόληψη των μυκητών και άλλων μικροβιακών ρύπων
- Κτηνοτροφία / Παρακολούθηση ζώων: θέση και ταυτοποίηση των ζώων που βόσκουν σε ανοιχτούς βοσκότοπους ή σε μεγάλους στάβλους. Μελέτη αερισμού και ποιότητας του αέρα στις φάρμες και ανίχνευση επιβλαβών αερίων από τα περιττώματα
- Φροντίδα των νεογέννητων: έλεγχος των συνθηκών ανάπτυξης των νεογέννητων στις κτηνοτροφικές φάρμες για να εξασφαλιστεί η επιβίωσή τους και η υγεία τους
- Παρακολούθηση αγρού: μείωση της κατασπατάλησης και των αποβλήτων καλλιέργειας με καλύτερη παρακολούθηση, συνεχής λήψη δεδομένων και διαχείριση των γεωργικών αγρών, συμπεριλαμβανομένου του καλύτερου ελέγχου της λίπανσης, της ηλεκτρικής ενέργειας και του ποτίσματος.



Σχήμα 2.2 Κατηγορίες εφαρμογών ΙοΤ

Ο τομέας εφαρμογής του ΙοΤ είναι ποικίλος και οι εφαρμογές ΙοΤ εξυπηρετούν διαφορετικούς χρήστες. Οι διαφορετικές κατηγορίες χρηστών έχουν διαφορετικές ανάγκες οδήγησης. Από την οπτική γωνία του Διαδικτύου υπάρχουν τρεις σημαντικές κατηγορίες χρηστών:

- Οι μεμονωμένοι πολίτες
- Κοινότητα πολιτών (πολίτες μιας πόλης, μιας περιφέρειας, μιας χώρας ή της κοινωνίας στο σύνολό της)
- Οι επιχειρήσεις

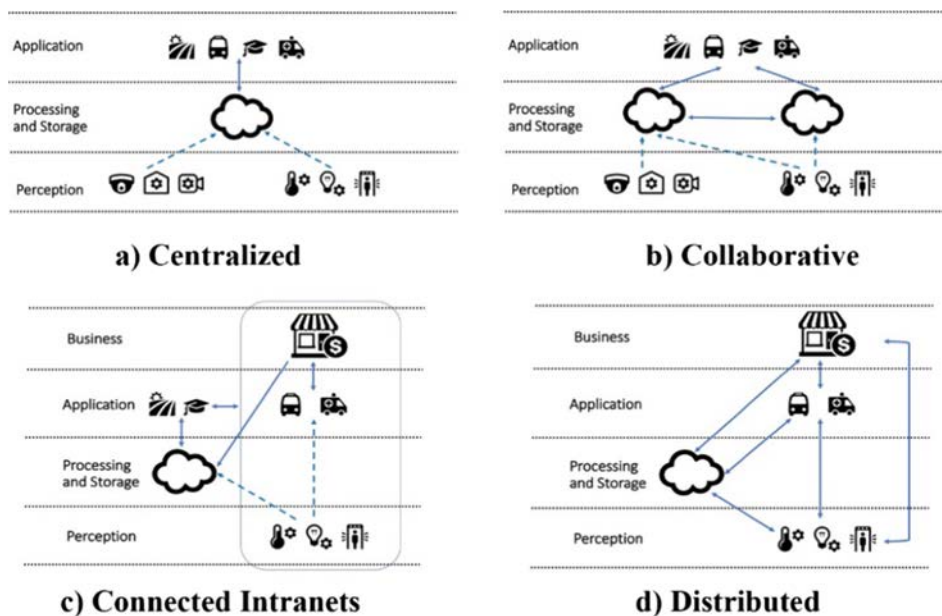


## Κεφάλαιο 3

# Μοτίβα κατανομής και αρχιτεκτονικές του Internet of Things

## 3.1 Μοτίβα κατανομής

Τα μοτίβα κατανομής IoT ταξινομούν τις αρχιτεκτονικές ανάλογα με την ευφυΐα των άκρων (edge intelligence) και τη συνεργασία των στοιχείων (elements collaboration). Τα μοτίβα αρχιτεκτονικής IoT ταξινομούνται ως: κεντρικά (centralized), συνεργατικά (collaborative), συνδεδεμένα ενδοδίκτυα (connected intranets) και κατανεμημένα (distributed) με βάση ένα αρχιτεκτονικό στυλ με στρώματα (Σχήμα 3.1).



Σχήμα 3.1 Μοτίβα κατανομής αρχιτεκτονικών IoT

**Κεντρικό:** Σε αυτό το μοτίβο, το στρώμα αντίληψης παρέχει δεδομένα για το κεντρικό στοιχείο επεξεργασίας και αποθήκευσης που θα παρέχονται ως υπηρεσίες στο επόμενο στρώμα. Η σύνδεση σε αυτό το κεντρικό στοιχείο είναι υποχρεωτική για τη χρήση της υπηρεσίας IoT. Το κεντρικό στοιχείο μπορεί να είναι server, cloud ή fog δίκτυο συνδεδεμένο με cloud.

**Συνεργατικό:** Εδώ ένα δίκτυο κεντρικών ευφυών στοιχείων μπορεί να επικοινωνήσει προκειμένου να σχηματίσει και να ενδυναμώσει τις υπηρεσίες τους.

**Συνδεδεμένα ενδοδίκτυα:** Σε αυτό το μοτίβο, οι αισθητήρες παρέχουν δεδομένα

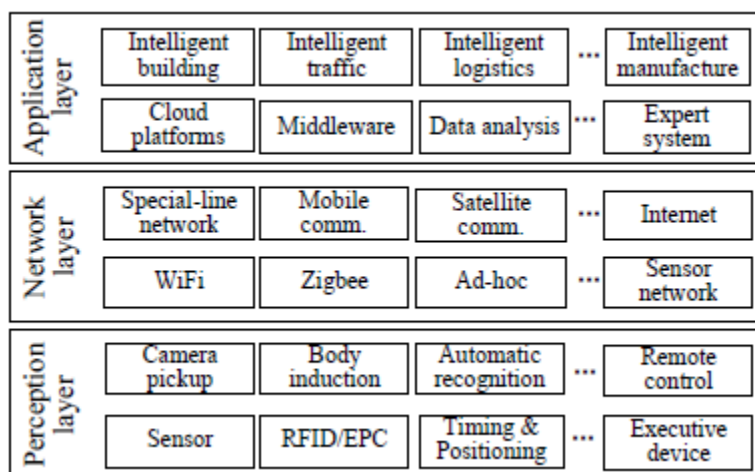
σε ένα τοπικό ενδοδίκτυο για χρήση τοπικά, απομακρυσμένα και κεντρικά. Το πλεονέκτημα είναι ότι εάν το κεντρικό στοιχείο αποτύχει, η τοπική υπηρεσία εξακολουθεί να έχει πρόσβαση. Το μειονέκτημα είναι ότι δεν υπάρχει πλήρως καταναμημένο πλαίσιο να διευκολύνει την επικοινωνία μεταξύ των στοιχείων.

**Καταναμημένο:** Εδώ όλα τα στοιχεία είναι πλήρως διασυνδεδεμένα και ικανά να ανακτήσουν, να επεξεργαστούν, να συνδυάσουν και να παρέχουν πληροφορίες και υπηρεσίες σε άλλα στοιχεία προς τους κοινούς στόχους.

## 3.2 Αρχιτεκτονικές IoT

### 3.2.1 Αρχιτεκτονική 3 στρωμάτων

Μέχρι στιγμής, η αρχιτεκτονική του IoT δεν έχει φτάσει σε γενική συμφωνία, αλλά αυτή των τριών στρωμάτων έχει ευρέως θεωρηθεί. Δηλαδή, το IoT αποτελείται συχνά από το στρώμα αντίληψης, το στρώμα δικτύου και το στρώμα εφαρμογής, όπως φαίνεται στο Σχήμα 3.2.



Σχήμα 3.2 Αρχιτεκτονική 3 στρωμάτων

- Στρώμα αντίληψης της αρχιτεκτονικής τριών στρωμάτων: Είναι το χαμηλότερο στρώμα στην αρχιτεκτονική τριών στρωμάτων του IoT, και μπορεί επίσης να ονομαστεί στρώμα αντίληψης και ελέγχου. Το στρώμα αντίληψης ολοκληρώνει τη συλλογή πληροφοριών προσώπου, φυσικού αντικειμένου, συναλλαγής ή διαδικασίας με τη χρήση εργαλείων αντίληψης. Υπάρχουν πολλοί τύποι εργαλείων αντίληψης που σχετίζονται με συγκεκριμένη εφαρμογή του IoT, συμπεριλαμβάνοντας διάφορους τύπους αισθητήρων, πομπούς, RFID tag / σαρωτή κωδικού EPC, τερματικό χρονισμού και εντοπισμού θέσης, κάμερα web / μικρόφωνο, αισθητήρα υπερύθρων ανθρώπινου σώματος, συσκευή απομακρυσμένης μέτρησης και ελέγχου, αυτόματο εξοπλισμό αναγνώρισης κ.λπ. Όταν ολοκληρωθεί η συλλογή πληροφοριών, το στρώμα αντίληψης ολοκληρώνει την

προκαταρκτική επεξεργασία και πακετάρισμα των πληροφοριών. Επίσης, λαμβάνει πληροφορίες ελέγχου που προέρχονται από το επίπεδο δικτύου για την εκπλήρωση των απαραίτητων λειτουργιών ελέγχου μέσω των εκτελεστικών συσκευών.

- Στρώμα δικτύου αρχιτεκτονικής τριών στρωμάτων: Είναι το μεσαίο στρώμα στην αρχιτεκτονική τριών στρωμάτων και μπορεί επίσης να ονομαστεί στρώμα μετάδοσης. Το στρώμα δικτύου μεταφέρει τις πληροφορίες που λαμβάνονται από το στρώμα αντίληψης στο στρώμα εφαρμογής με ασφάλεια, ταχύτητα και αξιόπιστα, επιτυγχάνοντας ανταλλαγή επικοινωνίας μεταξύ του στρώματος αντίληψης και του στρώματος εφαρμογής μέσω διαφόρων δικτύων. Αξίζει να σημειωθεί ότι η λειτουργία μετάδοσης δεδομένων του στρώματος δικτύου περιλαμβάνει τη μετάδοση μικρών αποστάσεων και την απομακρυσμένη μετάδοση δεδομένων. Η μετάδοση μικρών αποστάσεων εξαρτάται από ένα ενσύρματο ή ασύρματο δίκτυο επικοινωνίας ή ένα δίκτυο αισθητήρων, για παράδειγμα, Wi-Fi, Ad-hoc, Mesh, Zigbee κ.λπ. Η απομακρυσμένη μετάδοση δεδομένων εξαρτάται από το Διαδίκτυο που αποτελείται από όλα τα είδη ειδικών δικτύων, δίκτυα κινητής επικοινωνίας, δίκτυα δορυφορικής επικοινωνίας κ.λπ.
- Στρώμα εφαρμογής αρχιτεκτονικής τριών στρωμάτων: Είναι το ανώτερο στρώμα στην αρχιτεκτονική τριών στρωμάτων. Το στρώμα εφαρμογής αναλύει και επεξεργάζεται τις πληροφορίες που προέρχονται από το στρώμα αντίληψης και το στρώμα δικτύου, υλοποιώντας την εφαρμογή IoT. Μπορεί να θεωρηθεί ότι το στρώμα εφαρμογής είναι η διεπαφή μεταξύ του IoT και διάφορων τύπων χρηστών (κάποιο άτομο ή σύστημα), σε συνδυασμό με συγκεκριμένες ανάγκες, για την επίτευξη διάφορων έξυπνων εφαρμογών του IoT. Για παράδειγμα, έξυπνο κτίριο, έξυπνη κυκλοφορία, έξυπνη επιμελητεία, έξυπνη κατασκευή, πλοήγηση οχημάτων και παρακολούθηση ασφαλείας. Φυσικά, οι έξυπνες εφαρμογές του IoT χρειάζονται ακόμη την υποστήριξη της τεχνολογίας πληροφοριών, όπως η τεχνολογία υπολογιστικού νέφους, η τεχνολογία βάσεων δεδομένων, η τεχνολογία άντλησης δεδομένων, η τεχνολογία μεσαίου λογισμικού, η τεχνολογία πολυμέσων, τα ειδικά συστήματα κ.λπ.

### 3.2.2 Αρχιτεκτονική 4-5 στρωμάτων

Όπως είναι γνωστό, το δίκτυο είναι το κλειδί του IoT. Μόνο όταν υπάρχει το δίκτυο, οτιδήποτε μπορεί να γίνει αντιληπτό ή να γίνει σοφό ανά πάσα στιγμή και σε οποιοδήποτε μέρος. Επομένως, είναι απαραίτητο το στρώμα δικτύου να χωρίζεται στο στρώμα πρόσβασης και στο στρώμα μετάδοσης σύμφωνα με την υπηρεσία πρόσβασης πληροφοριών ή την υπηρεσία μετάδοσης πληροφοριών, προκειμένου να επισημανθεί ο σημαντικός ρόλος του στρώματος δικτύου. Αυτό συνεπάγεται την αρχιτεκτονική τεσσάρων στρωμάτων του IoT, με στρώμα αντίληψης, στρώμα πρόσβασης δικτύου, στρώμα μετάδοσης δικτύου και στρώμα εφαρμογής.

1. Στρώμα πρόσβασης δικτύου αρχιτεκτονικής τεσσάρων στρωμάτων:

Πραγματοποιεί τη συλλογή πληροφοριών διάφορων γνωστικών εργαλείων, την προκαταρκτική επεξεργασία και την πρόσβαση στο δίκτυο με ενσύρματο ή ασύρματο δίκτυο επικοινωνίας. Για παράδειγμα, Wi-Fi, Ad-hoc, Mesh, Zigbee κ.λπ.

2. Στρώμα μετάδοσης δικτύου αρχιτεκτονικής τεσσάρων στρωμάτων: Το στρώμα μετάδοσης δικτύου ολοκληρώνει αξιόπιστη μετάδοση πληροφοριών σε μεγάλες αποστάσεις με βάση το Διαδίκτυο, που αποτελείται από όλα τα είδη ειδικών δικτύων, δίκτυα κινητής επικοινωνίας, δίκτυα δορυφορικής επικοινωνίας κ.λπ.

Επιπλέον, υπάρχουν δύο επίπεδα στην ευφυή εφαρμογή του IoT. Το πρώτο είναι ένα ευφυές επίπεδο επεξεργασίας πληροφοριών, και ολοκληρώνει μια ευφυή ανάλυση πληροφοριών με βάση μια δημόσια πλατφόρμα επεξεργασίας πληροφοριών για να παρέχει την πηγή πληροφοριών για μια ποικιλία έξυπνων εφαρμογών. Ένα άλλο είναι το ευφυές επίπεδο παρουσίασης πληροφοριών, και χρησιμοποιεί μια τεχνολογία ποικίλων πληροφοριών για να υλοποιήσει τη διεπαφή μεταξύ IoT και χρηστών για τη σύνδεση με συγκεκριμένη εφαρμογή. Έτσι, το στρώμα εφαρμογής μπορεί να χωριστεί και να σχηματιστεί αρχιτεκτονική πέντε στρωμάτων του IoT, όπως στρώμα αντίληψης, στρώμα πρόσβασης δικτύου, στρώμα μετάδοσης δικτύου, στρώμα υποστήριξης εφαρμογής και στρώμα παρουσίασης εφαρμογής.

1. Στρώμα υποστήριξης εφαρμογής αρχιτεκτονικής πέντε στρωμάτων: Με βάση την υποστήριξη της τεχνολογίας πληροφοριών, όπως τεχνολογία υπολογιστικού νέφους, τεχνολογία βάσης δεδομένων, σύστημα ειδικών, τεχνολογία μεσαίου λογισμικού και ούτω καθεξής, το στρώμα υποστήριξης εφαρμογής μπορεί να ολοκληρώσει τη δημόσια ευφυή ανάλυση και αποθήκευση των πληροφοριών για την πραγματοποίηση επεξεργασίας, διαμοιρασμού και ανταλλαγής πληροφοριών για διάφορες έξυπνες εφαρμογές.
2. Στρώμα παρουσίασης εφαρμογής αρχιτεκτονικής πέντε στρωμάτων: Το στρώμα παρουσίασης εφαρμογής χρησιμοποιεί πολυμέσα, εικονική πραγματικότητα, τεχνολογία διεπαφής ανθρώπου-υπολογιστή και άλλες τεχνολογίες πληροφοριών για τη δημιουργία της διεπαφής μεταξύ IoT και χρηστών για την πραγματοποίηση διάφορων παρουσιάσεων και εφαρμογών ευφύων πληροφοριών.

### 3.2.3 Αρχιτεκτονική προσανατολισμένη σε υπηρεσία (Service oriented Architecture)

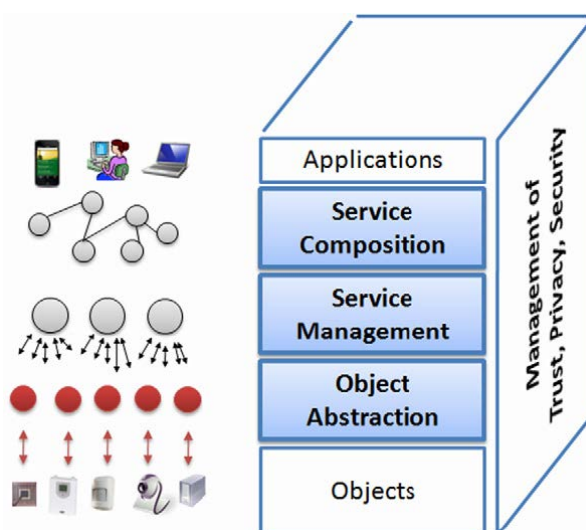
Το μεσαίο λογισμικό (middleware) είναι ένα στρώμα λογισμικού ή ένα σύνολο υποστρωμάτων που παρεμβάλλονται μεταξύ των τεχνολογικών επιπέδων και των



επιπέδων εφαρμογής. Το χαρακτηριστικό της απόκρυψης λεπτομερειών διαφορετικών τεχνολογιών είναι θεμελιώδες για την απαλλαγή του προγραμματιστή από ζητήματα που δεν σχετίζονται άμεσα με την εστίασή του, η οποία είναι η ανάπτυξη της συγκεκριμένης εφαρμογής που ενεργοποιείται από τις υποδομές IoT. Το middleware αποκτά ολοένα και μεγαλύτερη σημασία τα τελευταία χρόνια λόγω του σημαντικού του ρόλου στην απλούστευση της ανάπτυξης νέων υπηρεσιών και της ενσωμάτωσης παλαιών τεχνολογιών σε νέες. Αυτό απαλλάσσει τον προγραμματιστή από την ακριβή γνώση του ποικίλου συνόλου τεχνολογιών που υιοθετήθηκαν από τα χαμηλότερα στρώματα.

Οι αρχιτεκτονικές μεσαίου λογισμικού που προτάθηκαν τα τελευταία χρόνια για το IoT ακολουθούν συχνά την προσέγγιση Service Oriented Architecture (SOA). Η υιοθέτηση των βασικών αρχών SOA επιτρέπει την αποσύνθεση σύνθετων και μονολιθικών συστημάτων σε εφαρμογές που αποτελούνται από ένα οικοσύστημα απλούστερων και καλά καθορισμένων στοιχείων. Η χρήση κοινών διεπαφών και κοινώς αποδεκτών πρωτοκόλλων δίνει μια οριζόντια προβολή ενός εταιρικού συστήματος. Έτσι, η ανάπτυξη επιχειρηματικών διαδικασιών που επιτρέπονται από το SOA είναι το αποτέλεσμα της διαδικασίας σχεδιασμού ροών εργασιών συντονισμένων υπηρεσιών, οι οποίες τελικά σχετίζονται με ενέργειες αντικειμένων. Αυτό διευκολύνει την αλληλεπίδραση μεταξύ των τμημάτων μιας επιχείρησης και επιτρέπει τη μείωση του χρόνου που απαιτείται για να προσαρμοστεί στις αλλαγές που επιβάλλονται από την εξέλιξη της αγοράς. Η προσέγγιση SOA επιτρέπει επίσης την επαναχρησιμοποίηση λογισμικού και υλικού, επειδή δεν επιβάλλει συγκεκριμένη τεχνολογία για την εφαρμογή της υπηρεσίας.

Πλεονεκτήματα της προσέγγισης SOA αναγνωρίζονται στις περισσότερες μελέτες για λύσεις middleware για το IoT. Ενώ λείπει μια κοινώς αποδεκτή πολυεπίπεδη αρχιτεκτονική, οι προτεινόμενες λύσεις αντιμετωπίζουν ουσιαστικά τα ίδια προβλήματα αφαίρεσης των λειτουργιών των συσκευών και των δυνατοτήτων επικοινωνίας, παρέχοντας ένα κοινό σύνολο υπηρεσιών και ένα περιβάλλον για τη σύνθεση των υπηρεσιών. Αυτοί οι κοινοί στόχοι οδηγούν στον ορισμό του σχεδίου middleware που φαίνεται στο Σχήμα 3.3. Βασίζεται στα επίπεδα που εξηγούνται στις Ενότητες 3.2.3.1–3.2.3.5.



Σχήμα 3.3 Service Oriented Architecture

### 3.2.3.1 Εφαρμογές

Οι εφαρμογές βρίσκονται στην κορυφή της αρχιτεκτονικής, εξάγοντας όλες τις λειτουργίες του συστήματος στον τελικό χρήστη. Αυτό το επίπεδο δεν θεωρείται μέρος του μεσαίου λογισμικού, αλλά εκμεταλλεύεται όλες τις λειτουργίες του μεσαίου στρώματος. Μέσω της χρήσης βασικών πρωτοκόλλων υπηρεσίας ιστού και τεχνολογιών σύνθεσης υπηρεσιών, οι εφαρμογές μπορούν να πραγματοποιήσουν μια τέλεια ολοκλήρωση μεταξύ καταναμημένων συστημάτων και εφαρμογών.

### 3.2.3.2 Σύνθεση υπηρεσιών

Αυτό είναι ένα κοινό στρώμα στην κορυφή μιας αρχιτεκτονικής middleware που βασίζεται σε SOA. Παρέχει τις λειτουργίες για τη σύνθεση μεμονωμένων υπηρεσιών που προσφέρονται από δικτυωμένα αντικείμενα για τη δημιουργία συγκεκριμένων εφαρμογών. Σε αυτό το στρώμα δεν υπάρχει η έννοια των συσκευών και τα μόνα ορατά στοιχεία είναι οι υπηρεσίες. Μια σημαντική ιδέα για τις υπηρεσίες είναι να υπάρχει ένα αποθετήριο όλων των πρόσφατα συνδεδεμένων περιπτώσεων υπηρεσιών, οι οποίες εκτελούνται για τη δημιουργία σύνθετων υπηρεσιών. Η λογική πίσω από τη δημιουργία και τη διαχείριση σύνθετων υπηρεσιών, μπορεί να εκφραστεί σε όρους ροής εργασιών επιχειρηματικών διαδικασιών, χρησιμοποιώντας γλώσσες ροής εργασίας. Σε αυτό το πλαίσιο, μια συχνή επιλογή είναι η υιοθέτηση τυπικών γλωσσών όπως η Business Process Execution Language (BPEL) και η Jolie. Οι γλώσσες ροής εργασίας ορίζουν επιχειρηματικές διαδικασίες που αλληλεπιδρούν με εξωτερικές οντότητες μέσω λειτουργιών Web Service, που ορίζονται με τη χρήση του Web Service Definition Language (WSDL). Οι ροές εργασίας μπορούν να είναι εμφωλευμένες, οπότε είναι δυνατή η κλήση μιας ροής εργασίας μέσα από μια άλλη. Η δημιουργία σύνθετων διαδικασιών μπορεί να αναπαρασταθεί ως μια ακολουθία συντονισμένων ενεργειών που εκτελούνται από μεμονωμένα στοιχεία.

### 3.2.3.3 Διαχείριση υπηρεσιών

Αυτό το στρώμα παρέχει τις κύριες λειτουργίες που αναμένεται να είναι διαθέσιμες για κάθε αντικείμενο και που επιτρέπουν τη διαχείρισή τους στο σενάριο IoT. Ένα βασικό σύνολο υπηρεσιών περιλαμβάνει: δυναμική ανακάλυψη αντικειμένων, παρακολούθηση κατάστασης και διαμόρφωση υπηρεσίας. Σε αυτό το στρώμα, ορισμένες προτάσεις middleware περιλαμβάνουν ένα εκτεταμένο σύνολο λειτουργιών που σχετίζονται με τη διαχείριση QoS και τη διαχείριση κλειδώματος, καθώς και ορισμένες σημασιολογικές λειτουργίες (π.χ. διαχείριση αστυνομίας και περιεχομένου). Αυτό το στρώμα μπορεί να επιτρέψει την απομακρυσμένη ανάπτυξη νέων υπηρεσιών κατά τη διάρκεια του χρόνου εκτέλεσης, προκειμένου να ικανοποιήσει τις ανάγκες της εφαρμογής. Ένα αποθετήριο υπηρεσιών είναι χτισμένο σε αυτό το επίπεδο, ώστε να γνωρίζει ποιος είναι ο κατάλογος των υπηρεσιών που σχετίζονται με κάθε αντικείμενο στο δίκτυο. Το ανώτερο στρώμα



μπορεί στη συνέχεια να συνθέσει πολύπλοκες υπηρεσίες ενώνοντας υπηρεσίες που παρέχονται σε αυτό το στρώμα.

