



**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ**  
**ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ**  
**ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ & ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ**

## **Διπλωματική Εργασία**

**Ανάπτυξη διάταξης πυρανίχνευσης βασισμένης σε LPWAN δίκτυα και  
τεχνολογίες IoT**

**Φοιτητής: Γκράσου Μαριάν-Γκαμπριέλ**  
**ΑΜ: 06669**

**Επιβλέπων Καθηγητής**

**Παπαγέωργας Παναγιώτης**  
**Καθηγητής**

**ΑΘΗΝΑ-ΑΙΓΑΛΕΩ, ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ 2023**

*ΠΑΔΑ, Τμήμα Η&ΗΜ, Διπλωματική Εργασία, Γκράσου Μαριάν-Γκαμπριέλ*

*Ανάπτυξη διάταξης πυρανίχνευσης βασισμένης σε LPWAN δίκτυα και τεχνολογίες IoT*



**UNIVERSITY OF WEST ATTICA  
FACULTY OF ENGINEERING  
DEPARTMENT OF ELECTRICAL & ELECTRONICS ENGINEERING**

## **Diploma Thesis**

**Development of a fire detection platform based on LPWAN networks and IoT technologies**

**Student: Grasu Marian Gabriel  
Registration Number: 06669**

## **Supervisor**


**Papageorgas Panagiotis  
Professor, University of West Attica**

**ATHENS-EGALEO, FEBRUARY 2023**

*ΠΑΔΑ, Τμήμα Η&ΗΜ, Διπλωματική Εργασία, Γκράσου Μαριάν-Γκαμπριέλ*

*Ανάπτυξη διάταξης πυρανίχνευσης βασισμένης σε LPWAN δίκτυα και τεχνολογίες IoT*

Η Διπλωματική Εργασία έγινε αποδεκτή και βαθμολογήθηκε από την εξής τριμελή επιτροπή:

Παναγιώτης Παπαγέωργας, Καθηγητής	Γεώργιος Βόκας, Καθηγητής	Δημήτριος Πυρομάλης, Επίκουρος Καθηγητής
  (Υπογραφή)	  (Υπογραφή)	  (Υπογραφή)

Copyright © Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ και (Όνοματεπώνυμο Φοιτητή/ήτριας),  
Μήνας, Έτος**

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς τους συγγραφείς.

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν τον/την συγγραφέα του και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις θέσεις του επιβλέποντος, της επιτροπής εξέτασης ή τις επίσημες θέσεις του Τμήματος και του Ιδρύματος.

**ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ**

Ο κάτωθι υπογεγραμμένος Γκράσου Μαριάν Γκαμπριέλ του Γκαμπριέλ., με αριθμό μητρώου 06669 φοιτητής του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής της Σχολής ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ του Τμήματος ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΚΑΙ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ,  
**δηλώνω υπεύθυνα ότι:**

«Είμαι συγγραφέας αυτής της διπλωματικής εργασίας και ότι κάθε βοήθεια την οποία είχα για την προετοιμασία της είναι πλήρως αναγνωρισμένη και αναφέρεται στην εργασία. Επίσης, οι όποιες πηγές από τις οποίες έκανα χρήση δεδομένων, ιδεών ή λέξεων, είτε ακριβώς είτε παραφρασμένες, αναφέρονται στο σύνολό τους, με πλήρη αναφορά στους συγγραφείς, τον εκδοτικό οίκο ή το περιοδικό, συμπεριλαμβανομένων και των πηγών που ενδεχομένως χρησιμοποιήθηκαν από το διαδίκτυο. Επίσης, βεβαιώνω ότι αυτή η εργασία έχει συγγραφεί από μένα αποκλειστικά και αποτελεί προϊόν πνευματικής ιδιοκτησίας τόσο δικής μου, όσο και του Ιδρύματος.

Παράβαση της ανωτέρω ακαδημαϊκής μου ευθύνης αποτελεί ουσιώδη λόγο για την ανάκληση του διπλώματός μου.

Ο Δηλών

Γκράσου Μαριάν Γκαμπριέλ

*ΠΑΔΑ, Τμήμα Η&ΗΜ, Διπλωματική Εργασία, Γκράσου Μαριάν-Γκαμπριέλ*

*Ανάπτυξη διάταξης πυρανίχνευσης βασισμένης σε LPWAN δίκτυα και τεχνολογίες IoT*

## **Περίληψη**

Η τεχνολογία NB-IoT (Narrow Band-Internet of Things) είναι ένας νέος τεχνικός κλάδος IoT και υποστηρίζει την σύνδεση του δικτύου δεδομένων κινητής τηλεφωνίας με μια συσκευή χαμηλής κατανάλωσης ενέργειας στο WAN (Wide Area Network) ή αλλιώς LPWAN. Ο σκοπός αυτής της διπλωματικής εργασίας είναι η κατασκευή ενός συστήματος λειτουργίας πραγματικού χρόνου για την έγκαιρη πρόληψη πυρκαγιάς σε κλειστούς χώρους χρησιμοποιώντας την NB-IoT τεχνολογία. Το σύστημα θα έχει χαμηλό κόστος, μεγάλη διάρκεια ζωής της μπαταρίας και υψηλή πυκνότητα σύνδεσης.

## **Λέξεις – κλειδιά**

LPWAN, NB-IoT, WAN, Αισθητήρας Πυρανόχνευσης

## **Abstract**

NB-IoT (Narrow Band-Internet of Things) technology is a new technical branch of IoT and supports the connection of the mobile data network to a low-power consumption device in the WAN (Wide Area Network), also known as LPWAN. The purpose of this bachelor's thesis is the construction of a real time system for the timely prevention of fire indoors using NB-IoT technology. The system will be at low cost and will have long battery life as well as high connection density.

## **Keywords**

LPWAN, NB-IoT, WAN, Fire Detection Sensor

## Περιεχόμενα

<b>Πυρκαγιά</b>	<b>10</b>
<b>Προϋποθέσεις για την κατάσβεση δασικών πυρκαγιών από ανθρώπινο δυναμικό</b>	<b>12</b>
<b>Τι λύση βρήκαν οι αρχές σε ένα χωριό της ανατολικής Ισπανίας για να αποτρέψουν τις πυρκαγιές στη βλάστηση</b>	<b>12</b>
<b>1 ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1<sup>ο</sup> : LWPAN</b>	<b>13</b>
1.1 Εισαγωγή	13
1.2 Ευφυείς εφαρμογές και υπηρεσίες	15
1.3 Απαιτήσεις εφαρμογής	16
1.4 Ασύρματη πρόσβαση	17
1.5 Χαρακτηριστικά LPWAN	20
1.6 Κάλυψη	20
1.7 Η αναγνώριση τοποθεσίας	22
1.8 Ασφάλεια και προστασία προσωπικών δεδομένων	22
1.9 Χωρητικότητα	23
1.10 Κόστος	23
1.11 Λειτουργίες χαμηλής ισχύος	24
1.12 Πρόσθετες ειδικές απαιτήσεις	25
1.13 Συνοπτικοί στόχοι και προσδοκίες LWPAN	25
<b>2 ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2<sup>ο</sup> : Σχεδιασμός και αρχιτεκτονική δικτύου για το LWPAN</b>	<b>26</b>
2.1 Σχεδιαστικά ζητήματα	27
2.2 Χωρητικότητα και συμπύκνωση	28
2.3 Λειτουργίες εξοικονόμησης ενέργειας και πηγές χαμηλής ισχύος	30
2.4 Μειωμένη πολυπλοκότητα υλικού συσκευής	32
2.5 Εύρος επιλογών λύσεων	33
2.6 Λειτουργίες, αλληλεπιδράσεις και διεργασίες	34
2.7 IoT / LWPAN	35
2.8 IoT / Συσκευή σε Συσκευή (D2D)	38
2.9 IoT / MQTT	39
<b>3 ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3<sup>ο</sup> : Τοπολογίες και αρχιτεκτονικές LWPAN</b>	<b>41</b>
3.1 Τοπολογίες LWPAN	41
3.2 Σημαντικές αρχιτεκτονικές στις τεχνολογίες LWPAN	43
<b>4 ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4<sup>ο</sup> : NB-IoT</b>	<b>45</b>
4.1 Ιστορία και πρότυπα	46

