



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΙΓΑΙΟΥ
ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΚΩΝ ΚΑΙ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

Διαδίκτυο των Πραγμάτων σε Περιβάλλον Έξυπνης Πόλης:
Μελέτη Αισθητήρων, Συστημάτων Διαχείρισης και
Ανάπτυξης Λειτουργικού Πρωτοτύπου Απομακρυσμένης
Διαχείρισης Συσκευών

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

της

Χατζηβασίλη Νίκης

Επιβλέπων: Χαραλαμπίδης Γιάννης, Καθηγητής

Σάμος, Οκτώβριος 2022

Η σελίδα αυτή είναι σκόπιμα λευκή.

Η Διπλωματική Εργασία παρουσιάστηκε ενώπιον
του Διδακτικού Προσωπικού του Πανεπιστημίου Αιγαίου
Σε Μερική Εκπλήρωση των απαιτήσεων για την απόκτηση του διπλώματος του Μηχανικού
Πληροφοριακών και Επικοινωνιακών Συστημάτων

Η ΤΡΙΜΕΛΗΣ ΕΠΙΤΡΟΠΗ ΔΙΔΑΣΚΟΝΤΩΝ
ΕΠΙΚΥΡΩΝΕΙ ΤΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΤΗΣ
ΧΑΤΖΗΒΑΣΙΛΗ ΝΙΚΗΣ

ΧΑΡΑΛΑΜΠΙΔΗΣ ΓΙΑΝΝΗΣ, Επιβλέπων

Καθηγητής

Πολυτεχνική Σχολή Πανεπιστημίου Αιγαίου
Τμήμα Μηχανικών Πληροφοριακών
και Επικοινωνιακών Συστημάτων

Λουκής Ευριπίδης, Μέλος

Καθηγητής

Πολυτεχνική Σχολή Πανεπιστημίου Αιγαίου
Τμήμα Μηχανικών Πληροφοριακών
και Επικοινωνιακών Συστημάτων

Κοκολάκης Σπύρος, Μέλος

Καθηγητής

Πολυτεχνική Σχολή Πανεπιστημίου Αιγαίου
Τμήμα Μηχανικών Πληροφοριακών
και Επικοινωνιακών Συστημάτων

© 2022

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος.

ΧΑΤΖΗΒΑΣΙΛΗ ΝΙΚΗ

Πανεπιστήμιο Αιγαίου

Η σελίδα αυτή είναι σκόπιμα λευκή.

Πρόλογος και ευχαριστίες

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή μου, Χαραλαμπίδη Γιάννη, για την ευκαιρία που μου έδωσε να συνεργαστούμε μαζί στην υλοποίηση της διπλωματικής μου εργασίας, αλλά και για την καθοδήγηση που μου παρείχε κατά τη διάρκεια εκπόνησης της διπλωματικής μου εργασίας. Επιπλέον, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον κο. Λουτσάρη Αυγερινό Μιχάλη και την κα. Λαχανά Ζωή για τη πολύτιμη στήριξη τους κατά τη διάρκεια εκπόνησης της διπλωματικής μου εργασίας.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένεια μου για την αμέριστη στήριξη τους καθ' όλη τη διάρκεια των σπουδών μου.

Σας ευχαριστώ.

©2022

της

ΧΑΤΖΗΒΑΣΙΛΗ ΝΙΚΗΣ

Τμήμα Μηχανικών Πληροφοριακών και Επικοινωνιακών Συστημάτων

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΙΓΑΙΟΥ

Η σελίδα αυτή είναι σκόπιμα λευκή.

Πίνακας Περιεχομένων

1	Εισαγωγή	21
1.1	Το πλαίσιο της Διπλωματικής Εργασίας.....	21
1.2	Σκοπός διπλωματικής.....	22
1.3	Αντικείμενο διπλωματικής.....	22
1.4	Δομή της διπλωματικής	22
2	Διαδίκτυο των Πραγμάτων – Internet of Things.....	25
2.1	Εισαγωγή.....	25
2.2	Ορισμοί	26
2.2.1	Παρόμοιες Έννοιες.....	28
2.3	Χαρακτηριστικά.....	31
2.4	Ιστορική Επισκόπηση	31
2.5	Αρχιτεκτονική	34
2.6	Βασικοί Τομείς Εφαρμογής	37
2.7	Προκλήσεις	38
3	Έξυπνες πόλεις – Smart cities	40
3.1	Εισαγωγή.....	40
3.2	Ορισμοί	41
3.3	Χαρακτηριστικά.....	43
3.4	Αρχιτεκτονική	44
3.5	Βασικοί Τομείς Δραστηριότητας	45
4	Μεθοδολογία.....	47
5	Αισθητήρες - Sensors.....	49
5.1	Εισαγωγή.....	49
5.2	Ορισμοί	51
5.3	Βασική Λειτουργία	52
5.4	Χαρακτηριστικά & Ιδιότητες.....	53
5.5	Είδη Αισθητήρων.....	56
5.5.1	Αισθητήρες Θερμοκρασίας - Temperature sensors	58
5.5.2	Αισθητήρες Προσέγγισης - Proximity sensors	61
5.5.3	Αισθητήρες Πίεσης - Pressure sensors.....	64
5.5.4	Αισθητήρες Ποιότητας Νερού - Water quality sensors.....	65
5.5.5	Χημικοί Αισθητήρες - Chemical sensors	67

5.5.6	Αισθητήρες Αερίου - Gas sensor	68
5.5.7	Αισθητήρες Καπνού - Smoke sensor	70
5.5.8	Αισθητήρες Υπερύθρων - Infrared (IR) sensors	71
5.5.9	Αισθητήρες Απεικόνισης - Image sensors.....	72
5.5.10	Αισθητήρες Ανίχνευσης Κίνησης - Motion detection sensors	72
5.5.11	Αισθητήρες Επιταχυνσιόμετρου - Accelerometer sensors.....	73
5.5.12	Αισθητήρες Γυροσκοπίου - Gyroscope (gyro) sensors	74
5.5.13	Αισθητήρες Υγρασίας - Humidity sensors.....	74
5.5.14	Αισθητήρες Ροής - Flow Sensors	75
5.5.15	Οπτικοί Αισθητήρες - Optical sensors (OS)	75
5.5.16	Βιοαισθητήρες - Biosensors	76
5.6	Εφαρμογές Αισθητήρων	77
6	Πλατφόρμες Διαχείρισης Αισθητήρων.....	80
6.1	Εισαγωγή.....	80
6.2	Διαδικασία Διαχείρισης Αισθητήρων	81
6.3	Βασικές Λειτουργίες Πλατφόρμας Διαχείρισης Αισθητήρων	82
6.4	Μελέτη Αρχιτεκτονικής Συστημάτων Διαχείρισης Αισθητήρων	84
6.5	Βασική Αρχιτεκτονική Πλατφόρμας Διαχείρισης Αισθητήρων	88
6.6	Χαρακτηριστικά Πλατφόρμας Διαχείρισης Αισθητήρων	90
6.7	Πλατφόρμες Διαχείρισης Αισθητήρων	91
6.7.1	PTC ThingWorx	92
6.7.2	AWS IoT Core	93
6.7.3	Oracle IoT Cloud	94
6.7.4	Microsoft Azure IoT.....	95
6.7.5	Siemens MindSphere.....	97
6.7.6	Braincube.....	98
6.7.7	Software AG Cumulocity IoT	99
6.7.8	UnifyTwin	101
6.7.9	IBM Watson IoT Platform.....	102
6.7.10	SAP Leonardo IoT	104
6.8	Προκλήσεις	106
7	Σχεδίαση & Ανάπτυξη Συστήματος Απομακρυσμένης Διαχείριση Συσκευής.....	108
7.1	Σκοπός συστήματος	108
7.2	Μεθοδολογία Ανάπτυξης Συστήματος	109
7.3	Ανάπτυξη Συστήματος.....	110
7.3.1	Υλοποίηση και Σχεδιασμός Προσομοίωσης.....	110

7.3.2	Υλοποίηση και Σχεδιασμός Διάταξης.....	111
7.3.3	Ανάπτυξη Λογισμικού Προγράμματος.....	112
7.4	Αρχιτεκτονική Συστήματος	112
7.5	Εργαλεία Ανάπτυξης Συστήματος	113
7.6	Το Σύστημα.....	114
8	Συμπεράσματα.....	117
	Κατάλογος Αναφορών	119
	Κατάλογος Πηγών	126

Λίστα Σχημάτων

Εικόνα 1 Internet of Everything, Internet of Things, Web of Things.....	30
Εικόνα 2 Internet of Things, Internet of People, Industrial Internet of Things	30
Εικόνα 3 Συνοπτική ιστορική εξέλιξη.....	34
Εικόνα 4 Βασική αρχιτεκτονική IoT	34
Εικόνα 5 Βασική αρχιτεκτονική IoT	36
Εικόνα 6 Αρχιτεκτονική περιβαλλόντων έξυπνων πόλεων	44
Εικόνα 7 Επίπεδο Αντίληψης.....	50
Εικόνα 8 Λειτουργία αισθητήρων	52
Εικόνα 9 Συνολική λειτουργία	52
Εικόνα 10 Είδη αισθητήρων.....	56
Εικόνα 11 Είδη αισθητήρων.....	57
Εικόνα 12 Κατηγορίες αισθητήρων θερμοκρασίας.....	58
Εικόνα 13 Κατηγορίες αισθητήρων προσέγγισης	62
Εικόνα 14 Κατηγορίες αισθητήρων ποιότητας νερού.....	66
Εικόνα 15 Κατηγορίες χημικών αισθητήρων	67
Εικόνα 16 Κατηγορίες αισθητήρων αερίου.....	69
Εικόνα 17 Κατηγορίες βιοαισθητήρων	76
Εικόνα 18 Στάδια διαχείρισης αισθητήρα	82
Εικόνα 19 Data- centric αρχιτεκτονική Yin et al.	84
Εικόνα 20 Data driven αρχιτεκτονική Kumar	85
Εικόνα 21 Πολυεπίπεδη αρχιτεκτονική Gaura et al.	86
Εικόνα 22 Αρχιτεκτονική Umar et al.	87
Εικόνα 23 Αρχιτεκτονική Renart et al.....	87
Εικόνα 24 Αρχιτεκτονική πλατφόρμας διαχείρισης αισθητήρων.....	89
Εικόνα 25 Διάγραμμα Gartner.....	91
Εικόνα 26 Αρχιτεκτονική	92
Εικόνα 27 Πίνακας ελέγχου	93
Εικόνα 28 Αρχιτεκτονική	93
Εικόνα 29 Πίνακας ελέγχου	94
Εικόνα 30 Πίνακας Ελέγχου.....	95
Εικόνα 31 Αρχιτεκτονική	95
Εικόνα 32 Πίνακας Ελέγχου.....	96
Εικόνα 33 Αρχιτεκτονική	97
Εικόνα 34 Πίνακας Ελέγχου.....	98
Εικόνα 35 Αρχιτεκτονική	98
Εικόνα 36 Πίνακας Ελέγχου.....	99
Εικόνα 37 Αρχιτεκτονική	100
Εικόνα 38 Πίνακας Ελέγχου.....	101
Εικόνα 39 Αρχιτεκτονική	101
Εικόνα 40 Πίνακας Ελέγχου.....	102
Εικόνα 41 Αρχιτεκτονική	104

Εικόνα 42 Αρχιτεκτονική	105
Εικόνα 43 Εφαρμογές.....	105
Εικόνα 44 Πίνακας Ελέγχου.....	106
Εικόνα 45 Σχεδίαση προσομοίωσης.....	110
Εικόνα 46 Διάταξη προσομοίωσης.....	110
Εικόνα 47 Διάταξη κυκλώματος	111
Εικόνα 48 Αρχιτεκτονική συστήματος.....	112
Εικόνα 49 Ανάπτυξη κυκλώματος	115
Εικόνα 50 Κατάσταση απενεργοποιημένου διακόπτη	115
Εικόνα 51 Κατάσταση ενεργοποιημένου διακόπτη.....	116

Λίστα Πινάκων

Πίνακας 1 Παρόμοιοι όροι με το 'Διαδίκτυο των Πραγμάτων'	29
Πίνακας 2 Εφαρμογές IoT	37
Πίνακας 3 Βασικές δραστηριότητες	45
Πίνακας 4 Βασικότερα χαρακτηριστικά αισθητήρων	55
Πίνακας 5 Εύρος θερμοκρασίας θερμοζεύγων αισθητήρων	59
Πίνακας 6 Εύρος θερμοκρασίας RTD αισθητήρων	59
Πίνακας 7 Παραδείγματα αισθητήρων θερμοκρασίας	60
Πίνακας 8 Εύρος ανίχνευσης αισθητήρων προσέγγισης	62
Πίνακας 9 Παραδείγματα αισθητήρων προσέγγισης	63
Πίνακας 10 Παραδείγματα αισθητήρων ποιότητας νερού	64
Πίνακας 11 Παράδειγμα αισθητήρων ποιότητας νερού	66
Πίνακας 12 Παραδείγματα χημικών αισθητήρων	68
Πίνακας 13 Παραδείγματα αισθητήρων αερίου	70
Πίνακας 14 Παραδείγματα αισθητήρων καπνού	70
Πίνακας 15 Παραδείγματα αισθητήρων υπερύθρων	71
Πίνακας 16 Παραδείγματα αισθητήρων υπερύθρων	72
Πίνακας 17 Παραδείγματα αισθητήρων ανίχνευσης κίνησης	72
Πίνακας 18 Παραδείγματα επιταχυνσιόμετρων	73
Πίνακας 19 Παραδείγματα γυροσκοπίων	74
Πίνακας 20 Παραδείγματα αισθητήρων υγρασίας	74
Πίνακας 21 Παραδείγματα αισθητήρων ροής	75
Πίνακας 22 Παραδείγματα οπτικών αισθητήρων	76
Πίνακας 23 Παραδείγματα βιοαισθητήρων	77
Πίνακας 24 Είδη αισθητήρων σε εφαρμογές περιβαλλόντων 'έξυπνων πόλεων'	79
Πίνακας 25 Στοιχεία κυκλώματος	111
Πίνακας 26 Γλώσσες προγραμματισμού	112

Ακρωνύμια

Όρος/Συντομογραφία	Περιγραφή
°C	Celsius
°F	Fahrenheit
AI	Artificial Intelligence
API	Application Programming Interface
ARPANET	Advanced Research Project Agency Network
BSI	British Standards Institution
CoAP	Constrained Application Protocol
CSS	Cascading Style Sheets
CSV	Comma-separated values
D2D	Device to Device
DNS	Domain Name System
EC	European Commission
EP	European Parliament
EU	European Union
FCC	Federal Communications Commission
FP7	Framework Programme
HTML	HyperText Markup Language
HTTP	Hyper Text Transfer Protocol
HTTPS	Hypertext Transfer Protocol Secure
IA	Intelligent Agent
IBM	International Business Machines Corporation
IC	Integrated Circuit
ICT	Information Communication Technologies
II	Industrial Internet
IIoT	Industrial Internet of Things
IoE	Internet of Everything
IoP	Internet of People

IoT	Internet of Things
IP	Internet Protocol
IPSO	Internet Protocol for Smart Objects Alliance
IPv4	Internet Protocol version 4
IPv6	Internet Protocol version 6
IR	Infrared sensor
ITU	International Telecommunication Union
JSON	JavaScript Object Notation
LAN	Local Area Networks
MIT	Massachusetts Institute of Technology
ML	Machine Learning
MQTT	Message Queuing Telemetry Transport
NIBIB	National Institute of Biomedical Imaging and Bioengineering
NIC	National Intelligence Council
OMA-DM	Mobile Alliance - Device Management
OS	Optical sensors
QoL	Quality of Life
RDBMS	Relational Database Management System
RDF	Resource Description Framework
RFID	Radio Frequency Identification
RPL	Low-Power and Lossy Networ
RTD	Resistance Temperature Detector Sensor
RTK	Real-time kinematic positioning
SWG	Standard Wire Gauge
TCP	Transmission Control Protocol/Internet Protocol
TLS	Transport Layer Security
UDP	User Datagram Protocol
UI	User Interface
UV	Ultraviolet Radiation

VS	Visual Studio Code
WLAN	Wireless Local Area Network
WoT	Web of Things
WSDA	Wireless Sensor Data Aggregator
WSS	WebSocket Secure
WWW (W3)	World Wide Web
W3C	World Wide Web Consortium
XMPP	eXtensible Messaging and Presence Protocol
ΕΕ	Ευρωπαϊκή Ένωση
ΤΠΕ	Τεχνολογίες Πληροφορικής και Επικοινωνιών

Περίληψη

Η παρούσα διπλωματική θέση παρουσιάζει ως στόχο τη μελέτη των διαφορετικών ειδών αισθητήρων που υπάρχουν, με τις αντίστοιχες εφαρμογές τους σε περιβάλλοντα ‘έξυπνων πόλεων’, τη μελέτη της αρχιτεκτονικής των πλατφορμών διαχείρισης αισθητήρων, καθώς και την ανάπτυξη ενός λειτουργικού πρωτότυπου πληροφοριακού συστήματος λογισμικού ανοικτού κώδικα. Αρχικά, πραγματοποιείται η βιβλιογραφική ανασκόπηση με τη μελέτη της τεχνολογίας IoT, τα βασικά χαρακτηριστικά της, την ιστορική επισκόπηση από τη δεκαετία 1969 έως και τη σημερινή εποχή, την αρχιτεκτονική που παρουσιάζει, τους τομείς εφαρμογής της, καθώς και τις προκλήσεις που διαθέτει. Στη συνέχεια, πραγματοποιείται η ανάλυση των περιβαλλόντων ‘έξυπνων πόλεων’, τα κύρια χαρακτηριστικά τα οποία διαθέτουν, την αρχιτεκτονική που παρουσιάζουν και τους βασικούς τομείς δραστηριότητας. Επιπρόσθετα, μελετάται η βασική λειτουργία των αισθητήρων, τα βασικά χαρακτηριστικά που διαθέτουν, τα διαφορετικά είδη των αισθητήρων που υπάρχουν, καθώς και οι εφαρμογές που παρουσιάζουν σε περιβάλλοντα ‘έξυπνων πόλεων’. Ακόμα, μελετώνται τα στάδια της διαδικασίας διαχείρισης των αισθητήρων, οι βασικές λειτουργίες που διαθέτουν οι περισσότερες πλατφόρμες διαχείρισης αισθητήρων και η αρχιτεκτονική τους.

Στο πλαίσιο της διπλωματικής εργασίας πραγματοποιήθηκε η σχεδίαση και η ανάπτυξη ‘έξυπνου συστήματος’ απομακρυσμένης διαχείρισης συσκευής φωτισμού. Βασικός σκοπός του αποτελεί η δημιουργία λογισμικού για την αποστολή δεδομένων από τη συσκευή στο μικροελεγκτή Raspberry pi και η διαχείριση της λειτουργίας της συσκευής φωτισμού (ενεργοποίηση/απενεργοποίηση) με απομακρυσμένο τρόπο. Η ανάπτυξη του συστήματος πραγματοποιήθηκε τόσο σε επίπεδο λογισμικού όσο και υλικού, με χρήση των κατάλληλων εργαλείων και γλωσσών προγραμματισμού. Αρχικά, παρουσιάζεται η μεθοδολογική προσέγγιση στην οποία βασίστηκε η διαδικασία της ανάπτυξης του συστήματος απομακρυσμένης διαχείρισης συσκευής φωτισμού. Στη συνέχεια, αναλύονται τα βήματα που υλοποιήθηκαν τόσο σε επίπεδο λογισμικού όσο και υλικού με χρήση των κατάλληλων εργαλείων. Επιπλέον, παρουσιάζεται η αρχιτεκτονική του συστήματος με τα κύρια επίπεδα από τα οποία αποτελείται. Επιπρόσθετα, παρατίθενται τα εργαλεία ανάπτυξης που χρησιμοποιήθηκαν για την υλοποίηση του συστήματος. Τέλος, παρουσιάζεται το σύστημα το οποίο αναπτύχθηκε με τις κατάλληλες οθόνες εκτέλεσης.

Λέξεις Κλειδιά: Διαδίκτυο των Πραγμάτων, Διαδίκτυο των Πάντων, Τεχνολογίες Πληροφορικής και Επικοινωνιών – ΤΠΕ, Έξυπνη πόλη, Αισθητήρας, Έξυπνος αισθητήρας, Πλατφόρμα Διαχείρισης Αισθητήρων.

Abstract

Internet of Things in a Smart City Environment: Study of Sensors, Management Systems and Development of a Functional Prototype of Remote Device Management

The present diploma thesis aims to the research of the different types of sensors with their respective applications in smart cities environments, the study on the sensor management platforms' architecture, as well as the development of an open-source prototype information system. Initially, the literature review is carried out by studying the IoT technology, its main features, the historical evolution from 1969 until today, its architecture, its areas of applications, as well as its challenges. It is analysed the smart cities environments, their main characteristics, their architecture, and the main areas of activities. In addition, it is presented the basic function of sensors, their main characteristics, the different types of sensors and their application in smart cities environments. Furthermore, it is mentioned the stages of the sensor management platform process, the basic functions of the platforms and as well as the existing main architecture layers.

In the context of the present diploma thesis, it is implemented the design and the development of an open source smart system for the remote management of a lighting device. The main purpose is to create the software for the transmission of data received from the lighting device to Raspberry pi microcontroller and to control the device's operation (power on/off) with remotely means. The development of the present system is based on both software and hardware part, using the appropriate tools and programming languages. Initially, it is presented the methodological approach on which the development process of the remotely lighting device management system was based on. In addition, it is analysed the overall process both software and hardware level, and the system's architecture. Furthermore, it is presented the development tools and finally, it is presented the developed system with the appropriate execution screens.

Keywords: *Internet of Things, Internet of Everything, Information and Communication Technologies – ICT, Smart City, Sensor, Smart Sensor, Sensor Management Platform.*

1

Εισαγωγή

1.1 Το πλαίσιο της Διπλωματικής Εργασίας

Το Διαδίκτυο των πραγμάτων ή διαφορετικά Internet of Things - IoT αποτελείται από φυσικά αντικείμενα τα οποία διαθέτουν ενσωματωμένους αισθητήρες, παρουσιάζουν την ικανότητα επεξεργασίας των δεδομένων, χρησιμοποιώντας κατάλληλο λογισμικό, καθώς και άλλες τεχνολογίες για τη σύνδεση και την ανταλλαγή δεδομένων με άλλες συσκευές και συστήματα. Το τεχνολογικό εκείνο πεδίο έχει εξελιχθεί λόγω της σύγκλισης πολλαπλών τεχνολογιών, συμπεριλαμβανομένων των υπολογιστών, των ενσωματωμένων συστημάτων, των μικροελεγκτών, των αισθητήρων, καθώς και των Τεχνολογιών Πληροφορικής και Επικοινωνιών. Τα ενσωματωμένα συστήματα, τα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων, τα συστήματα ελέγχου και αυτοματισμού δημιουργούν και αποτελούν το ‘Διαδίκτυο των πραγμάτων’.

Το περιβάλλον ‘Έξυπνης Πόλης’ αποτελεί μία σημαντική εφαρμογή της τεχνολογίας IoT και χαρακτηρίζεται ως μια τεχνολογικά σύγχρονη αστική περιοχή η οποία χρησιμοποιεί διαφορετικούς τύπους μεθόδων, ενεργοποιητών και αισθητήρων για τη συλλογή των δεδομένων. Τα δεδομένα συλλέγονται από τους πολίτες, τις συσκευές, τα κτίρια, κ.α. υποβάλλονται σε επεξεργασία και αναλύονται, με σκοπό την παρακολούθηση και τη διαχείριση διαφόρων τομέων και συστημάτων, όπως η κυκλοφορία, οι μεταφορές, τα συστήματα ύδρευσης, τα συστήματα πληροφοριών, τα νοσοκομεία καθώς και κοινοτικές υπηρεσίες, κ.α. Τα περιβάλλοντα ‘Έξυπνων Πόλεων’ χαρακτηρίζονται ‘έξυπνα’ λόγω των διαφορετικών τρόπων που μπορούν να αξιοποιηθούν οι Τεχνολογίες Πληροφορικής και Επικοινωνιών για τη βελτίωση της ποιότητας ζωής των πολιτών.

Οι αισθητήρες αποτελούν ένα από τα βασικότερα δομικά στοιχεία στο περιβάλλον της ‘έξυπνης πόλης’ και κατέχουν αρκετά σημαντικό ρόλο, καθώς παρουσιάζουν τη δυνατότητα της ανίχνευσης και της συλλογής δεδομένων. Ανιχνεύουν διάφορα φυσικά μεγέθη, όπως η θερμοκρασία, η υγρασία, η φωτεινότητα, η ατμοσφαιρική πίεση, η ταχύτητα, κλπ, και συλλέγουν χρήσιμα δεδομένα σχετικά με τις τιμές των φυσικών μεγεθών. Απώτερος σκοπός του αποτελεί η σωστή διαχείριση των στοιχείων των περιβαλλόντων ‘έξυπνων πόλεων’ για τη βελτίωση της ποιότητας των παρεχόμενων υπηρεσιών, αλλά και των πολιτών. Τα περιβάλλοντα ‘έξυπνων πόλεων’ απαρτίζονται από ένα μεγάλο αριθμό συσκευών αισθητήρων με ποικίλα χαρακτηριστικά. Γι’ αυτό το λόγο κρίνεται αναγκαία η σωστή, αποτελεσματική και ενιαία διαχείριση τους μέσω της χρήσης πλατφορμών διαχείρισης αισθητήρων. Οι πλατφόρμες αποτελούν έναν από τους πιο αποτελεσματικούς τρόπους ελέγχου των αισθητήρων σε ένα σύστημα, παρέχοντας αυτοματισμό και προγραμματισμό σε κάποιες λειτουργίες των αισθητήρων, αξιοποιώντας σωστά τα διαφορετικά χαρακτηριστικά τους.

1.2 Σκοπός διπλωματικής

Στόχος της διπλωματικής εργασίας είναι η μελέτη των διαφορετικών ειδών των αισθητήρων που υπάρχουν με τις αντίστοιχες εφαρμογές τους σε περιβάλλοντα ‘έξυπνων πόλεων’, η μελέτη της αρχιτεκτονικής των πλατφορμών διαχείρισης αισθητήρων, καθώς και η ανάπτυξη ενός λειτουργικού πρωτότυπου πληροφοριακού συστήματος λογισμικού ανοικτού κώδικα, το οποίο θα επιτρέπει την απομακρυσμένη διαχείριση των λειτουργιών των αισθητήρων και σχετικών συσκευών που χρησιμοποιούνται σε περιβάλλοντα ‘Έξυπνων Πόλεων’.

1.3 Αντικείμενο διπλωματικής

Το αντικείμενο της διπλωματικής εργασίας πραγματεύεται τα εξής:

1. Η μελέτη παρόμοιων τεχνολογιών, εφαρμογών ή πληροφοριακών συστημάτων, που έχουν υλοποιηθεί είτε στην Ελλάδα είτε στο Εξωτερικό και συσχετίζονται με την απομακρυσμένη διαχείριση των αισθητήρων ή συσκευών σε περιβάλλοντα «Έξυπνων Πόλεων».
2. Η περιγραφή και η κατανόηση του προβλήματος που καλείται να αντιμετωπίσει το πληροφοριακό σύστημα προς ανάπτυξη, καθώς και ο καθορισμός των λειτουργικών και μη λειτουργικών απαιτήσεων για την υλοποίησή του.
3. Η σχεδίαση και η ανάπτυξη ενός λειτουργικού πρωτοτύπου για τον απομακρυσμένο έλεγχο μιας συσκευής IoT

1.4 Δομή της διπλωματικής

Η παρούσα εργασία απαρτίζεται από οκτώ κεφάλαια. Πιο συγκεκριμένα, στο **πρώτο κεφάλαιο** παρουσιάζονται τα βασικά στοιχεία που αφορούν την εκπόνηση της διπλωματικής θέσης.

Στο **δεύτερο κεφάλαιο** αναλύονται οι επίσημοι ορισμοί που έχουν αποδοθεί στην τεχνολογία IoT, καθώς και παρόμοιες έννοιες που χρησιμοποιούνται αντί εκείνης, παρουσιάζοντας όμως διαφορές μεταξύ τους. Επιπλέον, περιλαμβάνονται τα βασικά χαρακτηριστικά του IoT και η ιστορική επισκόπηση από τη δεκαετία 1969 έως και τη σημερινή εποχή. Αναλύεται η αρχιτεκτονική του IoT με τα τέσσερα (4) βασικά επίπεδα από τα οποία απαρτίζεται και παρουσιάζονται οι τομείς εφαρμογής του και οι προκλήσεις που διαθέτει.

Στο **τρίτο κεφάλαιο** αναλύονται οι επίσημοι ορισμοί που έχουν αποδοθεί στα περιβάλλοντα έξυπνων πόλεων, καθώς και τα κύρια χαρακτηριστικά τα οποία διαθέτουν. Στη συνέχεια, αναλύεται η αρχιτεκτονική που παρουσιάζουν τα περιβάλλοντα έξυπνων πόλεων και τα τρία κύρια δομικά στοιχεία στα οποία βασίζεται. Παρουσιάζονται, επίσης, οι εφαρμογές που διαθέτουν κατηγοριοποιημένες ανάλογα με τους βασικούς τομείς δραστηριότητας, σύμφωνα με το [Κεφάλαιο 2.6 Βασικοί Τομείς Εφαρμογής](#).

Στο **τέταρτο κεφάλαιο** παρουσιάζεται η μεθοδολογική προσέγγιση με τα βήματα τα οποία ακολουθήθηκαν για την ανάπτυξη της παρούσας διπλωματικής θέσης. Στη συνέχεια, αναλύονται τα δύο βασικά μέση στα οποία βασίστηκε η μεθοδολογία, το θεωρητικό μέρος, καθώς και το μέρος της υλοποίησης. Παρουσιάζονται, επίσης, τα εργαλεία που χρησιμοποιήθηκαν για τη μελέτη των ερευνητικών άρθρων με βάση τις λέξεις κλειδιά.

Στο **πέμπτο κεφάλαιο** παρουσιάζονται διάφοροι ορισμοί σχετικά με τους αισθητήρες και αναλύεται η βασική τους λειτουργία, μελετώντας τη διαδικασία με την οποία οι αισθητήρες επεξεργάζονται τα σήματα εισόδου (φυσικά μεγέθη), προκειμένου να μετατραπούν σε κατάλληλη μορφή σήματος εξόδου. Στη συνέχεια, επισημαίνονται και αναλύονται τα βασικά χαρακτηριστικά που διαθέτουν οι αισθητήρες και παρατίθενται τα είδη των αισθητήρων που υπάρχουν ταξινομημένοι ανάλογα με τους περιβαλλοντικούς παραμέτρους που μπορούν να ανιχνεύσουν. Επιπρόσθετα, παρουσιάζονται οι εφαρμογές των διάφορων τύπων αισθητήρων σε περιβάλλοντα ‘έξυπνων πόλεων’.

Στο **έκτο κεφάλαιο** παρουσιάζεται η διαδικασία διαχείρισης αισθητήρων με τα στάδια που περιλαμβάνει. Αναλύονται οι βασικές λειτουργίες που διαθέτουν οι περισσότερες πλατφόρμες διαχείρισης αισθητήρων και πραγματοποιείται μελέτη της αρχιτεκτονικής συστημάτων διαχείρισης αισθητήρων. Επιπλέον, αναλύεται η αρχιτεκτονική των πλατφορμών διαχείρισης αισθητήρων και τα χαρακτηριστικά τους. Στη συνέχεια, παρουσιάζονται οι δέκα δημοφιλέστερες πλατφόρμες διαχείρισης αισθητήρων με τα βασικά χαρακτηριστικά τους και διατυπώνονται οι προκλήσεις τους.

Στο **έβδομο κεφάλαιο** παρουσιάζεται η μεθοδολογική προσέγγιση στην οποία βασίστηκε η διαδικασία της ανάπτυξης του συστήματος απομακρυσμένης διαχείρισης συσκευής φωτισμού. Στη συνέχεια, αναλύονται τα βήματα που υλοποιήθηκαν τόσο σε επίπεδο λογισμικού όσο και υλικού με χρήση των κατάλληλων εργαλείων. Επιπλέον, παρουσιάζεται η αρχιτεκτονική του συστήματος με τα κύρια επίπεδα από τα οποία αποτελείται. Επιπρόσθετα, παρατίθενται τα εργαλεία ανάπτυξης που

χρησιμοποιήθηκαν για την υλοποίηση του συστήματος και παρουσιάζεται, επίσης, το σύστημα το οποίο αναπτύχθηκε με τις κατάλληλες οθόνες εκτέλεσης.

Στο **όγδοο κεφάλαιο** παρουσιάζονται τα συμπεράσματα με τις προκλήσεις στην τεχνολογία IoT, τα περιβάλλοντα ‘έξυπνων πόλεων’, και τις πλατφόρμες διαχείρισης αισθητήρων. Τέλος, παρατίθενται ο κατάλογος αναφορών και πηγών με τις ερευνητικές και επιστημονικές δημοσιεύσεις και τα βιβλία που βασίστηκε η βιβλιογραφική ανασκόπηση.

2

Διαδίκτυο των Πραγμάτων – Internet of Things

2.1 Εισαγωγή

Η τεχνολογία ‘Διαδίκτυο των Πραγμάτων (Internet of Things - IoT)’ καλείται και ‘Διαδίκτυο των Πάντων (Internet of Everything - IoE)’, όπως αναφέρεται στη δημοσιευμένη έρευνα [4] των Lee et al. (2015). [1], [2], [3], [4] Αποτελείται από φυσικά αντικείμενα που διαθέτουν ενσωματωμένους αισθητήρες, παρουσιάζουν την ικανότητα επεξεργασίας και χρησιμοποιούν κατάλληλο λογισμικό και άλλες τεχνολογίες για τη σύνδεση και την ανταλλαγή δεδομένων με άλλες συσκευές και συστήματα μέσω του Διαδικτύου ή άλλων δικτύων επικοινωνιών. [5] Βασίζεται σε τεχνολογίες τόσο υλικού (hardware) όσο και λογισμικού (software) για την αποθήκευση, επεξεργασία και ανάκτηση των δεδομένων χρησιμοποιώντας τις κατάλληλες τεχνολογίες πληροφορικής.

[6] Πρόκειται για μία πρωτοποριακή τεχνολογία, η οποία αναπτύσσεται και εξελίσσεται με ραγδαίους ρυθμούς λόγω των ποικίλων δυνατοτήτων που παρουσιάζει, καθώς και την ικανότητα που κατέχει να ενσωματώνεται σε περίπλοκα συστήματα. [5] Ιδανικός στόχος της είναι η σύνδεση των αντικειμένων οποιαδήποτε χρονική στιγμή, οπουδήποτε, με οτιδήποτε χρησιμοποιώντας οποιοδήποτε δίκτυο. [7] Η τεχνολογία IoT παρουσιάζει πολλές δυνατότητες και σε συνδυασμό με διάφορες επιπλέον τεχνολογίες, όπως η ρομποτική (robotics), η τεχνητή νοημοσύνη (Artificial Intelligence - AI), η μηχανική μάθησης (Machine Learning - ML), η τρισδιάστατη εκτύπωση (3D printing), οι κβαντικοί υπολογιστές (quantum computing), η νανοτεχνολογία (nanotechnology) κλπ, οι δυνατότητες της κλιμακώνονται.

Σε αυτό το κεφάλαιο αναλύονται οι επίσημοι ορισμοί που έχουν αποδοθεί στη τεχνολογία IoT, καθώς και παρόμοιες έννοιες που χρησιμοποιούνται αντί εκείνης, παρουσιάζοντας όμως διαφορές μεταξύ τους. Επιπλέον, περιλαμβάνονται τα βασικά χαρακτηριστικά του IoT και η ιστορική επισκόπηση από τη δεκαετία 1969 έως και τη σημερινή εποχή. Αναλύεται η αρχιτεκτονική του IoT με τα τέσσερα (4) βασικά επίπεδα από τα οποία απαρτίζεται και τέλος, παρουσιάζονται οι τομείς εφαρμογής του και οι προκλήσεις που διαθέτει.

2.2 Ορισμοί

Σκοπός της τεχνολογίας IoT αποτελεί η δημιουργία αυτόνομων δικτύων με αυτοματοποιημένες ενέργειες που ενσωματώνουν τις Τεχνολογίες Πληροφορικής και Επικοινωνιών – ΤΠΕ (Information Communication Technologies – ICT). Η ιδέα της τεχνολογίας του IoT χρησιμοποιείται εδώ και αρκετό χρονικό διάστημα, [8] ήδη από το 1982 μέχρι και σήμερα, κι έχουν διαμορφωθεί αρκετοί ορισμοί. Παρακάτω παρατίθενται με χρονολογική σειρά μερικοί από τους επτά βασικότερους ορισμούς που έχουν αναπτυχθεί.

1. Cisco Systems¹ (2013)

«Το ‘Διαδίκτυο των Πραγμάτων’ ή διαφορετικά ‘Διαδίκτυο των Αντικειμένων’ (Internet of Objects) αναφέρεται στη δικτυακή σύνδεση φυσικών αντικειμένων».

2. Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο (European Parliament – EP)² (2015)

Η έννοια ‘Διαδίκτυο των Πραγμάτων’ (IoT) ορίζεται ως «ένα κατακευματισμένο δίκτυο ή δίκτυα (distributed network) φυσικών αντικειμένων που μπορούν να αισθάνονται ή να ενεργούν στο περιβάλλον τους, καθώς και να επικοινωνούν μεταξύ τους, με άλλα μηχανήματα ή υπολογιστές. Εκείνα τα ‘έξυπνα αντικείμενα (smart objects)’ αποτελούν ένα ευρύ φάσμα από απλά αντικείμενα με ενσωματωμένους αισθητήρες, συσκευές νοικοκυριού, βιομηχανικά ρομπότ (industrial robots), αυτοκίνητα, τρένα, αλλά φορητά αντικείμενα (wearable objects), όπως για παράδειγμα ρολόγια, γυαλιά, ή βραχιόλια».

3. International Business Machines Corporation – IBM³ (2016)

«Το ‘Διαδίκτυο των Πραγμάτων’ είναι η έννοια της σύνδεσης οποιασδήποτε συσκευής (εφόσον διαθέτει διακόπτη on/off) στο Διαδίκτυο και σε άλλες συνδεδεμένες συσκευές. Το IoT είναι ένα δίκτυο συνδεδεμένων πραγμάτων και ανθρώπων – τα οποία συλλέγουν και μοιράζονται δεδομένα σχετικά με τον τρόπο που χρησιμοποιούνται και για το περιβάλλον γύρω τους».

¹ <https://www.cisco.com/c/en/us/solutions/internet-of-things/overview.html>

² [https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/BRIE/2015/557012/EPRS_BRI\(2015\)557012_EN.pdf](https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/BRIE/2015/557012/EPRS_BRI(2015)557012_EN.pdf)

³ <https://www.ibm.com/blogs/internet-of-things/what-is-the-iot/>

4. Επιστημονικό περιοδικό IEEE (IEEE Communications Magazine)⁴ (2017)

Όπως αναφέρεται στη δημοσιευμένη έρευνα [6] (Tokognon et al., 2017), «Ο όρος IoT σχετίζεται σημασιολογικά με δύο λέξεις «Διαδίκτυο» και «Πράγματα», όπου το Διαδίκτυο είναι γνωστό ως το παγκόσμιο σύστημα που χρησιμοποιεί το Πρωτόκολλο Ελέγχου Μετάδοσης/Πρωτόκολλο Διαδικτύου (Transmission Control Protocol/Internet Protocol - TCP/IP) για τη διασύνδεση διαφορετικών υπολογιστικών δικτύων, ενώ τα πράγματα αναφέρονται σε οποιαδήποτε αντικείμενα μας περιβάλλουν κι έχουν την ικανότητα να ανιχνεύουν και να συλλέγουν δεδομένα σχετικά με το περιβάλλον του».

5. Βιβλιογραφική Βάση Δεδομένων Science Direct⁵ (2021)

Σύμφωνα με την επιστημονική έρευνα [9] (Kashani et al., 2021), «Το ‘Διαδίκτυο των Πραγμάτων’ (IoT) ορίζεται ως ένα διαρκώς διευρυνόμενο οικοσύστημα που ενσωματώνει λογισμικό, υλικό, φυσικά αντικείμενα και υπολογιστικές συσκευές για την επικοινωνία, τη συλλογή και την ανταλλαγή δεδομένων».

6. Oracle Corporation⁶

«Το Διαδίκτυο των Πραγμάτων (IoT) περιγράφεται ως το δίκτυο φυσικών αντικειμένων — ‘πράγματα’ — που είναι ενσωματωμένα με αισθητήρες, λογισμικό και άλλες τεχνολογίες με σκοπό τη σύνδεση και την ανταλλαγή δεδομένων με άλλες συσκευές και συστήματα μέσω του Διαδικτύου. Εκείνες οι συσκευές κυμαίνονται από συνηθισμένα οικιακά αντικείμενα έως εξελιγμένα βιομηχανικά εργαλεία».

7. Λεξικό της Oxford⁷

Σύμφωνα με το λεξικό της Oxford «Διαδίκτυο των Πραγμάτων (ουσιαστικό) είναι η διασύνδεση, μέσω του Διαδικτύου, υπολογιστικών συσκευών ενσωματωμένων σε καθημερινά αντικείμενα, που τους επιτρέπουν να στέλνουν και να λαμβάνουν δεδομένα».

