



Πανεπιστήμιο Πειραιώς
ΤΜΗΜΑ ΨΗΦΙΑΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ
Π.Μ.Σ. «Τεχνοοικονομική Διοίκηση Τηλεπικοινωνιακών Συστημάτων»

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Έξυπνες Πόλεις και Τεχνολογίες Διασυνδεδεμένων Συσκευών

Ζαχαροπούλου Μαρία
Α.Μ: ΜΤΔ1802

Επιβλέπων Καθηγητής:
Ευθύμογλου Γεώργιος

Αθήνα, Νοέμβριος 2020



University of Piraeus
Department of Digital Systems
Master Program in «Techno-economic Management of Telecommunication
Systems»

Thesis Title

Smart Cities and IoT Technologies

Student:

Zacharopoulou Maria

Supervisor Professor:

Efthymoglou Georgios

Athens, November 2020

Περίληψη

Το διαδίκτυο των Πραγμάτων (Internet of Things, IoT) πρόκειται για μια τεχνολογία η οποία συνδέει συσκευές, φώτα οδικού δικτύου, οχήματα και άλλα αντικείμενα με σκοπό τη σύνδεση και την ανταλλαγή δεδομένων. Η τεχνολογία αυτή αξιοποιείται από τις Έξυπνες Πόλεις, έτσι ώστε να προσφέρει πολλά οφέλη στην πολιτεία σε συνδυασμό με τα δίκτυα ευρείας περιοχής χαμηλής ισχύος (Low Power Wide Area Network, LPWAN).

Στην παρούσα εργασία, αναλύονται τα χαρακτηριστικά της τεχνολογίας IoT, τα οφέλη και η αρχιτεκτονική της. Επιπρόσθετα, αναλύονται οι τεχνολογίες LPWAN που χωρίζονται σε αυτές που χρειάζονται άδεια και σε αυτές χωρίς άδεια και πως οι Έξυπνες Πόλεις βασίζονται σε αυτές. Πραγματοποιείται επισκόπηση των χαρακτηριστικών τους αλλά και των κινδύνων που εγκυμονούν και σε ποια σημεία της Ελλάδας έχουν εφαρμοστεί.

Οι τεχνολογίες LoRa και NB – IoT είναι από τις πιο κορυφαίες τεχνολογίες LPWAN, και συγκρίνονται μεταξύ τους ως προς τα οφέλη αλλά και τις αδυναμίες που ενδέχεται να έχουν. Τέλος, αναλύεται πως η τεχνολογία NB – IoT έχει αξιοποιηθεί από τηλεπικοινωνιακούς πάροχους στην Ελλάδα με στόχο την βελτίωση της ζωής των εργαζομένων αλλά και των πολιτών.

ΘΕΜΑΤΙΚΗ ΠΕΡΙΟΧΗ: Internet of Things

ΛΕΞΕΙΣ ΚΛΕΙΔΙΑ: LPWAN, NB-IoT, LoRa, έξυπνες πόλεις

Abstract

The Internet of Things (IoT) is a technology that connects devices, traffic lights, vehicles and other objects for the purpose of connecting and exchanging data. This technology is utilized by Smart Cities, so as to offer many benefits to the state in conjunction with Low Power Wide Area Networks (LPWAN).

In this paper, the features of IoT technology, its benefits and its architecture are analyzed. In addition, LPWAN technologies are analyzed, which are divided into those that need a license and those without a license, and how Smart Cities rely on them. An overview of their characteristics and the risks they pose and in which parts of Greece they have been applied.

LoRa and NB - IoT technologies are among the top LPWAN technologies and are compared to each other in terms of benefits and weaknesses they may have. Finally, it is analyzed that the NB - IoT technology has been utilized by telecommunication providers in Greece with the aim of improving the lives of employees and citizens.

SUBJECT AREA: Internet of Things

KEYWORDS: LPWAN, NB-IoT, LoRa, smart cities

Κατάλογος Περιεχομένων

1. Εισαγωγή.....	12
2. Το Διαδίκτυο των Πραγμάτων(Internet of Things – IoT).....	14
2.1 Ορισμός	14
2.2 Τα χαρακτηριστικά του IoT	15
2.3 Τα επίπεδα της Έξυπνης Πόλης	16
2.4 Πλεονεκτήματα IoT	18
2.5 Μειονεκτήματα IoT	18
2.6 Αρχιτεκτονική IoT.....	19
3. IoT τεχνολογίες και επισκόπηση Low Power Wide Area Network (LPWAN) τεχνολογιών	22
3.1 Ενσύρματες λύσεις συνδεσιμότητας	22
3.1.1 HomePlug.....	22
3.1.2 G.hn.....	22
3.1.3 LonWorks	23
3.1.4 PLC PRIME	23
3.2 Ασύρματες λύσεις συνδεσιμότητας	23
3.2.1 Μικρής Εμβέλειας Ασύρματες Λύσεις	23
3.2.2 Μεγάλης Εμβέλειας Ασύρματες Λύσεις (Low Power Wide Area Network, LPWAN).....	26
4. Smart Cities	46
4.1 Ορισμός	46
4.2 Χαρακτηριστικά	46
4.3 Πλεονεκτήματα Έξυπνης Πόλης	48
4.4 Προβλήματα Έξυπνων Πόλεων	49
4.5 Αντιμετώπιση κινδύνων Έξυπνων Πόλεων	51
4.6 Οι Έξυπνες Πόλεις στην Ελλάδα	52
4.6.1 Έξυπνη Πόλη – Τρίκαλα	52
4.6.2 “Έξυπνες στάσεις” στην Καλαμάτα	55
4.6.3 Έξυπνη Πόλη - Χαλκίδα.....	55
4.6.4 Έξυπνη Πόλη - Ηράκλειο Κρήτης.....	56
5. Συγκριτική αξιολόγηση NB – IoT & LoRa τεχνολογιών.....	58
5.1 Αξιολόγηση LoRa & NB – IoT τεχνολογιών.....	58

5.2 SWOT Analysis των NB – IoT & LoRa τεχνολογιών	61
5.3 Παραδείγματα εφαρμογών των NB – IoT & LoRa	62
5.3.1 Μέτρηση κατανάλωσης Ηλεκτρικού ρεύματος.....	63
5.3.2 Έξυπνη καλλιέργεια	63
5.3.3 Αυτοματοποίηση Βιομηχανίας	64
5.3.4 Έξυπνο κτήριο	64
5.3.5 Τερματικοί σταθμοί λιανικής πώλησης.....	65
5.3.6 Παρακολούθηση παλετών για εφοδιαστική αλυσίδα	65
6. Αξιοποίηση NB-IoT στην Ελλάδα από τηλεπικοινωνιακούς παρόχους	67
6.1 NB – IoT εφαρμογή Vodafone για παρακολούθηση κυψελών μελισσών εξ αποστάσεως	67
6.2 NB – IoT εφαρμογή Cosmote για τη διασφάλιση της ποιότητας του κρασιού	68
6.3 NB – IoT εφαρμογή Cosmote για υπηρεσίες Έξυπνου Φωτισμού, Έξυπνης Στάθμευσης και Έξυπνη Διαχείριση Υδάτων	69
6.4 COSMOTE Asset Tracker.....	69
6.5 Smart University Campus στην Ξάνθη	70
7. Συμπεράσματα	72
Βιβλιογραφία	73

Κατάλογος Εικόνων:

Εικόνα 1: Απεικόνιση μιας έξυπνης πόλης βασισμένη σε IoT [2]	15
Εικόνα 2: Τα επίπεδα της Έξυπνης Πόλης [27]	17
Εικόνα 3: Αρχιτεκτονική IoT [5]	19
Εικόνα 4: Bluetooth λογότυπο [43].....	24
Εικόνα 5: Wi-Fi λογότυπο [44]	25
Εικόνα 6: Z-Wave λογότυπο[45]	25
Εικόνα 7: Zigbee λογότυπο [46].....	26
Εικόνα 8: NFC λογότυπο [47].....	26
Εικόνα 9: Λογότυπο LoRa [50]	27
Εικόνα 10: Αρχιτεκτονική πρωτοκόλου LoRaWAN [10]	29
Εικόνα 11: Αρχιτεκτονική LoRaWAN συστήματος [10]	30
Εικόνα 12: Τρεις κατηγορίες συσκευών λήψης με χρονισμό θυρίδων[10]	32
Εικόνα 13: Ανταλλαγή επικοινωνίας και ασφάλεια [10]	33
Εικόνα 14: Μηνύματα Επιβεβαίωσης [10]	35
Εικόνα 15: Κάλυψη SigFox στην Ελλάδα [41].....	35
Εικόνα 16: Λογότυπο Sigfox [51]	37
Εικόνα 17: Weightless λογότυπο [48]	37
Εικόνα 18: Ingepu λογότυπο [49]	38
Εικόνα 19: Λογότυπο LTE-M [53].....	39
Εικόνα 20: NB-IoT λογότυπο [52].....	40
Εικόνα 21: Αρχιτεκτονική NB – IoT δικτύου [39]	42
Εικόνα 22: Αρχιτεκτονική δικτύου ως προς το Air Interface [39].....	43
Εικόνα 23: NB – IoT coverage [40]	45
Εικόνα 24: Έξυπνη Πόλη [54]	46
Εικόνα 25: Χαρακτηριστικά Έξυπνων Πόλεων [25]	48
Εικόνα 26: Επιθέσεις στο σύστημα δημοσίων συγκοινωνιών μιας έξυπνης πόλης [29]	50
Εικόνα 27: Έξυπνη Πόλη – Τρίκαλα [31]	53
Εικόνα 28: Smart farming [35]	54
Εικόνα 29: Smart parking & Smart lighting στην Χαλκίδα [36]	56
Εικόνα 30: Σύγκριση NB – IoT & LoRa παραγόντων [39]	58
Εικόνα 31: Smart farming με LoRa [55].....	64
Εικόνα 32: Έξυπνο κτήριο [56].....	65
Εικόνα 33: «Smart Wine» εφαρμογή Cosmote [12]	68

Κατάλογος Πινάκων:

Πίνακας 1: Τα βασικά χαρακτηριστικά της τεχνολογίας LoRA [39]	29
Πίνακας 2: Τα βασικά χαρακτηριστικά της τεχνολογίας SigFox [38].....	36
Πίνακας 3: Τα βασικά χαρακτηριστικά της NB – IoT τεχνολογίας [39]	41
Πίνακας 4: Τα φυσικά κανάλια του πρωτοκόλλου NB-IoT [39]	43
Πίνακας 5: Τα κόστη των LoRa & NB – IoT τεχνολογιών [39].....	60
Πίνακας 6: SWOT Analysis LoRa τεχνολογίας.....	61
Πίνακας 7: SWOT Analysis NB – IoT τεχνολογίας	62

Συντομογραφίες

3GPP - 3rd Generation Partnership Project

ADR - Adaptive Data Rate

AES - Advanced Encryption Standard

AppSKey – Application Session Key

AS - Application Server

BPSK - Binary Phase Shift Keying

CSS - Chirp Spread Spectrum

DevAddr – Device Address

DL – Downlink

ED – End Device

eDRx - extended Discontinuous Reception

eMTC - enhanced Machine Type Communication

EPS - Evolved Packet System

FEC - Forward Error Correcting

GW – GateWay

HARQ - Hybrid Automatic Repeated Request

IoT – Internet of Things

ITU – International Telecommunication Union

LAN – Local Area Network

LED – Light Emitting Diode

LoRa – Long Range

LPWAN – Low Power Wide Area Network

LTE – Long Term Evolution

NB IoT – Narrow Band Internet of Things

NPBCH - Narrowband Physical Broadcast Channel

NPDCCH - Narrowband Physical Downlink Control Channel

NPDSCH - Narrowband Physical Downlink Shared Channel

NPRACH - Narrowband Physical Random Access Channel

NPSS - Narrowband Primary Synchronization Signal

NPUSCH - Narrowband Physical Uplink Shared Channel

NS – Network Server

NSSS - Narrowband Secondary Synchronization Signal

NwkSKey - Network Session Key

OFDM - Orthogonal Frequency-Division Multiplexing

PAN – Personal Area Network

PGW - Packet data network Gateway

PSM - Power Saving Mode

QoS - Quality of Services

QPSK - Quadrature Phase Shift Keying

RERUM - REliable, Resilient and secUre IoT for sMART city applications

RSS - Received Signal Strength

SCEF - Service Capability Exposure Function

SF – Spreading Factor

SGW - Serving Gateway

TBS - Transfer Block Size

UL – Uplink

UNB – Ultra Narrowband

UWB - Ultra Wideband

WiFi – Wireless Fidelity

WSNs – Wireless Sensor Networks

ΤΠΕ – Τεχνολογία Πληροφοριών και Επικοινωνίας

1. Εισαγωγή

Με τον όρο Διαδίκτυο των Πραγμάτων (IoT) ορίζεται η σύνδεση των αντικειμένων που χρησιμοποιούν οι άνθρωποι καθημερινά με το Διαδίκτυο και τον υπολογιστή. Αυτές οι συνδέσεις έχουν σα σκοπό την αλληλεπίδραση και τον έλεγχο από τους ανθρώπους, των συσκευών που βρίσκονται σε απομακρυσμένες περιοχές καθώς και την παροχή από τις επιχειρήσεις υπηρεσιών στους πελάτες τους.

Ένα οικοσύστημα IoT αποτελείται από τις έξυπνες συσκευές που χρησιμοποιούν αισθητήρες καθώς και υλικό επικοινωνίας για να συλλέγουν και να επεξεργάζονται τα δεδομένα που έχουν. Οι έξυπνες συσκευές αυτές μοιράζονται τα δεδομένα τα οποία συλλέγουν και αποστέλλονται είτε στο cloud που πρόκειται να αναλυθούν εκεί είτε αναλύονται τοπικά. Ορισμένες φορές, αυτές οι συσκευές επικοινωνούν με άλλες σχετικές συσκευές και ενεργούν με βάση τις πληροφορίες που λαμβάνουν μεταξύ τους. Οι συσκευές παρόλο που δεν χρειάζονται ανθρώπινη παρέμβαση, είναι αυτές που πραγματοποιούν το μεγαλύτερο μέρος της εργασίας. Το IoT αποτελεί μια τεχνολογία που στο μέλλον θα ασκήσει μεγάλη επιρροή στις αγορές, τις υπηρεσίες υγείας και στο τομέα της βιομηχανίας. Τα δεδομένα που θα συγκεντρώνονται θα μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη βελτίωση της απόδοσης, τον εντοπισμό καθώς και την πρόβλεψη των αναγκών των ανθρώπων και των οργανισμών πριν αυτές εμφανιστούν.

Οι τεχνολογίες LPWAN επιτυγχάνουν λειτουργία ευρείας εμβέλειας και χαμηλής ισχύος σε βάρος του χαμηλού ρυθμού μετάδοσης δεδομένων και της υψηλότερης καθυστέρησης, συνήθως της τάξης κάποιων δευτερολέπτων ή λεπτών. Επομένως, οι τεχνολογίες LPWAN δεν προορίζονται για την αντιμετώπιση κάθε περίπτωση χρήσης του IoT. Οι τεχνολογίες LPWAN χωρίζονται σε αυτές που έχουν αδειοδοτούμενο φάσμα όπως LTE-M και NB- IoT και σε αυτές που δεν χρειάζεται κάποια άδεια, όπως LoRa και SigFox.

Πολλές από τις τεχνολογίες αυτές έχουν αξιοποιηθεί στις έξυπνες πόλεις με σκοπό τη διευκόλυνση και των ανθρώπων αλλά και της πολιτείας. Οι πολίτες μπορούν άνετα να αξιοποιήσουν τα Μέσα Μαζικής Μεταφοράς λόγω του IoT (εγκατάσταση ένδειξης

αναμονής για την άφιξη του λεωφορείου στην στάση), ένας δήμος μπορεί εύκολα να αντιμετωπίσει την υπερβολική κατανάλωση ενέργειας με το να ρυθμίζει κατάλληλα το φωτισμό στους δήμους ανάλογα τις καιρικές συνθήκες που υπάρχουν. Τέλος, πολλές εταιρείες τηλεπικοινωνιακών παροχών αξιοποιούν τις τεχνολογίες LPWAN, και συγκεκριμένα την τεχνολογία NB – IoT για πολλές χρήσεις στις ανθρώπινες εργασίες.

2. Το Διαδίκτυο των Πραγμάτων(Internet of Things – IoT)

2.1 Ορισμός

Το Διαδίκτυο των Πραγμάτων (IoT) πρόκειται για ένα σημαντικό θέμα που αφορά τους κλάδους της τεχνολογίας και των μηχανικών ηλεκτρονικών υπολογιστών και έχει γίνει τίτλος ειδήσεων, τόσο στον επιστημονικό τύπο, όσο και στα δημοφιλή μέσα ενημέρωσης. Αυτή η τεχνολογία ενσωματώνεται σε ένα ευρύ φάσμα δικτυωμένων προϊόντων, συστημάτων και αισθητήρων, τα οποία εκμεταλλεύονται τις προόδους στην υπολογιστική ισχύ, τη μείωση του μεγέθους των ηλεκτρονικών εξαρτημάτων και τις διασυνδέσεις δικτύων για να προσφέρουν νέες υπηρεσίες που στο παρελθόν δεν ήταν εφικτές. Μια πληθώρα συνεδρίων, εκθέσεων και ειδησεογραφικών άρθρων εστιάζουν στο μελλοντικό αντίκτυπο της «επανάστασης IoT», από τις νέες ευκαιρίες της αγοράς και τα επιχειρηματικά μοντέλα που καταλήγουν στις ανησυχίες, σχετικά με την ασφάλεια, την ιδιωτικότητα και τη διαλειτουργικότητά της [1].

Ο όρος «Διαδίκτυο των πραγμάτων» (IoT) χρησιμοποιήθηκε για πρώτη φορά το 1999 από το βρετανό πρωτοπόρο της τεχνολογίας Kevin Ashton για να περιγράψει ένα σύστημα στο οποίο αντικείμενα του φυσικού κόσμου θα μπορούσαν μέσω αισθητήρων να συνδεθούν με το Διαδίκτυο. Ο Ashton επινόησε τον όρο ώστε να περιγράψει την ισχύ των συστημάτων ταυτοποίησης με τη βοήθεια ραδιοσυχνοτήτων (RFID) που χρησιμοποιούνται σε εταιρικές εφοδιαστικές αλυσίδες, με σκοπό τη μέτρηση και τον εντοπισμό προϊόντων χωρίς την ανάγκη ανθρώπινης παρέμβασης [1].

Η εφαρμογή του IoT σε αστικό περιβάλλον έχει ιδιαίτερο ενδιαφέρον, καθώς ανταποκρίνεται στην πρόθεση πολλών εθνικών κυβερνήσεων να υιοθετήσουν λύσεις τεχνολογιών πληροφορικής και επικοινωνιών (ΤΠΕ) στη διαχείριση των δημοσίων υποθέσεων. Υλοποιούν έτσι την έξυπνη πόλη (Smart City), που έχει ως τελικό στόχο την καλύτερη δυνατή χρήση των δημοσίων πόρων, αποσκοπώντας στη βελτίωση της ποιότητας των προσφερομένων υπηρεσιών, με παράλληλη μείωση των λειτουργικών δαπανών των δημοσίων φορέων. Η εισαγωγή των ΤΠΕ στην αστική διακυβέρνηση αποφέρει οφέλη στη διαχείριση και στη βελτίωση των παραδοσιακών δημοσίων

υπηρεσιών, όπως οι μεταφορές και η στάθμευση, ο δημόσιος φωτισμός, η επιτήρηση και η συντήρηση των δημοσίων χώρων, η διατήρηση της πολιτιστικής κληρονομιάς, η συλλογή απορριμμάτων, η υγιεινή των νοσοκομείων και των σχολείων. Τα πρότυπα Διασύνδεσης IoT θα διαδραματίσουν θεμελιώδη ρόλο στην ανάπτυξη κατάλληλων υποδομών σε έργα μεγάλης κλίμακας [2].