ΠΑΔΑ, Τμήμα Η&ΗΜ, Διπλωματική Εργασία, Γκράσου Μαριάν-Γκαμπριέλ

Ανάπτυξη διάταξης πυρανίχνευσης βασισμένης σε LPWAN δίκτυα και τεχνολογίες IoT

4.2	Έννοιες Narrowband-Internet of Things	47
4.3	Γενικές δυνατότητες Narrowband-Internet of Things	51
4.4	Χαμηλή κατανάλωση ενέργειας	52
4.5	Ευρεία κάλυψη	52
4.6	Υψηλή πυκνότητα σύνδεσης	53
4.7	Απόρρητο και αξιοπιστία	53
<b>5</b>	<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5<sup>ο</sup> : Βασικές θεωρίες και χαρακτηριστικά του NB-IoT</b>	<b>54</b>
5.1	Βασικές τεχνολογίες NB-IoT	54
5.2	Σηματοδότηση και δεδομένα	54
5.3	Ανάλυση σύνδεσης	55
5.4	Ανάλυση καθυστέρησης	56
5.5	Βελτίωση κάλυψης	57
<b>6</b>	<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6<sup>ο</sup> : Τεχνικές ιδιότητες Narrowband-Internet of Things</b>	<b>57</b>
6.1	Εύρος ζώνης και διαμόρφωση φάσματος	58
6.2	Τρόπος λειτουργίας	59
6.3	Τρόπος μετάδοσης	61
6.4	Δομή πλαισίου Narrowband-Internet of Things	62
6.5	Αρχιτεκτονική δικτύωσης Narrowband-Internet of Things	63
6.6	Σχετικές τεχνολογίες NB-IoT	64
<b>7</b>	<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7<sup>ο</sup> : Εφαρμογές Narrowband-Internet of Things</b>	<b>65</b>
7.1	Έξυπνο δίκτυο	66
7.2	Έξυπνες πόλεις	67
7.3	Έξυπνη βιομηχανία	69
<b>8</b>	<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8<sup>ο</sup> : Προκλήσεις ανάπτυξης στενής ζώνης στο Διαδίκτυο των πραγμάτων και λύσεις</b>	<b>70</b>
8.1	Συμπέρασμα	72
8.2	Επισκόπηση του Narrowband-IoT	73
8.3	Περιορισμοί σε σύγκριση με το LTE	74
8.4	Εκτεταμένη κάλυψη	74
8.5	Παρατεταμένη διάρκεια ζωής μπαταρίας	75
<b>9</b>	<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9<sup>ο</sup> : Ανιχνευτής φλόγας/φωτιάς</b>	<b>75</b>
<b>10</b>	<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 10<sup>ο</sup> : Κατασκευή</b>	<b>82</b>
	<b>Συμπεράσματα</b>	<b>94</b>
	<b>Βιβλιογραφία – Αναφορές - Διαδικτυακές Πηγές</b>	<b>95</b>

*ΠΑΔΑ, Τμήμα Η&ΗΜ, Διπλωματική Εργασία, Γκράσου Μαριάν-Γκαμπριέλ*

*Ανάπτυξη διάταξης πυρανίχνευσης βασισμένης σε LPWAN δίκτυα και τεχνολογίες IoT*



## Πυρκαγιά

Μια πυρκαγιά ή πυρκαγιά σε άγρια περιοχή είναι μια ανεξέλεγκτη φωτιά σε μια περιοχή εύφλεκτης βλάστησης που εμφανίζεται στην ύπαιθρο. Άλλες έννοιες όπως πυρκαγιά σε θάμνους, δασική πυρκαγιά, πυρκαγιά στην έρημο, πυρκαγιά χόρτου, πυρκαγιά σε λόφο, πυρκαγιά τύρφης και πυρκαγιά βλάστησης μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να περιγράψουν το ίδιο φαινόμενο ανάλογα με τον τύπο της βλάστησης που καίγεται. Μια πυρκαγιά διαφέρει από άλλες πυρκαγιές με βάση το εκτεταμένο μέγεθός της, την ταχύτητα με την οποία μπορεί να εξαπλωθεί από την αρχική της πηγή, τη δυνατότητά της να αλλάξει κατεύθυνση απροσδόκητα και την ικανότητά της να πηδά κενά όπως δρόμους, ποτάμια και ρήγματα. Οι πυρκαγιές χαρακτηρίζονται ως προς την αιτία της ανάφλεξης των φυσικών ιδιοτήτων της όπως η ταχύτητα διάδοσης, το εύφλεκτο υλικό που υπάρχει και την επίδραση του καιρού στη φωτιά.[1]

Οι πυρκαγιές στην Αυστραλία και στην Ελλάδα είναι σύνηθες φαινόμενο. Λόγω του γενικά ζεστού και ξηρού κλίματος, αποτελούν μεγάλο κίνδυνο για τη ζωή και τις υποδομές όλες τις εποχές του χρόνου, αν και κυρίως κατά τους θερμότερους μήνες του καλοκαιριού και της άνοιξης. Τα αρχαία απολιθωμάτων και η ανθρώπινη ιστορία περιέχουν αναφορές για πυρκαγιές, καθώς οι πυρκαγιές μπορεί να συμβαίνουν σε περιοδικά διαστήματα. Οι πυρκαγιές μπορούν να προκαλέσουν εκτεταμένες ζημιές, τόσο σε περιουσίες όσο και σε ανθρώπινες ζωές, αλλά έχουν επίσης διάφορες ευεργετικές επιπτώσεις σε περιοχές άγριας φύσης. Ορισμένα είδη φυτών εξαρτώνται από τις επιπτώσεις της φωτιάς για την ανάπτυξη και την αναπαραγωγή, αν και οι μεγάλες πυρκαγιές μπορεί επίσης να έχουν αρνητικές οικολογικές επιπτώσεις.

Οι στρατηγικές πρόληψης, ανίχνευσης και καταστολής των δασικών πυρκαγιών ποικίλουν με την πάροδο των ετών και οι διεθνείς ειδικοί στη διαχείριση των δασικών πυρκαγιών ενθαρρύνουν την περαιτέρω ανάπτυξη της τεχνολογίας και της έρευνας. Μία από τις πιο αμφιλεγόμενες τεχνικές είναι η ελεγχόμενη καύση: επιτρέποντας ή ακόμα και αναφλέξεις μικρότερων πυρκαγιών για να ελαχιστοποιηθεί η ποσότητα εύφλεκτου υλικού που είναι διαθέσιμη για μια πιθανή

*ΠΑΔΑ, Τμήμα Η&ΗΜ, Διπλωματική Εργασία, Γκράσον Μαριάν-Γκαμπριέλ*

*Ανάπτυξη διάταξης πυρανίχνευσης βασισμένης σε LPWAN δίκτυα και τεχνολογίες IoT*

πυρκαγιά. Ενώ ορισμένες πυρκαγιές καίγονται σε απομακρυσμένες δασικές περιοχές, μπορούν να προκαλέσουν εκτεταμένη καταστροφή κατοικιών και άλλων περιουσιακών στοιχείων που βρίσκονται στη διεπαφή άγριας γης-αστικής περιοχής: μια ζώνη μετάβασης μεταξύ ανεπτυγμένων περιοχών και μη ανεπτυγμένης άγριας φύσης.

Το όνομα wildfire ήταν κάποτε συνώνυμο της ελληνικής πυρκαγιάς, αλλά τώρα αναφέρεται σε οποιαδήποτε μεγάλη ή καταστροφική πυρκαγιά. Οι πυρκαγιές μπορούν να λαμβάνουν χώρα σε εξωτερικούς χώρους σε λιβάδια, δασικές εκτάσεις, θαμνώδεις εκτάσεις, θαμνώδεις εκτάσεις, τυρφώνες και άλλες δασώδεις περιοχές οι οποίες λειτουργούν ως πηγή καυσίμου ή εύφλεκτου υλικού. Τα κτίρια μπορεί να εμπλακούν εάν μια πυρκαγιά εξαπλωθεί σε παρακείμενες κοινότητες.

Ενώ οι αιτίες των πυρκαγιών ποικίλλουν και τα αποτελέσματα είναι πάντα μοναδικά, όλες οι πυρκαγιές μπορούν να χαρακτηριστούν ως προς τις φυσικές τους ιδιότητες, τον τύπο καυσίμου τους και την επίδραση που έχει ο καιρός στη φωτιά. Η συμπεριφορά και η σοβαρότητα της πυρκαγιάς είναι αποτέλεσμα του συνδυασμού παραγόντων όπως τα διαθέσιμα καύσιμα, η φυσική κατάσταση και ο καιρός. Ενώ οι πυρκαγιές μπορεί να είναι μεγάλες, ανεξέλεγκτες καταστροφές που καταστρέφουν 0,4 έως 400 τετραγωνικά χιλιόμετρα (100 έως 100.000 στρέμματα) ή περισσότερο, μπορεί επίσης να είναι τόσο μικρές όσο 0,001 τετραγωνικά χιλιόμετρα (0,25 στρέμματα, 1.000 m<sup>2</sup>) ή λιγότερο. Αν και μικρότερα συμβάντα μπορεί να περιλαμβάνονται στη μοντελοποίηση πυρκαγιών, τα περισσότερα δεν κερδίζουν την προσοχή του Τύπου. Αυτό μπορεί να είναι προβληματικό επειδή οι πολιτικές για τις δημόσιες πυρκαγιές, οι οποίες σχετίζονται με πυρκαγιές όλων των μεγεθών, επηρεάζονται περισσότερο από τον τρόπο με τον οποίο τα μέσα ενημέρωσης απεικονίζουν τις καταστροφικές πυρκαγιές παρά από τις μικρές πυρκαγιές.