Σύμφωνα με όλους τους παραπάνω ορισμούς, παρατηρείται η ύπαρξη **κοινών στοιχείων** στη διατύπωση της έννοιας του Διαδικτύου των Πραγμάτων. Κρίνεται ότι μία ενιαία περιγραφή του όρου εκείνου θα μπορούσε να είναι ο εξής: **«Το ‘Διαδίκτυο των Πραγμάτων’ (IoT) είναι η σύνδεση των φυσικών αντικειμένων με το Διαδίκτυο, αλλά και μεταξύ τους, γεγονός που επιτυγχάνεται με την ενσωμάτωση των υπολογιστικών συσκευών και των αισθητήρων σε εκείνα. Οι καθημερινές οικιακές, καθώς και οι βιομηχανικές συσκευές, αποτελούν τα φυσικά αντικείμενα. Σκοπός της διασύνδεσης των αντικειμένων είναι η ανίχνευση, συλλογή, μετάδοση, αποθήκευση, και η επεξεργασία των δεδομένων που λαμβάνονται κατά τη χρήση τους, αλλά και από το περιβάλλον τους».**

⁴ <https://www.ieee.org/>

⁵ <https://www.sciencedirect.com/>

⁶ <https://www.oracle.com/internet-of-things/what-is-iot/>

⁷ https://www.lexico.com/en/definition/internet_of_things

2.2.1 Παρόμοιες Έννοιες

[10] Παράλληλα με την ανάπτυξη του όρου ‘Διαδικτύου των Πραγμάτων’ διαμορφώθηκαν και επιπρόσθετοι όροι παρόμοιας σημασίας με εκείνον, οι οποίοι μπορούσαν να ανταποκριθούν και να περιγράψουν την έννοια της διασύνδεσης. Παρακάτω παρατίθενται μερικές από τις βασικότερες έννοιες που έχουν αναπτυχθεί.

1. Διαδίκτυο των Πάντων (Internet of Everything - IoE)

Cisco Systems⁸ (2013)

«Το ‘Διαδίκτυο των Πάντων’ είναι η δικτυακή σύνδεση των ανθρώπων, διαδικασιών, δεδομένων και των πραγμάτων».

Βιβλιογραφική Βάση Δεδομένων Science Direct (2021)

Όπως αναφέρεται στη δημοσιευμένη έρευνα [11] (Langley et al., 2021) «Το ‘Διαδίκτυο των Πάντων’ αναφέρεται ως ένα δίκτυο συνδέσεων μεταξύ έξυπνων πραγμάτων, ανθρώπων, διαδικασιών και δεδομένων με ροές δεδομένων/πληροφοριών σε πραγματικό χρόνο μεταξύ τους».

2. Βιομηχανικό Διαδίκτυο (Industrial Internet of Things - IIoT)

Oracle Corporation⁹

«Το ‘Βιομηχανικό Διαδίκτυο’ αναφέρεται στην εφαρμογή της τεχνολογίας IoT σε βιομηχανικές ρυθμίσεις, ειδικά όσον αφορά τον έλεγχο αισθητήρων και συσκευών που χρησιμοποιούν τεχνολογίες cloud».

Βιβλιογραφική Βάση Δεδομένων Science Direct (2020)

Σύμφωνα με την επιστημονική έρευνα [12] (Khan et al., 2020), «Το ‘Βιομηχανικό Διαδίκτυο’ είναι το δίκτυο έξυπνων και υψηλής σύνδεσης βιομηχανικών στοιχείων που αναπτύσσονται για την επίτευξη υψηλού ρυθμού παραγωγής με μειωμένο λειτουργικό κόστος μέσω παρακολούθησης σε πραγματικό χρόνο, αποτελεσματικής διαχείρισης και έλεγχος βιομηχανικών διαδικασιών, περιουσιακών στοιχείων και χρόνου λειτουργίας».

3. ‘Ιστός των Πραγμάτων’ (Web of Things - WoT)

Επιστημονικό περιοδικό IEEE (IEEE Communications Magazine, 2021)

Όπως αναφέρεται στη δημοσιευμένη έρευνα [13] (Anees, 2021), «Ο Ιστός των Πραγμάτων’ είναι μια βελτιωμένη και πολλά υποσχόμενη υποδομή του Διαδικτύου των πραγμάτων (IoT) το οποίο επιτρέπει στα ‘έξυπνα πράγματα’ να ενσωματωθούν όχι μόνο στο διαδίκτυο αλλά και στον Ιστό. Επιτρέπει στους χρήστες να μοιράζονται και να δημιουργούν περιεχόμενο καθώς και

⁸ <https://www.cisco.com/c/en/us/solutions/internet-of-things/overview.html>

⁹ <https://www.oracle.com/internet-of-things/what-is-iiot/>

να παρέχουν δυνατότητες για συγκέντρωση και ανάλυση δεδομένων μέσω ενός δικτύου ώστε να αποτελέσουν μέρος του Παγκόσμιου Ιστού (World Wide Web - WWW)».

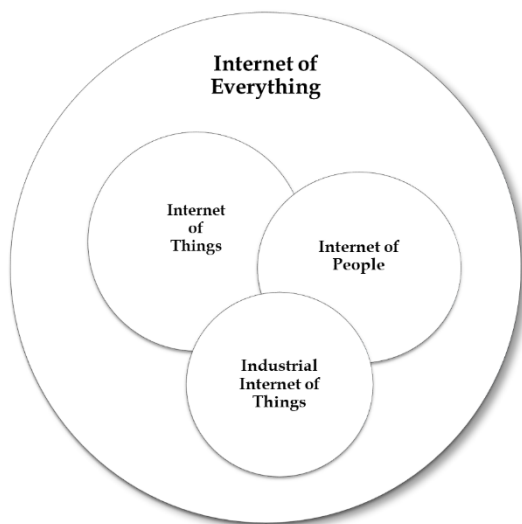
Παρατηρείται ότι οι παραπάνω έννοιες σχετίζονται με τον όρο IoT και διαθέτουν παρόμοια σημασία, όμως πραγματεύονται ελαφρώς διαφορετικούς ορισμούς. Στον Πίνακα 1 παρατίθενται οι όροι που αναλύθηκαν παραπάνω με τα γενικά χαρακτηριστικά τους και τη διαφορά την οποία παρουσιάζουν συγκριτικά με τον όρο IoT.

Πίνακας 1 Παρόμοιοι όροι με το 'Διαδίκτυο των Πραγμάτων'

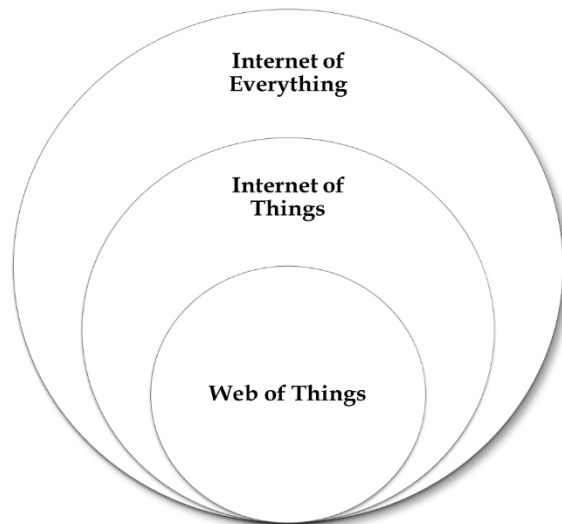
Όρος (Ελληνικά)	Όρος (Αγγλικά)	Χαρακτηριστικό	Διαφορά με το Διαδίκτυο των Πραγμάτων
Διαδίκτυο των Πάντων	Internet of Everything - IoE	Αποτελείται από τα εξής κύρια στοιχεία: Δρώντες: Οι άνθρωποι, Δεδομένα: Η επεξεργασία δεδομένων για τη λήψη αποφάσεων, Διαδικασίες: Η μετάδοση και η μεταφορά των δεδομένων, Πράγματα: Τα αντικείμενα και οι συσκευές που συνδέονται στο Διαδίκτυο.	[14] Περιλαμβάνει τις εξής τρεις έννοιες: Διαδίκτυο των Πραγμάτων (Internet of Things – IoT) Διαδίκτυο των Ανθρώπων (Internet of People - IoP) Βιομηχανικό Διαδίκτυο (Industrial Internet of Things - IIoT) - Αποτελεί το υπερσύνολο της τεχνολογίας IoT. Στο παρακάτω διάγραμμα αναπαρίστανται η σχέση των τριών εννοιών.
Διαδίκτυο των Ανθρώπων	Internet of People - IoP	Σύνδεση εφαρμογών στο Διαδίκτυο που χρησιμοποιούνται και διαχειρίζονται από τους ανθρώπους.	Το επίκεντρο της τεχνολογίας IoP είναι ο άνθρωπος, ο οποίος χειρίζεται τις εφαρμογές. Το επίκεντρο της τεχνολογίας IoT είναι οι συσκευές και τα αντικείμενα που συνδέονται στο Διαδίκτυο.
Βιομηχανικό Διαδίκτυο	Industrial Internet of Things - IIoT	Εφαρμογή της τεχνολογίας IoT σε βιομηχανικές ρυθμίσεις.	[15] Επικεντρώνεται σε δεδομένα που προέρχονται από τον βιομηχανικό χώρο.

Όρος (Ελληνικά)	Όρος (Αγγλικά)	Χαρακτηριστικό	Διαφορά με το Διαδίκτυο των Πραγμάτων
Ιστός των Πραγμάτων	Web of Things - WoT	• [13] Η ενσωμάτωση αντικειμένων στο Διαδίκτυο και στον Ιστό. • [13] Στόχος του WoT είναι η προσβασιμότητα των αντικειμένων μέσω του Ιστού. • [10] Εστιάζει κατά κύριο λόγο στην αρχιτεκτονική του λογισμικού. • Βασίζεται στα πρότυπα World Wide Web Consortium (W3C).	Αποτελεί το υποσύνολο της τεχνολογίας IoT. Στο παρακάτω διάγραμμα αναπαρίστανται η σχέση μεταξύ των εννοιών Internet of Everything, Internet of Things και Web of Things.

Στο πρώτο διάγραμμα παρακάτω (Εικόνα 1) αναπαρίστανται η σχέση μεταξύ των τριών εννοιών Internet of Things, Internet of People και Industrial Internet of Things, ενώ στο δεύτερο διάγραμμα (Εικόνα 2) η σχέση μεταξύ των εννοιών Internet of Everything, Internet of Things και Web of Things.



Εικόνα 2 Internet of Things, Internet of People, Industrial Internet of Things



Εικόνα 1 Internet of Everything, Internet of Things, Web of Things

2.3 Χαρακτηριστικά

[5] Οι τεχνολογίες πληροφορικής που χρησιμοποιούνται για την ανάπτυξη IoT εφαρμογών απαιτείται να προσαρμόζονται σύμφωνα με διάφορους παράγοντες όπως η ενεργειακή απόδοση, η ταχύτητα, η αξιοπιστία. [5], [16] Τα κύρια χαρακτηριστικά της τεχνολογίας IoT είναι η διασυνδεσιμότητα, η ετερογένεια, η ευελιξία, η κλίμακα, η ασφάλεια και αναλύονται παρακάτω.

Διασυνδεσιμότητα (Interconnectivity): [5] Η διασυνδεσιμότητα αφορά τη διασύνδεση οποιουδήποτε αντικειμένου σε ένα δίκτυο, χρησιμοποιώντας Τεχνολογίες Πληροφορικής και Επικοινωνιών. Η συνδεσιμότητα σχετίζεται με την προσβασιμότητα (η σύνδεση αντικειμένου στο δίκτυο) και τη συμβατότητα (χρήση και επεξεργασία δεδομένων).

Ετερογένεια (Heterogeneity): [5] Ένα σύστημα IoT απαρτίζεται από ένα μεγάλο αριθμό συσκευών διαφορετικών μεταξύ τους που συνδέονται με το Διαδίκτυο. Οι συσκευές εκείνες διαχειρίζονται και από διαφορετικές πλατφόρμες, προκειμένου να είναι ικανές να επικοινωνούν και να αλληλεπιδρούν μεταξύ τους ή με άλλες συσκευές.

Ευελιξία (Flexibility) – Δυναμικές αλλαγές (Dynamic changes): [5] Η ευελιξία αφορά τη μεταβολή της κατάστασης των συσκευών/αντικειμένων που περιλαμβάνονται σε ένα IoT σύστημα, καθώς και τη μεταβολή του αριθμού τους. Η κατάσταση και ο αριθμός των διασυνδεμένων συσκευών μεταβάλλονται με δυναμικό τρόπο και ειδικότερα η κατάσταση τους βασίζεται στην ενεργοποίηση (on)/απενεργοποίηση (off), τη σύνδεση/αποσύνδεση, το περιβάλλον/θέση και την ταχύτητα τους.

Κλίμακα (Scale): [5], [16] Ο αριθμός των αντικειμένων/συσκευών σε ένα IoT σύστημα, που διαχειρίζονται άλλες συσκευές και επικοινωνούν με εκείνες είναι μεγάλος. [17] Αντίστοιχα και ο αριθμός των δικτύων που συνδέονται οι συσκευές θα πρέπει να κλιμακωθεί ώστε να μπορεί να ανταποκριθεί αποτελεσματικά και γρήγορα στις απαιτήσεις του συστήματος.

Ασφάλεια (Safety): Η προστασία της ιδιωτικής ζωής, η ασφάλεια των προσωπικών δεδομένων, του δικτύου και των δεδομένων που διακινούνται σε ένα IoT σύστημα είναι εξίσου ένα από τα σημαντικότερα χαρακτηριστικά του.

2.4 Ιστορική Επισκόπηση

[8], [18] Η πρωταρχική ιδέα του IoT χρονολογείται από το 1982, όμως η ανάπτυξη σημαντικών τεχνολογιών προϋπήρχε από τη δεκαετία του 1960. [18], [19], [20], [21] Ειδικότερα, το 1969 αναπτύχθηκε το πρώτο έργο δικτύου από το Υπουργείο Άμυνας των Ηνωμένων Πολιτειών Αμερικής – ΗΠΑ, γνωστό ως ‘Advanced Research Project Agency Network (ARPANET)’. [18], [19] Το συγκεκριμένο έργο χρησιμοποιήθηκε για την ανταλλαγή πληροφοριών και εργασιών ερευνητικού περιεχομένου, καθώς και για τη διασύνδεση των υπολογιστών με τα κέντρα

υπολογιστών του Υπουργείου Άμυνας των ΗΠΑ. [18], [22], [23] Στις 23 Ιανουαρίου του 1973 αναπτύχθηκε το πρώτο δίπλωμα ευρεσιτεχνίας από τον Mario W. Cardullo στις ΗΠΑ, ο οποίος δημιούργησε ετικέτα ταυτοποίησης μέσω ραδιοσυχνότητας (Radio-Frequency Identification - RFID tag) με επανεγγράψιμη μνήμη. [18] Μία επιπλέον σημαντική τεχνολογία για την εξέλιξη του IoT είναι η δημιουργία των ενσωματωμένων υπολογιστικών συστημάτων (embedded computer system) τη δεκαετία του 1974. [18] Τα συγκεκριμένα υπολογιστικά συστήματα χρησιμοποιούσαν υπολογιστές, μικροελεγκτές (microcontrollers) και ήταν ενσωματωμένα σε μεγαλύτερα υπολογιστικά συστήματα.

[8], [24], [25] Η αρχική ιδέα του δικτύου ‘έξυπνων συσκευών’ χρονολογείται από τις αρχές της δεκαετίας του 1980 και συγκεκριμένα το 1982, με τη δημιουργία ενός αυτόματου πωλητή Coca-Cola στο Πανεπιστήμιο Carnegie Mellon. [8], [25] Ο συγκεκριμένος πωλητής παρουσίαζε τη δυνατότητα της ενημέρωσης του αποθέματος των αναψυκτικών που διέθετε τη δεδομένη χρονική στιγμή, καθώς και της θερμοκρασίας τους. [26], [27] Το 1985 επινοήθηκε ο όρος IoT από τον επιχειρηματία και πρόεδρο της ασφαλιστικής εταιρείας ‘Progressive Insurance Company’, Peter T. Lewis. [26] Ο όρος αναφέρθηκε σε ομιλία του στην Ομοσπονδιακή Επιτροπή Επικοινωνιών των ΗΠΑ (Federal Communications Commission (FCC)) για το 15ο Νομοθετικό Συνέδριο στο Κογκρέσο Black Caucus (Congressional Black Caucus 15th Legislative Weekend Conference). [18], [26] Σύμφωνα με τον οποίο “IoT είναι η ενσωμάτωση ανθρώπων, διαδικασιών, συσκευών και της τεχνολογίας, σε ένα κοινό δίκτυο, για την απομακρυσμένη παρακολούθηση, χειρισμό και αξιολόγηση των τάσεων των συσκευών”.

[24], [28], [29] Το 1990 δημιουργήθηκε η πρώτη συσκευή, μία τοστιέρα, από τον John Romkey, της οποίας οι λειτουργίες της ενεργοποίησης και της απενεργοποίησης ήταν ελεγχόμενες από το Διαδίκτυο. [8], [29], [18], [30] Το 1991 παρουσιάστηκε η έννοια των πανταχού παρόντων υπολογιστών (ubiquitous computing) από τον Mark Weiser. [24], [25] Το 1994 αναπτύχθηκε ένα φορητό σύστημα (wearable multimedia system) από τον υποψήφιο διδάκτωρ στο Ινστιτούτο Τεχνολογίας της Massachusetts, Steve Mann. [24], [25], [31] Το συγκεκριμένο σύστημα ήταν μία φορητή κάμερα (wearable camera – WearCam) η οποία εκτός από την επεξεργασία βίντεο, μπορούσε να συνδεθεί στο Διαδίκτυο με ασύρματο τρόπο. [32] Στις 12 Ιουλίου του 1998 κατασκευάστηκε το πρώτο ψυγείο με ενσύρματη σύνδεση στο Διαδίκτυο, στην Ολλανδία από τον αναλυτή συστημάτων, Alex van Es. [32] Το συγκεκριμένο ψυγείο ονομάστηκε ‘Quantified Fridge’ και μπορούσε να καταγράφει τον αριθμό των φορών που άνοιγε η πόρτα. [7], [8], [24], [25], [33], [34], [35], [36] Το 1999 ο σύμβουλος καθηγητή, Paul Saffo, ανέφερε τον όρο της ‘Επικοινωνίας Συσκευή προς Συσκευή (Device to Device Communication – D2D)’ και ο επιχειρηματίας και ιδρυτής του Κέντρου Αυτόματης Αναγνώρισης (Auto-ID Center) στο Ινστιτούτο Τεχνολογίας της Μασαχουσέτης (Massachusetts Institute of Technology - MIT), Kevin Ashton, χρησιμοποίησε για πρώτη φορά τον όρο IoT και τον απέδωσε σε σύστημα διασυνδεδεμένων συσκευών. [7], [37] Την ίδια χρονική περίοδο, με την ίδρυση του κέντρου Auto-ID αναπτύχθηκε ένα ολοκληρωμένο κύκλωμα (chip) για την αποθήκευση των πληροφοριών, καθώς και για τη σύνδεση των αντικειμένων με το Διαδίκτυο.

[24], [25], [36], [38] Το 2000 κατασκευάστηκε ένα ‘έξυπνο ψυγείο’ από την πολυεθνική εταιρεία LG, το οποίο παρουσίαζε την ικανότητα της προσαρμογής της θερμοκρασίας ανάλογα με την ποσότητα των προϊόντων που υπήρχαν σε εκείνο. [36], [39] Το 2002 δημιουργήθηκε μία γυάλινη σφαίρα, γνωστή ως Ambient Orb από τον David Rose στο ερευνητικό εργαστήριο MIT Media Lab. Σύμφωνα με την έρευνα [36], [39] «η συγκεκριμένη σφαίρα μπορούσε να παρακολουθεί τον δείκτη χρηματιστηριακής αγοράς, Dow Jones, προσωπικά χαρτοφυλάκια (personal portfolios), τον καιρό και άλλες πηγές δεδομένων και να αλλάζει το χρώμα της με βάση εκείνες τις παραμέτρους». [24], [39] Το 2003 η τεχνολογία IoT άρχισε να γίνεται περισσότερο αποδεκτή, να εφαρμόζεται σε διάφορα έργα και να αναφέρεται σε σημαντικές εκδόσεις, όπως στη βρετανική εφημερίδα ‘The Guardian’, στο αμερικανικό επιστημονικό περιοδικό ‘Scientific American’, στην αμερικανική εφημερίδα ‘Boston Globe’, καθώς και σε τίτλους βιβλίων από τη Διεθνή Ένωση Τηλεπικοινωνιών (International Telecommunication Union - ITU) και από την Ευρωπαϊκή Ένωση (European Union -EU). Όπως αναφέρεται στο [39] το 2005 δημοσιεύτηκε για πρώτη φορά από την Διεθνή Ένωση Τηλεπικοινωνιών (International Telecommunication Union - ITU) αναφορά με θέμα «Μία νέα διάσταση έχει προστεθεί στον κόσμο των πληροφοριακών και επικοινωνιακών συστημάτων: οποιαδήποτε στιγμή, οπουδήποτε συνδεσιμότητα για οποιονδήποτε, εμείς θα έχουμε τώρα συνδεσιμότητα για οτιδήποτε. Οι συνδέσεις θα πολλαπλασιάζονται και θα δημιουργούν μία εντελώς νέα δυναμική δικτύου από δίκτυα – ένα Διαδίκτυο των Πραγμάτων». [20], [39] Το 2006 η τεχνολογία IoT αναγνωρίστηκε από την Ευρωπαϊκή Ένωση, ενώ τον Μάρτιο του 2008 πραγματοποιήθηκε το πρώτο Διεθνές Συνέδριο για τη Βιομηχανία και την Ακαδημία (International Conference for Industry and Academia)¹⁰ και αφορούσε τη συγκεκριμένη τεχνολογία. [20], [39] Την ίδια δεκαετία δημιουργήθηκε η Συμμαχία ‘Internet Protocol for Smart Objects Alliance – IPSO’ η οποία αποτελούνταν από τις εξής εταιρείες: Ericsson, Google, Cisco Systems, SAP, SUN Business Network (SBN), Fujitsu and Bosch, Intel Corporation. [20], [39] Σκοπός εκείνης της συμμαχίας ήταν η προώθηση, η διάδοση της τεχνολογίας IoT και συγκεκριμένα του Πρωτοκόλλου Διαδικτύου (Internet Protocol – IP) προκειμένου να χρησιμοποιηθεί σε δίκτυα ‘έξυπνων αντικειμένων’. [36] Το 2008 η τεχνολογία IoT χαρακτηρίστηκε ως μία από τις έξι ‘τεχνολογίες πολιτικής χρήσης (disruptive civil technologies)’ από το Εθνικό Συμβούλιο Πληροφοριών των ΗΠΑ (National Intelligence Council - NIC). Το 2009 ξεκίνησε η χρήση των ‘έξυπνων συσκευών’, όπως ‘έξυπνα τηλέφωνα (smartphones)’, tablets, laptops, δηλαδή συσκευές που μπορούσαν να συνδεθούν στο Internet.

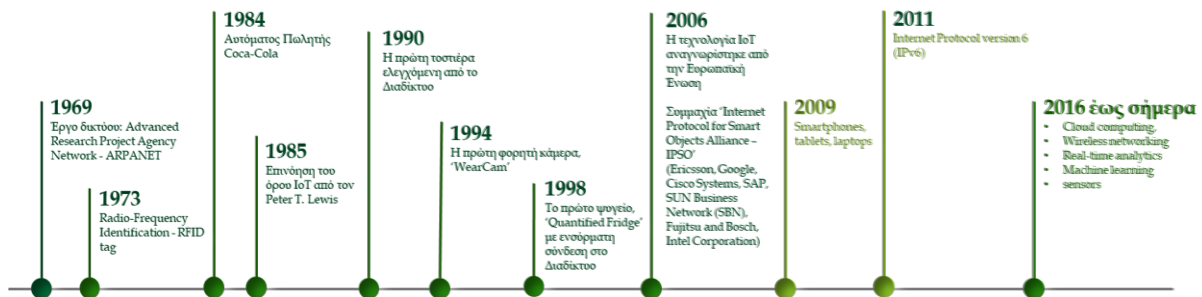
[20], [25], [36], [38] Το 2011 κυκλοφόρησε νέα έκδοση του Πρωτοκόλλου Διαδικτύου, Internet Protocol version 6 (IPv6), η οποία επέτρεπε τη χρήση περισσότερων IP διευθύνσεων (IP address) για τη διασύνδεση συσκευών. Επιπλέον, η Ευρωπαϊκή Ένωση στήριξε οικονομικά το πρόγραμμα με ονομασία ‘Framework Programme - FP7 ICT Work Programme 2011-2012’, το οποίο σύμφωνα με τον επίσημο ιστότοπο¹¹ αφορούσε «Προκλήσεις στρατηγικού ενδιαφέροντος» καθώς και «Μελλοντικές αναδυόμενες τεχνολογίες». [20], [25] Την ίδια δεκαετία, σημαντικές εταιρείες όπως Cisco Systems, Ericsson και IBM επένδυσαν σημαντικά ποσά για την τεχνολογία

¹⁰ <https://iot-conference.org/iot2008/>

¹¹ https://www.eenbasque.net/index.php?option=com_content&task=view&id=9526&Itemid=195

IoT στον τομέα της εκπαίδευσης και του marketing. [7] Επιπλέον, η τεχνολογία IoT συμπεριλήφθηκε στο γράφημα Gartner Hype Cycle, το οποίο αναπαριστά τα στάδια εξέλιξης των νέων τεχνολογιών και των καινοτομιών, περιλαμβάνοντας το αρχικό στάδιο της σύλληψης της ιδέας (conception), της ωριμότητας (maturity), αλλά και της υιοθέτησης (adoption) υπό τη μορφή γραφήματος. [26] Από το 2016 κι έπειτα, η τεχνολογία IoT έχει παρουσιάσει ραγδαία εξέλιξη, χρησιμοποιώντας πολλαπλές τεχνολογίες, όπως το υπολογιστικό νέφος (cloud computing), ασύρματα δίκτυα (wireless networking), ανάλυση σε πραγματικό χρόνο (real-time analytics), μηχανική μάθησης και διαφόρων ειδών αισθητήρων (sensors).

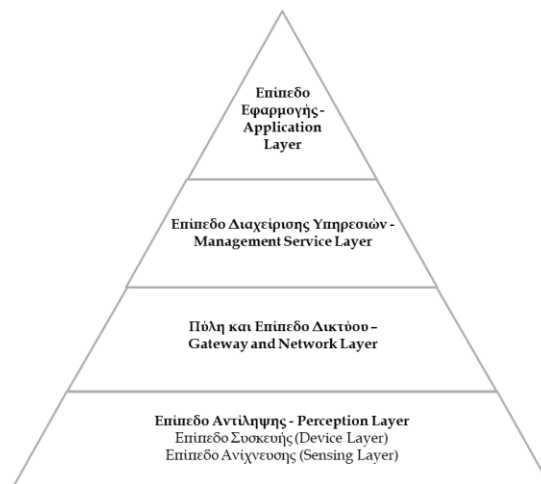
Στη παρακάτω Εικόνα 3 αναπαρίστανται τα σημαντικότερα γεγονότα με χρονολογική σειρά από το 1969 έως και σήμερα, σύμφωνα με την ιστορική επισκόπηση που αναλύθηκε στη συγκεκριμένη υποενότητα.



Εικόνα 3 Συνοπτική ιστορική εξέλιξη

2.5 Αρχιτεκτονική

Η επικρατέστερη αρχιτεκτονική IoT απαρτίζεται από τέσσερα (4) βασικά επίπεδα τα οποία αλληλεπιδρούν μεταξύ τους, για την ανίχνευση, συλλογή, μετάδοση, αποθήκευση, επεξεργασία των πληροφοριών που διακινούνται στο σύστημα. [40] Τα επίπεδα εκείνα είναι το Επίπεδο Αντίληψης, η Πύλη και Επίπεδο Δικτύου, το Επίπεδο Διαχείρισης Υπηρεσιών, το Επίπεδο Εφαρμογής και αναλύονται παρακάτω.



Εικόνα 4 Βασική αρχιτεκτονική IoT

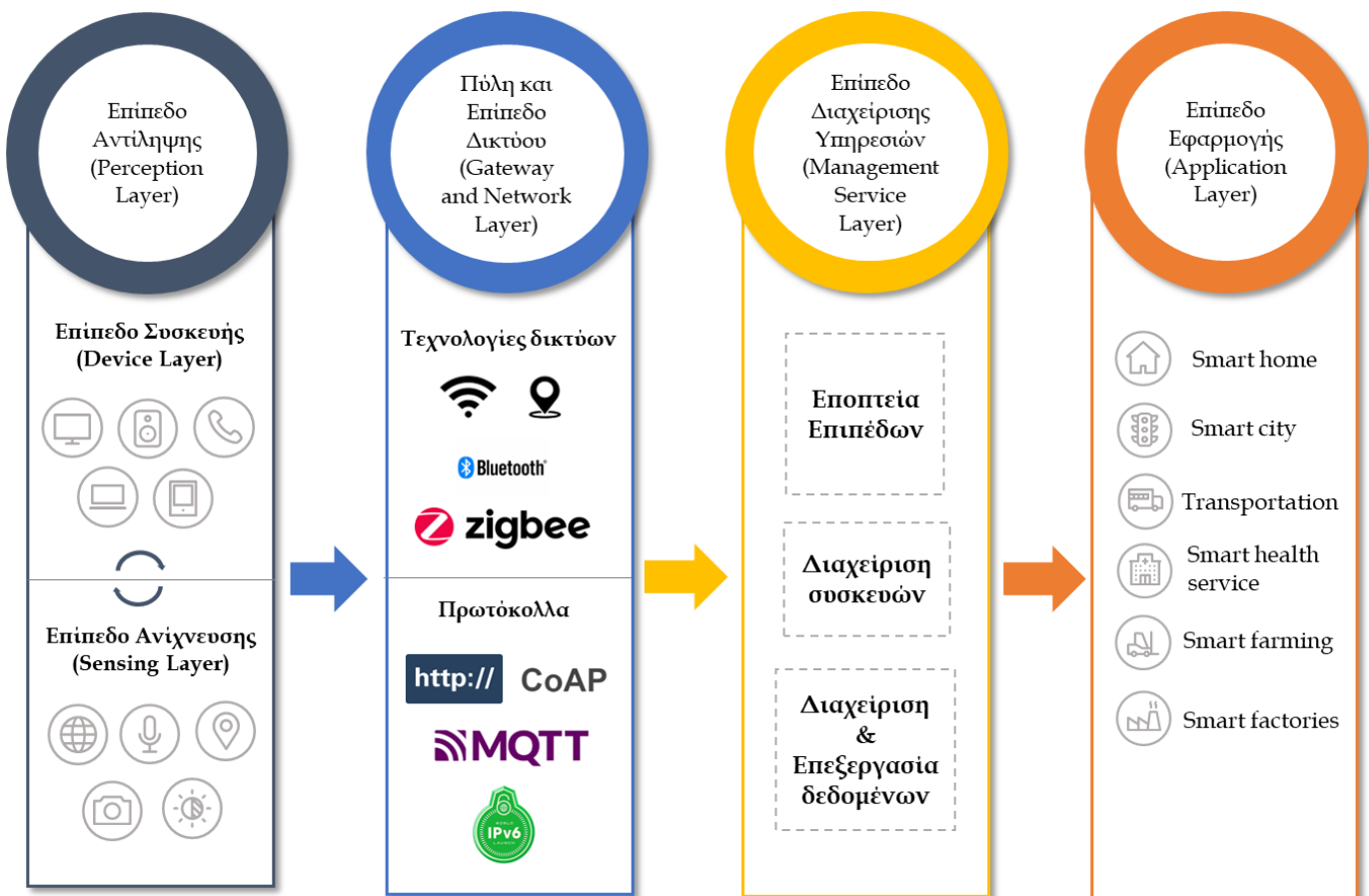
Επίπεδο Αντίληψης (Perception Layer): [7] Στο Επίπεδο Αντίληψης πραγματοποιείται η ανίχνευση και η αναγνώριση των συσκευών που υπάρχουν στο IoT σύστημα, με σκοπό τη συλλογή των πληροφοριών από εκείνες και αποτελείται από δύο (2) επίπεδα, το **Επίπεδο Συσκευής (Device Layer)** και το **Επίπεδο Ανίχνευσης (Sensing Layer)**. [7], [41] Στο Επίπεδο Συσκευής περιλαμβάνονται τα φυσικά αντικείμενα, οι καθημερινές και οι βιομηχανικές συσκευές στα οποία έχουν ενσωματωθεί αισθητήρες. [20], [41] Το Επίπεδο Ανίχνευσης αποτελείται από τις συσκευές αισθητήρων, οι οποίες συλλέγουν πληροφορίες από τα αντικείμενα σε πραγματικό χρόνο. [7], [20] Οι αισθητήρες χαρακτηρίζονται από διάφορους τύπους και καλύπτουν διαφορετικούς σκοπούς ανάλογα με την συσκευή στην οποία έχουν ενσωματωθεί. [7], [20], [41] Μπορούν να ανιχνεύσουν ποικίλα μεγέθη, όπως η θερμοκρασία, η υγρασία, η φωτεινότητα, η ατμοσφαιρική πίεση, η ταχύτητα, κλπ.. [5], [7] Αφού πραγματοποιηθεί η συλλογή των πληροφοριών, οι αισθητήρες τις μετατρέπουν σε ψηφιακό σήμα, προκειμένου να μεταδοθούν στο Επίπεδο Δικτύου.

Πύλη και Επίπεδο Δικτύου (Gateway and Network Layer): [7], [20] Το Επίπεδο Δικτύου λαμβάνει τα δεδομένα και τις πληροφορίες που συλλέχθηκαν στο Επίπεδο Αντίληψης σε ψηφιακή μορφή. [7], [20] Καλείται διαφορετικά και **Επίπεδο Μεταφοράς (Transmission Layer)** καθώς μεταδίδει τις πληροφορίες με ασφάλεια και ταχύτητα στο κατάλληλο σύστημα που είναι υπεύθυνο για την επεξεργασία τους. [20], [42] Η ασφάλεια, η ορθότητα (λήψη χωρίς λάθη) και η ταχύτητα διασφαλίζονται μέσω της χρήσης των πρωτοκόλλων, όπως Internet Protocol version 4 (IPv4), Internet Protocol version 6 (IPv6), Hyper Text Transfer Protocol (HTTP), MQ Telemetry Transport (MQTT), Constrained Application Protocol (CoAP), κλπ.. [5], [7], [20] Μέσο μετάδοσης των πληροφοριών αποτελούν οι τεχνολογίες δικτύων, είτε ενσύρματες (Local Area Networks – LAN), είτε ασύρματες (Bluetooth, Wi-Fi, 4G, 5G, ZigBee).

Επίπεδο Διαχείρισης Υπηρεσιών (Management Service Layer): [42] Το Επίπεδο Διαχείρισης Υπηρεσιών λειτουργεί ως διεπαφή (interface) μεταξύ του Επιπέδου Δικτύου και του Επιπέδου Εφαρμογής. [42] Είναι υπεύθυνο για τη διαχείριση των συσκευών που υπάρχουν στο IoT σύστημα, των αποθηκευμένων δεδομένων, αλλά και των δεδομένων που λαμβάνονται σε πραγματικό χρόνο, χρησιμοποιώντας τα κατάλληλα εργαλεία διαχείρισης. [43] Στο συγκεκριμένο επίπεδο πραγματοποιείται η εποπτεία/παρακολούθηση των υπόλοιπων επιπέδων (Επίπεδο Αντίληψης, Πύλη και Επίπεδο Δικτύου, Επίπεδο Εφαρμογών) προκειμένου να εξασφαλιστεί η αποτελεσματική λειτουργία τους. [5] Παρέχονται δυνατότητες επεξεργασίας δεδομένων μέσω διαφόρων τεχνικών, όπως εργαλεία για analytics με τα οποία μπορούν να εξαχθούν σημαντικές πληροφορίες από μεγάλο όγκο δεδομένων και η επεξεργασία τους να πραγματοποιηθεί εύκολα και γρήγορα. [5] Ένα επιπρόσθετο παράδειγμα για τις τεχνικές επεξεργασίας δεδομένων είναι το φιλτράρισμα δεδομένων (data filtering) το οποίο μπορεί να επιτευχθεί με τη μέθοδο της ανωνυμοποίησης των δεδομένων, της ενοποίησης των δεδομένων, τον συγχρονισμό των δεδομένων και της αφαίρεσης. [5] Σημαντικός παράγοντας είναι και η ασφάλεια του IoT συστήματος, η εξασφάλιση της μη παραβίασης των βασικών αρχών: Εμπιστευτικότητα (confidentiality), Πιστοποίηση (authentication), Ακεραιότητα (integrity), Μη αποποίηση (Non repudiation) και Διαθεσιμότητα (availability).

Επίπεδο Εφαρμογής (Application Layer): [41], [44] Το Επίπεδο Εφαρμογής είναι υπεύθυνο για την υλοποίηση των εφαρμογών του IoT συστήματος, οι οποίες βασίζονται κατά κύριο λόγο στις επιθυμητές λειτουργίες του τελικού χρήστη. [41] Οι εφαρμογές χρησιμοποιούν τα επεξεργασμένα δεδομένα και με εκείνες ο χρήστης μπορεί να προσεγγίσει τις έξυπνες συσκευές που περιλαμβάνονται στο Επίπεδο Αντίληψης. [5], [41] Οι εφαρμογές του IoT συστήματος αναφέρονται σε ‘έξυπνα περιβάλλοντα’ τα οποία καλύπτουν διάφορους τομείς, όπως ‘έξυπνα σπίτια (smart homes)’, ‘έξυπνες πόλεις (smart cities)’, ‘έξυπνη μετακίνηση (smart transportation)’, ‘έξυπνο σύστημα υγείας (smart health service)’, ‘έξυπνη γεωργία (smart farming)’, κλπ.

Στη παρακάτω Εικόνα 5 αναπαρίστανται η αρχιτεκτονική ενός IoT συστήματος περιλαμβάνοντας τα βασικά επίπεδα (Επίπεδο Αντίληψης, Πύλη και Επίπεδο Δικτύου, Επίπεδο Διαχείρισης Υπηρεσιών, Επίπεδο Εφαρμογής) και η μεταξύ τους αλληλεπίδραση.



Εικόνα 5 Βασική αρχιτεκτονική IoT

2.6 Βασικοί Τομείς Εφαρμογής

Η τεχνολογία IoT παρουσιάζει πολυάριθμες εφαρμογές σε ποικίλους τομείς, διευκολύνοντας σε σημαντικό βαθμό την καθημερινότητα των ανθρώπων, προσδίδοντας μεγαλύτερη άνεση και ασφάλεια. Απώτερος στόχος της είναι η ελαχιστοποίηση του κόστους, του χρόνου, καθώς και η εξοικονόμηση της ενέργειας. [41], [42], [45] Για την αποτελεσματικότερη μελέτη των εφαρμογών και των δραστηριοτήτων του IoT, οι βασικότερες εφαρμογές ταξινομήθηκαν και ομαδοποιήθηκαν σε τρεις κύριες κατηγορίες/τομείς ανάλογα με τις επιπτώσεις που παρουσιάζουν στην **Κοινωνία**, στο **Περιβάλλον** και στη **Βιομηχανία - Οικονομία**. Ο κάθε τομέας διαθέτει συγκεκριμένες δραστηριότητες, περιπτώσεις χρήσεις (use case) και αναλύονται λεπτομερώς παρακάτω. [46] Κρίνεται ότι η τεχνολογία IoT συνεχώς εξελίσσεται και αναπτύσσεται, με αποτέλεσμα να προκύπτουν συνεχώς αρκετές νέες πιθανές εφαρμογές.

Στον παρακάτω Πίνακα 2 παρατίθενται οι βασικές εφαρμογές της τεχνολογίας IoT ταξινομημένες σε τρεις κατηγορίες, Κοινωνία, Περιβάλλον και Βιομηχανία – Οικονομία. Η αναλυτική περιγραφή των βασικών εφαρμογών παρουσιάζεται στο [Κεφάλαιο 3.5 Βασικοί Τομείς Δραστηριότητας](#).

Πίνακας 2 Εφαρμογές IoT

Τομέας	Περιγραφή	Βασικές εφαρμογές
Κοινωνία	Περιλαμβάνονται δραστηριότητες που σχετίζονται με τη βελτίωση των υπηρεσιών της κοινωνίας, των πόλεων και της ποιότητας ζωής των πολιτών.	• Έξυπνα Κτίρια και Σπίτια (Smart Buildings and Homes), • Έξυπνες Πόλεις (Smart Cities), • Έξυπνο Σύστημα Κυκλοφορίας (Smart Traffic System), • Έξυπνοι Χώροι Στάθμευσης (Smart Parking lots), • Έξυπνος Φωτισμός (Smart Lighting), • Έξυπνη Υγεία (Smart Health), • Έξυπνα Νοσοκομεία (Smart Hospitals), • Έξυπνα Δίκτυα και Έξυπνη Ενέργεια (Smart Grids and Smart Energy), • Έξυπνοι Φορείς και Διοικήσεις (Smart Agencies and Administrations), • Έξυπνη Διακυβέρνηση (Smart Governance)
Περιβάλλον	Περιλαμβάνονται δραστηριότητες που σχετίζονται με την προστασία του περιβάλλοντος και	• Έξυπνο Περιβάλλον (Smart environment), • Έξυπνη Διαχείριση Ενέργειας (Smart Energy Management), • Έξυπνη Παρακολούθηση Ποιότητας Νερού (Smart Water Quality Monitoring),

Τομέας	Περιγραφή	Βασικές εφαρμογές
	των φυσικών πόρων.	- Έξυπνη Παρακολούθηση Ποιότητας Αέρα (Smart Air Quality Monitoring), - Έξυπνη Διαχείριση Απορριμμάτων (Smart Waste Management), - Έξυπνη Παροχή Νερού (Smart Water Supply)
Βιομηχανία - Οικονομία	Περιλαμβάνονται δραστηριότητες που σχετίζονται με τον τομέα της οικονομίας και των εμπορικών συναλλαγών.	- Έξυπνη Γεωργία (Smart Agriculture), - Έξυπνη Βιομηχανία (Smart Industry)

2.7 Προκλήσεις

Παρόλο που η τεχνολογία IoT είναι αρκετά διαδεδομένη και διαθέτει αρκετές εφαρμογές σε ποικίλους τομείς, όπως αναλύθηκε στο [Κεφάλαιο 2.6 Βασικοί Τομείς Εφαρμογής](#), παρουσιάζει και αρκετές προκλήσεις. Μερικές από τις βασικότερες προκλήσεις που θα ήταν καλό να αντιμετωπιστούν είναι η Επεκτασιμότητα, η Κατανάλωση Ενέργειας, η Διαλειτουργικότητα, η Ασφάλεια και η Ιδιωτικότητα και αναλύονται στη συνέχεια.