Εικόνα 1: Απεικόνιση μιας έξυπνης πόλης βασισμένη σε IoT [2]

2.2 Τα χαρακτηριστικά του IoT

Τα θεμελιώδη χαρακτηριστικά του IoT είναι τα εξής:

Υπηρεσίες που σχετίζονται με τα πράγματα: Το IoT παρέχει υπηρεσίες, που σχετίζονται με τα πράγματα, εστιάζοντας στη σημασιολογική συνοχή που υπάρχει μεταξύ των φυσικών και των εικονικών πραγμάτων. Αυτό θα οδηγήσει στην αλλαγή τόσο των τεχνολογιών του φυσικού κόσμου όσο, και του κόσμου της πληροφορίας.

Ετερογένεια: Οι συσκευές στο Διαδίκτυο είναι ετερογενείς επειδή βασίζονται σε διαφορετικές πλατφόρμες και δίκτυα. Μπορούν να αλληλοεπιδρούν με άλλες συσκευές ή πλατφόρμες υπηρεσιών μέσω διαφορετικών δικτύων.

Δυναμικές αλλαγές: Η κατάσταση των συσκευών αλλάζει δυναμικά, για παράδειγμα είναι ενεργές ή απενεργοποιημένες, συνδέονται ή αποσυνδέονται, αλλάζει η θέση και η ταχύτητά τους. Ακόμα, ο αριθμός των διασυνδεδεμένων συσκευών μπορεί να αλλάξει δυναμικά.

Μεγάλη κλίμακα χρηστών: Ο αριθμός συσκευών, που οι χρήστες διαχειρίζονται και επικοινωνούν μεταξύ τους μέσω IoT θα είναι μεγαλύτερος από το πλήθος των συσκευών που είναι συνδεδεμένες στο τρέχον Διαδίκτυο.

Ασφάλεια: Επιβάλλεται ασφαλής σχεδιασμός και για τους δημιουργούς αλλά και για τους παραλήπτες του IoT και ασφάλεια προσωπικών δεδομένων και ιδιωτικής ζωής. Η ασφάλεια πρέπει να κλιμακωθεί ανάμεσα στις συσκευές, τα δίκτυα και τα δεδομένα που διακινούνται.

Συνδεσιμότητα: Η συνδεσιμότητα αφορά την προσβασιμότητα και τη συμβατότητα του δικτύου. Η προσβασιμότητα επιτρέπει τη σύνδεση σε ένα δίκτυο, ενώ η συμβατότητα παρέχει την κοινή δυνατότητα δημιουργίας και χρήσης δεδομένων του δικτύου [3].

2.3 Τα επίπεδα της Έξυπνης Πόλης

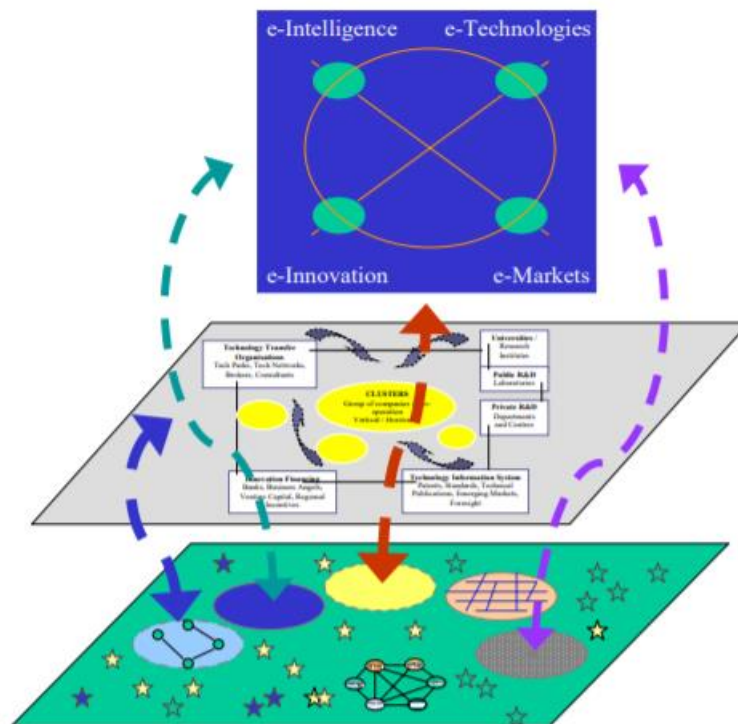
Η ευφυής πόλη συνθέτει ανθρώπινες ικανότητες και δραστηριότητες γνώσεων, θεσμούς τεχνολογικής μάθησης, και ψηφιακούς χώρους επικοινωνίας, ώστε να μεγιστοποιείται η ικανότητα καινοτομίας της περιοχής αναφοράς της. Αποτελεί την πιο εξελιγμένη μορφή περιοχικών συστημάτων καινοτομίας, ένα σύστημα τρίτης γενιάς, μετά τα καινοτόμα clusters και τις μαθησιακές περιφέρειες. Αποτελείται από 3 επίπεδα, το φυσικό, το θεσμικό και το ψηφιακό [26].

Επίπεδο 1^ο: Είναι το επίπεδο βάσης και περιλαμβάνει τις δραστηριότητες έντασης-γνώσεων της πόλης. Πρόκειται για δραστηριότητες μεταποίησης και υπηρεσιών που (συνήθως) αυτοοργανώνονται σε συστάδες και συνοικίες (clusters). Η εγγύτητα στο φυσικό χώρο είναι το άμεσο συνδετικό στοιχείο που ενοποιεί τις επιμέρους μονάδες

και οργανισμούς σε ένα ενιαίο σύστημα παραγωγής και καινοτομίας. Το επίπεδο αυτό συσχετίζεται με την ευφυΐα, εφευρετικότητα και τη δημιουργικότητά τους.

Επίπεδο 2°: Περιλαμβάνει τους θεσμικούς μηχανισμούς κοινωνικής συνεργασίας για μάθηση και καινοτομία. Το επίπεδο αυτό σχετίζεται με τη συλλογική ευφυΐα του πληθυσμού της πόλης που απορρέει από τους θεσμούς κοινωνικής συνεργασίας. Είναι η ευφυΐα ενός πληθυσμού, όπως αυτή κωδικοποιείται μέσα σε καθιερωμένες πρακτικές και καθημερινές ρουτίνες εργασίας.

Επίπεδο 3°: Αποτελείται από τα ψηφιακά εργαλεία και εφαρμογές υποστήριξης της καινοτομίας τα οποία είναι βασικά για τη δημιουργία ενός εικονικού περιβάλλοντος χειρισμού της πληροφορίας και των γνώσεων. Το επίπεδο αυτό υποστηρίζει τόσο τις ατομικές επιλογές του, όσο και τη συλλογική επικοινωνία και συνεργασία. Πρόκειται για το δημόσιο σύστημα ψηφιακής επικοινωνίας, με ψηφιακά δίκτυα και υπηρεσίες, εφαρμογές τεχνητής ευφυΐας, ψηφιακούς χώρους και εργαλεία επίλυσης προβλημάτων, την επικοινωνία σε εικονικό περιβάλλον, το δημόσιο ψηφιακό περιεχόμενο που είναι στη διάθεση του πληθυσμού της πόλης.



Εικόνα 2: Τα επίπεδα της Έξυπνης Πόλης [27]

2.4 Πλεονεκτήματα IoT

Ορισμένα από τα πλεονεκτήματα του IoT αναλύονται παρακάτω:

- **Δεδομένα (Data):** Όσο μεγαλύτερος είναι ο αριθμός των πληροφοριών τόσο πιο εύκολη είναι και η λήψη της ορθής απόφασης.
- **Παρακολούθηση (Tracking):** Οι υπολογιστές παρακολουθούν την ποιότητα και τη βιωσιμότητα των αντικειμένων στο σπίτι.
- **Ώρα-Χρόνος (Time):** Η ποσότητα του χρόνου που εξοικονομείται από την παρακολούθηση των αντικειμένων στο σπίτι είναι αρκετά μεγάλη.
- **Χρήμα (Money):** Η οικονομική πλευρά είναι το μεγαλύτερο πλεονέκτημα καθώς μέσω του IoT μπορεί και γίνεται άμεσος έλεγχος σε όλους τους οικονομικούς τομείς της ζωής και της καθημερινότητας [4].

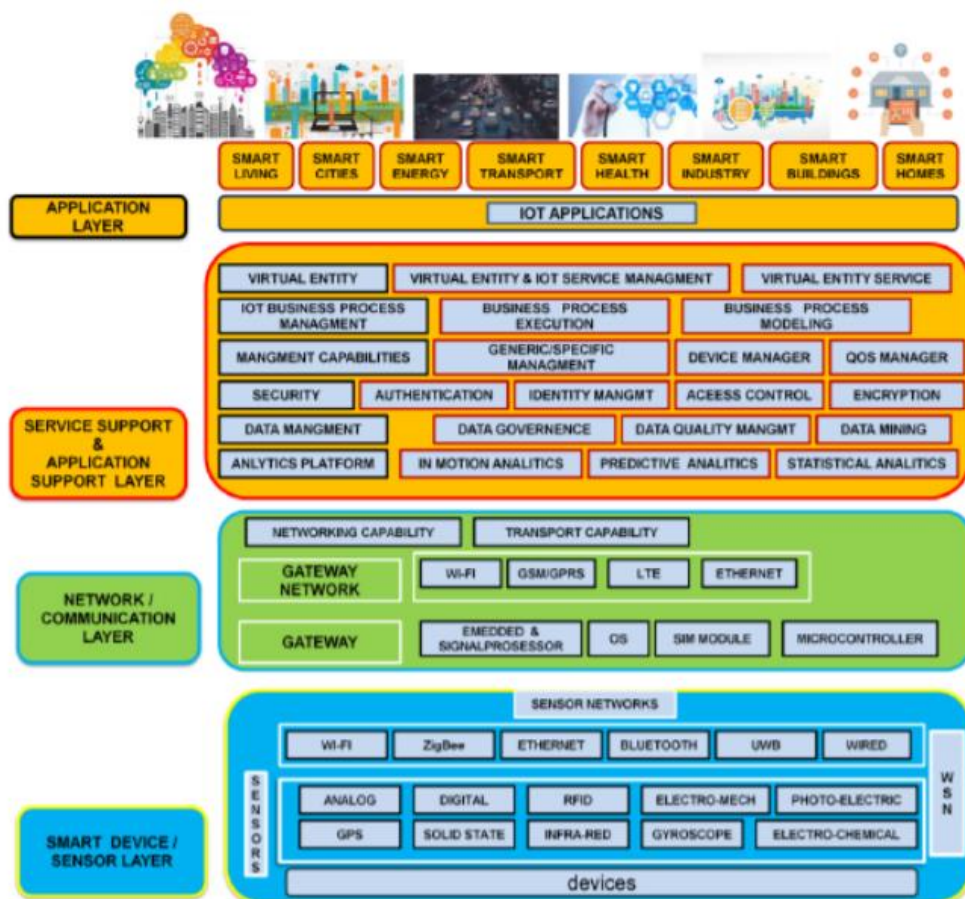
2.5 Μειονεκτήματα IoT

Ορισμένα από τα μειονεκτήματα του IoT παρατίθενται παρακάτω:

- **Συμβατότητα (Compatibility):** Μέχρι σήμερα, δεν υπάρχει κάποιο πρότυπο για την τοποθέτηση και την παρακολούθηση ετικετών μέσω της χρήσης αισθητήρων.
- **Πολυπλοκότητα (Complexity):** Υπάρχουν πολλές πιθανότητες αποτυχίας λόγω των πολύπλοκων συστημάτων υπάρχουν.
- **Προστασία προσωπικών δεδομένων / Ασφάλεια (Privacy/Security):** Η προστασία των προσωπικών δεδομένων αποτελεί ένα μεγάλο ζήτημα για το IoT. Όλα τα δεδομένα πρέπει να είναι κρυπτογραφημένα για να μην γίνονται γνωστά σε τρίτους.
- **Ασφάλεια (Safety):** Υπάρχει πιθανότητα να παραβιαστεί κάποιο λογισμικό με αποτέλεσμα να παραβιαστούν προσωπικά δεδομένα [4].

2.6 Αρχιτεκτονική ΙοΤ

Η αρχιτεκτονική του ΙοΤ αποτελείται από διαφορετικές τεχνολογίες και για να μπορέσουν να υποστηρίξουν την ορθή λειτουργία του θα πρέπει να αλληλεπιδρούν συνεχώς μεταξύ τους. Ο τρόπος λειτουργίας κάθε επιπέδου περιγράφεται παρακάτω:



Εικόνα 3: Αρχιτεκτονική ΙοΤ [5]

- Επίπεδο έξυπνων συσκευών και αισθητήρων (Device Layer):** Το χαμηλότερο επίπεδο αποτελείται από έξυπνα αντικείμενα που έχουν ενσωματωμένους αισθητήρες. Οι αισθητήρες επιτρέπουν τόσο τη διασύνδεση του φυσικού και ψηφιακού κόσμου όσο και την ενημέρωση σε πραγματικό χρόνο αφού συλλέγουν και επεξεργάζονται πληροφορίες και δεδομένα συνεχώς. Οι αισθητήρες έχουν την ικανότητα να λαμβάνουν μετρήσεις όπως για παράδειγμα η θερμοκρασία, η ποιότητα του αέρα, η ταχύτητα, η υγρασία, η πίεση, η ροή, η κίνηση αλλά και η ηλεκτρική ενέργεια. Ένας αισθητήρας έχει

τη δυνατότητα να μετρήσει τη φυσική ιδιότητα και να την μετατρέψει σε σήμα που μπορεί να γίνει κατανοητό από ένα όργανο. Οι αισθητήρες ομαδοποιούνται σύμφωνα με τον σκοπό τους όπως το περιβάλλον, αισθητήρες σώματος, αισθητήρες οικιακής συσκευής και οχημάτων. Οι περισσότεροι αισθητήρες απαιτούν συνδεσιμότητα στις πύλες αισθητήρων. Αυτό μπορεί να έχει τη μορφή ενός τοπικού δικτύου (LAN) όπως οι συνδέσεις Ethernet και Wi-Fi ή Personal Area Network (PAN) όπως το ZigBee, Bluetooth και Ultra Wideband(UWB). Για αισθητήρες όπου δεν απαιτείται η συνδεσιμότητα προς τους διακομιστές παρέχονται με χρήση ευρείας περιοχής δίκτυο (WAN) όπως GSM, GPRS και LTE. Οι αισθητήρες αυτοί χρησιμοποιούν χαμηλή κατανάλωση ενέργειας και χαμηλό ρυθμό μεταφοράς δεδομένων, συνήθως σχηματίζουν δίκτυα κοινώς γνωστά ως ασύρματα δίκτυα αισθητήρων (WSNs) [5].

- **Πύλες και δίκτυα (Gateways and Networks):** Με αυτούς τους μικροσκοπικούς αισθητήρες θα παράγεται μαζικός όγκος δεδομένων και αυτό απαιτεί ισχυρή και υψηλή απόδοση ενσύρματου ή ασύρματου δικτύου ως μέσο μεταφοράς. Network Layer (επίπεδο δικτύου): Προσφέρει συνδεσιμότητα τόσο για την πρόσβαση στην υπηρεσίες όσο και για τη μεταφορά των δεδομένων των εφαρμογών αλλά και των πληροφοριών. Ο μεγάλος όγκος δεδομένων και πληροφοριών δημιουργεί την απαίτηση για ένα δυνατό δίκτυο με υψηλές αποδόσεις. Απαιτείται η εξυπηρέτηση ενός ευρύτερου φάσματος υπηρεσιών και εφαρμογών IoT, όπως οι υπηρεσίες συναλλαγών υψηλής ταχύτητας, εφαρμογές συμβατές με το περιβάλλον. Έτσι, απαιτούνται διαφορετικά δίκτυα με τεχνολογίες και πρωτόκολλα πρόσβασης που θα πρέπει να συνεργάζονται μεταξύ τους [5].
- **Επίπεδο υπηρεσίας διαχείρισης (Management Service Layer):** Η υπηρεσία διαχείρισης πραγματοποιεί την επεξεργασία των πληροφοριών, την ανάλυση και την ασφάλεια των στοιχείων αλλά και τη διαδικασία μοντελοποίησης και διαχείρισης των συσκευών. Σημαντικό χαρακτηριστικό του στρώματος υπηρεσιών διαχείρισης είναι οι μηχανισμοί επιχειρηματικών κανόνων και

διαδικασιών. Το IoT φέρνει τη σύνδεση και την αλληλεπίδραση μεταξύ αντικειμένων και συστημάτων παρέχοντας πληροφορίες με τη μορφή γεγονότων ή δεδομένων όπως η θερμοκρασία των προϊόντων, η τρέχουσα τοποθεσία και τα δεδομένα κίνησης. Κάποια από αυτά τα γεγονότα απαιτούν φιλτράρισμα ή δρομολόγηση σε συστήματα μετά την επεξεργασία, όπως η λήψη περιοδικών αισθητηρίων δεδομένων, ενώ άλλες απαιτούν απάντηση στις άμεσες καταστάσεις όπως ως αντίδραση σε καταστάσεις έκτακτης ανάγκης για τις συνθήκες υγείας του ασθενούς. Στον τομέα της ανάλυσης, χρησιμοποιούνται διάφορα εργαλεία ανάλυσης σχετικών πληροφοριών από τεράστιο όγκο ανεπεξέργαστων δεδομένων και υποβάλλονται σε επεξεργασία με πολύ ταχύτερο ρυθμό [5].

- **Application Layers (επίπεδο εφαρμογών):** Το υψηλότερο επίπεδο του σχεδιαγράμματος αποτελείται από τις IoT εφαρμογές. Αυτές είναι λογισμικά και πρωτόκολλα που εκτελούν συγκεκριμένες εντολές [5].

3. IoT τεχνολογίες και επισκόπηση Low Power Wide Area Network (LPWAN) τεχνολογιών

Οι λύσεις συνδεσιμότητας για το IoT χωρίζονται στις ασύρματες και στις ενσύρματες. Οι ασύρματες λύσεις χωρίζονται σε λύσεις μεγάλης και μικρής εμβέλειας. Οι λύσεις μεγάλης εμβέλειας γνωστές ως LPWAN χωρίζονται σε πρότυπα με άδεια και χωρίς άδεια. Αρχικά θα γίνει μια συνοπτική παρουσίαση των ενσύρματων τεχνολογιών αλλά και των ασυρμάτων τεχνολογιών μικρής εμβέλειας και στη συνέχεια θα γίνει επισκόπηση των LPWAN τεχνολογιών και συγκεκριμένα των NB – IoT και LoRa [42].

3.1 Ενσύρματες λύσεις συνδεσιμότητας

3.1.1 HomePlug

Η τεχνολογία HomePlug αναπτύχθηκε από την HomePlug Powerline Alliance και επιτρέπεται η διασύνδεση και επικοινωνία συσκευών μεταξύ τους μέσω της υφιστάμενης καλωδιακής εγκατάστασης. Το μέγιστο εύρος που έχει είναι 100 μέτρα και η μέγιστη απόδοση 500Mbps. Βασίζεται σε ένα κρυπτογραφημένο δίκτυο σύμφωνα με το πρότυπο AES 128 Bit (Advanced Encryption Standard). Πρόκειται για μια λύση Powerline που χρησιμοποιείται σε εκτεταμένη ενσύρματη συνδεσιμότητα [42].

3.1.2 G.hn

Το G.hn είναι ένα τεχνικό πρότυπο, το οποίο αναπτύχθηκε από τη Διεθνή Ένωση Τηλεπικοινωνιών (ITU). Η ενημέρωση σε G.hn δεν σημαίνει μόνο μια τεράστια αύξηση ταχύτητας στο κεντρικό δίκτυο Powerline με πραγματική ταχύτητα έως και 2.400 Mbps, αλλά συγχρόνως επιτυγχάνει βελτιωμένη σταθερότητα και μεγαλύτερη εμβέλεια PLC στα έως και 500 μέτρα. Βασίζεται σε ένα κρυπτογραφημένο δίκτυο σύμφωνα με το πρότυπο AES 128 Bit (Advanced Encryption Standard).

3.1.3 LonWorks

Πρόκειται για μια τεχνολογία που αποτελεί τη λύση για την πραγματοποίηση ανοικτών συστημάτων διαχείρισης κτιριακών εγκαταστάσεων και επίσης η τεχνολογία αυτή ενώνει όλους τους μεγάλους κατασκευαστές σε ένα πρωτόκολλο επικοινωνίας. Η τεχνολογία Lonworks αναπτύχθηκε από την Echelon και προσφέρει τη δυνατότητα δημιουργίας μίας εγκατάστασης με πραγματικά συνεργαζόμενες μηχανές και εξαρτήματα. Έχει εμβέλεια 1.5 km και ταχύτητα έως 78 kbps και χρησιμοποιείται η τεχνολογία αυτή σε φωτισμούς εθνικών οδών, σηράγγων και δρόμων.