## **Προϋποθέσεις για την κατάσβεση δασικών πυρκαγιών από ανθρώπινο δυναμικό**

Βασική προϋπόθεση για την κατάσβεση δασικών πυρκαγιών είναι η μετακίνηση κατά το συντομότερο χρονικό διάστημα στο σημείο της πυρκαγιάς και η κατάσβεσή της στο πρώτο στάδιο ανάπτυξης.

Ο απαραίτητος εξοπλισμός και τα υλικά επέμβασης και πυρόσβεσης πρέπει να διατηρούνται σε κατάλληλη κατάσταση, ώστε να μπορούν να χρησιμοποιηθούν ανά πάσα στιγμή.

Κάθε δασική περιφέρεια οφείλει να οργανώσει την πυροσβεστική της επέμβαση με τέτοιο τρόπο ώστε όσοι καλούνται να δράσουν μπορούν να αποχωρήσουν από το σημείο της επέμβασης, λίγα λεπτά μετά την ανακοίνωση.

Στον τόπο της παρέμβασης ο αρχηγός της επιχείρησης πρέπει να μοιράσει όσο πιο ορθολογικά γίνεται τα άτομα που είναι στη διάθεσή του.

Υπάρχουν διάφορες παραλλαγές και προγράμματα διανομής για την κατάσβεση δασικών πυρκαγιών από τους ανθρώπους. Όλα βασίζονται σε δύο βασικά σχήματα:

- για τη μετωπική επίθεση.

- για την επίθεση πίσω από τη φωτιά.

Στην μετωπική επίθεση χρειάζονται περισσότεροι εργάτες, εξοπλισμός και υλικά προς την κατεύθυνση στην οποία προχωρά η φωτιά.

## **Τι λύση βρήκαν οι αρχές σε ένα χωριό της ανατολικής Ισπανίας για να αποτρέψουν τις πυρκαγιές στη βλάστηση**

Το δημαρχείο εγκατέστησε αρκετές δεκάδες ανιχνευτές καπνού στα γύρω δάση. Το σύστημα προειδοποίησης είναι απλό, αλλά αποτελεσματικό, λένε οι εμπνευστές του έργου. Ο συναγερμός δίνεται μέσα σε λίγα λεπτά από το ξέσπασμα και οι πυροσβέστες μπορούν να επέμβουν αποτελεσματικά. Οι ντόπιοι μπορούν να παρακολουθούν τους ανιχνευτές σε πραγματικό χρόνο και, σε περίπτωση έκτακτης ανάγκης, να λαμβάνουν ένα μήνυμα SMS που τους λέει πού

*ΠΑΔΑ, Τμήμα Η&Μ, Διπλωματική Εργασία, Γκράσου Μαριάν-Γκαμπριέλ*

*Ανάπτυξη διάταξης πυρανίχνευσης βασισμένης σε LPWAN δίκτυα και τεχνολογίες IoT*

είναι οι φλόγες και πώς να βγουν με ασφάλεια από το δάσος.47 τέτοιοι ανιχνευτές εγκαταστάθηκαν στην περιοχή και το κόστος του πιλοτικού έργου ήταν **13.000** ευρώ.

Ένα παρόμοιο σύστημα επιλέχθηκε για την εκπόνηση αυτής της διπλωματικής εργασίας.

## **Κεφάλαιο 1 - LPWAN**

### **1.1 Εισαγωγή**

Με την εμφάνιση του Διαδικτύου των πραγμάτων (IoT) και της επικοινωνίας μηχανής με μηχανή (M2M), αναμένεται σύντομα μεγάλη ανάπτυξη στους κόμβους αισθητήρων. Σύμφωνα με την πρόβλεψη της Ericsson, περίπου 29 δισεκατομμύρια συσκευές θα συνδεθούν στο διαδίκτυο έως το 2022. Αυτές οι συνδεδεμένες συσκευές IoT περιλαμβάνουν συνδεδεμένα αυτοκίνητα, μηχανήματα, μετρητές, αισθητήρες, τερματικά σημείου πώλησης, καταναλωτικά ηλεκτρονικά προϊόντα, φορητά και άλλα. Η IoT έρευνα που αναφέρθηκε στον ιστότοπο του Forbes (Αμερικανικό επιχειρηματικό περιοδικό) προβλέπει περισσότερες από 75 δισεκατομμύρια συνδέσεις συσκευών IoT έως το 2025. Το HIS Markit προβλέπει ότι ο αριθμός των συνδεδεμένων συσκευών IoT θα να αυξηθεί σε 125 δισεκατομμύρια το 2030. Η εκθετική αύξηση του IoT επηρεάζει σχεδόν όλα τα στάδια της βιομηχανίας σε όλες τις περιοχές της αγοράς. Επαναπροσδιορίζει τους τρόπους σχεδιασμού, διαχείρισης και συντήρησης δικτύων, δεδομένων, σύννεφων και συνδέσεων.

Με πολύ αναμενόμενες εξελίξεις στους τομείς της τεχνητής νοημοσύνης, της μηχανής μάθησης, αναλύσεις δεδομένων και τεχνολογίες blockchain, υπάρχει τεράστιο δυναμικό για την ανάπτυξη των εφαρμογών αυτής της τεχνολογίας σε όλους σχεδόν τους τομείς της κοινωνίας, του επαγγέλματος και της βιομηχανίας. Αυτή η εξέλιξη επιτρέπει σε αισθητήρες, οχήματα, ρομπότ, μηχανήματα ή οποιαδήποτε άλλα παρόμοια αντικείμενα την σύνδεση στο Διαδίκτυο. Αυτό τους

*ΠΑΔΑ, Τμήμα Η&ΗΜ, Διπλωματική Εργασία, Γκράσου Μαριάν-Γκαμπριέλ*

*Ανάπτυξη διάταξης πυρανίχνευσης βασισμένης σε LPWAN δίκτυα και τεχνολογίες IoT*

δίνει τη δυνατότητα να στείλουν με τους αισθητήρες δεδομένα και παράμετροι σε μια απομακρυσμένη κεντρική συσκευή (διακομιστή), η οποία παρέχει ευφυΐα για τη λήψη της κατάλληλης απόφασης ή της ανάληψης δράσης.[2]

Γενικά, οι εφαρμογές IoT απαιτούν ενεργειακά αποδοτικούς και χαμηλής πολυπλοκότητας κόμβους, για μια ποικιλία χρήσεων που πρόκειται να αναπτυχθούν σε επεκτάσιμα δίκτυα. Επί του παρόντος, ασύρματες τεχνολογίες όπως ασύρματα τοπικά δίκτυα IEEE 802.11 (WLAN), IEEE 802.15.1 Bluetooth, IEEE 802.15.3 ZigBee, ασύρματα δίκτυα προσωπικής περιοχής χαμηλού ρυθμού (LR-WPAN) και άλλα, χρησιμοποιούνται για την ανίχνευση εφαρμογών σε περιβάλλον μικρής εμβέλειας. Αντίθετα, ασύρματες κινητές τεχνολογίες όπως 2G, 3G, 4G και 5G μπορούν να επεκταθούν σε εφαρμογές μεγάλης εμβέλειας. Κατά κύριο λόγο, το WLAN και το Bluetooth σχεδιάστηκαν για τη επικοινωνία δεδομένων υψηλής ταχύτητας, ενώ τα ZigBee και LR-WPAN σχεδιάστηκαν για εφαρμογές ασύρματης ανίχνευσης στα τοπικά περιβάλλοντα και χρησιμοποιούνται για εφαρμογή χαμηλού ρυθμού δεδομένων σε αποστάσεις που κυμαίνονται από μερικά μέτρα έως μερικές εκατοντάδες μέτρα(ανάλογα με την οπτική γωνία, τα εμπόδια στη διαδρομή, τις παρεμβολές, την ισχύ μετάδοσης κ.α.). Ασύρματα κυψελοειδή δίκτυα όπως 2G, 3G και 4G έχουν σχεδιαστεί για επικοινωνία φωνής και δεδομένων και όχι τόσο για εφαρμογές ασύρματης ανίχνευσης. Αν και αυτές οι τεχνολογίες χρησιμοποιούνται με κάποιον τρόπο για την ανίχνευση σε ορισμένες εφαρμογές, οι μετρήσεις που χρησιμοποιούνται στα δίκτυα αισθητήρων ενδέχεται να γίνουν λάθος και να μην είναι αποδεκτές.

Ως εκ τούτου, για την υποστήριξη τέτοιων απαιτήσεων, αναπτύσσεται ένα νέο παράδειγμα IoT, που ονομάζεται δίκτυο ευρείας περιοχής χαμηλής ισχύος (LPWAN). Το LPWAN είναι μια κατηγορία ασύρματης επικοινωνίας IoT η οποία έχει μεγάλες περιοχές κάλυψης, χαμηλή μετάδοση των ρυθμών δεδομένων με μικρά μεγέθη πακέτων δεδομένων και μεγάλη διάρκεια ζωής μπαταρίας. Οι τεχνολογίες LPWAN αναπτύσσονται και έχουν δείξει τεράστιες δυνατότητες για το ευρύ φάσμα εφαρμογών σε IoT και M2M, ειδικά σε περιορισμένα περιβάλλοντα.