Επεκτασιμότητα (Scalability): [48] Ο αριθμός των συνδεδεμένων συσκευών συνεχώς αυξάνεται με αποτέλεσμα να αποτελεί μία σημαντική πρόκληση η επεκτασιμότητα. Ο χώρος των διευθύνσεων θα πρέπει να μπορεί να υποστηρίξει το μεγάλο αριθμό των συσκευών και τα εργαλεία αποθήκευσης, επεξεργασίας, διαχείρισης το μεγάλο αριθμό των δεδομένων που παράγονται.

Κατανάλωση Ενέργειας (Energy Management): Σύμφωνα με το επιστημονικό άρθρο [42] πραγματοποιήθηκε έρευνα το 2017 σχετικά με την κατανάλωση της ενέργειας των συσκευών συνδεδεμένων στο Διαδίκτυο και υπολογίστηκε ότι μέχρι το 2025 οι συσκευές θα καταναλώνουν το 20% της παγκόσμιας κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας. Λόγω του συνεχούς αυξανόμενου αριθμού των συσκευών σε ένα IoT σύστημα, θα πρέπει να εφαρμοστούν οι κατάλληλες πολιτικές ενεργειακής διαχείρισης και οι πλατφόρμες διαχείρισης θα πρέπει να παρέχουν πληροφορίες σχετικά με την κατανάλωση της ενέργειας των συνδεδεμένων συσκευών, καθώς και ρυθμίσεις προγραμματισμού της λειτουργίας των συσκευών για καλύτερη εξοικονόμηση της ενέργειας.

Διαλειτουργικότητα (Interoperability): [49] Ένα IoT σύστημα απαρτίζεται από αρκετά επίπεδα (βλ. [Κεφάλαιο 2.5 Αρχιτεκτονική](#)), ποικίλες συσκευές, διαφορετικά είδη αισθητήρων, δικτύων επικοινωνίας και διαφορετικές πλατφόρμες διαχείρισης και αποθήκευσης. [49] Με αυτόν τον

τρόπο, πολλές φορές αποτελεί πρόκληση η μεταξύ τους συνεργασία και ο διαμοιρασμός των δεδομένων, με αποτέλεσμα να δημιουργούνται προβλήματα στη συντήρηση του συστήματος, αλλά και στην επεκτασιμότητα.

Ασφάλεια και Ιδιωτικότητα (Security and Privacy): [50] Η ασφάλεια και η ιδιωτικότητα αποτελούν μία σημαντική πρόκληση σε ένα IoT σύστημα, λόγω του μεγάλου όγκου ανταλλαγής δεδομένων και πληροφοριών μέσω των δικτύων. Με αυτόν τον τρόπο, μπορεί να υπάρξουν παραβιάσεις στο σύστημα, ακόμη και καταστροφές ή απώλειες δεδομένων. Τα IoT συστήματα θα πρέπει να διαθέτουν μηχανισμούς ασφάλειας και να τηρούν τις τέσσερις βασικές αρχές, Εμπιστευτικότητα, Πιστοποίηση, Ακεραιότητα, Μη αποποίηση και Διαθεσιμότητα.

3

Έξυπνες πόλεις – Smart cities

3.1 Εισαγωγή

[7], [51] Το περιβάλλον ‘έξυπνης πόλης’ αποτελεί μία σημαντική εφαρμογή της τεχνολογίας IoT, η οποία ενσωματώνει τις ΤΠΕ και άλλες συναφείς τεχνολογίες και σε συνδυασμό με τη χρήση των ‘έξυπνων συσκευών’ μπορεί να βελτιώσει τις λειτουργίες και τις υπηρεσίες μίας πόλης. [7] Η εκτεταμένη χρήση και υιοθέτηση των ΤΠΕ για την εξέλιξη και την ανάπτυξη των πόλεων παρουσιάζει ως αποτέλεσμα τη δημιουργία του περιβάλλοντος των ‘έξυπνων πόλεων’. [52] Αρχικός σκοπός της αποτέλεσε η αξιοποίηση των δημόσιων πόρων, καθώς και των υπηρεσιών με αποτελεσματικό τρόπο. [7] Στην πραγματικότητα, σκοπός της αποτελεί η παροχή μίας καλύτερης και ασφαλέστερης ποιότητας ζωής (quality of life - QoL) για τους πολίτες, με το λιγότερο δυνατό κόστος και τη λιγότερη δυνατή κατανάλωση ενέργειας.

[53] Η ανάγκη για την άμβλυνση και κατ’ επέκταση για την αντιμετώπιση των προκλήσεων που αναπτύχθηκαν από την αύξηση του αστικού πληθυσμού και την ταχεία παγκόσμια αστικοποίηση, συνέβαλε στη δημιουργία του περιβάλλοντος ‘έξυπνων πόλεων’. [54], [55], [56] Η γρήγορη αστική ανάπτυξη έχει προκαλέσει αρκετά προβλήματα, όπως η ρύπανση του περιβάλλοντος, η εξάντληση των φυσικών πόρων, η μείωση των ενεργειακών πόρων, η κυκλοφοριακή συμφόρηση, κ.α., γι’ αυτό το λόγο κρίνεται αναγκαία η εύρεση τρόπων, μηχανισμών και λύσεων για την ορθή διαχείριση αυτών των προκλήσεων. Οι περισσότερες προσεγγίσεις που έχουν αναπτυχθεί για να εξαλειφθούν εκείνες οι προκλήσεις βασίζονται στην αξιοποίηση των ΤΠΕ, οι οποίες συνεισφέρουν στη δημιουργία περιβάλλοντος των ‘έξυπνων πόλεων’. [54] Οι

λειτουργικοί μηχανισμοί που διαθέτουν τα περιβάλλοντα ‘έξυπνων πόλεων’ μπορούν να βοηθήσουν στην εξάλειψη των προβλημάτων που επιφέρει το φαινόμενο της αστικοποίησης.

Σε αυτό το κεφάλαιο αναλύονται οι επίσημοι ορισμοί που έχουν αποδοθεί στα περιβάλλοντα έξυπνων πόλεων, καθώς και τα κύρια χαρακτηριστικά τα οποία διαθέτουν. Στη συνέχεια, αναλύεται η αρχιτεκτονική που παρουσιάζουν τα περιβάλλοντα έξυπνων πόλεων και τα τρία κύρια δομικά στοιχεία στα οποία βασίζεται. Τέλος, παρουσιάζονται οι εφαρμογές που διαθέτουν κατηγοριοποιημένες ανάλογα με τους βασικούς τομείς δραστηριότητας, σύμφωνα με το [Κεφάλαιο 2.6 Βασικοί Τομείς Εφαρμογής](#).

3.2 Ορισμοί

Η έννοια του περιβάλλοντος ‘έξυπνων πόλεων’ είναι αρκετά διαδεδομένη και αποκτά συνεχώς όλο και μεγαλύτερη αποδοχή. Σύμφωνα με την έρευνα [57] (Tadili et al., 2019), ο όρος ‘έξυπνες πόλεις’ εισήχθη για πρώτη φορά από την εταιρεία IBM και στη συνέχεια αναπτύχθηκαν ποικίλες εννοιολογικές παραλλαγές, οι οποίες αντικαθιστούσαν τη λέξη ‘έξυπνη (smart)’ με άλλες έννοιες. [58] Μερικά παραδείγματα εκείνων των παραλλαγών είναι ‘πόλη της πληροφορίας (information city)’, ‘ψηφιακή πόλη (digital city)’, ‘ευφυής πόλης (intelligent city)’, ‘βιώσιμη πόλη (sustainable city)’, ‘πόλη της γνώσης (knowledge city)’.

Για την καλύτερη κατανόηση του όρου ‘έξυπνες πόλεις’ κρίνεται σημαντική η μελέτη των εννοιών που έχουν διαμορφωθεί σύμφωνα με επιστημονικά ερευνητικά άρθρα. Παρακάτω παρατίθενται με χρονολογική σειρά μερικοί από τους οκτώ βασικότερους ορισμούς που έχουν αναπτυχθεί.

1. Βιβλίο «Smart cities in Europe» (2011)

Όπως αναφέρεται στο δημοσιευμένο βιβλίο [59] με τίτλο «Smart cities in Europe» (Caragliu et al. (2011), «Μια πόλη χαρακτηρίζεται ως έξυπνη εάν εξισορροπεί την οικονομική, κοινωνική και περιβαλλοντική ανάπτυξη και εάν συνδέεται με δημοκρατικές διαδικασίες μέσω μιας συμμετοχικής κυβέρνησης. Οι έξυπνες πόλεις περιλαμβάνουν την εφαρμογή και την ανάπτυξη υποδομών τεχνολογίας πληροφοριών και επικοινωνιών (ΤΠΕ) για τη στήριξη της κοινωνικής και αστικής ανάπτυξης μέσω της βελτίωσης της οικονομίας, της συμμετοχής των πολιτών και της κυβερνητικής αποτελεσματικότητας.»

2. Επιστημονική πλατφόρμα Springer Link¹² (2014)

Σύμφωνα με το επιστημονικό άρθρο [60] (Piro et al., 2014), «Μια έξυπνη πόλη προορίζεται ως ένα αστικό περιβάλλον το οποίο, υποστηριζόμενο από διάχυτα συστήματα ΤΠΕ, είναι σε θέση να

¹² <https://link.springer.com/>

προσφέρει προηγμένες και καινοτόμες υπηρεσίες στους πολίτες προκειμένου να βελτιώσει τη συνολική ποιότητα της ζωής τους.»

3. Βιβλιογραφική Βάση Δεδομένων Science Direct (2015)

Όπως αναφέρεται στο δημοσιευμένο άρθρο [61] (Teli et al., 2015), «Μια έξυπνη πόλη χαρακτηρίζεται από τη “χρήση προηγμένων, ολοκληρωμένων υλικών, αισθητήρων, ηλεκτρονικών και δικτύων που συνδέονται με ηλεκτρονικά συστήματα που αποτελούνται από βάσεις δεδομένων, αλγόριθμους παρακολούθησης και λήψης αποφάσεων”.»

4. Βιβλιογραφική Βάση Δεδομένων Science Direct (2015)

Όπως αναφέρεται στο δημοσιευμένο άρθρο [62] (Gretzel et al., 2015), «Μια έξυπνη πόλη είναι μια πόλη που χρησιμοποιεί προηγμένες ΤΠΕ για τη βελτιστοποίηση της παραγωγής και κατανάλωσης πόρων.»

5. Επιστημονική πλατφόρμα Springer Link¹³ (2017)

Όπως αναφέρεται στη δημοσιευμένη έρευνα [63] (Peng et al., 2017), «Οι έξυπνες πόλεις ορίζονται ως πόλεις που αναπτύχθηκαν για να χρησιμοποιούν ένα σύνολο προηγμένων τεχνολογιών που περιλαμβάνουν: έξυπνες συσκευές υλικού, π.χ. αισθητήρες, έξυπνοι μετρητές, έξυπνα οχήματα, έξυπνα τηλέφωνα, δίκτυα κινητής τηλεφωνίας, τεχνολογίες αποθήκευσης δεδομένων και λογισμικό. »

6. Βιβλιογραφική Βάση Δεδομένων Science Direct (2018)

Σύμφωνα με το επιστημονικό άρθρο [64] (Chong et al., 2018), «Η έξυπνη πόλη είναι μια ενοποίηση υποδομών και υπηρεσιών που διαμεσολαβούνται από την τεχνολογία, κοινωνικής μάθησης για την ενίσχυση της ανθρώπινης υποδομής και διακυβέρνησης για θεσμική βελτίωση και συμμετοχή των πολιτών.»

7. Ευρωπαϊκή Ένωση (European Commission - EC)¹⁴

Σύμφωνα με την Ευρωπαϊκή Ένωση (ΕΕ, European Commission - EC) «Μια “Έξυπνη Πόλη” είναι ένα μέρος όπου τα παραδοσιακά δίκτυα και οι υπηρεσίες γίνονται πιο αποτελεσματικά με τη χρήση ψηφιακών λύσεων προς όφελος των κατοίκων και των επιχειρήσεων.»

8. Ινστιτούτο Βρετανικών Προτύπων (British Standards Institution – BSI)

Σύμφωνα με το Ινστιτούτο Βρετανικών Προτύπων¹⁵ (British Standards Institution – BSI) «Ως “Έξυπνη Πόλη” ορίζεται η αποτελεσματική ενσωμάτωση φυσικών, ψηφιακών και ανθρώπινων

¹³ <https://link.springer.com/>

¹⁴ https://ec.europa.eu/info/eu-regional-and-urban-development/topics/cities-and-urban-development/city-initiatives/smart-cities_en

¹⁵ <https://www.bsigroup.com/en-GB/>

συστημάτων σε δομημένο περιβάλλον για την παροχή βιώσιμου, ευημερούν και χωρίς αποκλεισμούς μέλλον για τους πολίτες της.»

3.3 Χαρακτηριστικά

Σύμφωνα με [51] (Silva et al., 2018), τα περιβάλλοντα έξυπνων πόλεων διαθέτουν τέσσερα (4) κύρια χαρακτηριστικά, τη Βιωσιμότητα, την Ποιότητα Ζωής, την Αστικοποίηση, την Ευφυία και αναλύονται στη συνέχεια.

1. Βιωσιμότητα (Sustainability)

[51] Η βιωσιμότητα είναι ένα βασικό χαρακτηριστικό των περιβαλλόντων έξυπνων πόλεων, το οποίο σχετίζεται με τη δυνατότητα μία πόλης να μπορεί να διατηρήσει την ισορροπία της ως προς διάφορους τομείς. [51] Οι τομείς εκείνοι περιλαμβάνουν τις υποδομές, τη διακυβέρνηση, το περιβάλλον (ρύπανση, διαχείριση αποβλήτων, κλιματική αλλαγή), τη διαχείριση της κατανάλωσης της ενέργειας, την οικονομία και την υγεία.

2. Ποιότητα Ζωής (Quality of life – QoL)

[51] Η ποιότητα ζωής είναι ένα εξίσου σημαντικό χαρακτηριστικό των περιβαλλόντων έξυπνων πόλεων, το οποίο σχετίζεται με την ευημερία των πολιτών ως προς τον τεχνολογικό τομέα, τον οικονομικό τομέα, τις υποδομές, τον κυβερνητικό τομέα, τον αγροτικό τομέα, τον βιομηχανικό τομέα, κ.α. Στη βελτίωση της ποιότητας της ζωής τους μπορούν να συμβάλλουν διάφοροι παράγοντες και κυρίως η ανάπτυξη και η εφαρμογή καινοτόμων λύσεων.

3. Αστικοποίηση (Urbanization)

Τα περιβάλλοντα έξυπνων πόλεων αποτελούν μία λύση για εξάλειψη των προβλημάτων που έχει επιφέρει το φαινόμενο της αστικοποίησης. [54], [55], [56], [51] Τα προβλήματα εκείνα περιλαμβάνουν τη ρύπανση του περιβάλλοντος, την εξάντληση των φυσικών πόρων, τη μείωση των ενεργειακών πόρων, τη κυκλοφοριακή συμφόρηση, κ.α., τα οποία μπορούν να προκαλέσουν θέματα υγείας στους πολίτες, αλλά και στο περιβάλλον.

4. Ευφυία (Smartness)

[51] Η ευφυία στη διαχείριση διαφόρων λειτουργιών και διαδικασιών σε μία πόλη μπορεί να βελτιώσει σε μεγάλο βαθμό το βιοτικό επίπεδο ως προς τον τεχνολογικό τομέα, τον οικονομικό τομέα, τις υποδομές, τον κυβερνητικό τομέα, τον αγροτικό τομέα, τον βιομηχανικό τομέα, κ.α.

3.4 Αρχιτεκτονική

[7], [51] Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, το περιβάλλον ‘Έξυπνης Πόλης’ είναι μία εφαρμογή της τεχνολογίας IoT, γι’ αυτό το λόγο ακολουθεί τους λειτουργικούς μηχανισμούς και την αρχιτεκτονική του IoT, η οποία παρουσιάζεται στο [Κεφάλαιο 2.5 Αρχιτεκτονική](#). Βασίζεται στα εξής τρία κύρια δομικά στοιχεία: (1) Επίπεδο Παραγωγής και Απόκτησης Δεδομένων, (2) Επίπεδο Διαχείρισης και Επεξεργασίας Δεδομένων και (3) Επίπεδο Εφαρμογών, (βλ. Εικόνα 6), τα οποία αναλύονται στη συνέχεια.

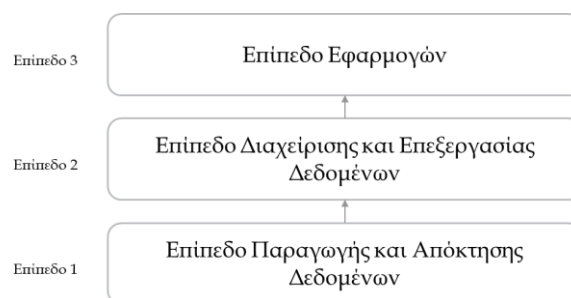
Επίπεδο Παραγωγής και Απόκτησης Δεδομένων (Data generation and acquisition level): [52]

Το Επίπεδο Παραγωγής και Απόκτησης Δεδομένων είναι υπεύθυνο για τη συλλογή των δεδομένων από τις συνδεδεμένες συσκευές και αισθητήρες και σχετίζονται με διάφορες καθημερινές δραστηριότητες σε επίπεδο περιβαλλόντων έξυπνων πόλεων, όπως διαχείριση της ποιότητας του νερού, του αέρα, της κυκλοφοριακής συμφόρησης, των φώτων, κ.α. Τα δεδομένα συλλέγονται από τους αισθητήρες σε πραγματικό χρόνο και το είδος τους διαφέρει ανάλογα το περιβαλλοντικό μέγεθος το οποίο ανιχνεύουν, δηλαδή θερμοκρασία, υγρασία, καπνός, φωτεινότητα, κ.α.

Επίπεδο Διαχείρισης και Επεξεργασίας Δεδομένων (Data management and processing level):

[52] Το Επίπεδο Διαχείρισης και Επεξεργασίας Δεδομένων είναι υπεύθυνο για την επεξεργασία των δεδομένων που συλλέγονται από το προηγούμενο επίπεδο για τη μετάδοση τους στο Επίπεδο Εφαρμογών και αποτελεί το σύνδεσμο μεταξύ των δεδομένων στα δύο εκείνα επίπεδα. Σε αυτό το επίπεδο πραγματοποιούνται οι διαδικασίες φιλτραρίσματος, ανάλυσης, επεξεργασίας και αποθήκευσης των δεδομένων. Η διαδικασία του φιλτραρίσματος περιλαμβάνει διάφορες τεχνικές, όπως την αφαίρεση θορύβου, διπλότυπων, κ.α. και συνεισφέρει στην αύξηση της ταχύτητας του ρυθμού ανάλυσης δεδομένων, καθώς μειώνεται ο όγκος τους. Για την ανάλυση και την αποθήκευση των δεδομένων χρησιμοποιούνται τα κατάλληλα εργαλεία και οι κατάλληλες βάσεις δεδομένων.

Επίπεδο Εφαρμογών (Application level): [52] Το Επίπεδο Εφαρμογών είναι υπεύθυνο για την εκτέλεση και την επίτευξη των λειτουργιών επίπεδο περιβαλλόντων έξυπνων πόλεων. Μερικές από τις βασικές εφαρμογές θεωρούνται τα Έξυπνα Κτίρια και Σπίτια, το Έξυπνο Σύστημα Κυκλοφορίας, η Έξυπνη Υγεία, το Έξυπνο περιβάλλον, η Έξυπνη Διαχείριση Ενέργειας, η Έξυπνη Παρακολούθηση Ποιότητας Νερού και Αέρα, η Έξυπνη Διαχείριση Απορριμμάτων, η Έξυπνη Βιομηχανία, κ.α.



Εικόνα 6 Αρχιτεκτονική περιβαλλόντων έξυπνων πόλεων

3.5 Βασικοί Τομείς Δραστηριότητας

Η τεχνολογία IoT παρουσιάζει ποικίλες εφαρμογές σε αρκετούς τομείς, Κοινωνία, Περιβάλλον, Βιομηχανία - Οικονομία, όπως αναλύθηκε στο [Κεφάλαιο 2.6 Βασικοί Τομείς Εφαρμογής](#). Ο κάθε τομέας διαθέτει πολλές και διαφορετικές δραστηριότητες, οι οποίες αποσκοπούν στη βελτίωση της ποιότητας της ζωής των πολιτών. Οι δραστηριότητες εκείνες παρουσιάζονται στον παρακάτω Πίνακα 3.

Πίνακας 3 Βασικές δραστηριότητες

Τομέας	Εφαρμογή	Βασικές δραστηριότητες	Αφορά
Κοινωνία	Έξυπνα Κτίρια και Σπίτια (Smart Buildings and Homes)	Εποπτεία και Έλεγχος θερμοκρασίας	[42]
		Εποπτεία και Έλεγχος φωτεινότητας	
		Εποπτεία και Έλεγχος υγρασίας	
		Εποπτεία και Έλεγχος των αντικειμένων – προϊόντων στο ψυγείο	
		Εποπτεία και Έλεγχος συνθηκών των φυτών	
		Ανίχνευση φωτιάς, καπνού και μονοξειδίου του άνθρακα	
		Έλεγχος κατάστασης του κτιρίου ή διαρροής νερού, αερίου, δονήσεων	
		Υποστήριξη ατόμων με ειδικές ανάγκες και ηλικιωμένους	
		Συστήματα ασφαλείας	
		Απομακρυσμένος έλεγχος των συσκευών	
		Ενοποίηση όλων των οικιακών συσκευών	
		Αυτοματισμός	
	Έξυπνες Πόλεις (Smart Cities)	Έλεγχος κυκλοφοριακής συμφόρησης	[42]
		Εποπτεία διαθεσιμότητας των θέσεων στάθμευσης	
		Έλεγχος φωτισμού	
		Έλεγχος ποιότητας του αέρα	
		Έλεγχος ποιότητας του νερού	
		Έλεγχος διαρροής νερού	
		Διαχείριση απορριμμάτων	[42]
		Διαχείριση κυκλοφορίας	
		Παρακολούθηση κυκλοφορίας	

Τομέας	Εφαρμογή	Βασικές δραστηριότητες	Αφορά
	Έξυπνο Σύστημα Κυκλοφορίας (Smart Traffic System)	Ενημέρωση οδηγών	
		Εύρεση καλύτερης διαδρομής	
	Έξυπνοι Χώροι Στάθμευσης (Smart Parking lots)	Εποπτεία διαθεσιμότητας των θέσεων στάθμευσης	[42]
		Εύρεση πλησιέστερης διαθέσιμης θέσης στάθμευσης	
		Ενημέρωση για το κόστος της θέσης στάθμευσης	
	Έξυπνος Φωτισμός (Smart Lighting)	Αυτόματη ρύθμιση φωτεινότητας ανάλογα την ώρα, τις καιρικές συνθήκες, κ.α	[42]
	Έξυπνη Υγεία (Smart Health)	Εποπτεία υγείας ασθενών	[42]
		Εποπτεία φαρμάκων των ασθενών	
		Αξιολόγηση κινδύνου στα φάρμακα, π.χ. αλλεργίες, ανεπιθύμητες παρενέργειες	
		Εποπτεία θερμοκρασίας, καρδιακού ρυθμού, αρτηριακής πίεσης	
		Ενημέρωση κατάλληλων γιατρών	
Περιβάλλον	Έξυπνο Περιβάλλον (Smart environment)	Έξυπνη διαχείριση ενέργειας	[42]
		Έξυπνη παρακολούθηση ποιότητας νερού	
		Έξυπνη παρακολούθηση ποιότητας αέρα	
		Έξυπνη διαχείριση απορριμμάτων	
		Έξυπνη παροχή νερού	
		Ανίχνευση ρύπανσης	
		Ανίχνευση φυσικών καταστροφών	
Βιομηχανία - Οικονομία	Έξυπνη Γεωργία (Smart Agriculture)	Παροχή πληροφοριών περιβάλλοντος	[42]
	Έξυπνη Βιομηχανία (Smart Industry)	Εποπτεία σταδίου εφοδιαστικής αλυσίδας	[42]
		Εποπτεία μηχανημάτων για επισκευές	

4

Μεθοδολογία

Η μεθοδολογική προσέγγιση της παρούσας διπλωματικής εργασίας βασίστηκε σε δύο κύρια μέρη, τα οποία είναι τα εξής:

1. **Θεωρητικό μέρος:** Η βιβλιογραφική ανασκόπηση με τη μελέτη ερευνητικών και επιστημονικών δημοσιεύσεων και βιβλίων,
2. **Μέρος υλοποίησης:** Η σχεδίαση και η ανάπτυξη ‘έξυπνου συστήματος’ απομακρυσμένης διαχείρισης συσκευής φωτισμού.

Το πρώτο μέρος αποτελεί η βιβλιογραφική ανασκόπηση με τη μελέτη ερευνητικών και επιστημονικών δημοσιεύσεων και βιβλίων για την τεχνολογία ‘Διαδίκτυο των Πραγμάτων (Internet of Things - IoT)’, καθώς και τα περιβάλλοντα ‘Έξυπνων πόλεων’. Ο σκοπός για τον οποίο πραγματοποιήθηκε η μελέτη τους είναι η καλύτερη κατανόηση της αρχιτεκτονικής τους με τα στάδια από τα οποία αποτελούνται, για την ορθότερη αντίληψη των πλατφορμών διαχείρισης αισθητήρων. Στη συνέχεια, πραγματοποιήθηκε μελέτη για τα είδη των αισθητήρων που υπάρχουν, αναλύοντας τη βασική τους λειτουργία, καθώς και τα χαρακτηριστικά τους. Επιπρόσθετα, μελετήθηκαν οι βασικές λειτουργίες των πλατφορμών διαχείρισης αισθητήρων και τα βασικά επίπεδα της αρχιτεκτονικής τους.

Για την υλοποίηση του πρώτου μέρους της μεθοδολογικής προσέγγισης χρησιμοποιήθηκε η ελεύθερη προσβάσιμη μηχανή αναζήτησης ακαδημαϊκών και επιστημονικών δημοσιεύσεων,

Google Scholar¹⁶, καθώς και το κοινωνικό δίκτυο ερευνητών, Research Gate¹⁷. Για την εύρεση επιπρόσθετων ορισμών στις έννοιες που αναλύονται εκτός από επιστημονικά άρθρα, χρησιμοποιήθηκαν και λεξικά, καθώς και ο ηλεκτρονικά δημόσιος αποθηκευτικός χώρος της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Η έρευνα του θεωρητικού μέρους πραγματοποιήθηκε με την αναζήτηση στα εργαλεία που παρουσιάστηκαν παραπάνω και χρησιμοποιήθηκαν λέξεις κλειδιά. Μερικές από τις λέξεις κλειδιά είναι οι εξής, (1) Internet of Things, (2) Architecture of Internet of Things, (3) Historical evolution of Internet of Things, (4) Challenges of Internet of Things, (5) Smart cities, (6) Definitions of Smart cities, (7) Architecture of Smart cities, (8) Sensors, (9) Characteristics of Sensors, (10) Types of sensors, (11) Applications of sensors, (12) Sensor Management Platforms, (13) Architecture of Sensor Management Platforms, (14) Challenges of Sensor Management Platforms.

Το δεύτερο μέρος της μεθοδολογίας της παρούσας διπλωματικής εργασίας αποτελεί η υλοποίηση του ‘έξυπνου συστήματος’ απομακρυσμένης διαχείρισης συσκευής φωτισμού. Η σχεδίαση και η ανάπτυξη του συγκεκριμένου συστήματος βασίστηκε σε μία ακολουθία βημάτων τα οποία αναλύονται στο [Κεφάλαιο 7.2 Μεθοδολογία Ανάπτυξης Συστήματος](#) και είναι τα εξής:

- **Βήμα 1 - Μελέτη Συστημάτων Απομακρυσμένης Διαχείρισης Συσκευών**

Σε αυτό το βήμα πραγματοποιήθηκε μελέτη υπαρχόντων συστημάτων απομακρυσμένης διαχείρισης συσκευών, τα οποία διέθεταν παρόμοιες λειτουργίες με τον παρόν ‘έξυπνο σύστημα’. Η μελέτη βασίστηκε σε υπάρχοντα συστήματα διαχείρισης αισθητήρων, όπως παρουσιάζονται στο [Κεφάλαιο 6.4 Μελέτη Αρχιτεκτονικής Συστημάτων Διαχείρισης Αισθητήρων](#).

- **Βήμα 2 - Υλοποίηση και Σχεδιασμός Προσομοίωσης**

Σε αυτό το βήμα πραγματοποιήθηκε ο σχεδιασμός προσομοίωσης του κυκλώματος του συστήματος σε επίπεδο υλικού (hardware) με χρήση της κατάλληλης συνδεσμολογίας μεταξύ των στοιχείων.

- **Βήμα 3 - Υλοποίηση και Σχεδιασμός Διάταξης**

Σε αυτό το βήμα πραγματοποιήθηκε ο σχεδιασμός του κυκλώματος σε επίπεδο υλικού το οποίο βασίστηκε στη προσομοίωση του προηγούμενου βήματος.

- **Βήμα 4 - Ανάπτυξη Λογισμικού Προγράμματος**

Σε αυτό το βήμα πραγματοποιήθηκε αναπτύχθηκε και υλοποιήθηκε το πρόγραμμα σε επίπεδο λογισμικό (software) για τη δημιουργία της διεπαφής (interface) και τη διαχείριση της συσκευής φωτισμού.

- **Βήμα 5 - Έλεγχος και Δοκιμές**

Σε αυτό το βήμα πραγματοποιήθηκαν οι δοκιμές (testing) σε πραγματικό περιβάλλον.

¹⁶ <https://scholar.google.com/>

¹⁷ <https://www.researchgate.net/>

5

Αισθητήρες - Sensors

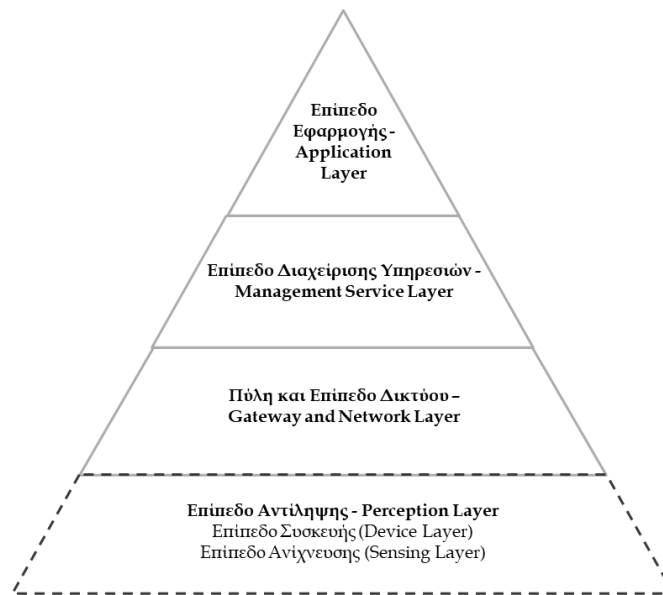
5.1 Εισαγωγή

Οι αισθητήρες αποτελούν ένα από τα βασικότερα δομικά στοιχεία στο περιβάλλον της ‘έξυπνης πόλης’ και κατέχουν αρκετά σημαντικό ρόλο, καθώς παρουσιάζουν τη δυνατότητα της ανίχνευσης και της συλλογής δεδομένων. Η ενσωμάτωση ΤΠΕ και αισθητήρων στο αστικό περιβάλλον συνεισφέρει στη διαχείριση των στοιχείων της πόλης από τα οποία απαρτίζεται, όπως για παράδειγμα τα κτίρια, τα φώτα οδικού δικτύου, κ.α. με σκοπό την ομαλή λειτουργία και τη βελτίωση της ποιότητας των υπηρεσιών.

Στο [Κεφάλαιο 2 Διαδίκτυο των Πραγμάτων – Internet of Things](#) αναλύθηκε η επικρατέστερη αρχιτεκτονική της τεχνολογίας IoT, η οποία απαρτίζεται από τα εξής τέσσερα (4) βασικά επίπεδα:

1. Επίπεδο Αντίληψης,
2. Πύλη και Επίπεδο Δικτύου,
3. Επίπεδο Διαχείρισης Υπηρεσιών, και
4. Επίπεδο Εφαρμογής.

Το κάθε ένα από τα παραπάνω επίπεδα χρησιμοποιεί διάφορες μεθόδους, πρωτόκολλα και αλληλεπιδρούν μεταξύ τους. Κύριος σκοπός του IoT είναι η ‘επικοινωνία’ των φυσικών αντικείμενων μέσω του Διαδικτύου, χρησιμοποιώντας τα κατάλληλα μέσα (τεχνολογίες, υλικό και λογισμικό). Οι αισθητήρες περιλαμβάνονται στο πρώτο επίπεδο, δηλαδή στο Επίπεδο Αντίληψης, σύμφωνα με την αρχιτεκτονική του IoT (βλ. Εικόνα 7) και αποτελούν τον σύνδεσμο μεταξύ των αντικειμένων σε ένα σύστημα IoT με το Διαδίκτυο.



Εικόνα 7 Επίπεδο Αντίληψης

[14] Οι σημαντικότερες λειτουργίες των φυσικών αντικειμένων σε ένα IoT σύστημα είναι η **ανίχνευση (sensing) διαφόρων μεγεθών**, όπως η θερμοκρασία, η υγρασία, η φωτεινότητα, η ατμοσφαιρική πίεση, η ταχύτητα, κλπ, καθώς και η **συλλογή δεδομένων**. Η λειτουργία της ανίχνευσης πραγματοποιείται με τη βοήθεια των αισθητήρων και κρίνεται απαραίτητη για την αναγνώριση των παραμέτρων, τη συλλογή και μετάδοση των δεδομένων που παράγονται από εκείνους, καθώς και για την εποπτεία των αντικείμενων. Υπάρχουν διάφοροι τύποι αισθητήρων και κατηγοριοποιούνται ανάλογα με τον σκοπό τον οποίο επιτελούν, καθώς και τις παραμέτρους τις οποίες ανιχνεύουν.

[14] Παρόλο που οι αισθητήρες είναι απαραίτητοι σε ένα σύστημα IoT, δεν παρουσιάζουν τη δυνατότητα του ελέγχου των συσκευών – αντικειμένων και γι’ αυτό το λόγο χρησιμοποιούνται οι ενεργοποιητές (actuators). Ρόλος τους είναι να ‘μεταφράζουν’ τα δεδομένα σε πληροφορία για τον έλεγχο, τη διαχείριση των συσκευών και των συστημάτων, όπως η ενεργοποίηση/απενεργοποίηση της λειτουργίας τους, η διακοπή της λειτουργίας τους σε περίπτωση που τα δεδομένα δεν είναι στα αναμενόμενα όρια, κ.α.

Σε αυτό το κεφάλαιο παρουσιάζονται διάφοροι ορισμοί σχετικά με τους αισθητήρες και αναλύεται η βασική τους λειτουργία, μελετώντας τη διαδικασία με την οποία οι αισθητήρες επεξεργάζονται τα σήματα εισόδου (φυσικά μεγέθη), προκειμένου να μετατραπούν στην κατάλληλη μορφή σήματος εξόδου. Στη συνέχεια, επισημαίνονται και αναλύονται τα βασικά χαρακτηριστικά που διαθέτουν οι αισθητήρες και παρατίθενται τα είδη των αισθητήρων που υπάρχουν ταξινομημένοι ανάλογα με τους περιβαλλοντικούς παραμέτρους που μπορούν να ανιχνεύσουν. Επιπρόσθετα, παρουσιάζονται οι εφαρμογές των διάφορων τύπων αισθητήρων σε περιβάλλοντα ‘έξυπνων πόλεων’.

5.2 Ορισμοί

[65], [66] Οι αισθητήρες ανιχνεύουν ένα φυσικό μέγεθος, όπως για παράδειγμα τη θερμοκρασία, την ταχύτητα, την πίεση, κ.α και το μετατρέπουν σε ηλεκτρικό σήμα. Όμως για την καλύτερη κατανόηση της λειτουργίας τους είναι σημαντικό να μελετηθούν αρχικά οι διάφοροι ορισμοί που έχουν δημιουργηθεί. Παρακάτω παρατίθενται με χρονολογική σειρά από το 2017 έως το 2022 μερικούς από τους βασικότερους ορισμούς που έχουν αναπτυχθεί.

1. Βιβλίο: *Internet of Things From Hype to Reality*, 2^η έκδοση (2017)

Όπως αναφέρεται στο δημοσιευμένο βιβλίο [14] (Rayes et al., 2017), «Ο αισθητήρας είναι μια συσκευή (συνήθως ηλεκτρονική) που ανιχνεύει συμβάντα ή αλλαγές στο φυσικό του περιβάλλον (π.χ. θερμοκρασία, ήχος, θερμότητα, πίεση, ροή, μαγνητισμός, κίνηση, χημικές και βιοχημικές παραμέτρους) και παρέχει ένα αντίστοιχο αποτέλεσμα.»

2. Βιβλιογραφική Βάση Δεδομένων Science Direct (2021)

Σύμφωνα με την επιστημονική έρευνα [67] (Javaid et al., 2021), «Ο αισθητήρας είναι μια συσκευή, μονάδα, μηχανή ή υποσύστημα που ανιχνεύει συμβάντα ή αλλαγές στο περιβάλλον του και μεταδίδει τις πληροφορίες σε άλλα ηλεκτρονικά, συνήθως σε έναν επεξεργαστή υπολογιστή. Ένας αισθητήρας μετατρέπει τα φυσικά φαινόμενα σε μετρήσιμο ψηφιακό σήμα, το οποίο στη συνέχεια μπορεί να εμφανίζεται, διαβάζεται ή υποβάλλεται σε περαιτέρω επεξεργασία.»

3. Επιστημονικό περιοδικό IEEE (2021)

Όπως αναφέρεται στη δημοσιευμένη έρευνα [68] (Khujamatov et al, 2021), «Αισθητήρας είναι μια συσκευή (συσκευή, όργανο, κόμβος) που μετατρέπει μια φυσική (φυσικοχημική) αλλαγή σε ένα αντικείμενο παρατήρησης, τη φυσική της επίδραση σε σήμα πληροφοριών για τον χρήστη.»

4. Εθνικό Ινστιτούτο Βιοϊατρικής Απεικόνισης και Βιομηχανικής του Υπουργείου Υγείας και Ανθρωπίνων Υπηρεσιών των ΗΠΑ (National Institute of Biomedical Imaging and Bioengineering - NIBIB)¹⁸ (2022)

«Οι αισθητήρες είναι εργαλεία που ανιχνεύουν και ανταποκρίνονται σε κάποιο είδος εισόδου από το φυσικό περιβάλλον.»

5. Λεξικό της Oxford¹⁹

Σύμφωνα με το λεξικό της Oxford «Αισθητήρας είναι μια συσκευή που ανιχνεύει ή μετρά μια φυσική ιδιότητα και την καταγράφει, υποδεικνύει ή αποκρίνεται με άλλο τρόπο σε αυτήν. »

¹⁸ <https://www.nibib.nih.gov/science-education/science-topics/sensors>

¹⁹ <https://www.lexico.com/en/definition/sensor>

5.3 Βασική Λειτουργία

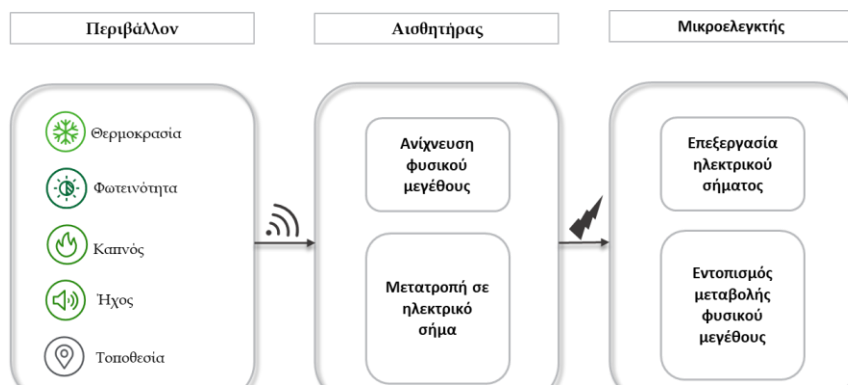
Οι αισθητήρες είναι απαραίτητοι για το περιβάλλον της ‘έξυπνης πόλης’, καθώς μπορούν να ανιχνεύουν διάφορα μεγέθη όπως η θερμοκρασία, η υγρασία, η φωτεινότητα, η ατμοσφαιρική πίεση, η ταχύτητα, κλπ. και να συλλέγουν δεδομένα. [69] Ο αισθητήρας ταυτίζεται πολλές φορές με τον μετατροπέα (transducer), ο οποίος είναι μία συσκευή που μετατρέπει την ενέργεια σε μία άλλη μορφή. Στόχος του αισθητήρα είναι η ανίχνευση των φυσικών μεγεθών και η συλλογή δεδομένων, ενώ του μετατροπέα αποτελεί η μετατροπή της ενέργειας. [69] Γι’ αυτό το λόγο, ένας μετατροπέας δεν μπορεί να είναι και αισθητήρας, όμως, ένας αισθητήρας είναι και μετατροπέας.