#### 3.2.3.4 Αφαίρεση αντικειμένων

Το IoT βασίζεται σε ένα τεράστιο και ετερογενές σύνολο αντικειμένων, το καθένα παρέχει συγκεκριμένες λειτουργίες προσβάσιμες μέσω της δικής του διαλέκτου. Υπάρχει επομένως η ανάγκη για ένα στρώμα αφαίρεσης ικανό να εναρμονίσει την πρόσβαση στις διάφορες συσκευές με μια κοινή γλώσσα και διαδικασία. Κατά συνέπεια, εκτός εάν μια συσκευή προσφέρει ανιχνεύσιμες υπηρεσίες Ιστού σε ένα δίκτυο IP, υπάρχει η ανάγκη εισαγωγής ενός στρώματος περιβολής, που αποτελείται από δύο κύρια υπο-επίπεδα: τη διεπαφή και την επικοινωνία. Το πρώτο παρέχει μια διεπαφή Ιστού που εκθέτει τις διαθέσιμες μεθόδους μέσω μιας τυπικής διεπαφής υπηρεσίας Ιστού και είναι υπεύθυνη για τη διαχείριση όλων των λειτουργιών ανταλλαγής μηνυμάτων (εισερχόμενων / εξερχόμενων) που εμπλέκονται στην επικοινωνία με τον εξωτερικό κόσμο. Το δεύτερο υπόστρωμα εφαρμόζει τη λογική πίσω από τις μεθόδους υπηρεσίας διαδικτύου και μεταφράζει αυτές τις μεθόδους σε ένα σύνολο εντολών για συγκεκριμένες συσκευές για επικοινωνία με τα αντικείμενα του πραγματικού κόσμου.

Ορισμένες μελέτες πρότειναν την ενσωμάτωση TCP / IP στοιβών στις συσκευές, όπως το TinyTCP, το mIP και το lwIP, τα οποία παρέχουν μια υποδοχή σαν διεπαφή για ενσωματωμένες εφαρμογές. Οι ενσωματωμένοι διακομιστές Ιστού μπορούν στη συνέχεια να ενταχθούν στα αντικείμενα, εκτελώντας τη λειτουργία αυτού του επιπέδου αφαίρεσης αντικειμένων. Ωστόσο, συχνότερα αυτή η λειτουργία αναδίπλωσης παρέχεται μέσω ενός διακομιστή μεσολάβησης, ο οποίος στη συνέχεια είναι υπεύθυνος για το άνοιγμα μιας υποδοχής επικοινωνίας με την κονσόλα της συσκευής και την αποστολή όλων των εντολών σε αυτήν χρησιμοποιώντας διαφορετικές γλώσσες επικοινωνίας. Στη συνέχεια, είναι υπεύθυνο για τη μετατροπή σε μια τυπική γλώσσα υπηρεσίας Ιστού και, μερικές φορές, να επεξεργαστεί το αίτημα για μείωση της πολυπλοκότητας των λειτουργιών που απαιτούνται από την τελική συσκευή.

#### 3.2.3.5 Διαχείριση εμπιστοσύνης, απορρήτου και ασφαλείας

Η ανάπτυξη αυτόματης επικοινωνίας αντικειμένων στη ζωή του ανθρώπου αποτελεί κίνδυνο για το μέλλον του. Πράγματι, μη ορατές από τους χρήστες, οι ενσωματωμένες ετικέτες RFID στις προσωπικές συσκευές, ρούχα και είδη παντοπωλείου μπορούν εν αγνοία τους να ενεργοποιηθούν για να απαντήσουν με το αναγνωριστικό τους και άλλες πληροφορίες. Αυτό επιτρέπει δυνητικά έναν μηχανισμό παρακολούθησης που θα μπορούσε να διαπεράσει μεγάλα μέρη της ζωής του ανθρώπου. Το middleware πρέπει στη συνέχεια να περιλαμβάνει λειτουργίες που σχετίζονται με τη διαχείριση της εμπιστοσύνης, του απορρήτου και της ασφαλείας όλων των ανταλλασσόμενων δεδομένων. Οι σχετικές λειτουργίες μπορεί είτε να βασίζονται σε ένα συγκεκριμένο στρώμα από τα προηγούμενα είτε (συμβαίνει συχνότερα) να διανέμονται σε ολόκληρη τη στοίβα, από την αφαίρεση

αντικειμένων έως τη σύνθεση υπηρεσίας, με τρόπο που δεν επηρεάζει την απόδοση του συστήματος ή εισάγει υπερβολικά γενικά έξοδα.

### 3.2.4 Αρχιτεκτονική 5 στρωμάτων



Σχήμα 3.4 Αρχιτεκτονική 5 στρωμάτων

#### 3.2.4.1 Στρώμα αντικειμένων

Το πρώτο στρώμα, τα αντικείμενα (συσκευές) ή το στρώμα αντίληψης, αντιπροσωπεύει τους φυσικούς αισθητήρες του IoT που στοχεύουν στη συλλογή και επεξεργασία πληροφοριών. Αυτό το στρώμα περιλαμβάνει αισθητήρες και ενεργοποιητές για την εκτέλεση διάφορων λειτουργιών όπως ο εντοπισμός τοποθεσίας, η θερμοκρασία, το βάρος, η κίνηση, οι κραδασμοί, η επιτάχυνση, η υγρασία κ.λπ. Πρέπει να χρησιμοποιούνται τυποποιημένοι μηχανισμοί plug-and-play από το επίπεδο αντίληψης για τη διαμόρφωση ετερογενών αντικειμένων. Το επίπεδο αντίληψης ψηφιοποιεί και μεταφέρει δεδομένα στο επίπεδο αφαίρεσης αντικειμένων μέσω ασφαλών καναλιών. Τα μεγάλα δεδομένα που δημιουργούνται από το IoT ξεκινούν σε αυτό το επίπεδο.

#### 3.2.4.2 Στρώμα αφαίρεσης αντικειμένων

Το Object Abstraction μεταφέρει δεδομένα που παράγονται από το επίπεδο αντικειμένων στο επίπεδο διαχείρισης υπηρεσιών μέσω ασφαλών καναλιών. Τα δεδομένα μπορούν να μεταφερθούν μέσω διάφορων τεχνολογιών όπως RFID, 3G, GSM, UMTS, WiFi, Bluetooth LowEnergy, υπέρυθρες, ZigBee, κ.λπ. Επιπλέον, άλλες λειτουργίες όπως το cloud computing και οι διαδικασίες διαχείρισης δεδομένων αντιμετωπίζονται σε αυτό το επίπεδο.

#### 3.2.4.3 Στρώμα διαχείρισης υπηρεσιών

Το στρώμα διαχείρισης υπηρεσιών ή Middleware (pairing) συνδυάζει μια υπηρεσία με τον αιτούντα βάσει των διευθύνσεων και των ονομάτων. Αυτό το επίπεδο

επιτρέπει στους προγραμματιστές εφαρμογών IoT να εργάζονται με ετερογενή αντικείμενα χωρίς να λαμβάνεται υπόψη μια συγκεκριμένη πλατφόρμα υλικού. Επίσης, σε αυτό το επίπεδο επεξεργάζονται τα ληφθέντα δεδομένα, λαμβάνονται αποφάσεις και παρέχονται οι απαιτούμενες υπηρεσίες μέσω των πρωτοκόλλων δικτύου.

#### 3.2.4.4 Στρώμα εφαρμογών

Το επίπεδο εφαρμογής παρέχει τις υπηρεσίες που ζητούνται από τους πελάτες. Για παράδειγμα, το επίπεδο εφαρμογής μπορεί να παρέχει μετρήσεις θερμοκρασίας και υγρασίας αέρα στον πελάτη που ζητά αυτά τα δεδομένα. Η σημασία αυτού του επιπέδου για το IoT είναι ότι έχει τη δυνατότητα να παρέχει υψηλής ποιότητας έξυπνες υπηρεσίες για την κάλυψη των αναγκών των πελατών. Το επίπεδο εφαρμογής καλύπτει πολλές κάθετες αγορές, όπως έξυπνο σπίτι, έξυπνο κτίριο, μεταφορά, βιομηχανικό αυτοματισμό και έξυπνη υγειονομική περιθαλψη.

#### 3.2.4.5 Στρώμα επιχειρήσεων

Το στρώμα επιχειρήσεων (διαχείρισης) διαχειρίζεται τις συνολικές δραστηριότητες και υπηρεσίες του συστήματος IoT. Οι αρμοδιότητες αυτού του επιπέδου είναι η δημιουργία ενός επιχειρηματικού μοντέλου, γραφημάτων, διαγραμμάτων ροής κ.λπ. με βάση τα ληφθέντα δεδομένα από το επίπεδο εφαρμογής. Υποτίθεται επίσης ότι σχεδιάζει, αναλύει, εφαρμόζει, αξιολογεί, παρακολουθεί και αναπτύσσει στοιχεία που σχετίζονται με το σύστημα IoT. Το στρώμα επιχειρήσεων καθιστά δυνατή την υποστήριξη διαδικασιών λήψης αποφάσεων με βάση την ανάλυση των Big Data. Επίσης, επιτυγχάνεται παρακολούθηση και διαχείριση των υποκείμενων τεσσάρων επιπέδων σε αυτό το επίπεδο. Επιπλέον, αυτό το επίπεδο συγκρίνει την έξοδο κάθε επιπέδου με την αναμενόμενη έξοδο για τη βελτίωση των υπηρεσιών και τη διατήρηση του απορρήτου των χρηστών.

#### 3.2.5 Αρχιτεκτονική MEC (Mobile Edge Computing)

Το Multi Access Edge Computing ή Mobile Edge Computing ή ακόμα και Edge Computing, MEC, είναι η φυσική εξέλιξη των σταθμών βάσης σε συνένωση με τις υπηρεσίες IT και τα τηλεπικοινωνιακά δίκτυα. Το MEC θα επιτρέψει τη δημιουργία νέων επιχειρηματικών κλάδων καθώς και υπηρεσίες για οικιακούς και εταιρικούς πελάτες. Ουσιαστικά, ως MEC μπορεί να οριστεί ένας κόμβος που φυσικά θα βρίσκεται μεταξύ των τερματικών συσκευών User Equipment, UE, και του δικτύου κορμού, Core Network. Η εισαγωγή του κόμβου αυτού θα επιτρέψει τη λειτουργία πολλών εικονικών εφαρμογών, χωρίς να χρειάζεται απαραίτητα η χρήση του Core δικτύου.

Το MEC Framework, όπως έχει δημοσιευτεί από τον οργανισμό ETSI, απεικονίζεται στο Σχήμα 3.5, και παρουσιάζει σε βασικό επίπεδο τις οντότητες που συμβάλλουν

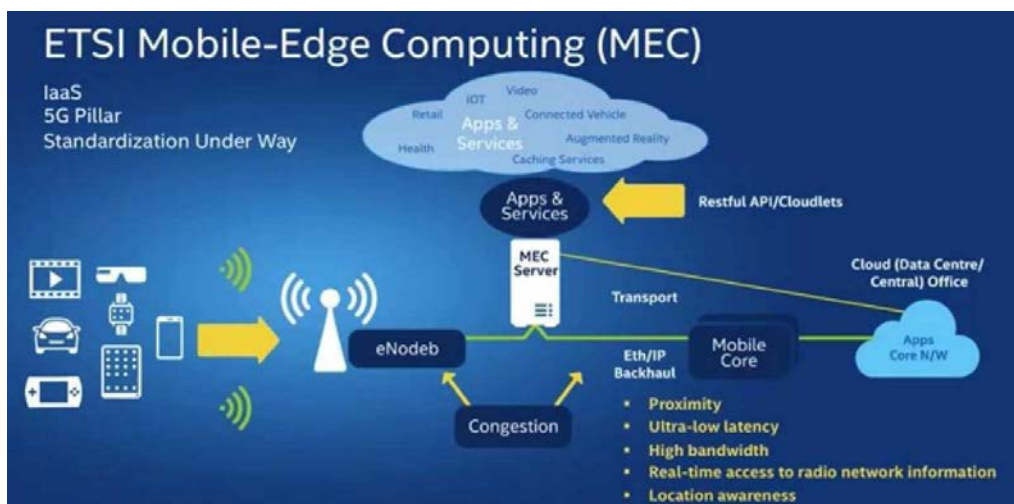
στη λειτουργία του MEC. Οι οντότητες αυτές, ομαδοποιούνται περαιτέρω στις ακόλουθες τρεις κατηγορίες:

### 1. Επίπεδο συστημάτων System level

Αποτελεί το υψηλότερο επίπεδο με βάση το MEC Framework, και έχει τη συνολική εποπτεία όλου του συστήματος MEC. Το σύστημα Mobile Edge ME, αποτελείται από όλους τους απαραίτητους ME hosts και συστήματα διαχείρισης του ME, ώστε να μπορεί να λειτουργήσει τις απαραίτητες ME εφαρμογές που χρησιμοποιεί ένας τηλεπικοινωνιακός πάροχος.

### 2. Επίπεδο host level

Το επίπεδο οικοδεσπότη ME host level, περιλαμβάνει το ME host, καθώς και το αντίστοιχο ME διαχείρισης του επιπέδου host level. Η μονάδα του ME host, περαιτέρω μπορεί να διαιρεθεί στην πλατφόρμα ME platform, τις εφαρμογές ME applications καθώς και το εικονικό περιβάλλον (virtualized infrastructure) πάνω στο οποίο λειτουργούν όλα τα υπόλοιπα στοιχεία του περιβάλλοντος Mobile Edge Computing.



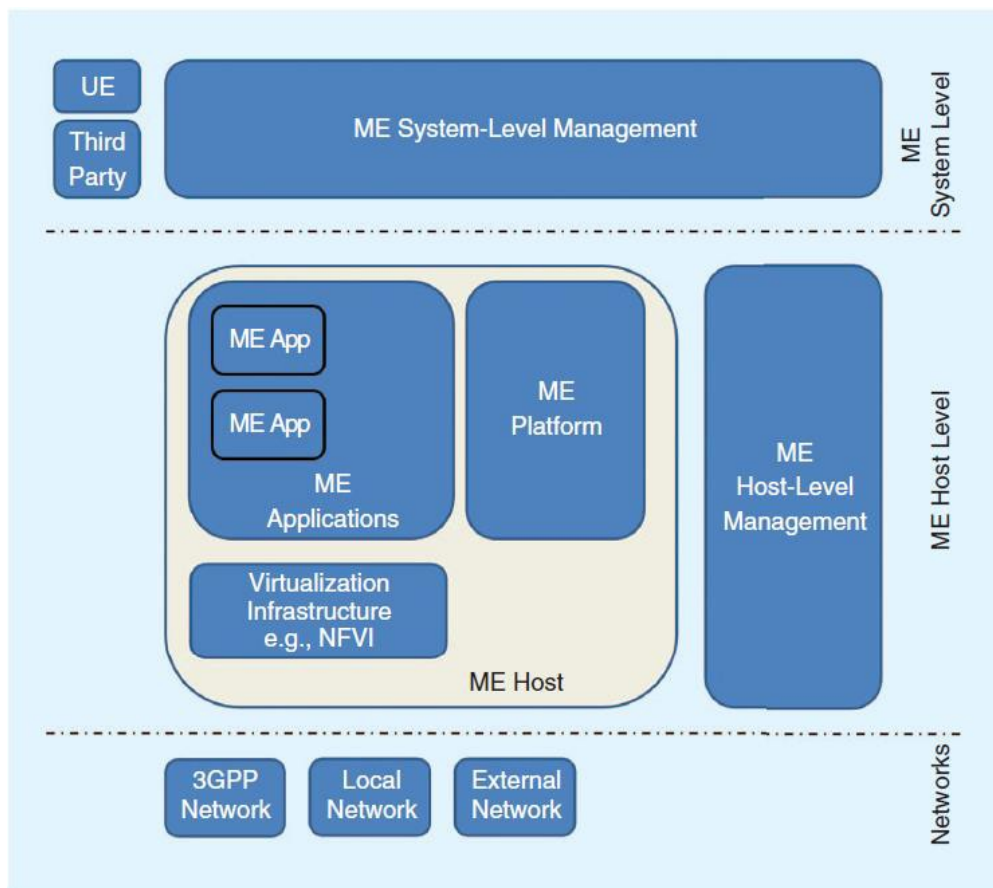
Σχήμα 3.5 Αρχιτεκτονική δικτύου με χρήση MEC κόμβων

### 3. Επίπεδο Δικτύου Network level

Το επίπεδο δικτύου αποτελείται από εξωτερικές οντότητες, όπως τα δίκτυα κινητών τηλεπικοινωνιών 3<sup>rd</sup> Generation Partnership Project (3GPP), τοπικά δίκτυα καθώς και άλλα εξωτερικά δίκτυα. Μέσα από αυτό το επίπεδο πραγματοποιείται η διασύνδεση σε τοπικά εσωτερικά δίκτυα, εξωτερικά δίκτυα όπως το Διαδίκτυο και το δίκτυο κινητών τηλεπικοινωνιών.

Αναλυτικά, η αρχιτεκτονική των Mobile Edge συστημάτων παρουσιάζεται στο

Σχήμα 3.7, που καθορίζονται οι λειτουργικές οντότητες, καθώς και ο τρόπος που αυτές επικοινωνούν μεταξύ τους. Ο διαχωρισμός που πραγματοποιείται στην αρχιτεκτονική του ME, είναι παρόμοιος με αυτόν των επιπέδων, χωρίς όμως να συμπεριλαμβάνεται το επίπεδο δικτύου Network level, επειδή αποτελεί σημείο εξωτερικής διασύνδεσης ενός MEC κόμβου, και όχι τμήμα της αρχιτεκτονικής του. Όπως αναφέρθηκε ήδη, ο οικοδεσπότης ME host είναι μια οντότητα που αποτελείται από την πλατφόρμα ME platform και την εικονική υποδομή (virtualized infrastructure) που παρέχει την υπολογιστική ισχύ, τη δυνατότητα αποθήκευσης και τους δικτυακούς πόρους στις εφαρμογές ME applications. Η εικονική υποδομή περιλαμβάνει ένα επίπεδο δεδομένων, data plane, που εκτελεί τους κανόνες προώθησης της κίνησης όπως αυτοί έχουν οριστεί από το ME Platform, και επίσης δρομολογεί την κίνηση μεταξύ εφαρμογών, υπηρεσιών και δικτύων.

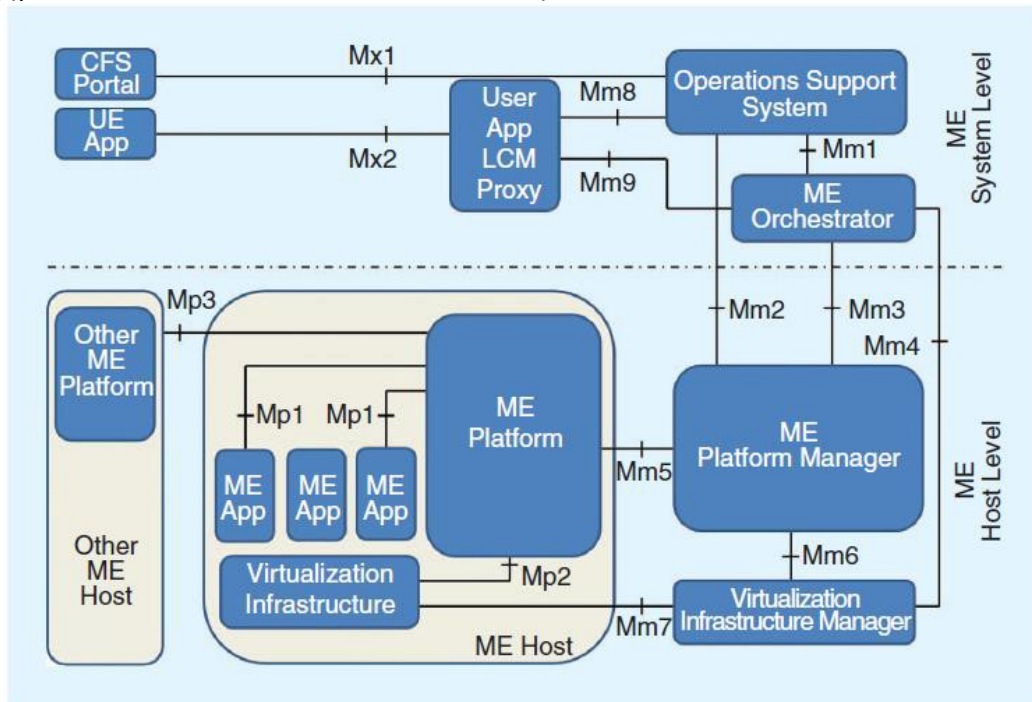


Σχήμα 3.6 MEC Framework

Η πλατφόρμα του MEC, αντιπροσωπεύει ένα σύνολο από βασικές λειτουργίες που απαιτούνται για τη λειτουργία εφαρμογών ME applications σε ένα συγκεκριμένο ME κόμβο. Η πλατφόρμα ME Platform, δέχεται τις οδηγίες για τους κανόνες προώθησης της κίνησης κλπ, από τη μονάδα διαχείρισης ME Platform Manager, και με βάση αυτές καθώς και την πολιτική που έχει οριστεί, παρέχει οδηγίες στο επίπεδο προώθησης της κίνησης. Επίσης, υπάρχει η δυνατότητα να δημιουργηθεί τοπικό DNS server/proxy, που στη συνέχεια μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την κατεύθυνση της κίνησης σε συγκεκριμένες εφαρμογές ME applications. Η πλατφόρμα ME Platform μπορεί να επικοινωνεί με άλλες ME πλατφόρμες, μέσω της διεπαφής Mp3,



που προτείνεται για διεργασίες του επιπέδου ελέγχου. Μέσω της συγκεκριμένης διεπαφής, αρκετές πλατφόρμες ME, μπορούν να ομαδοποιηθούν και να σχηματίσουν ένα κοινό δίκτυο επικοινωνίας.



Σχήμα 3.7 Αρχιτεκτονική αναφοράς MEC

Οι εφαρμογές ME Applications, λειτουργούν ως εικονικά μηχανήματα (virtual machines VMs) πάνω σε μια εικονική υποδομή που παρέχεται από τον οικοδεσπότη ME host. Οι εφαρμογές ME applications, επικοινωνούν με την πλατφόρμα μέσω της διεπαφής Mp1, ώστε να χρησιμοποιήσουν υπηρεσίες που τους παρέχουν οι ME platforms. Οι εφαρμογές ME applications μπορούν επίσης να παρέχουν υπηρεσίες προς τις πλατφόρμες, οι οποίες με τη σειρά τους θα προσφέρουν αυτές τις υπηρεσίες σε άλλες εφαρμογές ME applications. Η διεπαφή Mp1 χρησιμοποιείται επίσης για υποστηρικτικές διαδικασίες, όπως να υποδεικνύει τη διαθεσιμότητα της εφαρμογής ή για την προετοιμασία μετάβασης της κατάστασης της εφαρμογής σε περίπτωση κάποιου γεγονότος μετάπτωσης handover. Οι εφαρμογές ME applications μπορούν να γνωστοποιούν τις απαιτήσεις τους ως προς τους πόρους ή τις υπηρεσίες που επιθυμούν, και επιπρόσθετα να γνωστοποιούν επίσης τους περιορισμούς ποιότητας ως προς το μέγιστο χρόνο απόκρισης latency. Οι απαιτήσεις αυτές αφού ελεγχθούν και αξιολογηθούν από το επίπεδο συστήματος system level, οδηγούν στην επιλογή του κατάλληλο uME host για τη συγκεκριμένη εφαρμογή.

Η μονάδα διαχείρισης της πλατφόρμας ME Platform (ME Platform Manager MEPM) αποτελεί μια οντότητα σε επίπεδο host-level, και αποτελείται από τα ακόλουθα στοιχεία:

1. Μονάδα διαχείρισης των στοιχείων της ME Platform (ME Platform element management)

2. Μονάδα διαχείρισης του κύκλου ζωής των εφαρμογών ME applications (ME applications lifecycle management)
3. Μονάδα διαχείρισης των κανόνων και των απαιτήσεων των εφαρμογών ME applications (ME applications rules and requirements management functions)

Η διεπαφή Mm5 εγκαθιστά την επικοινωνία μεταξύ της πλατφόρμας ME platform και της μονάδας που τη διαχειρίζεται MEPM, και χρησιμοποιείται για τη διαμόρφωση της πλατφόρμας ME platform. Η διεπαφή Mm2 είναι υπεύθυνη για την επικοινωνία της μονάδας διαχείρισης MEPM και των συστημάτων λειτουργίας υποστηρικτικών διαδικασιών OSS, και χρησιμοποιείται για τη διαχείριση τυχόν σφαλμάτων, τη ρύθμιση και τη διαχείριση της απόδοσης της πλατφόρμας ME platform. Επίσης, ορίζεται και η διεπαφή Mm3 για την επικοινωνία μεταξύ της μονάδας συντονισμού Mobile Edge Orchestrator, MEO, και της μονάδας MEPM, με σκοπό την παροχή υποστήριξης σχετικά με τη διαχείριση του κύκλου ζωής των εφαρμογών ME Applications, πολιτικές που σχετίζονται με τις εφαρμογές, καθώς και για την ενημέρωση για τις παρεχόμενες υπηρεσίες ME services από το ME σύστημα στις εφαρμογές. Η μονάδα συντονισμού MEO αποτελεί τη βασική λειτουργία του επιπέδου συστήματος ME system με δεδομένο ότι έχει την επίβλεψη των πόρων και των δυνατοτήτων όλου του δικτύου ME network. Η μονάδα συντονισμού MEO διαθέτει επίσης πληροφορίες για το συνολικό σύστημα ME system, γνωρίζοντας όλες τις μονάδες ME hosts που έχουν αναπτυχθεί, τις υπηρεσίες και τους διαθέσιμους πόρους σε κάθε μονάδα οικοδεσπότη ME host, τις εφαρμογές που έχουν εγκατασταθεί και τέλος την τοπολογία του δικτύου. Η μονάδα MEO είναι επίσης υπεύθυνη για την εγκατάσταση της λειτουργίας μιας εφαρμογής ME application, για τον έλεγχο της ακεραιότητάς της, της ανανέωσης των πολιτικών χρήσης της εφαρμογής και τέλος για τη διατήρηση ενός συνολικού καταλόγου με τις διαθέσιμες εφαρμογές. Η μονάδα MEO παρέχει επίσης πληροφορίες στους διαχειριστές των εικονικών υποδομών σχετικά με τον τρόπο που πρέπει να διαχειριστούν την εκάστοτε εφαρμογή. Επίσης, η μονάδα MEO επικοινωνεί μέσω της διεπαφής Mm1 με τα συστήματα λειτουργίας υποστηρικτικών διαδικασιών OSS, με σκοπό την εγκατάσταση και τερματισμό μιας εφαρμογής ME application στα συστήματα ME.