## 1.2 Ευφυείς εφαρμογές και υπηρεσίες

Η αυξανόμενη δημοτικότητα των περιπτώσεων χρήσης IoT σε τομείς που βασίζονται στη δυνατότητα σύνδεσης, η οποία εκτείνεται σε μεγάλες περιοχές σε θέση να χειριστεί ένα τεράστιο αριθμό συνδέσεων, αυξάνει την ζήτηση για τεχνολογίες IoT. Με την πρόοδο στον τομέα των μικροσκοπικών ηλεκτρονικών, των επικοινωνιών, των υπολογιστών, των αισθητήρων, της ενεργοποίησης και των τεχνολογιών της μπαταρίας, είναι δυνατό να σχεδιάσουμε χαμηλών-ισχύος τεχνολογίες δικτύωσης, μεγάλης όμως εμβέλειας με διάρκεια ζωής μπαταρίας πολλών ετών, καλύπτοντας παράλληλα δεκάδες χιλιόμετρα. Αυτές οι τεχνολογίες πρέπει να είναι συμβατές με το διαδίκτυο, έτσι ώστε δεδομένα, οι συσκευές και η διαχείριση του δικτύου να μπορεί να πραγματοποιηθεί μέσω πλατφορμών που βασίζονται σε σύννεφο cloud. Οι πιο κρίσιμες απαιτήσεις των ασύρματων συσκευών IoT / M2M είναι:

- i) Η χαμηλή κατανάλωση ενέργειας με εκτεταμένη εύρος μετάδοσης
- ii) Υποστήριξη σε τεράστιο αριθμό συσκευών
- iii) Δυνατότητα χειρισμού παρεμβολών RF
- iv) Χαμηλό κόστος
- v) Εύκολη ανάπτυξη
- vi) Ισχυρή ασφάλεια για τις εφαρμογές και το επίπεδο δικτύου.

Οι τεχνολογίες LPWAN είναι πολλά υποσχόμενες και μπορούν να αναπτυχθούν για ένα ευρύ φάσμα έξυπνων εφαρμογών, όπως η παρακολούθηση περιβάλλοντος, έξυπνες πόλεις, έξυπνες υπηρεσίες κοινής ωφέλειας, γεωργία, υγειονομική περίθαλψη, βιομηχανικός αυτοματισμός, παρακολούθηση περιουσιακών στοιχείων, μεταφορά και πολλά άλλα.

### 1.3 Απαιτήσεις εφαρμογής

Διάφορες εφαρμογές έχουν διαφορετικές απαιτήσεις (κάλυψη, χωρητικότητα, κόστος και χαμηλή ισχύ). Στην λειτουργία είναι φυσικά τα κύρια προγράμματα οδήγησης για όλες τις εφαρμογές LPWAN. [3] Ωστόσο, οποιαδήποτε λύση LPWAN μπορεί να δημιουργήσει σημαντικές αντισταθμίσεις μεταξύ διαφορετικών απαιτήσεων, για παράδειγμα, κάλυψη έναντι κόστους. Επιπλέον, ορισμένες εφαρμογές είναι συγκριτικά ομοιογενείς, για παράδειγμα όπως για παράδειγμα οι μετρητές, ενώ άλλοι έχουν πληθώρα ετερογενών συσκευών με ποικίλες προσδοκίες. Επιπλέον, οι επιλεγμένες εφαρμογές απαιτούν άλλες δυνατότητες, για παράδειγμα, τη συνεργασία μεταξύ άλλων τεχνολογιών ή τη φωνητική υποστήριξη. Μια συγκεκριμένη LPWAN λύση μπορεί να προσαρμοστεί σε ένα στενό σύνολο εφαρμογών, ενώ μια άλλη λύση μπορεί να σχεδιαστεί για να καλύπτει ένα φάσμα εφαρμογών και χαρακτηριστικών. Η κάλυψη έχει θεμελιώδη αξία για όλες σχεδόν τις εφαρμογές LPWAN και ως εκ τούτου αναγνωρίζεται ότι έχει μεγάλη σημασία για αυτές.

Στο τυπικό περιβάλλον παραγωγής μπορούν συνεπάγονται τοπικές λειτουργίες. Σε μια τέτοια περίπτωση, μπορεί να δημιουργηθούν αντισταθμίσεις οι οποίες να επικεντρωθούν στους τύπους και στον αριθμό των συσκευών που υποστηρίζονται. Επομένως, η έντονη απαίτηση κάλυψης ενδέχεται να διακυβευτεί. Η λειτουργία χαμηλής ισχύος καθοδηγείται κυρίως από τη διαθεσιμότητα παροχής ηλεκτρικής ενέργειας (για παράδειγμα στις γεωργικές εφαρμογές). Σε τέτοιες καταστάσεις, διάφοροι αισθητήρες βρίσκονται πολύ μακριά και μερικές φορές σε μη εύκολες προσιτές περιοχές. Ως εκ τούτου χρειάζονται μπαταρίες διάρκειας 10 ετών χωρίς επαναφόρτιση. Η λειτουργία χαμηλής ισχύος θεωρείται υψηλής σημασίας σε τέτοιες εφαρμογές. Σε άλλα, όπως στην λιανική, η ηλεκτρική ενέργεια μπορεί να είναι άμεσα διαθέσιμη και η χαμηλής ισχύος λειτουργία μπορεί να θεωρηθεί χαμηλής προτεραιότητας. Σε πολλές περιπτώσεις, μια εφαρμογή με τεράστιο αριθμό συσκευών απαιτεί και άλλες συσκευές χαμηλού κόστους, όπως για παράδειγμα η έξυπνη μέτρηση, ενώ άλλοι όπως τα έξυπνα σπίτια μπορούν να έχουν λογικό κόστος. Αυτό συνεπώς καταγράφεται ως χαμηλή σημασία για τέτοιες εφαρμογές.



**Πίνακας 1.3-1: Προτεραιότητες και χαρακτηριστικά απαιτήσεων  
μιας εφαρμογής**

<b>Χωρητικότητα</b>	i) Μονοκατευθυντική, αμφίδρομη, μισή/πλήρης ii) Επεκτασιμότητα iii) Υποστήριξη ρυθμού δεδομένων, αξιοπιστία
<b>Κόστος</b>	i) Κόστος συσκευής ii) Κόστος δικτύου iii) Επεκτασιμότητα
<b>Κατανάλωση</b>	i) Ενεργειακής απόδοσης ii) Διάρκεια ζωής μπαταρίας iii) Καθυστέρηση
<b>Κάλυψη</b>	i) Εξωτερική/εσωτερική ii) Αστικές/αγροτικές περιοχές iii) Υπόγεια, υποβρύχια, μέσω τοίχων
<b>Πρόσθετες λεπτομέρειες</b>	i) Απαιτήσεις για συγκεκριμένες εφαρμογές ii) Σενάρια ανάπτυξης

### 1.4 Ασύρματη πρόσβαση

Οι IoT και LPWAN τεχνολογίες αποτελούν τα βασικά θεμελιώδη συστατικά για πολλές εφαρμογές. Παίζουν κρίσιμο ρόλο στην εκπλήρωση των ευέλικτων και δυναμικών απαιτήσεων των εφαρμογών και των υπηρεσιών, παρέχοντας αποτελεσματικές και αποδοτικές λύσεις. Για επικοινωνίες και διασυνδέσεις τέτοιων εφαρμογών, είναι διαθέσιμη μια σειρά από ιδιότητες και βασισμένες σε πρότυπα λύσεις. Τα δίκτυα καλύπτουν διαφορετικές γεωγραφικές περιοχές.[4]

Τα ασύρματα δίκτυα εγγύτητας που βασίζονται στην αναγνώριση ραδιοσυχνοτήτων και στην επικοινωνία κοντινού πεδίου είναι τα δίκτυα near-field. Τα WPAN χρησιμοποιούνται για τη μεταφορά πληροφοριών σε μικρές αποστάσεις μεταξύ μιας ομάδας συσκευών με μικρή ή καθόλου υποδομή. Αυτά τα δίκτυα μπορούν να συνδεθούν σε cloud πλατφόρμες μέσω κεντρικής συσκευής ή