[65], [66], [67], [70] Ειδικότερα, όπως αναφέρθηκε παραπάνω, οι αισθητήρες ανιχνεύουν την κατάσταση ενός φυσικού μεγέθους, όπως μέτρηση της τιμής της υγρασίας, τη συλλέγουν και τη μετατρέπουν σε ηλεκτρικό σήμα, όπως τάση, ρεύμα ή ηλεκτρική ενέργεια (βλ. Εικόνα 6). Μερικά παραδείγματα που προσδιορίζουν τη μεταβολή ενός φυσικού μεγέθους είναι η αύξηση του επιπέδου της θερμοκρασίας, η ανίχνευση κίνησης, του καπνού, του διοξειδίου του άνθρακα, των ζημιών, των δονήσεων, κλπ. Με αυτόν τον τρόπο, το φυσικό μέγεθος έχει μεταφραστεί και μετατραπεί σε μία επεξεργάσιμη μορφή είτε από τον άνθρωπο είτε από ένα σύστημα (όπως για παράδειγμα ο υπολογιστής).



Εικόνα 8 Λειτουργία αισθητήρων

[14], [67], [71] Στη συνέχεια, το ηλεκτρικό σήμα μεταδίδεται στους μικροελεγκτές (microcontroller - MCU), οι οποίοι το επεξεργάζονται και εντοπίζουν τις αλλαγές – μεταβολές στην κατάσταση του φυσικού μεγέθους. [72], [73] Συγκεκριμένα, μικροελεγκτής είναι μία συσκευή ψηφιακού κυκλώματος και διαθέτει Κεντρική Μονάδα Επεξεργασίας – ΚΜΕ (Central Processing Unit - CPU) και μνήμη για την επεξεργασία αλλά και τη διατήρηση των δεδομένων, αντίστοιχα. [74] Οι πιο συνηθισμένοι μικροελεγκτές θα μπορούσαν να θεωρηθούν το Arduino και το Raspberry pi. Στη παρακάτω Εικόνα 9 παρουσιάζεται η συνολική διαδικασία από την ανίχνευση του φυσικού μεγέθους μέχρι τον εντοπισμό της μεταβολής του.



Εικόνα 9 Συνολική λειτουργία

[68] Με τη ραγδαία εξέλιξη των ΤΠΕ, των τεχνολογιών των αισθητήρων, καθώς και των επεξεργαστών, έχουν αναπτυχθεί οι **‘έξυπνοι αισθητήρες (smart sensors)’** ή αλλιώς **‘ευφυείς αισθητήρες (intelligent sensors)’**. Σύμφωνα με τη δημοσιευμένη έρευνα [75] (Ducouret, 2021), «Οι έξυπνοι αισθητήρες ορίζονται από το πρότυπο IEEE 145116 ως αισθητήρες με μικρή μνήμη και τυποποιημένη φυσική σύνδεση για να επιτρέπουν την επικοινωνία με τον επεξεργαστή και το δίκτυο δεδομένων.» [68] Οι συγκεκριμένοι αισθητήρες χρησιμοποιούν μικροϋπολογιστή (microcomputer - MC), ο οποίος είναι υπεύθυνος για την επεξεργασία των δεδομένων που λαμβάνονται κατά τη διαδικασία της ανίχνευσης του φυσικού μεγέθους και γενικότερα για την οργάνωση της λειτουργίας του αισθητήρα. [68] Με αυτό τον τρόπο, όταν ο αισθητήρας ανιχνεύσει το φυσικό μέγεθος και το μεταφράσει σε ηλεκτρικό σήμα, ο μικροϋπολογιστής λαμβάνει την κατάλληλη εντολή για να επεξεργαστεί τα δεδομένα, να εντοπίσει τη μεταβολή του φυσικού μεγέθους, να πραγματοποιήσει αυτοέλεγχο και να ενημερώσει τον χρήστη με τις απαιτούμενες προειδοποιήσεις και τα απαιτούμενα μηνύματα.

5.4 Χαρακτηριστικά & Ιδιότητες

Οι αισθητήρες κατέχουν σημαντικό ρόλο και είναι απαραίτητοι σε ένα σύστημα IoT για την ανίχνευση των φυσικών μεγεθών, καθώς και τη συλλογή δεδομένων. Ωστόσο, η επιλογή των κατάλληλων τύπων αισθητήρων σε ένα σύστημα πραγματοποιείται με βάση διάφορα γενικά χαρακτηριστικά που παρουσιάζουν. Παρατηρείται ότι τα βασικότερα χαρακτηριστικά είναι το Φιλτράρισμα δεδομένων, η Κατανάλωση της ενέργειας, το Μέγεθος, η Ανίχνευση, η Ευαισθησία, η Γραμμικότητα, το Εύρος τιμών, η Ακρίβεια, η Υστέρηση, το Εύρος ζώνης, η Ανάλυση, η Αξιοπιστία και αναλύονται στη συνέχεια.

Φιλτράρισμα Δεδομένων (Data Filtering): Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, οι κύριες λειτουργίες των αισθητήρων σε ένα σύστημα είναι η ανίχνευση των φυσικών μεγεθών και η συλλογή δεδομένων, χωρίς να πραγματοποιείται κάποιο είδος φιλτραρίσματος. [14] Υπάρχουν, όμως, αισθητήρες που διαθέτουν ενσωματωμένο μικροελεγκτή, ο οποίος επεξεργάζεται τα δεδομένα ή τα σήματα που λαμβάνονται και τα φιλτράρει. Το φιλτράρισμα μπορεί να σχετίζεται με διάφορες τεχνικές, όπως την αφαίρεση διπλότυπων, την αφαίρεση θορύβου, την αφαίρεση ανεπιθύμητων δεδομένων, κ.α.

Κατανάλωση Ενέργειας (Power Consumption): Η κατανάλωση της ενέργειας είναι ένας εξίσου σημαντικός παράγοντας που λαμβάνεται υπόψη στους αισθητήρες που χρησιμοποιούνται σε περιβάλλοντα **‘έξυπνων πόλεων’**, καθώς στόχος τους αποτελεί η βελτίωση της ποιότητας ζωής των πολιτών με το λιγότερο δυνατό κόστος και τη λιγότερη δυνατή κατανάλωση ενέργειας λόγω της εξάντλησης των ενεργειακών πόρων. [14] Ακόμα, αρκετοί αισθητήρες εγκαθίστανται σε τοποθεσίες όπου η συχνή αλλαγή μπαταριών ή η φόρτιση τους κρίνεται δύσκολη.

Μέγεθος: [14] Ένα ακόμα χαρακτηριστικό των αισθητήρων είναι το μέγεθος και οι διαστάσεις τους, οι οποίες εξαρτώνται από το περιβάλλον ή σύστημα που θα εγκατασταθούν.

Ανίχνευση (Detection): [14] Η διαδικασία της ανίχνευσης των φυσικών μεγεθών από τους αισθητήρες μπορεί να πραγματοποιηθεί είτε με φυσική επαφή είτε απομακρυσμένα.

Ευαισθησία (Sensitivity): [14] Η ευαισθησία αναπαριστά τη σχέση μεταξύ του σήματος εισόδου και εξόδου, δηλαδή του φυσικού σήματος και του ηλεκτρικού σήματος που μετατρέπεται. [14] Η ευαισθησία είναι μία παράμετρος η οποία επισημαίνει το χρόνο απόκρισης του αισθητήρα από το ποσό της μεταβολής του σήματος εξόδου σε συνάρτηση με τη μεταβολή του σήματος εισόδου.

Γραμμικότητα (Linearity): [14] Η γραμμικότητα είναι μία παράμετρος η οποία υποδεικνύει τη συσχέτιση μεταξύ του σήματος εισόδου με εξόδου και συνδέεται με την αναλογικότητα. Αναπαριστά το βαθμό που η γραφική παράσταση του σήματος εξόδου προσεγγίζει ευθεία γραμμή σε σχέση με το σήμα εισόδου. [14] Αντίστοιχα, η μη γραμμικότητα υποδεικνύει τη μέγιστη απόκλιση από την ευθεία γραμμή της γραφικής παράστασης.

Εύρος τιμών (Range): [14] Το εύρος τιμών καθορίζεται από τη μέγιστη πλην την ελάχιστη τιμή που μπορεί να μετρήσει ο αισθητήρας από το φυσικό μέγεθος. Κάθε αισθητήρας παρουσιάζει ένα συγκεκριμένο εύρος σημάτων ανάλογα το φυσικό μέγεθος που μπορεί να ανιχνεύσει, π.χ. θερμοκρασία, υγρασία, κ.α.

Ακρίβεια (Accuracy): [14] Η ακρίβεια είναι μία παράμετρος με την οποία υποδεικνύεται η απόκλιση της μέτρησης του φυσικού μεγέθους από τον αισθητήρα σε σχέση με την πραγματική της τιμή. Στην πραγματικότητα, με την ακρίβεια μετριέται το μέγιστο αναμενόμενο σφάλμα μεταξύ του πραγματικού και του ιδανικού σήματος.

Υστέρηση (Hysteresis): [14] Η υστέρηση είναι ένα χαρακτηριστικό το οποίο εκφράζει τη διαφορά στο σήμα εξόδου στην περίπτωση που αντιστραφεί η κατεύθυνση εισόδου και ο αισθητήρας δεν επιστρέφει την ίδια τιμή στην έξοδο. [14] Υποδεικνύει το αναμενόμενο σφάλμα ως προς τη μέτρηση του φυσικού μεγέθους και επηρεάζει την ακρίβεια. Μπορεί να προκληθεί από την τριβή ή την τάση και συνήθως παρατηρείται σε κινητά μέρη, όπως γρανάζια.

Εύρος ζώνης (Bandwidth): [14] Το εύρος ζώνης ή διαφορετικά απόκριση συχνότητας υποδεικνύει την ανταπόκριση των αισθητήρων σε διαφορετικές συχνότητες. [14] Αναπαριστά το χρόνο από τη μέτρηση της μεταβολής του σήματος εισόδου μέχρι την αποσύνθεση του σήματος εξόδου.

Ανάλυση (Resolution): [14] Η ανάλυση υποδεικνύει τη μικρότερη διακύμανση του σήματος εισόδου που μπορεί ο αισθητήρας να ανιχνεύσει.

Αξιοπιστία (Reliability): [14] Η αξιοπιστία βασίζεται στην ακρίβεια των μετρήσεων του σήματος από τον αισθητήρα.

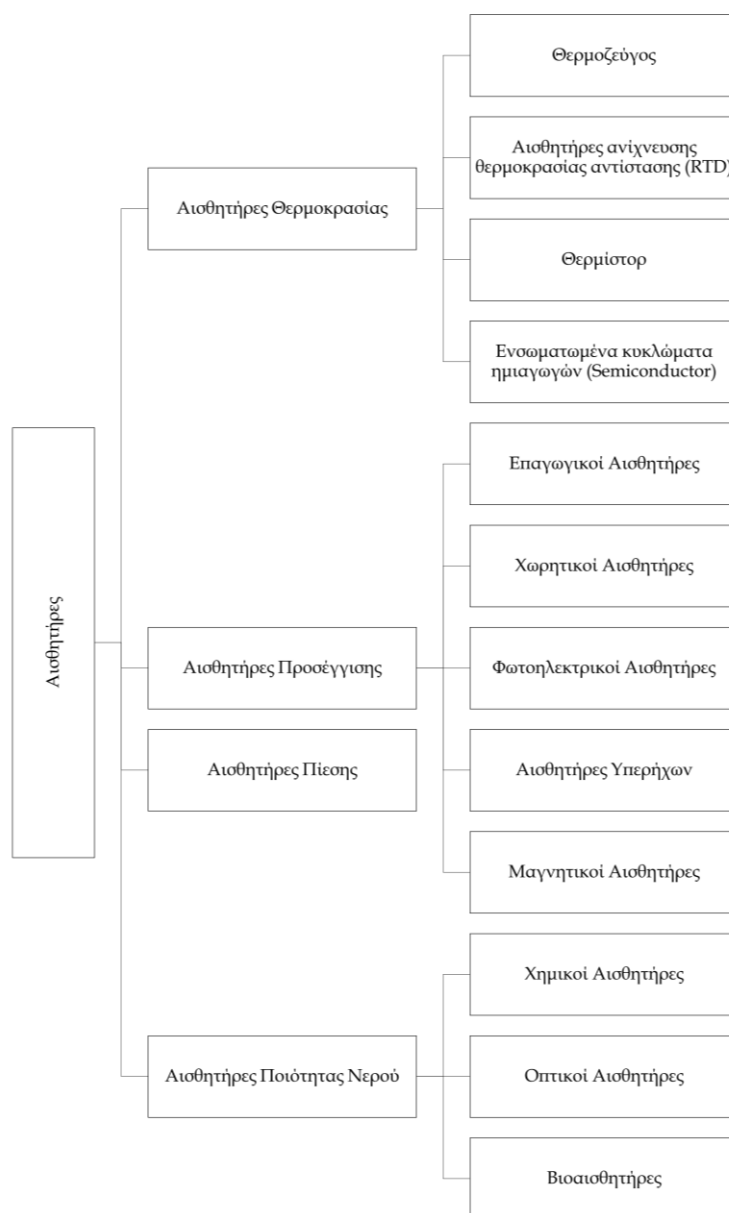
Στον παρακάτω Πίνακα 4 παρουσιάζεται μία σύντομη περίληψη των χαρακτηριστικών των αισθητήρων και παρατίθενται τα χαρακτηριστικά που θα πρέπει να διαθέτει ένας ιδανικός αισθητήρας.

Πίνακας 4 Βασικότερα χαρακτηριστικά αισθητήρων

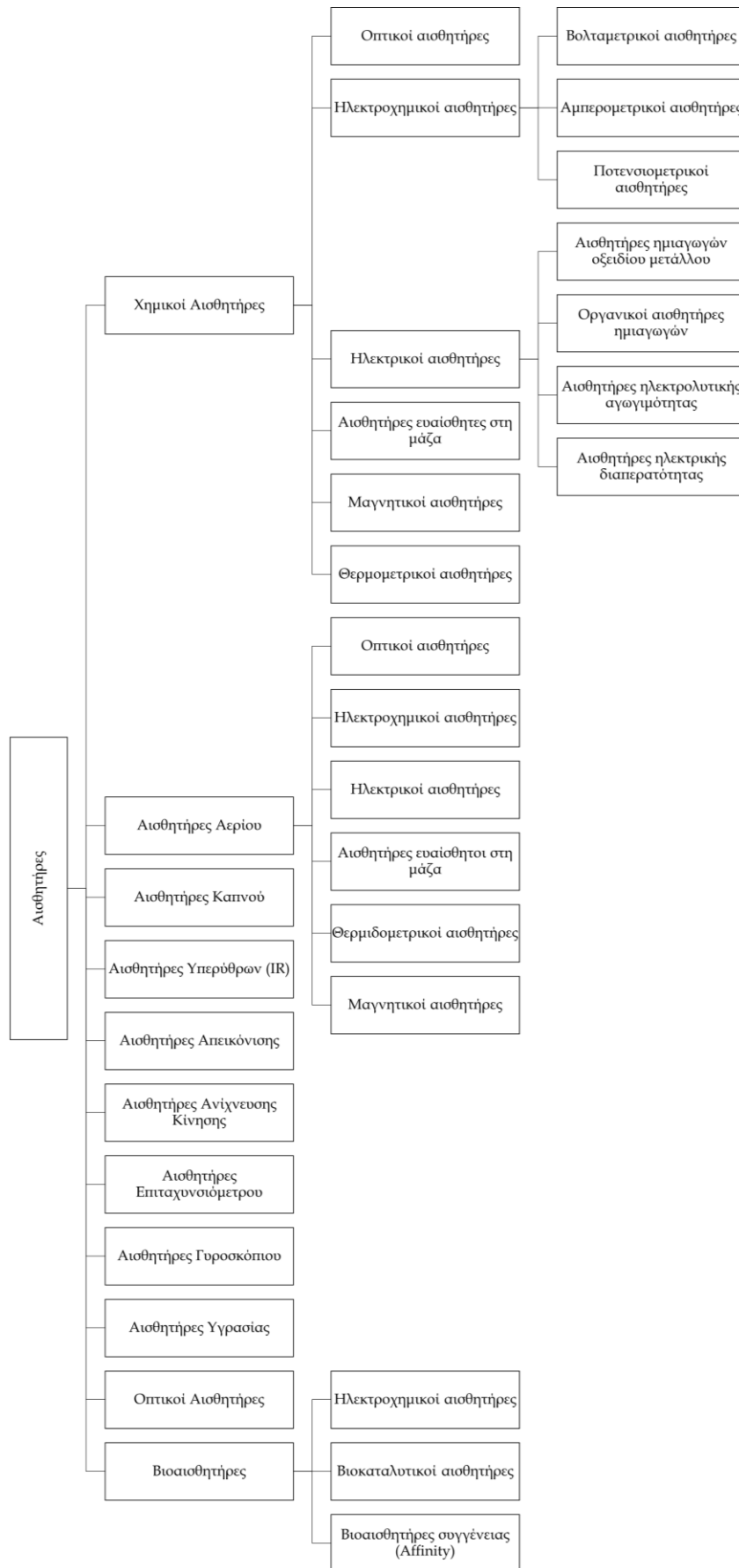
Χαρακτηριστικά Αισθητήρων	Περιγραφή	Χαρακτηριστικά Ιδανικού Αισθητήρα	Αναφορά
Κατανάλωση ενέργειας	Η ενέργεια που καταναλώνει ένας αισθητήρας	Ελάχιστη	[14]
Μέγεθος	Οι διαστάσεις ενός αισθητήρα	Μικρό	[14]
Ανίχνευση με φυσική επαφή ή απομακρυσμένα	Ο εντοπισμός και η μέτρηση των φυσικών μεγεθών	Απομακρυσμένα	[14]
Ευαισθησία	Ο χρόνος απόκρισης του αισθητήρα σε σχέση με τη μεταβολή της εξόδου και εισόδου	Υψηλή, Σταθερή	[14]
Γραμμικότητα	Ο βαθμός που η γραφική παράσταση του σήματος εξόδου προσεγγίζει ευθεία γραμμή στη γραφική παράσταση	Απόλυτη Γραμμικότητα	[14]
Μη Γραμμικότητα	Η μέγιστη απόκλιση από την ευθεία γραμμή		
Εύρος τιμών	Μέγιστη πλην ελάχιστη τιμή μέτρησης φυσικού μεγέθους	Ευρύ	[76]
Ακρίβεια	Το μέγιστο αναμενόμενο σφάλμα μέτρησης μεταξύ πραγματικού και ιδανικού σήματος	Υψηλή	[14]
Υστέρηση	Η διαφορά στο σήμα εξόδου όταν αντιστραφεί η κατεύθυνση εισόδου (γρανάζια)	Χαμηλή	[14]
Εύρος ζώνης	Η απόκριση συχνότητας των αισθητήρων	Ευρύ	[14]
Ανάλυση	Η μικρότερη διακύμανση του σήματος εισόδου που μπορεί ο αισθητήρας να ανιχνεύσει	Υψηλή	[14]
Αξιοπιστία	Βασίζεται στην ακρίβεια των μετρήσεων του σήματος	Υψηλή	[14]

5.5 Είδη Αισθητήρων

Υπάρχουν ποικίλα είδη αισθητήρων που μπορούν να ανιχνεύσουν πολλά και διαφορετικά φυσικά μεγέθη από το περιβάλλον. Για την αποτελεσματικότερη μελέτη τους ταξινομήθηκαν σε κατηγορίες με βάση τους περιβαλλοντικούς παραμέτρους που μπορούν να ανιχνεύσουν. Οι κατηγορίες που προέκυψαν είναι οι εξής δεκαέξι (16): (1) Αισθητήρες Θερμοκρασίας, (2) Αισθητήρες Προσέγγισης, (3) Αισθητήρες Πίεσης, (4) Αισθητήρες Ποιότητας Νερού, (5) Χημικοί Αισθητήρες, (6) Αισθητήρες Αερίου, (7) Αισθητήρες Καπνού, (8) Αισθητήρες Υπερύθρων, (9) Αισθητήρες Απεικόνισης, (10) Αισθητήρες Ανίχνευσης Κίνησης, (11) Αισθητήρες Επιταχυνσιόμετρου, (12) Αισθητήρες Γυροσκοπίου, (13) Αισθητήρες Υγρασίας, (14) Αισθητήρες Ροής, (15) Οπτικοί Αισθητήρες, (16) Βιοαισθητήρες. Στην παρακάτω Εικόνα 10 παρουσιάζονται τα είδη των αισθητήρων με τις επιπρόσθετες κατηγορίες που περιλαμβάνει το κάθε είδος.



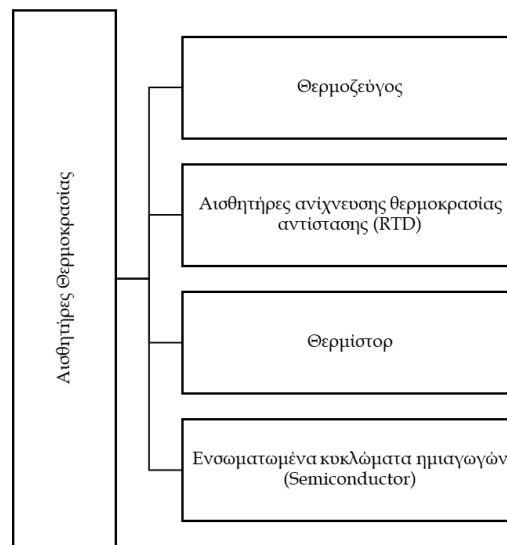
Εικόνα 10 Είδη αισθητήρων



Εικόνα 11 Είδη αισθητήρων

5.5.1 Αισθητήρες Θερμοκρασίας - Temperature sensors

Ένας από τους πιο συνηθισμένους αισθητήρες είναι οι αισθητήρες θερμοκρασίας. [77] Οι συγκεκριμένοι αισθητήρες ανιχνεύουν τη θερμοκρασία του περιβάλλοντος, μετατρέπουν τη θερμική ενέργεια σε ηλεκτρικό σήμα, ο μικροελεγκτής το επεξεργάζεται και το μετατρέπει σε βαθμούς Κελσίου (Celsius - °C). [67] Χρησιμοποιούνται σε συσκευές για τον έλεγχο του περιβάλλοντος, σε διάφορες καθημερινές συσκευές, όπως τα κλιματιστικά, οι καταψύκτες, καθώς και στον τομέα της γεωργίας, της βιομηχανίας, της υγείας και του περιβάλλοντος. [14] Υπάρχουν οι εξής τέσσερις τύποι αισθητήρων θερμοκρασίας: (1) Θερμοζεύγος, (2) Ανιχνευτής θερμοκρασίας αντίστασης, (3) Θερμίστορ, (4) Αισθητήρας ημιαγωγών και αναλύονται στη συνέχεια.



Εικόνα 12 Κατηγορίες αισθητήρων θερμοκρασίας

- **Θερμοζεύγος – Thermocouple**

[14] Ο αισθητήρας θερμοζεύγος είναι μία συσκευή η οποία αποτελείται από δύο σύρματα – αγωγούς διαφορετικής σύνθεσης και ενώνονται μεταξύ τους στα δύο άκρα. Βασίζεται στο φαινόμενο Seebeck και σύμφωνα με επιστημονική έρευνα [78] (S. Ong et al., 2018), «Το φαινόμενο Seebeck είναι όταν δημιουργείται ηλεκτρισμός μεταξύ ενός θερμοζεύγους όταν τα άκρα του υποβάλλονται σε διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ τους.», και [79] ειδικότερα, όταν τα δύο άκρα είναι σε διαφορετικές θερμοκρασίες δημιουργείται ηλεκτρικό πεδίο. Το εύρος μέτρησης της θερμοκρασίας εξαρτάται από το υλικό το οποίο είναι κατασκευασμένοι οι αγωγοί των συγκεκριμένων αισθητήρων και τη διάμετρο τους, σύμφωνα με τη Πρότυπη Κλίμακα Μέτρησης Αγωγών (Standard Wire Gauge - SWG)²⁰, όπως παρουσιάζεται στον Πίνακα 5.

²⁰ <http://www.tubesupplyinternational.co.uk/size-conversion-chart>

Πίνακας 5 Εύρος θερμοκρασίας θερμοζεύγων αισθητήρων

Είδος Αισθητήρων Θερμοκρασίας	Υλικό Κατασκευής	Πρότυπη Κλίμακα Μέτρησης Αγωγών (SWG)	Διάμετρος (mm)	Εύρος Θερμοκρασίας (Celsius - °C)	Αναφορά
Θερμοζεύγος - Thermocouple	Σίδηρο	16	1.626	0 - 500	[80]
		10	3.251	0 - 600	[80]
	Χαλκός	21	0.813	(-100) - 400	[80]
	Νικέλιο	16	1.626	0 - 950	[80]
		10	3.251	0 - 1150	[80]
	Λευκόχρυσος	Εξαρτάται από το περίβλημα		0 - 1400	[80]

- Αισθητήρες ανίχνευσης θερμοκρασίας αντίστασης - Resistance Temperature Detector sensor (RTD)**

[81] Ο αισθητήρας ανίχνευσης θερμότητας/αντίστασης RTD είναι μία συσκευή μέτρησης της θερμοκρασίας και συνήθως αποτελείται από δύο, τρία, ή τέσσερα σύρματα–αγωγούς. [81] Όταν οι αισθητήρες ενσωματώνονται σε ένα κύκλωμα, λαμβάνεται υπόψη η τιμή της αντίστασης των καλωδίων και στη περίπτωση που επηρεάζει την ακρίβεια του θερμομέτρου, τότε η επιρροή της θα πρέπει να ελαχιστοποιηθεί. [14] Χρησιμοποιούνται για τη μέτρηση της θερμοκρασίας κυρίως σε εργαστήρια και βιομηχανίες. Το εύρος μέτρησης της θερμοκρασίας εξαρτάται από το υλικό το οποίο είναι κατασκευασμένοι οι αγωγοί των συγκεκριμένων αισθητήρων όπως παρουσιάζεται στον Πίνακα 6.

Πίνακας 6 Εύρος θερμοκρασίας RTD αισθητήρων

Είδος Αισθητήρων Θερμοκρασίας	Υλικό Κατασκευής	Εύρος Θερμοκρασίας (Fahrenheit - °F)	Εύρος Θερμοκρασίας (Celsius - °C)	Αναφορά
Ανιχνευτής θερμότητας αντίστασης - RTD	Σίδηρο	32 - 400	0 - 204.4	[82]
	Χαλκός	(-100) - 300	(-73.3) - (+148.8)	[82]
	Νικέλιο	(-150) - 600	(-101.1) - (+315.5)	[82]
	Λευκόχρυσος	(-450) - 1200	(-267.7) - (+648.8)	[82]

- **Θερμίστορ – Thermistors**

[83], [84] Τα θερμίστορ είναι παρόμοιες συσκευές με τον αισθητήρα RTD και αφορούν κυρίως την ανίχνευση μικρών αλλαγών θερμοκρασίας. [84] Η τιμή της αντίστασης επηρεάζεται από τη θερμοκρασίας και ειδικότερα με την αύξηση της θερμοκρασίας μειώνεται η αντίσταση. [83], [84] Οι περισσότεροι τύποι εκείνου του αισθητήρα παρουσιάζουν τη μορφή της ράβδου, του δίσκου ή της σφαίρας και χρησιμοποιούνται περισσότερο στον τομέα της βιοϊατρικής λόγω της υψηλής ακρίβειας που διαθέτει. [85] Το εύρος μέτρησης της θερμοκρασίας για έναν θερμίστορ εξαρτάται από το υλικό το οποίο είναι κατασκευασμένοι οι αγωγοί και συνήθως κυμαίνεται μεταξύ (-50 °C) έως (+1000°C).

- **Αισθητήρες ημιαγωγών - Semiconductor sensors**

[86] Οι αισθητήρες ημιαγωγών ή αλλιώς ενσωματωμένα κυκλώματα ημιαγωγών (integrated semiconductor circuits – IC) αποτελούν συσκευές μέτρησης της θερμοκρασίας. Ανιχνεύουν τη θερμοκρασία του περιβάλλοντος και τη μετατρέπουν σε ηλεκτρικά σήματα (τάση, ρεύμα ή ηλεκτρική ενέργεια). [85] Το εύρος μέτρησης της θερμοκρασίας για έναν αισθητήρα ημιαγωγών συνήθως κυμαίνεται μεταξύ (-55 °C) έως (+150 °C). Υπάρχουν δύο τύποι κυκλωμάτων ημιαγωγών που χρησιμοποιούν τους εξής δύο τύπους αισθητήρες θερμοκρασίας.

- ο **Τοπικοί Αισθητήρες Θερμοκρασίας:** [86] Οι συγκεκριμένοι αισθητήρες μετρούν τη θερμοκρασία είτε των πλακετών σε ένα κύκλωμα είτε του περιβάλλοντος, χρησιμοποιώντας τις ιδιότητες του τρανζίστορ.
- ο **Οπτικοί Αισθητήρες Θερμοκρασίας:** [86] Οι συγκεκριμένοι αισθητήρες χρησιμοποιούνται κυρίως για τη μέτρηση της θερμοκρασίας με απομακρυσμένο τρόπο.

Στον παρακάτω Πίνακα 7 παρατίθενται ορισμένα παραδείγματα από την κάθε κατηγορία των αισθητήρων θερμοκρασίας με τα αντίστοιχα χαρακτηριστικά τους.

Πίνακας 7 Παραδείγματα αισθητήρων θερμοκρασίας

Είδος Αισθητήρων Θερμοκρασίας	Ονομασία Αισθητήρα	Μήκος (m)	Διάμετρος (mm)	Μέγιστη Θερμοκρασία (Celsius - °C)	Εικόνα	Αναφορά
Θερμοζεύγος - Thermocouple	RS PRO Type J Thermocouple	2	6	+350		21

²¹ <https://uk.rs-online.com/web/p/thermocouples/6212265>

Είδος Αισθητήρων Θερμοκρασίας	Ονομασία Αισθητήρα	Μήκος (m)	Διάμετρος (mm)	Μέγιστη Θερμοκρασία (Celsius - °C)	Εικόνα	Αναφορά
	RS PRO Type K Thermocouple	2	1.02	+350		22
	RS PRO Type T Thermocouple	1	1.02	+250		23
Αισθητήρες ανίχνευσης θερμοκρασίας αντίστασης - RTD	RS PRO PT100 RTD Sensor	1	6	+250		24
Θερμίστορ – Thermistors	Testo NTC Thermistor	-	40	+80		25
Αισθητήρες ημιαγωγών - Semiconductor sensors	Microchip MCP9700 Thermistor IC	-	-	+150		26

5.5.2 Αισθητήρες Προσέγγισης - Proximity sensors

[77] Οι αισθητήρες προσέγγισης μπορούν να ανιχνεύσουν τη θέση ενός αντικειμένου χωρίς φυσική επαφή. [14], [77] Εκπέμπουν ηλεκτρομαγνητικά κύματα, φως ή ήχο και εντοπίζουν την παρουσία ή την απουσία του αντικειμένου από τα σήματα επιστροφής. [67], [77] Παρουσιάζουν ποικίλες λειτουργίες εκτός από την ανίχνευση αντικειμένων, όπως για παράδειγμα καταμέτρηση της ποσότητας αντικειμένων, ανίχνευση του υλικού ενός αντικειμένου, κ.α., και διαθέτουν διάφορες εφαρμογές στον τομέα της βιομηχανίας, στη στάθμευση των αυτοκινήτων για τον υπολογισμό διαθέσιμων θέσεων σε εμπορικά κέντρα, αεροδρόμια, στάδια. Υπάρχουν αρκετοί τύποι αισθητήρων

²² <https://uk.rs-online.com/web/p/thermocouples/3630294>

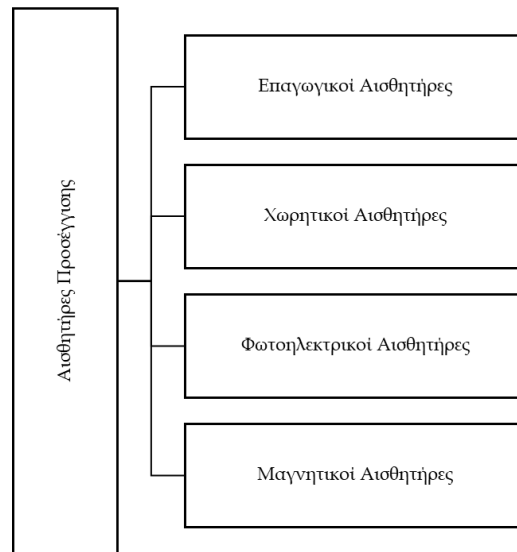
²³ <https://uk.rs-online.com/web/p/thermocouples/3630266>

²⁴ <https://uk.rs-online.com/web/p/rtd-sensors/2364261>

²⁵ <https://uk.rs-online.com/web/p/thermistors/4567995>

²⁶ <https://uk.rs-online.com/web/p/temperature-humidity-sensor-ics/1704320>

ανίχνευσης μερικοί από τους οποίους παρατίθενται παρακάτω και διαθέτουν διαφορετικές εφαρμογές αντίστοιχα.



Εικόνα 13 Κατηγορίες αισθητήρων προσέγγισης

- **Επαγωγικοί Αισθητήρες (Inductive Sensors):** [14], [87] Οι συγκεκριμένοι αισθητήρες ανιχνεύουν μεταλλικά αντικείμενα τα οποία βρίσκονται σε κοντινή απόσταση, δημιουργώντας ηλεκτρομαγνητικά κύματα.
- **Χωρητικοί Αισθητήρες (Capacitive Sensors):** [14], [87] Οι συγκεκριμένοι αισθητήρες ανιχνεύουν μεταλλικά και μη μεταλλικά αντικείμενα (όπως υγρά, ύφασμα, γυαλί, κ.α.) που βρίσκονται σε κοντινή απόσταση. [87] Εκπέμπουν ηλεκτροστατικό πεδίο αντί για ηλεκτρομαγνητικό προκειμένου να μπορούν να ανιχνεύσουν και μη μεταλλικά αντικείμενα.
- **Φωτοηλεκτρικοί Αισθητήρες (Photoelectric Sensors):** [14], [87] Οι συγκεκριμένοι αισθητήρες ανιχνεύουν αντικείμενα που βρίσκονται σε μακρινή απόσταση, χρησιμοποιώντας μία πηγή φωτός και έναν φωτοηλεκτρικό δέκτη.
- **Αισθητήρες Υπερήχων (Ultrasonic Sensors):** [14] Οι συγκεκριμένοι αισθητήρες ανιχνεύουν αντικείμενα με δύσκολη επιφάνεια, όπως τραχεία επιφάνεια, ποικίλα χρώματα και βρίσκονται σε μακρινή απόσταση.
- **Μαγνητικοί Αισθητήρες (Magnetic Sensors):** [87] Οι συγκεκριμένοι αισθητήρες ανιχνεύουν αντικείμενα, χρησιμοποιώντας έναν ηλεκτρικό διακόπτη ο οποίος λειτουργεί με μαγνήτη.

Το εύρος ανίχνευσης των αισθητήρες προσέγγισης εξαρτάται από το είδος τους, όπως παρουσιάζεται στον Πίνακα 8.

Πίνακας 8 Εύρος ανίχνευσης αισθητήρων προσέγγισης

Είδη Αισθητήρων Προσέγγισης	Εύρος Ανίχνευσης (mm)	Αναφορά
Επαγωγικοί	4 - 40	[14]

Είδη Αισθητήρων Προσέγγισης	Εύρος Ανίχνευσης (mm)	Αναφορά
Χωρητικοί	3 - 60	[14]
Φωτοηλεκτρικοί	1 - 60	[14]
Υπερήχων	3 - 30	[14]

Στον παρακάτω Πίνακα 9 παρατίθενται ορισμένα παραδείγματα των αισθητήρων προσέγγισης με τα αντίστοιχα χαρακτηριστικά τους.

Πίνακας 9 Παραδείγματα αισθητήρων προσέγγισης

Είδος Αισθητήρων Προσέγγισης	Ονομασία Αισθητήρα	Μήκος (mm)	Μέγιστη Ανίχνευση (mm)	Εικόνα	Αναφορά
Επαγωγικοί Αισθητήρες - Inductive Sensors	RS PRO Inductive Barrel-Style Proximity Sensor	48	5		27
Χωρητικοί Αισθητήρες - Capacitive Sensors	RS PRO Capacitive Block-Style Proximity Sensor	50	10		28
Αισθητήρες Υπερήχων - Ultrasonic Sensors	RS PRO Ultrasonic Barrel-Style Proximity Sensor	7.1	300		29
Μαγνητικοί Αισθητήρες - Magnetic Sensors	ZF Magnetic Proximity Sensor	57.33	-		30

²⁷ <https://uk.rs-online.com/web/p/thermocouples/6212265>

²⁸ <https://uk.rs-online.com/web/p/proximity-sensors/8967273>

²⁹ <https://uk.rs-online.com/web/p/proximity-sensors/1669497>

³⁰ <https://uk.rs-online.com/web/p/proximity-sensors/7659353>

5.5.3 Αισθητήρες Πίεσης - Pressure sensors

[77] Οι αισθητήρες πίεσης ή αλλιώς μετατροπείς πίεσης ανιχνεύουν το ποσό της δύναμης – πίεσης, το οποίο μπορεί να διαθέτει οποιασδήποτε μορφή, υγρό ή αέριο, και το μετατρέπουν σε ηλεκτρικά σήματα. [14] Οι συγκεκριμένοι αισθητήρες παρουσιάζουν διάφορες λειτουργίες εκτός από την διακύμανση του ποσού της πίεσης, όπως τη μέτρηση της στάθμης του νερού, της ταχύτητας, του υψόμετρου. [67], [77] Διαθέτουν ποικίλες εφαρμογές στον τομέα της υγείας (εποπτεία της υγείας), στη συντήρηση συστημάτων θέρμανσης, σε αυτοκίνητα (μέτρηση στάθμης του υγρών, στους αερόσακους), στη βιοϊατρική, στην αεροπορία (ισορροπία ατμοσφαιρικής πίεσης), υποβρύχια (εκτίμηση βάθους). [14] Οι αισθητήρες πίεσης χρησιμοποιούνται, επίσης, και σε καθημερινές συσκευές, όπως smartphones, tablets, δηλαδή συσκευές που περιλαμβάνουν οθόνες αφής. Ανιχνεύουν το σημείο στο οποίο ασκείται η πίεση και αποστέλλουν σήμα στον επεξεργαστή της συσκευής.

Στον παρακάτω Πίνακα 10 παρατίθενται ορισμένα παραδείγματα των αισθητήρων προσέγγισης με τα αντίστοιχα χαρακτηριστικά τους.

Πίνακας 10 Παραδείγματα αισθητήρων ποιότητας νερού

Ονομασία Αισθητήρα	Ακρίβεια (%)	Μέγιστη Θερμοκρασία (Celsius - °C)	Εικόνα	Αναφορά
RS PRO Pressure Sensor, 0bar Min, 10bar Max, Current Output	±0.25	+135		31
RS PRO Pressure Sensor, Analogue Output	±0.25	+80°		32

³¹ <https://uk.rs-online.com/web/p/pressure-sensors/7975018>

³² <https://uk.rs-online.com/web/p/pressure-sensors/1235253>

Ονομασία Αισθητήρα	Ακρίβεια (%)	Μέγιστη Θερμοκρασία (Celsius - °C)	Εικόνα	Αναφορά
RS PRO Wireless Pressure Transducer	±0.25	+80		33
RS PRO Pressure Switch, 0bar Min, 16bar Max, Analogue Output	≤0.5	+125		34

5.5.4 Αισθητήρες Ποιότητας Νερού - Water quality sensors

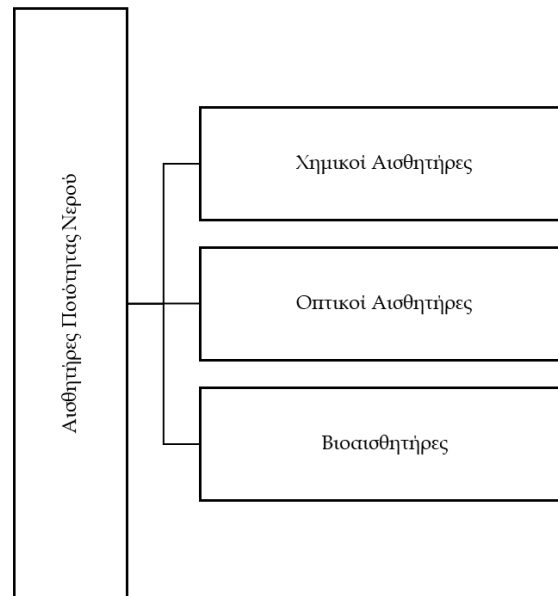
Οι αισθητήρες ποιότητας νερού είναι αρκετά σημαντικοί αισθητήρες, καθώς παρακολουθούν την ποιότητα του νερού σε αστικές και αγροτικές περιοχές. [77], [88] Για τον προσδιορισμό της ποιότητας του νερού λαμβάνονται υπόψη διάφοροι παράμετροι ανάλογα με τη χρήση του, όπως επιφανειακή χρήση (σε λιμάνια, ωκεανούς, ρυάκια, σε στρατιωτικές εγκαταστάσεις, στον τομέα της γεωργίας), υπόγεια ύδατα, πόσιμο νερό (στον τομέα της ιατρικής, της βιομηχανίας, της γεωργίας), τεχνητή χρήση (πισίνες) κ.α. Οι παράγοντες οι οποίοι επηρεάζουν την ποιότητα του νερού είναι οι εξής:

- **Φυσικοί παράγοντες:** [77], [88] Στους φυσικούς παράγοντες περιλαμβάνονται τα σωματίδια, το χρώμα, η πυκνότητα, η θερμοκρασία, η θολότητα, η αγωγιμότητα, κ.α.
- **Χημικοί παράγοντες:** [88] Στους χημικούς παράγοντες περιλαμβάνονται η ενεργός οξύτητα (pH), η αλκαλικότητα, η περιεκτικότητα σε διάφορα στοιχεία, όπως άζωτο, φώσφορο, θείο, σίδηρο, ψευδάργυρο, μόλυβδο, κ.α.
- **Βιολογικοί παράγοντες:** [88] Στους βιολογικούς παράγοντες περιλαμβάνονται οι διάφοροι οργανισμοί, όπως φύκια, φυτοπλαγκτόν, βακτήρια, παθογόνα, κ.α.