3.1.4 PLC PRIME

Χρησιμοποιείται πρωτόκολλο PRIME με μέγιστο ρυθμό δεδομένων 128 kbps και έχει εμβέλεια μεγαλύτερη από 100 km. Στηρίζεται στη διαμόρφωση OFDM και χρησιμοποιείται για την έξυπνη μέτρηση αλλά και τον έξυπνο φωτισμό του δρόμου.

3.2 Ασύρματες λύσεις συνδεσιμότητας

Οι ασύρματες λύσεις συνδεσιμότητας χωρίζονται σε μικρές και σε μεγάλες εμβέλειες λύσεις. Παρακάτω παρουσιάζονται αυτές οι δύο κατηγορίες και εξαρτάται από την απόσταση που μεταφέρουν δεδομένα.

3.2.1 Μικρής Εμβέλειας Ασύρματες Λύσεις

Οι λύσεις συνδεσιμότητας μικρής εμβέλειας μεταφέρουν δεδομένα σε μικρές φυσικές αποστάσεις με την απόσταση μεταξύ των συσκευών που συλλέγουν τα δεδομένα και της πύλης που τις επεξεργάζεται να είναι μικρότερη των 150 μέτρων.

3.2.1.1 Bluetooth

Το Bluetooth Low Energy χρησιμοποιεί τη συχνότητα των 2.4 GHz για να επιτύχει μέγιστη ταχύτητα μετάδοσης(throughput) περίπου 2 Mbps. Το Bluetooth πρόκειται για μια τεχνολογία επικοινωνίας που παρουσιάζει μέτριο ρυθμό μεταφοράς δεδομένων για εφαρμογές μικρής εμβέλειας, με χαμηλή κατανάλωση ενέργειας. Η μέγιστη εμβέλεια που έχει είναι μέχρι 100m [42].



Εικόνα 4: Bluetooth λογότυπο [43]

3.2.1.2 Wi-Fi HaLow (IEEE802.11ah)

Το Wi-Fi είναι μια τεχνολογία ασύρματης δικτύωσης τοπικής εμβέλειας, που επιτρέπει στις ηλεκτρονικές συσκευές να δικτυωθούν και βασίζεται στο πρότυπο 802.11 του Ινστιτούτου Ηλεκτρολόγων και Ηλεκτρονικών Μηχανικών (Institute of Electrical and Electronics Engineers – IEEE). Το Wi-Fi παρέχει μεγαλύτερη απόσταση κάλυψης και μεγαλύτερο ρυθμό μετάδοσης δεδομένων. Η τεχνολογία Wi-Fi HaLow είναι κατάλληλη για μικρής εμβέλειας και χαμηλής ισχύος συσκευές IoT και βασίζεται στο IEEE 802.11ah και ενεργεί σε ζώνη συχνοτήτων μικρότερη από 1 GHz. Η μέγιστη εμβέλεια που έχει είναι μέχρι 1 km και μέγιστη απόδοση 40 Mbps [42].



Εικόνα 5: Wi-Fi λογότυπο [44]

3.2.1.3 Z-Wave

Η τεχνολογία Z – Wave έχει σχεδιαστεί για αισθητήρες, έξυπνο φωτισμό και ελαχιστοποιεί την κατανάλωση ενέργειας. Η συχνότητα είναι 800-900 MHz και έχει μέγιστη εμβέλεια μέχρι και 100m με ταχύτητες μετάδοσης έως και 100 Kbps [42].



Εικόνα 6: Z-Wave λογότυπο[45]

3.2.1.4 Zigbee

Το ZigBee πρόκειται για μια τεχνολογία που τρέχει κυρίως στα 2.4 GHz, έχει ρυθμό μετάδοσης 250 Kbps στα 2.4 GHz και είναι κατάλληλο για διακοπτόμενες μεταδόσεις δεδομένων από αισθητήρα ή συσκευή εισόδου. Οι αποστάσεις μετάδοσης είναι έως 100 μέτρα και χρησιμοποιείται σε εφαρμογές χαμηλού ρυθμού μετάδοσης δεδομένων, χρησιμοποιούν κλειδιά κρυπτογράφησης μήκους 128 bit. Η τεχνολογία αυτή έχει σημαντικά πλεονεκτήματα όπως υψηλή ασφάλεια, ευστάθεια [42].



Εικόνα 7: Zigbee λογότυπο [46]

3.2.1.5 NFC

Η τεχνολογία NFC λειτουργεί στη ζώνη συχνοτήτων 13.56 MHz και έχει σα βάση την τεχνολογία RFID. Υποστηρίζει ρυθμό μετάδοσης δεδομένων έως και 424 Kbps και η εμβέλεια είναι 10 εκατοστά. Επιτρέπει τη πραγματοποίηση συναλλαγών ανέπαφα και την πρόσβαση σε ψηφιακό περιεχόμενο καθώς και τη σύνδεση συσκευών [42].



Εικόνα 8: NFC λογότυπο [47]

3.2.2 Μεγάλης Εμβέλειας Ασύρματες Λύσεις (Low Power Wide Area Network, LPWAN)

Οι τεχνολογίες LPWAN χωρίζονται σε δύο κατηγορίες, σε αυτές που χρησιμοποιούν αδειοδοτημένο φάσμα και σε αυτές που δεν χρειάζονται άδεια. Παρακάτω, πέρα από τις τεχνολογίες που ανήκουν σε αυτές τις κατηγορίες, θα αναλυθούν πιο

συγκεκριμένα οι NB – IoT τεχνολογία που εκπέμπει σε αδειοδοτούμενο φάσμα αλλά και η τεχνολογία LoRa που δεν χρειάζεται κάποια άδεια.

3.2.2.1 LPWAN - μη αδειοδοτημένο φάσμα

3.2.2.1.1 LoRa - LoRaWAN

Η τεχνολογία LoRa έχει αναπτυχθεί από την εταιρία Semtech και αποτελεί ένα νέο ασύρματο πρωτόκολλο σχεδιασμένο για επικοινωνία μεγάλης εμβέλειας και χαμηλής ισχύος. Η συμμαχία LoRa (LoRa Alliance) πρόκειται για έναν οργανισμό μη κερδοσκοπικού χαρακτήρα που αποτελεί τον βασικό φορέα ανάπτυξης της συγκεκριμένης τεχνολογίας [6].



Εικόνα 9: Λογότυπο LoRa [50]

Η LoRa είναι μια τεχνολογία chirp-based διασποράς φάσματος (spread-spectrum), με μεγαλύτερο εύρος ζώνης από αυτό των ανταγωνιστών της. Λόγω της τεχνικής διαμόρφωσης και της ενσωματωμένης δυνατότητας διόρθωσης σφαλμάτων (forward error correcting, FEC), το σήμα LoRa μπορεί να μεταδώσει δεδομένα με ισχύ σήματος αρκετά κάτω από το επίπεδο θορύβου περιβάλλοντος (noise floor), επιτρέποντας με αυτόν τον τρόπο πολύ μεγάλες αποστάσεις επικοινωνίας. Ακόμα, προσφέρει αποτελεσματική αμφίδρομη λειτουργικότητα. Έτσι ως λύση είναι αποτελεσματική για τη λήψη μηνυμάτων από τελικά σημεία (endpoints), αλλά και για την αποστολή

μηνυμάτων από σταθμούς βάσης σε τελικά σημεία (όπως για εφαρμογές εντολών και ελέγχου) [7].

Πρόκειται για μια τεχνολογία φυσικού επιπέδου, που ρυθμίζει τα σήματα στη ζώνη ISM sub – 1 GHz, χρησιμοποιώντας μια ιδιόκτητη τεχνική διασποράς φάσματος (spread spectrum). Χρησιμοποιεί μη αδειοδοτημένες ζώνες ISM, 863-870 MHz στην Ευρώπη, 902-928 MHz στη Βόρεια Αμερική, 779-787 MHz & 470-510 MHz στην Κίνα και 915-928 MHz στην Αυστραλία. Η αμφίδρομη επικοινωνία παρέχεται από την τεχνική διαμόρφωσης, που είναι παράγωγο της chirp διασποράς φάσματος (Chirp Spread Spectrum, CSS), που απλώνει ένα σήμα στενής ζώνης σε ένα μεγαλύτερο εύρος ζώνης καναλιού [8].

Το δίκτυο LoRa εφαρμόζει μια τεχνική προσαρμοστικής διαμόρφωσης με πολυκαναλικό, πολλαπλών διαύλων (multi-modem) πομποδέκτη στο σταθμό βάσης, με σκοπό τη λήψη πολλαπλού αριθμού μηνυμάτων από τα κανάλια. Η διαμόρφωση διασποράς φάσματος παρέχει ορθογώνιο διαχωρισμό, μεταξύ των σημάτων χρησιμοποιώντας ένα μοναδικό συντελεστή διασποράς (spreading factor) στο μεμονωμένο σήμα. Αυτή η μέθοδος παρέχει πλεονεκτήματα στη διαχείριση του ρυθμού μετάδοσης δεδομένων. Η σχέση μεταξύ του απαιτούμενου ρυθμού μετάδοσης δεδομένων (data bit rate), του ρυθμού chirp (chirp rate) και του ρυθμού συμβόλων (symbol rate) στην τεχνική διαμόρφωσης LoRa ορίζεται [9]:

$$R_b = SF * \frac{1}{2^{SF}} \frac{\text{bits} / s}{BW}$$

R_b = ο ρυθμός μετάδοσης δεδομένων LoRa – modulation bit rate,

SF = συντελεστή διασποράς – spreading factor και

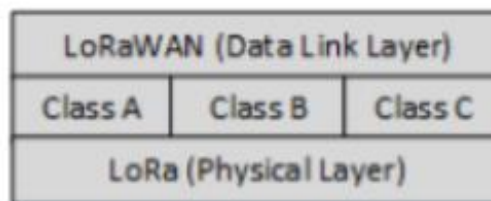
BW = εύρος ζώνης διαμόρφωσης (Hz) – modulation bandwidth.

Specification	LoRa Technology Support
Standard	LoRa Alliance
Operational Frequencies	Unlicensed ISM band 868, 915 MHz
Modulation	Chirp spread spectrum (CSS)
Coverage Range (Km)	2 - 5 (urban) / 15 (rural)
Data Rate (kpbs)	0.3 - 50 (EU) / 0.9 - 100 (US)
Topology	Star

Πίνακας 1: Τα βασικά χαρακτηριστικά της τεχνολογίας LoRA [39]

LoRaWAN

Το LoRaWAN αποτελεί το επίπεδο δικτύου. Με τον όρο LoRa ορίζεται το φυσικό στρώμα (το chirp) ενώ με τον όρο LoRaWAN ορίζεται το MAC στρώμα. Το LoRaWAN έχει σχεδιαστεί με σκοπό τη βελτιστοποίηση της λειτουργίας των LPWAN στη διάρκεια ζωής της μπαταρίας, τη χωρητικότητα, το εύρος αλλά και το κόστος.

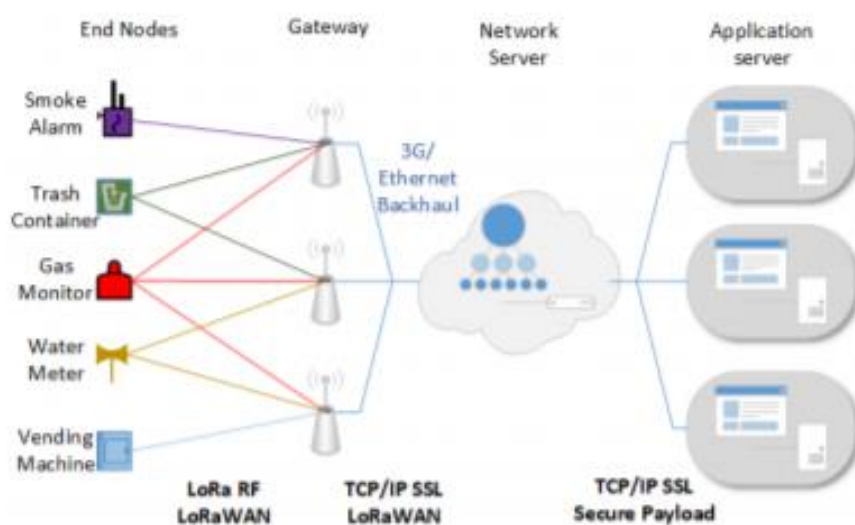


Εικόνα 10: Αρχιτεκτονική πρωτοκόλου LoRaWAN [10]

A) Αρχιτεκτονική

Το LoRaWAN χρησιμοποιεί μια τοπολογία αστέρα (αρχιτεκτονική αστέρα μεγάλης εμβέλειας, Long Range Star Architecture). Οι πύλες χρησιμοποιούνται για την αναμετάδοση των μηνυμάτων μεταξύ των τελικών συσκευών και ενός διακομιστή δικτύου. Σε ένα δίκτυο LoRaWAN, οι EDs δε συνδέονται με μια συγκεκριμένη πύλη. Αντ' αυτού, τα δεδομένα, που μεταδίδονται από μια ED, τυπικά λαμβάνονται από πολλαπλές GWs. Οι τερματικές συσκευές επικοινωνούν με μία ή περισσότερες πύλες, μέσω επικοινωνίας LoRa μονού άλματος (single-hop), ενώ οι πύλες συνδέονται με τον

κεντρικό διακομιστή δικτύου, μέσω τυπικών συνδέσεων IP. Η επικοινωνία μεταξύ των συσκευών και των πυλών διανέμεται σε διαφορετικά κανάλια συχνότητας και οι ταχύτητες μετάδοσης δεδομένων καθορίζονται, ανάλογα με την εμβέλεια του δικτύου και τη διάρκεια του μηνύματος. Την επιλογή αυτή διαχειρίζεται μια υποδομή δικτύου LoRaWAN, η οποία επιλέγει το ρυθμό μετάδοσης δεδομένων και το κανάλι για κάθε συσκευή, χρησιμοποιώντας ένα προσαρμοστικό σχήμα μετάδοσης δεδομένων (Adaptive Data Rate, ADR) [10].



Εικόνα 11: Αρχιτεκτονική LoRaWAN συστήματος [10]

Ένα δίκτυο LoRaWAN αποτελείται από τα ακόλουθα στοιχεία:

Τελική συσκευή (End-Device, ED): Μπορεί να είναι οτιδήποτε στέλνει ή λαμβάνει πληροφορίες. Δεν υπάρχει πραγματικός ορισμός μιας ED, αλλά συνήθως αναφέρεται σε αισθητήρες (sensors), ανιχνευτές (detectors), ενεργοποιητές (actuators) και οτιδήποτε πραγματοποιεί ανίχνευση και έλεγχο.

Πύλη (GateWay, GW): Ονομάζεται επίσης μόντεμ (modem) ή σημείο πρόσβασης (access point). Χρησιμοποιείται για την προώθηση μηνυμάτων από και προς μια ED και το Διακομιστή Δικτύου (Network Server, NS). Στο LoRaWAN, οι EDs δε συνδέονται με την GW. Αντ' αυτού, οποιοδήποτε μήνυμα από μια ED, που λαμβάνεται από την GW θα παραδοθεί στο Διακομιστή Δικτύου.

Διακομιστής Δικτύου (Network Server, NS): Είναι υπεύθυνος για:

- Παρακολούθηση των GWs και EDs.
- Συγκέντρωση των εισερχομένων δεδομένων.
- Δρομολόγηση και προώθηση των εισερχομένων μηνυμάτων στον αντίστοιχο διακομιστή εφαρμογών (Application Server, AS).
- Αφαίρεση διπλοτύπων. Αφαιρεί τα διπλά μηνύματα που ελήφθησαν από μια ED, μέσω πολλαπλών GWs.
- Επιλογή μιας GW στην κατερχόμενη ζεύξη, με βάση την υψηλότερη αντοχή λήψης σήματος (Received Signal Strength, RSS).
- Αποθήκευση μηνυμάτων κατερχόμενης ζεύξης μέχρι να ξυπνήσουν οι προβλεπόμενες EDs.

Διακομιστής εφαρμογών (Application Server, AS): Αντιπροσωπεύει την εφαρμογή, για την ανάλυση των μηνυμάτων που ελήφθησαν από μια ED. Για παράδειγμα, σε μια εφαρμογή συστήματος ψύξης, αν η θερμοκρασία ανεβαίνει πάνω από 25ο C, μπορεί να αποφασίσει να ενεργοποιήσει τον κλιματισμό για να την μειώσει [10].

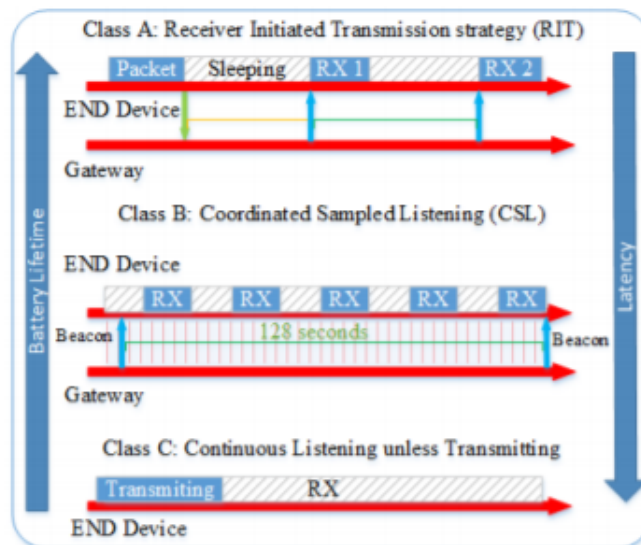
LoRaWAN Επικοινωνία

Κάθε συσκευή (ED) ενός δικτύου εξυπηρετεί διαφορετικές εφαρμογές και έχει διαφορετικές προδιαγραφές. Το LoRaWAN εφαρμόζει διαφορετικές κλάσεις στους κόμβους. Οι κλάσεις είναι τρεις A, B και C, και προκύπτουν από το tradeoff μεταξύ της καθυστέρησης για downlink επικοινωνία και της διάρκειας ζωής της μπαταρίας (battery life time).

- **Κλάση A:** Οι συσκευές Class A επιτρέπουν την αμφίδρομη επικοινωνία κατά την οποία κάθε μετάδοση ακολουθούν 2 μικρές λήψεις. Οι κόμβοι αυτής της κλάσης καταναλώνουν την χαμηλότερη ισχύ σε σχέση με τις συσκευές των άλλων κλάσεων, ωστόσο έχουν περιορισμό ως προς την downlink επικοινωνία. Η λειτουργικότητα της κλάσης A σύμφωνα με την οποία το πρώτο παράθυρο λήψης (Receive Window) Rx1 ενεργοποιείται ακριβώς μετά την καθυστέρηση λήψης (Receive Delay), 1 sec μετά το τέλος της

διαμόρφωσης ανερχόμενης ζεύξης (uplink modulation). Η δεύτερη υποδοχή Rx2 έρχεται ακριβώς μετά την καθυστέρηση λήψης, 2 sec μετά το τέλος της διαμόρφωσης ανερχόμενης ζεύξης. Ο δέκτης (receiver) παραμένει ενεργός μέχρι να αποδιαμορφωθεί το πλαίσιο κατερχόμενης ζεύξης (downlink frame).