*ΠΑΔΑ, Τμήμα Η&ΗΜ, Διπλωματική Εργασία, Γκράσου Μαριάν-Γκαμπριέλ*

*Ανάπτυξη διάταξης πυρανίχνευσης βασισμένης σε LPWAN δίκτυα και τεχνολογίες IoT*



διακομιστή. Τα περισσότερα WPAN δίκτυα έχουν σχεδιαστεί για χαμηλό ρυθμό δεδομένων, εξοικονόμηση ενέργειας, μικρή απόσταση και ως φθηνές λύσεις. Οι εξέχοντες τεχνολογίες WPAN περιλαμβάνουν IEEE 80.15.4 WPAN χαμηλού ρυθμού, ZigBee, WirelessHART, ISA100, LoWPAN, Wibree, Bluetooth χαμηλής ενέργειας, INSTEON, Wavenis, Z-Wave, ANT 1, Enocean και CSRMesh. Τα WLAN έχουν σχεδιαστεί κυρίως για ανταλλαγή δεδομένων υψηλής ταχύτητας μεταξύ συσκευών με κάλυψη σε όλη την πανεπιστημιούπολη, η οποία περιορίζεται σε μερικές εκατοντάδες μέτρα. Οι τεχνολογίες περιλαμβάνουν τις διαφορετικές γεύσεις του προτύπου IEEE 802.11. Το ασύρματο δίκτυο περιοχής γειτονιάς (WNAN) έχει εξελιχθεί σε ένα νέο στοιχείο αρχιτεκτονικού συστήματος για ευρυζωνικές συνδέσεις (ασύρματες τοπικές εφαρμογές διανομής), οι οποίες περιλαμβάνουν περιοχή εξυπηρέτησης μικρότερη από μητροπολιτική αλλά μεγαλύτερη από τοπικά δίκτυα. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί για οικιστικά, πανεπιστημιούπολη, περιβάλλοντα δρόμου (εφαρμογές χρησιμότητας) και έξυπνου δικτύου. Οι τεχνολογίες για το WNAN είναι Wi-SUN, ZigBee NAN και Wireless M-bus.

Τα WWAN έχουν σχεδιαστεί για να καλύπτουν μεγαλύτερες περιοχές σε σύγκριση με LAN και WNAN. Έχουν διαφορετικές απαιτήσεις αναλόγως την εφαρμογή, από άποψη κάλυψης, απόδοσης ισχύος, ποσοστά δεδομένων, επεκτασιμότητα, επαναχρησιμοποίηση πόρων και άλλα. Τα WWAN μπορούν να ταξινομηθούν ευρέως σε κυψελοειδή και LPWAN. Τα κυψελοειδή δίκτυα, όπως τα 3G και 4G, έχουν σχεδιαστεί κυρίως για τη μεταφορά δεδομένων σε υψηλό ποσοστό, για μερικά έως δεκάδες χιλιόμετρα. Αυτά τα δίκτυα υποστηρίζουν την κινητικότητα και ως εκ τούτου παρέχουν εκτεταμένη κάλυψη πέραν του εύρους ενός κελιού, μέσω μηχανισμών παράδοσης. Τα LPWAN είναι τεχνολογίες ασύρματης επικοινωνίας, σχεδιασμένες να επιτρέπουν επικοινωνίες μεγάλης εμβέλειας με χαμηλή κατανάλωση ενέργειας, χαμηλού κόστους και με σχετικά χαμηλό ρυθμό μετάδοσης bit για IoT και M2M. Οι περισσότερες από τις “έξυπνες” εφαρμογές απαιτούν ορισμένους συνδυασμούς των παραπάνω λύσεων ασύρματης πρόσβασης.

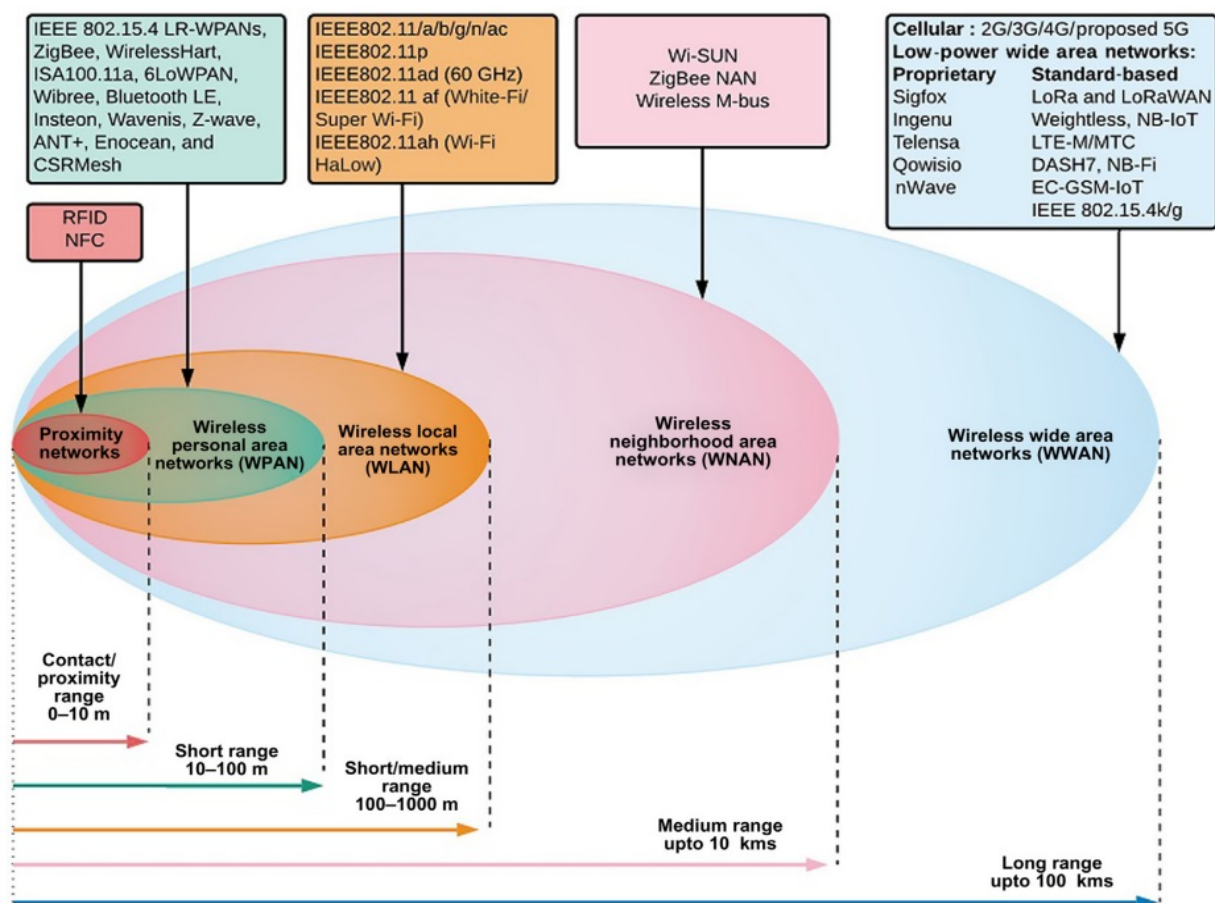
Υπάρχει ένα σημαντικό τμήμα εφαρμογών που βασίζονται σε IoT οι οποίες εκτείνονται σε μεγάλες αποστάσεις, κάτι το οποίο είναι ευαίσθητο τόσο στο κόστος όσο και στην κατανάλωση ενέργειας. Τέτοια αναδυόμενα δίκτυα ταξινομούνται ως

*ΠΑΔΑ, Τμήμα Η&ΗΜ, Διπλωματική Εργασία, Γκράσου Μαριάν-Γκαμπριέλ*

*Ανάπτυξη διάταξης πυρανίχνευσης βασισμένης σε LPWAN δίκτυα και τεχνολογίες IoT*

LPWAN. Υπολογίζεται ότι το ένα τέταρτο των συνολικών συσκευών IoT/M2M πρόκειται να συνδεθούν το διαδίκτυο χρησιμοποιώντας είτε ιδιόκτητες είτε τυπικές τεχνολογίες LPWAN. Οι εφαρμογές που βασίζονται σε LPWAN αναμένεται να είναι το ένα τρίτο όλων των εφαρμογών IoT. Άλλες τεχνολογίες από το LPWAN συνήθως εστιάζουν στην επίτευξη υψηλότερων ποσοστών δεδομένων, χαμηλότερου λανθάνοντος χρόνου και υψηλότερης αξιοπιστίας. Οι LPWAN λύσεις συνήθως περιλαμβάνουν έναν τεράστιο αριθμό τελικών συσκευών, τα οποία στέλνουν μηνύματα μικρού μεγέθους και είναι ανεκτά σε λογικές μεγάλες καθυστερήσεις από άκρο σε άκρο. Οι απαιτήσεις της αξιοπιστίας ποικίλλουν ανάλογα με την εφαρμογή. Οι τεχνολογίες LPWAN συμπληρώνουν και μερικές φορές αντικαθιστούν τις συμβατικές ασύρματες τεχνολογίες κινητής τηλεφωνίας και απόδοσης μικρής εμβέλειας.