Η ποιότητα του νερού μπορεί να μετρηθεί με τη χρήση διαφόρων αισθητήρων, Χημικοί, Οπτικοί, και Βιοαισθητήρες, οι οποίοι αναλύονται παρακάτω.

³³ <https://uk.rs-online.com/web/p/pressure-sensors/1235253>

³⁴ <https://uk.rs-online.com/web/p/pressure-sensors/5184456>



Εικόνα 14 Κατηγορίες αισθητήρων ποιότητας νερού

- **Χημικοί Αισθητήρες:** Οι συγκεκριμένοι αισθητήρες παρέχουν πληροφορίες σχετικά με τη χημική σύσταση του νερού. [88] Αφού αναγνωρίσουν και ανιχνεύσουν τη χημική του σύσταση, τη μετατρέπουν σε ένα μετρήσιμο – επεξεργάσιμο σήμα.
- **Οπτικοί Αισθητήρες:** [89] Οι συγκεκριμένοι αισθητήρες παρέχουν πληροφορίες σχετικά με τις ορατές ιδιότητες του νερού. [89] Ανιχνεύουν μεγέθη τα οποία ανταποκρίνονται στο φως, όπως pH, θολότητα, χλώριο, στάθμη νερού.
- **Βιοαισθητήρες (Biosensors):** [90] Οι συγκεκριμένοι αισθητήρες παρέχουν πληροφορίες σχετικά με τους μικροοργανισμούς που υπάρχουν στο νερό. [90] Ανιχνεύουν και αναγνωρίζουν τις βιολογικές αποκρίσεις και τις μετατρέπουν σε ηλεκτρικό σήμα.

Ένα παράδειγμα των αισθητήρων ποιότητας νερού με τα αντίστοιχα χαρακτηριστικά του παρατίθενται στον Πίνακα 11.

Πίνακας 11 Παράδειγμα αισθητήρων ποιότητας νερού

Όνομα Αισθητήρα	Ακρίβεια (Celsius - °C)	Εύρος Μέτρησης pH	Εικόνα	Αναφορά
Advanced Water Quality Sensor PS-2230	+0.5 °	0 - 14		35

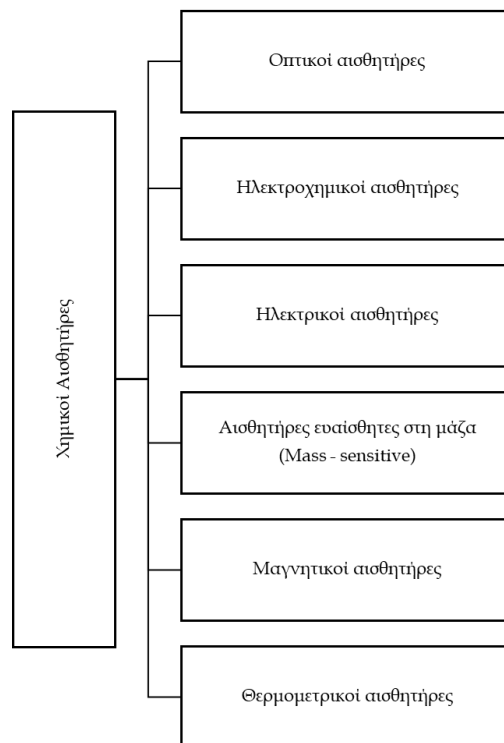
³⁵ <https://www.pasco.com/products/sensors/pasport/ps-2230#desc-panel>

5.5.5 Χημικοί Αισθητήρες - Chemical sensors

[67], [77], [91] Οι χημικοί αισθητήρες μετατρέπουν τις χημικές πληροφορίες σε επεξεργάσιμο σήμα και μπορούν να ανιχνεύσουν οποιαδήποτε χημική ουσία, χημική αντίδραση ή χημική αλλαγή στο χώρο (υγρό ή αέριο). Οι περισσότεροι χημικοί αισθητήρες περιλαμβάνουν τα δύο παρακάτω βασικά στοιχεία.

1. **Έναν υποδοχέα:** [91] Σε αυτό το τμήμα πραγματοποιείται η μετατροπή των χημικών πληροφοριών στην κατάλληλη μορφή ενέργειας για τον μετατροπέα.
2. **Έναν μετατροπέα:** [91] Σε αυτό το τμήμα πραγματοποιείται η μετατροπή της ενέργειας που λαμβάνεται από τον υποδοχέα σε επεξεργάσιμο σήμα.

Οι χημικοί αισθητήρες ταξινομούνται σε διάφορες κατηγορίες ανάλογα με τις λειτουργίες του μετατροπέα και παρουσιάζονται παρακάτω.



Εικόνα 15 Κατηγορίες χημικών αισθητήρων

- **Οπτικοί αισθητήρες:** [91] Οι συγκεκριμένοι αισθητήρες βασίζονται σε οπτικά φαινόμενα, όπως η απορροφητικότητα μίας ουσίας που προκαλείται είτε από την ίδια είτε από την αντίδραση της με έναν δείκτη, η ανάκλαση, η φωταύγεια, ο φθορισμός, η διάθλαση, η σκέδαση, κ.α.
- **Ηλεκτροχημικοί αισθητήρες:** [91] Οι συγκεκριμένοι αισθητήρες μετατρέπουν την ηλεκτροχημική ενέργεια σε επεξεργάσιμο σήμα. [91] Σε αυτήν την κατηγορία ανήκουν τα βολτάμετρα, τα αμπερόμετρα, τα ποτενσιόμετρα, κ.α.
- **Ηλεκτρικοί αισθητήρες:** [91] Οι συγκεκριμένοι αισθητήρες βασίζονται στις αλλαγές των ηλεκτρικών ιδιοτήτων της ενδιαφερόμενης ουσίας. [91] Σε αυτήν την κατηγορία ανήκουν

- οι αισθητήρες ημιαγωγών οξειδίου μετάλλου, οι οργανικοί αισθητήρες ημιαγωγών, οι αισθητήρες ηλεκτρολυτικής αγωγιμότητας και οι αισθητήρες ηλεκτρικής διαπερατότητας.
- **Αισθητήρες ευαίσθητες στη μάζα (Mass - sensitive):** [91] Οι συγκεκριμένοι αισθητήρες βασίζονται στην αλλαγή της μάζας, η οποία μπορεί να προκληθεί από τη συσσώρευση μίας ουσίας. [91] Σε αυτήν την κατηγορία ανήκουν οι πιεζοηλεκτρικές συσκευές (κυρίως για αέρια) και τις συσκευές επιφανειακών ακουστικών κυμάτων (κυρίως για ακουστικά κύματα).
 - **Μαγνητικοί αισθητήρες:** [91] Οι συγκεκριμένοι αισθητήρες βασίζονται στην αλλαγή των μαγνητικών ιδιοτήτων της ενδιαφερόμενης ουσίας.
 - **Θερμομετρικοί αισθητήρες:** [91] Οι συγκεκριμένοι αισθητήρες βασίζονται στις θερμικές αλλαγές της ενδιαφερόμενης ουσίας ή χημικής αντίδρασης.

[67] Οι χημικοί αισθητήρες χρησιμοποιούνται κυρίως στον τομέα της βιομηχανίας, στο περιβάλλον για την ανίχνευση επιβλαβών χημικών ουσιών, ραδιενεργών ουσιών, στο φαρμακευτικό τομέα και σε εργαστήρια για έρευνες. Ένα παράδειγμα των ηλεκτροχημικών αισθητήρων με τα αντίστοιχα χαρακτηριστικά του παρατίθενται στον Πίνακα 12.

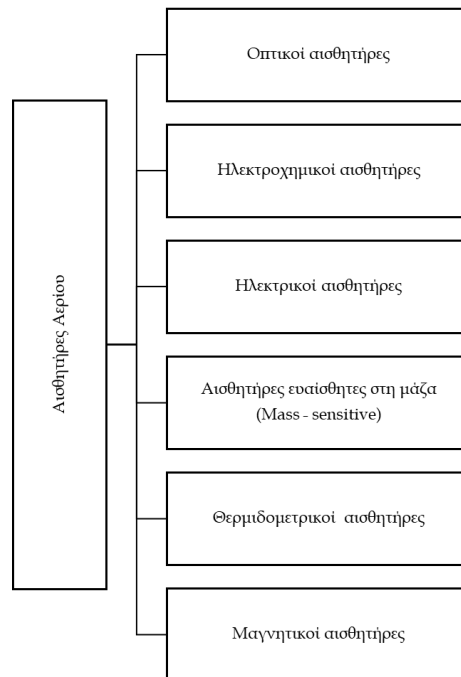
Πίνακας 12 Παραδείγματα χημικών αισθητήρων

Είδος Χημικών Αισθητήρων	Ονομασία Αισθητήρα	Ανάλυση (ppm)	Χρόνος Απόκρισης (s)	Εικόνα	Αναφορά
Ηλεκτροχημικοί αισθητήρες	ELECTROCHEMICAL ETO-100 SENSOR	0.5	≤ 120		36

5.5.6 Αισθητήρες Αερίου - Gas sensor

[67] Οι αισθητήρες αερίου παρακολουθούν την ποιότητα του αέρα στο περιβάλλον και ανιχνεύουν τους διάφορους τύπους αερίων. [67] Είναι αρκετά χρήσιμοι αισθητήρες, καθώς μπορούν να εντοπίσουν τα τοξικά ή εύφλεκτα αέρια και ταξινομούνται σε Οπτικούς, Ηλεκτροχημικούς, Ηλεκτρικούς, Αισθητήρες ευαίσθητες στη μάζα, Θερμιδομετρικούς, Μαγνητικούς και αναλύονται παρακάτω.

³⁶ <https://www.eoc-inc.com/electrochemical-sensors/#AirQuality>



Εικόνα 16 Κατηγορίες αισθητήρων αερίου

- **Οπτικοί αισθητήρες:** [92] Οι συγκεκριμένοι αισθητήρες βασίζονται σε οπτικά φαινόμενα και ανιχνεύουν τις αλλαγές του φωτός, στο χρώμα ή στα φάσματα εκπομπής (φωτεινότητα, διάθλαση, σκέδαση, κ.α.).
- **Ηλεκτροχημικοί αισθητήρες:** [92] Οι συγκεκριμένοι αισθητήρες βασίζονται σε αλλαγές του ρεύματος, της τάσης, της αντίστασης. Σε αυτήν την κατηγορία ανήκουν τα ποτενσιόμετρα, τα βολτάμετρα, τα αμπερόμετρα, κ.α.
- **Ηλεκτρικοί αισθητήρες:** [92] Οι συγκεκριμένοι αισθητήρες βασίζονται στην επιφανειακή αλληλεπίδραση, περιλαμβάνουν κυρίως τους αισθητήρες χωρητικότητας, αισθητήρες ημιαγωγών και ανιχνεύουν την αγωγιμότητα οξειδίου μετάλλου, την οργανική αγωγιμότητα, την ηλεκτρολυτική αγωγιμότητα
- **Αισθητήρες ευαίσθητοι στη μάζα:** [92] Οι συγκεκριμένοι αισθητήρες βασίζονται σε αλλαγές στη μάζα, το πλάτος, τη συχνότητα, το σχήμα, το μέγεθος ή το σχήμα.
- **Θερμιδομετρικοί αισθητήρες:** [92] Οι συγκεκριμένοι αισθητήρες βασίζονται στις θερμικές επιδράσεις μίας χημικής αντίδρασης και σε αλλαγές στη θερμοκρασία.
- **Μαγνητικοί αισθητήρες:** [92] Οι συγκεκριμένοι αισθητήρες βασίζονται σε αλλαγές των παραμαγνητικών ιδιοτήτων του αερίου.

[67] Οι αισθητήρες αερίου χρησιμοποιούνται κυρίως σε βιομηχανίες πετρελαίου και φυσικού αερίου, σε εργαστηριακές έρευνες, στο φαρμακευτικό τομέα, σε αυτοκίνητα για τον έλεγχο του εξαερισμού. Στον παρακάτω Πίνακα 13 παρατίθενται ορισμένα παραδείγματα των αισθητήρων αερίου με τα αντίστοιχα χαρακτηριστικά τους.

Πίνακας 13 Παραδείγματα αισθητήρων αερίου

Ονομασία Αισθητήρα	Χρόνος Απόκρισης (s)	Μέγιστη Θερμοκρασία (Celsius - °C)	Εικόνα	Αναφορά
GSS ExplorIR-M-20, NDIR CO2 Gas Sensor IC	10 - 2	+55		37
ELECTROCHEMICAL AsH3-1 SENSOR	≤60	+50		38
COOLSEER WIFI NATURAL GAS SENSOR	-	+50		39

5.5.7 Αισθητήρες Καπνού - Smoke sensor

[67] Οι αισθητήρες καπνού ανιχνεύουν την ποσότητα καπνού και συγκεκριμένα τα αιωρούμενα σωματίδια και αέρια που υπάρχουν στην ατμόσφαιρα. [67] Είναι αρκετά διαδεδομένοι στον τομέα της βιομηχανίας, σε επιχειρήσεις, σε κτίρια για την ασφάλεια και τον εντοπισμό επικινδυνών αερίων. Στον παρακάτω Πίνακα 14 παρατίθενται ορισμένα παραδείγματα των αισθητήρων αερίου με τα αντίστοιχα χαρακτηριστικά τους.

Πίνακας 14 Παραδείγματα αισθητήρων καπνού

Ονομασία Αισθητήρα	Μέγιστη Θερμοκρασία (Celsius - °C)	Εικόνα	Αναφορά
XP95 Optical Smoke Detector 55000-600	+80		40

³⁷ <https://uk.rs-online.com/web/p/environmental-sensor-ics/1809026>

³⁸ <https://www.eoc-inc.com/electrochemical-sensors/#4Series>

³⁹ https://www.e-shop.gr/coolseer-wifi-natural-gas-sensor-p-PER.590867?gclid=EAIaIQobChMIkb_V7qvk-QIVR7TVCh0kDw1XEAQYAIBEGLujPD_BwE

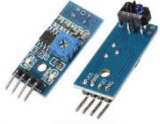
⁴⁰ https://cdn.shopify.com/s/files/1/0477/1014/2630/files/Apollo_XP95_Optical.pdf?v=1603749531

Ονομασία Αισθητήρα	Μέγιστη Θερμοκρασία (Celsius - °C)	Εικόνα	Αναφορά
MQ-2 Smoke Combustible Gas Sensor Detector Module	+70		41
GS 558 Wireless smoke detector with integrated heat sensor	+50		42

5.5.8 Αισθητήρες Υπερύθρων - Infrared (IR) sensors

[77] Οι αισθητήρες υπερύθρων ανιχνεύουν ή εκπέμπουν υπέρυθρες ακτινοβολίες για τον εντοπισμό αντικειμένων ή των χαρακτηριστικών του περιβάλλοντος. [67], [77] Μπορούν επίσης να ανιχνεύσουν, να μετρήσουν τη θερμότητα που εκπέμπεται από τα αντικείμενα, καθώς και την κίνηση τους. [67], [77] Οι αισθητήρες υπερύθρων χρησιμοποιούνται σε οικιακές συσκευές (ενεργοποίηση/απενεργοποίηση φώτων), στο περιβάλλον (διαχείριση απορριμμάτων), σε χώρους στάθμευσης, στον τομέα της υγείας (παρακολούθηση αρτηριακής πίεσης), σε κτίρια (ανίχνευση χημικών ουσιών), κ.α. Στον παρακάτω Πίνακα 15 παρατίθενται ορισμένα παραδείγματα των αισθητήρων υπερύθρων με τα αντίστοιχα χαρακτηριστικά τους.

Πίνακας 15 Παραδείγματα αισθητήρων υπερύθρων

Ονομασία Αισθητήρα	Ακρίβεια (Celsius - °C)	Εύρος Μέτρησης	Εικόνα	Αναφορά
Omron D6T8L06 MEMS Thermal Infrared Temperature Sensor	±3	+50°C		43
TCRT5000 Infrared Sensor Module - Line Track	.	1mm - 25 mm		44

⁴¹ <https://www.sparkpcb.com/sensors/mq-2-smoke-combustible-gas-sensor-detector-module.html>

⁴² <https://www.reichelt.com/de/en/wireless-smoke-detector-with-integrated-heat-sensor-gs-558-p167337.html>

⁴³ <https://uk.rs-online.com/web/p/infrared-temperature-sensors/8226421>

⁴⁴ <https://www.devobox.com/el/proximity/506-tcrt5000-infrared-sensor-module-line-track.html>

5.5.9 Αισθητήρες Απεικόνισης - Image sensors

[14], [67] Οι αισθητήρες απεικόνισης μετατρέπουν τις εικόνες σε ηλεκτρικά σήματα και παρουσιάζουν ποικίλες εφαρμογές, όπως σε ψηφιακές φωτογραφικές μηχανές, σε ιατρικά συστήματα απεικόνισης, σε εξοπλισμό νυχτερινής όρασης, σε συσκευές θερμικής απεικόνισης, σε βιομετρικά συστήματα, κ.α. Στον παρακάτω Πίνακα 16 παρατίθενται ορισμένα παραδείγματα των αισθητήρων απεικόνισης με τα αντίστοιχα χαρακτηριστικά τους.

Πίνακας 16 Παραδείγματα αισθητήρων υπερύθρων

Ονομασία Αισθητήρα	Τύπος διεπαφής	Μέγιστη Θερμοκρασία (Celsius - °C)	Εικόνα	Αναφορά
Sony CXD5602 CXD5602PWBCAM1E Image Sensor CMOS 8 bit	CMOS 8 bit, I2C	+40		45
ams OSRAM Dragster DR2X4K7_INVAR_RGB_V6 FT SE Image Sensor Serial INVAR	Serial	-		46

5.5.10 Αισθητήρες Ανίχνευσης Κίνησης - Motion detection sensors

[14], [67] Οι αισθητήρες ανίχνευσης κίνησης είναι συσκευές που μπορούν να ανιχνεύσουν την κίνηση οποιουδήποτε χρήστη στο περιβάλλον. [14], [67] Παρουσιάζουν ποικίλες εφαρμογές, όπως σε κτίρια (ανίχνευση κίνησης κατά την απουσία του ιδιοκτήτη), σε πλατείες, σε δρόμους, σε χώρους στάθμευσης, σε συστήματα διαχείρισης ενέργειας (αυτόματος φωτισμός, ανεμιστήρας), κ.α. Στον παρακάτω Πίνακα 17 παρατίθενται ορισμένα παραδείγματα των αισθητήρων ανίχνευσης κίνησης με τα αντίστοιχα χαρακτηριστικά τους.

Πίνακας 17 Παραδείγματα αισθητήρων ανίχνευσης κίνησης

Ονομασία Αισθητήρα	Εύρος Ανίχνευσης (m)	Εύρος Θερμοκρασία (Celsius - °C)	Εικόνα	Αναφορά
AM312 HC-SR301	3 - 5	(-20) – (+60)		47

⁴⁵ <https://uk.rs-online.com/web/p/image-sensor-ics/1833894>

⁴⁶ <https://uk.rs-online.com/web/p/image-sensor-ics/2066024>

⁴⁷ <https://www.aliexpress.com/item/1005001580426299.html>

Ονομασία Αισθητήρα	Εύρος Ανίχνευσης (m)	Εύρος Θερμοκρασία (Celsius - °C)	Εικόνα	Αναφορά
RCWL-0516	5 - 7	-		48
SR-602	0 – 3.5	-		49

5.5.11 Αισθητήρες Επιταχυνσιόμετρου - Accelerometer sensors

[14] Το επιταχυνσιόμετρο είναι ένας μετατροπέας ο οποίος ανιχνεύει την επιτάχυνση ενός αντικειμένου και το μετατρέπει σε ηλεκτρικά σήματα. [14] Παρουσιάζουν ποικίλες εφαρμογές, όπως η ανίχνευση κραδασμών, η ανίχνευση κίνησης και χρησιμοποιούνται σε καθημερινές συσκευές (smartphones), σε αυτοκίνητα, σε αεροσκάφη, σε βιομηχανίες, κ.α.

Στον παρακάτω Πίνακα 18 παρατίθενται ορισμένα παραδείγματα των επιταχυνσιόμετρων με τα αντίστοιχα χαρακτηριστικά τους.

Πίνακας 18 Παραδείγματα επιταχυνσιόμετρων

Ονομασία Αισθητήρα	Εύρος Ανίχνευσης (g)	Εικόνα	Αναφορά
3-AXIS ACCELEROMETER SENSOR LSM303DLH	$\pm 2 / \pm 4 / \pm 8$		50
MPU-6050 3-Axis Accelerometer and Gyro Sensor	$\pm 2 / \pm 4 / \pm 8 / \pm 16$		51

⁴⁸ <https://www.aliexpress.com/item/1005001580426299.html>

⁴⁹ <https://www.aliexpress.com/item/1005001580426299.html>

⁵⁰ <https://www.smart-prototyping.com/LSM303DLH-3-Axis-Electronic-Compass-Accelerometer-Module-Compass-Sensor.html>

⁵¹ <https://www.rytronics.in/product/mpu-6050-3-axis-accelerometer-and-gyro-sensor/>

5.5.12 Αισθητήρες Γυροσκοπίου - Gyroscope (gyro) sensors

[67] Οι αισθητήρες γυροσκοπίου ανιχνεύουν και μετρούν τη γωνιακή ταχύτητα. [14], [67] Παρουσιάζουν ποικίλες εφαρμογές, όπως στον τομέα της ρομποτικής, της βιομηχανίας, σε αυτοκίνητα (σύστημα πλοήγησης), σε κάμερες, σε drones, σε 3D παιχνίδια και χρησιμοποιούνται κυρίως για πλοήγηση. Στον παρακάτω Πίνακα 19 παρατίθενται ορισμένα παραδείγματα γυροσκοπίων με τα αντίστοιχα χαρακτηριστικά τους.

Πίνακας 19 Παραδείγματα γυροσκοπίων

Ονομασία Αισθητήρα	Εύρος Ανίχνευσης	Εικόνα	Αναφορά
Adafruit 9-DoF Breakout Board - STEMMA QT / Qwiic - LSM9DS1	$\pm 245/\pm 500/\pm 2000$ dps		52
GY-521 MPU-6050 3 Axis Accelerometer Gyroscope Module 6 DOF 6-axis	± 250 500 1000 2000 degree/sec		53

5.5.13 Αισθητήρες Υγρασίας - Humidity sensors

[14] Οι αισθητήρες υγρασίας ή αλλιώς αισθητήρες υγρόμετρου ανιχνεύει και μετρά την υγρασία και την θερμοκρασία στην ατμόσφαιρα. [67], [77] Παρουσιάζουν ποικίλες εφαρμογές, όπως στον τομέα της γεωργίας (θερμοκήπια), της βιομηχανίας, σε μουσεία, σε νοσοκομεία, σε αυτοκίνητα, σε κτίρια (έλεγχος της θερμοκρασίας).

Στον παρακάτω Πίνακα 20 παρατίθενται ορισμένα παραδείγματα αισθητήρων υγρασίας με τα αντίστοιχα χαρακτηριστικά τους.

Πίνακας 20 Παραδείγματα αισθητήρων υγρασίας

Ονομασία Αισθητήρα	Χρόνος Απόκρισης (s)	Εικόνα	Αναφορά
CO2 Humidity & Temperature Sensor SCD30	8		54

⁵² <https://grobotronics.com/adafruit-9-dof-breakout-board-stemma-qt-qwiic-lsm9ds1.html>

⁵³ <https://besomi-egypt.com/products/gy-521-mpu-6050-3-axis-accelerometer-gyroscope-module-6-dof-6-axis-accelerometer-gyroscope-sensor-module-16-bit-ad-converter-data-output-iic-i2c-for-arduino>

⁵⁴ <https://grobotronics.com/co2-humidity-and-temperature-sensor-scd30.html>

Ονομασία Αισθητήρα	Χρόνος Απόκρισης (s)	Εικόνα	Αναφορά
Digital Humidity Sensor SHT85 (RH/T)	8		55

5.5.14 Αισθητήρες Ροής - Flow Sensors

[14] Οι αισθητήρες ροής ανιχνεύουν το ρυθμό της ροής ενός ρευστού σε ένα σύστημα, σε ένα σωλήνα και μετρούν τη θερμότητα που μεταφέρεται στο σύστημα. Μία από τις βασικότερες κατηγορίες των αισθητήρων ροής είναι οι **Αισθητήρες Θερμικής Ροής (Thermal flow sensors)**. [93] Οι συγκεκριμένοι αισθητήρες ανιχνεύουν τη ροή του ρευστού μέσω της μεταφοράς της θερμότητας. [97] Αποτελείται από δύο μέρη, τους θερμαντήρες και τα αισθητήρια στοιχεία. [97] Τα αισθητήρια στοιχεία ανιχνεύουν τη μεταβολή της θερμότητας μεταξύ του θερμαντήρα και της ροής, με αυτόν τον τρόπο δεν απαιτείται η ανάγκη χρήσης επιπλέον μηχανικών εξαρτημάτων.

Στον παρακάτω Πίνακα 21 παρατίθενται ορισμένα παραδείγματα αισθητήρων ροής με τα αντίστοιχα χαρακτηριστικά τους.

Πίνακας 21 Παραδείγματα αισθητήρων ροής

Ονομασία Αισθητήρα	Ακρίβεια (mm)	Ευαισθησία (mm)	Εικόνα	Αναφορά
Gravity Photoelectric Water/Liquid Level Sensor FS-IR02	± 0.5	-		56
Gravity Non-contact Digital Water / Liquid Level Sensor XKC-Y25-T12V	-	0 ~ 13		57

5.5.15 Οπτικοί Αισθητήρες - Optical sensors (OS)

[14] Οι οπτικοί αισθητήρες ανιχνεύουν τις ακτίνες φωτός και την ηλεκτρομαγνητική ενέργεια και τις μετατρέπουν σε ηλεκτρικό σήμα. . [67], [77] Παρουσιάζουν ποικίλες εφαρμογές, όπως στην

⁵⁵ <https://grobotronics.com/digital-humidity-sensor-sht85-rh-t.html>

⁵⁶ <https://grobotronics.com/gravity-photoelectric-water-liquid-level-sensor.html>

⁵⁷ <https://grobotronics.com/gravity-non-contact-digital-water-liquid-level-sensor.html>

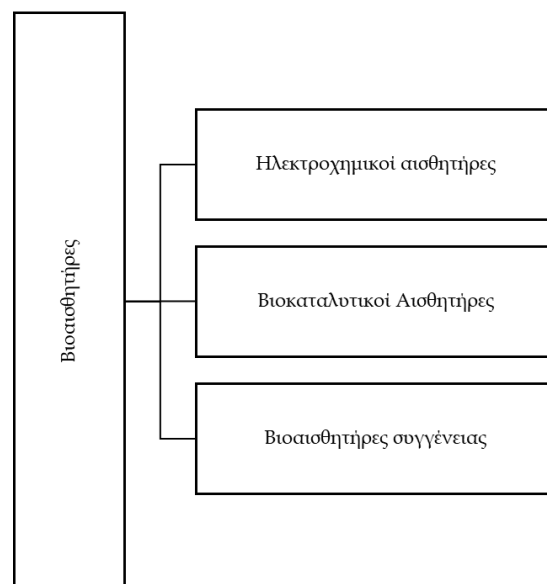
ενέργεια, την υγεία, το περιβάλλον, τη βιομηχανία. Στον παρακάτω Πίνακα 22 παρατίθενται ορισμένα παραδείγματα οπτικών αισθητήρων με τα αντίστοιχα χαρακτηριστικά τους.

Πίνακας 22 Παραδείγματα οπτικών αισθητήρων

Ονομασία Αισθητήρα	Μέγιστη Θερμοκρασία (Celsius - °C)	Εικόνα	Αναφορά
Optical Detector / Phototransistor - QRD1114	85		58
Pimoroni Optical Flow Sensor - PMW3901	42		59

5.5.16 Βιοαισθητήρες - Biosensors

[67], [94], [95] Οι βιοαισθητήρες ή αλλιώς βιοηλεκτρόδια ανιχνεύουν διάφορες ουσίες και τις βιολογικές αντιδράσεις, όπως ο καρδιακός ρυθμός και τα εγκεφαλικά κύματα, χρησιμοποιώντας φυσικοχημικό ανιχνευτή και στη συνέχεια, μετατρέπονται σε ηλεκτρικά σήματα. Υπάρχουν αρκετοί τύποι βιοαισθητήρων μερικοί από τους οποίους παρατίθενται παρακάτω και διαθέτουν διαφορετικές εφαρμογές αντίστοιχα.



Εικόνα 17 Κατηγορίες βιοαισθητήρων

⁵⁸ <https://grobotronics.com/optical-detector-phototransistor-qrd1114.html>

⁵⁹ <https://grobotronics.com/pimoroni-optical-flow-sensor-pmw3901.html>

- **Ηλεκτροχημικοί Αισθητήρες (Electrochemical Sensor):** [96] Οι συγκεκριμένοι αισθητήρες εφαρμόζουν τις βασικές λειτουργίες των ηλεκτρικών και των χημικών αισθητήρων και χρησιμοποιούνται κυρίως για την ανίχνευση ανωμαλιών.
- **Βιοκαταλυτικοί Αισθητήρες (Biocatalytic sensors):** [97] Οι συγκεκριμένοι αισθητήρες ανιχνεύουν βιοχημικά είδη και τα μετατρέπουν σε επεξεργάσιμο σήμα μέσω χημικών αντιδράσεων. [97] Χρησιμοποιούνται κυρίως για την ανίχνευση παραμέτρων, όπως η τοξικότητα, η αντιβιοτική δραστηριότητα, κ.α.
- **Βιοαισθητήρες συγγένειας (Affinity Biosensors):** [97] Οι συγκεκριμένοι αισθητήρες βασίζονται σε αλληλεπιδράσεις μεταξύ αντισώματος και αντιγόνου, στη συγγένεια μεταξύ συμπληρωματικών ολιγονουκλεοτιδίων, κ.α.

[67], [98] Οι βιοαισθητήρες χρησιμοποιούνται κυρίως στη βιοϊατρική για την ανίχνευση ηλεκτρολυτών, αλλά παρουσιάζουν και επιπρόσθετες εφαρμογές, όπως σε κλινικές για ερευνητικούς λόγους και για την ανίχνευση ασθενειών, σε smartphones για τον εντοπισμό καρδιακού ρυθμού, της αναπνοής, την παρακολούθηση της γλυκόζης του αίματος, της αρτηριακής πίεσης,

Στον παρακάτω Πίνακα 23 παρατίθενται ορισμένα παραδείγματα βιοαισθητήρων με τα αντίστοιχα χαρακτηριστικά τους.

Πίνακας 23 Παραδείγματα βιοαισθητήρων

Ονομασία Αισθητήρα	Εύρος Μέτρησης	Εικόνα	Αναφορά
GlucoNavii Pro	10~600 mg/dL		60

5.6 Εφαρμογές Αισθητήρων

Οι αισθητήρες παρουσιάζουν ποικίλες εφαρμογές σε περιβάλλοντα ‘έξυπνων πόλεων’ ανάλογα με τους περιβαλλοντικούς παραμέτρους που μπορούν να ανιχνεύσουν. [77] Σύμφωνα με τη μελέτη των βασικών τομέων δραστηριοτήτων σε περιβάλλοντα ‘έξυπνων πόλεων’ (βλ. [Κεφάλαιο 2.6 Βασικοί Τομείς Εφαρμογής](#)) και των ειδών των αισθητήρων (βλ. [Κεφάλαιο 5.5 Είδη Αισθητήρων](#)), σε αυτό το υποκεφάλαιο παρουσιάζονται στον παρακάτω Πίνακα 24, οι τύποι των αισθητήρων που χρησιμοποιούνται σε συγκεκριμένες εφαρμογές.

⁶⁰ https://www.sdbiosensor.com/product/product_view?product_no=256

Τύποι Αισθητήρων	Κοινωνία							Περιβάλλον						Βιομηχανία - Οικονομία	
	Έξυπνα Κτίρια και Σπίτια	Έξυπνες Πόλεις	Έξυπνο Σύστημα Κυκλοφορίας	Έξυπνοι Χώροι Στάθμευσης	Έξυπνος Φωτισμός	Έξυπνη Υγεία	Έξυπνα Δίκτυα και Έξυπνη Ενέργεια	Έξυπνο Περιβάλλον	Έξυπνη Διαχείριση Ενέργειας	Έξυπνη Παρακολούθηση Ποιότητας Νερού	Έξυπνη Παρακολούθηση Ποιότητας Αέρα	Έξυπνη Διαχείριση Απορριμμάτων	Έξυπνη Παροχή Νερού	Έξυπνη Γεωργία	Έξυπνη Βιομηχανία
Αισθητήρες Θερμοκρασίας	x	x	x			x		x		x				x	x
Αισθητήρες Προσέγγισης	x	x	x											x	
Αισθητήρες Πίεσης		x	x			x					x				
Αισθητήρες Ποιότητας Νερού										x				x	
Χημικοί Αισθητήρες	x		x			x		x				x		x	x
Αισθητήρες Αερίου						x					x				x

Αισθητήρες Καπνού	x										x				x
Αισθητήρες Υπερύθρων	x	x	x	x	x	x		x				x			
Αισθητήρες Απεικόνισης	x					x									x
Αισθητήρες Ανίχνευσης Κίνησης	x		x	x			x		x						
Αισθητήρες Επιταχυνσιόμετρου	x	x	x			x		x							x
Αισθητήρες Γυροσκόπιου	x		x			x		x							x
Αισθητήρες Υγρασίας		x						x		x				x	
Αισθητήρες Ροής	x												x		x
Οπτικοί Αισθητήρες						x	x	x	x		x				x
Βιοαισθητήρες	x					x		x			x				

Πίνακας 24 Είδη αισθητήρων σε εφαρμογές περιβαλλόντων ‘έξυπνων πόλεων’

6

Πλατφόρμες Διαχείρισης Αισθητήρων

6.1 Εισαγωγή

Η ραγδαία εξέλιξη των ΤΠΕ και των τεχνολογιών αισθητήρων έχει ως αποτέλεσμα τη δημιουργία και εμφάνιση ενός μεγάλου αριθμού συσκευών αισθητήρων. Οι αισθητήρες διαθέτουν ποικίλα χαρακτηριστικά, όπως αναλύθηκε στο [Κεφάλαιο 5.4 Χαρακτηριστικά και Ιδιότητες](#), ορισμένα από τα οποία είναι προσβάσιμα και επεξεργάσιμα μέσω κατάλληλων εντολών λογισμικού (συχνότητα ανίχνευσης, ευαισθησία, κ.α.). Λόγω του μεγάλου αριθμού των αισθητήρων και των ποικίλων χαρακτηριστικών που διαθέτουν, κρίνεται αναγκαία η σωστή, αποτελεσματική και η ενιαία διαχείριση τους.

[99] Η φράση ‘διαχείριση αισθητήρων (sensor management)’ αναφέρεται στον έλεγχο της λειτουργίας των συσκευών σε ένα σύστημα και διαμορφώνεται συναρτήσει των περιορισμών, την επίτευξη των στόχων και τις πολιτικές που ισχύουν, προκειμένου να λειτουργούν οι συσκευές με το λιγότερο δυνατό κόστος και τη λιγότερη δυνατή κατανάλωση ενέργειας. Σύμφωνα με [100] η διαχείριση των αισθητήρων βασίζεται στις εξής τρεις ενέργειες:

1. **Διαχείριση:** Σχετίζεται με τον έλεγχο των αισθητήρων,
2. **Συντονισμός:** Σχετίζεται με την αποτελεσματική χρήση των αισθητήρων,
3. **Ενοποίηση:** Σχετίζεται με την ενσωμάτωση και το συνδυασμό των ποικίλων ειδών αισθητήρων που πρόκειται να χρησιμοποιηθούν σε ένα σύστημα.

Οι πλατφόρμες διαχείρισης αισθητήρων αποτελούν έναν από τους πιο αποτελεσματικούς τρόπους ελέγχου των αισθητήρων σε ένα σύστημα και συνεισφέρουν θετικά στη διαχείριση τους.

Αρχικά, με τη χρήση των πλατφορμών παρέχεται αυτοματισμός σε κάποιες λειτουργίες των αισθητήρων και μειώνεται ο φόρτος εργασίας του χειριστή (operator). Με τη προτεραιοποίηση και τον προγραμματισμό ορισμών διαδικασιών των αισθητήρων μεγιστοποιείται η αποτελεσματικότητα των λειτουργιών τους. Τα διαφορετικά χαρακτηριστικά των αισθητήρων μπορούν να αξιοποιηθούν σωστά μέσω μιας ενιαίας – κοινής πλατφόρμας.

Σε αυτό το κεφάλαιο παρουσιάζεται η διαδικασία διαχείρισης αισθητήρων με τα στάδια που περιλαμβάνει. Αναλύονται οι βασικές λειτουργίες που διαθέτουν οι περισσότερες πλατφόρμες διαχείρισης αισθητήρων και πραγματοποιείται μελέτη της αρχιτεκτονικής συστημάτων διαχείρισης αισθητήρων. Επιπλέον, αναλύεται η αρχιτεκτονική των πλατφορμών διαχείρισης αισθητήρων και τα χαρακτηριστικά τους. Στη συνέχεια, παρουσιάζονται οι υπάρχουσες πλατφόρμες διαχείρισης αισθητήρων με τα βασικά χαρακτηριστικά τους και τέλος, διατυπώνονται οι προκλήσεις.

6.2 Διαδικασία Διαχείρισης Αισθητήρων

Η διαχείριση πολλών και διαφορετικών αισθητήρων αποτελεί μία πολύπλοκη διαδικασία σε ένα σύστημα, καθώς απαιτεί το συντονισμό και τον έλεγχο τους σε ένα δυναμικό περιβάλλον που διαρκώς μεταβάλλεται. Η διαδικασία για τη διαχείριση των αισθητήρων περιλαμβάνει ορισμένα στάδια, Επιλογή αισθητήρα, Τοποθέτηση αισθητήρα, Ενσωμάτωση αισθητήρα στο σύστημα, Διαχείριση αισθητήρα (βλ. Εικόνα 15) και αναλύονται παρακάτω.

Στάδιο 1 – Επιλογή αισθητήρα

[100], [101] Βασικός στόχος σε αυτό το στάδιο αποτελεί η διαδικασία της επιλογής του σωστού τύπου αισθητήρα, η οποία εξαρτάται κυρίως από το περιβαλλοντικό μέγεθος που θα ανιχνεύει, π.χ. θερμοκρασία, υγρασία, καπνός, κ.α. [101] Στη συνέχεια, είναι σημαντικό η επιλογή του αριθμού της ποσότητας των αισθητήρων που θα χρειαστούν ανάλογα με το μέγεθος του συστήματος και του περιβάλλοντος.

Στάδιο 2 – Τοποθέτηση αισθητήρα

[101] Η επιλογή της σωστής τοποθεσίας για την εγκατάσταση του αισθητήρα και η ρύθμιση των παραμέτρων των αισθητήρων που απαιτούνται να τροποποιηθούν ανάλογα τις ανάγκες του τελικού χρήστη (συχνότητα ανίχνευσης, ευαισθησία, κ.α.), κρίνονται επίσης αναγκαία. [101] Πρόκληση σε αυτό το στάδιο αποτελεί το δυναμικό περιβάλλον στο οποίο είναι εγκατεστημένοι οι αισθητήρες, καθώς θα πρέπει να προσαρμοστούν σε αυτό. [101] Για τον έλεγχο των αισθητήρων υπάρχουν οι εξής λύσεις:

- Ο καθορισμός ενός συγκεκριμένου συνόλου λειτουργιών για την παρατήρηση και τη μέτρηση των περιβαλλοντικών μεγεθών που πρόκειται να ανιχνεύσει ο αισθητήρας,
- Ο προγραμματισμός και η προτεραιοποίηση των λειτουργιών με βάση τη διαθεσιμότητα και τις δυνατότητες του αισθητήρα.