Όσον αφορά τα ME συστήματα, η μονάδα OSS διαχειρίζεται σε υψηλό επίπεδο τις εφαρμογές ME Applications. Η μονάδα OSS, δέχεται αιτήσεις για την εγκατάσταση ή τον τερματισμό εφαρμογών, μέσω της διεπαφής Mx1, από τη μονάδα Customer-Facing Service, CFS, και από τελικούς χρήστες μέσω των τερματικών που χρησιμοποιούν UE. Η μονάδα OSS εφόσον εγκρίνει μια συγκεκριμένη αίτηση την προωθεί στη μονάδα συντονισμού MEO, για περεταίρω επεξεργασία. Η μονάδα OSS, διαθέτει επίσης την πολύ σημαντική δυνατότητα να μετακομίζει εφαρμογές μεταξύ διαφορετικών υπολογιστικών συστημάτων Cloud. Η μονάδα CFS αποτελεί το σημείο εισόδου για τρίτους περιβάλλον Mobile Edge Computing. Το σημείο εισόδου μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την ενεργοποίηση, επιλογή ή παραγγελία εφαρμογών ME applications. Ταυτόχρονα, στη συγκεκριμένη μονάδα μπορούν να εισάγονται από ανεξάρτητες οντότητες νέες εφαρμογές, για να χρησιμοποιηθούν στα ME συστήματα.

Τέλος, η μονάδα διαχείρισης της ψηφιακής υποδομής, VIM, είναι υπεύθυνη για τη διαχείριση των εικονικών πόρων για τις εφαρμογές ME applications. Οι διαχειριστικές λειτουργίες της μονάδας VIM είναι η ανάθεση και η απελευθέρωση πόρων εικονικής υπολογιστικής ισχύος, χώρου αποθήκευσης και δικτυακών πόρων που διαθέτει η εικονική υποδομή. Η μονάδα VIM επίσης παρακολουθεί τη συνολική διαδικασία κατανομής πόρων που ακολουθείται, και παρέχει πληροφορίες υποστήριξης σε περίπτωση σφαλμάτων κατά τη λειτουργία της ψηφιακής υποδομής. Παράλληλα, η μονάδα VIM επικοινωνεί με την ψηφιακή υποδομή για τη διαχείριση των πόρων μέσω της διεπαφής Mm7, μέσω της διεπαφής Mm4 με τη μονάδα συντονισμού ΜΕΟ για τη διαχείριση εικόνων λογισμικού (software images) και για την παρακολούθηση των διαθέσιμων πόρων, και τέλος μέσω της διεπαφής Mm6 με τη μονάδα διαχείρισης της πλατφόρμας ME ΜΕΡΜ, για τη διαχείριση εικονικών πόρων για τις εφαρμογές ME applications κατά τη διάρκεια του κύκλου ζωής των εφαρμογών.

### 3.2.6 Αρχιτεκτονική αναφοράς IoT-A

Σε αυτό το κεφάλαιο παρουσιάζεται η αρχιτεκτονική αναφοράς IoT. Αυτή η αρχιτεκτονική αναφοράς IoT, μεταξύ άλλων, έχει σχεδιαστεί ως αναφορά για τη δημιουργία συγκεκριμένων συμμορφούμενων αρχιτεκτονικών IoT που είναι προσαρμοσμένες στις συγκεκριμένες ανάγκες κάποιου.

Η αρχιτεκτονική αναφοράς IoT διατηρείται κάπως αφηρημένη για να επιτρέψει πολλές, δυνητικά διαφορετικές, αρχιτεκτονικές IoT.

Μια αρχιτεκτονική συστήματος, και ως εκ τούτου από προεπιλογή, μια αρχιτεκτονική αναφοράς, πρέπει να απαντήσει σε ένα ευρύ φάσμα ερωτήσεων. Τέτοιες ερωτήσεις μπορούν, για παράδειγμα, να απευθύνονται σε:

- Λειτουργικά στοιχεία
- Αλληλεπιδράσεις των εν λόγω στοιχείων
- Διαχείριση πληροφοριών
- Λειτουργικά χαρακτηριστικά
- Ανάπτυξη του συστήματος

Αυτό που αναμένει ο χρήστης μιας αρχιτεκτονικής, είναι μια αρχιτεκτονική περιγραφή, δηλαδή «Ένα σύνολο αντικειμένων που τεκμηριώνουν μια αρχιτεκτονική με τρόπο που οι ενδιαφερόμενοι μπορούν να κατανοήσουν και που αποδεικνύει ότι η αρχιτεκτονική έχει ανταποκριθεί στις ανησυχίες τους» (Rozanski 2005b). Αντί να παρέχει αυτά τα αντικείμενα σε μια μονολιθική περιγραφή, συχνά επιλέγει να τα οριοθετήσει με τις λεγόμενες αρχιτεκτονικές απόψεις. Η ιδέα πίσω από αυτό είναι η εστίαση σε τομείς του συστήματος που μπορούν να απομονωθούν εννοιολογικά. Οι αρχιτεκτονικές απόψεις διευκολύνουν τόσο την παραγωγή της αρχιτεκτονικής όσο και την επικύρωσή της. Η παραπάνω λίστα κουκκίδων παρέχει παραδείγματα τέτοιων προβολών.



### 3.2.6.1 Σχεδιασμός της λειτουργικής προβολής

Σε ένα πρώτο βήμα, οι ενοποιημένες απαιτήσεις αντιστοιχίζονται στις διάφορες Λειτουργικές Ομάδες (Functionality Groups-FG) του λειτουργικού μοντέλου IoT.

Στη συνέχεια, σχηματίζονται ομάδες απαιτήσεων παρόμοιας λειτουργικότητας και καθορίζεται ένα Λειτουργικό Συστατικό (Functional Component-FC) για αυτές τις απαιτήσεις.

Τέλος, τα Λειτουργικά Συστατικά επαναπροσδιορίζονται μετά από συζήτηση με τα τεχνικά πακέτα εργασίας.

Οι απόψεις που χρησιμοποιούνται για την κατασκευή της λειτουργικής προβολής IoT είναι επομένως:

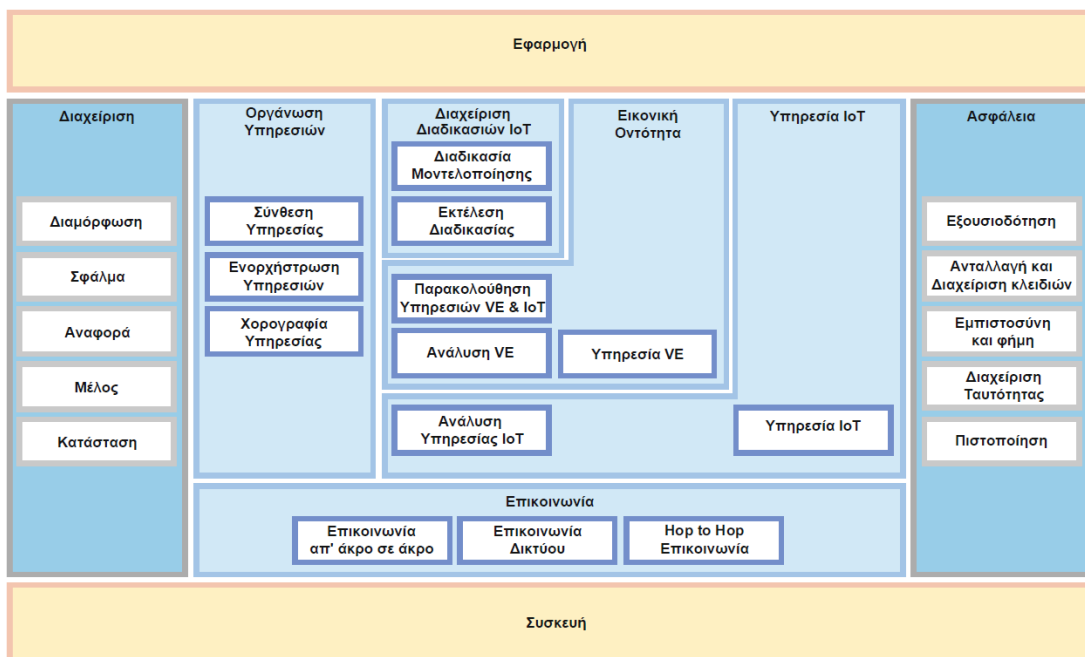
1. Οι ενοποιημένες απαιτήσεις
2. Το λειτουργικό μοντέλο IoT

Μόλις καθοριστούν όλα τα Λειτουργικά Συστατικά, δημιουργείται το προεπιλεγμένο σύνολο λειτουργιών, περιπτώσεις χρήσης συστήματος, διαγράμματα ακολουθίας και ορισμοί διασύνδεσης.

Το διάγραμμα λειτουργικής προβολής απεικονίζεται στο Σχήμα 3.8 και δείχνει τις εννέα Λειτουργικές Ομάδες του λειτουργικού μοντέλου. Σημειώστε ότι:

- Η εφαρμογή FG και η συσκευή FG είναι εκτός πεδίου εφαρμογής της αρχιτεκτονικής αναφοράς IoT-A και έχουν χρώμα κίτρινο.
- Η διαχείριση FG και η ασφάλεια FG είναι εγκάρσια FGs και έχουν χρώμα σκούρο μπλε.

Για καθεμία από τις Λειτουργικές Ομάδες, απεικονίζονται τα Λειτουργικά Συστατικά (FC).



Σχήμα 3.8 Διάγραμμα λειτουργικής προβολής IoT-A

Στις ακόλουθες υποενότητες, τα Λειτουργικά Συστατικά (FC) κάθε Ομάδας Λειτουργικότητας (FG) θα περιγραφούν με περισσότερες λεπτομέρειες.

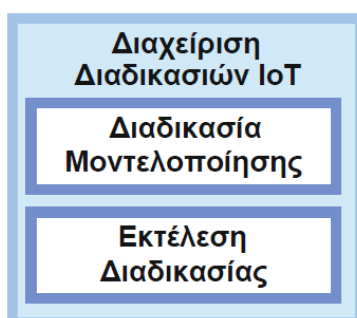
Η λειτουργική προβολή που παρουσιάζεται σε αυτό το κεφάλαιο θα δώσει μια περιγραφή των Λειτουργικών Συστατικών, αλλά δεν θα περιγράψει τις αλληλεπιδράσεις που πραγματοποιούνται μεταξύ των Λειτουργικών Συστατικών. Ο λόγος είναι ότι αυτές οι αλληλεπιδράσεις συνήθως εξαρτώνται από τις Επιλογές Σχεδιασμού που δεν γίνονται σε αυτό το επίπεδο.

### 3.2.6.2 Διαχείριση διαδικασιών IoT

Η IoT Λειτουργική Ομάδα Διαχείρισης Διαδικασιών (Process Management FG) σχετίζεται με την ενσωμάτωση παραδοσιακών συστημάτων διαχείρισης διεργασιών με το IoT ARM. Ο γενικός στόχος του FG είναι να παρέχει τις λειτουργικές έννοιες και διεπαφές που είναι απαραίτητες για την αύξηση των παραδοσιακών (επιχειρηματικών) διαδικασιών με τις ιδιοσυγκρασίες του IoT κόσμου.

Το IoT Process Management FG αποτελείται από δύο λειτουργικά στοιχεία (βλ. Σχήμα 3.9 παρακάτω):

- Διαδικασία μοντελοποίησης
- Εκτέλεση διαδικασίας



Σχήμα 3.9 Λειτουργική Ομάδα Διαχείρισης Διαδικασιών

Το Λειτουργικό Συστατικό Διαδικασίας Μοντελοποίησης (Process Modelling FC) παρέχει ένα περιβάλλον για τη μοντελοποίηση επιχειρηματικών διαδικασιών με γνώμονα το IoT που θα σειριοποιηθούν και θα εκτελεστούν στο Process Execution FC.

Η κύρια λειτουργία του Process Modeling FC είναι να παρέχει τα εργαλεία που είναι απαραίτητα για τη μοντελοποίηση των διαδικασιών χρησιμοποιώντας την τυποποιημένη σημειογραφία, δηλαδή χρησιμοποιώντας νέες έννοιες μοντελοποίησης ειδικά για την αντιμετώπιση των ιδιοσυγκρασιών του οικοσυστήματος IoT.

Το Λειτουργικό Συστατικό Εκτέλεσης Διαδικασίας (Process Execution FC) εκτελεί διεργασίες επίγνωσης IoT που έχουν μοντελοποιηθεί στο Process Modeling FC που περιγράφεται παραπάνω. Αυτή η εκτέλεση επιτυγχάνεται χρησιμοποιώντας τις υπηρεσίες IoT που ενορχηστρώνονται στο επίπεδο οργάνωσης υπηρεσιών.

Το Process Execution FC είναι υπεύθυνο για την ανάπτυξη μοντέλων διεργασίας σε

περιβάλλοντα εκτέλεσης: οι δραστηριότητες μοντέλων διεργασιών με γνώμονα το IoT εφαρμόζονται σε κατάλληλα περιβάλλοντα εκτέλεσης, τα οποία εκτελούν την πραγματική εκτέλεση της διαδικασίας με την εύρεση και την επίκληση κατάλληλων Υπηρεσιών IoT.

Το Process Execution FC ευθυγραμμίζει επίσης τις απαιτήσεις εφαρμογής με τις δυνατότητες υπηρεσίας. Για την εκτέλεση εφαρμογών, οι απαιτήσεις της Υπηρεσίας IoT πρέπει να επιλυθούν πριν από την επίκληση συγκεκριμένων Υπηρεσιών IoT. Για αυτό το βήμα, το Process Execution FC χρησιμοποιεί στοιχεία του Service Organisation FG.

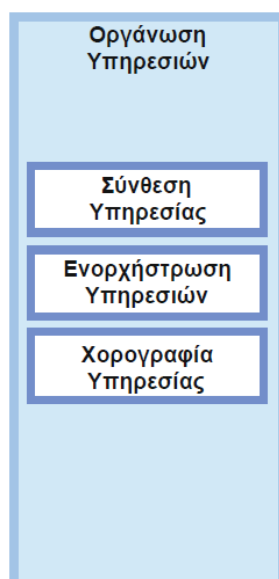
Τέλος, το Process Execution FC μπορεί να εκτελέσει εφαρμογές: μετά την επίλυση των υπηρεσιών IoT, καλούνται οι αντίστοιχες υπηρεσίες. Η επίκληση μιας υπηρεσίας οδηγεί σε ένα προοδευτικό βήμα προς τα εμπρός στην εκτέλεση της διαδικασίας. Έτσι, θα εκτελεστεί η επόμενη κατάλληλη διαδικασία με βάση το αποτέλεσμα μιας επίκλησης υπηρεσίας.

### 3.2.6.3 Οργάνωση υπηρεσιών

Η Λειτουργική Ομάδα Οργάνωσης Υπηρεσιών (Service Organisation FG) (βλ. Σχήμα 3.10) είναι η κεντρική λειτουργική ομάδα που λειτουργεί ως κόμβος επικοινωνίας μεταξύ πολλών άλλων λειτουργικών ομάδων. Δεδομένου ότι η κύρια έννοια της επικοινωνίας στο IoT ARM είναι η έννοια μιας Υπηρεσίας, η Οργάνωση Υπηρεσιών χρησιμοποιείται για τη σύνθεση και ενορχήστρωση Υπηρεσιών διαφορετικών επιπέδων αφαίρεσης.

Το Service Organisation FG αποτελείται από τρία Λειτουργικά Συστατικά:

- Ενορχήστρωση Υπηρεσιών
- Σύνθεση Υπηρεσίας
- Χορογραφία Υπηρεσίας



Σχήμα 3.10 Λειτουργική Ομάδα Οργάνωσης Υπηρεσιών

Το Λειτουργικό Συστατικό Ενορχήστρωσης Υπηρεσιών (Service Orchestration FC)

επιλύει τις υπηρεσίες IoT που είναι κατάλληλες για την κάλυψη αιτημάτων υπηρεσίας που προέρχονται από το Process Execution FC ή από χρήστες.

Η μόνη του λειτουργία είναι η ενορχήστρωση των υπηρεσιών IoT: επίλυση των κατάλληλων υπηρεσιών που είναι ικανές να χειριστούν το αίτημα του χρήστη IoT. Εάν χρειαστεί, θα δημιουργηθούν προσωρινοί πόροι για την αποθήκευση ενδιάμεσων αποτελεσμάτων που τροφοδοτούν τη Σύνθεση Υπηρεσίας ή τη σύνθετη επεξεργασία συμβάντων.

Το Λειτουργικό Συστατικό Σύνθεσης Υπηρεσίας (Service Composition FC) επιλύει υπηρεσίες που αποτελούνται από υπηρεσίες IoT και άλλες υπηρεσίες για τη δημιουργία υπηρεσιών με εκτεταμένη λειτουργικότητα. Το λειτουργικό συστατικό έχει δύο κύριες λειτουργίες:

1. υποστήριξη ευέλικτων συνθέσεων υπηρεσιών και
2. αύξηση της ποιότητας των πληροφοριών.

Για να υποστηρίξει ευέλικτες συνθέσεις υπηρεσιών, το Service Composition FC πρέπει να παρέχει δυναμική ανάλυση σύνθετων υπηρεσιών, αποτελούμενων από άλλες υπηρεσίες. Αυτές οι συνδυασμένες υπηρεσίες επιλέγονται με βάση τη διαθεσιμότητα και τα δικαιώματα πρόσβασης του αιτούντος χρήστη.

Η ποιότητα των πληροφοριών μπορεί να αυξηθεί συνδυάζοντας πληροφορίες από διάφορες πηγές. Για παράδειγμα, μια μέση τιμή - με εγγενώς χαμηλότερη αβεβαιότητα - μπορεί να υπολογιστεί με βάση τις πληροφορίες που έχουν πρόσβαση μέσω πολλών πόρων.

Το Λειτουργικό Συστατικό Χορογραφίας Υπηρεσίας (Service Choreography FC) προσφέρει έναν μεσίτη που χειρίζεται τη Δημοσίευση / Εγγραφή επικοινωνίας μεταξύ υπηρεσιών. Μία υπηρεσία μπορεί να προσφέρει τις δυνατότητές της στο FC και η μεσιτική λειτουργία διασφαλίζει ότι ένας πελάτης που ενδιαφέρεται για την προσφορά θα βρει την υπηρεσία με τις επιθυμητές δυνατότητες.

Επίσης, οι καταναλωτές υπηρεσιών μπορούν να υποβάλουν αιτήματα υπηρεσίας στο Choreography FC, ενώ δεν υπάρχει διαθέσιμη κατάλληλη υπηρεσία τη στιγμή που εκδόθηκε το αίτημα. Ο καταναλωτής υπηρεσιών θα ενημερωθεί μόλις γίνει διαθέσιμη μια υπηρεσία που εκπληρώνει το αίτημα υπηρεσίας που εκδόθηκε προηγουμένως.

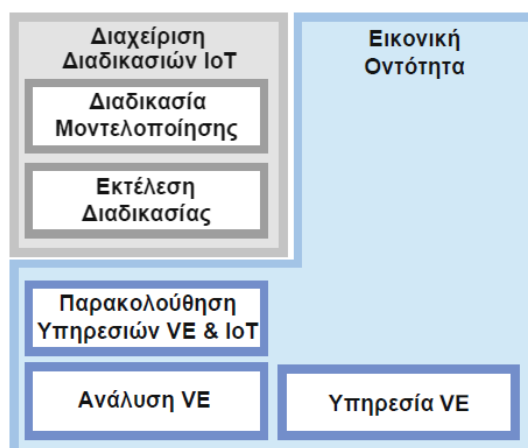
#### 3.2.6.4 Εικονική οντότητα

Η Λειτουργική Ομάδα Εικονικής Οντότητας (Virtual Entity FG) (βλ. Σχήμα 3.11) περιέχει λειτουργίες για αλληλεπίδραση με το σύστημα IoT με βάση τα VEs, καθώς και λειτουργίες για την ανακάλυψη και αναζήτηση υπηρεσιών που μπορούν να παρέχουν πληροφορίες σχετικά με VEs ή που επιτρέπουν την αλληλεπίδραση με VEs. Επιπλέον, περιέχει όλες τις λειτουργίες που απαιτούνται για τη διαχείριση των συσχετίσεων, καθώς και δυναμική εύρεση νέων συσχετίσεων και παρακολούθηση της εγκυρότητάς τους.

Το Virtual Entity FG αποτελείται από τρία Λειτουργικά Συστατικά:

- Ανάλυση VE
- Παρακολούθηση Υπηρεσιών VE & IoT

- Υπηρεσία VE.



Σχήμα 3.11 Λειτουργική Ομάδα Εικονικής Οντότητας

Το Λειτουργικό Συστατικό Ανάλυσης Εικονικής Οντότητας (VE Resolution FC) είναι το λειτουργικό συστατικό που παρέχει τις λειτουργίες στον χρήστη IoT για την ανάκτηση συσχετισμών μεταξύ των υπηρεσιών VE και IoT.

Αυτό περιλαμβάνει την ανακάλυψη νέων και κυρίως δυναμικών συσχετίσεων μεταξύ VE και συναφών υπηρεσιών. Για την ανακάλυψη μπορούν να ληφθούν υπόψη οι προσδιοριστές, η τοποθεσία, η εγγύτητα και άλλες πληροφορίες περιβάλλοντος. Εάν δεν υπάρχει συσχέτιση, ο συσχετισμός μπορεί να δημιουργηθεί.

Ο Χρήστης μπορεί επίσης να εγγραφεί ή να καταργήσει την εγγραφή σε συνεχείς ειδοποιήσεις σχετικά με την ανακάλυψη συσχέτισης που ταιριάζει με μια παρεχόμενη προδιαγραφή του VE ή της Υπηρεσίας. Σε περίπτωση ειδοποίησης, θα καλείται μια συνάρτηση επανάκλησης.

Παρόμοια, ο Χρήστης μπορεί να εγγραφεί ή να καταργήσει την εγγραφή σε ειδοποιήσεις σχετικά με την αναζήτηση συσχετισμού.

Το VE Resolution FC επιτρέπει επίσης την αναζήτηση υπηρεσιών που σχετίζονται με VE, δηλαδή την αναζήτηση υπηρεσιών που εκθέτουν πόρους που σχετίζονται με VE. Τέλος, το VE Resolution FC επιτρέπει τη διαχείριση συσχετίσεων: εισαγωγή, διαγραφή και ενημέρωση συσχετίσεων μεταξύ ενός VE και των υπηρεσιών IoT που σχετίζονται με το VE.

Το Λειτουργικό Συστατικό Παρακολούθησης Υπηρεσιών VE & IoT (VE & IoT Service Monitoring FC) είναι υπεύθυνο για την αυτόματη εύρεση νέων συσχετίσεων, οι οποίες στη συνέχεια εισάγονται στο VE Resolution FC. Νέοι συσχετισμοί μπορούν να προκύψουν με βάση υπάρχουσες συσχετίσεις, Περιγραφές Υπηρεσιών και πληροφορίες σχετικά με VEs.

Οι λειτουργίες του VE & IoT Service Monitoring FC είναι η διεκδίκηση στατικών συσχετίσεων, δηλαδή η δημιουργία μιας νέας στατικής συσχέτισης μεταξύ των VEs και των υπηρεσιών που περιγράφονται από την παρεχόμενη συσχέτιση, η ανακάλυψη δυναμικών συσχετίσεων, δηλαδή η δημιουργία μιας νέας δυναμικής ή ελεγχόμενης συσχέτισης μεταξύ VEs και Υπηρεσιών, η ενημέρωση του συσχετισμού και η διαγραφή του συσχετισμού από το πλαίσιο ανάλυσης VE.

Τέλος, το Λειτουργικό Συστατικό Υπηρεσίας VE (VE Service FC) χειρίζεται υπηρεσίες οντοτήτων. Μια υπηρεσία οντότητας αντιπροσωπεύει ένα συνολικό σημείο πρόσβασης σε μια συγκεκριμένη οντότητα, προσφέροντας μέσα για να μάθει και να χειριστεί την κατάσταση της οντότητας. Οι υπηρεσίες οντοτήτων παρέχουν πρόσβαση σε μια οντότητα μέσω λειτουργιών που επιτρέπουν την ανάγνωση ή / και την ενημέρωση των τιμών των χαρακτηριστικών των οντοτήτων. Ο τύπος πρόσβασης σε ένα συγκεκριμένο χαρακτηριστικό εξαρτάται από τις προδιαγραφές αυτού του χαρακτηριστικού (μόνο για ανάγνωση / εγγραφή μόνο ή και τα δύο).

Μια συγκεκριμένη υπηρεσία VE μπορεί να παρέχει λειτουργικότητα αποθήκευσης ιστορικού VE, να δημοσιεύει ολοκληρωμένες πληροφορίες περιβάλλοντος (πληροφορίες περιβάλλοντος VE - δυναμικές και στατικές), πληροφορίες κατάστασης VE, δυνατότητες VE.