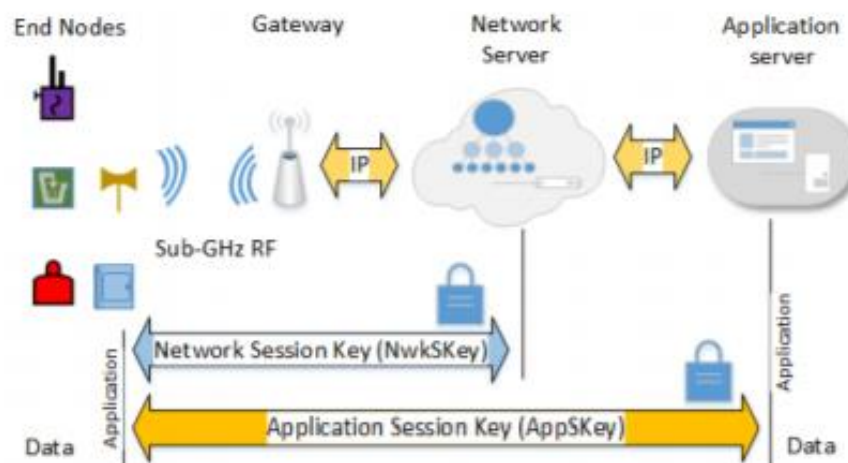
- **Κλάση B:** Οι συσκευές Class B εκτός από τις λειτουργίες των συσκευών Class A, επιτρέπουν τη λήψη σε προγραμματισμένες στιγμές. Αυτό επιτυγχάνεται, λαμβάνοντας ένα σήμα συγχρονισμού από το gateway. Έτσι ο server γνωρίζει ποιες χρονικές στιγμές η συσκευή είναι διαθέσιμη να δεχτεί κάποιο μήνυμα.
- **Κλάση C:** Οι συσκευές Class C έχουν τη δυνατότητα να δέχονται μηνύματα οποιαδήποτε στιγμή πλην των στιγμών μετάδοσης [10].



Εικόνα 12: Τρεις κατηγορίες συσκευών λήψης με χρονισμό θυρίδων[10]

Για να επιτευχθεί η ασφάλεια και η ακεραιότητα των μηνυμάτων ανερχόμενης και κατερχόμενης ζεύξης μεταξύ ED και GW και για να αποτραπεί από ένα NS η ανάγνωση περιεχομένων μηνυμάτων, που σχετίζονται με άλλο δίκτυο ή υποδομή, το LoRaWAN ορίζει δύο διαφορετικά κλειδιά ασφαλείας. Αυτά τα δύο κλειδιά είναι:

- **Το κλειδί συνόδου δικτύου (Network Session Key, NwkSKey):** Χρησιμοποιείται για την κρυπτογράφηση ολόκληρου του πλαισίου (κεφαλίδες + ωφέλιμο φορτίο) σε περίπτωση, που αποστέλλεται μια εντολή MAC. Όταν αποστέλλονται δεδομένα, αυτό το κλειδί χρησιμοποιείται για την υπογραφή του μηνύματος, που επιτρέπει στο NS να επαληθεύσει την ταυτότητα του αποστολέα.
- **Το κλειδί συνόδου εφαρμογής (Application Session Key, AppSKey):** Χρησιμοποιείται για την κρυπτογράφηση του ωφέλιμου φορτίου στο πλαίσιο. Αυτό το κλειδί δε χρειάζεται να είναι γνωστό από το NS. Ο AS αποκρυπτογραφεί τις πληροφορίες χρησιμοποιώντας το ίδιο κλειδί [10].



Εικόνα 13: Ανταλλαγή επικοινωνίας και ασφάλεια [10]

Μια ED δεν μπορεί να συμμετέχει στο δίκτυο LoRaWAN, εκτός αν έχει ενεργοποιηθεί, όπου και απαιτούνται τρεις τύποι πληροφοριών:

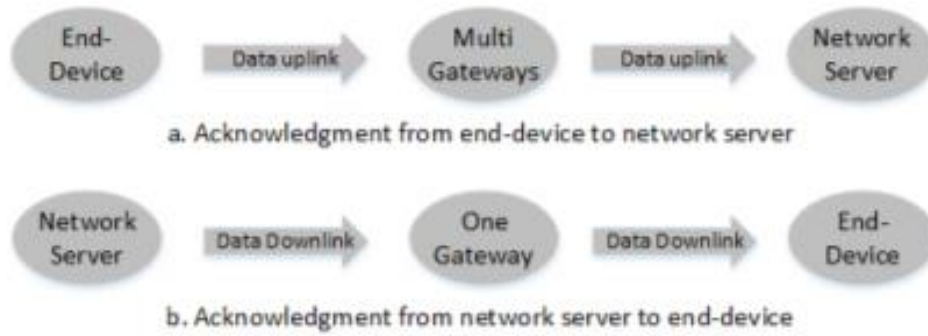
- **Device Address (DevAddr):** Αποτελείται από ένα αναγνωριστικό μήκους 32 bit που είναι μοναδικό στο δίκτυο. Αυτή η διεύθυνση αντιστοιχεί σε μια διεύθυνση IP ενός δικτύου TCP/IP. Είναι παρούσα σε κάθε πλαίσιο δεδομένων. Μοιράζεται μεταξύ ED, NS και AS.
- **Network Session Key (NwkSKey):** Αποτελείται από ένα κλειδί κρυπτογράφησης AES μήκους 128 bits, που είναι μοναδικό ανά NS. Αυτό το κλειδί μοιράζεται μεταξύ ED και

NS. Χρησιμοποιείται για την παροχή ακεραιότητας μηνυμάτων και ασφάλειας για την επικοινωνία.

- **Application Session Key (AppSKey):** Είναι ένα κλειδί κρυπτογράφησης AES μήκους 128 bits, που είναι μοναδικό ανά AS. Αυτό το κλειδί μοιράζεται μεταξύ ED και AS. Χρησιμοποιείται για την κρυπτογράφηση και αποκρυπτογράφηση μηνυμάτων εφαρμογών και για την παροχή ασφάλειας για το φορτίο εφαρμογής (application payload) [10].

Μετά την ενεργοποίηση, μια ED εντάσσεται στο δίκτυο LoRaWAN και αρχίζει να στέλνει ή να λαμβάνει μηνύματα δεδομένων. Αυτά τα μηνύματα χρησιμοποιούνται για τη μεταφορά, τόσο των εντολών MAC, όσο και των δεδομένων εφαρμογής, τα οποία μπορούν ταυτόχρονα να συνδυαστούν σε ένα μόνο μήνυμα. Το LoRa επιτρέπει σε ένα ED να χρησιμοποιεί κάθε πιθανό ρυθμό (data rate) για τη μετάδοση του μηνύματος, χρησιμοποιώντας την τεχνική Adaptive Data Rate (ADR), όπως προαναφέρθηκε. Αυτή η τεχνική χρησιμοποιείται από το δίκτυο ή το επίπεδο εφαρμογής της ED για τη διαχείριση, προσαρμογή και βελτίωση του ρυθμού μετάδοσης δεδομένων μιας ED [10].

EDs και ASs μπορούν να ζητήσουν επιβεβαίωση μηνυμάτων. Στην περίπτωση (a) στην εικόνα 14, η ED μεταδίδει μια επιβεβαίωση εύκολα, δεδομένου ότι το ACK είναι μια λειτουργία αποστολής (uplink), όσον αφορά την ED. Στην περίπτωση (b) στην εικόνα 14, το δίκτυο θα στείλει την επιβεβαίωση, χρησιμοποιώντας ένα από τα παράθυρα λήψης, που ανοίγει από μια ED μετά την αποστολή. Οι επιβεβαιώσεις υποβάλλονται μόνο σε απάντηση στο τελευταίο ληφθέν μήνυμα και δεν επαναμεταδίδονται [10].

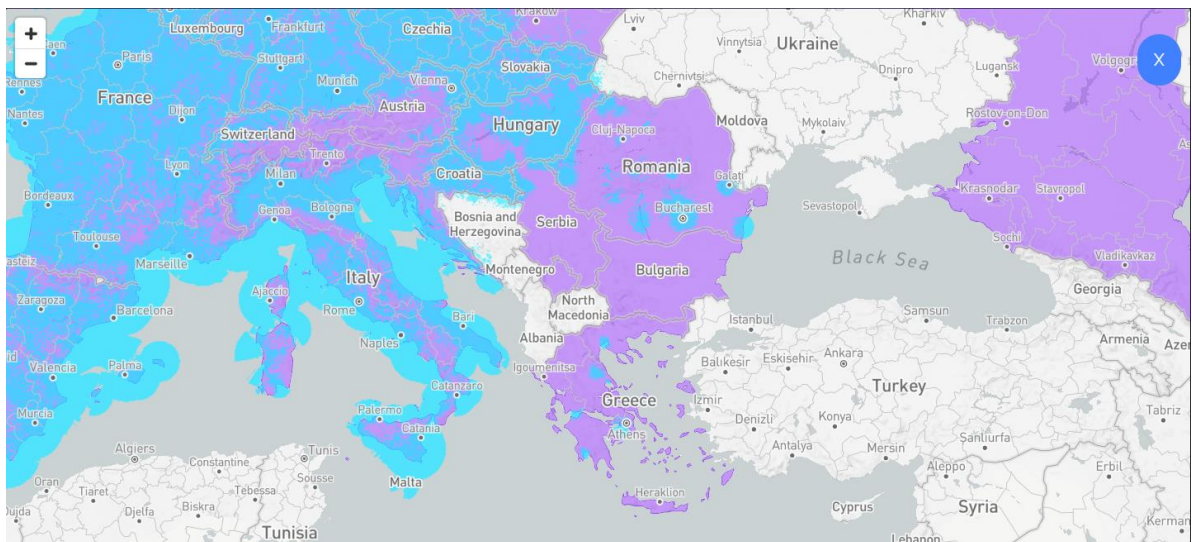


Εικόνα 14: Μηνύματα Επιβεβαίωσης [10]

3.2.2.1.2 SigFox

Η τεχνολογία Sigfox πρόκειται για μια γαλλική εταιρεία ασύρματων δικτύων που χρησιμοποιεί τις μη αδειοδοτημένες ζώνες ISM, για τη μετάδοση δεδομένων σε πολύ στενό φάσμα από και προς τα συνδεδεμένα αντικείμενα.

Στην Εικόνα 15 παρουσιάζεται η κάλυψη της τεχνολογίας SigFox στην Ελλάδα. (μωβ χρώμα είναι Country under roll-out και μπλε χρώμα είναι Live Coverage).



Εικόνα 15: Κάλυψη SigFox στην Ελλάδα [41]

Πρόκειται για ένα δίκτυο αστεριών (star network) με τις πύλες να εξυπηρετούν ως ελεγκτές του δικτύου. Όπως και το LoRa, έχει επίσης μεγάλη εύρος και πολύ χαμηλή κατανάλωση μπαταρίας ως χαρακτηριστικά. Αλλά το SigFox το επιτυγχάνει με μια πολύ διαφορετική μετάδοση χρησιμοποιώντας ασύρματες εκπομπές πολύ χαμηλής

ταχύτητας δεδομένων "Ultra Narrowband" (UNB). Η επικοινωνία κατερχόμενη ζεύξης (δεδομένα από τους σταθμούς βάσης στις τελικές συσκευές), μπορεί να λάβει χώρα μόνο μετά από μια επικοινωνία ανερχόμενη ζεύξης.

	Sigfox
Modulation	BPSK
Frequency	Unlicensed ISM bands (868 MHz in Europe, 915 MHz in North America, and 433 MHz in Asia)
Bandwidth	100 Hz
Maximum data rate	100 bps
Bidirectional	Limited / Half-duplex
Maximum messages/day	140 (UL), 4 (DL)
Maximum payload length	12 bytes (UL), 8 bytes (DL)
Range	10 km (urban), 40 km (rural)
Interference immunity	Very high
Allow private network	No
Standardization	Sigfox company is collaborating with ETSI on the standardization of Sigfox-based network

Πίνακας 2: Τα βασικά χαρακτηριστικά της τεχνολογίας SigFox [38]

Ο αριθμός των μηνυμάτων μέσω της ανερχόμενης ζεύξης περιορίζεται σε 140 μηνύματα την ημέρα. Το μέγιστο μήκος ωφέλιμου φορτίου για κάθε μήνυμα ανερχόμενης ζεύξης είναι 12 byte. Το δίκτυο SigFox IoT, ξεκινώντας από τη Γαλλία, διαθέτει εγκαταστάσεις σε διάφορες ευρωπαϊκές χώρες, με σταθερή επέκταση του δικτύου τους (32 χώρες τη δεδομένη στιγμή).



Εικόνα 16: Λογότυπο Sigfox [51]

3.2.2.1.3 Weightless

Πρόκειται για μια τεχνολογία που λειτουργεί στις ζώνες ISM sub-1GHz. Το Weightless-P χωρίζει το φάσμα σε κανάλια των 12,5 KHz. Οι ταχύτητες μετάδοσης δεδομένων είναι έως και 10Mbps και η μέγιστη απόσταση 5km και είναι κρυπτογραφημένη με AES-128/256 bit.. Επιτρέπεται η ελάχιστη χρήση ισχύος και η βελτίωση της διάρκειας ζωής των μπαταριών [42].



Εικόνα 17: Weightless λογότυπο [48]

3.2.2.1.4 Ingenu

Η συγκεκριμένη τεχνολογία παρέχει ακρίβεια εντοπισμού. Λειτουργεί στη ζώνη sub-1 GHz. Η κάλυψη υλοποιείται σε απόσταση έως και 500 Km και είναι κρυπτογραφημένη με AES-128 bit [42].



Εικόνα 18: Ingenu λογότυπο [49]

3.2.2.2 LPWAN – αδειοδοτούμενο φάσμα

3.2.2.2.1 LTE-M

Το LTE-M1 λειτουργεί με τα ήδη υπάρχοντα δίκτυα LTE σε αντίθεση με τη τεχνολογία NB-IoT το οποίο χρησιμοποιεί το μη χρησιμοποιούμενο φάσμα. Το LTE-M1 λειτουργεί εντός της ίδιας ζώνης LTE που χρησιμοποιείται για κυψελοειδείς εφαρμογές και έτσι καθιστά δυνατή τη χρήση αυτής της τεχνολογίας σε κινητές εφαρμογές [17].

Η τεχνολογία αυτή προσφέρει εκτεταμένη κάλυψη, χαμηλότερο κόστος συσκευών σε σχέση με τις κινητές ευρυζωνικές συσκευές αλλά επίσης και χαμηλότερη συνολική κατανάλωση ισχύος. Το σύνολο των νέων αυτών δυνατοτήτων θα διευκολύνει την αύξηση του αριθμού των νέων συσκευών που συνδέουν μια σειρά «αντικειμένων» συνδεδεμένων στο διαδίκτυο γεγονός που θα προκαλέσει την άνοδο της παραγωγικότητας και της δημιουργικότητας σε πολλούς κλάδους της βιομηχανίας.

Από τη τεχνολογία LTE cat-0 έως το LTE cat-M1 (eMTC) προκύπτει μείωση του εύρους ζώνης λήψης από 20 MHz σε 1.4 MHz και έχει ως αποτέλεσμα τον αποδοτικό και χαμηλής ισχύος σχεδιασμό. Για τη διατήρηση της διάρκειας ζωής της μπαταρίας για το eMTC υπάρχουν δύο δυνατότητες οι οποίες είναι, η λειτουργία εξοικονόμησης ενέργειας (Power Saving Mode, PSM) και η εκτεταμένη ασυνεχής λήψη (extended Discontinuous Reception, eDRx) που ενεργοποιούν τις τελικές συσκευές να είναι σε κατάσταση ύπνου για ώρες ή και ημέρες χωρίς να χάνεται το δίκτυο το οποίο είναι καταχωρημένες [18].



Εικόνα 19: Λογότυπο LTE-M [53]

3.2.2.2.2 NB – IoT

Το Narrowband IoT (NB-IoT) πρόκειται για μια τεχνολογία LPWAN ασύρματης πρόσβασης 3GPP και η προδιαγραφή του αποτελεί μέρος της έκδοσης 3GPP. Αυτή η τεχνολογία επαναχρησιμοποιεί διάφορες αρχές και δομικές μονάδες του φυσικού στρώματος LTE και ανώτερα στρώματα πρωτοκόλλου. Το NB-IoT σχεδιάστηκε με σκοπό να προσφέρει εκτεταμένη κάλυψη καθώς και για να βελτιώσει την χωρητικότητα UL (uplink) για χρήστες σε περιοχές κακής κάλυψης μέσω εκπομπών απλής εκπομπής τόνων.

Το NB-IoT μπορεί να συνυπάρχει με δίκτυα κινητής τηλεφωνίας 2G, 3G και 4G. Επίσης, επωφελείται από όλες τις λειτουργίες ασφάλειας και προστασίας προσωπικών δεδομένων των δικτύων κινητής τηλεφωνίας.

Η βαθιά εσωτερική κάλυψη, όπως για παράδειγμα σε υπόγεια κτιρίων, αποτελεί ένα μεγάλο πλεονέκτημα του NB-IoT. Αυτό υλοποιείται με μια υψηλότερη πυκνότητα ισχύος καθώς οι μεταδόσεις συγκεντρώνονται σε ένα πιο μικρό εύρος ζώνης φορέα μόλις 180 kHz. Η βελτίωση της κάλυψης προσφέρει επιπλέον τη δυνατότητα επανάληψης της μετάδοσης ενός μηνύματος σε περίπτωση που λόγω κακών συνθηκών κάλυψης χρειαστεί. Οι τεχνολογίες που λειτουργούν με μη εξουσιοδοτημένο φάσμα, αντίθετα, περιορίζονται νομικά στον αριθμό επαναλήψεων λόγω καθορισμένων κύκλων λειτουργίας, οι οποίες εμποδίζουν την αποτελεσματική εσωτερική κάλυψη.



Εικόνα 20: NB-IoT λογότυπο [52]

Το NB-IoT κατασκευάζεται από τις υπάρχουσες λειτουργίες LTE όμως πολλά χαρακτηριστικά έχουν αφαιρεθεί με σκοπό να διατηρήσουν αυτό το πρότυπο όσο το δυνατόν πιο απλό για να μειώσουν το κόστος της συσκευής και να ελαχιστοποιήσουν την κατανάλωση μπαταρίας. Αυτή η βελτίωση περιλαμβάνει την αφαίρεση της μεταπομπής (handover) καθώς και των τεχνικών carrier aggregation και dual connectivity αλλά και μετρήσεις για την παρακολούθηση της ποιότητας του καναλιού (measurements to monitor the channel quality). Το NB-IoT χρησιμοποιεί διαμορφώσεις QPSK και BPSK [19].

Στην κατερχόμενη ζεύξη (download) το NB-IoT χρησιμοποιεί το σχήμα OFDM για να διαιρέσει τη ζώνη συχνοτήτων σε πολλαπλούς subcarriers, που μπορούν να λειτουργούν σχεδόν ανεξάρτητα. Το eNodeB πρέπει να είναι ικανό για πλήρη αμφίδρομη επικοινωνία, ώστε να μπορεί να εξυπηρετεί και άλλους UEs σε γειτονικούς subcarriers. Η εναλλαγή μεταξύ κατερχόμενης και ανερχόμενης ζεύξης πραγματοποιείται κάτω από τον έλεγχο του eNodeB για να μην πραγματοποιείται εκπομπή καναλιού κατερχόμενης ζεύξης κατά τη διάρκεια μιας χρονικής θυρίδας ανερχόμενης ζεύξης. Το NB-IoT χρησιμοποιεί μόνο τεχνικές διαμόρφωσης χαμηλότερης τάξης, BPSK και QPSK [20].

Η ανερχόμενη ζεύξη (uplink) NB-IoT μπορεί να υποστηρίξει multi-tone και single-tone μεταδόσεις και εξαρτάται από την επιθυμητή ταχύτητα μετάδοσης δεδομένων ανερχόμενης ζεύξης και τις δυνατότητες του UE. Η μετάδοση multitone βασίζεται σε SC-FDMA, παρόμοια με την LTE. Εκτός από την προδιαγραφή LTE, στην

απλουστευμένη single-tone λειτουργία, ο UE μπορεί να εκπέμπει μόνο με ένα σήμα single-subcarrier. Το NB-IoT χρησιμοποιεί μόνο διαμορφώσεις Phase Shift Keying (PSK) χαμηλότερου βαθμού (BPSK, QPSK και 8PSK), σε σύγκριση με την ανερχόμενη ζεύξη LTE που χρησιμοποιεί τεχνικές διαμόρφωσης Quadrature Amplitude Modulation (QAM) έως 64-QAM [20].