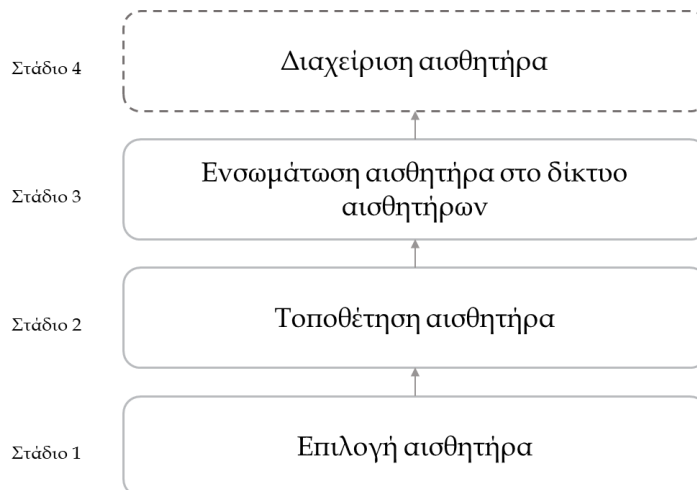
Στάδιο 3 – Ενσωμάτωση αισθητήρα στο δίκτυο αισθητήρων

[101] Βασικός στόχος σε αυτό το στάδιο αποτελεί η ενσωμάτωση του αισθητήρα σε ένα δίκτυο αισθητήρων. Υπάρχουν δύο τρόποι για την επίτευξη της ενσωμάτωσης και είναι οι εξής:

- Συγκεντρωτικός τρόπος (Centralized): Ένας κεντρικός μηχανισμός αποφασίζει τις λειτουργίες των αισθητήρων.
- Κατανεμημένος τρόπος (Distributed): Οι αισθητήρες που απαρτίζουν το δίκτυο συμπεριφέρονται ως ευφυής πράκτορες (Intelligent Agent - IA) και διαθέτουν κάποιο βαθμό αυτονομίας.

Στάδιο 4 – Διαχείριση αισθητήρα

[101] Βασικός στόχος σε αυτό το στάδιο αποτελεί ο έλεγχος της ελευθερίας του αισθητήρα και ο καθορισμός των παραμέτρων του που μπορούν να επεξεργαστούν μέσω κατάλληλων εντολών λογισμικού για την επίτευξη της ανίχνευσης και κατ' επέκταση τη βελτίωση της απόδοσης του συστήματος.



Εικόνα 18 Στάδια διαχείρισης αισθητήρα

6.3 Βασικές Λειτουργίες Πλατφόρμας Διαχείρισης Αισθητήρων

[102] Η διαχείριση των αισθητήρων αναφέρεται στη διαδικασία ελέγχου και συντονισμού των πόρων ανίχνευσης ενός συστήματος και μπορεί να βελτιώσει, να οργανώσει τη διαδικασία της διαχείρισης των δεδομένων. Λόγω του μεγάλου αριθμού των αισθητήρων που υπάρχουν, αλλά και των διαφορετικών χαρακτηριστικών που διαθέτουν, έχουν δημιουργηθεί αρκετές πλατφόρμες διαχείρισης αισθητήρων με ποικίλες εφαρμογές και λειτουργίες. Μερικές από τις πιο βασικές και συνηθισμένες λειτουργίες που επιτελούν οι πλατφόρμες είναι (1) Διαχείριση Συσκευών, (2) Διαχείριση ετερογένειας, (3) Διαχείριση δεδομένων, (4) Υπολογιστική ανάλυση δεδομένων ή στατιστικών, (5) Διαχείριση συστήματος, (6) Διαχείριση παρακολούθησης, (7) Οπτικοποίηση, (8) Ανάπτυξη εφαρμογών, (9) Έρευνα, και αναλύονται παρακάτω.

1. **Διαχείριση Συσκευών (Device management):** [102] Η διαχείριση συσκευών σχετίζεται με το συντονισμό και τον έλεγχο των συσκευών μέσω της χρήσης διαφόρων μονάδων επεξεργασίας ή μικροελεγκτών, όπως Arduino, Raspberry pi.
2. **Διαχείριση ετερογένειας (Heterogeneity management):** [102] Η διαχείριση ετερογένειας σχετίζεται με τη δυνατότητα της συνδεσιμότητας και της επικοινωνίας μεταξύ διαφορετικών συστημάτων ή συσκευών με διαφορετικά χαρακτηριστικά. [102] Μία λύση για τη διαχείριση της ετερογένειας θεωρείται το Cloud το οποίο επιτρέπει την επικοινωνία μεταξύ διαφορετικών συστημάτων.
3. **Διαχείριση δεδομένων (Data management):** [102] Η διαχείριση δεδομένων σχετίζεται με την επεξεργασία των δεδομένων που ανιχνεύονται από τους αισθητήρες, ώστε να διαθέτουν μία κοινή μορφή, όπως Resource Description Framework – RDF, JavaScript Object Notation - JSON.
4. **Υπολογιστική ανάλυση δεδομένων ή στατιστικών (Analytics):** [102] Αρκετά σημαντικό είναι και η στατιστική ανάλυση των δεδομένων με χρήση των κατάλληλων εργαλείων για την εξαγωγή χρήσιμων συμπερασμάτων.
5. **Διαχείριση συστήματος (System management):** [102] Η διαχείριση συστήματος σχετίζεται με τον έλεγχο των λειτουργιών που αφορούν το σύστημα.
6. **Διαχείριση παρακολούθησης (Monitoring management):** [102] Η διαδικασία της παρακολούθησης σχετίζεται με την εποπτεία της λειτουργίας του δικτύου του συστήματος, αλλά και της διατήρησης του (maintenance). Η ενοποίηση των διαφορετικών συστημάτων, αισθητήρων και ενεργοποιητών σε μία ενιαία πλατφόρμα συνεισφέρει στην εύκολη και γρήγορη διαχείριση των συσκευών.
7. **Οπτικοποίηση (Visualization):** [102] Η οπτικοποίηση σχετίζεται με την οπτική αναπαράσταση, τη γραφική απεικόνιση των λειτουργιών και των δραστηριοτήτων του συστήματος.
8. **Ανάπτυξη εφαρμογών (Application development):** [102] Η ανάπτυξη εφαρμογών σχετίζεται με την εύρεση λύσεων σε τυχόν προβλήματα που μπορεί να παρουσιάσουν στους αισθητήρες ή στους ενεργοποιητές. Περιλαμβάνεται, επίσης, ο σχεδιασμός, η υλοποίηση και η δοκιμή (testing) νέων στοιχείων λογισμικού για την ανάπτυξη των απαιτούμενων λειτουργιών.
9. **Έρευνα (Research):** [102] Η έρευνα και η αξιολόγηση των λύσεων και των επιχειρηματικών σχεδίων που χρησιμοποιούνται μπορεί να μειώσει τον κίνδυνο χρηματικής απώλεια.

6.4 Μελέτη Αρχιτεκτονικής Συστημάτων Διαχείρισης Αισθητήρων

Η διαχείριση των αισθητήρων αποτελεί μία πολύπλοκη διαδικασία η οποία έχει ως στόχο τον έλεγχο και το συντονισμό των αισθητήρων αλλά και των δεδομένων που ανιχνεύουν. Μία αποτελεσματική λύση για τη διαχείριση – το συντονισμό – την ενοποίηση των αισθητήρων αποτελούν οι πλατφόρμες διαχείρισης. Γενικότερα, σύμφωνα με το [103] (Reddick et al., 2015), « Πλατφόρμα είναι οποιαδήποτε φυσική, τεχνολογική ή κοινωνική βάση στην οποία χτίζονται οι κοινωνικοτεχνικές διαδικασίες.».

Οι πλατφόρμες διαχείρισης αισθητήρων κατέχουν σημαντικό ρόλο σε ένα σύστημα, διαθέτουν αρκετές λειτουργίες για τον έλεγχο των αισθητήρων, αλλά και το συντονισμό της ροής των δεδομένων (βλ. [Κεφάλαιο 7.3 Βασικές λειτουργίες](#)). Μελετήθηκαν επιστημονικά άρθρα που αφορούσαν IoT συστήματα διαχείρισης αισθητήρων για την καλύτερη κατανόηση του τρόπου λειτουργίας, αλλά και της αρχιτεκτονικής τέτοιων συστημάτων. Ο σκοπός για τον οποίο πραγματοποιήθηκε εκείνη η μελέτη είναι η ορθότερη αντίληψη της αρχιτεκτονικής των πλατφορμών διαχείρισης αισθητήρων και ο εντοπισμός των επιπέδων από τα οποία αποτελούνται.

Μία αρχιτεκτονική που αναφέρεται σε περιβάλλον ‘έξυπνης πόλης’ και βασίζεται στα δεδομένα (data-centric) προτάθηκε από τον Yin et al. (2019) [18]. Η συγκεκριμένη αρχιτεκτονική αποτελείται από τα τέσσερα επίπεδα, (1) Απόκτηση δεδομένων, (2) Απεικόνιση δεδομένων, (3) Κοινό επίπεδο δεδομένων και υπηρεσιών, (4) Επίπεδο εφαρμογής, (βλ. Εικόνα 16) και αναλύονται παρακάτω.

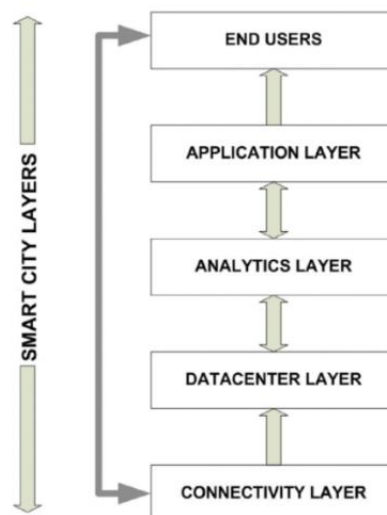
- **Επίπεδο 1 - Απόκτηση δεδομένων (Data acquisition):** Σε αυτό το επίπεδο περιλαμβάνονται οι πηγές δεδομένων,
- **Επίπεδο 2 - Απεικόνιση δεδομένων (Data vitalization):** Αυτό το επίπεδο περιλαμβάνει τις διαδικασίες επεξεργασίας και εμφάνισης δεδομένων,
- **Επίπεδο 3 - Κοινό επίπεδο δεδομένων και υπηρεσιών (Common data and service layer):** Σε αυτό το επίπεδο περιλαμβάνονται οι λειτουργίες για την πρόσβαση σε βάσεις δεδομένων και το υπολογιστικό νέφος (Cloud computing),
- **Επίπεδο 4 - Επίπεδο εφαρμογής (Domain application layer):** Σε αυτό το επίπεδο περιλαμβάνονται οι εφαρμογές IoT σε περιβάλλον ‘έξυπνης πόλης’.



Εικόνα 19 Data- centric αρχιτεκτονική Yin et al.

Μία επιπλέον αρχιτεκτονική προτείνεται από τον Kumar (2015) [104], [105] η οποία αναφέρεται σε περιβάλλοντα ‘έξυπνων πόλεων’ και βασίζεται στη ροή των δεδομένων (agile data driven). Αποτελείται από πέντε επίπεδα, (1) Συνδεσιμότητα, (2) Κέντρο δεδομένων, (3) Υπολογιστική ανάλυση δεδομένων ή στατιστικών – analytics, (4) Εφαρμογές, (5) Επίπεδο τελικών χρηστών, (βλ. Εικόνα 17) και αναλύονται παρακάτω.

- **Επίπεδο 1 - Συνδεσιμότητα (Connectivity):** Σε αυτό το επίπεδο περιλαμβάνονται οι τεχνολογίες δικτύωσης, όπως οι αισθητήρες, τα ασύρματα δίκτυα, κ.α.,
- **Επίπεδο 2 - Κέντρο δεδομένων (Data center):** Σε αυτό το επίπεδο περιλαμβάνονται οι βάσεις δεδομένων οι οποίες συνήθως βασίζονται σε τεχνολογίες Cloud,
- **Επίπεδο 3 - Υπολογιστική ανάλυση δεδομένων ή στατιστικών (Analytics):** Αυτό το επίπεδο σχετίζεται με τη διαχείριση των δεδομένων τα οποία βασίζονται σε τεχνολογίες Big Data,
- **Επίπεδο 4 - Εφαρμογές (Applications):** Σε αυτό το επίπεδο περιλαμβάνονται οι τομείς στους οποίους εφαρμόζεται η αρχιτεκτονική του συστήματος, όπως η βιομηχανία,
- **Επίπεδο 5 - Επίπεδο τελικών χρηστών (End-user layer):** Σε αυτό το επίπεδο περιλαμβάνονται οι δρώντες – αποδέκτες, όπως οι πολίτες, οι δημόσιοι φορείς, κ.α.

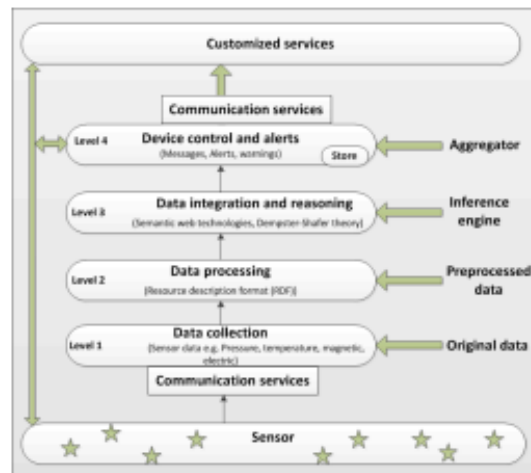


Εικόνα 20 Data driven αρχιτεκτονική Kumar

Επιπρόσθετα, μία πολυεπίπεδη αρχιτεκτονική που αναφέρεται σε περιβάλλον ‘έξυπνης πόλης’ προτείνεται από Gaur et al. (2015) [106] και βασίζεται στη ροή των δεδομένων που ανιχνεύονται από τους αισθητήρες. Αποτελείται από τέσσερα επίπεδα, (1) Συλλογή δεδομένων, (2) Επεξεργασία δεδομένων, (3) Ενοποίηση δεδομένων, (4) Έλεγχος συσκευής και ειδοποιήσεις, (βλ. Εικόνα 18) και αναλύονται παρακάτω.

- **Επίπεδο 1 - Συλλογή δεδομένων (Data collection):** Σε αυτό το επίπεδο αποθηκεύονται τα δεδομένα που ανιχνεύονται από τους αισθητήρες,
- **Επίπεδο 2 - Επεξεργασία δεδομένων (Data processing):** Σε αυτό το επίπεδο τα δεδομένα που λαμβάνονται από το προηγούμενο επίπεδο επεξεργάζονται προκειμένου να αποκτήσουν μία κοινή μορφή, όπως RDF.

- **Επίπεδο 3 - Ενοποίηση δεδομένων (Data integration and reasoning):** Σε αυτό το επίπεδο χρησιμοποιούνται διάφορες τεχνικές για την ταξινόμηση εννοιών, τη δημιουργία σχέσεων μεταξύ των κλάσεων, την αναγνώριση δραστηριοτήτων, αλλά και την εκμάθηση νέων κανόνων.
- **Επίπεδο 4 - Έλεγχος συσκευής και ειδοποιήσεις (Device control and alerts):** Σε αυτό το επίπεδο τα δεδομένα που λαμβάνονται από το τρίτο επίπεδο χρησιμοποιούνται από τις εφαρμογές για την ανταλλαγή μηνυμάτων, ειδοποιήσεων, κ.α.

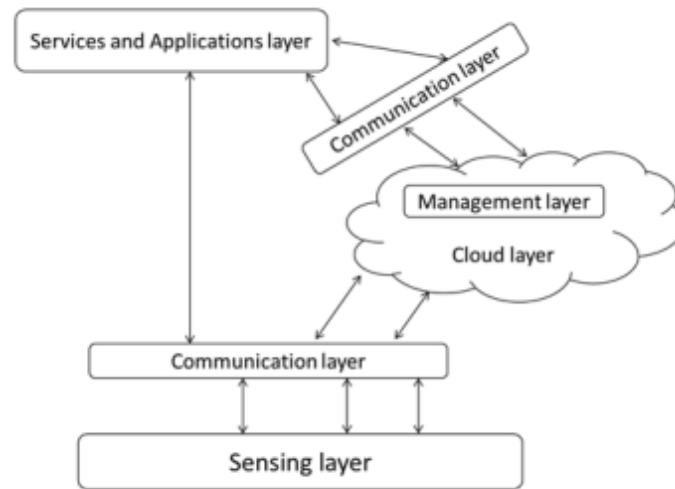


Εικόνα 21 Πολυεπίπεδη αρχιτεκτονική Gaura et al.

Μία IoT αρχιτεκτονική για τη διαχείριση συσκευών σε ένα σύστημα προτάθηκε από τον Umar et al. (2018) [44]. Σύμφωνα με εκείνη την αρχιτεκτονική, οι συσκευές, οι αισθητήρες και οι πύλες (gateways) συνδέονται μέσω δικτύων επικοινωνίας σε υπηρεσίες αποθήκευσης δεδομένων, όπως το Cloud. Αποτελείται από πέντε επίπεδα, (1) Επίπεδο ανίχνευσης, (2) Επίπεδο επικοινωνίας, (3) Επίπεδο Cloud, (4) Επίπεδο διαχείρισης, (5) Επίπεδο υπηρεσιών και εφαρμογών, (βλ. Εικόνα 19) και αναλύονται παρακάτω.

- **Επίπεδο 1 - Επίπεδο ανίχνευσης (Sensing layer):** Αυτό το επίπεδο περιλαμβάνει την ανίχνευση και τον εντοπισμό της μεταβολής των φυσικών μεγεθών που μετρούν οι αισθητήρες.
- **Επίπεδο 2 - Επίπεδο επικοινωνίας (Communication layer):** Το συγκεκριμένο επίπεδο είναι υπεύθυνο για την μεταφορά των δεδομένων που συλλέγονται από το πρώτο επίπεδο στο Επίπεδο Cloud. Περιλαμβάνονται δρομολογητές (routers), διακόπτες (switches) και πύλες (gateways) και συνδέονται με τις συσκευές τις οποίες δεν συνδέονται απευθείας στο Cloud. Περιέχει, επίσης, και τα διάφορα πρωτόκολλα που χρησιμοποιούνται, όπως Constrained Application Protocol (CoAP), Message Queuing Telemetry Transport (MQTT), κ.α.
- **Επίπεδο 3 - Επίπεδο Cloud (Cloud layer):** Σε αυτό το επίπεδο πραγματοποιείται η αποθήκευση, η επεξεργασία και η ανάλυση των δεδομένων.
- **Επίπεδο 4 – Επίπεδο διαχείρισης (Management layer):** Αυτό το επίπεδο είναι υπεύθυνο για την εποπτεία όλων των επιπέδων, ελέγχοντας ότι λειτουργούν σωστά.

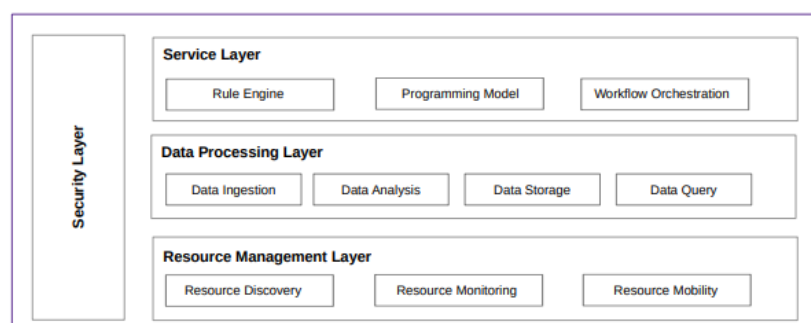
- **Επίπεδο 5 - Επίπεδο υπηρεσιών και εφαρμογών (Services and Applications layer):** Αυτό το επίπεδο περιλαμβάνει διάφορες λειτουργίες, όπως η οπτικοποίηση των δεδομένων και εφαρμογές ανάλογα με τις ανάγκες των τελικών χρηστών.



Εικόνα 22 Αρχιτεκτονική Umar et al.

Μία επιπλέον IoT αρχιτεκτονική για τη διαχείριση συσκευών σε ένα σύστημα προτάθηκε από τον Renart et al. (2019) [47]. Αποτελείται από πέντε επίπεδα, Επίπεδο Διαχείρισης Πόρων, Επίπεδο Επεξεργασίας Δεδομένων, Επίπεδο Υπηρεσίας, Επίπεδο Ασφάλειας, (βλ. Εικόνα 20) και αναλύονται παρακάτω.

- **Επίπεδο Διαχείρισης Πόρων (Resource Management Layer):** Αυτό το επίπεδο είναι υπεύθυνο για τον εντοπισμό, την κατανομή και τη διαχείριση των πόρων. Αρκετά σημαντικό κρίνεται η διαχείριση των πόρων αποτελεσματικά.
- **Επίπεδο Επεξεργασίας Δεδομένων (Data Processing Layer):** Σε αυτό το επίπεδο πραγματοποιείται η ενοποίηση των δεδομένων για τη σωστή διαχείριση τους σε πραγματικό χρόνο.
- **Επίπεδο Υπηρεσίας (Service Layer):** Αυτό το επίπεδο περιλαμβάνει τις διαθέσιμες εφαρμογές από την οπτική του τελικού χρήστη.
- **Επίπεδο Ασφάλειας (Security Layer):** Αυτό το επίπεδο περιλαμβάνει τις λειτουργίες που επικεντρώνονται κυρίως στην ασφάλεια, τόσο ολόκληρου του συστήματος (end-to-end), όσο τη διαχείριση και την ιδιωτικότητα των δεδομένων.



Εικόνα 23 Αρχιτεκτονική Renart et al

6.5 Βασική Αρχιτεκτονική Πλατφόρμας Διαχείρισης Αισθητήρων

Οι πλατφόρμες διαχείρισης αισθητήρων μπορούν να διευκολύνουν τη διαδικασία ελέγχου των αισθητήρων και διαθέτουν ποικίλες λειτουργίες όπως αναλύθηκε στο [Κεφάλαιο 6.3 Βασικές Λειτουργίες](#). Σκοπός των πλατφορμών αποτελεί η διαχείριση, ο συντονισμός, η ενοποίηση των αισθητήρων σε ένα ενιαίο σύστημα, καθώς και ο έλεγχος των λειτουργιών τους. Για την επίτευξη εκείνου του στόχου, οι πλατφόρμες διαχείρισης βασίζονται σε μία κοινή αρχιτεκτονική, σύμφωνα με τη μελέτη που πραγματοποιήθηκε σχετικά με την αρχιτεκτονική διαφόρων συστημάτων διαχείρισης αισθητήρων (βλ. [Κεφάλαιο 6.4 Μελέτη Αρχιτεκτονικής Συστημάτων Διαχείρισης Αισθητήρων](#)).

Η αρχιτεκτονική τους αποτελείται από επτά κύρια επίπεδα, Ανίχνευση και Συνδεσιμότητα, Κέντρο Δεδομένων, Επεξεργασία & Ενοποίηση Δεδομένων, Απεικόνιση & Υπολογιστική Ανάλυση Δεδομένων, Διαχείριση & Έλεγχος Συστήματος, Υπηρεσίες & Εφαρμογές, Ειδοποιήσεις, όπως παρουσιάζεται και στην Εικόνα 21 και αναλύονται παρακάτω.

Επίπεδο 0 - Ανίχνευση και Συνδεσιμότητα (Sensing layer and Connectivity)

Το συγκεκριμένο επίπεδο περιλαμβάνει τους αισθητήρες που έχουν επιλεγεί για την ανίχνευση του ενδιαφερόμενου περιβαλλοντικού μεγέθους, π.χ. θερμοκρασία, υγρασία, καπνός, κ.α και τη συλλογή δεδομένων. Για την ορθή επιλογή των αισθητήρων θα πρέπει να ληφθούν υπόψη ορισμένα χαρακτηριστικά (βλ. [Κεφάλαιο 5.4 Χαρακτηριστικά & Ιδιότητες](#)). Μετά την επιλογή των κατάλληλων αισθητήρων είναι αρκετά σημαντική η σωστή τοποθέτηση τους στο περιβάλλον (βλ. [Κεφάλαιο 7.2 Διαδικασία Διαχείρισης Αισθητήρων](#)).

Σε αυτό το στάδιο περιλαμβάνονται, επίσης, και οι τεχνολογίες δικτύωσης που θα χρησιμοποιηθούν για την επικοινωνία των συσκευών με την πλατφόρμα διαχείρισης. Οι τεχνολογίες δικτύωσης που μπορούν να χρησιμοποιηθούν είναι οι δρομολογητές (routers), διακόπτες (switches), πύλες (gateways), τα ασύρματα δίκτυα, όπως Wireless Local Area Network (WLAN), Bluetooth, η τεχνολογία RFID. Περιλαμβάνονται, ακόμα, διάφορα πρωτόκολλα, όπως CoAP, MQTT, ZigBee, TCP/IP, Low-Power and Lossy Networks (RPL), κ.α. Οι τεχνολογίες και τα πρωτόκολλα χρησιμοποιούνται και για τη μεταφορά των δεδομένων που συλλέγονται στο επόμενο Επίπεδο 2.

Επίπεδο 2 - Κέντρο Δεδομένων (Data Center)

Το συγκεκριμένο επίπεδο είναι υπεύθυνο για την αποθήκευση των δεδομένων που ανιχνεύονται από τις συσκευές ανίχνευσης και λαμβάνονται από το προηγούμενο επίπεδο. Για την αποθήκευση και διατήρηση τους μπορούν να χρησιμοποιηθούν βάσεις δεδομένων, όπως Relational Database Management System (RDBMS), Hadoop, NoSQL, αλλά και διάφορες τεχνολογίες Cloud computing.

Επίπεδο 3 - Επεξεργασία & Ενοποίηση Δεδομένων (Data processing & Integration)

Σε αυτό το επίπεδο πραγματοποιείται η διαδικασία της επεξεργασίας των δεδομένων που λαμβάνονται βασιζόμενη σε τεχνολογίες Big Data. Σημαντική λειτουργία σε αυτό το σύστημα είναι η μορφή των δεδομένων η οποία θα πρέπει να είναι κοινή και συνήθως η μορφή που χρησιμοποιείται είναι RDF, JSON και Comma-separated values (CSV).

Σε αυτό το στάδιο περιλαμβάνονται, επίσης, και διάφορες τεχνικές για την ταξινόμηση των δεδομένων σε κλάσεις και τον εντοπισμό συσχετίσεων και σχέσεων μεταξύ των κλάσεων.

Επίπεδο 4 - Απεικόνιση & Υπολογιστική Ανάλυση Δεδομένων (Data vitalization & Analytics)

Σε αυτό το επίπεδο πραγματοποιείται η διαδικασία της οπτικοποίησης των δεδομένων και των στατιστικών αναλύσεων με βάση εκείνα. Με αυτόν τον τρόπο μπορούν να διεξαχθούν χρήσιμα συμπεράσματα σχετικά με τη χρήση των συσκευών, τη κατανάλωση της ενέργειας, κ.α.

Επίπεδο 5 - Διαχείριση & Έλεγχος Συστήματος (Management layer)

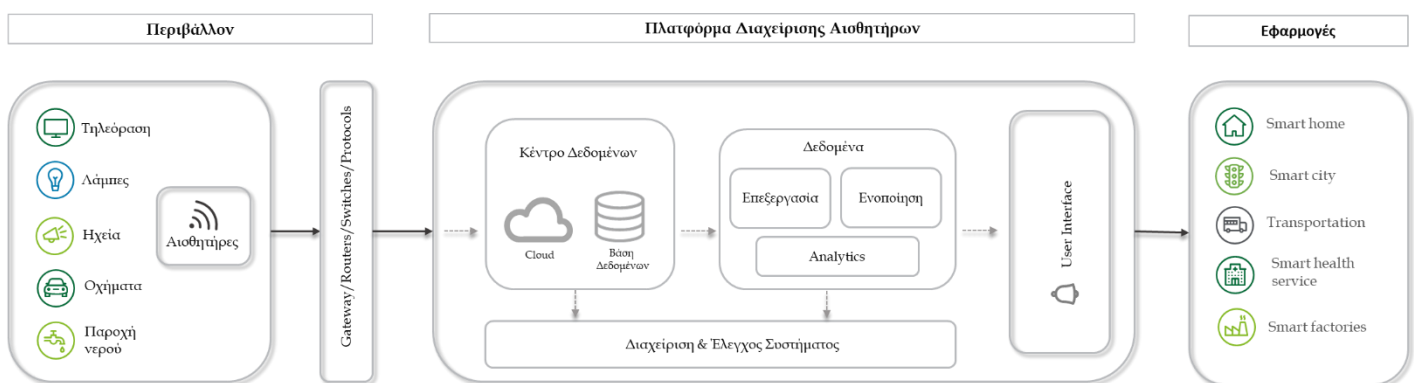
Το συγκεκριμένο επίπεδο είναι υπεύθυνο για την εποπτεία και τον έλεγχο ολόκληρων των επιπέδων του συστήματος και της πλατφόρμας σχετικά με το αν λειτουργούν σωστά. Ελέγχονται, επίσης, και οι περιπτώσεις που παρουσιαστεί κάποιο σφάλμα στο σύστημα.

Επίπεδο 6 - Υπηρεσίες & Εφαρμογές (Services and Applications layer)

Σε αυτό το επίπεδο περιλαμβάνονται οι τομείς και οι εφαρμογές IoT ανάλογα το σκοπό της πλατφόρμας και τις ανάγκες του χρήστη, όπως η βιομηχανία, το περιβάλλον, η κοινωνία, κ.α., καθώς επίσης και οι τελικοί αποδέκτες (οι πολίτες, οι δημόσιοι φορείς, κ.α.).

Επίπεδο 7 – Διεπαφή (User Interface)

Αυτό το επίπεδο αποτελεί τη διεπαφή με τους τελικούς χρήστες για τον έλεγχο των λειτουργιών των συσκευών. Χρησιμοποιούνται τα δεδομένα από τις εφαρμογές και πραγματοποιούνται οι ανταλλαγές μηνυμάτων και ειδοποιήσεων.



Εικόνα 24 Αρχιτεκτονική πλατφόρμας διαχείρισης αισθητήρων

6.6 Χαρακτηριστικά Πλατφόρμας Διαχείρισης Αισθητήρων

Σύμφωνα με την αρχιτεκτονική που διαθέτουν οι πλατφόρμες διαχείρισης αισθητήρων παρατηρείται ότι παρουσιάζουν ορισμένα χαρακτηριστικά και απαιτήσεις, οι οποίες είναι Διαχείριση Συσκευών, Πρωτόκολλα, Διαχείριση κύκλου ζωής προϊόντος, Αντιμετώπιση προβλημάτων και συντήρηση, Ασφάλεια και Έλεγχος Πρόσβασης, Εντοπισμός και χαρτογράφηση, Επεκτασιμότητα, Παρακολούθηση συσκευής, Ενσωμάτωση και αναλύονται παρακάτω.

Διαχείριση Συσκευών (Device management): [102] Ο έλεγχος των συσκευών αποτελεί μία από τις σημαντικότερες λειτουργίες στις πλατφόρμες διαχείρισης. Για την επίτευξη της διαδικασίας του ελέγχου απαιτείται η αποθήκευση και η διατήρηση των βασικών πληροφοριών των συνδεδεμένων συσκευών, η αποθήκευση της κατάστασης της λειτουργίας τους (ενεργοποίηση/απενεργοποίηση), η διαμόρφωση των χαρακτηριστικών των αισθητήρων, καθώς και η αποθήκευση αναφορών σχετικά με τα σφάλματα τα οποία μπορεί να δημιουργηθούν.

Πρωτόκολλα (Protocols): [44] Μία πλατφόρμα διαχείρισης αισθητήρων θα πρέπει να υποστηρίζει και τα κατάλληλα πρωτόκολλα για την επικοινωνία μεταξύ των συσκευών και της πλατφόρμας ή το αντίστροφο, καθώς και για την ανταλλαγή πληροφοριών. Μερικά από τα πιο συνηθισμένα πρωτόκολλα είναι CoAP, MQTT, eXtensible Messaging and Presence Protocol (XMPP), Open Mobile Alliance - Device Management (OMA-DM).

Διαχείριση κύκλου ζωής προϊόντος (Product Lifecycle Management): [44] Το συγκεκριμένο χαρακτηριστικό αφορά τη διαχείριση και την εγκατάσταση της συσκευής ώστε να είναι έτοιμη να τεθεί σε λειτουργία. Περιλαμβάνονται, επίσης, οι ενημερώσεις (updates), αναβαθμίσεις τόσο υλικού όσο λογισμικού και οι διορθώσεις διαφόρων σφαλμάτων που μπορεί να προκύψουν.

Αντιμετώπιση προβλημάτων και συντήρηση (Troubleshooting and Maintenance): [44] Το συγκεκριμένο χαρακτηριστικό αφορά τη διάγνωση προβλημάτων για την ορθή λειτουργία των συσκευών, καθώς και την αποστολή προσαρμοσμένων εντολών για επανεκκίνηση ή επαναφορά εργοστασιακών ρυθμίσεων.

Ασφάλεια και Έλεγχος Πρόσβασης (Security and Access Control): [44] Το συγκεκριμένο χαρακτηριστικό σχετίζεται με τα μέτρα ασφαλείας που είναι απαραίτητα για το σύστημα λόγω του μεγάλου αριθμού των συνδεδεμένων συσκευών. Αλγόριθμοι κρυπτογράφησης, ασφάλεια σε επίπεδο αποθήκευσης και ανταλλαγής μηνυμάτων περιλαμβάνονται επίσης.

Εντοπισμός και χαρτογράφηση (Localisation and Mapping): [44] Ένα εξίσου σημαντικό χαρακτηριστικό είναι και ο εντοπισμός της θέσης των συνδεδεμένων συσκευών, είτε η θέση είναι στατική είτε δυναμική. Ο εντοπισμός και η χαρτογράφηση μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη συνεχή εποπτεία των συσκευών και τη διατήρηση ιστορικού τοποθεσίας.

Επεκτασιμότητα (Scalability): [44] Η επεκτασιμότητα θεωρείται ένα μη λειτουργικό χαρακτηριστικό των πλατφορμών διαχείρισης αισθητήρων. Είναι αρκετά σημαντικό, όμως, καθώς αναφέρεται στη δυνατότητα κλιμάκωσης του συστήματος και ειδικότερα σε περίπτωση αύξησης των συνδεδεμένων συσκευών να μπορεί να τις υποστηρίξει.

Παρακολούθηση συσκευής (Device Monitoring): [44] Μία πλατφόρμα διαχείρισης αισθητήρων θα πρέπει να διαθέτει και τα κατάλληλα εργαλεία για τη συνεχή εποπτεία των συσκευών και την οπτικοποίηση των δεδομένων. Επιπλέον, θα πρέπει να παρέχονται και οι απαιτούμενες ειδοποιήσεις σε περίπτωση που προκύψει κάποιο σφάλμα.

Ενσωμάτωση (Integration): [44] Ένα ακόμη σημαντικό χαρακτηριστικό είναι και η παροχή διεπαφής (Application Programming Interface – API) ανοικτού λογισμικού, καθώς θεωρείται αρκετά χρήσιμη στην ενσωμάτωση επιπλέον εργαλείων διαχείρισης στην πλατφόρμα.

6.7 Πλατφόρμες Διαχείρισης Αισθητήρων

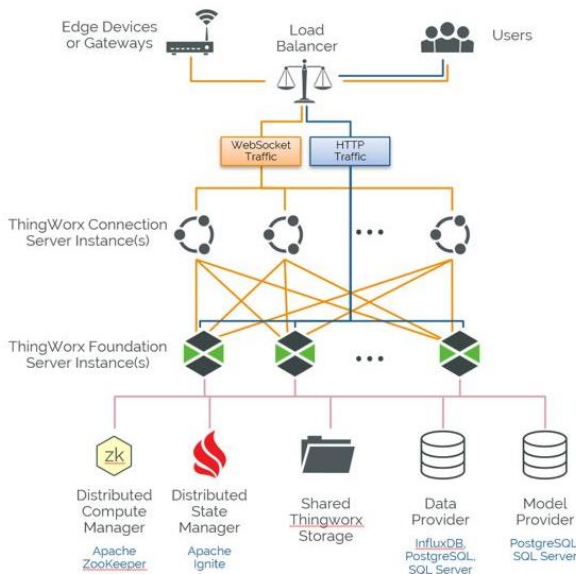
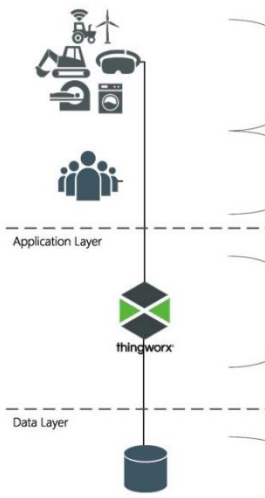
Τα επίπεδα της αρχιτεκτονικής και τα χαρακτηριστικά των πλατφορμών διαχείρισης αισθητήρων που αναλύονται στα προηγούμενα υποκεφάλαια (βλ. [Κεφάλαιο 6.5 Βασική Αρχιτεκτονική](#) και [Κεφάλαιο 6.6 Χαρακτηριστικά](#)) αποτελούν το σημείο αναφοράς για τη μελέτη και την έρευνα των υπαρχουσών πλατφορμών. Στο παρακάτω διάγραμμα Gartner αναπαρίστανται IoT πλατφόρμες, οι οποίες παρέχουν βιομηχανικές λύσεις, όπως για παράδειγμα έλεγχο υποδομών και εξοπλισμού.



Εικόνα 25 Διάγραμμα Gartner

Οι δέκα (10) δημοφιλέστερες πλατφόρμες σύμφωνα με το διάγραμμα Gartner είναι: (1) PTC ThingWorx, (2) AWS IoT Core, (3) Oracle IoT Cloud, (4) Microsoft Azure IoT, (5) Siemens MindSphere, (6) Braincube, (7) Software AG Cumulocity IoT, (8) UnifyTwin, (9) IBM Watson IoT, (10) SAP Leonardo IoT και παρουσιάζονται στη συνέχεια με ορισμένα βασικά χαρακτηριστικά που διαθέτουν.

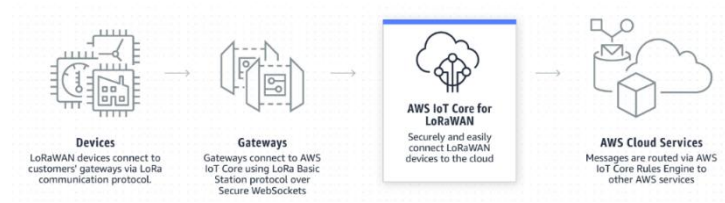
6.7.1 PTC ThingWorx

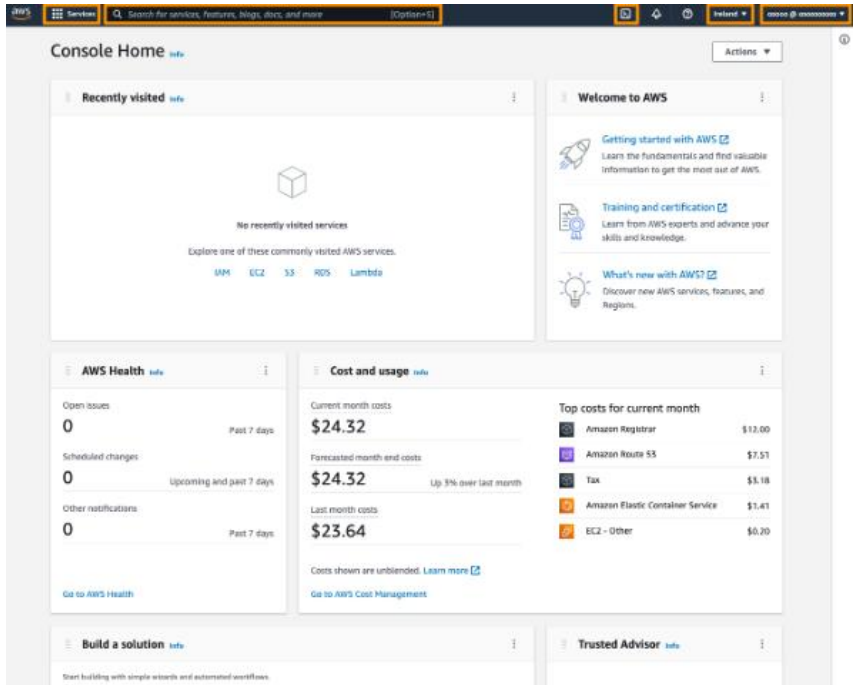
Όνομα	PTC ThingWorx	
Σύνδεσμος	https://www.ptc.com/en/products/thingworx	
Αρχιτεκτονική	Η αρχιτεκτονική της συγκεκριμένης πλατφόρμας περιλαμβάνει τα εξής επίπεδα: • Επίπεδο Εφαρμογών: Πράγματα/Συσκευές, Χρήστες/Πελάτες, • Επίπεδο Πλατφόρμας: ThingWorx, • Επίπεδο Δεδομένων: Βάση Δεδομένων  	
Λειτουργίες	Η συγκεκριμένη πλατφόρμα περιλαμβάνει τις εξής λειτουργίες: • Σύνδεση συσκευών και εφαρμογών, • Σύνδεση σε βάσεις δεδομένων, • Εξαγωγή πληροφοριών σε πραγματικό χρόνο, • Έλεγχο συνδεδεμένων συσκευών και συστημάτων.	