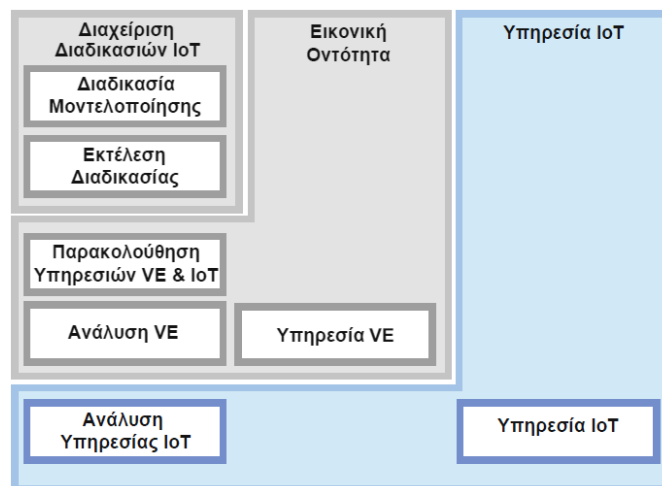
Οι δύο λειτουργίες που καθορίζονται επί του παρόντος για το VE Service FC είναι η ανάγνωση και ο ορισμός μιας τιμής χαρακτηριστικού για την οντότητα.

Δεν απαιτείται να υπάρχει ρητό μητρώο για εικονικές οντότητες, αλλά το VE Resolution FC θα μπορούσε να επεκταθεί για να χρησιμοποιηθεί με αυτόν τον τρόπο. Η σημαντική πτυχή είναι να συμφωνηθεί ο τρόπος εκχώρησης αναγνωριστικών σε εικονικές οντότητες. Για μοντελοποίηση οποιασδήποτε άλλης πλευράς της Εικονικής Οντότητας, μπορεί να χρησιμοποιηθεί μια υπηρεσία Εικονικής Οντότητας που δίνει πρόσβαση σε όλες τις πληροφορίες σχετικά με μια Εικονική Οντότητα. Αυτό μπορεί να είναι τρέχουσες πληροφορίες αισθητήρα, καθώς και ιστορικές πληροφορίες. Οι ιστορικές πληροφορίες συνήθως αποθηκεύονται σε μια βάση δεδομένων, η οποία μπορεί να μοντελοποιηθεί ως πόρος δικτύου.

### 3.2.6.5 Υπηρεσία IoT

Η Λειτουργική Ομάδα Υπηρεσίας IoT (IoT Service FG) (βλ. Σχήμα 3.12) περιέχει υπηρεσίες IoT, καθώς και λειτουργίες για ανακάλυψη, αναζήτηση και ανάλυση ονόματος των Υπηρεσιών IoT. Αποτελείται από δύο Λειτουργικά Συστατικά:

- Υπηρεσία IoT
- Ανάλυση Υπηρεσίας IoT.



Σχήμα 3.12 Λειτουργική Ομάδα Υπηρεσίας IoT

Μια υπηρεσία IoT εκθέτει έναν πόρο ώστε να είναι προσβάσιμος σε άλλα μέρη του συστήματος IoT. Συνήθως, οι υπηρεσίες IoT μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη λήψη πληροφοριών που παρέχονται από έναν πόρο που ανακτάται από μια συσκευή αισθητήρα ή από έναν πόρο αποθήκευσης που συνδέεται μέσω ενός δικτύου. Μια υπηρεσία IoT μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί για την παράδοση πληροφοριών σε έναν πόρο για τον έλεγχο συσκευών ενεργοποίησης ή για τη διαμόρφωση ενός πόρου. Οι πόροι μπορούν να διαμορφωθούν σε μη λειτουργικές πτυχές, όπως ασφάλεια αξιοπιστίας (π.χ. έλεγχος πρόσβασης), ανθεκτικότητα (π.χ. διαθεσιμότητα) και απόδοση (π.χ. επεκτασιμότητα, επικαιρότητα).

Οι υπηρεσίες IoT μπορούν να κληθούν είτε με σύγχρονο τρόπο, απαντώντας σε αιτήματα υπηρεσίας είτε με ασύγχρονο τρόπο, αποστέλλοντας ειδοποιήσεις σύμφωνα με τις συνδρομές που έγιναν προηγουμένως μέσω της υπηρεσίας.

Ένας συγκεκριμένος τύπος υπηρεσίας IoT μπορεί να είναι η αποθήκευση ιστορικού πόρων που παρέχει δυνατότητες αποθήκευσης για τις μετρήσεις που δημιουργούνται από πόρους.

Οι κύριες λειτουργίες του Λειτουργικού Συστατικού Υπηρεσίας IoT (IoT Service FC) είναι:

1. η επιστροφή πληροφοριών που παρέχονται από έναν πόρο με σύγχρονο τρόπο,
2. η αποδοχή πληροφοριών που αποστέλλονται σε έναν πόρο για την αποθήκευση των πληροφοριών ή τη διαμόρφωση του πόρου ή τον έλεγχο μιας συσκευής ενεργοποίησης και
3. η εγγραφή σε πληροφορίες, δηλαδή επιστροφή πληροφοριών που παρέχονται από έναν πόρο με ασύγχρονο τρόπο.

Το Λειτουργικό Συστατικό Ανάλυσης Υπηρεσίας IoT (IoT Service Resolution FC) παρέχει όλες τις λειτουργίες που απαιτούνται από το χρήστη για να βρει και να μπορεί να επικοινωνήσει με τις Υπηρεσίες IoT. Το IoT Service Resolution παρέχει επίσης στις υπηρεσίες τη δυνατότητα να διαχειρίζονται τις περιγραφές των υπηρεσιών τους (συνήθως αποθηκεύονται σε μια βάση δεδομένων ως μία καταχώριση), έτσι ώστε να μπορούν να αναζητηθούν και να ανακαλυφθούν από το χρήστη. Ο χρήστης μπορεί να είναι είτε ένας ανθρώπινος χρήστης είτε ένα στοιχείο λογισμικού.

Οι περιγραφές υπηρεσίας προσδιορίζονται από ένα αναγνωριστικό υπηρεσίας και περιέχουν έναν εντοπιστή υπηρεσίας που επιτρέπει την πρόσβαση στην υπηρεσία. Συνήθως, περιέχουν περαιτέρω πληροφορίες όπως την έξοδο της υπηρεσίας, τον τύπο της υπηρεσίας ή τη γεωγραφική περιοχή για την οποία παρέχεται η υπηρεσία. Το ακριβές περιεχόμενο, η δομή και η αναπαράσταση εξαρτώνται από τις επιλογές σχεδιασμού που λαμβάνονται, οι οποίες παραμένουν ανοιχτές σε επίπεδο Αρχιτεκτονικής αναφοράς.

Οι λειτουργίες που προσφέρονται εν συντομία από το IoT Service Resolution FC είναι:

- Η λειτουργία εντοπισμού βρίσκει την υπηρεσία IoT χωρίς προηγούμενη γνώση, όπως ένα αναγνωριστικό υπηρεσίας. Η λειτουργικότητα

χρησιμοποιείται παρέχοντας μια προδιαγραφή υπηρεσίας ως μέρος ενός ερωτήματος. Αυτό που μπορεί να ερωτηθεί βάσει μιας προδιαγραφής υπηρεσίας εξαρτάται από το τι περιλαμβάνεται στην περιγραφή της υπηρεσίας. Όπως περιγράφεται παραπάνω, αυτό μπορεί να περιλαμβάνει την έξοδο υπηρεσίας, τον τύπο υπηρεσίας και τη γεωγραφική περιοχή για την οποία παρέχεται η υπηρεσία. Η αναπαράσταση της προδιαγραφής της υπηρεσίας θα συνδεθεί επίσης με την περιγραφή της υπηρεσίας, π.χ. Εάν η περιγραφή της υπηρεσίας αντιπροσωπεύεται στο RDF, θα ήταν κατάλληλη μια προδιαγραφή υπηρεσίας βάσει SPARQL.

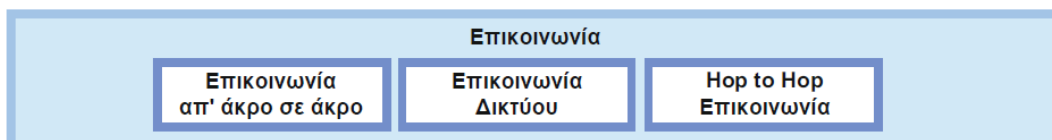
- Η αναζήτηση είναι μια λειτουργία που επιτρέπει στον Χρήστη να έχει πρόσβαση στην περιγραφή της υπηρεσίας έχοντας προηγούμενη γνώση σχετικά με το αναγνωριστικό υπηρεσίας.
- Η λειτουργία ανάλυσης επιλύει τα αναγνωριστικά υπηρεσίας σε εντοπιστές μέσω των οποίων ο Χρήστης μπορεί να επικοινωνήσει με την Υπηρεσία. Ένας εντοπιστής υπηρεσίας συνήθως περιλαμβάνεται επίσης στην περιγραφή της υπηρεσίας. Η λειτουργία ανάλυσης μπορεί να θεωρηθεί ως λειτουργία ευκολίας που μειώνει τον όγκο των πληροφοριών που πρέπει να κοινοποιηθούν, ειδικά εάν η περιγραφή της υπηρεσίας είναι μεγάλη και οι περιεχόμενες πληροφορίες δεν χρειάζονται.
- Άλλες λειτουργίες που παρέχονται από το IoT Service Resolution FC είναι η διαχείριση των περιγραφών υπηρεσίας. Οι υπηρεσίες IoT μπορούν να ενημερώσουν, να εισαγάγουν ή απλώς να διαγράψουν τις περιγραφές υπηρεσίας από το IoT Service Resolution FC. Είναι επίσης πιθανό αυτές οι λειτουργίες να κληθούν από τα λειτουργικά συστατικά του Management FG και όχι από τις ίδιες τις υπηρεσίες IoT.

### 3.2.6.6 Επικοινωνία

Η Λειτουργική Ομάδα Επικοινωνίας (Communication FG) (βλ. Σχήμα 3.13) είναι μια αφαίρεση, που μοντελοποιεί την ποικιλία των συστημάτων αλληλεπίδρασης που προέρχονται από τις πολλές τεχνολογίες που ανήκουν σε συστήματα IoT και παρέχει μια κοινή διεπαφή στο IoT Service FG.

Το Communication FG αποτελείται από τρία Λειτουργικά Συστατικά:

- Hop To Hop Επικοινωνία
- Επικοινωνία Δικτύου
- Επικοινωνία από άκρο σε άκρο



Σχήμα 3.13 Λειτουργική Ομάδα Επικοινωνίας

Το Λειτουργικό Συστατικό Hop To Hop Επικοινωνίας (Hop To Hop Communication FC) παρέχει το πρώτο επίπεδο αφαίρεσης από την τεχνολογία φυσικής επικοινωνίας της συσκευής. Το λειτουργικό συστατικό είναι μια αφαίρεση που επιτρέπει τη



χρήση και τη διαμόρφωση οποιασδήποτε διαφορετικής τεχνολογίας επιπέδου συνδέσμου.

Οι κύριες λειτουργίες του είναι η μετάδοση ενός πλαισίου από το Network Communication FC στο Hop To Hop Communication FC και από μια συσκευή στο Hop To Hop Communication FC. Μπορούν να ρυθμιστούν τα ορίσματα για τη μετάδοση πλαισίου. Παραδείγματα ορισμάτων περιλαμβάνουν: αξιοπιστία, ακεραιότητα, κρυπτογράφηση και έλεγχο πρόσβασης.

Το Hop To Hop Communication FC είναι επίσης υπεύθυνο για τη δρομολόγηση ενός πλαισίου. Αυτή η λειτουργία επιτρέπει τη δρομολόγηση ενός πακέτου μέσα σε ένα δίκτυο πλέγματος, όπως για παράδειγμα 802.15.4 (mesh - under routing). Σημειώνεται ότι αυτή η λειτουργία δεν είναι υποχρεωτική για όλες τις υλοποιήσεις του Hop To Hop Communication FC. Απαιτείται μόνο για τεχνολογίες επιπέδου δικτυωμένης σύνδεσης.

Τέλος, το Hop To Hop Communication FC επιτρέπει τη διαχείριση της ουράς πλαισίων και τον καθορισμό του μεγέθους και των προτεραιοτήτων των ουρών πλαισίου εισόδου και εξόδου. Αυτή η λειτουργία μπορεί να αξιοποιηθεί για την επίτευξη Ποιότητας Υπηρεσίας.

Το Λειτουργικό Συστατικό Επικοινωνίας Δικτύου (Network Communication FC) φροντίζει να επιτρέπει την επικοινωνία μεταξύ δικτύων μέσω Locators (address) και ID Resolution. Το FC περιλαμβάνει δρομολόγηση, η οποία επιτρέπει τη σύνδεση διαφορετικών χώρων διευθύνσεων δικτύου. Επιπλέον, διαφορετικές τεχνολογίες δικτύου μπορούν να συγκλίνουν μέσω μεταφράσεων πρωτοκόλλου δικτύου.

Οι λειτουργίες του Network Communication FC είναι να μεταδίδουν ένα πακέτο από το Hop To Hop Communication FC στο Network Communication FC και από το End to End Communication FC στο Network Communication FC. Τα ορίσματα για τη μετάδοση πακέτων μπορούν να ρυθμιστούν όπως: αξιοπιστία, ακεραιότητα, κρυπτογράφηση, διευθυνσιοδότηση unicast / multicast και έλεγχος πρόσβασης.

Το Network Communication FC επιτρέπει επίσης μετάφραση πρωτοκόλλου δικτύου όπου επιτρέπει τη μετάφραση μεταξύ διαφορετικών πρωτοκόλλων δικτύου. Παραδείγματα θα ήταν η μετάφραση IPv4 σε IPv6 και ID σε IPv4. Σημειώνεται ότι αυτή η λειτουργία είναι απαραίτητη για την εφαρμογή μιας πύλης.

Σε περίπτωση που ένα πακέτο πρέπει να δρομολογηθεί, το Network Communication FC επιτρέπει την εύρεση του επόμενου hop σε ένα δίκτυο. Επιτρέπει επίσης την αντιμετώπιση πολλαπλών διεπαφών δικτύου. Η λειτουργία δεν είναι υποχρεωτική για όλες τις υλοποιήσεις του Network Communication FC. Απαιτείται μόνο σε συσκευές με πολλαπλές διασυνδέσεις δικτύου.

Μια άλλη λειτουργία του Network Communication FC είναι να επιλύσει το locator-to-ID, όπου επιτρέπει τη λήψη ενός εντοπιστή από ένα δεδομένο αναγνωριστικό. Η ανάλυση μπορεί να είναι εσωτερική με βάση έναν πίνακα αναζήτησης ή εξωτερική μέσω ενός πλαισίου ανάλυσης.

Τέλος, το Network Communication FC μπορεί να διαχειριστεί την ουρά πακέτων και να ρυθμίσει το μέγεθος και τις προτεραιότητες των ουρών πακέτων εισόδου και εξόδου. Αυτή η λειτουργία μπορεί να αξιοποιηθεί για την επίτευξη του QoS.

Το Λειτουργικό Συστατικό End to End Επικοινωνίας (End To End Communication FC) φροντίζει για ολόκληρη την αφαίρεση επικοινωνίας από άκρο σε άκρο, που

σημαίνει ότι φροντίζει για αξιόπιστες μεταφορές, διακίνηση, λειτουργίες μετάφρασης, υποστήριξη διακομιστών μεσολάβησης / πύλης και συντονισμού παραμέτρων ρύθμισης όταν η επικοινωνία διασχίζει διαφορετικά περιβάλλοντα δικτύωσης.

Το End to End Communication FC είναι υπεύθυνο για τη μετάδοση ενός μηνύματος από το Network Communication FC στο End to End Communication FC και από το (IoT) Service στο End to End Communication FC. Τα ορίσματα για το μήνυμα μπορούν να ρυθμιστούν, όπως: αξιοπιστία, ακεραιότητα, κρυπτογράφηση, έλεγχος πρόσβασης και πολυπλεξία.

Μια δεύτερη λειτουργία του End to End Communication FC είναι η προσωρινή αποθήκευση και ο διακομιστής μεσολάβησης. Η λειτουργία Cache και Proxy επιτρέπει την προσωρινή αποθήκευση μηνυμάτων στο End to End Communication FC.

Μια άλλη λειτουργία του FC είναι η μετάφραση end-to-end πρωτοκόλλου. Η λειτουργία Translate End to End Protocol επιτρέπει τη μετάφραση μεταξύ διαφορετικών πρωτοκόλλων End to End. Ένα παράδειγμα θα ήταν η μετάφραση HTTP / TCP σε COAP / UDP. Σημειώνεται ότι αυτή η λειτουργία είναι απαραίτητη για την εφαρμογή μιας πύλης.

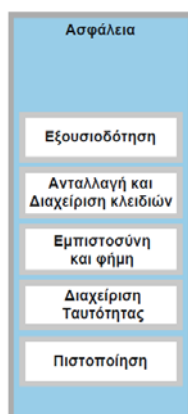
Μια τελευταία λειτουργία του FC είναι να περάσει το πλαίσιο της μετάφρασης πρωτοκόλλου μεταξύ των πυλών. Το πλαίσιο θα μπορούσε να σχετίζεται με τη διευθυνσιοδότηση, συγκεκριμένες μεθόδους για ένα πρωτόκολλο RESTful, υλικό κλειδιών κρυπτογράφησης και διαπιστευτήρια ασφαλείας.

### 3.2.6.7 Ασφάλεια

Η Λειτουργική Ομάδα Ασφαλείας (Security FG) (βλ. Σχήμα 3.14) είναι υπεύθυνη για τη διασφάλιση της ασφάλειας και του απορρήτου των συστημάτων που είναι συμβατά με το IoT-A.

Αποτελείται από πέντε λειτουργικά συστατικά:

- Εξουσιοδότηση
- Ανταλλαγή και διαχείριση κλειδιών
- Εμπιστοσύνη και φήμη
- Διαχείριση ταυτότητας
- Πιστοποίηση



Σχήμα 3.14 Λειτουργική Ομάδα Ασφαλείας

Το Λειτουργικό Συστατικό Εξουσιοδότησης (Authorisation FC) είναι μια διεπαφή για τη διαχείριση πολιτικών και την εκτέλεση αποφάσεων ελέγχου πρόσβασης με βάση τις πολιτικές ελέγχου πρόσβασης. Αυτή η απόφαση ελέγχου πρόσβασης μπορεί να κληθεί όποτε ζητηθεί πρόσβαση σε περιορισμένο πόρο. Για παράδειγμα, αυτή η λειτουργία καλείται μέσα στο IoT Service Resolution FC, για να ελέγξει εάν επιτρέπεται σε έναν χρήστη να πραγματοποιήσει αναζήτηση στον πόρο που ζητήθηκε. Αυτό είναι ένα σημαντικό μέρος των μηχανισμών προστασίας απορρήτου.

Οι δύο προεπιλεγμένες λειτουργίες που προσφέρει το Authorisation FC είναι καταρχάς, να προσδιορίζει εάν μια ενέργεια είναι εξουσιοδοτημένη ή όχι. Η απόφαση λαμβάνεται με βάση τις πληροφορίες που παρέχονται από τον ισχυρισμό, την περιγραφή της υπηρεσίας και τον τύπο ενέργειας. Δεύτερη λειτουργία είναι η διαχείριση πολιτικών, όπως η προσθήκη, η ενημέρωση ή η διαγραφή μιας πολιτικής πρόσβασης.

Το Λειτουργικό Συστατικό Πιστοποίησης (Authentication FC) εμπλέκεται στον έλεγχο ταυτότητας χρήστη και υπηρεσίας. Ελέγχει τα διαπιστευτήρια που παρέχει ένας χρήστης και, εάν ισχύει, επιστρέφει μια δήλωση ως αποτέλεσμα, η οποία απαιτείται για τη χρήση του IoT Service Client. Αφού ελέγξει την ορθότητα των διαπιστευτηρίων που παρέχονται από έναν νεοσύστατο κόμβο, δημιουργεί ασφαλή περιεχόμενα μεταξύ αυτού του κόμβου και διάφορων οντοτήτων στο τοπικό του περιβάλλον.

Οι δύο λειτουργίες που παρέχονται από το Authentication FC είναι:

1. ο έλεγχος ταυτότητας ενός χρήστη βάσει των παρεχόμενων διαπιστευτηρίων και
2. η επαλήθευση εάν μια δήλωση που παρέχεται από έναν χρήστη είναι έγκυρη ή άκυρη.

Το Λειτουργικό Συστατικό Διαχείρισης Ταυτότητας (Identity Management FC) αντιμετωπίζει ερωτήσεις απορρήτου εκδίδοντας και διαχειρίζοντας ψευδώνυμα και πρόσθετες πληροφορίες σε αξιόπιστα ζητήματα, ώστε να μπορούν να λειτουργούν (να χρησιμοποιούν ή να παρέχουν υπηρεσίες) ανώνυμα.

Μόνο μία προεπιλεγμένη λειτουργία αποδίδεται σε αυτό το FC: να δημιουργήσει μια επίσημη ταυτότητα (κύρια ταυτότητα, δευτερεύουσα ταυτότητα, ψευδώνυμο ή ταυτότητα ομάδας) μαζί με τα σχετικά διαπιστευτήρια ασφαλείας για χρήση, από χρήστες και υπηρεσίες, κατά τη διαδικασία ελέγχου ταυτότητας.

Το Λειτουργικό Συστατικό Ανταλλαγής και Διαχείρισης Κλειδιών (Key Exchange and Management (KEM) FC) επιτρέπει την ασφαλή επικοινωνία μεταξύ δύο ή περισσότερων ομότιμων IoT-A που δεν έχουν αρχικές γνώσεις μεταξύ τους ή των οποίων η διαλειτουργικότητα δεν είναι εγγυημένη, εξασφαλίζοντας ακεραιότητα και εμπιστευτικότητα.

Δύο λειτουργίες αποδίδονται σε αυτό το FC:

1. Η διανομή των κλειδιών με ασφαλή τρόπο. Κατόπιν αιτήματος, αυτή η λειτουργία εντοπίζει ένα κοινό πλαίσιο ασφαλείας που υποστηρίζεται από τον κόμβο έκδοσης και έναν απομακρυσμένο στόχο, δημιουργεί ένα κλειδί (ή ζεύγος κλειδιών) σε αυτό το πλαίσιο και στη συνέχεια το (τα) διανέμει με

ασφάλεια. Παρέχονται παράμετροι ασφαλείας, συμπεριλαμβανομένου του τύπου ενεργοποίησης ασφαλών επικοινωνιών.

2. Η καταχώρηση δυνατοτήτων ασφαλείας. Οι κόμβοι και οι πύλες που θέλουν να επωφεληθούν από τη διαμεσολάβηση του ΚΕΜ στη διαδικασία δημιουργίας ασφαλών συνδέσεων μπορούν να κάνουν χρήση της λειτουργίας δυνατοτήτων ασφαλείας του μητρώου. Με αυτόν τον τρόπο το ΚΕΜ καταγράφει τις δυνατότητές τους και στη συνέχεια μπορεί να παρέχει κλειδιά στο σωστό πλαίσιο.

Το Λειτουργικό Συστατικό Αρχιτεκτονικής Εμπιστοσύνης και Φήμης (Trust and Reputation Architecture FC) συλλέγει βαθμολογίες φήμης χρήστη και υπολογίζει τα επίπεδα εμπιστοσύνης υπηρεσιών.

Και πάλι, δύο προεπιλεγμένες λειτουργίες αποδίδονται στο FC:

1. Αίτηση πληροφοριών για τη φήμη. Αυτή η λειτουργία καλείται σε μια δεδομένη απομακρυσμένη οντότητα για να ζητήσει πληροφορίες φήμης για μια άλλη οντότητα. Ως παράμετροι εισόδου, παρέχεται ένα μοναδικό αναγνωριστικό για την απομακρυσμένη οντότητα (θέμα), καθώς και το συγκεκριμένο περιεχόμενο (τι είδους υπηρεσία). Ως αποτέλεσμα παρέχεται ένα πακέτο φήμης.
2. Παροχή πληροφοριών φήμης. Αυτή η λειτουργία καλείται σε μια απομακρυσμένη οντότητα για να παρέχει πληροφορίες φήμης (προτάσεις ή σχόλια) σχετικά με μια άλλη οντότητα. Ως παράμετροι εισόδου, δίδεται ένα μοναδικό αναγνωριστικό για την οντότητα που θα αξιολογηθεί (θέμα), καθώς και το συγκεκριμένο πλαίσιο, η δεδομένη βαθμολογία και μια χρονική σήμανση. Ως αποτέλεσμα, παρέχεται η αντίστοιχη φήμη.

### 3.2.6.8 Διαχείριση

Η Λειτουργική Ομάδα Διαχείρισης (Management FG) (βλ. Σχήμα 3.15) αποτελείται από πέντε Λειτουργικά Συστατικά:

- Διαμόρφωση
- Σφάλμα
- Αναφορά
- Μέλος
- Κατάσταση.



Σχήμα 3.15 Λειτουργική Ομάδα Διαχείρισης

Το Λειτουργικό Συστατικό Διαμόρφωσης (Configuration FC) είναι υπεύθυνο για την αρχικοποίηση της διαμόρφωσης του συστήματος, όπως η συλλογή και αποθήκευση παραμέτρων συστήματος από τις FCs και τις συσκευές. Είναι επίσης υπεύθυνη για την παρακολούθηση αλλαγών διαμόρφωσης και τον προγραμματισμό για μελλοντική επέκταση του συστήματος.