**Σχήμα 1.4-1: Γεωγραφική κάλυψη ασύρματης πρόσβασης [29]**



ΠΑΔΑ, Τμήμα Η&ΗΜ, Διπλωματική Εργασία, Γκράσου Μαριάν-Γκαμπριέλ

Ανάπτυξη διάταξης πυρανίχνευσης βασισμένης σε LPWAN δίκτυα και τεχνολογίες IoT

## 1.5 Χαρακτηριστικά LPWAN

Η εκτεταμένη γκάμα εφαρμογών LPWAN απαιτεί διασύνδεση και επικοινωνία ανάμεσα σε ένα διαφορετικό σύνολο συσκευών. Αυτές οι συσκευές καλύπτουν απόσταση που κυμαίνεται από πολύ μικρή έως και πολύ μεγάλη, από στάσιμες σε κινούμενες θέσεις, από μπαταρία χαμηλής ισχύος έως εμπορικές συνδέσεις με βάση την ισχύ. Ένα σημαντικό μερίδιο λύσεων μιας ευρείας περιοχής χαμηλής ισχύος στέλνουν συνήθως μηνύματα μικρού μεγέθους, είναι ανεκτά σε καθυστέρηση, δεν χρειάζονται υψηλούς ρυθμούς δεδομένων και απαιτούν χαμηλή κατανάλωση ενέργειας και χαμηλό κόστος.[5]

Οι εφαρμογές IoT μπορούν να κατηγοριοποιηθούν σύμφωνα με τις ανάγκες κάλυψης και τις απαιτήσεις απόδοσης (όσον αφορά τους ρυθμούς μετάδοσης, την καθυστέρηση, την κατανάλωση ενέργειας κ.α.). Οι απαιτήσεις κάλυψης για διαφορετικές εφαρμογές είναι ιδιαίτερα εντοπισμένες, για παράδειγμα, σε στάση εσωτερικού χώρου. Για τις εφαρμογές που περιλαμβάνουν κινητικότητα συσκευών απαιτείται παρακολούθηση στοιχείων με παγκόσμια κάλυψη υπηρεσιών. Οι εφαρμογές LPWAN κατηγοριοποιούνται ως Massive IoT εφαρμογές, σε αντίθεση με τις κρίσιμες εφαρμογές IoT που απαιτούν καθυστέρηση υπερέυθρων και έχουν εξαιρετικά υψηλή αξιοπιστία. Τα χαρακτηριστικά και απαιτήσεις για τις εφαρμογές που χαρακτηρίζουν λύσεις LPWAN υποδεικνύονται παρακάτω. Τα κρίσιμα χαρακτηριστικά περιλαμβάνουν τον χειρισμό της κυκλοφορίας M2M, την τεράστια χωρητικότητα, ενεργειακά αποδοτικές και χαμηλής κατανάλωσης ενέργειας, εκτεταμένη κάλυψη, ασφάλεια και διεργασία.

## 1.6 Κάλυψη

Ο εγγενής μηχανισμός επικοινωνίας των δικτύων LPWAN είναι η κίνηση που δημιουργείται από κατανεμημένους αισθητήρες. Εκτός από την πιθανή παρουσία κυκλοφορίας που δημιουργείται από smartphone ή άλλες συσκευές, η ίδια η κυκλοφορία LPWAN μπορεί να ποικίλει σε ένα ευρύ φάσμα χαρακτηριστικών, όπως ο αριθμός των μηνυμάτων, το μέγεθος του κάθε μηνύματος και απαιτήσεις

*ΠΑΔΑ, Τμήμα Η&ΗΜ, Διπλωματική Εργασία, Γκράσου Μαριάν-Γκαμπριέλ*

*Ανάπτυξη διάταξης πυρανίχνευσης βασισμένης σε LPWAN δίκτυα και τεχνολογίες IoT*

αξιοπιστίας. Οι τεχνολογίες LPWAN έχουν διάφορες κατηγορίες εφαρμογών με διαφορετικές απαιτήσεις. Ορισμένες από τις εφαρμογές είναι καθυστερητικές (π.χ. έξυπνη μέτρηση), ενώ εφαρμογές όπως η πυρανίχνευση, η ανίχνευση πυρηνική ακτινοβολία και η ασφάλεια στο σπίτι

απαιτούν προτεραιότητα και άμεση αντίδραση. Σε ορισμένες εφαρμογές, ενδέχεται να απαιτείται προγραμματισμός μηνυμάτων προτεραιότητας για μεταδόσεις που ενεργοποιούνται από συμβάντα. Με τον τεράστιο αριθμό ενεργών συσκευών, υπάρχει η πιθανότητα εμφάνισης της συμφωνίας επιπέδου υπηρεσιών (SLA), για κάθε αίτηση που ενδέχεται να μην ικανοποιείται. Οι μηχανισμοί πρέπει να υποστηρίζουν την συνύπαρξη διαφορετικών τύπων επισκεψιμότητας, την απαιτούμενη ποιότητα υπηρεσίας (QoS) και το SLA. Σε εφαρμογές LPWAN ενδέχεται να χρειαστεί πρόβλεψη για το χειρισμό σε πολλαπλές τάξεις των τελικών συσκευών, με βάση τις ανάγκες επικοινωνίας τους σε uplink ή downlink. Σε ορισμένες εφαρμογές απαιτείται υποστήριξη κινητικότητας συσκευών, η οποία απαιτεί σύνδεση οπουδήποτε, εξασφαλίζοντας απρόσκοπτη εξυπηρέτηση εν κινήσει.[6]

Το εύρος των λειτουργιών απαιτεί επικοινωνίες μεγάλης και μικρής εμβέλειας. Συνήθως, το LPWAN πρέπει να παρέχει επικοινωνία μεγάλης εμβέλειας από 10χλμ έως 40χλμ σε αγροτικές ζώνες/ερημικές ζώνες και 1-5 χλμ σε αστικές ζώνες με κέρδος 120 dB μέσω των παλαιών κυψελοειδών δικτύων, σε εσωτερικές δυσπρόσιτες τοποθεσίες, όπως υπόγεια σημεία και υπόγεια. Επίσης απαιτείται κάλυψη η οποία να οδηγεί σε διάδοση σήματος μέσω κτιρίων και τοίχων, ειδικά για την εφαρμογή που ασχολείται με την παρακολούθηση και τη συλλογή δεδομένων. Η κάλυψη πρέπει να είναι συνεπείς με τις προσδοκίες για τα προσαρμόσιμα ποσοστά δεδομένων και τους ρυθμούς σφάλματος των διαχειριζόμενων δεδομένων. Η χρήση της ζώνης sub-GHz βοηθά τα περισσότερα LPWAN να επιτύχουν ισχυρή και αξιόπιστη επικοινωνία με χαμηλότερο προϋπολογισμό ισχύος, καθώς οι χαμηλότερες συχνότητες της ζώνης sub-GHz έχουν καλύτερα χαρακτηριστικά διάδοσης σε σύγκριση με τη ζώνη 2,4 GHz. Επιπλέον, οι τεχνικές αργής διαμόρφωσης που χρησιμοποιούνται για το LPWAN αποδίδουν περισσότερη ενέργεια σε κάθε bit, με αποτέλεσμα να αυξάνουν την κάλυψη. Η αργή διαμόρφωση βοηθά επίσης τους δέκτες στην αποδιαμόρφωση του σήματος σωστά.

*ΠΑΔΑ, Τμήμα Η&ΗΜ, Διπλωματική Εργασία, Γκράσου Μαριάν-Γκαμπριέλ*

*Ανάπτυξη διάταξης πυρανίχνευσης βασισμένης σε LPWAN δίκτυα και τεχνολογίες IoT*

## 1.7 Η αναγνώριση τοποθεσίας

Η αναγνώριση τοποθεσίας για συσκευές είναι μια κρίσιμη απαίτηση. Η ακρίβεια της τοποθεσίας παίζει καθοριστικό ρόλο σε εφαρμογές όπως ο εφοδιασμός και η παρακολούθηση των ζώων, που διαφέρει από μερικά εκατοστά έως μέτρα. Η παρακολούθηση και ασφάλεια για την ανίχνευση ασυνήθιστων γεγονότων όπως η αλλαγή στην τοποθεσία της συσκευής και η διευκόλυνση του κατάλληλου επιπέδου ελέγχου ταυτότητας πρέπει να υποστηρίζονται. Η αναγνώριση τοποθεσίας μπορεί να επιτευχθεί με GPS, συστήματα τύπου GPS ή με την εκτέλεση έξυπνων αλγορίθμων με τη βοήθεια της υποδομής δικτύου.