Specification	NB-IoT Technology Standard
Standard	3gpp (release 2015)
Operational Frequencies	Same LTE band
Modulation	QPSK & BPSK
Coverage Range (Km)	< 15
Data Rate (kpbs)	~ 50
Topology	Star

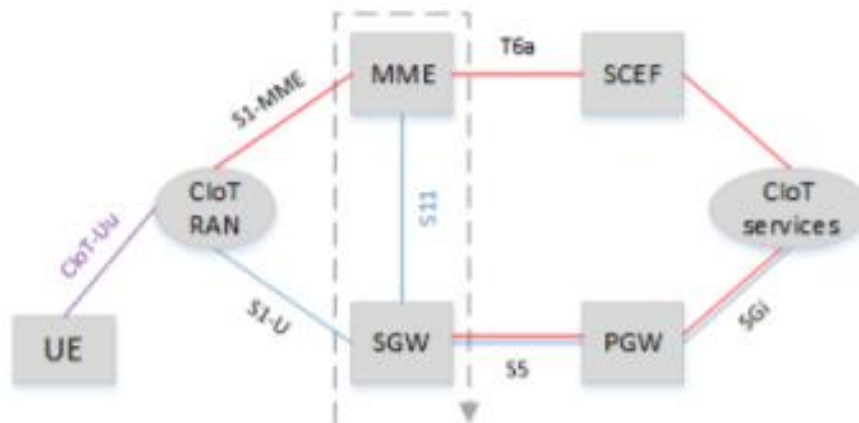
Πίνακας 3: Τα βασικά χαρακτηριστικά της NB – IoT τεχνολογίας [39]

A) Αρχιτεκτονική

Χρησιμοποιεί την ίδια αρχιτεκτονική δικτύου όπως το δίκτυο LTE όμως με κάποιες βελτιώσεις ώστε να ικανοποιήσει τις απαιτήσεις του IoT. Η αρχιτεκτονική NB-IoT βασίζεται στο Evolved Packet System (EPS) όπως παρουσιάζεται στην Εικόνα 21. Ένας νέος κόμβος έχει προστεθεί στην αρχιτεκτονική, γνωστός ως SCEF (Service Capability Exposure Function) ο οποίος έχει σχεδιαστεί για το χειρισμό δεδομένων τύπου μηχανής (machine type data). Δύο βελτιώσεις καθορίζονται για το CIoT σε EPS: βελτίωση στο επίπεδο ελέγχου CIoT EPS (κόκκινες γραμμές) και βελτίωση στο επίπεδο χρήστη CIoT EPS (μπλε γραμμές). Και οι δύο βελτιώσεις μπορούν να αξιοποιηθούν για την αποστολή δεδομένων στην αντίστοιχη εφαρμογή [39].

Στο επίπεδο χρήστη (μπλε γραμμή), IP και non - IP πακέτα μεταφέρονται με τον ίδιο τρόπο όπως στη συμβατική κίνηση δεδομένων δηλαδή δια μέσω των πυλών SGW (serving gateway) και PGW (packet data network gateway) μέσω ραδιοφορέων (radio bearers) στο διακομιστή εφαρμογών (application server). Στο επίπεδο ελέγχου,

(κόκκινες γραμμές), οι ραδιοεπικοινωνίες μεταξύ του εξοπλισμού χρήστη (UE) και της MME (Mobility Management Entity) διαχειρίζονται από το E-UTRAN το οποίο αποτελείται από σταθμούς βάσης γνωστούς και eNodeB ή eNB (Gateway). Στην πορεία, τα δεδομένα ανερχόμενης ζεύξης μεταδίδονται στην πύλη SGW (serving), που με τη σειρά της, τα μεταδίδει στην πύλη PGW (Packet Data Network). Τα δεδομένα non-IP αποστέλλονται με τη χρήση του SCEF που είναι ο νέος κόμβος υπεύθυνος για την παροχή non-IP δεδομένων στο επίπεδο ελέγχου και παρέχει μια διασύνδεση για τις υπηρεσίες δικτύου (έλεγχος ταυτότητας και εξουσιοδότηση - authentication and authorization, δυνατότητες εύρεσης και πρόσβασης - discovery and access network capabilities) [39].



Εικόνα 21: Αρχιτεκτονική NB – IoT δικτύου [39]

Δεν υπάρχει καμία διαφορά στην αρχιτεκτονική δικτύου πρόσβασης σε σύγκριση με το LTE. Ο σταθμός βάσης συνδέεται με το MME και το S-GW χρησιμοποιώντας τη διεπαφή S1 όπως παρουσιάζεται στην Εικόνα 22. Οι σταθμοί βάσης συνδέονται μεταξύ τους με τη διεπαφή X2 παρόλο που δεν υπάρχει μεταπομπή (handover), αυτή η διεπαφή επιτρέπει την επαναφορά της γρήγορης σύνδεσης, όταν η τελική συσκευή αλλάζει από IDLE STATE (κατάσταση αδράνειας) σε RCC CONNECTION (κατάσταση σύνδεσης) [39].



Εικόνα 22: Αρχιτεκτονική δικτύου ως προς το Air Interface [39]

B) NB – IoT Επικοινωνία

Ακολουθεί μια περίληψη για τα διαφορετικά κανάλια και σήματα για uplink (UL) και downlink (DL) που χρησιμοποιούνται από το NB-IoT, όπως παρουσιάζεται στον πίνακα 4.

	Channel	Usage
UL	Narrowband Physical Uplink Shared Channel (NPUSCH)	Uplink dedicated data
	Narrowband Physical Random Access Channel (NPRACH)	Random access
DL	Narrowband Physical Downlink Control Channel (NPDCCH)	Uplink and downlink scheduling information
	Narrowband Physical Downlink Shared Channel (NPDSCH)	Downlink dedicated and common data
	Narrowband Physical Broadcast Channel (NPBCH)	Master information for system access
	Narrowband Synchronization Signal (NPSS/NSSS)	Time and frequency synchronization

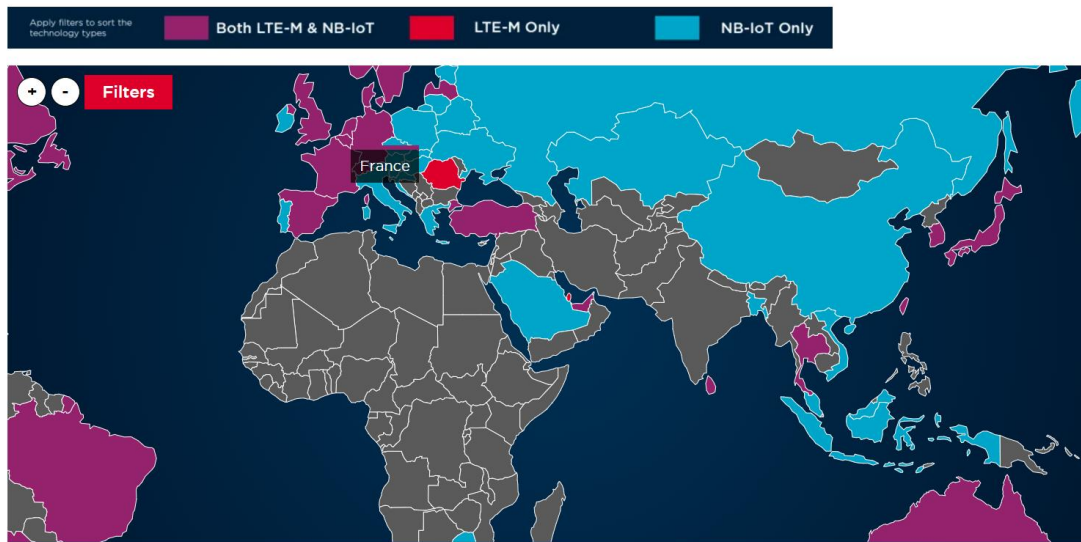
Πίνακας 4: Τα φυσικά κανάλια του πρωτοκόλλου NB-IoT [39]

Παρακάτω, αναλύονται τα φυσικά κανάλια του πρωτοκόλλου NB – IoT:

- NPSS/NSSS: Το NPSS χρησιμοποιείται για να αναγνωρίζει την κυψέλη και για την αναζήτηση και την αρχική σύνδεση.
- NPBCH: Το NPBCH χρησιμοποιείται για τη μεταφορά του κύριου μπλοκ πληροφοριών δικτύου (Master Information Block, MIB ή MIB-NB) που περιγράφει την τρέχουσα παραμετροποίηση του δικτύου.
- NPDSCH: Το NPDSCH είναι το κύριο κανάλι downlink κυκλοφορίας, το οποίο χρησιμοποιείται για τη μεταφορά δεδομένων χρήστη (user plane data).
- NPDCCH: Αυτό το κανάλι χρησιμοποιείται για τη μεταφορά πληροφοριών ελέγχου κατερχόμενης ζεύξης.
- NPRACH: Για να δημιουργηθεί μια σύνδεση με το eNodeB, ο εξοπλισμός χρήστη χρησιμοποιεί μια διαδικασία καναλιού τυχαίας πρόσβασης, που ονομάζεται NPRACH.
- NPUSCH: Αυτό το κανάλι έχει δημιουργηθεί ώστε να μεταφέρει δεδομένα uplink και να στέλνει μηνύματα Ack/Nack της τεχνικής διόρθωσης σφαλμάτων HARQ (Hybrid Automatic Repeated Request). Ακόμα, παρέχει εκτεταμένη κάλυψη, υψηλή διάρκεια ζωής της μπαταρίας και μεγάλη χωρητικότητα. Έχει δύο τύπους: Ο τύπος 1 χρησιμοποιείται για την αποστολή δεδομένων ανερχόμενης ζεύξης (μέγιστο μπλοκ μεταφοράς Transfer Block Size, TBS: 1000 bits). Ο τύπος 2 χρησιμοποιείται στη σηματοδότηση της HARQ επιβεβαίωσης ή μη για το κανάλι κατερχόμενης ζεύξης NPDSCH.

Γ) NB – IoT coverage στην Ελλάδα

Παρακάτω παρουσιάζεται η κάλυψη της τεχνολογίας NB – IoT:



Εικόνα 23: NB – IoT coverage [40]

Η τεχνολογία NB – IoT υλοποιείται σε συνεργασία με τους πάροχους Vodafone και Cosmote και παρακάτω στα επόμενα κεφάλαια, αναφέρονται η χρήση τους.

4. Smart Cities

4.1 Ορισμός

Η έξυπνη πόλη πρόκειται για μια πόλη που χρησιμοποιεί τις νέες τεχνολογίες με σκοπό την παροχή των απαραίτητων υπηρεσιών και υποδομών για να αυξήσει τα κοινωνικά, οικονομικά και περιβαλλοντικά οφέλη τα οποία συνδράμουν στη βελτίωση της ποιότητας ζωής και στη βιώσιμη αστική ανάπτυξη.



Εικόνα 24: Έξυπνη Πόλη [54]

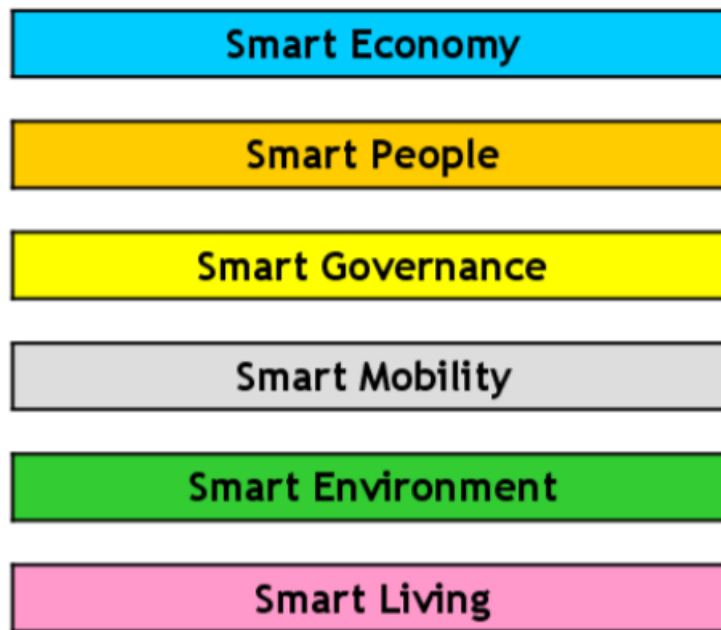
4.2 Χαρακτηριστικά

- **Έξυπνη Οικονομία (Smart Economy):** Η συμβολή της τεχνολογίας στην οικονομία είναι θεμελιώδης για την ανάπτυξη της παραγωγικότητας και της ανταγωνιστικότητας των προϊόντων και των υπηρεσιών. Με την αξιοποίηση της τεχνολογίας αναπτύσσονται οι αγορές καθώς και το διεθνές επενδυτικό ενδιαφέρον δημιουργώντας ταχύτερη ανάπτυξη και παραγωγικότητα. Ακόμα, η συμβολή της καινοτομίας βελτιώνει την παραγωγική λειτουργία, υλοποιούνται έργα και προσφέρονται προϊόντα και υπηρεσίες με μικρές και

μεγάλες επιχειρήσεις. Η οικονομία μιας έξυπνης πόλης βασίζεται στην καινοτομία, την παραγωγικότητα και την επιχειρηματικότητα και για αυτό το λόγο κάθε Έξυπνη Οικονομία) πρέπει να προσαρμόζεται στις αλλαγές [21].

- **Έξυπνη Διακυβέρνηση (Smart Governance):** Πρόκειται για το μέλλον των δημόσιων υπηρεσιών με σκοπό τη μεγαλύτερη αποτελεσματικότητα και συμμετοχή των πολιτών στη λειτουργία της διοίκησης. Στόχος είναι η λειτουργία της πόλης με μικρότερο κόστος διοίκησης και να είναι και αποτελεσματική [21].
- **Έξυπνοι Άνθρωποι (Smart People):** Οι Έξυπνοι Άνθρωποι χαρακτηρίζονται και από την ποιότητα της κοινωνικής αλληλεπίδρασης σχετικά με την ολοκλήρωση και τη δημόσια ζωή. Είναι σημαντικό να υπάρχει πρόσβαση στην εκπαίδευση και την κατάρτιση με στόχο όλοι οι πολίτες να συμμετέχουν σε νέες δράσεις, στα δημόσια δρώμενα, να είναι ανοιχτοί σε νέες, καινοτόμες ιδέες και να χαρακτηρίζονται από δημιουργικότητα. “Έξυπνος” είναι ο ενεργός και ενημερωμένος άνθρωπος και δίχως αυτούς δεν υφίστανται “έξυπνες” πόλεις [21].
- **Έξυπνη Κινητικότητα (Smart Mobility):** Η έξυπνη κινητικότητα περιλαμβάνει την εγκατάσταση των τεχνολογιών πληροφορίας και επικοινωνίας (ΤΠΕ), σε Μέσα Μαζικής Μεταφοράς, αυτοκίνητα, με σκοπό την εξοικονόμηση χρόνου, τη βελτίωση της μετακίνησης και αποδοτικότητας, την εξοικονόμηση δαπανών, τη μείωση εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα με στόχο τη βελτίωση των υπηρεσιών και παροχή πληροφοριών [22].
- **Έξυπνη Διαβίωση (Smart Living):** Πρόκειται για τις υπηρεσίες του κράτους οι οποίες βελτιώνουν την ποιότητα ζωής στην πόλη. Αξιοποιούνται οι υποδομές και δημιουργείται ανάπτυξη στους τομείς πολιτισμού, ασφάλειας, υγείας και τουρισμού. Ακόμα, δημιουργείται κοινωνική συνοχή με νέες προοπτικές σε εκπαιδευτικό, πολιτιστικό και τουριστικό επίπεδο [23].
- **Έξυπνο Περιβάλλον (Smart Environment):** Γνωρίζοντας τα οφέλη του περιβάλλοντος χρησιμοποιείται η τεχνολογία με σκοπό την επίτευξη της βιωσιμότητας αλλά και της καλύτερης διαχείρισης και προστασίας των φυσικών πόρων του περιβάλλοντος. Το έξυπνο περιβάλλον χαρακτηρίζεται

από τη χρήση της έξυπνης ενέργειας, συγκαταλέγοντας τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, τα ενεργειακά δίκτυα μέσω ΤΠΕ, τον έλεγχο της ρύπανσης, την ανακαίνιση κτιρίων και υποδομών, τα πράσινα κτήρια, την πράσινη αστική ανάπτυξη και σχεδιασμό, την αποδοτικότητα χρήσης πόρων, την ανακύκλωση και επαναχρησιμοποίηση υλικών [24].



Εικόνα 25: Χαρακτηριστικά Έξυπνων Πόλεων [25]

4.3 Πλεονεκτήματα Έξυπνης Πόλης

Αξιοποιώντας τις “έξυπνες” λύσεις σε μια πόλη προκύπτουν τα παρακάτω οφέλη :

- Βελτίωση της καθημερινότητας των ανθρώπων
- Εξοικονόμηση πόρων, ενέργειας, χρήματα
- Δημιουργία εσόδων
- Ανάπτυξη οικολογικών πρακτικών

4.4 Προβλήματα Έξυπνων Πόλεων

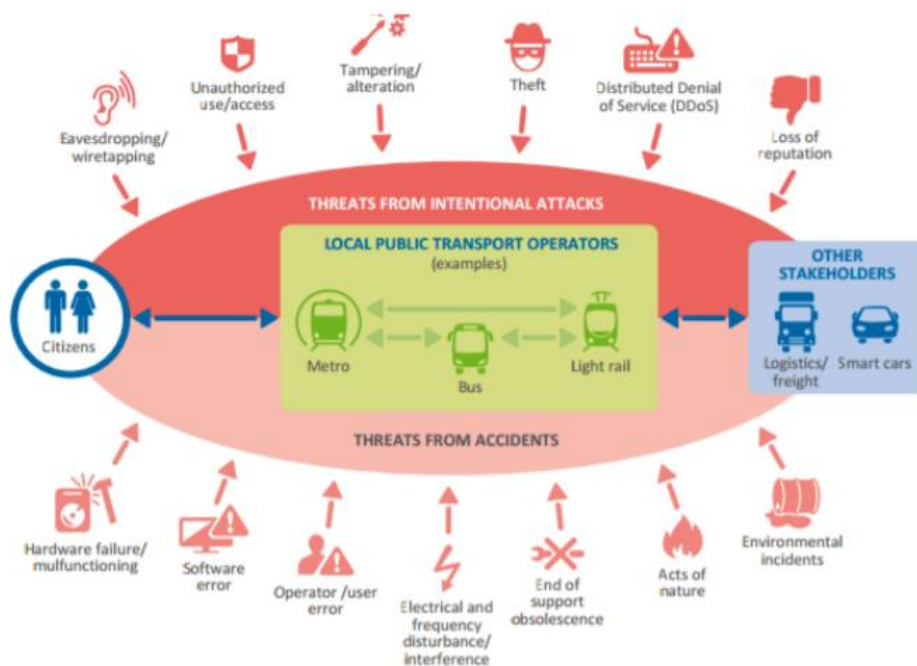
Τα προβλήματα που συνδέονται με τις λύσεις των έξυπνων πόλεων προκύπτουν συνήθως από τις παρακάτω πηγές [28]:

- Η έξυπνη πόλη δεν αντιμετωπίζεται όπως πραγματικά είναι, δηλαδή ένα περίπλοκο σύστημα που αποτελείται από πολλές παραμέτρους, διαφορετικά αλλά και ανταγωνιστικά συμφέροντα.
- Η έξυπνη πόλη εστιάζει στη δημιουργία τεχνικών και τεχνοκρατικών μορφών διακυβέρνησης που αποσκοπούν σε συμφέροντα μεγάλων εταιρειών ή κυβερνήσεων παραβλέποντας κάποιες φορές λύσεις που είναι προσανατολισμένες στον πολίτη.
- Με τη δημιουργία των τεχνολογικών λύσεων οι πόλεις αντιμετωπίζονται ως αγορές, δίνοντας μια συγκεκριμένη λύση, χωρίς αυτή να έχει προσαρμοστεί στις ανάγκες κάθε πόλης.
- Οι τεχνολογίες που χρησιμοποιούνται έχουν κοινωνικές, πολιτικές καθώς και ηθικές επιπτώσεις, παρόλο που εισάγονται νέες μορφές κοινωνικού ελέγχου και διακυβέρνησης, και έτσι διευκολύνεται η παραβίαση της ιδιωτικότητας.
- Οι τεχνολογίες που χρησιμοποιούνται δεν προστατεύουν τα δεδομένα χρήστη. Ακόμα, οι δυσλειτουργικές συσκευές μπορούν να προκαλέσουν τη δημιουργία ευπαθών συστημάτων ασφάλειας.