Ως εκ τούτου, οι κύριες λειτουργίες του Configuration FC είναι η ανάκτηση μιας διαμόρφωσης και η ρύθμιση της διαμόρφωσης:

- Η λειτουργία ανάκτησης διαμόρφωσης επιτρέπει την ανάκτηση της διαμόρφωσης ενός συστήματος, είτε από το ιστορικό (τελευταία γνωστή διαμόρφωση) είτε από το σύστημα (τρέχουσα διαμόρφωση, συμπεριλαμβανομένης της ανάκτησης της διαμόρφωσης μιας ή μιας ομάδας συσκευών), επιτρέποντας την παρακολούθηση των αλλαγών διαμόρφωσης. Η λειτουργία μπορεί επίσης να δημιουργήσει ένα αρχείο καταγραφής διαμόρφωσης που περιλαμβάνει περιγραφές συσκευών και FCs. Ένα φίλτρο μπορεί να εφαρμοστεί στο αίτημα.
- Η συνάρτηση ρύθμισης διαμόρφωσης χρησιμοποιείται κυρίως για την αρχικοποίηση ή την αλλαγή της διαμόρφωσης του συστήματος.

Ο στόχος του Λειτουργικού Συστατικού Σφάλματος (Fault FC) είναι η αναγνώριση, απομόνωση, διόρθωση και καταγραφή σφαλμάτων που συμβαίνουν στο σύστημα IoT. Όταν προκύψει σφάλμα, το αντίστοιχο λειτουργικό συστατικό ειδοποιεί το Fault FC. Τέτοιες ενεργοποιήσεις γνωστοποίησης, για παράδειγμα, είναι η συλλογή περισσότερων δεδομένων προκειμένου να προσδιοριστεί η φύση και η σοβαρότητα του προβλήματος. Μια άλλη ενέργεια μπορεί να περιλαμβάνει τη δημιουργία εφεδρικού εξοπλισμού on-line.

Τα αρχεία καταγραφής σφαλμάτων είναι μία είσοδος που χρησιμοποιείται για τη συλλογή στατιστικών σφαλμάτων. Τέτοιες στατιστικές μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τον εντοπισμό εύθραυστων λειτουργικών εξαρτημάτων ή / και συσκευών. Τα δεδομένα απόδοσης παρέχονται από το State FC.

Το Fault FC περιέχει λειτουργίες για το χειρισμό ενός σφάλματος, την παρακολούθηση ενός σφάλματος και την ανάκτηση ενός σφάλματος.

Ο ρόλος της λειτουργίας που χειρίζεται ένα σφάλμα είναι να αντιδράσει στην ανίχνευση σφαλμάτων δημιουργώντας συναγερμούς, καταγραφή σφαλμάτων ή εφαρμογή διορθωτικών συμπεριφορών. Οι παραγόμενοι συναγερμοί μπορούν να μεταδοθούν σε άλλα FC. Αυτή η συνάρτηση μπορεί επίσης να αναλύσει σφάλματα και, εάν ζητηθεί, να ξεκινήσει μια ακολουθία ενεργειών που αντιμετωπίζει το σφάλμα, πιθανώς να διασυνδέεται με την `changeState ()` λειτουργία του State FC. Αυτό συνήθως περιλαμβάνει μηνύματα εντολών που αποστέλλονται σε άλλα FCs. Αυτή η λειτουργία μπορεί επίσης να επαναφέρει το σύστημα σε προηγούμενη κατάσταση καλώντας τη `setConfiguration ()` λειτουργία στο Configuration FC. Μία από τις ενέργειες που μπορεί να συνεπάγεται είναι η επαναφορά του συστήματος σε προηγούμενη διαμόρφωση.

Τα σφάλματα μπορούν επίσης να παρακολουθούνται από το Fault FC. Αυτή η λειτουργία χρησιμοποιείται κυρίως σε λειτουργία συνδρομής όπου παρακολουθεί τα σφάλματα του συστήματος και ειδοποιεί τους συνδρομητές των αντίστοιχων συμβάντων.

Τέλος, το Fault FC παρέχει πρόσβαση στο Ιστορικό σφαλμάτων. Για αυτήν την

πρόσβαση, μπορεί να εφαρμοστεί μια λειτουργία φίλτρου.

Το Λειτουργικό Συστατικό Μέλους (Member FC) είναι υπεύθυνο για τη διαχείριση της ιδιότητας μέλους και των σχετικών πληροφοριών κάθε σχετικής οντότητας (FG, FC, VE, IoT Service, Device, Application, User) σε ένα σύστημα IoT.

Συνήθως διαρθρώνεται γύρω από μια βάση δεδομένων που αποθηκεύει πληροφορίες σχετικά με οντότητες που ανήκουν στο σύστημα, συμπεριλαμβανομένης της ιδιοκτησίας, των δυνατοτήτων, των κανόνων και των δικαιωμάτων τους.

Αυτό το FC συνεργάζεται στενά με τα FCs του Security FG, δηλαδή τα Authorization και Identity Management FCs.

Το Member FC έχει τρεις προεπιλεγμένες λειτουργίες:

1. τη συνεχή παρακολούθηση των μελών,
2. τη λειτουργία ανάκτησης των μελών, που επιτρέπει την ανάκτηση μελών του συστήματος που συμμορφώνονται με ένα δεδομένο φίλτρο και επιτρέπει επίσης την εγγραφή σε ενημερώσεις του πίνακα μελών, λαμβάνοντας ένα συγκεκριμένο φίλτρο (π.χ. να ειδοποιηθεί για όλες τις ενημερώσεις οντοτήτων που ανήκουν σε συγκεκριμένο κάτοχο) και τελικά
3. τη λειτουργία ενημέρωσης μέλους, που επιτρέπει την ενημέρωση μεταδεδομένων μέλους και την εγγραφή ή κατάργηση εγγραφής μεταδεδομένων μέλους στη βάση δεδομένων μελών.

Το Λειτουργικό Συστατικό Αναφοράς (Reporting FC) μπορεί να θεωρηθεί ως επικάλυψη για τα άλλα FC Management. Αναλύει τις πληροφορίες που παρέχονται από αυτά. Ένας από τους πολλούς πιθανούς στόχους αναφοράς είναι να προσδιοριστεί η αποτελεσματικότητα του τρέχοντος συστήματος. Αυτό είναι σημαντικό δεδομένου ότι συλλέγοντας και αναλύοντας δεδομένα απόδοσης, η υγεία του συστήματος μπορεί να παρακολουθηθεί. Η τεκμηρίωση τάσεων επιτρέπει την πρόβλεψη μελλοντικών ζητημάτων. Αυτό το FC μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί για εργασίες χρέωσης.

Υπάρχει μόνο μία προεπιλεγμένη λειτουργία για την FC: ανάκτηση αναφοράς. Αυτή η λειτουργία δημιουργεί αναφορές για το σύστημα. Μπορεί είτε να επιστρέψει μια υπάρχουσα αναφορά από το Ιστορικό Αναφορών, είτε να δημιουργήσει μια νέα μέσω κλήσεων στα άλλα Management FCs.

Το Λειτουργικό Συστατικό Κατάστασης (State FC) παρακολουθεί και προβλέπει την κατάσταση του συστήματος IoT. Για μια γρήγορη διάγνωση του συστήματος, όπως απαιτείται από τη Fault FC, παρέχεται η προηγούμενη, τρέχουσα και προβλεπόμενη (μελλοντική) κατάσταση του συστήματος. Αυτή η λειτουργία μπορεί επίσης να υποστηρίζει τη χρέωση. Η λογική είναι ότι οι Λειτουργίες / Υπηρεσίες όπως η Αναφορά πρέπει να γνωρίζουν την τρέχουσα και τη μελλοντική κατάσταση του συστήματος. Για μια γρήγορη διάγνωση του συστήματος πρέπει επίσης να γνωρίζει την τρέχουσα απόδοσή του.

Αυτό το FC περιλαμβάνει επίσης μια λειτουργία συμπεριφοράς, η οποία αναγκάζει το σύστημα σε μια συγκεκριμένη κατάσταση ή σειρά καταστάσεων. Ένα παράδειγμα για μια ενέργεια για την οποία απαιτείται τέτοια λειτουργία είναι μια παράκαμψη έκτακτης ανάγκης και ο σχετικός τερματισμός διαδικασιών χρόνου

εκτέλεσης σε όλο το σύστημα. Δεδομένου ότι τέτοια λειτουργία μπορεί εύκολα να διαταράξει το σύστημα με απρόβλεπτο τρόπο, αυτό το FC προσφέρει επίσης ελέγχους συνέπειας των εντολών που εκδίδονται από τη λειτουργία `changeState` στο `State FC`.

Οι λειτουργίες του `State FC` είναι να αλλάξουν ή να επιβάλουν μια συγκεκριμένη κατάσταση στο σύστημα. Αυτή η λειτουργία δημιουργεί ακολουθία εντολών για αποστολή σε άλλα FCs. Αυτή η λειτουργία προσφέρει επίσης την ευκαιρία να ελέγξει τη συνοχή των εντολών που παρέχονται σε αυτήν τη λειτουργία, καθώς και να ελέγξει τα προβλέψιμα αποτελέσματα (μέσω της `predictState` λειτουργίας).

Μια δεύτερη λειτουργία είναι η παρακολούθηση της κατάστασης. Αυτή η λειτουργία χρησιμοποιείται κυρίως σε λειτουργία συνδρομής, όπου παρακολουθεί την κατάσταση του συστήματος και ειδοποιεί τους συνδρομητές των σχετικών αλλαγών στην κατάσταση.

Άλλες λειτουργίες του FC είναι η πρόβλεψη της κατάστασης για ένα δεδομένο χρονικό διάστημα, η ανάκτηση της κατάστασης του συστήματος μέσω της πρόσβασης στο ιστορικό κατάστασης και η ενημέρωση της κατάστασης αλλάζοντας ή δημιουργώντας μια καταχώριση κατάστασης.

### 3.3 Παραδείγματα αρχιτεκτονικών

#### 3.3.1 Εφαρμογή σε αλυσίδα ξενοδοχείων

##### 3.3.1.1 Ανάλυση απαιτήσεων

Τα τελευταία χρόνια, οι διαπεριφερειακές βιομηχανίες ξενοδοχειακών αλυσίδων αναπτύσσονται ραγδαία και προσελκύουν όλο και περισσότερους επισκέπτες λόγω των πλεονεκτημάτων τους, όπως η προσιτή τιμή, η σωστή θέση, οι λογικές υπηρεσίες, κ.λπ. Προκειμένου να γίνει τυποποίηση διαχείρισης και τυποποίηση υπηρεσιών, η αλυσίδα ξενοδοχείων πρέπει να εφαρμόσει νέα τεχνολογία για τη βελτίωση του περιβάλλοντος διαβίωσης των επισκεπτών. Αυτή η ενότητα είναι αφιερωμένη στην εφαρμογή IoT σε διαπεριφερειακή αλυσίδα ξενοδοχείων για τη βελτίωση της άνεσης των επισκεπτών.

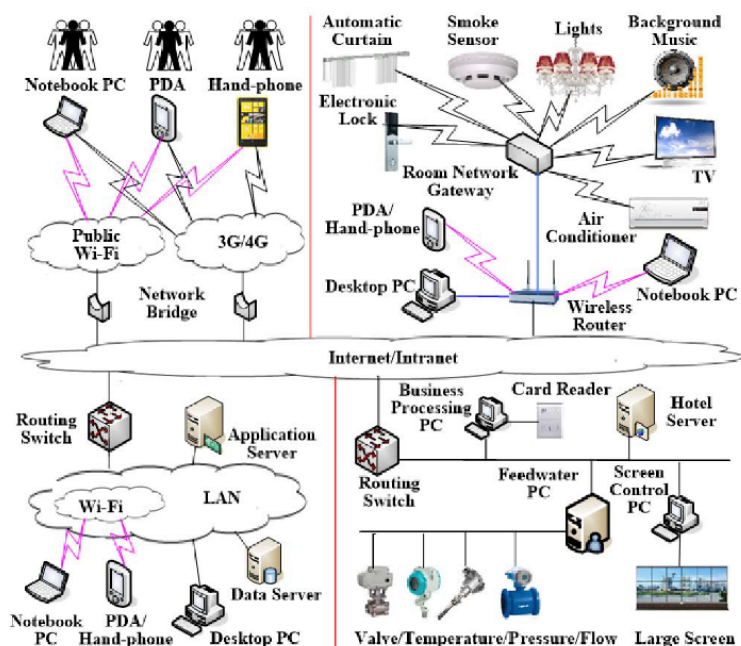
1. Κάθε δωμάτιο θα είναι εξοπλισμένο με επιτραπέζιο υπολογιστή και περιβάλλον Wi-Fi για την παροχή στους επισκέπτες υπηρεσίας πρόσβασης στο Διαδίκτυο. Τα τερματικά κινητής τηλεφωνίας (PDA, κινητό τηλέφωνο κ.λπ.) ενδέχεται να συνδέονται στο Διαδίκτυο μέσω ασύρματης λειτουργίας πρόσβασης Wi-Fi. Ο έλεγχος της πόρτας και ο συναγερμός πυρκαγιάς πρέπει να εφαρμοστούν χρησιμοποιώντας την τεχνολογία IoT, καθώς επίσης και η αίσθηση και ο έλεγχος των συσκευών δωματίου, όπως φωτισμός, κουρτίνες, τηλεόραση, κλιματιστικό, μουσική υπόκρουση κ.ο.κ.
2. Η παροχή ζεστού νερού πρέπει να ελέγχεται αυτόματα. Η θερμοκρασία του νερού, η πίεση του νερού και η ροή του νερού πρέπει να ρυθμίζονται προσαρμοστικά.
3. Η τεχνολογία πληροφοριών μπορεί να εφαρμοστεί για να βοηθήσει τις κρατήσεις, τα check-in, τα check-out και άλλες υπηρεσίες. Ο έλεγχος

εισόδου της αίθουσας και η διαχείριση ηλεκτρονικών οθονών μπορεί να πραγματοποιηθεί με την τεχνολογία IoT, επίσης.

4. Η έδρα της αλυσίδας ξενοδοχείων μπορεί να διαχειρίζεται και να επιβλέπει τα καταστήματα ξενοδοχείων που διανέμονται σε όλη τη χώρα ή τον κόσμο σε πραγματικό χρόνο. Και η έδρα είναι επίσης υπεύθυνη για τη συνολική λειτουργία και το μάρκετινγκ.
5. Όλοι οι επισκέπτες μπορούν να έχουν πρόσβαση στο Διαδίκτυο με τη βοήθεια επιτραπέζιου υπολογιστή, φορητών υπολογιστών, PDA, κινητών τηλεφώνων και άλλων τερματικών συσκευών για κράτηση δωματίου. Ορισμένες ειδικές υπηρεσίες που βασίζονται στην τοποθεσία ενδέχεται να παρέχονται για επισκέπτες στο τηλέφωνο. Οποιοσδήποτε επισκέπτης με early check-in μπορεί να ελέγξει εξ αποστάσεως τον εξοπλισμό δωματίου (π.χ. ανοιχτό κλιματιστικό) μέσω δικτύου ανά πάσα στιγμή και οπουδήποτε.

### 3.3.1.2 Σχεδιασμός διασύνδεσης υλικού

Λαμβάνοντας υπόψη τις πραγματικές απαιτήσεις για διαπεριφερειακή αλυσίδα ξενοδοχείων, το πλαίσιο διαμόρφωσης υλικού του σχήματος εφαρμογής IoT φαίνεται στο Σχήμα 3.16.



Σχήμα 3.16 Smart Hotel

1. Δωμάτιο επισκεπτών: Η διαμόρφωση υλικού του δωματίου εμφανίζεται επάνω δεξιά στο Σχήμα 3.16. Ο ασύρματος δρομολογητής παρέχει περιβάλλον πρόσβασης Wi-Fi για τους επισκέπτες και συνδέει επίσης επιτραπέζιο υπολογιστή και πύλη δωματίου μέσω ενσύρματου δικτύου. Η πύλη δωματίου είναι κατασκευασμένη κατά παραγγελία, με βάση την ενσωματωμένη τεχνολογία και μπορεί να αντιληφθεί και να ρυθμίσει τους εξοπλισμούς και τις εγκαταστάσεις δωματίου που βασίζονται στην



τεχνολογία ασύρματων επικοινωνιών Zigbee. Οι αντιληπτικές πληροφορίες αποστέλλονται στον διακομιστή διαχείρισης του ξενοδοχείου για επεξεργασία και αποθήκευση μέσω της πύλης δωματίου. Οι πληροφορίες ελέγχου ενδέχεται να προέρχονται από το διακομιστή διαχείρισης του ξενοδοχείου (π.χ. ρύθμιση θερμοκρασίας δωματίου στους 24°C). Φυσικά, οι επισκέπτες μπορούν επίσης να ελέγχουν τον εξοπλισμό και τις εγκαταστάσεις του δωματίου με τηλεχειριστήριο χειρός ή απομακρυσμένο έλεγχο μέσω Διαδικτύου.

2. Υποκατάστημα αλυσίδας ξενοδοχείων: Η διαμόρφωση υλικού ενός υποκαταστήματος φαίνεται κάτω δεξιά στο Σχήμα 3.16. Το υποκατάστημα είναι εξοπλισμένο με υπολογιστή επεξεργασίας επιχειρήσεων, υπολογιστή βιομηχανικού ελέγχου, υπολογιστή ελέγχου μεγάλης οθόνης και διακομιστή διαχείρισης. Οι διαδικασίες επεξεργασίας επιχειρήσεων ενδέχεται να περιορίζονται από έλεγχο ταυτότητας με κωδικό πρόσβασης ή ταυτότητα. Το σύστημα ελέγχου ζεστού νερού κατασκευάζεται με βάση το διαύλο CAN. Ο υπολογιστής βιομηχανικού ελέγχου μπορεί να πραγματοποιήσει ρύθμιση της θέρμανσης ή της πίεσης σύμφωνα με την πραγματική ανάγκη ανιχνεύοντας τη θερμοκρασία του νερού, την πίεση του νερού και τη ροή του νερού. Ο έλεγχος παρουσίασης της μεγάλης οθόνης γίνεται από έναν απλό υπολογιστή και οι χειριστές μπορούν επίσης να διαχειρίζονται το σύστημα μεγάλης οθόνης μέσω Διαδικτύου.
3. Η έδρα: Η διαμόρφωση υλικού της έδρας εμφανίζεται κάτω αριστερά στο Σχήμα 3.16. Το προσωπικό των κεντρικών γραφείων μπορεί να έχει πρόσβαση στο Διαδίκτυο μέσω LAN ή Wi-Fi για να πραγματοποιεί την παρακολούθηση και τη διαχείριση όλων των υποκαταστημάτων της αλυσίδας ξενοδοχείων. Όλα τα δεδομένα της επιχείρησης αποθηκεύονται στο διακομιστή βάσης δεδομένων. Η έδρα μπορεί να κάνει μια ποικιλία δραστηριοτήτων δικτυακού μάρκετινγκ και προώθησης ανάλογα με τις ανάγκες λειτουργίας. Το λογισμικό εφαρμογής αναπτύσσεται στον διακομιστή εφαρμογών.
4. Επισκέπτης ξενοδοχείου: Η διαμόρφωση υλικού που μπορεί να χρησιμοποιηθεί από τους επισκέπτες του ξενοδοχείου φαίνεται πάνω αριστερά στο Σχήμα 3.16. Ο καθένας μπορεί να έχει πρόσβαση στον ιστότοπο της έδρας της αλυσίδας ξενοδοχείων για να αποκτήσει υπηρεσία κράτησης δωματίου χρησιμοποιώντας κινητά τερματικά ή τερματικά επιτραπέζιου υπολογιστή. Το δίκτυο πρόσβασης στο Διαδίκτυο μπορεί να είναι LAN, δίκτυο κινητής τηλεφωνίας 3G / 4G / 5G ή δημόσιο Wi-Fi. Μέσω της περιήγησης στον ιστότοπο του υποκαταστήματος, ο επισκέπτης του ξενοδοχείου μπορεί να κάνει χρήση ορισμένων υπηρεσιών (π.χ. απομακρυσμένο έλεγχο του εξοπλισμού και των εγκαταστάσεων του).

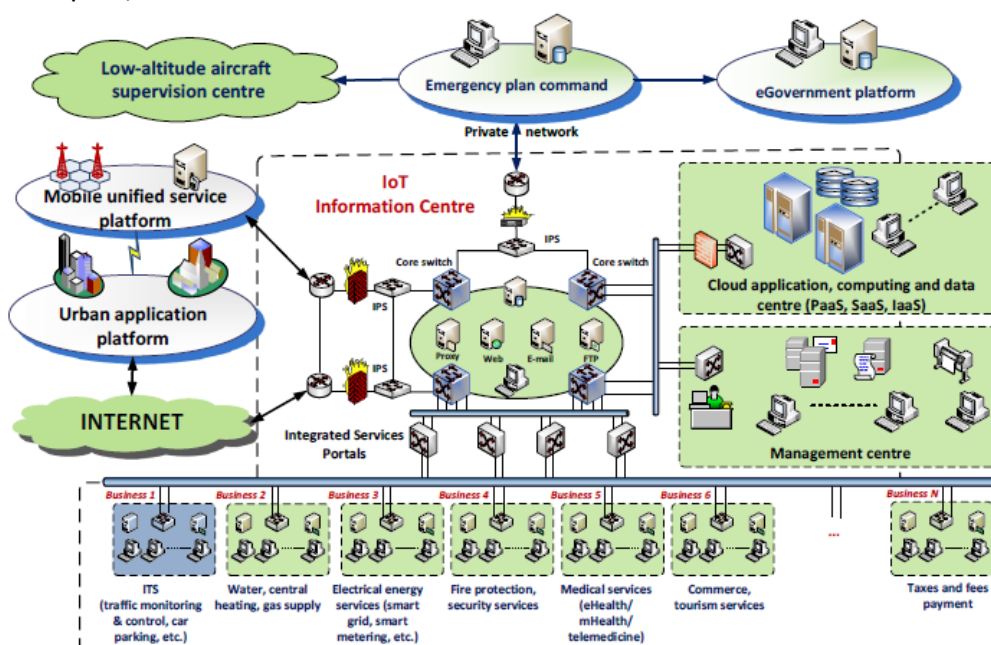
### 3.3.2 Έξυπνο παρκάρισμα

Τα ITS (Intelligent Transport Systems) και άλλα συστήματα, όπως συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας, συστήματα παροχής νερού, θέρμανσης και φυσικού αερίου, συστήματα πυρασφάλειας και ασφαλείας, συστήματα eHealth / mHealth κ.λπ.,

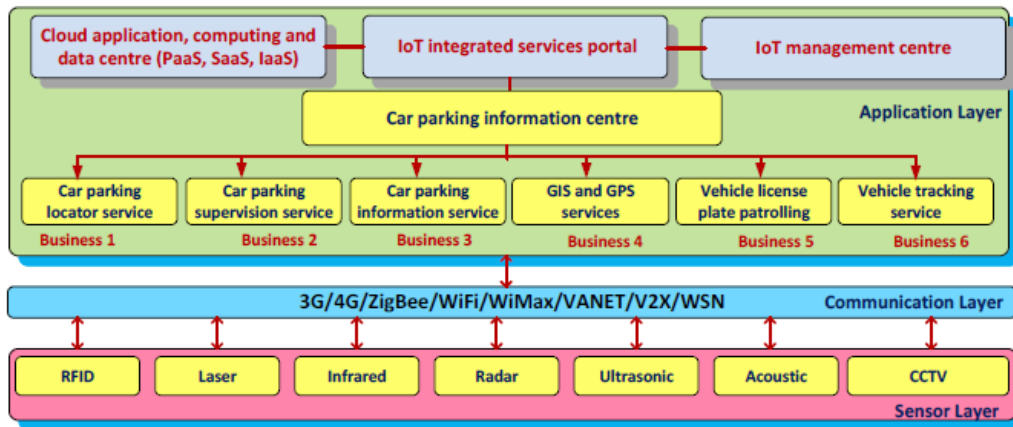
παρέχουν έξυπνες υπηρεσίες IoT για να κάνουν την πόλη εξυπνότερη. Το ITS εντοπίζεται στο επιχειρηματικό επίπεδο του IoT, επικοινωνεί με το cloud-based κέντρο πληροφοριών της έξυπνης πόλης και παρέχει «καλύτερες» υπηρεσίες που σχετίζονται με τις μεταφορές στους χρήστες, όπως παρακολούθηση και έλεγχος κυκλοφορίας, σχεδιασμός διαδρομών, υπηρεσία στάθμευσης αυτοκινήτων κ.λπ. Το Σχήμα 3.17 απεικονίζει μια υψηλού επιπέδου προβολή μιας κεντρικής πλατφόρμας IoT, η οποία θα μπορούσε να χρησιμεύσει ως γενικό αρχιτεκτονικό θεμέλιο για την ίδρυση, τη λειτουργία, τη διεύθυνση και τη διαχείριση μιας «έξυπνης πόλης». Αυτός ο γενικός αρχιτεκτονικός σχεδιασμός ανώτερου επιπέδου μπορεί να ενοποιήσει την ανάπτυξη επιχειρηματικών εφαρμογών ως μια αποτελεσματική και οικονομική διαδικασία. Για παράδειγμα, εάν ένας πάροχος υπηρεσιών ITS θέλει να αναπτύξει μια υπηρεσία στάθμευσης αυτοκινήτων σε μια κοινόχρηστη υποδομή cloud μιας έξυπνης πόλης, θα πρέπει να επικεντρωθεί μόνο στο μοντέλο λειτουργίας για να υλοποιήσει την ευφυΐα του χώρου στάθμευσης αυτοκινήτων.