## 1.8 Ασφάλεια και προστασία προσωπικών δεδομένων

Οι απαιτήσεις ασφαλείας για συσκευές LPWAN είναι ιδιαίτερα αυστηρές λόγω του μαζικού αριθμού, των τρωτών σημείων και της απλότητας των συσκευών. Πρέπει να έχουν τα βασικά χαρακτηριστικά της εξουσιοδότησης, του ελέγχου ταυτότητας, της εμπιστοσύνης της εμπιστευτικότητας, της ασφάλειας και της υποστήριξης των δεδομένων. Η υποστήριξη ασφαλείας θα πρέπει να μπορεί να χειρίζεται κακόβουλες επιθέσεις κώδικα (όπως worms), να χειρίζεται την παραβίαση σε συσκευές και συστήματα LPWAN και να διαχειρίζεται επιθέσεις με υποκλοπές. Είναι επίσης σημαντικό να προστατεύεται η ταυτότητα της συσκευής και το απόρρητο της τοποθεσίας της από το κοινό. Επιπλέον, θα πρέπει να υποστηρίζει την ασφάλεια για την μετάδοση προς τα εμπρός και προς τα πίσω, όπως απαιτείται σε διάφορες εφαρμογές.[7]

## 1.9 Χωρητικότητα

Μία από τις βασικές απαιτήσεις για το LPWAN είναι η υποστήριξη ενός τεράστιου αριθμού ταυτόχρονα συνδεδεμένων συσκευών με χαμηλό ρυθμό δεδομένων. Πολλές εφαρμογές απαιτούν υποστήριξη για πάνω από 100.000 συσκευές, με δυνατότητα κλιμάκωσης. Η επεκτασιμότητα αναφέρεται στην ικανότητα για απρόσκοπτη ανάπτυξη από ένα δίκτυο μικρού αριθμού ετερογενών συσκευών, σε ένα τεράστιο αριθμό νέων συσκευών, εφαρμογών και λειτουργιών, χωρίς να διακυβεύεται η ποιότητα και η παροχή υφιστάμενων υπηρεσιών. Καθώς οι τελικές συσκευές LPWAN έχουν χαμηλή υπολογιστική ισχύ και δυνατότητες, οι συσκευές δικτύου (όπως πύλες και σταθμοί πρόσβασης) μπορούν επίσης να διαδραματίσουν ζωτικό ρόλο στην ενίσχυση της επεκτασιμότητας. Η χρήση πολλών καναλιών με βάση διαφορετικές τεχνικές διαφορετικότητας, μπορεί επίσης να βελτιώσει σημαντικά την επεκτασιμότητα των δικτύων LPWAN. Ωστόσο, πρέπει να διασφαλιστεί ότι τέτοιες δυνατότητες δεν θέτουν σε κίνδυνο άλλες μετρήσεις απόδοσης. Μια καλύτερη λύση θα μπορούσε να είναι μια αντιστάθμιση για την υποστήριξη της βελτιστοποιημένης απόδοσης και των απαιτήσεων της εφαρμογής. Δεύτερον, το περιβάλλον απαιτεί τη διαβίβαση δεδομένων σε περιορισμένο βαθμό και συχνά μοιράζονταν πόρους ραδιοφώνου. Ένας τόσο μεγάλος αριθμός συσκευών οδηγεί επίσης σε υψηλή πυκνότητα. Σε μια τέτοια περίπτωση, υπάρχει πάντα πιθανότητα συμφόρησης στην πρόσβαση πολυμέσων, μεγάλες παρεμβολές και συνεπώς σημαντική υποβάθμιση της απόδοσης του δικτύου.

## 1.10 Κόστος

Οι εφαρμογές LPWAN είναι ιδιαίτερα ευαίσθητες στη συσκευή και στο λειτουργικό κόστος. Επιπλέον, με τις τυπικές απαιτήσεις του χαμηλού κόστους ανάπτυξης και λειτουργίας για το δίκτυο, ο μεγάλος αριθμός συσκευών που εμπλέκονται θέτει σημαντικούς περιορισμούς στο κόστος, στα λειτουργικά έξοδα και στην επιτακτική ανάγκη για χαμηλή κατανάλωση ενέργειας. Αναβάθμιση λογισμικού χωρίς αλλαγή υλικού είναι ένα βασικό χαρακτηριστικό που πρέπει να



υποστηριχθεί. Εξάλλου, καθίσταται επιτακτική η υποστήριξη της επεκτασιμότητας, της εύκολης εγκατάστασης, της συντήρησης καθώς και της οικονομικά αποδοτικής λειτουργικότητας.

## 1.11 Λειτουργίες χαμηλής ισχύος

Σε πολλές εφαρμογές των LPWAN, το περιβάλλον και οι περιορισμοί δεν επιτρέπουν την επαναφόρτιση των μπαταριών. Η μπαταρία αναμένεται να διαρκέσει πάνω από 10 χρόνια χωρίς φόρτιση. Εάν η μπαταρία χάσει ισχύ και η αντικατάστασή της είναι δυνατή, ενδέχεται αυτή να μην μπορεί να γίνει σε σύντομο χρονικό διάστημα. Το κόστος των πηγών μπαταρίας πρέπει να είναι χαμηλό. Το LPWAN πρέπει να λειτουργεί με αυστηρό και πολύ χαμηλό όριο κύκλου λειτουργίας, ώστε να μπορεί να βελτιωθεί η διάρκεια ζωής του κόμβου. Ως εκ τούτου, η λειτουργία εξαιρετικά χαμηλής ισχύος είναι μια κρίσιμη απαίτηση για συσκευές IoT/M2M με μπαταρία.

Προκειμένου να αντιμετωπιστεί ο μεγάλος αριθμός, το χαμηλό κόστος και η κάλυψη μεγάλων αποστάσεων, ο σχεδιασμός συσκευών μικρού μεγέθους και χαμηλού επιπέδου καθίσταται απαραίτητη προϋπόθεση. Η μειωμένη δομή πολυπλοκότητας του υλικού επιτρέπει τη μείωση της κατανάλωσης ενέργειας σε συσκευές με μπαταρία, χωρίς να θυσιάζεται πάρα πολύ η απόδοση. Οι συσκευές αναμένεται γενικά διαθέτουν χαμηλές δυνατότητες επεξεργασίας. Το υλικό υποστηρίζει απλή αρχιτεκτονική δικτύου και πρωτόκολλα. Από τεχνολογική άποψη, προκειμένου να επιτευχθεί η απαιτούμενη προσαρμοστικότητα των συσκευών LPWAN, οι ραδιοπομποί πρέπει να είναι ευέλικτοι και να έχει αναδιαμορφώσιμες συσκευές λογισμικού.

## 1.12 Πρόσθετες ειδικές απαιτήσεις

Για να επιτρέπονται περισσότερες επιλογές θα πρέπει να υπάρξει υποστήριξη λειτουργίας σε ζώνες με άδεια και χωρίς. Το άδειο φάσμα μπορεί να προέρχεται από την βιομηχανική, την επιστημονική και την ιατρική ζώνη. Σε πολλές περιπτώσεις, οι πελάτες προτιμούν λύσεις που μπορούν να αναβαθμιστούν από υπάρχοντα ασύρματα συστήματα πρόσβασης. Υπάρχουν απαιτήσεις τόσο για προσαρμοσμένη ιδιοκτησία, όσο και για λύσεις βάσει προτύπων. Οι εφαρμογές απαιτούν την διαμόρφωση μεταξύ διαφορετικών τοπολογιών, συμπεριλαμβανομένων των τύπου αστέρα και δέντρων.

Το δίκτυο πρέπει να έχει την δυνατότητα να χειρίζεται ετερογενείς συσκευές. Αυτοί οι μεγάλοι αριθμοί συσκευών ενδέχεται να μοιράζονται τους ίδιους πόρους ραδιοφώνου που προκαλούν διαδικτυακή εργασία και τεχνολογικές παρεμβολές, με αποτέλεσμα την υποβάθμιση της απόδοσης του δικτύου. Επομένως, οι συσκευές LPWAN πρέπει διαθέτουν τη δυνατότητα σύνδεσης και λειτουργίας σε ποικίλα περιβάλλοντα τεχνολογίας LPWAN με ανοχή στις παρεμβολές, χειρισμό και δυνατότητες μετριάσμού. Το δίκτυο πρέπει να έχει την δυνατότητα ενεργοποίησης της σύνδεσης συσκευών, ανεξάρτητα από την υποδομή υλικού και τη διεπαφή προγραμματισμού των εφαρμογών. Πρέπει να υπάρχει απρόσκοπτη διαλειτουργικότητα μεταξύ των διαφόρων τεχνολογιών δικτύου και απαιτείται τυποποίηση και πύλη με προσαρμοστικότητα πρωτόκολλα μεταξύ διαφόρων τεχνολογιών επικοινωνιών. Με αυτόν τον τρόπο, αναμένεται πλήρης ολοκλήρωση εφαρμογών από άκρο σε άκρο.