Ο Ευρωπαϊκός Οργανισμός για την Ασφάλεια Δικτύων και Πληροφοριών (ENISA) πραγματοποίησαν μελέτη σχετικά με την ψηφιακή ασφάλεια των δημόσιων συγκοινωνιών σε μια έξυπνη πόλη. Σύμφωνα με την μελέτη ένα έξυπνο σύστημα δημόσιων συγκοινωνιών είναι ευάλωτο σε ψηφιακές κακόβουλες επιθέσεις. Υπάρχουν δύο κατηγορίες επιθέσεων, οι κακόβουλες και οι τυχαίες. Σχετικά με τις κακόβουλες επιθέσεις, οι ωτακουστές (eavesdropping) πρόκειται για προγράμματα τα οποία έχουν σα σκοπό την παρακολούθηση της κίνησης του δικτύου σε επίπεδο IP πακέτων και την ανακατασκευή των μηνυμάτων και έτσι υποκλέπτουν τους κωδικούς πρόσβασης. Η υποκλοπή αναφέρεται σε επιθέσεις κατά της εμπιστευτικότητας του συστήματος. Ο χαλκός είναι ευάλωτος σε επιθέσεις και οι

εταιρείες επενδύουν σε ασύρματες υποδομές για τη μείωση του κινδύνου κακόβουλης επίθεσης. Επιπρόσθετα, στην κατηγορία των κακόβουλων επιθέσεων εντάσσεται και η μη εξουσιοδοτημένη πρόσβαση που γίνεται με τη διαδικασία αντιγραφής, τροποποίησης ή καταστροφής δεδομένων και πραγματοποιείται με βίαιες επιθέσεις αλλά και με χειραγώγηση και με την υποκλοπή συνθηματικών. Τέλος, είναι η συντονισμένη άρνηση εξυπηρέτησης λόγω του ότι καταρρέει ένα δίκτυο λόγω υπερφόρτωσης.

Η άλλη κατηγορία είναι οι τυχαίες επιθέσεις που δεν είναι σκόπιμες. Πρόκειται για αποτυχία του υλικού/λογισμικού που μπορεί να σχετίζεται με την έλλειψη συντήρησης. Επιπλέον, λάθη από πλευράς του operator που γίνονται στη συντήρηση ή αναβάθμιση μπορεί να προκαλέσουν ζημιά στα δεδομένα και να γίνουν ευάλωτα. Η διακοπή ρεύματος μπορεί να επηρεάσει τη διαθεσιμότητα ενός συστήματος και να το κάνει ευάλωτο. Τέλος, τα φυσικά φαινόμενα, όπως οι βροχές αποτελούν λόγο που ενδέχεται να βλάψουν τη λειτουργία των τηλεπικοινωνιακών δικτύων [29].



Εικόνα 26: Επιθέσεις στο σύστημα δημοσίων συγκοινωνιών μιας έξυπνης πόλης [29]

4.5 Αντιμετώπιση κινδύνων Έξυπνων Πόλεων

Για την αντιμετώπιση των κινδύνων προς την ασφάλεια και την ιδιωτικότητα είναι σημαντικό να εφαρμοστούν μέτρα πρόληψης που να ανήκουν στις παρακάτω κατηγορίες:

- 1) **Αυθεντικοποίηση:** Όπου με βάση αυτή θα γίνεται επιβεβαίωση ότι είναι όντως η ταυτότητα του χρήστη αυτή και δεν γίνεται κάποια παραβίαση.
- 2) **Εξουσιοδότηση:** Στο σύστημα εάν βρίσκονται αρκετοί χρήστες σε κάθε έναν από αυτούς εκχωρούνται από τον διαχειριστή τα ανάλογα δικαιώματα με βάση το ρόλο τους και τις υποχρεώσεις τους.
- 3) **Αναγνώριση:** Πραγματοποιείται έλεγχος για το εάν τα δεδομένα που ζητούνται απαιτούν αυθεντικοποίηση αλλά και εξουσιοδότηση.
- 4) **Κρυπτογραφία & Ανωνυμία:** Τα δεδομένα πρέπει να αποθηκεύονται κρυπτογραφημένα και να χρησιμοποιούνται μηχανισμοί ταυτοποίησης και εξουσιοδότησης χρηστών. Η κρυπτογράφηση πρόκειται για μια διεργασία μετασχηματισμού ενός μηνύματος σε μια μη κατανοητή μορφή με τη χρήση κάποιου κρυπτογραφικού αλγόριθμου με σκοπό αυτό το μήνυμα να μην είναι αναγνώσιμο από τρίτα άτομα. Η κρυπτογράφηση και αποκρυπτογράφηση ενός μηνύματος πραγματοποιείται μέσω ενός αλγορίθμου κρυπτογράφησης και ενός κλειδιού κρυπτογράφησης. Ακόμα, όσον αφορά την ανωνυμία πρόκειται για μια κατάσταση, όπου οι πληροφορίες που παρέχονται από τους χρήστες ενός συστήματος δεν πρέπει να παρέχουν αναφορές σχετικά με την ταυτότητά τους. Όμως, ρίσκο αποτελεί ότι με τη ψευδωνυμία και την ανωνυμία υπάρχει κίνδυνος να μη σκιαγραφούνται τα προφίλ των πολιτών σε περιπτώσεις στατιστικών.

4.6 Οι Έξυπνες Πόλεις στην Ελλάδα

Στην Ελλάδα υπάρχει σημαντική κινητικότητα στον τομέα των έξυπνων πόλεων και καταγράφεται μια τάση δικτύωσης, με τη δημιουργία διαδημοτικών δικτύων για την ανταλλαγή καλών πρακτικών και εμπειριών στη διαχείριση των προβλημάτων των αστικών περιοχών.

4.6.1 Έξυπνη Πόλη – Τρίκαλα

Σύστημα Ευφύων Μεταφορών: Πραγματοποιείται διαχείριση των κυκλοφοριακών δεδομένων της πόλης και παρακολουθείται το δίκτυο των αστικών λεωφορείων. Οι πολίτες ενημερώνονται για την κυκλοφοριακή κίνηση, ακόμα στις στάσεις των αστικών λεωφορείων υπάρχει ακριβή πληροφόρηση για τα επόμενα δρομολόγια σχετικά με την ώρα άφιξης κάθε λεωφορείου.

Σύστημα Έξυπνου Φωτισμού: Με τα νέα φωτιστικά συστήματα τεχνολογίας LED επιτυγχάνεται η εξοικονόμηση ενέργειας. Ακόμα, με βάση τις καιρικές συνθήκες και την ώρα πραγματοποιείται η δυνατή ενεργειακή εξοικονόμηση καθώς και η βέλτιστη ορατότητα για οδηγούς, ποδηλάτες, πεζούς.

Σύστημα Έξυπνης Στάθμευσης: Επιτυγχάνεται η εύρεση, η απεικόνιση και ο έλεγχος θέσεων στάθμευσης με την χρήση αισθητήρων ώστε να αντιστοιχεί ένας αισθητήρας για κάθε διαγραμμισμένη θέση στάθμευσης. Ο αισθητήρας στέλνει τα ανάλογα σήματα όταν η θέση είναι διαθέσιμη ή κατειλημμένη. Οι πολίτες δύναται να ενημερωθούν για τις θέσεις που είναι διαθέσιμες μέσω της εφαρμογής στάθμευσης (mobile app) για κινητά τηλέφωνα αλλά και από πινακίδες σε σημεία της πόλης.

Έξυπνοι κάδοι και υδρομετρητές: Εγκαθιστώντας αισθητήρες στους κάδους απορριμμάτων δύναται η πληροφόρηση για την πληρότητα του κάδου με σκοπό τη βελτίωση του δρομολογίου και η αμεσότητα αποκομιδής των απορριμμάτων. Οι έξυπνοι υδρομετρητές με τη χρήση αισθητήρων καταγράφουν την κατανάλωση νερού. Η διαδικασία συλλογής δεδομένων πραγματοποιείται τώρα από συστήματα IoT όπου γίνεται από τους αυτόματους μετρητές η καταγραφή και αποστολή των

μετρήσεων σε μια κεντρική βάση. Έτσι, λόγω του ότι απαιτούνται λιγότερες ώρες εργασίας, υπάρχει εξοικονόμηση χρημάτων και επίσης μπορεί εύκολα να εντοπιστεί ενδεχόμενη διαρροή και να επισκευαστεί άμεσα.

Πιλοτικό πρόγραμμα μεταφορών CityMobil2: Το λεωφορείο χωρίς οδηγό αποτέλεσε μεγάλη πρωτοτυπία στο πλαίσιο του πιλοτικού Ευρωπαϊκού προγράμματος CityMobil2. Στα Τρίκαλα, το όχημα κυκλοφόρησε μέσα στον αστικό ιστό και στο κέντρο ελέγχου οι τεχνικοί παρακολουθούσαν την πορεία του λεωφορείου και κατέγραφαν τυχόν προβλήματα εμφανίζονταν. Η σύνδεση κέντρου ελέγχου – πιλότου πραγματοποιήθηκε με χρήση οπτικής ίνας. Το λεωφορείο είχε και λέιζερ ασφαλείας και στον εντοπισμό ενός αντικειμένου ή ανθρώπου κατά την πορεία του, το ακινητοποιούσε ακαριαία. Η οδήγηση χωρίς οδηγό αποτελεί σημαντική πρωτοπορία στις οδικές μεταφορές και θα προσφέρει θετικά αποτελέσματα σε θέματα κυκλοφοριακής ασφάλειας. [30]



Εικόνα 27: Έξυπνη Πόλη – Τρίκαλα [31]

Τηλεπρόνοια: Πρόκειται για υποδομές τηλεφροντίδας και τηλεϊατρικής, για την παροχή υπηρεσιών υποστήριξης στις ευπαθείς κοινωνικές ομάδες. Έτσι, γίνεται παρακολούθηση και εξυπηρέτηση των ατόμων με χρόνια καρδιολογική ανεπάρκεια και άλλα σοβαρά προβλήματα και με αυτό το τρόπο μειώνεται το καθημερινό βάρος

φροντίδας. Όμως, σημαντικότερος στόχος είναι να αποφευχθεί η εισαγωγή του ασθενούς σε κάποιο νοσοκομείο ή ίδρυμα και να παραμένει στο σπίτι του κοντά στους οικείους του. Οι ασθενείς έχουν μέσω έξυπνων κινητών τηλεφώνων καταγράφονται τα βιολογικά σήματα του ασθενούς και μεταφέρονται ενσύρματα ή ασύρματα στο κέντρο τηλετρόνιας ή σε κάποιο γιατρό [33].

5G και γεωργία ακριβείας – smart farming: Πολλές υπάρχουσες έξυπνες υπηρεσίες θα ενσωματωθούν στην τεχνολογία 5G με σκοπό τη μέτρηση των επιδόσεων τους, συμπεριλαμβανομένων των αισθητήρων IoT που ασχολούνται με τη μέτρηση των αποβλήτων και τη μέτρηση του νερού, τον έξυπνο φωτισμό, τον έξυπνο χώρο στάθμευσης και τις έξυπνες περιβαλλοντικές μετρήσεις. [34] Η «έξυπνη γεωργία» βοηθάει τους αγρότες μέσω των νέων τεχνολογιών στη μέτρηση όλων των δεδομένων από την καλλιέργεια όπως η υγρασία, η θερμοκρασία και ο άνεμος και με βάση αυτά κρίνεται αν χρειάζεται λίπανση η πότισμα και έτσι ο αγρότης κρίνει ανάλογα για το τι πρέπει να κάνει.



Εικόνα 28: Smart farming [35]

4.6.2 “Έξυπνες στάσεις” στην Καλαμάτα

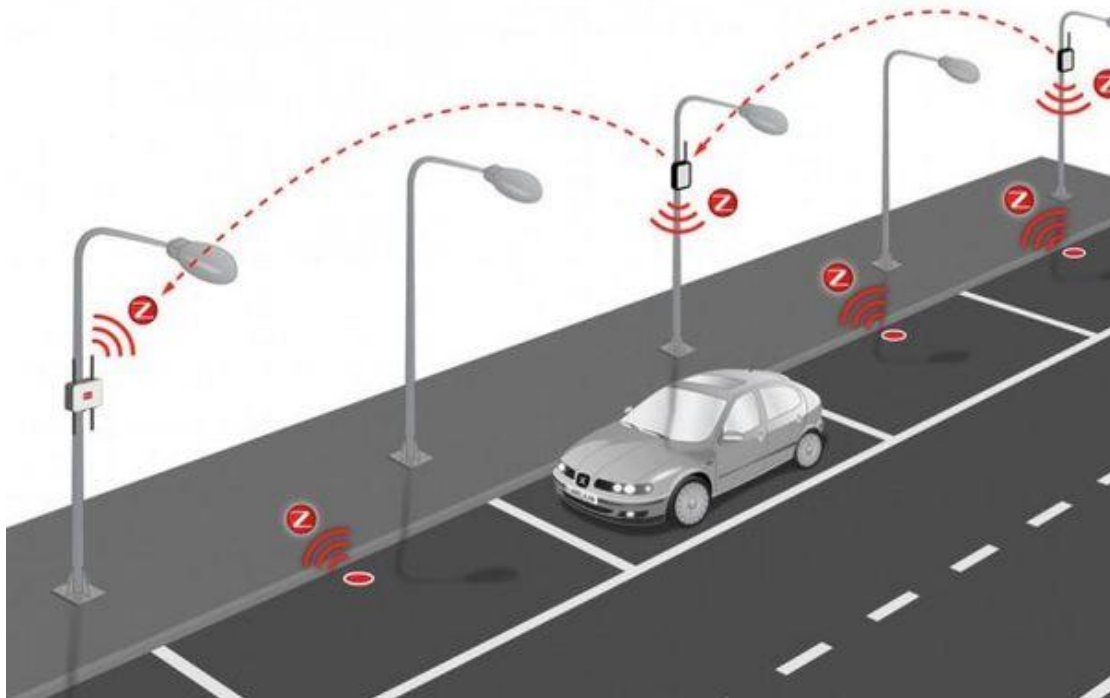
Ο Δήμος Καλαμάτας πραγματοποιεί το έργο Ευφυές τηλεματικό σύστημα πληροφόρησης οδηγών και πολιτών για τις μετακινήσεις αλλά και τη στάθμευση. Έτσι λοιπόν, τοποθετήθηκαν στην Καλαμάτα έξυπνες στάσεις λεωφορείων που το κοινό ενημερώνεται για τον απαιτούμενο χρόνο άφιξης του λεωφορείου. Ακόμα, μέσω της εφαρμογής του κινητού τηλεφώνου μπορούν να ενημερωθούν οι άνθρωποι και έτσι η αστική συγκοινωνία είναι πιο ελκυστική με σκοπό μείωση του κυκλοφοριακού φόρτου στην Καλαμάτα [32].

4.6.3 Έξυπνη Πόλη - Χαλκίδα

Στη Χαλκίδα εγκαταστάθηκαν πιλοτικά συστήματα «έξυπνης» στάθμευσης (Smart Parking) και «έξυπνου» φωτισμού (Smart Lighting), υποστηριζόμενα από μία ενιαία πλατφόρμα έξυπνης πόλης. Αυτή η λύση αποσκοπεί στη διευκόλυνση εύρεσης θέσης στάθμευσης, στο να μην υπάρχει κυκλοφοριακή κίνηση αλλά και στη μείωση κατανάλωσης ενέργειας στην πόλη.

Smart Parking: Πραγματοποιήθηκε εγκατάσταση ειδικών αισθητήρων έξυπνης στάθμευσης όπου μέσω εφαρμογής στο κινητό οι οδηγοί ενημερώνονται για τις διαθέσιμες θέσεις να παρκάρουν. Η Δημοτική Αρχή διαχειρίζεται καλύτερα τις θέσεις στάθμευσης και ελέγχει τόσο για το χρόνο στάθμευσης κάθε οχήματος αλλά αν γίνεται παραβίαση του κώδικα οδικής κυκλοφορίας.

Smart Lighting: Με τα συστήματα έξυπνου φωτισμού LED προσαρμόζονται σε πραγματικό χρόνο ανάλογα την εποχή και την ώρα σε διαφορετικά επίπεδα έντασης φωτισμού με σκοπό τη μείωση κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας έως και σε ποσοστό 60%.



Εικόνα 29: Smart parking & Smart lighting στην Χαλκίδα [36]

4.6.4 Έξυπνη Πόλη - Ηράκλειο Κρήτης

Ο Δήμος Ηρακλείου σε συνεργασία με το ΙΤΕ Ηρακλείου πραγματοποίησαν το Ευρωπαϊκό Πρόγραμμα RERUM «Αξιόπιστο, ανθεκτικό και ασφαλές Διαδίκτυο των Πραγμάτων για εφαρμογές έξυπνων πόλεων» (REliable, Resilient and secURe IoT for sMART city applications - RERUM) στα πλαίσια του 7ου πλαισίου (7th Framework Programme for Research, technological Development and Demonstration) με σκοπό την αύξηση της ασφάλειας και της αξιοπιστίας του IoT.

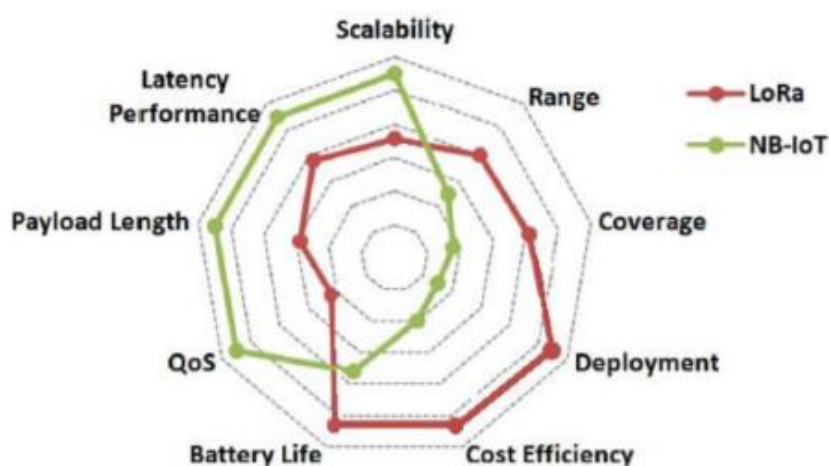
Η υλοποίηση πραγματοποιήθηκε σε δυο φάσεις όπου στην πρώτη δημιουργήθηκε ένα σύστημα μέτρησης της κυκλοφοριακής κίνησης και ένα σύστημα μέτρησης κατανάλωσης ενέργειας συσκευών σε εσωτερικούς χώρους. Στη δεύτερη φάση δημιουργήθηκαν εφαρμογές για μέτρηση της ποιότητας περιβάλλοντος και βλαβερών σωματιδίων σε εσωτερικούς και εξωτερικούς χώρους. Όλοι οι πολίτες μπορούν να ενημερωθούν, σε πραγματικό χρόνο, για τον κυκλοφοριακό φόρτο στην πόλη μέσω της εφαρμογής και διαλέξουν ποια διαδρομή θα ακολουθήσουν.

Ακόμα, για τη μέτρηση αέριων ρύπων σε εξωτερικά σημεία του αστικού περιβάλλοντος χρησιμοποιήθηκαν πολλοί αισθητήρες με σκοπό την ανίχνευση ενεργοβόρων συσκευών, καθώς και ο σχεδιασμός περιβαλλοντικών παρεμβάσεων που μπορούν να συμβάλλουν στη μείωση της κατανάλωσης ενέργειας [37].

5. Συγκριτική αξιολόγηση NB – IoT & LoRa τεχνολογιών

5.1 Αξιολόγηση LoRa & NB – IoT τεχνολογιών

Ανάμεσα στη NB – IoT & LoRa τεχνολογία πολλοί παράγοντες πρέπει να λαμβάνονται υπόψιν για την πιο βέλτιστη επιλογή όπως η διάρκεια ζωής της μπαταρίας, η καθυστέρηση, η κάλυψη, η εμβέλεια και το κόστος για την ανάπτυξη του μοντέλου [39].