Προτείνεται ένα έξυπνο σύστημα στάθμευσης αυτοκινήτων για ενσωμάτωση σε μια αρχιτεκτονική IoT έξυπνης πόλης, η οποία αποτελείται από τρία στρώματα. Ένα στρώμα αισθητήρων, ένα στρώμα επικοινωνίας και ένα στρώμα εφαρμογής (Σχήμα 3.18).

Στο επίπεδο εφαρμογής, ένα κέντρο πληροφοριών παρέχει cloud-based υπηρεσίες, δηλαδή, Πλατφόρμα ως υπηρεσία (PaaS), Λογισμικό ως υπηρεσία (SaaS) και Υποδομή ως υπηρεσία (IaaS), για την κατανομή υπολογιστικών/αποθηκευτικών πόρων για διαφορετικές υπηρεσίες στάθμευσης αυτοκινήτων. Ένα κέντρο διαχείρισης IoT διευθύνει την έξυπνη πόλη μέσω μιας ολοκληρωμένης πύλης υπηρεσιών IoT. Στο κάτω μέρος, ορισμένες επιχειρηματικές υπηρεσίες διερευνούν μια κοινή διεπαφή στο στρώμα επικοινωνίας. Αυτές περιλαμβάνουν εντοπισμό στάθμευσης αυτοκινήτων, υπηρεσίες εποπτείας και πληροφόρησης, υπηρεσίες GIS / GPS, περιπολία πινακίδων κυκλοφορίας, υπηρεσίες παρακολούθησης αυτοκινήτων, κ.λπ.



Σχήμα 3.17 Προβολή κεντρικής πλατφόρμας IoT



Σχήμα 3.18 Αρχιτεκτονική IoT Smart Parking

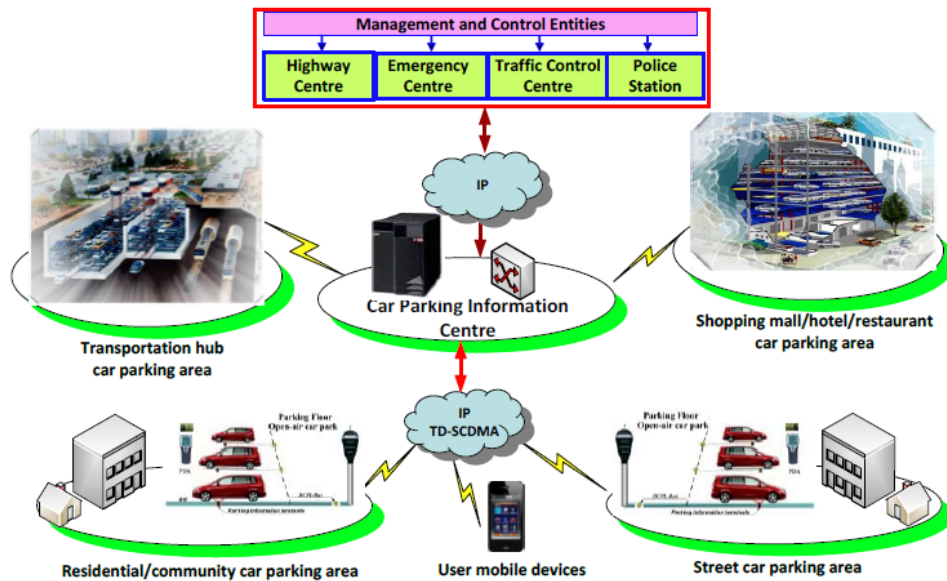
Στο στρώμα επικοινωνίας, διάφορες ασύρματες τεχνολογίες παρέχουν σύνδεση μεταξύ του στρώματος εφαρμογής και του στρώματος αισθητήρων, με βάση το πρότυπο επικοινωνίας ABC&S (Always Best Connected and best Served).

Θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν διάφορες τεχνολογίες ανίχνευσης στο στρώμα αισθητήρων για ενσωματωμένες λύσεις στάθμευσης, όπως η αναγνώριση ραδιοσυχνότητας (RFID) για έλεγχο πρόσβασης στάθμευσης αυτοκινήτων, λέιζερ, παθητική υπέρυθρη ακτινοβολία, ραντάρ μικροκυμάτων, υπερήχων, παθητικοί αισθητήρες ακουστικής συστοιχίας ή κλειστό κύκλωμα τηλεόρασης (CCTV) με επεξεργασία εικόνας βίντεο για την ανίχνευση της κατάστασης των χώρων στάθμευσης αυτοκινήτων, πινακίδες αυτοκινήτων με εγκατεστημένη μονάδα επικοινωνίας 3G / 4G για παρακολούθηση και ανίχνευση αυτοκινήτων, κ.λπ.

Για να μπορέσει το σύστημα στάθμευσης αυτοκινήτων να λειτουργήσει ως λειτουργική πλατφόρμα σε μια έξυπνη πόλη, πρέπει να διακριθούν διαφορετικοί χώροι στάθμευσης αυτοκινήτων παρέχοντας «καλύτερες» θέσεις στάθμευσης αυτοκινήτων εκτελώντας διαφορετικούς επιχειρηματικούς ρόλους και εφαρμογές. Με βάση τις ιδιότητές τους, οι χώροι στάθμευσης αυτοκινήτων μπορούν να χωριστούν σε τέσσερις κύριες κατηγορίες (Σχήμα 3.19):

1. Περιοχή κόμβου μεταφοράς
2. Κατοικημένη / κοινοτική περιοχή
3. Περιοχή εδάφους / δρόμου
4. Περιοχή εμπορικού κέντρου / ξενοδοχείου / εστιατορίου.

Οι σχετικοί φορείς διαχείρισης και ελέγχου, όπως κέντρο εθνικής οδού, κέντρο έκτακτης ανάγκης, κέντρο ελέγχου κυκλοφορίας και αστυνομία μπορούν να έχουν πρόσβαση στις πληροφορίες που διαχειρίζεται το κέντρο πληροφοριών στάθμευσης αυτοκινήτων με υψηλή εξουσία. Οι αισθητήρες που αναπτύσσονται στον χώρο στάθμευσης αυτοκινήτων αποστέλλουν περιοδικά ενημερωμένες πληροφορίες σχετικά με την πληρότητα των χώρων στάθμευσης αυτοκινήτων στους μετρητές στάθμευσης αυτοκινήτων, οι οποίοι ωθούν αυτά τα δεδομένα στο κέντρο πληροφοριών.



Σχήμα 3.19 Κατηγορίες χώρων στάθμευσης αυτοκινήτων

Οι χρήστες μπορούν να αλληλεπιδράσουν με το σύστημα εγκαθιστώντας την αντίστοιχη εφαρμογή στάθμευσης αυτοκινήτων στις κινητές τους συσκευές. Με τη διευκόλυνση ενός προσωπικού βοηθού αντιπροσώπου, κάθε χρήστης μπορεί να δημιουργήσει ένα προσωπικό προφίλ που θα χρησιμοποιηθεί από την εφαρμογή για την εύρεση, την κατανομή, την κράτηση και την πληρωμή του «καλύτερου» χώρου στάθμευσης σε κάθε συγκεκριμένο σενάριο. Αποθηκευμένο στη memory-based βάση δεδομένων No-SQL, το προφίλ χρήστη θα ενημερώνεται δυναμικά ώστε να αντικατοπτρίζει τις αλλαγές στο περιβάλλον και τη συμπεριφορά του χρήστη, οι οποίες αναλύονται από το σύστημα. Με αποτελεσματικούς αλγορίθμους / κανόνες κατανομής χώρων στάθμευσης αυτοκινήτων, το σύστημα είναι πάντα σε θέση να παρέχει στον κινητό χρήστη τον «καλύτερο» διαθέσιμο χώρο στάθμευσης αυτοκινήτων ακολουθώντας το πρότυπο ABC&S.

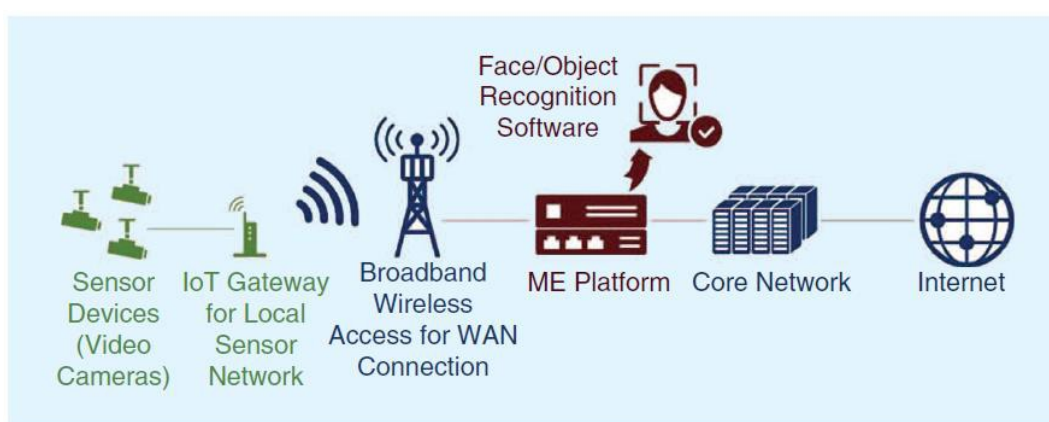
### 3.3.3 Παραδείγματα υπηρεσιών Internet of things σε περιβάλλον Mobile Edge Computing

Ένας κόμβος MEC, και ειδικά η μονάδα ME host του κόμβου, αποτελεί ένα προνομιούχο σημείο για τη λειτουργία μιας υπηρεσίας ή εφαρμογής που είναι ευαίσθητη ως προς το χρόνο, με δεδομένη την εγγύτητα του κόμβου MEC και του τελικού χρήστη της υπηρεσίας. Το συγκεκριμένο χαρακτηριστικό αναμένεται να το εκμεταλλευτούν πλήρως υπηρεσίες IoT, καθώς σύμφωνα με προβλέψεις, το μεγαλύτερο ποσοστό των δεδομένων από υπηρεσίες IoT, θα συλλέγεται, αποθηκεύεται και επεξεργάζεται σε κόμβους Mobile Edge Computing, δηλαδή στο άκρο του δικτύου και πλησιέστερα στον τελικό χρήστη από ότι γίνεται τώρα. Όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως, ένα ME σύστημα θα δώσει τη δυνατότητα στις IoT εφαρμογές να εγκατασταθούν στα σημεία πρόσβασης των παρόχων τηλεπικοινωνιακών δικτύων, δηλαδή στους σταθμούς βάσης. Η εγκατάσταση της εφαρμογής κοντά στο σταθμό βάσης, δίνει τη δυνατότητα να αξιοποιηθεί το δίκτυο

κινητών τηλεπικοινωνιών με μειωμένο χρόνο απόκρισης δικτύου και υπηρεσίας latency. Στη συνέχεια παρουσιάζονται εφαρμογές IoT με χρήση τεχνολογίας MEC, όπως έχουν παρουσιαστεί και από τον οργανισμό ETSI.

### 3.3.3.1 Σενάριο χρήσης MEC σε εγκατάσταση IoT για παρακολούθηση και ασφάλεια

Το παράδειγμα της χρήσης εγκατάστασης MEC για υπηρεσίες IoT παρουσιάζει ενδιαφέρον στην περίπτωση όπου απαιτείται έντονη υπολογιστική ισχύς, στη συγκεκριμένη περίπτωση με χρήση εικόνας, δηλαδή μεταφορά εικόνας βίντεο και ανάλυση της εικόνας για την αναγνώριση αντικειμένων και προτύπων. Το συγκεκριμένο παράδειγμα απεικονίζεται και στο Σχήμα 3.20.



Σχήμα 3.20 Παρακολούθηση και επεξεργασία βίντεο με χρήση MEC κόμβου

Στη συγκεκριμένη περίπτωση, ένα δίκτυο από IoT συσκευές, για παράδειγμα οι κάμερες καταγραφής εικόνας βίντεο συνδέονται στο ευζωνικό τηλεπικοινωνιακό δίκτυο (LTE ή κάποιο άλλο δίκτυο), μέσω μιας θύρας IoT gateway. Η ροή της εικόνας του βίντεο αποστέλλεται στο περιβάλλον ME host που λειτουργεί η εφαρμογή ME Application του IoT, που έχει τη δυνατότητα να επεξεργάζεται εικόνα με σκοπό την αναγνώριση προτύπων. Η συγκεκριμένη εφαρμογή εκτελεί τις απαραίτητες διεργασίες επεξεργασίας και όταν εντοπίσει κάποια ανωμαλία ενημερώνει κάποιο κατάλληλο κέντρο στο Διαδίκτυο. Το συγκεκριμένο κέντρο μπορεί να είναι είτε φυσικό είτε ψηφιακό, αλλά η ενημέρωση αποστέλλεται πάντα προς κάποια ψηφιακή εφαρμογή που λειτουργεί στο κέντρο αυτό. Η συγκεκριμένη εφαρμογή αποτρέπει τη δημιουργία κέντρων παρακολούθησης υψηλού κόστους και ταυτόχρονα αποφεύγει την υπερφόρτωση του δικτύου κορμού ενός τηλεπικοινωνιακού παρόχου από τη συνεχή μεταφορά βίντεο εικόνας.

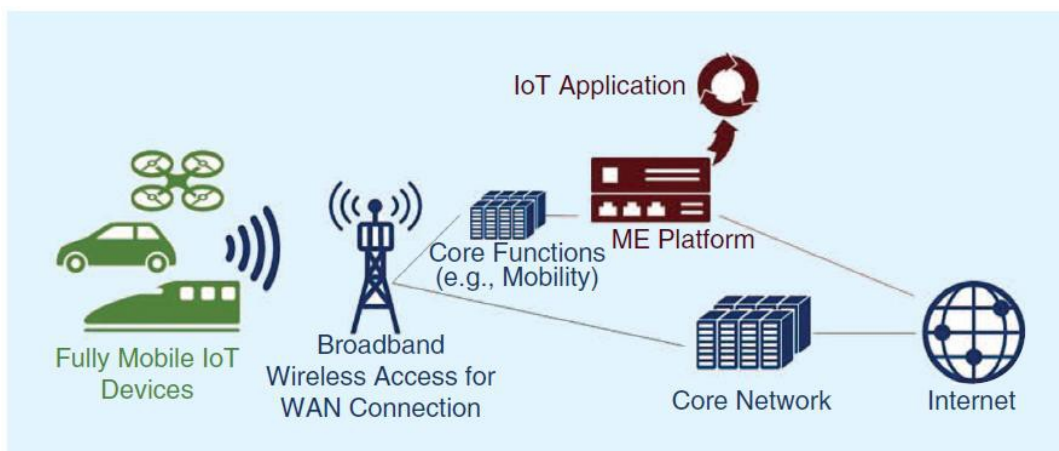
### 3.3.3.2 Σενάριο χρήσης MEC σε εγκατάσταση IoT για αποφόρτιση των δυνατοτήτων των IoT συσκευών

Αντίστοιχα με το προηγούμενο παράδειγμα, το συγκεκριμένο σενάριο αποτελεί μια



εφαρμογή που δεν απαιτεί τη δυνατότητα για κινητικότητα καθώς οι κόμβοι είναι στατικοί. Παραδείγματα είναι έξυπνοι μετρητές για την παρακολούθηση της κατανάλωσης νερού ή ηλεκτρικής ενέργειας, αισθητήρες για έξυπνα σπίτια και βιομηχανικό αυτοματισμό και γενικά οποιαδήποτε έξυπνη συσκευή είναι εγκατεστημένη σε σταθερό σημείο ακόμα και αν χρησιμοποιεί κάποια ασύρματη ζεύξη για να επικοινωνεί με το υπόλοιπο δίκτυο. Με δεδομένο ότι συσκευές τέτοιου τύπου επιτελούν περιορισμένες λειτουργίες, η μονάδα επεξεργασίας δεδομένων λειτουργεί στον κόμβο MEC ως ME application. Με χρήση των εργαλείων που παρέχονται από την πλατφόρμα ME platform, τέτοιες εφαρμογές μπορούν να διαχειρίζονται πολύ ευκολότερα σε σχέση με τη λειτουργία των εφαρμογών στις απομακρυσμένες συσκευές, που πολλές φορές μπορεί να απαιτούν και φυσική παρουσία για την αναβάθμιση και τεχνική συντήρησή τους. Η μονάδα MEC, όπως έχει αναφερθεί και προηγουμένως, μπορεί να βρίσκεται στο σταθμό βάσης, ή σε άλλο σημείο του ραδιοδικτύου Radio Access Network, RAN. Στη συγκεκριμένη περίπτωση, πρέπει να δίνεται η δυνατότητα στον κόμβο MEC, να μπορεί να απομονώνει κίνηση και να τη μεταφέρει στην εφαρμογή ME application, χωρίς να επηρεάζει την ομαλή λειτουργία της κίνησης δεδομένων που πραγματοποιούν άλλοι χρήστες ή εφαρμογές.

### 3.3.3.3 Σενάριο χρήσης MEC για συνδεδεμένα αυτοκίνητα και κινούμενες συσκευές IoT



Σχήμα 3.21 Χρήση MEC για συνδεδεμένα αυτοκίνητα και κινούμενες συσκευές

Σε αντίθεση με τα προηγούμενα δυο σενάρια υπηρεσιών που είχαν στατικό χαρακτήρα, υπηρεσίες IoT ενδεχομένως να απαιτείται να τους παρέχεται η δυνατότητα να συνδέονται στο δίκτυο κινητών τηλεπικοινωνιών καθώς κινούνται στο χώρο, και συνεπώς, ενώ καλύπτονται από διαφορετικούς σταθμούς βάσης. Τέτοιες εφαρμογές μπορεί να είναι ιπτάμενα αντικείμενα drones, οχήματα που κινούνται σε δρόμους, τρένα και άλλα. Στην περίπτωση αυτή, η αρχιτεκτονική που παρουσιάστηκε προηγουμένως για τους στατικούς κόμβους, παρουσιάζει προβλήματα στην επικοινωνία των IoT συσκευών με τα δίκτυα κινητών τηλεπικοινωνιών. Ο τρόπος που πραγματοποιείται η διαχείριση των κινούμενων

κόμβων, δηλαδή μέσω των μονάδων του δικτύου κορμού ενός τηλεπικοινωνιακού παρόχου, δεν μπορεί να καλύψει τις ανάγκες για εφαρμογές που λειτουργούν στα άκρα του δικτύου. Η υποστήριξη της κινητικότητας των συσκευών με τη χρήση πλατφόρμας ME platform θα επιφέρει αλλαγές στις αρχιτεκτονικές του δικτύου, που με βάση την υπάρχουσα αρχιτεκτονική δικτύου δεν μπορούν να υποστηριχθούν. Το συγκεκριμένο ζήτημα είναι ανοιχτό στην ερευνητική κοινότητα και στα ερευνητικά κέντρα ιδιωτικών εταιριών, που προσπαθούν να μεταφέρουν λειτουργίες του δικτύου σε εικονικές υποδομές στα άκρα του δικτύου. Η γενική κατεύθυνση που υπάρχει είναι να μεταφερθούν λειτουργίες του δικτύου κορμού, όπως η μονάδα Evolved Packet Core EPC, σε εικονικές υποδομές στο άκρο του δικτύου και πλησιέστερα στον τελικό χρήστη, για να μπορούν να υποστηριχθούν IoT συστήματα με χρήση υπολογιστικού περιβάλλοντος Mobile Edge Computing. Στη συγκεκριμένη περίπτωση, το περιβάλλον Mobile Edge Computing θα διασυνδέει το δίκτυο κινητών τηλεπικοινωνιών με τις μονάδες που χειρίζονται τα πακέτα δεδομένων του δικτύου, όπως απεικονίζεται στο Σχήμα 3.21. Η ανάπτυξη του συγκεκριμένου τομέα και η ανάγκη που παρατηρείται για εικονικές υλοποιήσεις στα άκρα του δικτύου οδηγεί στη μεταφορά των λειτουργιών ενός δικτύου σε υποδομές Network Function Virtualization, NFV.





## Κεφάλαιο 4

### Το IoT στη γεωργία

Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζεται η εφαρμογή ενός συστήματος IoT στη γεωργία. Παρουσιάζονται η γενική αρχιτεκτονική του συστήματος, λεπτομέρειες των επιμέρους τμημάτων της, αισθητήρες που χρησιμοποιούνται στη γεωργία, καθώς και δυνατές τροποποιήσεις ή επεκτάσεις του συστήματος αυτού. Τέλος, γίνεται μια διαστασιολόγηση των αισθητήρων.

Η πρόσφατη πρόοδος του Διαδικτύου των Πραγμάτων (IoT) στη γεωργία ακριβείας επιτρέπει να βελτιωθεί η συνολική διαχείριση της γεωργίας. Το IoT είναι ιδανικό για γεωργία ακριβείας λόγω του εξαιρετικά διαλειτουργικού, επεκτάσιμου, διάχυτου και ανοιχτού χαρακτήρα του. Υπάρχουν πολλές τεχνολογίες προερχόμενες από IoT και όλες προσφέρουν διάφορα οφέλη, συμπεριλαμβανομένης της μείωσης του κινδύνου κλειδώματος του προμηθευτή, της υιοθέτησης μηχανημάτων και καλύτερων συστημάτων ανίχνευσης / αυτοματισμού. Με κίνητρο τα παραπάνω οφέλη και δυνατότητες του IoT που εφαρμόζονται στη γεωργία ακριβείας, λαμβάνοντας υπόψη τη μη ύπαρξη μιας πλήρους αξιόπιστης καθιερωμένης και τυποποιημένης λύσης ακόμα, σχεδιάστηκε το μοντέλο. Σε αυτή την ενότητα προτείνεται μια λύση που παρέχει εύκολη και φθηνή επεκτασιμότητα δικτύου, διατηρώντας παράλληλα τη δυνατότητα τοποθέτησης κόμβων αισθητήρων σε μεγάλη απόσταση από το σταθμό βάσης που μειώνει την πολυπλοκότητα και το κόστος του συνολικού δικτύου. Η αρχιτεκτονική του μοντέλου είναι εξαιρετικά προσαρμόσιμη και παρέχει τη δυνατότητα ανάλυσης δεδομένων, την επεξεργασία δεδομένων μεγάλης κλίμακας σε ροές παρατήρησης πραγματικού χρόνου δεδομένων που προέρχονται από διάφορες πηγές, όπως δίκτυο αισθητήρων, υπηρεσίες πρόγνωσης καιρού κ.λπ. Στο μοντέλο χρησιμοποιείτε LoRaWAN LPWAN (Low-Power Wide-Area Network) ως πρωτόκολλο μετάδοσης που έχει σχεδιαστεί από τη LoRa Alliance και καλύπτει την ανάγκη των υπηρεσιών IoT. Έχει εύκολη υλοποίηση, έτοιμο για χρήση στρώμα ασφαλείας και εξασφαλίζει μέγιστη κάλυψη εκατοντάδων τετραγωνικών μέτρων. Απαιτεί ελάχιστη συντήρηση με χαμηλή κατανάλωση ενέργειας που το καθιστά ιδανικό για μεγάλο αριθμό αισθητήρων. Όλα αυτά καθιστούν το LoRaWAN ιδανικό για το Διαδίκτυο των Πραγμάτων (IoT) σε διάφορους τομείς και ειδικά στη γεωργία, όπου η επέκταση των χωραφιών και η κατανομή τους σε τεράστιες περιοχές απαιτούν ένα ad hoc πρωτόκολλο.

#### 4.1 Το πρωτόκολλο LoRaWAN και η υλοποίησή του στο σύστημα

Σε αυτήν την ενότητα παρουσιάζεται η συνολική κατασκευή του συστήματος, τα στοιχεία του και η διασύνδεσή τους. Αυτό το σύστημα σχεδιάστηκε για γεωργικούς σκοπούς όπου υπάρχει ανάγκη για πολλούς αισθητήρες που δημιουργούν ροές δεδομένων και χρήζουν ανάλυσης. Πέραν του κύριου σκοπού να χρησιμοποιηθεί

αυτό το σύστημα στη γεωργία, μπορεί εύκολα να εφαρμοστεί σε άλλες κοινωνικές και παραγωγικές διαδικασίες που έχουν παρόμοιες ανάγκες.

Αυτό το σύστημα αποτελείται από το δίκτυο LoRaWAN για τη μετάδοση δεδομένων μεταξύ των κόμβων αισθητήρων και των backend cloud υπηρεσιών. Τα δεδομένα από τους κόμβους αισθητήρων μεταδίδονται στους σταθμούς βάσης LoRaWAN και από εκεί στην πλατφόρμα The Things Network (TTN). Το TTN είναι μια ανοιχτή πλατφόρμα για την εγγραφή συσκευών LoRaWAN (κόμβοι αισθητήρων) και σταθμών βάσης (gateways). Έχει μια εφαρμογή όλων των απαραίτητων υπηρεσιών backend για τη λειτουργία του σταθμού βάσης LoRaWAN, δηλαδή όλες τις λειτουργίες που απαιτούνται για τα δεδομένα και το επίπεδο μεταφοράς, μαζί με όλα τα απαιτούμενα επίπεδα ασφαλείας. Η πλατφόρμα TTN είναι υπεύθυνη για τη συλλογή, τη μορφοποίηση και την αναδρομολόγηση των δεδομένων από τους κόμβους αισθητήρων στις υπηρεσίες cloud, διατηρώντας παράλληλα την ακεραιότητα και την ασφάλεια των δεδομένων. Αφού η πλατφόρμα TTN λάβει μήνυμα από τους σταθμούς βάσης, μορφοποιεί με τον καθορισμένο προσαρμοσμένο μορφοποιητή και δρομολογεί το μορφοποιημένο μήνυμα στις υπηρεσίες cloud που είναι υπεύθυνες για την αποθήκευση, την οπτικοποίηση και την ανάλυση των δεδομένων. Στο Σχήμα 4.1 φαίνεται το διάγραμμα των στοιχείων του συστήματος IoT, οι σχέσεις και η περιγραφή του.