Εικόνα 26 Αρχιτεκτονική

Βάση Δεδομένων	PostgreSQL, SQL Server, InfluxDB Enterprise
Εφαρμογές	Οι εφαρμογές στις οποίες αναφέρεται η συγκεκριμένη πλατφόρμα είναι οι παρακάτω: - Μηχανικό τομέα (Engineering), - Κατασκευαστικό τομέα (Manufacturing), - Πωλήσεις και Marketing, - Βελτιστοποίηση υπηρεσιών.
Dashboard	Ο πίνακας ελέγχου που χρησιμοποιείται παρουσιάζεται παρακάτω.  Εικόνα 27 Πίνακας ελέγχου

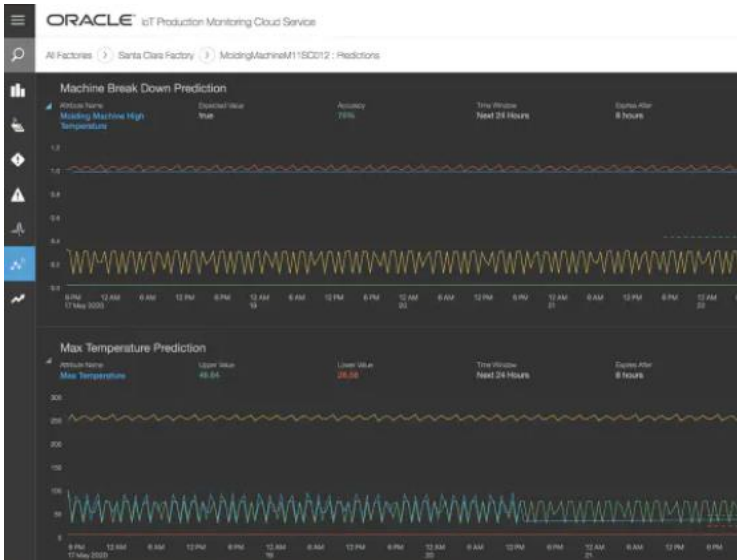
6.7.2 AWS IoT Core

Όνομα	AWS IoT Core	
Σύνδεσμος	https://aws.amazon.com/iot-core/	
Αρχιτεκτονική	Η αρχιτεκτονική της συγκεκριμένης πλατφόρμας περιλαμβάνει τα εξής επίπεδα:	
	• Επίπεδο συσκευών, • Επίπεδο πύλης (gateways), • Επίπεδο πλατφόρμας, • Επίπεδο cloud.	
	 The diagram illustrates the AWS IoT Core architecture. It shows a flow from Devices (LoRaWAN devices) connecting to Gateways (which connect to AWS IoT Core using LoRa Basic Station protocol over Secure WebSockets). The AWS IoT Core for LoRaWAN then securely and easily connects LoRaWAN devices to the cloud. Finally, AWS Cloud Services route messages via the AWS IoT Core Rules Engine to other AWS services.	
	Εικόνα 28 Αρχιτεκτονική	

Λειτουργίες	Η συγκεκριμένη πλατφόρμα περιλαμβάνει τις εξής λειτουργίες: • Έγγραφή συσκευών, • Οργάνωση συσκευών σε ομάδες, • Απομακρυσμένη παρακολούθηση συσκευών, • Διαχείριση συσκευών μέσω διαδικτυακής εφαρμογής
Πρωτόκολλα	MQTT, TCP, LoRaWAN, WSS (WebSocket Secure), HTTPS
Βάση Δεδομένων	AWS Cloud
Dashboard	Ο πίνακας ελέγχου που χρησιμοποιείται παρουσιάζεται παρακάτω.  Εικόνα 29 Πίνακας ελέγχου

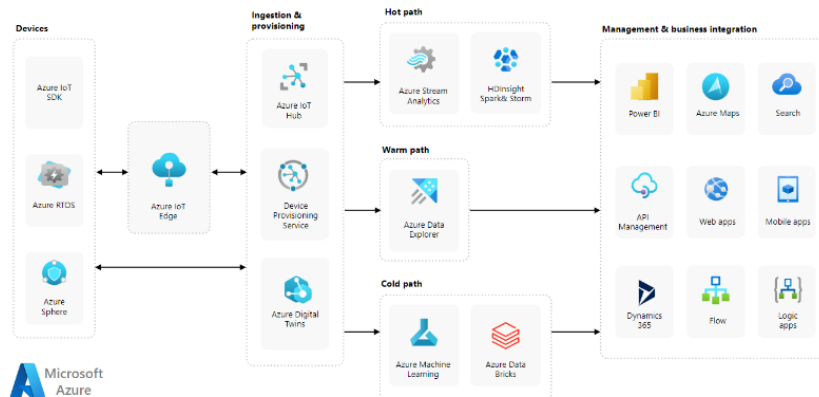
6.7.3 Oracle IoT Cloud

Όνομα	Oracle IoT Cloud	
Σύνδεσμος	https://www.oracle.com/internet-of-things/	
Λειτουργίες	Η συγκεκριμένη πλατφόρμα περιλαμβάνει τις εξής λειτουργίες: • Παρακολούθηση τοποθεσίας, υγείας, περιουσιακών αγαθών σε πραγματικό χρόνο,	

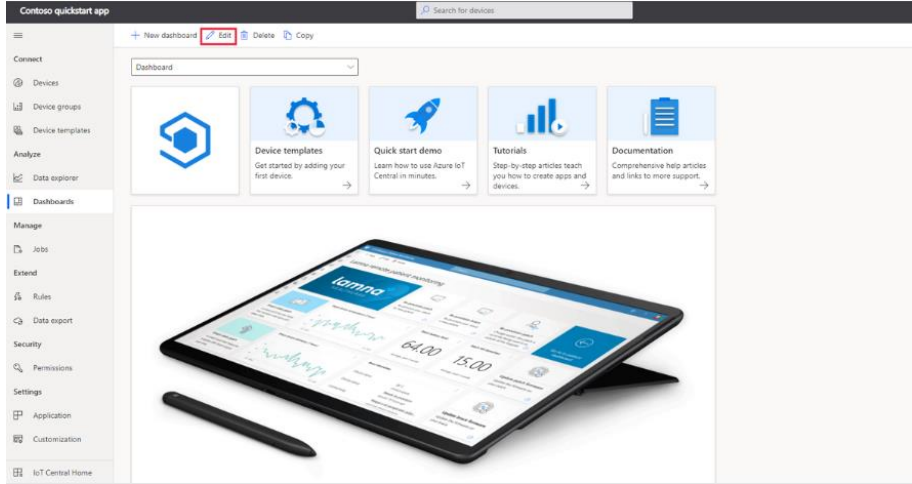
	• Προβολή στοιχείων και analytics μέσω του πίνακα ελέγχου, • Αυτοματισμός ενεργειών.
Βάση Δεδομένων	Oracle Cloud
Μορφή Δεδομένων	STEP, 3DS, AutoCAD DWG, AutoCAD DXF, CATIA, OBJ, STL, JSON
Dashboard	Ο πίνακας ελέγχου που χρησιμοποιείται παρουσιάζεται παρακάτω. 

Εικόνα 30 Πίνακας Ελέγχου

6.7.4 Microsoft Azure IoT

Όνομα	Microsoft Azure IoT	
Σύνδεσμος	https://azure.microsoft.com/en-us/solutions/iot/	
Αρχιτεκτονική	Η αρχιτεκτονική της συγκεκριμένης πλατφόρμας είναι η εξής:  Microsoft Azure	
Εικόνα 31 Αρχιτεκτονική		

Εικόνα 31 Αρχιτεκτονική

Λειτουργίες	Η συγκεκριμένη πλατφόρμα περιλαμβάνει τις εξής λειτουργίες: • Διαχείριση και έλεγχος δεδομένων, • Συναγερμοί κινδύνων, • Αποστολή μηνυμάτων, • Ενσωμάτωση με επιχειρηματικές εφαρμογές, • Προγραμματισμός επιχειρησιακών πόρων.
Βάση Δεδομένων	Azure Storage, Azure SQL Database, Azure Synapse Analytics, Azure Cosmos DB, RDBMS, NoSQL.
Εφαρμογές	Οι τομείς εφαρμογών στις οποίες αναφέρεται η συγκεκριμένη πλατφόρμα είναι οι παρακάτω: • Λιανεμπόριο, • Χρηματοπιστωτικές υπηρεσίες, • Υγεία, • Βιομηχανοποίηση, • Ενέργεια και περιβάλλον, • Τηλεπικοινωνίες, • Εκπαίδευση, • Γεωργία.
Dashboard	Ο πίνακας ελέγχου που χρησιμοποιείται παρουσιάζεται παρακάτω.  Εικόνα 32 Πίνακας Ελέγχου

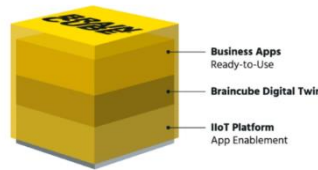
6.7.5 Siemens MindSphere

Όνομα	Siemens MindSphere	
Σύνδεσμος	https://siemens.mindsphere.io/en	
Αρχιτεκτονική	Η αρχιτεκτονική της συγκεκριμένης πλατφόρμας παρατίθενται παρακάτω.  Εικόνα 33 Αρχιτεκτονική	
Λειτουργίες	Η συγκεκριμένη πλατφόρμα περιλαμβάνει τις εξής λειτουργίες: • Σύνδεση αντικειμένων, • Ανάπτυξη IoT στρατηγικής, • Έλεγχος αντικειμένων, • Analytics.	
Πρωτόκολλα	HTTP, MQTT	
Βάση Δεδομένων	Azure, Amazon Web Services (AWS), Alibaba, RedHat, OpenShift, Rancher.	
Εφαρμογές	Οι εφαρμογές στις οποίες αναφέρεται η συγκεκριμένη πλατφόρμα είναι οι παρακάτω: • Παρακολούθηση περιβάλλοντος, • Διαχείριση των αποβλήτων, • Οικολογία, • Διαχείριση Κτιρίων, • Μετρήσεις Ενέργειας και Νερού, • Υπολογισμός αποτυπώματος άνθρακα, • Έξυπνη άρδευση,	

	• Παρακολούθηση θορύβου, • Σύστημα Διαχείρισης Ασφαλείας.
Dashboard	Ο πίνακας ελέγχου που χρησιμοποιείται παρουσιάζεται παρακάτω.  Εικόνα 34 Πίνακας Ελέγχου

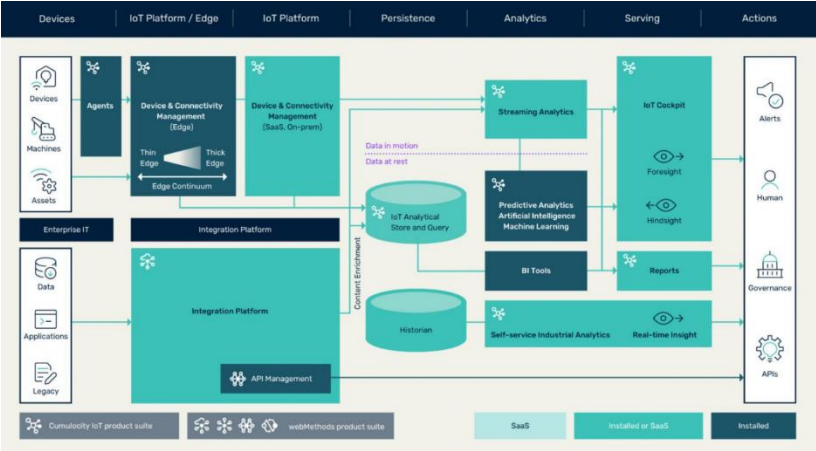
6.7.6 Braincube

Όνομα	Braincube	
Σύνδεσμος	https://braincube.com/solutions/iiot-platform/	
Αρχιτεκτονική	Η αρχιτεκτονική της συγκεκριμένης πλατφόρμας παρουσιάζεται στην παρακάτω εικόνα. 	
	Εικόνα 35 Αρχιτεκτονική	

Λειτουργίες	Η συγκεκριμένη πλατφόρμα περιλαμβάνει τις εξής λειτουργίες: • Οπτικοποίηση δεδομένων, • Παρακολούθηση παραγωγής σε πραγματικό χρόνο, • Συντήρηση, • Ποιότητα και Έλεγχος Διαδικασιών, • Analytics.
Βάση Δεδομένων	Braincube's Cloud
Εφαρμογές	Οι εφαρμογές στις οποίες αναφέρεται η συγκεκριμένη πλατφόρμα είναι οι παρακάτω: • Αεροναυτική, • Χημική • Τρόφιμα, • Φαρμακευτική. 
Dashboard	Ο πίνακας ελέγχου που χρησιμοποιείται παρουσιάζεται παρακάτω.  Εικόνα 36 Πίνακας Ελέγχου

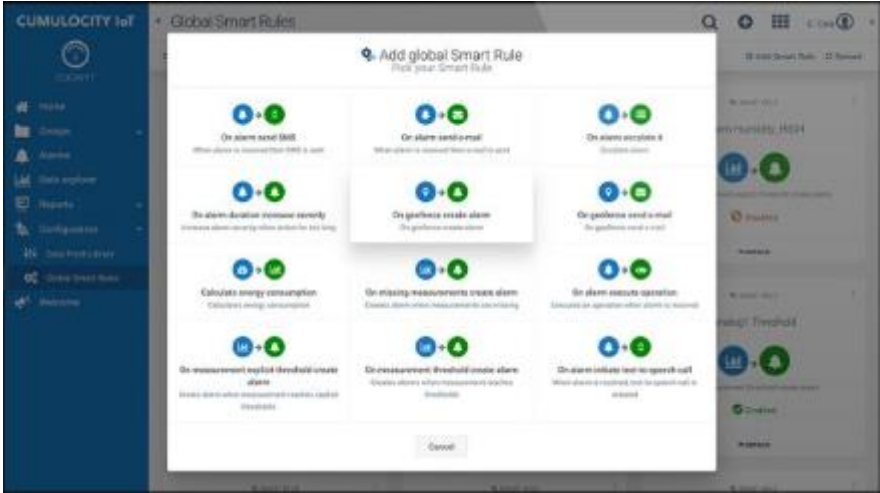
6.7.7 Software AG Cumulocity IoT

Όνομα	Software AG Cumulocity IoT	
Σύνδεσμος	https://www.softwareag.com/en_corporate/platform/iot/iot-analytics-platform.html	

Αρχιτεκτονική	Η αρχιτεκτονική της συγκεκριμένης πλατφόρμας περιλαμβάνει τα εξής επίπεδα που διαφαινόνται στην παρακάτω εικόνα.  Εικόνα 37 Αρχιτεκτονική
Λειτουργίες	Η συγκεκριμένη πλατφόρμα περιλαμβάνει τις εξής λειτουργίες: • Σύνδεση συσκευών στην πλατφόρμα, • Διαχείριση αγαθών, • Analytics.
Τεχνολογίες	WWAN, LoRa, Sigfox
Βάση Δεδομένων	DataHub
Εφαρμογές	Οι εφαρμογές στις οποίες αναφέρεται η συγκεκριμένη πλατφόρμα είναι οι παρακάτω: • Βιομηχανία, • Λιανεμπόριο, • Τηλεπικοινωνίες, • Μεταφορές και logistics, • Υγεία.

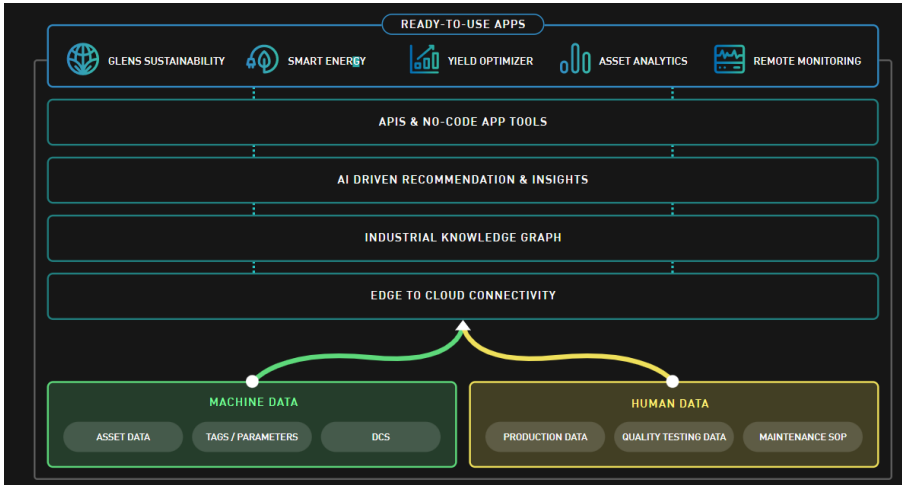
Dashboard

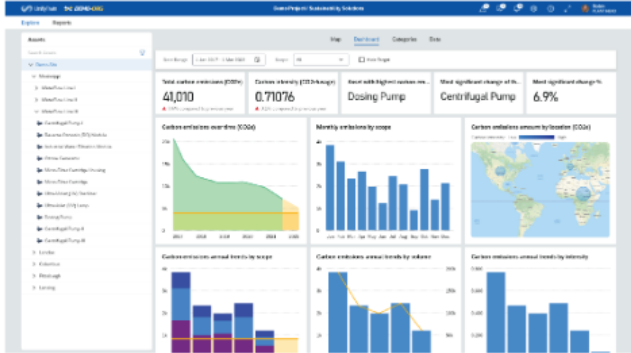
Ο πίνακας ελέγχου που χρησιμοποιείται παρουσιάζεται παρακάτω.



Εικόνα 38 Πίνακας Ελέγχου

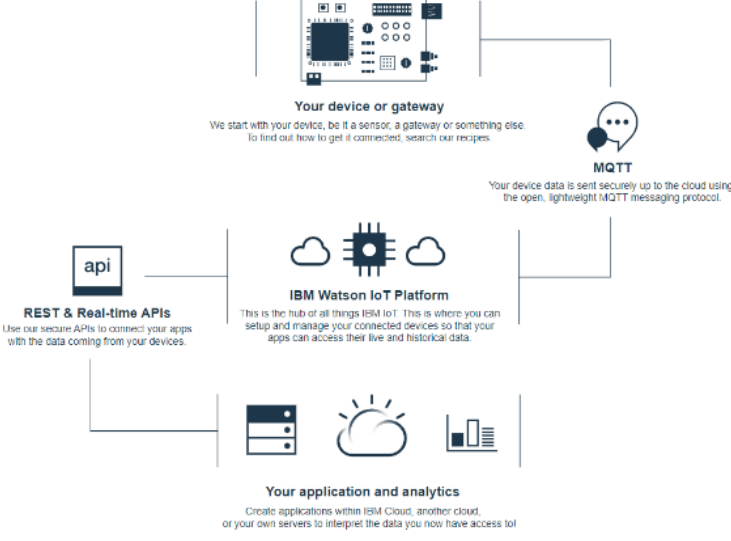
6.7.8 UnifyTwin

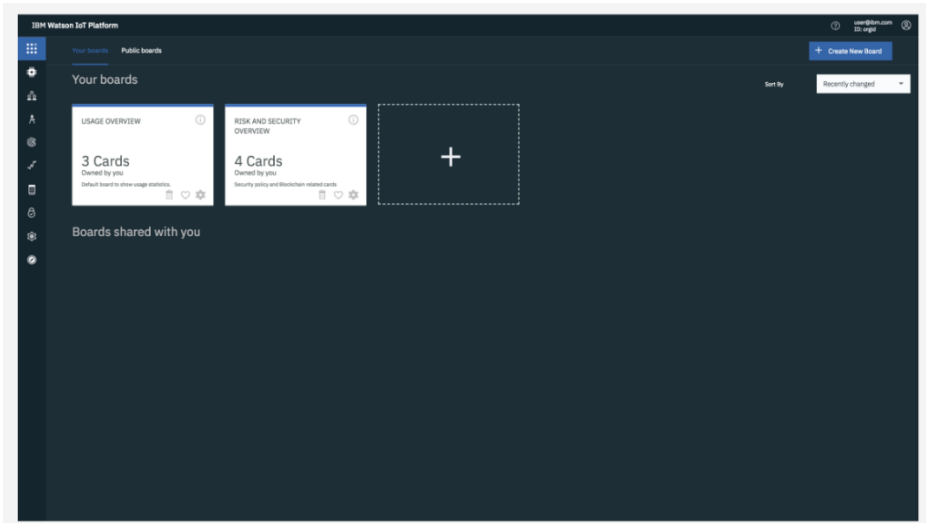
Όνομα	UnifyTwin	
Σύνδεσμος	https://unifytwin.com/#/home	
Αρχιτεκτονική	Η αρχιτεκτονική της συγκεκριμένης πλατφόρμας βασίζεται στα εξής επίπεδα που διαφαίνονται στην εικόνα.  Εικόνα 39 Αρχιτεκτονική	

Λειτουργίες	Η συγκεκριμένη πλατφόρμα περιλαμβάνει τις εξής λειτουργίες: - Απομακρυσμένη παρακολούθηση αγαθών σε πραγματικό χρόνο, - Συνδεσιμότητα με cloud, - Επεξεργασία και Ανάλυση δεδομένων, - Analytics, - Ανάλυση και Μεγιστοποίηση απόδοσης της διαδικασίας της παραγωγής, - Παρακολούθηση, Ανάλυση και Βελτιστοποίηση της κατανάλωσης ενέργειας.
Βάση Δεδομένων	Cloud
Εφαρμογές	Οι εφαρμογές στις οποίες αναφέρεται η συγκεκριμένη πλατφόρμα είναι οι παρακάτω: - Φαρμακευτική, - Χημική, - Κλωστοϋφαντουργία, - Διυλιστήριο, - Ενέργεια.
Dashboard	Ο πίνακας ελέγχου που χρησιμοποιείται παρουσιάζεται παρακάτω.  Εικόνα 40 Πίνακας Ελέγχου

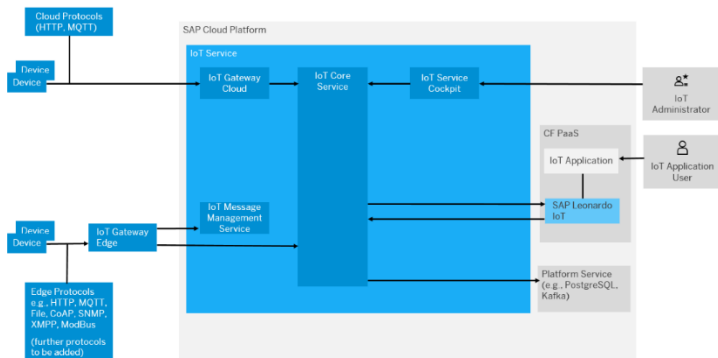
6.7.9 IBM Watson IoT Platform

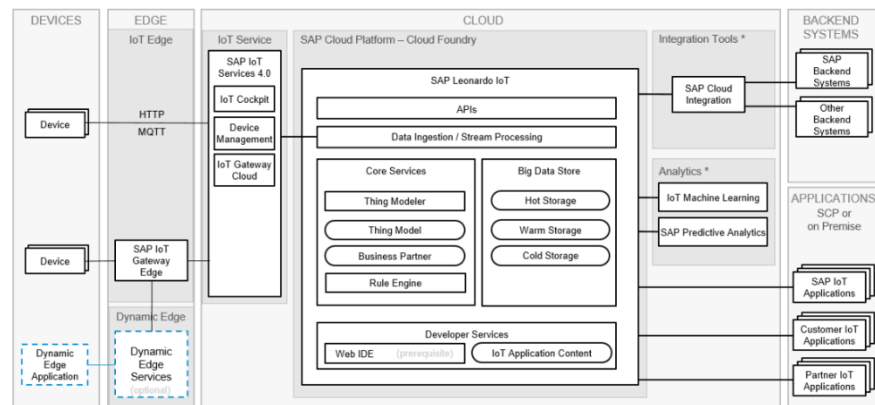
Όνομα	IBM Watson IoT Platform	
Σύνδεσμος	https://internetofthings.ibmcloud.com/	

Αρχιτεκτονική	Η αρχιτεκτονική της συγκεκριμένης πλατφόρμας περιλαμβάνει τα εξής επίπεδα: • Συσκευές και Gateways, • Πρωτόκολλο MQTT, • IBM Watson IoT Πλατφόρμα, • REST και Application Programming Interface (API), • Εφαρμογές και Analytics
	 The diagram illustrates the IBM Watson IoT Platform architecture. At the top, a box labeled 'Your device or gateway' is connected to a central cloud icon labeled 'IBM Watson IoT Platform'. Below the device box, text reads: 'We start with your device, be it a sensor, a gateway or something else. To find out how to get it connected, search our recipes.' To the right of the device box, a speech bubble icon labeled 'MQTT' is connected to the platform, with text: 'Your device data is sent securely up to the cloud using the open, lightweight MQTT messaging protocol.' Below the platform cloud, a box labeled 'REST & Real-time APIs' is connected to the platform, with text: 'Use our secure APIs to connect your apps with the data coming from your devices.' At the bottom, a box labeled 'Your application and analytics' is connected to the platform, with text: 'Create applications within IBM Cloud, another cloud, or your own servers to interpret the data you now have access to.' The platform cloud is also connected to a server icon and a bar chart icon. Εικόνα 25 Αρχιτεκτονική IBM
Λειτουργίες	Η συγκεκριμένη πλατφόρμα περιλαμβάνει τις εξής λειτουργίες: • Σύνδεση και εγγραφή για τη σύνδεση των συσκευών και των gateways, • Διαχείριση και αποθήκευση των δεδομένων που λαμβάνονται από τις συνδεδεμένες συσκευές, • Μετατροπή των δεδομένων και ενσωμάτωση με άλλες υπηρεσίες και πλατφόρμες συσκευών, • Ανάλυση δεδομένων σε πραγματικό χρόνο, analytics και πίνακες εργαλείων. • Ρυθμίσεις για αυτόματη ενεργοποίηση των ενδιαφερόμενων λειτουργιών, • Ασφάλεια συνδεσιμότητας και ελέγχους πρόσβασης χρηστών και εφαρμογών.
Πρωτόκολλα	HTTP, MQTT, Transport Layer Security (TLS)

Βάση Δεδομένων	IBM Cloud
Μορφή Δεδομένων	JSON
Dashboard	Ο πίνακας ελέγχου που χρησιμοποιείται παρουσιάζεται παρακάτω.  Εικόνα 26 Πίνακας Ελέγχου

6.7.10 SAP Leonardo IoT

Όνομα	SAP Leonardo IoT	
Σύνδεσμος	https://help.sap.com/docs/SAP_Leonardo_IoT	
Αρχιτεκτονική	Η αρχιτεκτονική της συγκεκριμένης πλατφόρμας περιλαμβάνει τα εξής επίπεδα. 	
	Εικόνα 41 Αρχιτεκτονική	



Εικόνα 42 Αρχιτεκτονική

Λειτουργίες

Η συγκεκριμένη πλατφόρμα περιλαμβάνει τις εξής λειτουργίες:

- Πρόσβαση δεδομένων σε πραγματικό χρόνο για την τρέχουσα κατάσταση της κυκλοφορίας,
- Προγνωστική ενημέρωση για την παραγωγή και παράδοση αγαθών,
- Επεξεργασία δεδομένων.

Πρωτόκολλα

HTTP, MQTT, CoAP, SNMP, XMPP, ModBus

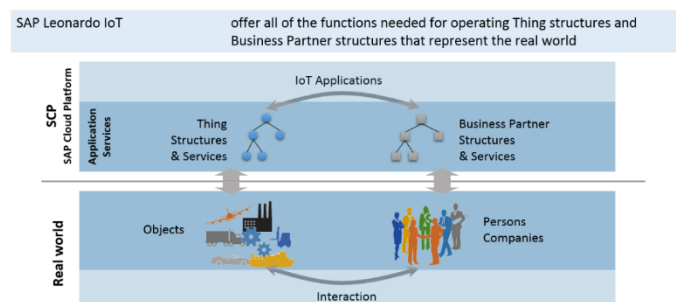
Βάση Δεδομένων

Cloud, PostgreSQL, Kafka

Εφαρμογές

Οι εφαρμογές στις οποίες αναφέρεται η συγκεκριμένη πλατφόρμα είναι οι παρακάτω:

- Logistics,
- Μεταφορές,
- Δημόσιος τομέας,
- Γεωργία,
- Βιομηχανία.



Εικόνα 43 Εφαρμογές



Εικόνα 44 Πίνακας Ελέγχου

6.8 Προκλήσεις

[44] Η συνεχής εξέλιξη των ΤΠΕ στον τομέα του IoT δημιουργεί και αρκετές προκλήσεις στα συστήματα και στις πλατφόρμες διαχείρισης των αισθητήρων οι οποίες αναλύονται παρακάτω.

Συνδεσιμότητα ετερογενών συσκευών (Connectivity of Heterogeneous Devices): [44] Μία σημαντική πρόκληση θεωρείται η σύνδεση πολλών ειδών αισθητήρων με διαφορετικά χαρακτηριστικά και λειτουργίες και σχετίζεται με τη διαλειτουργικότητα των πρωτοκόλλων που χρησιμοποιούνται στο σύστημα. [44] Η επικοινωνία ανάμεσα στους αισθητήρες και στη πλατφόρμα την οποία συνδέονται πραγματοποιείται απομακρυσμένα μέσω του Διαδικτύου, των πυλών (gateways), ή με απευθείας σύνδεση για τη διαχείριση και την εποπτεία των συσκευών.

Διαχείριση συσκευών (Device Management Challenges): [44] Η διαχείριση συσκευών αποτελεί μία από τις πιο συνηθισμένες λειτουργίες των πλατφορμών διαχείρισης. Για τη διαδικασία της διαχείρισης απαιτείται η αποθήκευση πληροφοριών σχετικά με τις συσκευές στο σύστημα, την κατάσταση τους, η ανάπτυξη αναφορών για στατιστικές αναλύσεις, κ.α. Όμως ο αυξανόμενος αριθμός των συσκευών, των αισθητήρων, των ενεργοποιητών που χρησιμοποιούνται σε ένα σύστημα μπορεί να δημιουργήσει συμφόρηση, προβλήματα χωρητικότητας και κατ' επέκταση μείωση της απόδοσης του συστήματος.

Ασφάλεια (Security Limitations): [44] Μία επιπλέον σημαντική πρόκληση θεωρείται η ασφάλεια των συστημάτων IoT, η οποία επηρεάζεται σε μεγάλο βαθμό από τις παραβιάσεις που μπορεί να πραγματοποιηθούν. [44] Γι' αυτό το λόγο οι συσκευές θα πρέπει να διαθέτουν μηχανισμούς

ασφάλειας και να τηρούν τις τέσσερις βασικές αρχές, Εμπιστευτικότητα, Πιστοποίηση, Ακεραιότητα, Μη αποποίηση και Διαθεσιμότητα. Για τη πρόληψη τυχών κινδύνων απαιτείται ένας ισχυρός αλγόριθμός κρυπτογράφησης.

Επόμενη γενιά εργαλείων διαχείρισης (Next Generation of IoT Management Tools): [44] Η συνεχής εξέλιξη των ΤΠΕ στον τομέα του IoT και των έξυπνων λύσεων, όπως edge/fog computing, δημιουργούν προκλήσεις στα συστήματα διαχείρισης συσκευών και αισθητήρων. Η αποθήκευση, η διατήρηση και η επεξεργασία μεγάλων ποσοτήτων δεδομένων στα κατάλληλα κέντρα επιφέρει μεγαλύτερη κατανάλωση της ενέργειας, περισσότερο φόρτο εργασίας και περισσότερη χρήση των πόρων.

7

Σχεδίαση & Ανάπτυξη Συστήματος Απομακρυσμένης

Διαχείριση Συσκευής

7.1 Σκοπός συστήματος

Στο πλαίσιο της διπλωματικής εργασίας πραγματοποιήθηκε η σχεδίαση και η ανάπτυξη 'έξυπνου συστήματος' απομακρυσμένης διαχείρισης συσκευής φωτισμού. Βασικός σκοπός αποτελεί η δημιουργία λογισμικού για την αποστολή δεδομένων από τη συσκευή στο μικροελεγκτή Raspberry pi και η διαχείριση της λειτουργίας της συσκευής (ενεργοποίηση/απενεργοποίηση) με απομακρυσμένο τρόπο. Η ανάπτυξη του συστήματος πραγματοποιήθηκε τόσο σε επίπεδο λογισμικού όσο και υλικού με χρήση των κατάλληλων εργαλείων και γλωσσών προγραμματισμού.

Στο αυτό το κεφάλαιο παρουσιάζεται η μεθοδολογική προσέγγιση στην οποία βασίστηκε η διαδικασία της ανάπτυξης του συστήματος απομακρυσμένης διαχείρισης συσκευής φωτισμού. Στη συνέχεια, αναλύονται τα βήματα που υλοποιήθηκαν τόσο σε επίπεδο λογισμικού όσο και υλικού με χρήση των κατάλληλων εργαλείων. Επιπλέον, παρουσιάζεται η αρχιτεκτονική του συστήματος με τα κύρια επίπεδα από τα οποία αποτελείται. Επιπρόσθετα, παρατίθενται τα εργαλεία ανάπτυξης που χρησιμοποιήθηκαν για την υλοποίηση του συστήματος και τέλος, παρουσιάζεται το σύστημα το οποίο αναπτύχθηκε με τις κατάλληλες οθόνες εκτέλεσης.

7.2 Μεθοδολογία Ανάπτυξης Συστήματος

Η μεθοδολογική προσέγγιση για τη σχεδίαση και την ανάπτυξη του ‘έξυπνου συστήματος’ απομακρυσμένης διαχείρισης συσκευής φωτισμού βασίστηκε σε μία ακολουθία συγκεκριμένων βημάτων, τα οποία αναλύονται στη συνέχεια. Επιπρόσθετα, η μεθοδολογία και τα βήματα που ακολουθήθηκαν για την υλοποίηση του παρόν συστήματος αναλύονται στη συνέχεια.

Βήμα 1: Μελέτη Συστημάτων Απομακρυσμένης Διαχείρισης Συσκευών

Σε αυτό το βήμα πραγματοποιήθηκε μελέτη υπαρχόντων συστημάτων απομακρυσμένης διαχείρισης συσκευών, τα οποία διέθεταν παρόμοιες λειτουργίες με τον παρόν ‘έξυπνο σύστημα’. Ο σκοπός για τον οποίο πραγματοποιήθηκε η μελέτη είναι η ορθότερη αντίληψη των λειτουργιών, αλλά και της αρχιτεκτονικής συστημάτων απομακρυσμένης διαχείρισης συσκευών, καθώς και ο εντοπισμός μεθόδων για την αποτελεσματική επικοινωνία των συσκευών με το λογισμικό πρόγραμμα. Η μελέτη βασίστηκε σε υπάρχοντα συστήματα διαχείρισης αισθητήρων, όπως παρουσιάζονται στο [Κεφάλαιο 6.4 Μελέτη Αρχιτεκτονικής Συστημάτων Διαχείρισης Αισθητήρων](#).

Βήμα 2: Υλοποίηση και Σχεδιασμός Προσομοίωσης

Στη συνέχεια πραγματοποιήθηκε ο σχεδιασμός προσομοίωσης του παρόν συστήματος μέσω του δωρεάν εργαλείου ‘Fritzing’⁶¹. Σε αυτό το εργαλείο σχεδιάστηκε το κύκλωμα σε επίπεδο υλικού (hardware) με χρήση της κατάλληλης συνδεσμολογίας μεταξύ των στοιχείων.

Βήμα 3: Υλοποίηση και Σχεδιασμός Διάταξης

Σε αυτό το βήμα πραγματοποιήθηκε ο σχεδιασμός του κυκλώματος σε επίπεδο υλικού το οποίο βασίστηκε στη προσομοίωση του προηγούμενου βήματος. Τα στοιχεία τα οποία χρησιμοποιήθηκαν στο σύστημα είναι ο μικροελεγκτής Raspberry pi 3B, η συσκευή ρελέ (relay) JQC3F, η συσκευή led light και το τροφοδοτικό.

Βήμα 4: Ανάπτυξη Λογισμικού Προγράμματος

Στη συνέχεια, αναπτύχθηκε και υλοποιήθηκε το πρόγραμμα σε επίπεδο λογισμικό (software) για τη δημιουργία της διεπαφής (interface), τη διαχείριση της λειτουργίας του ρελέ και κατ’ επέκταση της συσκευής φωτισμού.

Βήμα 5: Έλεγχος και Δοκιμές

Τέλος, μετά την ολοκλήρωση υλικού και λογισμικού, πραγματοποιήθηκαν οι δοκιμές (testing) σε πραγματικό περιβάλλον.

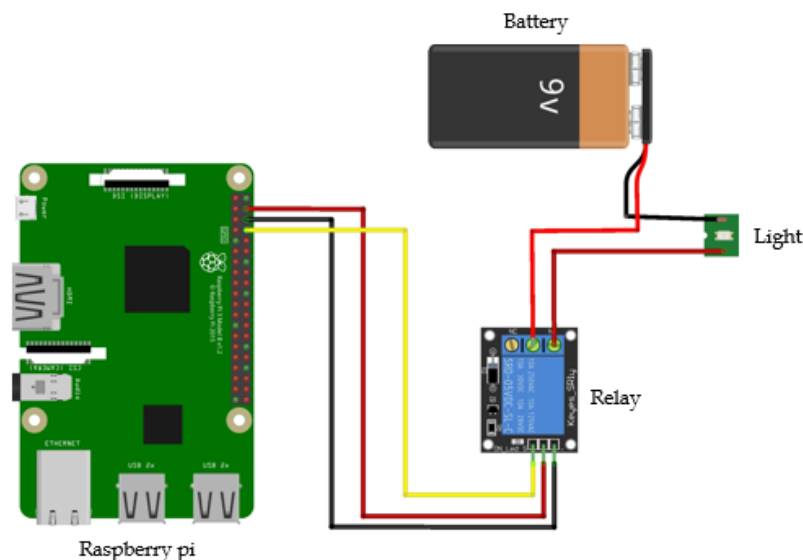
⁶¹ <https://fritzing.org/>

7.3 Ανάπτυξη Συστήματος

Η σχεδίαση και η ανάπτυξη του ‘έξυπνου συστήματος’ απομακρυσμένης διαχείρισης συσκευής φωτισμού βασίστηκε στα βήματα και στη μεθοδολογική προσέγγιση που παρουσιάστηκε στο [Κεφάλαιο 7.2 Μεθοδολογία Ανάπτυξης Συστήματος](#). Σε αυτό το υποκεφάλαιο παρατίθενται αναλυτικά τα βήματα τα οποία ακολουθήθηκαν για την υλοποίηση του παρόν συστήματος.

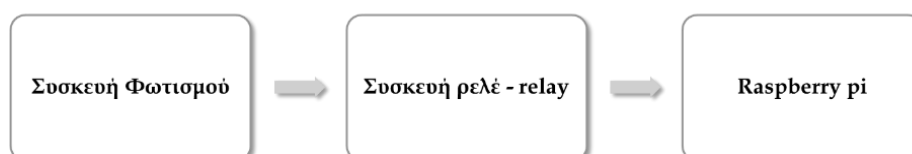
7.3.1 Υλοποίηση και Σχεδιασμός Προσομοίωσης

Ο σχεδιασμός της προσομοίωσης του παρόν συστήματος υλοποιήθηκε με τη χρήση του εργαλείου ‘Fritzing’. Στο συγκεκριμένο εργαλείο σχεδιάστηκε και αναπαραστάθηκε το κύκλωμα σε επίπεδο υλικού (hardware) και χρησιμοποιήθηκαν τα εξής στοιχεία: μικροελεγκτής Raspberry pi, συσκευή ρελέ, η συσκευή φωτισμού, η μπαταρία για την τροφοδοσία.



Εικόνα 45 Σχεδίαση προσομοίωσης

Ο μικροελεγκτής Raspberry pi είναι υπεύθυνος για την επικοινωνία μεταξύ των συνδεδεμένων συσκευών και του προγράμματος λογισμικού. Σε εκείνον συνδέεται η συσκευή ρελέ, η οποία χρησιμοποιείται για τον έλεγχο της λειτουργίας της συσκευής φωτισμού. Η σειρά σύνδεσης των στοιχείων της διάταξης παρουσιάζονται στην παρακάτω Εικόνα 39.



Εικόνα 46 Διάταξη προσομοίωσης

7.3.2 Υλοποίηση και Σχεδιασμός Διάταξης

Ο σχεδιασμός του κυκλώματος σε επίπεδο υλικού βασίστηκε στην υλοποίηση της προσομοίωσης που πραγματοποιήθηκε στο προηγούμενο βήμα. Τα στοιχεία από τα οποία αποτελείται η διάταξη είναι μικροελεγκτής, συσκευή ρελέ, συσκευή φωτισμού, τροφοδοτικό, καλωδίωση και παρουσιάζονται αναλυτικότερα στον παρακάτω Πίνακα 25.

Πίνακας 25 Στοιχεία κυκλώματος

Στοιχείο	Τύπος	Περιγραφή
Μικροελεγκτής	Raspberry pi 3B	Ο μικροελεγκτής Raspberry pi 3B χρησιμοποιείται για την επικοινωνία μεταξύ των συνδεδεμένων συσκευών και του προγράμματος λογισμικού. Είναι υπεύθυνος για τον έλεγχο των συσκευών. Στον μικροελεγκτή συνδέεται η συσκευή ρελέ.
Συσκευή ρελέ	Relay JQC3F 5VDC	Η συσκευή relay είναι ένας ηλεκτρικός διακόπτης και χρησιμοποιείται για τον έλεγχο της λειτουργίας της συσκευής φωτισμού. Στη συσκευή εκείνη συνδέονται τα led lights.
Συσκευή φωτισμού	Led lights	Η συσκευή φωτισμού συνδέεται στο relay για τον έλεγχο της λειτουργίας της.
Τροφοδοτικό	-	Το τροφοδοτικό χρησιμοποιήθηκε για την παροχή ηλεκτρικού ρεύματος στο κύκλωμα.

Όπως διαφαίνεται και τον Πίνακα 25 ο μικροελεγκτής Raspberry pi είναι υπεύθυνος για την επικοινωνία μεταξύ των συνδεδεμένων συσκευών και του προγράμματος λογισμικού. Σε εκείνον συνδέεται η συσκευή ρελέ, η οποία χρησιμοποιείται για τον έλεγχο της λειτουργίας της συσκευής φωτισμού. Η σειρά σύνδεσης των στοιχείων της διάταξης και του προγράμματος λογισμικού παρουσιάζονται στην παρακάτω Εικόνα 40.