Εικόνα 30: Σύγκριση NB – IoT & LoRa παραγόντων [39]

1) Διάρκεια ζωής μπαταρίας & Καθυστέρηση:

Οι τελικές συσκευές NB-IoT καταναλώνουν πρόσθετη ενέργεια από ότι οι τελικές συσκευές LoRa εξαιτίας του χειρισμού QoS με αποτέλεσμα να μειώνεται η διάρκεια ζωής της τελικής συσκευής NB - IoT. Η NB – IoT τεχνολογία έχει μικρή καθυστέρηση και το LoRa στην κλάση Γ προσφέρει χαμηλή καθυστέρηση. Για εφαρμογές οι οποίες δεν έχουν μεγάλο όγκο δεδομένων για αποστολή άλλα και δεν είναι ευαίσθητες στην καθυστέρηση μπορεί να χρησιμοποιηθεί η κλάση A [39].

2) Ποιότητα της υπηρεσίας (Quality of Services, QoS):

Η τεχνολογία NB – IoT χρησιμοποιεί αδειοδοτημένο φάσμα και συγχρονισμένο πρωτόκολλο που έχει βάση το LTE και είναι βέλτιστο για QoS. Αντίθετα, το LoRa χρησιμοποιεί μη αδειοδοτημένο φάσμα και μη συγχρονισμένα πρωτόκολλα επικοινωνίας που δημιουργούν πολλαπλές διαδρομές και σε καμία περίπτωση δεν προσφέρει το ίδιο QoS που προσφέρεται από το NB-IoT. Το NB-IoT συνίσταται για εφαρμογές IoT που χρειάζονται δυνατή ποιότητα υπηρεσίας [39].

3) Επεκτασιμότητα & Μήκος ωφέλιμου φορτίου:

Η υποστήριξη τεράστιου αριθμού συσκευών είναι ένα από τα βασικά χαρακτηριστικά των τεχνολογιών LoRa και NB-IoT. Αυτές οι τεχνολογίες απαιτούν αυξανόμενο αριθμό και πυκνότητα των συνδεδεμένων συσκευών και αξιοποιούν τεχνικές όπως η αποτελεσματική εκμετάλλευση της τεχνικής του διαφορισμού σε ένα κανάλι τόσο στο χρόνο όσο και στο χώρο. Το NB-IoT προσφέρει πολύ υψηλή επεκτασιμότητας και έτσι επιτυγχάνεται συνδεσιμότητα τελικών συσκευών 55K – 100K ανά κυψέλη.

Η τεχνολογία NB-IoT προσφέρει μέγιστο μήκος ωφέλιμου φορτίου επιτυγχάνοντας μετάδοση δεδομένων μέχρι 1600 bytes ενώ η τεχνολογία LoRa επιτρέπει την αποστολή έως και 243 bytes δεδομένων [39].

4) Κάλυψη & Εμβέλεια δικτύου:

Η τεχνολογία LoRa έχει το πλεονέκτημα της εμβέλειας 5Km σε αστικές περιοχές και 15Km σε αγροτικές περιοχές και απαιτεί την εγκατάσταση τριών σταθμών βάσης ώστε να καλύψει μια ολόκληρη πόλη όπως τη Βαρκελώνη. Αντίθετα, το NB-IoT δεν έχει μεγάλη εμβέλεια και κάλυψης, 1 Km σε αστικές περιοχές και 10 Km σε αγροτικές περιοχές. Επικεντρώνεται κυρίως στην κατηγορία των συσκευών, που είναι εγκατεστημένες σε μέρη μακριά από την τυπική εμβέλεια των κυψελοειδών δικτύων

(π.χ. βαθιά εσωτερικούς χώρους), προσφέροντας τη δυνατότητα ανάπτυξης νέων περιπτώσεων χρήσης.

Η ανάπτυξη του NB-IoT περιορίζεται από την ύπαρξη σταθμών βάσης LTE και έτσι δεν είναι κατάλληλο για αγροτικές ή προαστιακές περιοχές οι οποίες δεν επωφελούνται από κάλυψη LTE [39].

5) Μοντέλο ανάπτυξης:

Οι προδιαγραφές της τεχνολογίας NB-IoT κυκλοφόρησαν τον Αύγουστο του 2016, επομένως θα χρειαστεί πρόσθετος χρόνος για τη δημιουργία και την ανάπτυξη του δικτύου. Η τεχνολογία LoRa βρίσκεται υπό εμπορική εκμετάλλευση σε 42 χώρες παρόλα αυτά οι παγκόσμιες αναπτύξεις του LoRa βρίσκονται ακόμη υπό εξέλιξη.

Ακόμα, ένα ακόμη σημαντικό πλεονέκτημα του οικοσυστήματος LoRa είναι η ευελιξία του. Σε αντίθεση με το NB-IoT, το LoRa προσφέρει τοπική ανάπτυξη δικτύου καθώς και λειτουργία δημόσιου δικτύου. Στο βιομηχανικό τομέα ένα υβριδικό λειτουργικό μοντέλο θα μπορούσε να αξιοποιηθεί για την ανάπτυξη ενός τοπικού δικτύου LoRa για περιοχές εντός εργοστασίου και ενός δημόσιου δικτύου LoRa ώστε να καλύψει τις εξωτερικές περιοχές [39].

6) Κόστος:

Πρέπει να λαμβάνονται υπόψιν διάφορες πτυχές κόστους, όπως το κόστος του φάσματος (άδεια χρήσης), το κόστος ανάπτυξης δικτύου και το κόστος συσκευής. Ο Πίνακας 5 παρουσιάζει το κόστος των LoRa και NB-IoT. Το LoRa είναι πιο οικονομικά αποδοτικό σε σχέση με το NB-IoT [39].

	Spectrum cost	Deployment cost	End-device cost
LoRa	Free	>100€/gateway >1000€/base station	3–5€
NB-IoT	>500 M€ /MHz	>15 000€/base station	>20€

Πίνακας 5: Τα κόστη των LoRa & NB – IoT τεχνολογιών [39]

5.2 SWOT Analysis των NB – IoT & LoRa τεχνολογιών

Αφού έχουν αναλυθεί και συγκριθεί οι δύο τεχνολογίες LPWAN, δηλαδή η NB – IoT και η LoRa, παρακάτω παρουσιάζεται η SWOT Analysis των 2 τεχνολογιών αυτών.

<p style="text-align: center;"><u>STRENGTHS</u></p> <ol style="list-style-type: none">1) Υψηλή κάλυψη2) Οικονομικές τερματικές συσκευές3) Δυνατότητα ανάπτυξης ιδιωτικού δικτύου4) Μεγάλη διάρκεια μπαταρίας έως και 10 χρόνια5) Χαμηλή κατανάλωση τελικών συσκευών6) Χαμηλή πολυπλοκότητα τελικών συσκευών	<p style="text-align: center;"><u>WEAKS</u></p> <ol style="list-style-type: none">1) Θέματα ασφάλειας2) DoS επιθέσεις3) Χαμηλή επεκτασιμότητα σε DL4) Πολλές εσωτερικές ή μη εμπορικές λύσεις απαιτούν χαμηλή εμβέλεια κάλυψης5) Η ασφάλεια των εφαρμογών τερματίζονται σε διαφορετικά σημεία του δικτύου
<p style="text-align: center;"><u>OPPORTUNITIES</u></p> <ol style="list-style-type: none">1) Ανάπτυξη σε πολλές περιοχές σε όλον το κόσμο2) Η κατανάλωση ενέργειας μπορεί να μειωθεί περεταίρω με την τροποποίηση του σχεδίου επικοινωνίας DL3) Η ανάγκη για λύσεις έξυπνων πόλεων που χρησιμοποιούν το διαδίκτυο αυξάνεται, ειδικά στον κλάδο της βιομηχανίας και της ενέργειας.	<p style="text-align: center;"><u>THREATS</u></p> <ol style="list-style-type: none">1) Υπάρχουν και άλλες πιο ισχυρές LPWAN τεχνολογίες όπως SigFox, NB - IoT2) Ζητήματα λόγω της έλλειψης από τις περιοδικές ενημερώσεις των IoT συσκευών

Πίνακας 6: SWOT Analysis LoRa τεχνολογίας

Παρόλο τα δυνατά σημεία που έχει το LoRa αλλά και τις ευκαιρίες οι οποίες έχουν αναλυθεί παραπάνω, υπάρχουν και αδυναμίες αλλά και κάποιους κινδύνους που εγκυμονεί η τεχνολογία αυτή. Κύριο θέμα, είναι τα θέματα ασφαλείας, λόγω του ότι πρόκειται για να ένα μη αδειοδοτούμενο φάσμα και έτσι οι εφαρμογές δεν είναι ασφαλείς και υπάρχει ο κίνδυνος να παραβιαστούν πολύ εύκολα. Ακόμα, σίγουρα υπάρχουν και άλλες LPWAN τεχνολογίες πιο ισχυρές όπως η SigFox αλλά και η NB – IoT.

Στη συνέχεια, απεικονίζεται η SWOT Analysis της τεχνολογίας NB – IoT:

<p style="text-align: center;"><u>STRENGTHS</u></p> <p>1) Χρησιμοποιεί την υπάρχουσα δομή κυψελοειδούς δικτύου 2) Μεγάλο εύρος 3) Υψηλά πρωτόκολλα ασφαλείας 4) Μικρή κατανάλωση για υποστήριξη αυτόνομων αισθητήρων</p>	<p style="text-align: center;"><u>WEAKS</u></p> <p>1) Ακριβά hardware τελικού χρήστη 2) Δεν είναι για μικρή κλίμακας ανάπτυξης 3) Υψηλή καθυστέρηση</p>
<p style="text-align: center;"><u>OPPORTUNITIES</u></p> <p>1) Πρόκειται για μια λύση όσον αφορά τις έξυπνες πόλεις 2) Κατάλληλη για ανάπτυξη σε πυκνοκατοικημένα περιβάλλοντα</p>	<p style="text-align: center;"><u>THREATS</u></p> <p>1) Το NB - IoT δεν είναι κατάλληλη τεχνολογία για προαστιακή ανάπτυξη</p>

Πίνακας 7: SWOT Analysis NB – IoT τεχνολογίας

Παρατηρείται ότι η NB – IoT, πέρα από την ασφάλεια που παρέχει λόγω του ότι διαθέτει υψηλά πρωτόκολλα ασφαλείας και έχει μεγάλο εύρος και αυτή η τεχνολογία έχει κάποιες αδυναμίες όπως είναι το ακριβό κόστος αλλά και η μεγάλη καθυστέρηση που ενδέχεται να υπάρχει.

5.3 Παραδείγματα εφαρμογών των NB – IoT & LoRa

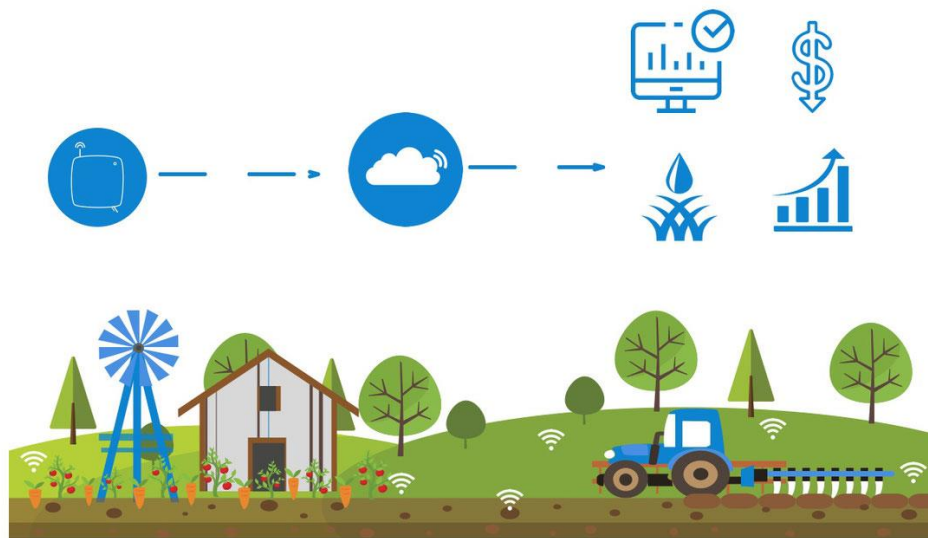
Οι παράγοντες IoT και οι τεχνικές διαφορές των LoRa και NB-IoT θα καθορίσουν τη σκοπιμότητά τους για ειδικές εφαρμογές. Μια τεχνολογία δεν μπορεί να εξυπηρετήσει εξίσου όλες τις εφαρμογές IoT. Σε αυτήν την υποενοότητα αναλύονται διάφορες περιπτώσεις χρήσης εφαρμογών και προτάσσονται οι καλύτερες τεχνολογικές επιλογές [39].

5.3.1 Μέτρηση κατανάλωσης Ηλεκτρικού ρεύματος

Στην αγορά ηλεκτρικών μετρητών, οι επιχειρήσεις απαιτούν συνήθως συχνή επικοινωνία, χαμηλή καθυστέρηση μετάδοσης και υψηλό ρυθμό μετάδοσης δεδομένων. Δεν απαιτούν χαμηλή κατανάλωση ενέργειας ούτε μεγάλη διάρκεια ζωής της μπαταρίας, καθώς οι ηλεκτρικοί μετρητές έχουν τη δυνατότητα σύνδεσης με ηλεκτρικό ρεύμα. Ακόμα, οι φορείς εκμετάλλευσης χρειάζονται παρακολούθηση δικτύου σε πραγματικό χρόνο, για να λαμβάνουν άμεσα αποφάσεις (π.χ. φορτίο και διακοπές). Έτσι λοιπόν, οι ηλεκτρικοί μετρητές μπορούν να ρυθμιστούν με τη χρήση της κλάσης Γ LoRa ώστε να εξασφαλιστεί πολύ χαμηλή καθυστέρηση μεταφοράς δεδομένων. Το NB-IoT ταιριάζει καλύτερα για αυτήν την εφαρμογή εξαιτίας του απαιτούμενου υψηλού ρυθμού μετάδοσης δεδομένων και της συχνής επικοινωνίας. Επιπρόσθετα, οι ηλεκτρικοί μετρητές βρίσκονται συνήθως σε στάσιμες θέσεις σε πυκνοκατοικημένες περιοχές, άρα είναι εύκολο να εξασφαλιστεί η κάλυψη NB-IoT [39].

5.3.2 Έξυπνη καλλιέργεια

Στη γεωργία απαιτείται η μεγάλη διάρκεια ζωής των αισθητήρων. Οι αισθητήρες θερμοκρασίας, υγρασίας και αλκαλικότητας μπορούν να μειώσουν αισθητά την κατανάλωση νερού καθώς και να βελτιώσουν την απόδοση. Οι συσκευές ανανεώνουν δεδομένα, που ανιχνεύονται μερικές φορές την ώρα, καθώς οι συνθήκες περιβάλλοντος δεν έχουν αλλάξει ριζικά. Έτσι, η τεχνολογία LoRa είναι ιδανικό για αυτήν την εφαρμογή. Ακόμα, πολλά αγροκτήματα σήμερα δε διαθέτουν κυψελοειδή κάλυψη LTE έτσι το NB-IoT δεν είναι η λύση για τη γεωργία στο μέλλον [39].



Εικόνα 31: Smart farming με LoRa [55]

5.3.3 Αυτοματοποίηση Βιομηχανίας

Η παρακολούθηση μηχανημάτων σε πραγματικό χρόνο εμποδίζει τη μείωση της βιομηχανικής γραμμής παραγωγής και επιτρέπει την αύξηση της αποτελεσματικότητας μέσω του απομακρυσμένου ελέγχου. Στον αυτοματισμό του εργοστασίου υπάρχουν διάφοροι τύποι αισθητήρων και απαιτήσεις επικοινωνίας. Κάποιες εφαρμογές απαιτούν συχνή επικοινωνία και υπηρεσία υψηλής ποιότητας έτσι το NB-IoT είναι μια καλύτερη λύση. Άλλες εφαρμογές απαιτούν αισθητήρες χαμηλού κόστους και μεγάλη διάρκεια ζωής της μπαταρίας άρα το LoRa αποτελεί επίσης μια καλή λύση. Εξαιτίας των διάφορων απαιτήσεων θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν και υβριδικές λύσεις [39].

5.3.4 Έξυπνο κτήριο

Οι αισθητήρες θερμοκρασίας, υγρασίας, ασφάλειας και ηλεκτρικών βυσμάτων προειδοποιούν τους διαχειριστές ακινήτων για την αποφυγή ζημιών και την άμεση απόκριση σε αιτήματα δίχως να απαιτείται η χειροκίνητη παρακολούθηση κτηρίου. Ο καθαρισμός και η χρήση των κτιρίων θα μπορούσαν επίσης να γίνουν πιο

αποτελεσματικά. Αυτοί οι αισθητήρες απαιτούν χαμηλό κόστος και μεγάλη διάρκεια ζωής της μπαταρίας. Δεν απαιτούν ποιότητα υπηρεσίας ή συχνή επικοινωνία, επομένως το LoRa είναι καλά προσαρμοσμένο σε αυτήν την κατηγορία εφαρμογών [39].



Εικόνα 32: Έξυπνο κτήριο [56]

5.3.5 Τερματικοί σταθμοί λιανικής πώλησης

Τα συστήματα σημείων πώλησης απαιτούν εγγυημένη ποιότητα εξυπηρέτησης αφού χειρίζονται συχνές επικοινωνίες. Αυτά τα συστήματα έχουν συνεχή πηγή ηλεκτρικής ενέργειας άρα δεν υπάρχει περιορισμός στη διάρκεια ζωής της μπαταρίας. Υπάρχει ακόμα μια ισχυρή απαίτηση για χαμηλή καθυστέρηση στη μεταφορά των δεδομένων, για παράδειγμα μεγάλες καθυστερήσεις περιορίζουν τον αριθμό των συναλλαγών, που μπορεί να κάνει ένα κατάστημα. Επομένως, το NB-IoT προτείνεται για αυτήν την εφαρμογή [39].

5.3.6 Παρακολούθηση παλετών για εφοδιαστική αλυσίδα

Η παρακολούθηση των παλετών για τον προσδιορισμό της θέσης και της κατάστασης των εμπορευμάτων είναι ιδιαίτερα επιθυμητή στην εφοδιαστική αλυσίδα. Σε αυτή την εφαρμογή οι απαιτήσεις αφορούν το κόστος συσκευής και επίσης τη διάρκεια

ζωής της μπαταρίας. Η παρακολούθηση παλετών αποτελεί καλό παράδειγμα ανάπτυξης υβριδικής λύσης. Οι εταιρείες εφοδιασμού μπορούν να έχουν το δικό τους δίκτυο για να έχουν εγγυημένη κάλυψη στις εγκαταστάσεις τους. Οι συσκευές IoT χαμηλού κόστους για οχήματα θα μπορούσαν εύκολα να αναπτυχθούν. Οι δημόσιοι σταθμοί βάσης LoRa μπορούν να χρησιμοποιηθούν όταν τα οχήματα βρίσκονται εκτός των εγκαταστάσεων ή όταν τα εμπορεύματα φθάνουν σε τοποθεσίες πελατών και επίσης το LoRa επιτρέπει πιο αξιόπιστες επικοινωνίες. Για το NB-IoT, το δίκτυο LTE ενδέχεται να μην είναι διαθέσιμο σε όλες τις περιοχές, συνήθως σε αγροτικές περιοχές. Λόγω του χαμηλού κόστους, της μεγάλης διάρκειας ζωής της μπαταρίας και των αξιόπιστων κινητών επικοινωνιών, το LoRa είναι καλύτερη λύση για αυτήν την εφαρμογή [39].

6. Αξιοποίηση NB-IoT στην Ελλάδα από τηλεπικοινωνιακούς παρόχους

6.1 NB – IoT εφαρμογή Vodafone για παρακολούθηση κυψελών μελισσών εξ αποστάσεως

Η Vodafone Ελλάδας στο 19ο Infocom World Congress παρουσίασε την πρώτη εφαρμογή NarrowBand-IoT (NB-IoT) που αναπτύχθηκε στην Ελλάδα και χρησιμοποιεί το δίκτυο της Vodafone. Η NB-IoT εφαρμογή αναπτύχθηκε από τη Zelitron η οποία είναι θυγατρική της Vodafone Ελλάδας και συμβάλει στην παρακολούθηση κυψελών μελισσών από απόσταση.