## 4.2 Επισκόπηση του LoRaWAN

Το δίκτυο LoRaWAN σχεδιάστηκε ειδικά για εφαρμογές IoT με σκοπό τη σύνδεση χιλιάδων αισθητήρων, μονάδων και συσκευών μέσω ενός μεγάλου δικτύου. Πρόκειται για ένα πρωτόκολλο δικτύου που χρησιμοποιείται κυρίως σε εφαρμογές Smart City όπου υπάρχει ανάγκη για ευρεία κάλυψη δικτύου, αλλά αρχίζει να εφαρμόζεται σχεδόν σε όλους τους άλλους κοινωνικούς τομείς όπου οι ιδιότητές του ταιριάζουν στις ανάγκες τους. Πολλές χώρες έχουν ξεκινήσει την υλοποίηση LoRaWAN σε εθνικό επίπεδο ή σε μεγάλες πόλεις. Ήδη από το τέλος του 2016, η Ολλανδία και το Βέλγιο είχαν εφαρμόσει την κάλυψη LoRaWAN σε εθνικό επίπεδο.

Το LoRaWAN διαφέρει από άλλα πρωτόκολλα που είναι κατάλληλα για εφαρμογές IoT όπως το ZigBee ή το NRF σε πολλές κατηγορίες όπως η τοπολογία δικτύου, το εύρος μετάδοσης δεδομένων και η απόδοση. Το LoRa που είναι το φυσικό στρώμα του LoRaWAN βασίζεται σε διαμόρφωση CSS (Chirp Spread Spectrum), η οποία διατηρεί τα ίδια χαρακτηριστικά χαμηλής ισχύος με τη διαμόρφωση FSK αλλά αυξάνει σημαντικά το εύρος επικοινωνίας. Το εύρος μετάδοσης εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από το περιβάλλον και τα εμπόδια του, αλλά τα LoRa και LoRaWAN έχουν προϋπολογισμό σύνδεσης (μετρούμενο σε dB) μεγαλύτερο από οποιαδήποτε άλλη τυποποιημένη τεχνολογία επικοινωνιών. Το LoRaWAN μπορεί να επιτύχει εύρος μετάδοσης δεδομένων από 2-5 χλμ σε αστικές περιοχές έως και

15 χλμ σε προαστιακές περιοχές. Η διαμόρφωση CSS, εκτός από το μεγάλο εύρος μετάδοσης, έχει επίσης χαρακτηριστικά χαμηλής ισχύος που υποδηλώνουν ότι το LoRaWAN μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε εφαρμογές όπου δεν υπάρχει εξωτερική τροφοδοσία. Οι εφαρμογές LoRaWAN μπορούν να λειτουργούν με τροφοδοσία μπαταρίας για χρόνια. Ένα μειονέκτημα του δικτύου LoRaWAN είναι οι χαμηλοί ρυθμοί δεδομένων του, δηλαδή η διεκπεραιωτική ικανότητα (throughput), η οποία εμποδίζει τη χρήση αυτού του πρωτοκόλλου σε πραγματικό χρόνο και εφαρμογές υψηλής απόδοσης, όπως η μετάδοση VoIP και βίντεο.

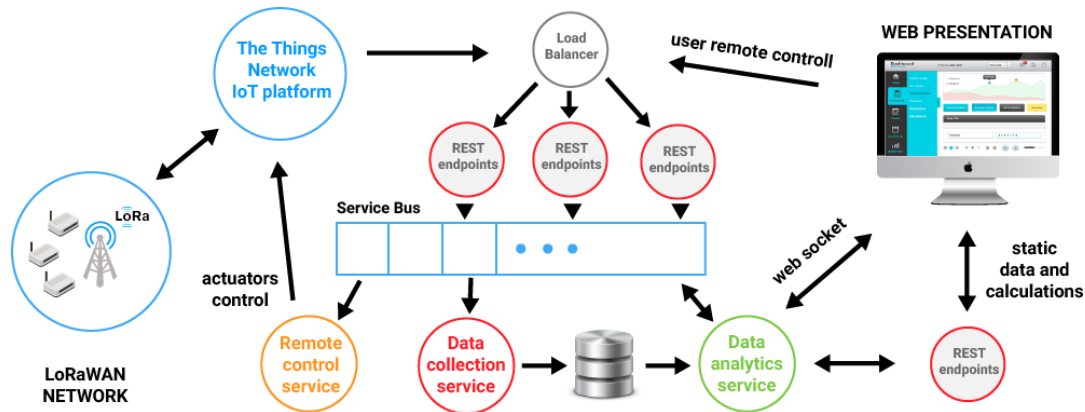
### 4.3 Χρήση δικτύου LoRaWAN σε IoT συστήματα γεωργίας

Η χρήση του πρωτοκόλλου LoRaWAN αυξάνεται ραγδαία, καθώς και η εφαρμογή του σε πολλές κοινωνικές και παραγωγικές διαδικασίες. Εκτός από τον κύριο στόχο της LoRa Alliance να εφαρμόσει το LoRaWAN σε εφαρμογές Smart City, αυτό το πρωτόκολλο έχει μεγάλες δυνατότητες υλοποίησης στην παραγωγή τροφίμων και σε γεωργικές εφαρμογές IoT. Η δυνατότητα μετάδοσης δεδομένων μεγάλης εμβέλειας δίνει την ευκαιρία να καλύψει τεράστιες περιοχές (χωράφια) και να ρυθμίσει κόμβους αισθητήρων σε μεγάλη απόσταση έως και 15 χιλιόμετρα (έχοντας οπτική επαφή) με το σταθμό βάσης. Η τοπολογία αστέρα του LoRaWAN σε σύγκριση με την τοπολογία mesh δικτύου του ZigBee δεν χρειάζεται πρόσθετες μονάδες για να λειτουργήσει ως δρομολογητής, γεγονός που μειώνει το συνολικό κόστος και την πολυπλοκότητα του δικτύου. Εκτός από τη μετάδοση μεγάλης εμβέλειας και την καταλληλότερη τοπολογία για γεωργικούς σκοπούς, το LoRaWAN έχει επίσης χαμηλή κατανάλωση ενέργειας, γεγονός που το καθιστά ιδανικό για εφαρμογές με μπαταρία. Για γεωργική εφαρμογή, αυτό είναι τέλειο επειδή εξουδετερώνει την ανάγκη της εξωτερικής τροφοδοσίας στα χωράφια, αντίθετα οι αισθητήρες μπορούν να λειτουργούν με τροφοδοσία μπαταρίας για χρόνια.

Σε σύγκριση με τις νέες αναδυόμενες τεχνολογίες όπως το NB-IoT, το οποίο στοχεύει στο ίδιο εύρος συσκευών και εφαρμογών με το LoRaWAN, το τελευταίο έχει το πάνω χέρι όσον αφορά την τιμή και το απόρρητο του συστήματος. Το NB-IoT χρησιμοποιεί αδειοδοτημένες ζώνες συχνοτήτων και διέπεται από τις μεγάλες εταιρείες τηλεπικοινωνιών, ενώ το LoRaWAN χρησιμοποιεί ζώνες συχνοτήτων χωρίς άδεια και ο backend διακομιστής στον οποίο βασίζεται ο σταθμός βάσης LoRaWAN, μπορεί να είναι ιδιωτικός (δεν διέπεται από άλλες εταιρείες).

Υπάρχουν πολλές περιπτώσεις χρήσης στη γεωργική παραγωγή και την παραγωγή τροφίμων στα οποία μπορεί να εφαρμοστεί το LoRaWAN. Στο προκείμενο μοντέλο, ο έλεγχος κλειστού βρόχου για ανίχνευση και ενεργοποίηση φαίνεται στο Σχήμα 4.1. Το LoRaWAN μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη διαχείριση κόμβων αισθητήρων που μετρούν περιβαλλοντικές παραμέτρους όπως θερμοκρασία αέρα, αγωγιμότητα, υγρασία εδάφους κ.λπ. Επιπλέον, μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη

λειτουργία όλων των ειδών ενεργοποιητών (π.χ. αυτόματη βαλβίδα ψεκασμού για σκοπούς άρδευσης ή λίπανσης, αυτόματη τροφοδοσία πουλερικών). Μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί σε εφαρμογές όπως η μέτρηση της θερμοκρασίας των βοοειδών σε αγροκτήματα ή παρακολούθηση της θέσης τους με αισθητήρες GPS.



Σχήμα 4.1 Αρχιτεκτονική IoT για έξυπνη γεωργία

#### 4.4 Επισκόπηση της αρχιτεκτονικής του συστήματος

Το σύστημα είναι κατασκευασμένο από τρεις υπηρεσίες. Η υπηρεσία συλλογής δεδομένων έχει την ευθύνη να αποθηκεύει τα εισερχόμενα δεδομένα από την πλατφόρμα TTN, ενώ η υπηρεσία ανάλυσης δεδομένων λειτουργεί στα αποθηκευμένα δεδομένα και στις ροές δεδομένων με προκαθορισμένα μοντέλα πρόβλεψης και αλγορίθμους εξαγωγής δεδομένων. Η υπηρεσία ανάλυσης δεδομένων είναι επίσης υπεύθυνη για το φιλτράρισμα και τη μορφοποίηση των δεδομένων που ζητά ο χρήστης. Η υπηρεσία απομακρυσμένου ελέγχου έχει σκοπό να στέλνει εντολές στους ενεργοποιητές μέσω της πλατφόρμας TTN πίσω στο δίκτυο LoRaWAN.

Οι κόμβοι LoRaWAN στο σύστημα χωρίζονται σε δύο ομάδες (συλλέκτες και εκτελεστές). Οι συλλέκτες είναι κόμβοι εξοπλισμένοι με ποικιλία αισθητήρων που συλλέγουν και μεταδίδουν δεδομένα στις υπηρεσίες cloud, ενώ οι εκτελεστές είναι κόμβοι εξοπλισμένοι με ενεργοποιητές για τον έλεγχο συστημάτων/μηχανημάτων (π.χ. αυτόματων ψεκαστήρων).

Ολόκληρη η αρχιτεκτονική είναι ευέλικτη, κλιμακώσιμη και επεκτάσιμη. Δεν εξαρτάται από καμία πλατφόρμα και μπορεί εύκολα να επεκταθεί με άλλες υπηρεσίες και τύπους δικτύου IoT. Η απόδοσή της μπορεί να αυξηθεί με τη δημιουργία νέων παρουσιών των υπηρεσιών cloud (π.χ. εάν η υπηρεσία ανάλυσης είναι υπερφορτωμένη, μπορεί να δημιουργηθεί νέα παρουσία από την υπηρεσία για να μοιραστεί το φορτίο).

#### 4.4.1 Αρχιτεκτονική υπηρεσίας συλλογής δεδομένων

Αυτή η υπηρεσία συλλέγει και αποθηκεύει δεδομένα χρησιμοποιώντας μοτίβο προμήθειας συμβάντων. Η πλατφόρμα TTN δρομολογεί τα δεδομένα στα REST endpoints τα οποία μόνο δημοσιεύουν το μήνυμα στην ουρά (διάυλος εξυπηρέτησης). Η υπηρεσία συλλογής δεδομένων ως καταναλωτής διαβάζει τα μηνύματα από την ουρά μηνυμάτων, μορφοποιεί και αποθηκεύει τα δεδομένα στη βάση δεδομένων.

#### 4.4.2 Αρχιτεκτονική υπηρεσίας ανάλυσης δεδομένων

Ο σκοπός της υπηρεσίας ανάλυσης δεδομένων είναι να εξαγάγει γνώσεις από τα ανεπεξέργαστα δεδομένα που συλλέχθηκαν από τους αισθητήρες ή να στείλει μια εντολή μέσω της υπηρεσίας απομακρυσμένου ελέγχου στους ενεργοποιητές που είναι συνδεδεμένοι στο δίκτυο. Αυτή η υπηρεσία έχει τρία σημεία πρόσβασης. Το πρώτο σημείο πρόσβασης χρησιμοποιείται για το αίτημα ορισμένων στατικών δεδομένων ή υπολογισμού μέσω του αποκλειστικού REST API σε αυτήν την υπηρεσία. Το δεύτερο σημείο πρόσβασης είναι να εγγραφεί σε μια ροή δεδομένων, που προέρχεται από τους κόμβους αισθητήρων, μέσω web socket. Η ανάλυση ροής δεδομένων δημιουργείται εν κινήσει. Το τρίτο σημείο πρόσβασης είναι μέσω του διαύλου εξυπηρέτησης που είναι αφιερωμένο στις εισερχόμενες ροές δεδομένων από την πλατφόρμα TTN.

#### 4.4.3 Αρχιτεκτονική υπηρεσίας απομακρυσμένου ελέγχου

Αυτή η υπηρεσία είναι υπεύθυνη για τη διαχείριση και τον έλεγχο των κόμβων εκτελεστών που είναι συνδεδεμένοι στο δίκτυο. Είναι επίσης σχεδιασμένη σαν καταναλωτής στο διάυλο εξυπηρέτησης (ουρά μηνυμάτων) παρόμοια με την υπηρεσία συλλογής δεδομένων. Η υπηρεσία απομακρυσμένου ελέγχου λαμβάνει τα μηνύματα ελέγχου από την ουρά που μπορεί να έχουν σταλεί από την υπηρεσία ανάλυσης δεδομένων ή από το χρήστη από την παρουσίαση ιστού. Μετά τη λήψη του μηνύματος, η υπηρεσία απομακρυσμένου ελέγχου στέλνει την επιθυμητή εντολή στην πλατφόρμα TTN για αποστολή στον επιθυμητό κόμβο εκτελεστή.

### 4.5 Ασφάλεια συστήματος

Είναι εξαιρετικά σημαντικό για τις υπηρεσίες IoT να ενσωματώσουν ένα επίπεδο ασφαλείας. Χωρίς αυτό μπορούν να αντιμετωπίσουν μια ποικιλία επιθέσεων που μπορούν να προκαλέσουν σοβαρή ζημιά στη διαδικασία παραγωγής. Η έλλειψη διαθεσιμότητας (DoS), μη εξουσιοδοτημένα δεδομένα ή απώλεια ακεραιότητας δεδομένων μπορεί να προκαλέσει ψευδείς αναφορές ανάλυσης δεδομένων,

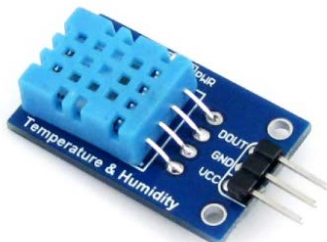
απώλεια ποιότητας προϊόντος, καθώς και να διαταράξει τη διαδικασία λειτουργίας των ενεργοποιητών και πιθανώς να καταστρέψει τις εγκαταστάσεις.

Το LoRaWAN χρησιμοποιεί δύο επίπεδα ασφάλειας: ένα για το δίκτυο και ένα για την εφαρμογή. Αυτά τα επίπεδα παρέχουν έλεγχο ταυτότητας προέλευσης μηνυμάτων, ακεραιότητα δεδομένων, προστασία επανάληψης μηνυμάτων και κρυπτογράφηση. Επιπλέον, το LoRaWAN εφαρμόζει κρυπτογράφηση από άκρο σε άκρο για ωφέλιμα φορτία εφαρμογών που ανταλλάσσονται μεταξύ των τελικών συσκευών και των υπηρεσιών cloud χρησιμοποιώντας κρυπτογράφηση AES.

#### 4.6 Αισθητήρες που χρησιμοποιούνται στη γεωργία

- Αισθητήρας θερμοκρασίας/σχετικής υγρασίας περιβάλλοντος

Αυτού του τύπου οι αισθητήρες δίνουν τη δυνατότητα μέτρησης θερμοκρασίας στο μέρος όπου βρίσκεται η καλλιέργεια. Γνωρίζοντας την τιμή της, ο γεωργός θα μπορεί να αποφασίσει πότε να ενεργοποιήσει τη διαδικασία λίπανσης. Παράλληλα, με τη γνώση της σχετικής υγρασίας του αέρα, οι δυο αυτές μετρήσεις είναι απαραίτητες για τη δυναμική λήψη αποφάσεων στο υποσύστημα λίπανσης, καθώς η ευφυΐα στο σύστημα αυτό βασίζεται σε επιστημονικό τύπο που απαιτεί και τις δυο αυτές τιμές.



Σχήμα 4.2 Αισθητήρας υγρασίας/θερμοκρασίας περιβάλλοντος

- Αισθητήρας ηλεκτρικής αγωγιμότητας

Η συνηθέστερη μέτρηση ηλεκτρικής αγωγιμότητας στη γεωργία ακριβείας είναι η CEC όγκου εδάφους ή η φαινομενική ηλεκτρική αγωγιμότητα, του επιφανειακού εδάφους, (ECa). Οι διάφορες τιμές της ηλεκτρικής αγωγιμότητας συσχετίζονται με τις διαφορετικές ιδιότητες του εδάφους, όπως η υφή του και η ικανότητα συγκράτησης νερού. Οι πληροφορίες αυτές μπορούν να βοηθήσουν στη λήψη αποφάσεων σχετικά με τις εφαρμοζόμενες δόσεις ζιζανιοκτόνων και αζωτούχων λιπασμάτων, καθώς η αποτελεσματικότητά τους εξαρτάται από την υφή του εδάφους. Για παράδειγμα, μπορεί να απαιτείται διαφορετική εφαρμογή αζώτου σε εδάφη με ελαφριά υφή απ' ό,τι σε εδάφη βαριά.



Σχήμα 4.3 Αισθητήρας ηλεκτρικής αγωγιμότητας

- Αισθητήρας pH

Το pH του εδάφους επηρεάζει την παραγωγή. Το pH είναι ένα μέτρο της οξύτητας του εδάφους. Χαμηλό pH σημαίνει ότι στο εδαφικό διάλυμα υπάρχουν πολλά κατιόντα υδρογόνου τα οποία αντιδρούν με τα θρεπτικά στοιχεία και τα καθιστούν λιγότερο διαθέσιμα για τα φυτά. Για τη βελτίωση των όξινων εδαφών γίνεται προσθήκη ασβέστου.

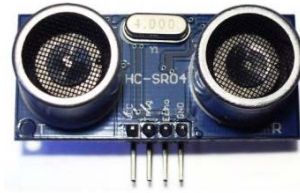


Σχήμα 4.4 Αισθητήρας pH

- Αισθητήρας υπερήχων

Ο αισθητήρας υπερήχων χρησιμοποιείται γενικώς για μέτρηση αποστάσεων. Είναι ιδιαίτερα χρήσιμος για μέτρηση της στάθμης του νερού σε δεξαμενές άρδευσης, σε καλλιέργειες που ποτίζονται με κατάκλιση, όπως οι ορυζώνες ή σε κοιλότητες άρδευσης όπως αυτές που δημιουργούνται κάτω από καρποφόρα δέντρα σαν την ελιά. Η εγκατάσταση των αισθητήρων γίνεται πάνω από τον όγκο του νερού, με τον αισθητήρα να κοιτά κάθετα προς τα κάτω. Γνωρίζοντας το ύψος εγκατάστασης και τη μέτρηση της απόστασης από τον αισθητήρα ως την επιφάνεια του νερού, εύκολα εξάγεται με μια αφαίρεση η πραγματική στάθμη του υδάτινου όγκου. Σε περιπτώσεις δεξαμενών με γνωστές διαστάσεις, εύκολα υπολογίζεται η ποσότητα του νερού που υπάρχει μέσα σε αυτές.





Σχήμα 4.5 Αισθητήρας υπερήχων

- Αισθητήρας ανίχνευσης φλόγας

Ένας ανιχνευτής είναι ένας αισθητήρας που έχει σχεδιαστεί για να ανιχνεύει και να ανταποκρίνεται στην παρουσία φλόγας ή φωτιάς. Οι απαντήσεις σε μια ανιχνευμένη φλόγα εξαρτώνται από την εγκατάσταση, αλλά μπορεί να περιλαμβάνουν την ανίχνευση ενός συναγερμού, την απενεργοποίηση μιας γραμμής καυσίμου (όπως μια γραμμή προπανίου ή φυσικού αερίου) και την ενεργοποίηση ενός συστήματος καταστολής πυρκαγιάς.



Σχήμα 4.6 Αισθητήρας ανίχνευσης φλόγας

- Αισθητήρας έντασης φωτός

Ο αισθητήρας χρησιμοποιείται για την ανίχνευση της έντασης του φωτός. Συνδέεται τόσο με την αναλογική έξοδο όσο και με την ψηφιακή έξοδο. Όταν υπάρχει φως, η αντίσταση του αισθητήρα θα μειωθεί ανάλογα με την ένταση του φωτός. Όσο μεγαλύτερη είναι η ένταση του φωτός, τόσο μικρότερη είναι η αντίσταση του αισθητήρα.

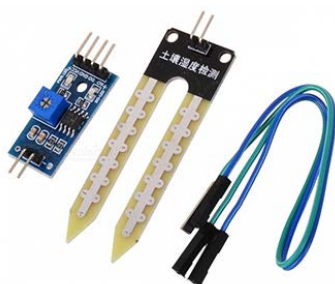


Σχήμα 4.7 Αισθητήρας έντασης φωτός

- Αισθητήρας υγρασίας εδάφους



Ο αισθητήρας υγρασίας εδάφους αποτελείται από δύο ανιχνευτές οι οποίοι χρησιμοποιούνται για τη μέτρηση του ογκομετρικού περιεχομένου του νερού. Οι δύο ανιχνευτές επιτρέπουν στο ρεύμα να περάσει από το έδαφος και έπειτα παίρνει την τιμή αντίστασης για να μετρήσει την τιμή υγρασίας. Όταν υπάρχει περισσότερο νερό, το έδαφος θα έχει περισσότερη ηλεκτρική ενέργεια, πράγμα που σημαίνει ότι θα υπάρξει λιγότερη αντίσταση. Επομένως, το επίπεδο υγρασίας θα είναι υψηλότερο. Το ξηρό έδαφος δεν εκτελεί σωστά την ηλεκτρική ενέργεια, οπότε όταν θα υπάρξει μικρότερη ποσότητα νερού, τότε το έδαφος θα έχει λιγότερη ηλεκτρική ενέργεια, πράγμα που σημαίνει ότι θα υπάρξει μεγαλύτερη αντίσταση. Επομένως, το επίπεδο υγρασίας θα είναι χαμηλότερο.



Σχήμα 4.8 Αισθητήρας υγρασίας εδάφους

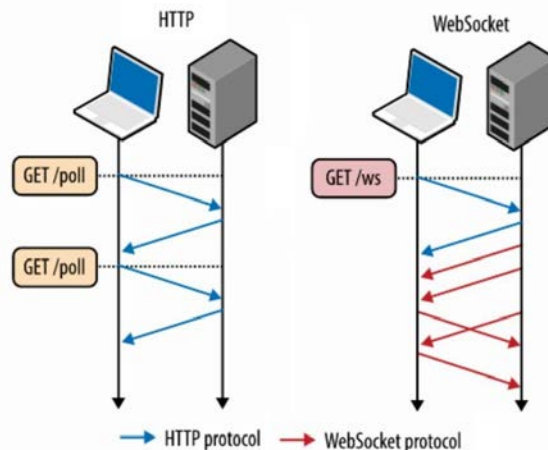
Άλλοι πρόσθετοι αισθητήρες είναι οι αισθητήρες διοξειδίου του άνθρακα ( $CO_2$ ), αισθητήρες υπέρυθρης ακτινοβολίας, αισθητήρες ηλιακής ακτινοβολίας, αισθητήρες χρώματος, αισθητήρες ανίχνευσης ζιζανίων, αισθητήρες έντασης ανέμου, κτλ.

## 4.7 WebSocket

Το πρωτόκολλο WebSocket δημιουργήθηκε για να καλύψει την αδιάκοπη ανταλλαγή δεδομένων μεταξύ πελάτη και εξυπηρετητή, κάτι που δεν υποστηριζόταν μέχρι τώρα από το HTTP. Το πρωτόκολλο αποτελείται από ένα πλήρες αμφίδρομο κανάλι επικοινωνίας μεταξύ των υπολογιστών-πελατών και ενός απομακρυσμένου εξυπηρετητή, το οποίο λειτουργεί μέσω μίας υποδοχής (socket), προσφέροντας έτσι ασύγχρονη επικοινωνία (σε αντίθεση με το πρωτόκολλο HTTP). Με άλλα λόγια, και οι δύο πλευρές μπορούν να στείλουν δεδομένα οποιαδήποτε στιγμή κατά τη σύνδεση. Το WebSocket παρέχει ασφάλεια παρόμοια με το μοντέλο ασφαλείας που χρησιμοποιείται στα προγράμματα περιήγησης ιστού (web browsers). Αυτό το πρωτόκολλο λειτουργεί μέσω TCP και είναι κατάλληλο για εφαρμογές που χρησιμοποιούν τα προγράμματα περιήγησης και χρειάζεται να αλληλεπιδράσουν και να επικοινωνούν με απομακρυσμένους υπολογιστές.

Το WebSocket είναι ένα διαδικτυακό πρωτόκολλο μικρής καθυστέρησης, το οποίο επιτρέπει τη σταθερή σύνδεση βασισμένη στο TCP/IP και παρέχει πλήρως αμφίδρομη επικοινωνία. Η σύνοδος WebSocket ξεκινά χωρίς να χρησιμοποιεί τις προσεγγίσεις δημοσίευσης/εγγραφής (publish/subscribe) και αιτήματος/απόκρισης

(request/response) όπως τα προηγούμενα πρωτόκολλα. Εξαρτάται από την εκτέλεση χειραψίας από τον πελάτη προς τον εξυπηρετητή για να ξεκινήσει η επικοινωνία. Μόλις εδραιωθεί η σύνδεση WebSocket, μια πλήρης αμφίδρομη σύνδεση ξεκινάει ασύγχρονα μεταξύ του πελάτη και του εξυπηρετητή. Σε αντίθεση με το HTTP, τα μηνύματα μπορούν να αποστέλλονται συνεχώς από τη στιγμή που θα γίνει η σύνδεση μέχρι να διακοπεί σκόπιμα η σύνδεση από τη μια πλευρά.