Εικόνα 47 Διάταξη κυκλώματος

7.3.3 Ανάπτυξη Λογισμικού Προγράμματος

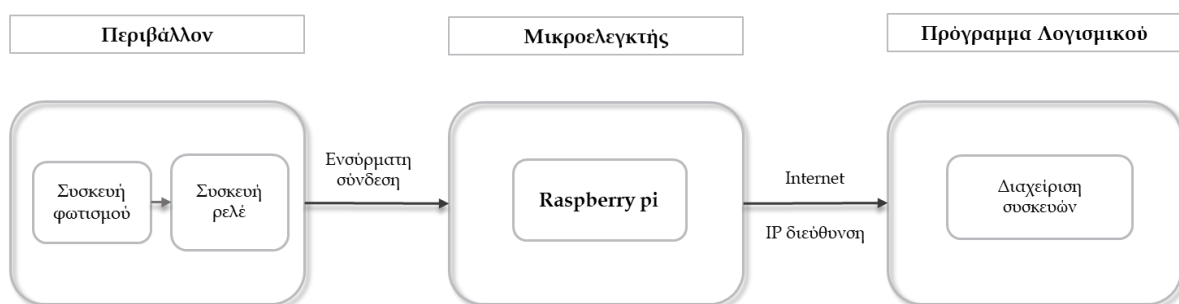
Παράλληλα αναπτύχθηκε και λογισμικό πρόγραμμα, το οποίο είναι υπεύθυνο για την αποστολή των δεδομένων που σχετίζονται με την κατάσταση της λειτουργίας της συσκευής relay (ενεργοποίηση/απενεργοποίηση), καθώς και τη διεπαφή για τη διαχείριση της λειτουργίας του. Για την υλοποίηση του προγράμματος χρησιμοποιήθηκε ένας συνδυασμός γλωσσών προγραμματισμού.

Πίνακας 26 Γλώσσες προγραμματισμού

Γλώσσα προγραμματισμού	Περιγραφή
HTML - HyperText Markup Language	Η HTML χρησιμοποιήθηκε για τη γραφική αναπαράσταση του προγράμματος λογισμικού, καθώς και τη σύνδεση του γραφικού περιβάλλοντος με τα δεδομένα που λαμβάνονται σύμφωνα με την κατάσταση της συσκευής relay.
CSS - Cascading Style Sheets	Η CSS χρησιμοποιήθηκε για τη γραφική αναπαράσταση του προγράμματος λογισμικού.
Python	Η Python χρησιμοποιήθηκε για τον προσδιορισμό των pins του μικροελεγκτή Raspberry pi, καθώς και τη διαχείριση της κατάστασης της λειτουργίας του.
PHP - Hypertext Preprocessor	Η PHP χρησιμοποιήθηκε για την καλύτερη διαχείριση και εκτέλεση των προγραμμάτων λογισμικού σε python.

7.4 Αρχιτεκτονική Συστήματος

Η αρχιτεκτονική του συστήματος αποτελείται από πέντε κύρια επίπεδα, Επίπεδο Συσκευών, Επίπεδο Συνδεσμολογίας με Μικροελεγκτή, Επίπεδο Επικοινωνίας και Συνδεσιμότητας, Επίπεδο Επεξεργασίας Δεδομένων, Επίπεδο Διαχείρισης Έξυπνων Συσκευών και Διεπαφή, όπως παρουσιάζεται και στην Εικόνα 41 και αναλύονται στη συνέχεια. Τα κύρια στοιχεία τα οποία περιλαμβάνει το σύστημα είναι η συσκευή φωτισμού, η συσκευή ρελέ και ο μικροελεγκτής Raspberry pi.



Εικόνα 48 Αρχιτεκτονική συστήματος

Επίπεδο Συσκευών

Το συγκεκριμένο επίπεδο περιλαμβάνει τις συσκευές, τα στοιχεία περιλαμβάνονται στο σύστημα απομακρυσμένης διαχείρισης συσκευής φωτισμού. Τα στοιχεία εκείνα είναι η συσκευή φωτισμού η οποία συνδέεται με τη συσκευή ρελέ, προκειμένου να πραγματοποιηθεί η διαχείριση της λειτουργίας της.

Επίπεδο Συνδεσμολογίας με Μικροελεγκτή

Ο συντονισμός και ο έλεγχος των έξυπνων συσκευών πραγματοποιείται μέσω του μικροελεγκτή Raspberry pi. Η σύνδεση μεταξύ του μικροελεγκτή και των συσκευών μπορεί να πραγματοποιηθεί είτε με άμεση επαφή μεταξύ τους (ενσύρματη σύνδεση) χρησιμοποιώντας την απαραίτητη συνδεσμολογία είτε με απομακρυσμένο τρόπο ενσωματώνοντας στο Raspberry pi λογισμικό διαχείρισης ασύρματου δικτύου (ασύρματη σύνδεση), όπως το πρωτόκολλο Z-Wave, μετατρέποντας το σε πύλη (gateway). Στο συγκεκριμένο κύκλωμα η σύνδεση που χρησιμοποιείται είναι η **ενσύρματη**.

Επίπεδο Επικοινωνίας και Συνδεσιμότητας

Το συγκεκριμένο επίπεδο περιλαμβάνει τις τεχνολογίες δικτύωσης που χρησιμοποιούνται για την επικοινωνία των συσκευών με το λογισμικό πρόγραμμα και την αποστολή των απαραίτητων δεδομένων που συλλέχθηκαν στον προηγούμενο επίπεδο. Η σύνδεση του κυκλώματος με το πρόγραμμα λογισμικού πραγματοποιείται μέσω της IP διεύθυνσης που αντιστοιχεί στο κύκλωμα με βάση το τοπικό δίκτυο.

Επίπεδο Επεξεργασίας Δεδομένων

Σε αυτό το επίπεδο πραγματοποιείται η διαδικασία της επεξεργασίας των δεδομένων που λαμβάνονται από τις συνδεδεμένες συσκευές στο κύκλωμα. Σε αυτό το σύστημα χρησιμοποιούνται οι κατάλληλες εντολές για την υλοποίηση μεθόδων get και post που σχετίζονται με τη λήψη και αποστολή των δεδομένων.

Επίπεδο Διαχείρισης Συσκευών και Διεπαφή

Το συγκεκριμένο επίπεδο περιλαμβάνει τη διεπαφή, και ειδικότερα τη γραφική αναπαράσταση του προγράμματος λογισμικού για τη διαχείριση της κατάστασης της συσκευής relay η οποία είναι συνδεδεμένη στο μικροελεγκτή Raspberry pi.

7.5 Εργαλεία Ανάπτυξης Συστήματος

Ο σχεδιασμός του κυκλώματος σε επίπεδο υλικού βασίστηκε στη χρήση διαφόρων εργαλείων για την αποτελεσματική υλοποίηση του συστήματος. Τα εργαλεία ανάπτυξης του συστήματος παρουσιάζονται στον παρακάτω Πίνακα 26.

Πίνακας 26 Εργαλεία ανάπτυξης συστήματος

Εργαλείο	Τύπος	Περιγραφή
Visual Studio Code ⁶²	Πρόγραμμα επεξεργασίας κώδικα	Το συγκεκριμένο πρόγραμμα χρησιμοποιήθηκε για την ανάπτυξη των προγραμμάτων λογισμικού σε γλώσσες προγραμματισμού php και html.
Fritzing ⁶³	Εργαλείο σχεδίασης κυκλωμάτων	Το συγκεκριμένο πρόγραμμα χρησιμοποιήθηκε για τη δημιουργία της προσομοίωσης του κυκλώματος, χρησιμοποιώντας τα απαραίτητα στοιχεία (μικροελεγκτής, συσκευή relay, συσκευή φωτισμού, κ.α.)
VNC ⁶⁴	Λογισμικό κοινής χρήσης επιφάνειας εργασίας	Το συγκεκριμένο πρόγραμμα χρησιμοποιήθηκε για την κοινή χρήση της επιφάνειας εργασίας του μικροελεγκτή Raspberry pi σε υπολογιστή.
Thonny ⁶⁵	Περιβάλλον ανάπτυξης python.	Το συγκεκριμένο πρόγραμμα χρησιμοποιήθηκε για την ανάπτυξη των προγραμμάτων λογισμικού σε γλώσσα προγραμματισμού python.

7.6 Το Σύστημα

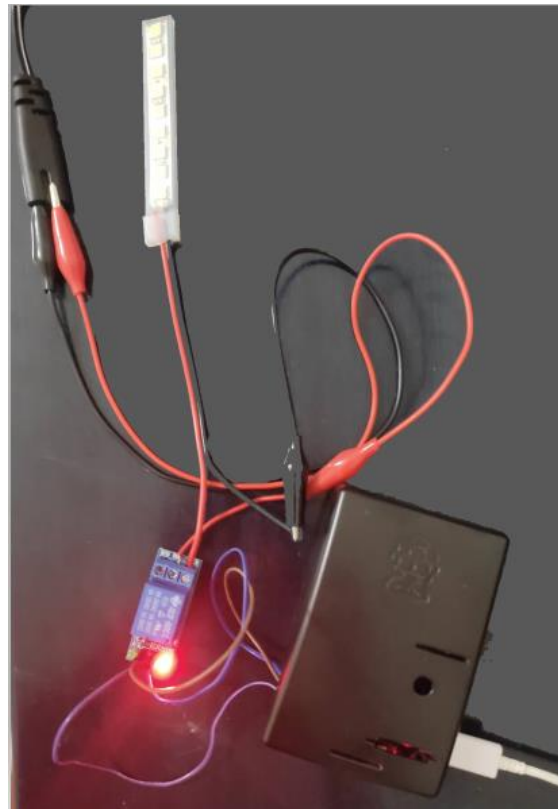
Η ανάπτυξη του συστήματος απομακρυσμένης διαχείρισης συσκευής φωτισμού αναπτύχθηκε σε επίπεδο υλικού και σε επίπεδο λογισμικού. Το επίπεδο υλικού βασίστηκε στη σχεδίαση προσομοίωσης κυκλώματος, όπως αναφέρεται στο [Κεφάλαιο 7.3.1 Υλοποίηση και Σχεδιασμός Προσομοίωσης](#). Το κύκλωμα σε πραγματικό περιβάλλον περιλαμβάνει τις συσκευές τις οποίες απαρτίζουν το κύκλωμα, ο μικροελεγκτής Raspberry pi, η συσκευή relay, η συσκευή φωτισμού, το τροφοδοτικό. Η χρησιμότητα του κάθε στοιχείου αναλύεται στο [Κεφάλαιο 7.3.2 Υλοποίηση και Σχεδιασμός Διάταξης](#). Στην παρακάτω Εικόνα 42 διαφαίνεται το ολοκληρωμένο πραγματικό κύκλωμα το οποίο σχεδιάστηκε και αναπτύχθηκε στο πλαίσιο της διπλωματικής εργασίας.

⁶² <https://code.visualstudio.com/>

⁶³ <https://fritzing.org/>

⁶⁴ <https://www.realvnc.com/en/connect/download/viewer/>

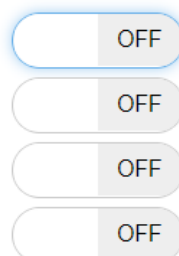
⁶⁵ <https://thonny.org/>



Εικόνα 49 Ανάπτυξη κυκλώματος

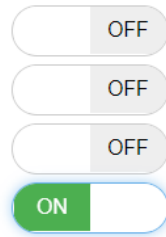
Η διεπαφή (interface) του τελικού χρήστη βασίζεται στη γραφική αναπαράσταση των προγραμμάτων λογισμικού τα οποία υλοποιήθηκαν και περιλαμβάνει τα κουμπιά (buttons) για τη διαχείριση της λειτουργίας της συσκευής relay και κατ' επέκταση της συσκευής φωτισμού. Στις παρακάτω Εικόνες διαφαίνεται η διεπαφή – το αποτέλεσμα των προγραμμάτων λογισμικού σε δύο καταστάσεις, σε περίπτωση που η συσκευή relay είναι ενεργοποιημένη και απενεργοποιημένη.

Σύστημα Απομακρυσμένης Διαχείρισης Συσκευών



Εικόνα 50 Κατάσταση απενεργοποιημένου διακόπτη

Σύστημα Απομακρυσμένης Διαχείρισης Συσκευών



Εικόνα 51 Κατάσταση ενεργοποιημένου διακόπτη

8

Συμπεράσματα

Το Διαδίκτυο των πραγμάτων αποτελείται από φυσικά αντικείμενα τα οποία διαθέτουν ενσωματωμένους αισθητήρες, παρουσιάζουν την ικανότητα επεξεργασίας των δεδομένων, χρησιμοποιώντας κατάλληλο λογισμικό, καθώς και άλλες τεχνολογίες για τη σύνδεση και την ανταλλαγή δεδομένων με άλλες συσκευές και συστήματα. Παρόλο που η τεχνολογία IoT διαθέτει ποικίλες δυνατότητες και την ικανότητα να ενσωματώνεται σε περίπλοκα συστήματα, παρουσιάζει και αρκετές προκλήσεις. Οι προκλήσεις σχετίζονται με τον αυξανόμενο αριθμό συσκευών, που επηρεάζει άμεσα το χώρο διευθύνσεων, την κατανάλωση της ενέργειας των συσκευών, τη διαλειτουργικότητα (συνεργασία και ο διαμοιρασμός των δεδομένων), καθώς και την ασφάλεια – ιδιωτικότητα.

Το περιβάλλον «Έξυπνης Πόλης» αποτελεί μία σημαντική εφαρμογή της τεχνολογίας IoT και χαρακτηρίζεται ως μια τεχνολογικά σύγχρονη αστική περιοχή η οποία χρησιμοποιεί διαφορετικούς τύπους μεθόδων, ενεργοποιητών και αισθητήρων για τη συλλογή των δεδομένων. Τα δεδομένα συλλέγονται από τους πολίτες, τις συσκευές, τα κτίρια, κ.α. υποβάλλονται σε επεξεργασία και αναλύονται, με σκοπό την παρακολούθηση και τη διαχείριση διαφόρων τομέων και συστημάτων, όπως η κυκλοφορία, οι μεταφορές, τα συστήματα ύδρευσης, τα συστήματα πληροφοριών, τα νοσοκομεία καθώς και κοινοτικές υπηρεσίες, κ.α. Μία σημαντική πρόκληση των περιβαλλόντων «έξυπνων πόλεων» είναι η διαχείριση, η συνεργασία και ο διαμοιρασμός των δεδομένων των δεδομένων που συλλέγονται, αλλά και των συστημάτων που χρησιμοποιούνται.

Τα περιβάλλοντα ‘έξυπνων πόλεων’ απαρτίζονται από ένα μεγάλο αριθμό συσκευών αισθητήρων με ποικίλα χαρακτηριστικά. Ανιχνεύουν διάφορα φυσικά μεγέθη, όπως η θερμοκρασία, η υγρασία, η φωτεινότητα, η ατμοσφαιρική πίεση, η ταχύτητα, κλπ, και συλλέγουν χρήσιμα δεδομένα σχετικά με τις τιμές των φυσικών μεγεθών. Οι πλατφόρμες αποτελούν έναν από τους πιο αποτελεσματικούς τρόπους ελέγχου των αισθητήρων σε ένα σύστημα, παρέχοντας αυτοματισμό και προγραμματισμό σε κάποιες λειτουργίες των αισθητήρων, αξιοποιώντας σωστά τα διαφορετικά χαρακτηριστικά τους. Παρόλα αυτά παρουσιάζονται και αρκετές προκλήσεις σχετικά με τη συνδεσιμότητα των αισθητήρων, τη διαλειτουργικότητα των πρωτοκόλλων που χρησιμοποιούνται στο σύστημα, προβλήματα χωρητικότητας και ασφάλειας.

Στο πλαίσιο της διπλωματικής εργασίας πραγματοποιήθηκε η σχεδίαση και η ανάπτυξη ‘έξυπνου συστήματος’ απομακρυσμένης διαχείρισης συσκευής φωτισμού. Βασικός σκοπός αποτελεί η δημιουργία λογισμικού για την αποστολή δεδομένων από τη συσκευή στο μικροελεγκτή Raspberry pi και η διαχείριση της λειτουργίας της συσκευής (ενεργοποίηση/απενεργοποίηση) με απομακρυσμένο τρόπο. Για περαιτέρω βελτίωση του ‘έξυπνου συστήματος απομακρυσμένης διαχείρισης συσκευής φωτισμού που αναπτύχθηκε στο πλαίσιο της παρούσας διπλωματικής θέσης, είναι χρήσιμα τα εξής:

- Προσθήκη μετρητή ηλεκτρικής ενέργειας, ο οποίος θα καταμετρά την κατανάλωση της ενέργειας,
- Προσθήκη έξυπνων συσκευών, όπως έξυπνη πρίζα (smart plug), έξυπνη λάμπα, κ.α.
- Χρήση Βάσης Δεδομένων για την αποθήκευση των απαιτούμενων δεδομένων που ανιχνεύονται από το σύστημα,
- Μετατροπή των δεδομένων σε μία κοινή μορφή, όπως RDF, JSON και Comma-separated values (CSV) για την καλύτερη επεξεργασία τους,
- Εξαγωγή συμπερασμάτων και analytics σχετικά με την κατανάλωση της ενέργειας,
- Δημιουργία εφαρμογής σε κινητό τηλέφωνο.

Κατάλογος Αναφορών

- [1] Myeong, Seunghwan, Yuseok Jung, and Eunuk Lee. "A study on determinant factors in smart city development: An analytic hierarchy process analysis." *Sustainability* 10.8 (2018): 2606.
- [2] Badii, C., Bellini, P., Cenni, D., Difino, A., Nesi, P., & Paolucci, M. (2017). Analysis and assessment of a knowledge based smart city architecture providing service APIs. *Future Generation Computer Systems*, 75, 14-29.
- [3] Ashraf, S., Muhammad, D., & Aslam, Z. (2020). Analyzing challenging aspects of IPv6 over IPv4. *J. Ilm. Tek. Elektro Komput. Dan Inform*, 6(1), 54-67.
- [4] Huang, C., & Nazir, S. (2021). Analyzing and evaluating smart cities for IoT based on use cases using the analytic network process. *Mobile Information Systems*, 2021.
- [5] Patel, K. K., & Patel, S. M. (2016). Internet of things-IOT: definition, characteristics, architecture, enabling technologies, application & future challenges. *International journal of engineering science and computing*, 6(5).
- [6] Tokognon, C. A., Gao, B., Tian, G. Y., & Yan, Y. (2017). Structural health monitoring framework based on Internet of Things: A survey. *IEEE Internet of Things Journal*, 4(3), 619-635.
- [7] Balas, V. E., Solanki, V. K., Kumar, R., & Khari, M. (Eds.). (2019). *Internet of things and big data analytics for smart generation* (Vol. 154, p. 309). Heidelberg: Springer.
- [8] Farooq, M. U., Waseem, M., Mazhar, S., Khairi, A., & Kamal, T. (2015). A review on internet of things (IoT). *International journal of computer applications*, 113(1), 1-7.
- [9] Kashani, M. H., Madanipour, M., Nikravan, M., Asghari, P., & Mahdipour, E. (2021). A systematic review of IoT in healthcare: Applications, techniques, and trends. *Journal of Network and Computer Applications*, 192, 103164.
- [10] Lueth, K. L. (2015). *IoT basics: Getting started with the Internet of Things*. White paper, 1-9.
- [11] Langley, D. J., van Doorn, J., Ng, I. C., Stieglitz, S., Lazovik, A., & Boonstra, A. (2021). The Internet of Everything: Smart things and their impact on business models. *Journal of Business Research*, 122, 853-863.
- [12] Khan, W. Z., Rehman, M. H., Zangoti, H. M., Afzal, M. K., Armi, N., & Salah, K. (2020). Industrial internet of things: Recent advances, enabling technologies and open challenges. *Computers & Electrical Engineering*, 81, 106522.
- [13] Sardar, R., & Anees, T. (2021). Web of Things: Security Challenges and Mechanisms. *IEEE Access*, 9, 31695-31711.
- [14] Rayes, A., & Salam, S. (2017). Internet of things from hype to reality. *The road to Digitization*, 2.
- [15] Di Martino, B., Li, K. C., Yang, L. T., & Esposito, A. (2018). *Internet of Everything*. cit. on, 15.

- [16] Saichaitanya, P., Karthik, N., & Surender, D. (2016). Recent trends in IoT. *International Journal of Electrical and Electronics Engineering*, 8(2).
- [17] Mocnej, J., Pekar, A., Seah, W. K., & Zolotova, I. (2018). Network traffic characteristics of the IoT application use cases. Wellington, New Zealand: School of Engineering and Computer Science, Victoria University of Wellington.
- [18] Sharma, N., Shamkuwar, M., & Singh, I. (2019). The history, present and future with IoT. In *Internet of Things and Big Data Analytics for Smart Generation* (pp. 27-51). Springer, Cham.
- [19] Tokognon, C. A., Gao, B., Tian, G. Y., & Yan, Y. (2017). Structural health monitoring framework based on Internet of Things: A survey. *IEEE Internet of Things Journal*, 4(3), 619-635.
- [20] Saqlain, J. (2018). IoT and 5G: History evolution and its architecture their compatibility and future.
- [21] Bolt, R., Beranek, L., & Newman, R. (1981). A History of the ARPANET: The first decade. Arlington, VA, 1.
- [22] Bhingarde, D. D., & Parulekar, W. R. (2018). RFID Based Automatic Student Attendance and Parent SMS Notification System. *Int. J. Sci. Res. Sci. Technol*, 4(8), 673-676.
- [23] Seetharam, D., & Fletcher, R. (2005). Active tag ZOO. TagSense, Inc.
- [24] Suresh, P., Daniel, J. V., Parthasarathy, V., & Aswathy, R. H. (2014, November). A state of the art review on the Internet of Things (IoT) history, technology and fields of deployment. In *2014 International conference on science engineering and management research (ICSEMR)* (pp. 1-8). IEEE.
- [25] Κουρουπάκης, Γ. (2019). Πρόβλεψη διείσδυσης του Internet of Things (Master's thesis, Πανεπιστήμιο Πειραιώς).
- [26] Saha, H. N., Mandal, A., & Sinha, A. (2017, January). Recent trends in the Internet of Things. In *2017 IEEE 7th annual computing and communication workshop and conference (CCWC)* (pp. 1-4). IEEE.
- [27] Kadali, D. K., & Rao, M. S. (2017). Intensification of Home Automation using IoT. *Journal for Research| Volume*, 3(01).
- [28] Romkey, J. (2016). Toast of the IoT: the 1990 interop internet toaster. *IEEE Consumer Electronics Magazine*, 6(1), 116-119.
- [29] Rosemann, M. (2014). The Internet of Things: new digital capital in the hands of customers.
- [30] Weiser, M. (1991). The Computer for the 21 st Century. *Scientific american*, 265(3), 94-105.
- [31] Mann, S. (1996, February). Wearable, tetherless computer-mediated reality: WearCam as a wearable face-recognizer, and other applications for the disabled. In *Proceedings of AAAI Fall Symposium on Developing Assistive Technology for People with Disabilities* (Vol. 11).
- [32] Osisanwo, F., Kuyoro, S., & Awodele, O. (2015, March). Internet refrigerator-A typical internet of things (IoT). In *3rd International Conference on Advances in Engineering Sciences & Applied Mathematics (ICAESAM'2015)*, London (UK). http://iieng.org/images/proceedings_pdf/2602E0315051.pdf.
- [33] Pontin, J. (2005). ETC: Bill Joy's Six Webs. *MIT Technology Review*.

- [34] Magrassi, P., & Berg, T. (2002). A world of smart objects. Gartner research report R-17-2243.
- [35] Tamhane, B. V. (2018). Internet of Things: An Overview. *International e-Journal of Library Science*, 6(2), 28-32.
- [36] Madakam, S., Lake, V., Lake, V., & Lake, V. (2015). Internet of Things (IoT): A literature review. *Journal of Computer and Communications*, 3(05), 164.
- [37] Roberti, M. (2005). The history of RFID technology. *RFID journal*, 16(01).
- [38] Simha, C. Y., Harshini, V. M., Raghuvamsi, L. V. S., & Kounte, M. R. (2018, June). Enabling technologies for internet of things & its security issues. In 2018 Second International Conference on Intelligent Computing and Control Systems (ICICCS) (pp. 1849-1852). IEEE.
- [39] Kuyoro, S., Osisanwo, F., & Akinsowon, O. (2015, March). Internet of things (IoT): an overview. In *Proc. of the 3th International Conference on Advances in Engineering Sciences and Applied Mathematics (ICAESAM)* (pp. 23-24).
- [40] Zhong, C. L., Zhu, Z., & Huang, R. G. (2015, August). Study on the IOT architecture and gateway technology. In 2015 14th International Symposium on Distributed Computing and Applications for Business Engineering and Science (DCABES) (pp. 196-199). IEEE.
- [41] Farooq, M. U., Waseem, M., Mazhar, S., Khairi, A., & Kamal, T. (2015). A review on internet of things (IoT). *International journal of computer applications*, 113(1), 1-7.
- [42] Soumyalatha, S. G. H. (2016, May). Study of IoT: understanding IoT architecture, applications, issues and challenges. In 1st International Conference on Innovations in Computing & Networking (ICICN16), CSE, RRCE. *International Journal of Advanced Networking & Applications* (No. 478).
- [43] Umar, Biliyaminu, et al. "Evaluation of IoT device management tools." *Proc. 3rd Int. Conf. Adv. Comput., Commun. Services (ACCSE)*. 2018.
- [44] Umar, B., Hejazi, H., Lengyel, L., & Farkas, K. (2018). Evaluation of IoT device management tools. In *Proc. 3rd Int. Conf. Adv. Comput., Commun. Services (ACCSE)* (pp. 15-21).
- [45] Agrawal, S., & Das, M. L. (2011, December). Internet of Things—A paradigm shift of future Internet applications. In 2011 Nirma University International Conference on Engineering (pp. 1-7). IEEE.
- [46] Siow, E., Tiropanis, T., & Hall, W. (2018). Analytics for the internet of things: A survey. *ACM computing surveys (CSUR)*, 51(4), 1-36.
- [47] Renart, E. G., Balouek-Thomert, D., & Parashar, M. (2019). Challenges in designing edge-based middlewares for the Internet of Things: A survey. *arXiv preprint arXiv:1912.06567*.
- [48] Sobin, C. C. (2020). A survey on architecture, protocols and challenges in IoT. *Wireless Personal Communications*, 112(3), 1383-1429.
- [49] Kankanhalli, A., Charalabidis, Y., & Mellouli, S. (2019). IoT and AI for smart government: A research agenda. *Government Information Quarterly*, 36(2), 304-309.
- [50] Pawar, P., & Trivedi, A. (2019). Device-to-device communication based IoT system: benefits and challenges. *IETE Technical Review*, 36(4), 362-374.

- [51] Silva, B. N., Khan, M., & Han, K. (2018). Towards sustainable smart cities: A review of trends, architectures, components, and open challenges in smart cities. *Sustainable Cities and Society*, 38, 697-713.
- [52] Silva, B. N., Khan, M., Jung, C., Seo, J., Yoon, Y., Kim, J., & Han, K. (2016, December). Planning of smart cities: Performance improvement using big data analytics approach. In *Proceedings of the fourth international conference on advances in computing, electronics and communication*, Rome, Italy (pp. 15-16).
- [53] Chourabi, H., Nam, T., Walker, S., Gil-Garcia, J. R., Mellouli, S., Nahon, K., ... & Scholl, H. J. (2012, January). Understanding smart cities: An integrative framework. In *2012 45th Hawaii international conference on system sciences* (pp. 2289-2297). IEEE.
- [54] Wenge, R., Zhang, X., Dave, C., Chao, L., & Hao, S. (2014). Smart city architecture: A technology guide for implementation and design challenges. *China Communications*, 11(3), 56-69.
- [55] Alusi, A., Eccles, R. G., Edmondson, A. C., & Zuzul, T. (2011). Sustainable cities: oxymoron or the shape of the future?. *Harvard Business School Organizational Behavior Unit Working Paper*, (11-062), 11-062.
- [56] Albino, V., Berardi, U., & Dangelico, R. M. (2015). Smart cities: Definitions, dimensions, performance, and initiatives. *Journal of urban technology*, 22(1), 3-21.
- [57] Tadili, J., & Fasly, H. (2019, October). Citizen participation in smart cities: A survey. In *Proceedings of the 4th International Conference on Smart City A*
- [58] Yigitcanlar, T. (2017). Smart cities in the making. *International Journal of Knowledge-Based Development*, 8(3), 201-205.
- [59] Caragliu, A., Del Bo, C., & Nijkamp, P. (2013). Smart cities in Europe. In *Smart cities* (pp. 185-207). Routledge.
- [60] Piro, G., Cianci, I., Grieco, L. A., Boggia, G., & Camarda, P. (2014). Information centric services in smart cities. *Journal of Systems and Software*, 88, 169-188.
- [61] Teli, M., Bordin, S., Blanco, M. M., Orabona, G., & De Angeli, A. (2015). Public design of digital commons in urban places: A case study. *International Journal of Human-Computer Studies*, 81, 17-30.
- [62] Gretzel, U., Werthner, H., Koo, C., & Lamsfus, C. (2015). Conceptual foundations for understanding smart tourism ecosystems. *Computers in Human Behavior*, 50, 558-563.
- [63] Peng, G. C. A., Nunes, M. B., & Zheng, L. (2017). Impacts of low citizen awareness and usage in smart city services: the case of London's smart parking system. *Information Systems and e-Business Management*, 15(4), 845-876.
- [64] Chong, M., Habib, A., Evangelopoulos, N., & Park, H. W. (2018). Dynamic capabilities of a smart city: An innovative approach to discovering urban problems and solutions. *Government Information Quarterly*, 35(4), 682-692.
- [65] Hancke, G. P., de Carvalho e Silva, B., & Hancke Jr, G. P. (2012). The role of advanced sensing in smart cities. *Sensors*, 13(1), 393-425.
- [66] Sinclair, I. (2000). *Sensors and transducers*. Elsevier.

- [67] Javaid, M., Haleem, A., Rab, S., Singh, R. P., & Suman, R. (2021). Sensors for daily life: a review. *Sensors International*, 2, 100121.
- [68] Khujamatov, K., Lazarev, A., & Akhmedov, N. (2021, November). Intelligent iot Sensors: Types, Functions and Classification. In 2021 International Conference on Information Science and Communications Technologies (ICISCT) (pp. 01-06). IEEE.
- [69] Burke, M. W. (1996). Sensors I: Basics. In *Image Acquisition* (pp. 539-680). Springer, Dordrecht.
- [70] D'Amico, A., & Di Natale, C. (2001). A contribution on some basic definitions of sensors properties. *IEEE Sensors Journal*, 1(3), 183-190.
- [71] Najafi, E., & Faizi, M. (2017). Evolution of Building Envelopes through Creating Living Characteristics. *Journal of Civil Engineering and Architecture*, 11, 1186-1102.
- [72] Alley, P. J. (2011). *Introductory Microcontroller Programming* (Doctoral dissertation, Worcester Polytechnic Institute).
- [73] Bolanakis, D. E. (2019). A survey of research in microcontroller education. *IEEE Revista Iberoamericana de Tecnologias del Aprendizaje*, 14(2), 50-57.
- [74] Agrawal, N., & Singhal, S. (2015, May). Smart drip irrigation system using raspberry pi and arduino. In *International Conference on Computing, Communication & Automation* (pp. 928-932). IEEE.
- [75] Gervais-Ducouret, S. (2011, February). Next smart sensors generation. In *2011 IEEE Sensors Applications Symposium* (pp. 193-196). IEEE.
- [76] Shieh, J., Huber, J. E., Fleck, N. A., & Ashby, M. F. (2001). The selection of sensors. *Progress in materials science*, 46(3-4), 461-504.
- [77] Sehrawat, D., & Gill, N. S. (2019, April). Smart sensors: Analysis of different types of IoT sensors. In *2019 3rd International Conference on Trends in Electronics and Informatics (ICOEI)* (pp. 523-528). IEEE.
- [78] Ong, K. S., Jiang, L., & Lai, K. C. (2018). Thermoelectric energy conversion.
- [79] Shannon, K. S., & Butler, B. W. (2003, November). A review of error associated with thermocouple temperature measurement in fire environments. In *Proceedings of the 2nd Fire Ecology Congress*.
- [80] Bentley, J. P. (1984). Temperature sensor characteristics and measurement system design. *Journal of Physics E: Scientific Instruments*, 17(6), 430.
- [81] Maiti, T. K. (2006). A novel lead-wire-resistance compensation technique using two-wire resistance temperature detector. *IEEE Sensors Journal*, 6(6), 1454-1458.
- [82] Desmarais, R., & Breuer, J. (1997). How to select and use the right temperature sensor. *Society of Manufacturing Engineers*.
- [83] Chen, C. (2009). Evaluation of resistance-temperature calibration equations for NTC thermistors. *Measurement*, 42(7), 1103-1111.
- [84] Kuzubasoglu, B. A., & Bahadir, S. K. (2020). Flexible temperature sensors: A review. *Sensors and Actuators A: Physical*, 315, 112282.

- [85] Feteira, A. (2009). Negative temperature coefficient resistance (NTCR) ceramic thermistors: an industrial perspective. *Journal of the American Ceramic Society*, 92(5), 967-983.
- [86] Channi, H. K., & Kumar, R. (2022). The role of smart sensors in smart city. In *Smart Sensor Networks* (pp. 27-48). Springer, Cham.
- [87] Gajjar, M. (2017). *Mobile sensors and context-aware computing*. Morgan Kaufmann.
- [88] Kruse, P. (2018). Review on water quality sensors. *Journal of Physics D: Applied Physics*, 51(20), 203002.
- [89] Bhardwaj, J., Gupta, K. K., & Gupta, R. (2015, February). A review of emerging trends on water quality measurement sensors. In *2015 International Conference on Technologies for Sustainable Development (ICTSD)* (pp. 1-6). IEEE.
- [90] Mukhopadhyay, S. C., & Mason, A. (Eds.). (2013). *Smart sensors for real-time water quality monitoring*. Berlin: Springer.
- [91] Hulanicki, A., Glab, S., & Ingman, F. O. L. K. E. (1991). Chemical sensors: definitions and classification. *Pure and applied chemistry*, 63(9), 1247-1250.
- [92] Korotcenkov, G. (2013). *Handbook of gas sensor materials. Conventional approaches*, 1.
- [93] Ejeian, F., Azadi, S., Razmjou, A., Orooji, Y., Kottapalli, A., Warkiani, M. E., & Asadnia, M. (2019). Design and applications of MEMS flow sensors: A review. *Sensors and Actuators A: Physical*, 295, 483-502.
- [94] Kissinger, P. T. (2005). Biosensors—a perspective. *Biosensors and Bioelectronics*, 20(12), 2512-2516.
- [95] Scheller, F., & Schubert, F. (1991). *Biosensors*. Elsevier.
- [96] Alharbi, N., & Soh, B. (2019, August). Roles and challenges of network sensors in smart cities. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (Vol. 322, No. 1, p. 012002). IOP Publishing.
- [97] Borisov, S. M., & Wolfbeis, O. S. (2008). Optical biosensors. *Chemical reviews*, 108(2), 423-461.
- [98] Ronkainen, N. J., Halsall, H. B., & Heineman, W. R. (2010). Electrochemical biosensors. *Chemical Society Reviews*, 39(5), 1747-1763.
- [99] Hero, A. O., & Cochran, D. (2011). Sensor management: Past, present, and future. *IEEE Sensors Journal*, 11(12), 3064-3075.
- [100] Ng, G. W., & Ng, K. H. (2000). Sensor management—what, why and how. *Information Fusion*, 1(2), 67-75.
- [101] Xiong, N., & Svensson, P. (2002). Multi-sensor management for information fusion: issues and approaches. *Information fusion*, 3(2), 163-186.
- [102] Mullen, T., Avasarala, V., & Hall, D. L. (2006). Customer-driven sensor management. *IEEE Intelligent Systems*, 21(2), 41-49.
- [103] Rodríguez-Bolívar, M. P. (2015). *Transforming city governments for successful smart cities*. Springer.
- [104] M. Kumar, "Building agile data driven smart cities", IDC White Paper, 2015.

- [105] Ang, L. M., Seng, K. P., Zungeru, A. M., & Ijearu, G. K. (2017). Big sensor data systems for smart cities. *IEEE Internet of Things Journal*, 4(5), 1259-1271.
- [106] Gaur, A., Scotney, B., Parr, G., & McClean, S. (2015). Smart city architecture and its applications based on IoT. *Procedia computer science*, 52, 1089-1094.

Κατάλογος Πηγών

<https://www.cisco.com/c/en/us/solutions/internet-of-things/overview.html>
[https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/BRIE/2015/557012/EPRS_BRI\(2015\)557012_EN.pdf](https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/BRIE/2015/557012/EPRS_BRI(2015)557012_EN.pdf)
<https://www.ibm.com/blogs/internet-of-things/what-is-the-iot/>
<https://www.ieee.org/>
<https://www.sciencedirect.com/>
<https://www.oracle.com/internet-of-things/what-is-iot/>
https://www.lexico.com/en/definition/internet_of_things
<https://www.cisco.com/c/en/us/solutions/internet-of-things/overview.html>
<https://www.oracle.com/internet-of-things/what-is-iot/>
<https://iot-conference.org/iot2008/>
https://www.eenbasque.net/index.php?option=com_content&task=view&id=9526&Itemid=195
<https://link.springer.com/>
<https://link.springer.com/>
https://ec.europa.eu/info/eu-regional-and-urban-development/topics/cities-and-urban-development/city-initiatives/smart-cities_en
<https://www.bsigroup.com/en-GB/>
<https://www.nibib.nih.gov/science-education/science-topics/sensors>
<https://www.lexico.com/en/definition/sensor>
<http://www.tubesupplyinternational.co.uk/size-conversion-chart>
<https://uk.rs-online.com/web/p/thermocouples/6212265>
<https://uk.rs-online.com/web/p/thermocouples/3630294>
<https://uk.rs-online.com/web/p/thermocouples/3630266>
<https://uk.rs-online.com/web/p/rtd-sensors/2364261>
<https://uk.rs-online.com/web/p/thermistors/4567995>
<https://uk.rs-online.com/web/p/temperature-humidity-sensor-ics/1704320>
<https://uk.rs-online.com/web/p/thermocouples/6212265>
<https://uk.rs-online.com/web/p/proximity-sensors/8967273>

<https://uk.rs-online.com/web/p/proximity-sensors/1669497>
<https://uk.rs-online.com/web/p/proximity-sensors/7659353>
<https://uk.rs-online.com/web/p/pressure-sensors/7975018>
<https://uk.rs-online.com/web/p/pressure-sensors/1235253>
<https://uk.rs-online.com/web/p/pressure-sensors/1235253>
<https://uk.rs-online.com/web/p/pressure-sensors/5184456>
<https://www.pasco.com/products/sensors/pasport/ps-2230#desc-panel>
<https://www.eoc-inc.com/electrochemical-sensors/#AirQuality>
<https://uk.rs-online.com/web/p/environmental-sensor-ics/1809026>
<https://www.eoc-inc.com/electrochemical-sensors/#4Series>
https://www.e-shop.gr/coolseer-wifi-natural-gas-sensor-p-PER.590867?gclid=EAIaIQobChMIkb_V7qvk-QIVR7TVCh0kDw1XEAQYAiABEgLujPD_BwE
https://cdn.shopify.com/s/files/1/0477/1014/2630/files/Apollo_XP95_Optical.pdf?v=1603749531
<https://www.sparkpcb.com/sensors/mq-2-smoke-combustible-gas-sensor-detector-module.html>
<https://www.reichelt.com/de/en/wireless-smoke-detector-with-integrated-heat-sensor-gs-558-p167337.html>
<https://uk.rs-online.com/web/p/infrared-temperature-sensors/8226421>
<https://www.devobox.com/el/proximity/506-tcrt5000-infrared-sensor-module-line-track.html>
<https://uk.rs-online.com/web/p/image-sensor-ics/1833894>
<https://uk.rs-online.com/web/p/image-sensor-ics/2066024>
<https://www.aliexpress.com/item/1005001580426299.html>
<https://www.aliexpress.com/item/1005001580426299.html>
<https://www.aliexpress.com/item/1005001580426299.html>
<https://www.smart-prototyping.com/LSM303DLH-3-Axis-Electronic-Compass-Accelerometer-Module-Compass-Sensor.html>
<https://www.rytronics.in/product/mpu-6050-3-axis-accelerometer-and-gyro-sensor/>
<https://grobotronics.com/adafruit-9-dof-breakout-board-stemma-qt-qwiic-lsm9ds1.html>
<https://besomi-egypt.com/products/gy-521-mpu-6050-3-axis-accelerometer-gyroscope-module-6-dof-6-axis-accelerometer-gyroscope-sensor-module-16-bit-ad-converter-data-output-iic-i2c-for-arduino>
<https://grobotronics.com/co2-humidity-and-temperature-sensor-scd30.html>
<https://grobotronics.com/digital-humidity-sensor-sht85-rh-t.html>
<https://grobotronics.com/gravity-photoelectric-water-liquid-level-sensor.html>
<https://grobotronics.com/gravity-non-contact-digital-water-liquid-level-sensor.html>
<https://grobotronics.com/optical-detector-phototransistor-qrd1114.html>
<https://grobotronics.com/pimoroni-optical-flow-sensor-pmw3901.html>
https://www.sdbiosensor.com/product/product_view?product_no=256
<https://www.ptc.com/en/products/thingworx>

<https://aws.amazon.com/iot-core/>
<https://www.oracle.com/internet-of-things/>
<https://azure.microsoft.com/en-us/solutions/iot/>
<https://siemens.mindsphere.io/en>
<https://braincube.com/solutions/iiot-platform/>
https://www.softwareag.com/en_corporate/platform/iot/iot-analytics-platform.html
<https://unifytwin.com/#/home>
<https://internetofthings.ibmcloud.com/>
https://help.sap.com/docs/SAP_Leonardo_IoT
<https://fritzing.org/>
<https://code.visualstudio.com/>
<https://fritzing.org/>
<https://www.realvnc.com/en/connect/download/viewer/>
<https://thonny.org/>