Με την συγκεκριμένη εφαρμογή είναι εφικτή η απομακρυσμένη διαχείριση της κυψέλης προσφέροντας στους μελισσοκόμους όλα τα βασικά εργαλεία και δεδομένα ώστε να εξοικονομήσουν πόρους και χρόνο και να μειωθεί η ανάγκη των μετακινήσεων τους εξασφαλίζοντας καλύτερη ποιότητα ζωής.

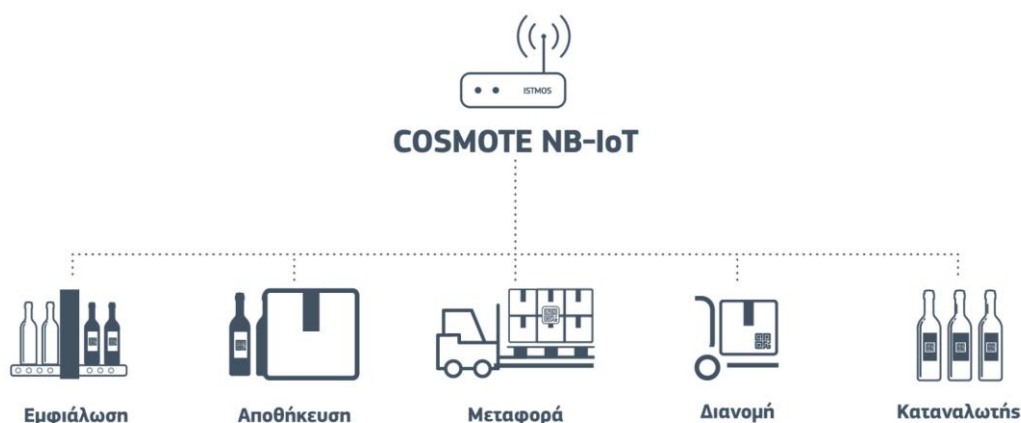
Ο χρήστης – παραγωγός αξιοποιώντας την τεχνολογία NB-IoT και μέσω ενός εύχρηστου και πολυχρηστικού web portal παρακολουθεί εξ αποστάσεως την υγρασία, την εσωτερική και εξωτερική θερμοκρασία και του βάρους οποιασδήποτε κυψέλης που έχει στο πεδίο, ελέγχοντας την κατάστασή τους και την παραγωγή μελιού από τις μέλισσες και γνωρίζει τις τάσεις παραγωγής.

Ο εξοπλισμός μέτρησης παρέχει στον χρήστη τη δυνατότητα ανίχνευσης και εντοπισμού της κυψέλης, ενώ αν μια κυψέλη μετακινηθεί, ανοιχτεί ή φτάσει το βάρος στο οποίο πρέπει να συλλεχθεί το μέλι, τον ειδοποιεί. Ο NB-IoT τερματικός εξοπλισμός της κυψέλης αναπτύχθηκε στην Ελλάδα και χρησιμοποιείται πειραματικά [11].

6.2 NB – IoT εφαρμογή Cosmote για τη διασφάλιση της ποιότητας του κρασιού

Η πιλοτική εφαρμογή “Smart Wine” υλοποιήθηκε από την COSMOTE σε συνεργασία με το οινοποιείο Κυρ-Γιάννη στη Νάουσα και αξιοποιώντας την τεχνολογία Narrow-Band Internet of Things (NB-IoT) διασφαλίζει τις συνθήκες ποιότητας του κρασιού σε κάθε βήμα της πορείας του μέχρι τον καταναλωτή.

Η εφαρμογή Smart Wine επιτρέπει την παρακολούθηση των συνθηκών ολόκληρης της διαδρομής του κρασιού, από τον παραγωγό, στο διανομέα, μέχρι τον τελικό καταναλωτή. Ειδικοί αισθητήρες καταγράφουν σε πραγματικό χρόνο τη θερμοκρασία, την υγρασία και τη φωτεινότητα στο οινοποιείο, άλλοι αισθητήρες καταγράφουν τις συνθήκες στην αποθήκη του διανομέα και σε εστιατόριο, ενώ κάποιοι άλλοι αισθητήρες παρακολουθούν τη μεταφορά του κρασιού. Όλα τα δεδομένα συγκεντρώνονται μέσω του δικτύου NB-IoT COSMOTE σε ειδική cloud εφαρμογή. Η εφαρμογή η οποία στηρίζεται στη λύση ISTMOS της ελληνικής εταιρείας ASN υλοποιείται στο πλαίσιο της πρωτοβουλίας WARP-NB-IoT του hub:raum της DeutscheTelekom[12].



Εικόνα 33: «Smart Wine» εφαρμογή Cosmote [12]

6.3 NB – IoT εφαρμογή Cosmote για υπηρεσίες Έξυπνου Φωτισμού, Έξυπνης Στάθμευσης και Έξυπνη Διαχείριση Υδάτων

Την πρώτη εφαρμογή της τεχνολογίας Narrow-Band Internet of Things (NB-IoT) στην Ελλάδα και από τις πρώτες στην Ευρώπη, υλοποίησε η COSMOTE σε συνεργασία με το Δήμο Πάτρας υλοποιεί στην Πάτρα την εφαρμογή για τις υπηρεσίες υπηρεσίες Έξυπνης Στάθμευσης και Έξυπνου Φωτισμού αξιοποιώντας την εφαρμογή NB-IoT.

Στο πλαίσιο της εφαρμογής αυτής τοποθετήθηκαν ειδικοί αισθητήρες Έξυπνης Στάθμευσης σε θέσεις του Δήμου καθώς και αισθητήρες Έξυπνου Φωτισμού. Έτσι λοιπόν, οι οδηγοί θα ενημερώνονται για το πού υπάρχουν ελεύθερες θέσεις στάθμευσης και πώς θα κατευθυνθούν εκεί χρησιμοποιώντας το ειδικό mobile application. Τα συστήματα Έξυπνου Φωτισμού θα προσαρμόζουν το φωτισμό σε διαφορετικά επίπεδα έντασης και αυτό θα εξαρτάται από παράγοντες όπως η εποχή και η ώρα της ημέρας μειώνοντας αισθητά με αυτόν τον τρόπο την κατανάλωση ενέργειας [13].

Ακόμα, η COSMOTE αξιοποιώντας την τεχνολογία NB-IoT στο Δήμο Μονεμβασιάς υλοποιώντας το έργο έξυπνης διαχείρισης του νερού. Έτσι λοιπόν, εγκαταστάθηκαν αισθητήρες, μετρητές και ελεγκτές πίεσης στο δίκτυο ύδρευσης για την αποτελεσματικότερη διαχείριση των υδάτινων πόρων και του δήμου αλλά και της χώρας. Η Έξυπνη Διαχείριση Υδάτων έχει ως στόχο τη σταθεροποίηση της πίεσης του νερού, τη μέτρηση της ποιότητάς του, τη ανίχνευση διαρροών και παράνομων συνδέσεων, καθώς επίσης και τη μείωση της ενεργειακής κατανάλωσης [15].

6.4 COSMOTE Asset Tracker

Αξιοποιώντας την τεχνολογία NarrowBand Internet of Things (NB-IoT), η υπηρεσία COSMOTE Asset Tracker οι επαγγελματίες μπορούν:

- να ελέγχουν καθώς και να παρακολουθούν τη θέση των περιουσιακών τους στοιχείων.

- να ενημερώνονται για τις συνθήκες του περιβάλλοντος όπως τη θερμοκρασία, υγρασία, βαρομετρική πίεση και έκθεση στο ηλιακό φως.
- να προστατεύουν αποτελεσματικότερα τα προϊόντα της επιχείρησής τους από ενδεχόμενες φθορές ή μη εξουσιοδοτημένη χρήση.

Ένα πλεονέκτημα της υπηρεσίας είναι ότι, με την τεχνολογία NB-IoT, έχει πολύ χαμηλή κατανάλωση ενέργειας, δίνοντας μεγάλη αυτονομία μπαταρίας στους αισθητήρες που τοποθετούνται στα πάγια στοιχεία.

Για τη λειτουργία της υπηρεσίας απαιτείται η τοποθέτηση συσκευών GPS με ενσωματωμένους αισθητήρες. Οι συσκευές είναι όσον αφορά το μέγεθος μικρές και η εγκατάστασή τους είναι εύκολη. Η διαχείριση των εταιρικών περιουσιακών στοιχείων γίνεται εξ αποστάσεως μέσω εφαρμογής για φορητές συσκευές ή ειδικού portal για υπολογιστές [14].

6.5 Smart University Campus στην Ξάνθη

Η Cosmote αξιοποιώντας την τεχνολογία NB-IoT υλοποίησε σε συνεργασία με το Δημοκρίτειο Πανεπιστήμιο Θράκης (Δ.Π.Θ.) την έξυπνη πανεπιστημιούπολη καθώς και τις έξυπνες εφαρμογές παρακολούθησης της ποιότητας της ατμόσφαιρας και του νερού, αλλά και διαχείρισης του φωτισμού και του πετρελαίου θέρμανσης της πανεπιστημιούπολης.

Στο πλαίσιο της πιλοτικής εφαρμογής “Smart University Campus” τοποθετήθηκε στην πανεπιστημιούπολη του Δ.Π.Θ. ειδικός αισθητήρας μέτρησης της ποιότητας ατμόσφαιρας “Air Quality Monitoring” ο οποίος μετρά θερμοκρασία, υγρασία, πίεση καθώς και διάφορα αέρια και μικροσωματίδια και προσφέρει τη δυνατότητα καλύτερης σχεδίασης και ανάληψης κατάλληλων δράσεων για τη μείωση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης.

Για την εφαρμογή “Smart Fuel Tank Management” εγκαταστάθηκε συσκευή μέτρησης της στάθμης του πετρελαίου θέρμανσης που στοχεύει στην αποφυγή

υπερκατανάλωσης, την αποτροπή κλοπής καυσίμων και την αποτίμηση τιμολογίων. Η εφαρμογή αυτή στηρίζεται στη λύση της ελληνικής εταιρείας Fuelics και υλοποιείται σε συνεργασία με την Ericsson.

Ακόμα, έγινε εγκατάσταση της “Water Quality Measurement” η οποία βοηθά στη διασφάλιση της ποιότητας του πόσιμου νερού των φοιτητών της Πανεπιστημιούπολης και υλοποιήθηκε σε συνεργασία με την ελληνική εταιρεία Wings.

Επιπρόσθετα, η εγκατάσταση της εφαρμογής “Smart Lighting” βοηθά στην προσαρμογή του φωτισμού σε διαφορετικά επίπεδα έντασης ανάλογα με την εποχή και την ώρα της ημέρας, μειώνοντας σημαντικά την κατανάλωση ενέργειας.

Το πιλοτικό έργο υλοποιήθηκε με τη συμβολή της hub:raum της Deutsche Telekom, ενώ όλες οι εφαρμογές αξιοποιούν το δίκτυο NB-IoT COSMOTE για τη μεταφορά δεδομένων και την επικοινωνία μεταξύ συσκευών [16].

7. Συμπεράσματα

Το Διαδίκτυο Πραγμάτων θα βοηθήσει αρκετά στις ζωές των ανθρώπων, γιατί δεν θα χρειάζεται πολύ ανθρώπινη εργασία, αλλά τη δουλειά αυτή θα αναλαμβάνουν οι έξυπνες συσκευές. Πρόκειται για ένα δίκτυο συσκευών που ανταλλάσσουν μεταξύ τους δεδομένα με σκοπό την παροχή υπηρεσιών είτε σε ανθρώπους είτε σε επιχειρήσεις. Το IoT μπορεί να εφαρμοστεί είτε στην υγεία, είτε στην πολιτεία, είτε και στον κλάδο της βιομηχανίας.

Για την υλοποίηση του IoT οι τεχνολογίες LPWAN μπορούν να συνδράμουν στο έργο αυτό γιατί παρέχουν μεγάλη εμβέλεια, χαμηλή κατανάλωση ενέργειας, χαμηλό κόστος αλλά και χαμηλή απόδοση σε ότι αφορά το ρυθμό μετάδοσης δεδομένων. Οι τεχνολογίες αυτές χωρίζονται σε αυτές που θέλουν άδεια και σε αυτές που δεν χρειάζεται άδεια για το φάσμα τους. Στις έξυπνες πόλεις μπορούν να αξιοποιηθούν οι τεχνολογίες αυτές (π.χ LoRa, NB – IoT, SigFox, LTE-M) για να διευκολυνθεί η ζωή των ανθρώπων και της πολιτείας. Συγκεκριμένα στην παρούσα εργασία συγκρίνονται μεταξύ τους οι τεχνολογίες NB – IoT και LoRa, που η πρώτη έχει πιο ακριβές συσκευές όμως η δεύτερη είναι πιο οικονομική. Παρόλα αυτά όμως, οι τεχνολογίες αυτές εγκυμονούν και κινδύνους ασφαλείας. Στην Ελλάδα έξυπνες πόλεις έχουν γίνει κυρίως στα Τρίκαλα, στην Καλαμάτα, στη Χαλκίδα, και στο Ηράκλειο Κρήτης.

Τέλος, όσον αφορά τις τεχνολογίες LPWAN, έχουν αξιοποιηθεί και από τηλεπικοινωνιακούς πάροχους με σκοπό τη βελτίωση της ζωής αλλά και της ανθρώπινης εργασίας. Δηλαδή, μια δουλειά μπορεί να γίνει πιο γρήγορα και να εξοικονομηθεί χρόνος και χρήματα. Πιο συγκεκριμένα, παρατηρείται ότι από τις εταιρείες τηλεπικοινωνιών χρησιμοποιείται η τεχνολογία NB – IoT επειδή προσφέρει μεγαλύτερη ασφάλεια κατά τη μεταφορά δεδομένων και δε μπορούν εύκολα να παραβιαστούν τα προσωπικά δεδομένα.

Βιβλιογραφία

- [1] Rose, K., Eldridge, S., & Chapin, L. (2015). The internet of things: An overview. The Internet Society (ISOC)
- [2] Mehmood, Y., Ahmad, F., Yaqoob, I., Adnane, A., Imran, M., & Guizani, S. (2017). Internet-of-thingsbased smart cities: Recent advances and challenges. IEEE Communications Magazine, 55
- [3] Patel, K. K., & Patel, S. M. (2016). Internet of things-IOT: definition, characteristics, architecture, enabling technologies, application & future challenges. Int. J. Eng. Sci. Comput
- [4] <https://e27.co/advantages-disadvantages-internet-things-20160615/>
- [5] Patel et al., 2016
- [6] Raza, U., Kulkarni, P., & Sooriyabandara, M. (2017). Low Power Wide Area Networks: An Overview. IEEE Communications Surveys & Tutorials
- [7] Isaac Brown, "A Detailed Breakdown of LPWAN Technologies and Providers"; http://web.luxresearchinc.com/hubfs/Insight_Breakdown_of_LPWAN_Technologies.pdf
- [8] <https://www.thethingsnetwork.org/docs/lorawan/frequency-plans.html>
- [9] <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2405959517300061?via%3Dihub>
- [10] https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01901612/file/LARGE_bf_Internet_of_Mobile_Things_Overview_of_LoRaWAN_DASH7_and_NB_IoT_in_LPWANs_standards_and_Supported_Mobility.pdf
- [11] <https://www.naftemporiki.gr/finance/story/1288881/i-proti-efarmogi-nb-iot-stin-ellada-apo-ti-vodafone>
- [12] https://www.cosmote.gr/cs/business/gr/new_smart_wine.html
- [13] <https://www.capital.gr/market-news/3202838/cosmote-to-mellon-ton-exupnon-poleon-pilotika-stin-patra>
- [14] <https://www.naftemporiki.gr/story/1615629/lusi-apomakrusmenis-diaxeirisis-eksoplismou-epixeiriseon-meso-diktuou-nb-iot-apo-tin-cosmote>
- [15] <https://www.capital.gr/technology/3483171/cosmote-i-texnologia-summaxos-gia-na-ginoun-oi-poleis-mas-pio-filikes-kai-anthropines>
- [16] <https://gr.ign.com/smash-season-1/52258/news/pilotiko-smart-university-campus-sten-ksanthe>
- [17] <https://www.everythingrf.com/community/what-is-lte-cat-m1>
- [18] Raza, U., Kulkarni, P., & Sooriyabandara, M. (2017). Low power wide area networks: An overview. IEEE Communications Surveys & Tutorials

- [19] Ayoub, W., Samhat, A. E., Nouvel, F., Mroue, M., & Prévotet, J. C. (2018). Internet of Mobile Things: Overview of LoRaWAN, DASH7, and NB-IoT in LPWANs standards and Supported Mobility. IEEE Communications Surveys & Tutorials
- [20] Niemelä, P. (2018). Narrowband LTE in Machine to Machine Satellite Communication
- [21] Ghosh & Mahesh, 2015
- [22] Ambrosino, 2015
- [23] Lappé, 2015
- [24] Manville et al., 2014
- [25] http://www.smart-cities.eu/download/smart_cities_final_report.pdf
- [26] Κομνηνός, Ν. (2006) “Εξυπνες Πόλεις”: Συστήματα Καινοτομίας και Τεχνολογίες Πληροφορίας στην Ανάπτυξη των Πόλεων’, Περιοδικό Αρχιτέκτονες, τόμος 60 , σσ. 72-75
- [27] Komninos, N. (2006) ‘The Architecture of Intelligent Cities’, Intelligent Environments 06, Institution of Engineering and Technology, pp. 53-61
- [28] Getting smarter about smart cities: Improving data privacy and data security <http://eprints.maynoothuniversity.ie/7242/1/Smart>
- [29] <https://www.enisa.europa.eu/publications/smart-cities-architecture-model>
- [30] <http://www.kathimerini.gr/853069/article/epikairothta/ellada/sta-trikala-h-pio-epityxhmenh-ston-kosmo-pilotikh-xrhsh-lewforeiwn-xwris-odhgo>
- [31] <https://gr.euronews.com/2015/10/20/driverless-bus-pilot-hopes-to-revolutionise-mass-transport-in-europe>
- [32] <http://www.imerisia.gr/article.asp?catid=26510&subid=2&pubid=113768370>
- [33] <http://www.e-trikala.gr/portfolio/telecare/?id=1012>
- [34] <https://www.digitallytransformyourregion.eu/trikala-become-first-greek-city-5g-technology>
- [35] <https://cordis.europa.eu/article/id/413531-unleashing-the-full-potential-of-smart-agriculture>
- [36] <https://koumoundourosvoice.gr/2016/11/19/i-chalkida-ginete-i-proti-exipni-poli-tis-elladas/>
- [37] <http://www.netweek.gr/default.asp?pid=9&la=1&cID=6&arId=35603>
- [38] <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2405959517302953#tbl1>
- [39] https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01901612/file/LARGE_bf_Internet_of_Mobile_Things_Overview_of_LoRaWAN_DASH7_and_NB_IoT_in_LPWANs_standards_and_Supported_Mobility.pdf
- [40] <https://www.gsma.com/iot/deployment-map/>

- [41] <https://www.sigfox.com/en/coverage>
- [42] <https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/de/Documents/technology/Connectivity-in-IoT-deployments-Deloitte.pdf>
- [43] <https://www.bluetooth.com/>
- [44] https://www.flaticon.com/free-icon/wifi-logo_16815
- [45] <https://seeklogo.com/vector-logo/274115/z-wave>
- [46] <https://zigbeealliance.org/news-and-articles/zigbee-leads-the-wireless-mesh-sensor-network-market/>
- [47] https://commons.wikimedia.org/wiki/File:NFC_logo.svg
- [48] <https://www.iot-now.com/2014/09/22/25401-new-weightless-n-iot-standard-launches/weightless-logo-v1/>
- [49] <https://en.wikipedia.org/wiki/Ingenu>
- [50] <https://www.uei.com/iot-lora-alliance-logo-svg/>
- [51] <https://www.sigfox.com/en>
- [52] <https://zenseio.com/smart-ag-products-cellular>
- [53] <https://www.libelium.com/libeliumworld/libelium-and-ericsson-launch-first-nb-iot-developer-kits/>
- [54] <https://www.arcweb.com/industries/smart-cities>
- [55] <https://www.thethingsnetwork.org/marketplace/solution/the-things-industries-agriculture-precision-farming>
- [56] <https://gr.mouser.com/new/infineon/infineon-smart-building-solutions/>