Σχήμα 4.9 Ροή πληροφοριών HTTP και WebSocket

Η λειτουργία του πρωτοκόλλου WebSocket χωρίζεται σε δύο μέρη: χειραψία και μεταφορά δεδομένων. Στη χειραψία, ο πελάτης και ο διακομιστής καθιερώνουν την αρχική επικοινωνία χρησιμοποιώντας HTTP (έχοντας τη θύρα 80, σαν προεπιλογή). Σε αυτήν την πρώτη επικοινωνία, ο πελάτης ζητά ενημέρωση του τύπου επικοινωνίας. Μόλις αυτό επιβεβαιωθεί, το αίτημα επικυρώνεται και η ανταλλαγή δεδομένων μπορεί να γίνει χρησιμοποιώντας το πρωτόκολλο WebSocket (Σχήμα 4.9).

Για επικοινωνία, χωρίς να ληφθεί υπόψη η επιβάρυνση πλαισίου IP, TCP και TLS, ένα μόνο αίτημα HTTP θα μπορούσε να μεταφέρει επιπλέον 500-800 byte μεταδεδομένων συν τα cookies. Αντίθετα, το πρωτόκολλο WebSocket χρησιμοποιεί μια προσαρμοσμένη μορφή δυαδικού πλαισίου που διαιρεί κάθε μήνυμα σε ένα ή περισσότερα πλαίσια. Όταν αυτά τα πλαίσια φτάσουν στον προορισμό τους, ενώνονται ξανά και ο αποστολέας ενημερώνεται ότι έχει ληφθεί ολόκληρο το μήνυμα. Κάθε επικεφαλίδα πλαισίου μπορεί να έχει μέγεθος από 2 έως 10 bytes, αν αποστέλλεται από το διακομιστή, και από 6 έως 14 bytes, αν αποστέλλεται από τον πελάτη – καθώς ο πελάτης πρέπει να προσθέσει ένα κλειδί συγκάλυψης για να αποτρέψει τις επιθέσεις δηλητηρίασης της κρυφής μνήμης (cache poisoning attacks). Το WebSocket θεωρείται επίσης μία από τις πλέον ευέλικτες διαθέσιμες μεθόδους μεταφοράς δεδομένων, λόγω των δυνατοτήτων προσαρμογής μέσω των διεπαφών προγραμματισμού εφαρμογών (API), των επεκτάσεων και των υποπρωτοκόλλων.

Το Σχήμα 4.9 δείχνει τη ροή πληροφοριών του HTTP και του WebSocket. Στην πρώτη περίπτωση, τα δεδομένα από το διακομιστή αποστέλλονται μόνο σαν απάντηση σε μια αίτηση πελάτη. Ο πελάτης είναι πάντα υπεύθυνος για την εκκίνηση της επικοινωνίας. Πολλές εφαρμογές σε καταναλωτικό και βιομηχανικό

περιβάλλον εξαρτώνται από την ικανότητα μετάδοσης δεδομένων ή εντολών στον πελάτη και, αν και το HTTP δεν είναι το ιδανικό πρωτόκολλο για αυτό το είδος εργασίας, υπάρχουν τεχνικές, όπως η ομαδοποίηση (pooling), που χρησιμοποιούνται για την υπέρβαση αυτού του περιορισμού. Ωστόσο, το WebSocket είναι κατάλληλο για αμφίδρομες εφαρμογές, καθώς επιτρέπει τη δημιουργία ενός πλήρως ασύγχρονου καναλιού επικοινωνίας, καθιστώντας δυνατό ένα πλήρες εύρος λειτουργιών, όπως εφαρμογές ιστού που χρειάζονται συνεχείς και αδιάλειπτες συνδέσεις πραγματικού χρόνου, όπως ζωντανή συνομιλία, τηλεδιάσκεψη κ.λπ.

## 4.8 Χρήση του συστήματος

Στο παραπάνω σύστημα που αναλύθηκε, μπορούν να υλοποιηθούν διάφορες εφαρμογές γεωργίας ανάλογα με τις απαιτήσεις του κάθε γεωργού. Ο μηχανικός που σχεδιάζει το σύστημα οφείλει να ενημερώνεται από το γεωργό ακριβώς για τις ανάγκες των εγκαταστάσεών του. Διαλέγει τους κατάλληλους αισθητήρες, ενεργοποιητές, μικροελεκτές ώστε να είναι συμβατοί μεταξύ τους. Παράλληλα, προγραμματίζει την ανάλυση των δεδομένων βάσει επιστημονικών μοντέλων που σχετίζονται με τη γεωργία, καθώς επίσης και τα κατώφλια των μετρήσεων των αισθητήρων, ώστε να τεθούν σε λειτουργία συστήματα που είναι συνδεδεμένα με τους ενεργοποιητές. Τέλος, σχεδιάζει τη διεπαφή του χρήστη για την παρακολούθηση των δεδομένων σε μία ευνόητη και οπτικοποιημένη μορφή, ενώ του δίνει τη δυνατότητα χειροκίνητου ελέγχου του συστήματος της εγκατάστασης.

Ενδεικτικά αναφέρονται παρακάτω κάποιες εφαρμογές:

- Παρακολούθηση υγρασίας εδάφους και αυτόματη άρδευση
- Παρακολούθηση των συστατικών στοιχείων του εδάφους και αυτόματη λίπανση
- Αποθήκευση στατιστικών και πρόβλεψη κινδύνων των καλλιεργειών
- Εντοπισμός πιθανής φωτιάς στο χωράφι
- Παρακολούθηση καιρικών φαινομένων
- Παρακολούθηση πόρων (διαθεσιμότητα νερού στις δεξαμενές, λιπάσματα)

Όπως γίνεται εύκολα αντιληπτό, με τη χρήση του συστήματος ελαχιστοποιείται η φυσική παρουσία του γεωργού στις καλλιέργειες και εξοικονομούνται πόροι μειώνοντας το κόστος παραγωγής.

## 4.9 Διαστασιολόγηση αισθητήρων

Σε αυτή την ενότητα παρουσιάζεται ενδεικτικά η διαστασιολόγηση αισθητήρων σε μια καλλιέργεια. Το οριστικό πλήθος και τοποθέτηση των αισθητήρων και των

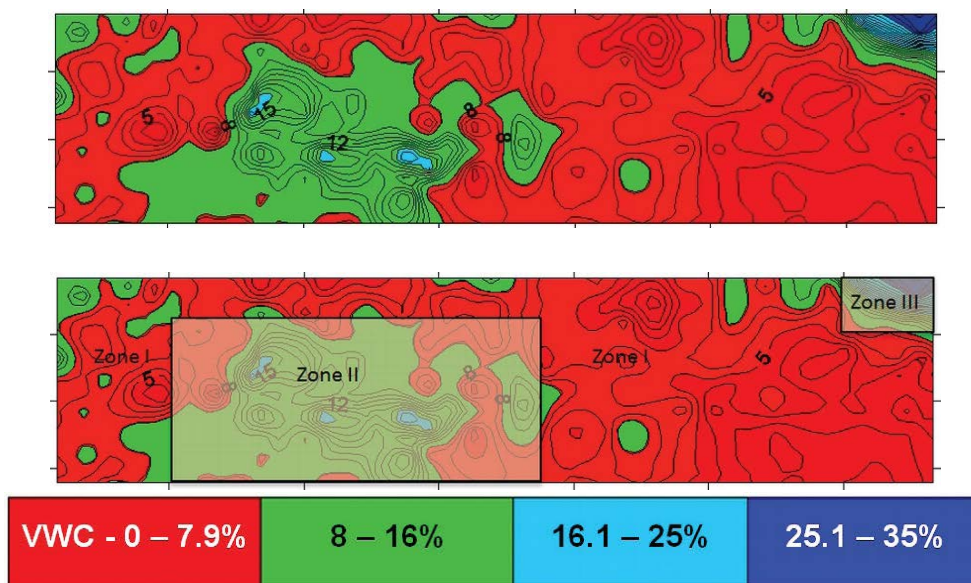
ενεργοποιητών εξαρτάται τόσο από τη μορφολογία εδάφους, το είδος καλλιέργειας, τις υπάρχουσες εγκαταστάσεις όσο και από το συνολικό ποσό χρηματικής δαπάνης που επιθυμεί ο γεωργός να επενδύσει. Παρακάτω αναλύεται ένα πιθανό σενάριο.

Στον τομέα της αγροτικής παραγωγής είναι απαραίτητοι οι αισθητήρες που μετρούν κλιματικές και εδαφικές συνθήκες, όπως είναι οι αισθητήρες υγρασίας εδάφους/αέρα, θερμοκρασίας εδάφους/αέρα, έντασης αέρα, pH του χώματος, ηλεκτρικής αγωγιμότητας, καθώς και αισθητήρες σχετικοί με τον εξοπλισμό όπως αισθητήρες στάθμης δεξαμενών.

Σε μία έκταση δύναται να υπάρχουν παραπάνω από μια καλλιέργειες (ελιές, αμπέλια, ροδάκινα, μαρούλια, πατάτες, κτλ), που η κάθε μία έχει διαφορετικές ανάγκες διαχείρισης. Για το λόγο αυτό, η έκταση χωρίζεται, σε πρώτη φάση, σε ζώνες βάσει των ειδών καλλιέργειας. Έπειτα, ανάλογα με το υπέδαφος και τη μορφολογία του εδάφους, τα οποία επηρεάζουν τις ιδιότητες του χώματος, η έκταση χωρίζεται σε περαιτέρω ζώνες. Για παράδειγμα, η υγρασία του εδάφους είναι μεγαλύτερη σε μια πεδιάδα που διασχίζεται από ένα ποτάμι σε σχέση με μια βραχώδη πλαγιά. Στο Σχήμα 4.10 φαίνεται πώς μπορεί να διαχωριστεί μια έκταση σε ζώνες ανάλογα με την υγρασία εδάφους.

Ωστόσο, είναι συχνό το φαινόμενο σε περιοχές με ίδιο φαινομενικά περιβάλλον να υπάρχουν σημαντικές αποκλίσεις στις ιδιότητες του χώματος όσο αφορά κυρίως την υγρασία. Αυτό, συνεπάγεται την ανάγκη για σχολαστική μελέτη του αριθμού των αισθητήρων που απαιτούνται.

Μια προσέγγιση μπορεί να δοθεί μέσω βαριογράμματος, από το οποίο υπολογίζεται η μέγιστη απόσταση μεταξύ δύο σημείων δειγματοληψίας. Το βαριόγραμμα είναι το βασικό διαγνωστικό εργαλείο για το χωρικό χαρακτηρισμό μίας χωρομεταβλητής και είναι επίσης κεντρικό στην γεωστατιστική εκτίμηση ή στις μεθόδους παρεμβολής (kriging).



Σχήμα 4.10 Ογκομετρική περιεκτικότητα σε νερό και ορισμός ζωνών

Ο ελάχιστος αριθμός αισθητήρων υγρασίας εδάφους θεωρείται 5 ανά στρέμμα (5 αισθητήρες/1000m<sup>2</sup>).

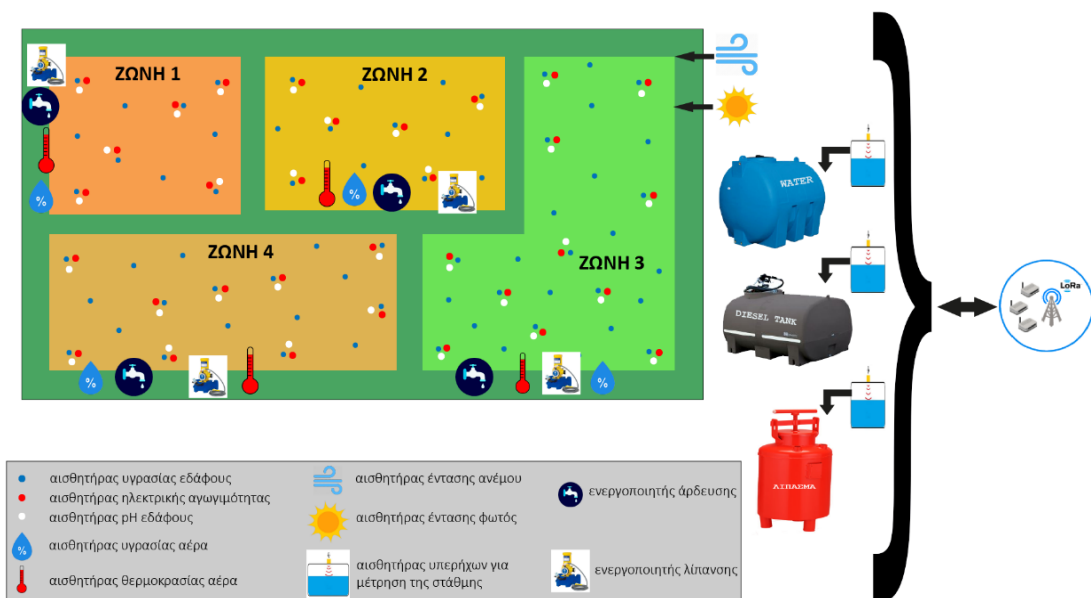
Για την ηλεκτρική αγωγιμότητα του χώματος μπορούν να χρησιμοποιηθούν λιγότεροι από αυτούς της υγρασίας εδάφους. Έτσι, οι 3 ανά στρέμμα (3 αισθητήρες/1000m<sup>2</sup>) είναι ένας αριθμός που μπορεί να δώσει επαρκή πληροφορία. Ομοίως, για τους αισθητήρες pH εδάφους.

Για την ένταση του φωτός και του ανέμου απαιτείται από ένας αισθητήρας, καθώς η πληροφορία που δίνεται είναι καθαρά ενημερωτική. Για τη θερμοκρασία και υγρασία του αέρα απαιτείται ένας αισθητήρας ανά είδος καλλιέργειας.

Τέλος, απαιτούνται αισθητήρες υπερήχων για τις στάθμες των δεξαμενών νερού, καυσίμων (γεννήτρια, τρακτέρ κτλ) και λιπασμάτων.

Όσο αφορά τους ενεργοποιητές, η τοποθέτησή τους γίνεται βάσει των ζωνών που έχουν διαμορφωθεί. Έτσι, υπάρχει ένας ενεργοποιητής του συστήματος άρδευσης και ένας ενεργοποιητής του συστήματος λίπανσης για κάθε ζώνη.

Επίσης, ενεργοποιητής υπάρχει στην αντλία της γεώτρησης, ώστε όταν η στάθμη της δεξαμενής του νερού πέσει κάτω από κάποιο προεπιλεγμένο κατώφλι, να ενεργοποιείται και να γεμίζει τη δεξαμενή. Αντίστοιχα, όταν υπάρξει διακοπή του ηλεκτρικού ρεύματος, ενεργοποιείται η γεννήτρια και τροφοδοτεί με ρεύμα τις εγκαταστάσεις. Στο Σχήμα 4.11 αναπαριστάται η διαστρωματοποίηση αισθητήρων και ενεργοποιητών.



Σχήμα 4.11 Διαστρωματοποίηση αισθητήρων και ενεργοποιητών στη γεωργία

Ολοκληρώνοντας, πρέπει να αναφερθεί ότι η υλοποίηση του συστήματος μπορεί είναι πλήρως παραμετροποιήσιμη στις απαιτήσεις του κάθε γεωργού. Μεγάλη ποικιλία σε είδη αισθητήρων υπάρχουν στην αγορά που μπορούν να αφομοιωθούν στη γεωργία και να καλύψουν τόσο πρωτεύοντες όσο και δευτερεύοντες ανάγκες.



## Κεφάλαιο 5

### Συμπεράσματα

Το Internet of Things είναι μια ιδεολογική δομή που στοχεύει στη βελτίωση της ποιότητας της ανθρώπινης ζωής. Οι υπηρεσίες του Internet of Things αναμένεται να αναπτυχθούν σε πολύ μεγάλο βαθμό τα επόμενα χρόνια, δίνοντας παράλληλα πλήθος επιχειρηματικών ευκαιριών.

Τα κύρια στοιχεία του Internet of Things είναι η ταυτοποίηση, η ανίχνευση, η επικοινωνία, ο υπολογισμός, οι υπηρεσίες και η σημασιολογία. Υπάρχουν πολλά παραδείγματα εφαρμογών όπως η πρόβλεψη φυσικών καταστροφών, οι βιομηχανικές εφαρμογές, ο σχεδιασμός έξυπνων σπιτιών, οι εφαρμογές υγείας, οι εφαρμογές γεωργίας, ο σχεδιασμός έξυπνων συστημάτων μεταφοράς, ο σχεδιασμός έξυπνων πόλεων, η έξυπνη ασφάλεια, η έξυπνη μέτρηση και παρακολούθηση.

Οι πλατφόρμες IoT πρέπει να υποστηρίζουν ετερογενείς συσκευές, συγχώνευση και κοινή χρήση δεδομένων, απόρρητο και ασφάλεια δεδομένων, API για διαλειτουργικότητα και τυποποίηση. Υπάρχουν πολλά ανοιχτά ζητήματα που σχετίζονται με το IoT, όπως η τυποποίηση, η ασφάλεια και το απόρρητο, η αποδοτικότητα ισχύος και ενέργειας, η ευφυΐα, τα μεγάλα δεδομένα, η αποθήκευση, οι επικοινωνίες δικτύου, η επεκτασιμότητα και η ευελιξία.

Το IoT συνδυάζει πολλές ετερογενείς τεχνολογίες μαζί για να επιτύχει ένα συγκεκριμένο σύνολο υπηρεσιών ή εφαρμογών. Ο αυξανόμενος αριθμός προτεινόμενων αρχιτεκτονικών IoT δεν συγκλίνει σε μοντέλο αναφοράς ή κοινή αρχιτεκτονική.

Αυτή η εργασία παρουσίασε μια επισκόπηση των εννοιών IoT, όπως τα χαρακτηριστικά, οι κύριες κατηγορίες εφαρμογών και τα μοντέλα διανομής. Επίσης, αναλύθηκε ένα ικανοποιητικό σύνολο σύγχρονων προτεινόμενων αρχιτεκτονικών για το IoT. Τέλος, δόθηκε ιδιαίτερη έμφαση στην εφαρμογή του IoT στην έξυπνη γεωργία παρουσιάζοντας αισθητήρες, αρχιτεκτονική και πρωτόκολλο επικοινωνίας για την υλοποίηση.





## Βιβλιογραφία

- [1] Gokhale, Pradyumna, Omkar Bhat, and Sagar Bhat. "Introduction to IOT." *International Advanced Research Journal in Science, Engineering and Technology* 5.1 (2018): 41-44.
- [2] Al-Fuqaha, Ala, et al. "Internet of things: A survey on enabling technologies, protocols, and applications." *IEEE communications surveys & tutorials* 17.4 (2015): 2347-2376.
- [3] Yaqoob, Ibrar, et al. "Internet of things architecture: Recent advances, taxonomy, requirements, and open challenges." *IEEE wireless communications* 24.3 (2017): 10-16.
- [4] Patel, Keyur K., and Sunil M. Patel. "Internet of things-IOT: definition, characteristics, architecture, enabling technologies, application & future challenges." *International journal of engineering science and computing* 6.5 (2016).
- [5] Muccini, Henry, and Mahyar Tourchi Moghaddam. "Iot architectural styles." *European Conference on Software Architecture*. Springer, Cham, 2018.
- [6] Zhu, Zhen, and Ren-Gen Huang. "Study on the IoT architecture and access technology." *2017 16th International Symposium on Distributed Computing and Applications to Business, Engineering and Science (DCABES)*. IEEE, 2017.
- [7] Atzori, Luigi, Antonio Iera, and Giacomo Morabito. "The internet of things: A survey." *Computer networks* 54.15 (2010): 2787-2805.
- [8] Sabella, Dario, et al. "Mobile-edge computing architecture: The role of MEC in the Internet of Things." *IEEE Consumer Electronics Magazine* 5.4 (2016): 84-91.
- [9] Lyu, Xinchun, et al. "Selective offloading in mobile edge computing for the green internet of things." *IEEE Network* 32.1 (2018): 54-60.
- [10] Bauer, Martin, et al. "IoT reference architecture." *Enabling Things to Talk*. Springer, Berlin, Heidelberg, 2013. 163-211.
- [11] Ji, Zhanlin, et al. "A cloud-based car parking middleware for IoT-based smart cities: Design and implementation." *Sensors* 14.12 (2014): 22372-22393.
- [12] Davcev, Danco, et al. "IoT agriculture system based on LoRaWAN." *2018 14th IEEE International Workshop on Factory Communication Systems (WFCS)*. IEEE, 2018.
- [13] D. Macedo, L. A. Guedes, and I. Silva, "A dependability evaluation for Internet of Things incorporating redundancy aspects," in *Proc. IEEE 11th ICNSC*, 2014, pp. 417–422.

- [14] I. Silva, R. Leandro, D. Macedo, and L. A. Guedes, "A dependability evaluation tool for the Internet of Things," *Comput. Electr. Eng.*, vol. 39, no. 7, pp. 2005–2018, Oct. 2013.
- [15] N. Maalel, E. Natalizio, A. Bouabdallah, P. Roux, and M. Kellil, "Reliability for emergency applications in Internet of Things," in *Proc. IEEE Int. Conf. DCOSS*, 2013, pp. 361–366.
- [16] J. Kempf, J. Arkko, N. Beheshti, and K. Yedavalli, "Thoughts on reliability in the Internet of Things," in *Proc. Interconnecting Smart Objects Internet Workshop*, 2011, pp. 1–4.
- [17] L. Li, Z. Jin, G. Li, L. Zheng, and Q. Wei, "Modeling and analyzing the reliability and cost of service composition in the IoT: A probabilistic approach," in *Proc. IEEE 19th ICWS*, 2012, pp. 584–591.
- [18] F. Ganz, R. Li, P. Barnaghi, and H. Harai, "A resource mobility scheme for service-continuity in the Internet of Things," in *Proc. IEEE Int. Conf. GreenCom*, 2012, pp. 261–264.
- [19] H. Fu, P. Lin, H. Yue, G. Huang, and C. Lee, "Group mobility management for large-scale machine-to-machine mobile networking," *IEEE Trans. Veh. Technol.*, vol. 63, no. 3, pp. 1296–1305, Mar. 2014.
- [20] T. Elsaleh, A. Gluhak, and K. Moessner, "Service continuity for subscribers of the mobile real world Internet," in *Proc. IEEE ICC Workshops*, 2011, pp. 1–5.
- [21] Z. Zhu, L. Zhang, and R. Wakikawa, "Supporting mobility for Internet cars," *IEEE Commun. Mag.*, vol. 49, no. 5, pp. 180–186, May 2011.
- [22] S. Misra and P. Agarwal, "Bio-inspired group mobility model for mobile ad hoc networks based on bird-flocking behavior," *Soft Comput.*, vol. 16, no. 3, pp. 437–450, Mar. 2012.
- [23] R. Duan, X. Chen, and T. Xing, "A QoS architecture for IOT," in *Proc. Int. Conf. 4th iThings/CPSCoM*, 2011, pp. 717–720.
- [24] M. A. Rajan, P. Balamuralidhar, K. P. Chethan, and M. Swarnahpriyaah, "A self-reconfigurable sensor network management system for Internet of Things paradigm," in *Proc. ICDeCom*, 2011, pp. 1–5.
- [25] OMA Lightweight M2M, Sep. 28, 2014. [Online]. Available: <http://technical.openmobilealliance.org/Technical/technicalinformation/releaseprogram/current-releases/oma-lightweightm2m-v1-0-2>

- [26] V. Perelman, M. Ersue, J. Schönwälder, and K. Watsen, "Network Configuration Protocol Light (NETCONF Light)," Internet Eng. Task Force (IETF), Fremont, CA, USA, Network, 2012.
- [27] MASH IoT Platform, Youtube Channel, Sep. 28, 2014. [Online]. Available: <http://www.youtube.com/user/MASHPlatform>
- [28] F. Van den Abeele, J. Hoebeke, I. Moerman, and P. Demeester, "Fine-grained management of CoAP interactions with constrained IoT devices," in Proc. IEEE NOMS, 2014, pp. 1–5.
- [29] D. Uckelmann, M. Isenberg, M. Teucke, H. Halfar, and B. Scholz-Reiter, "Autonomous control and the Internet of Things: Increasing robustness, scalability and agility in logistic networks," Unique Radio Innovation for the 21st Century, pp. 163–181, 2010.
- [30] C. Sarkar, S. N. A. U. Nambi, R. V. Prasad, and A. Rahim, "A scalable distributed architecture towards unifying IoT applications," in Proc. IEEE WF-IoT, 2014, pp. 508–513.
- [31] F. Li, M. Voegler, M. Claessens, and S. Dustdar, "Efficient and scalable IoT service delivery on cloud," in Proc. IEEE 6th Int. Conf. CLOUD, 2013, pp. 740–747.
- [32] A. Dunkels, J. Eriksson, and N. Tsiftes, "Low-power interoperability for the IPv6-based Internet of Things," in Proc. 10<sup>th</sup> Scandinavian Workshop Wireless ADHOC, Stockholm, Sweden, 2011, pp. 10–11.
- [33] I. Ishaq et al., "IETF standardization in the field of the Internet of Things (IoT): A survey," J. Sens. Actuator Netw., vol. 2, pp. 235–287, 2013.