## 1.13 Συνοπτικοί στόχοι και προσδοκίες LWPAN

Τα LPWAN είναι δίκτυα περιορισμένης χρήσης πόρων και έχουν κρίσιμες απαιτήσεις για μεγάλη διάρκεια ζωής της μπαταρίας, εκτεταμένη κάλυψη, υψηλές δυνατότητες κλιμάκωσης, χαμηλό κόστος συσκευής και χαμηλό κόστος ανάπτυξης. Υπάρχουν πολλές προκλήσεις όπως η εικονικοποίηση δικτύου, που

*ΠΑΔΑ, Τμήμα Η&ΜΜ, Διπλωματική Εργασία, Γκράσου Μαριάν-Γκαμπριέλ*

*Ανάπτυξη διάταξης πυρανίχνευσης βασισμένης σε LPWAN δίκτυα και τεχνολογίες IoT*



καθορίζεται από λογισμικό ραδιόφωνο, απλοποιώντας περαιτέρω τον έλεγχο πρόσβασης πολυμέσων, την δυναμική διαχείριση φάσματος, την χρήση λευκών τηλεοπτικών χώρων, βελτιστοποίηση και προσαρμοστικότητα συνδέσμου, συγκομιδή ενέργειας, περιορισμοί κύκλου εργασίας, επεκτασιμότητα, εντοπισμός, περιορισμός συνύπαρξης και παρεμβολών, κινητικότητα, υψηλότερα δεδομένα ποσοστό και μέγεθος πακέτου, υποστήριξη QoS, διαλειτουργικότητα, ασφάλεια και προστασία της ιδιωτικής ζωής, έλεγχος συμφόρησης, εκπλήρωση των SLA, ενσωμάτωση με ανάλυση δεδομένων, χρήση τεχνικών τεχνητής νοημοσύνης και μηχανικής μάθησης για βελτίωση της απόδοσης, ανάπτυξη δοκιμαστικών κέντρων και συναφών εργαλείων. Μια εκτεταμένη έρευνα είναι απαραίτητη για την πραγματοποίηση όλων αυτών των προκλήσεων και για την επέκταση του τοπίου εφαρμογής των LPWAN περαιτέρω και, να ανταγωνιστούν με άλλες κυψελοειδές τεχνολογίες.

## **Κεφάλαιο 2 - Σχεδιασμός και αρχιτεκτονική δικτύου για το LPWAN**

Στο προηγούμενο κεφάλαιο συζητήθηκαν έξυπνες εφαρμογές μαζί με τα χαρακτηριστικά και τις απαιτήσεις που πρέπει να αντιμετωπιστούν από δίκτυο ευρείας περιοχής και χαμηλής ισχύος (LPWAN). Σε αυτό το κεφάλαιο αναφέρονται τα χαρακτηριστικά του αντίστοιχου συνόλου αρχιτεκτονικών εγκαταστάσεων και σχεδιαστικών κατασκευών. Σκοπός είναι η παροχή ενός συνολικού αρχιτεκτονικού και σχεδιαστικού πλαισίου του οποίου μια δεδομένη τεχνολογία LPWAN μπορεί να αξιολογηθεί σε σχέση με την κάλυψη των απαιτήσεων. Στο τέλος του κεφαλαίου, αναφέρονται επίσης σημαντικές τεχνολογικές λύσεις LPWAN στην αγορά και συνοψίζονται ως τμήμα των επερχόμενων κεφαλαίων που καλύπτουν τις κύριες λύσεις.

Επίσης, όπως αναφέρθηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο, η κύρια έμφαση στις τεχνολογίες LPWAN είναι σε συσκευές χαμηλού κόστους, σε δεδομένα μικρού μεγέθους με χαμηλό εύρος ζώνης, μεγάλη διάρκεια ζωής μπαταρίας, μεγάλο αριθμό συσκευών και εκτεταμένη κάλυψη. Οι βασικές προσδοκίες είναι το κόστος της συσκευής στο ύψος των 3-7 ευρώ, τα μεγέθη πακέτων από 10 έως 1000 bytes στο uplink με ταχύτητες έως 200 kbps, διάρκεια ζωής μπαταρίας άνω των 10 ετών,

*ΠΑΔΑ, Τμήμα Η&ΗΜ, Διπλωματική Εργασία, Γκράσου Μαριάν-Γκαμπριέλ*

*Ανάπτυξη διάταξης πυρανίχνευσης βασισμένης σε LPWAN δίκτυα και τεχνολογίες IoT*

υποστήριξη για 100k+ συσκευές και κάλυψη από 2 έως 1000 km. Αυτά τα χαρακτηριστικά επεκτείνονται σε πολλές περιπτώσεις για να θεωρηθούν νέες εφαρμογές. Ως εκ τούτου, εκτός από αυτά τα βασικά χαρακτηριστικά LPWAN, υπάρχουν εφαρμογές που μπορεί να απαιτούν μεγαλύτερα μεγέθη δεδομένων και διαφορετικό εύρος ζώνης, οι οποίες μπορούν να ανέχονται μειωμένη κάλυψη και ενδέχεται να επιτρέψουν κάποιο συμβιβασμό στο κόστος. Μια τυπική τεχνολογία LPWAN πρέπει να σχεδιαστεί χρησιμοποιώντας ένα σύνολο μελετών σχεδιασμού και αρχιτεκτονικών κατασκευών που προέρχονται από τον πυρήνα και άλλα πρόσθετα χαρακτηριστικά. Η εφαρμογή αυτών των κατασκευών έχει ως αποτέλεσμα διάφορες ανταλλαγές κόστους, απόδοσης και πολυπλοκότητας υλικού και λογισμικού. Ένα ρεπερτόριο από αυτά τα θέματα σχεδιασμού συζητείται στη συνέχεια.

## 2.1 Σχεδιαστικά ζητήματα

Τα χαρακτηριστικά και οι απαιτήσεις για λύσεις LPWAN μπορούν να ταξινομηθούν στις ακόλουθες μεγάλες κατηγορίες:

- i) Χαρακτηριστικά κυκλοφορίας
- ii) Χωρητικότητα και συμπύκνωση
- iii) Ενεργειακά αποδοτικές λειτουργίες και πηγές χαμηλής ισχύος
- iv) Κάλυψη
- v) Εντοπισμός θέσης
- vi) Ασφάλεια και προστασία της ιδιωτικής ζωής
- vii) Οικονομική αποδοτικότητα
- viii) Μειωμένη πολυπλοκότητα υλικού συσκευής
- ix) Εύρος επιλογών λύσης
- x) Αλληλεξαρτήσεις και διασυνεργασίες.

Τα δεδομένα συνεπάγονται σε εφαρμογές που βασίζονται σε βίντεο, σε επικοινωνία τύπου μηχανής (MTC) και όχι μόνο ανάμεσα σε συγκριτικά ομοιογενείς τύπους συσκευών και χαρακτηριστικών κυκλοφορίας, αλλά σε μία γκάμα τεχνολογικών και αρχιτεκτονικών σχεδίων.

Η προσέγγιση ιχνηλασιμότητας της συσχέτισης των απαιτήσεων με τις αντίστοιχες σχεδιαστικές εκτιμήσεις είναι ένα ισχυρό και αποτελεσματικό εργαλείο για να διασφαλιστεί ότι κάθε απαίτηση μπορεί να χαρτογραφηθεί στις αντίστοιχες οντότητες σχεδιασμού για να εξακριβωθεί η κάλυψη της απαίτησης. Μπορεί να σημειωθεί ότι ένα σχέδιο κατασκευής μπορεί να καλύπτει πολλαπλές απαιτήσεις. Τα θέματα σχεδιασμού ομαδοποιούνται σε δύο κατηγορίες, στις επιθυμητές και στις βελτιωτικές.

Οι επιθυμητές (ή αναμενόμενες) κατασκευές έχουν τις τυπικές βασικές δυνατότητες για δίκτυα LPWAN.

Οι κατασκευές σχεδιασμού που αναγνωρίζονται ως βελτιώσεις ισχύουν για συγκεκριμένες εφαρμογές και μπορεί να χρειαστούν για να βελτιώσουν συγκεκριμένα χαρακτηριστικά, να χειριστούν την ετερογενή κυκλοφορία στον περιβάλλοντα χώρο ή να διαχειριστούν διαφορετικούς τύπους συσκευών στο ίδιο δίκτυο LPWAN. Πολλές από αυτές τις βελτιώσεις επηρεάζουν κυρίως την πλατφόρμα πρόσβασης και όχι απαραίτητα τη συσκευή.

## 2.2 Χωρητικότητα και συμπύκνωση

Από την άποψη της χωρητικότητας, η τεχνολογία LPWAN πρέπει να υποστηρίζει και να παρέχει σε έναν μεγάλο αριθμό συσκευών δυνατότητα κλιμάκωσης. Όταν ένας μεγάλος αριθμός συσκευών συγκεντρωθεί σε μια σχετικά μικρή γεωγραφική περιοχή οδηγείται σε προβλήματα πυκνότητας.

Επομένως απαιτούνται παγκοσμίως μοναδικά αναγνωριστικά και δυνατότητες αναβάθμισης λογισμικού, έτσι ώστε η κάθε συσκευή να είναι μοναδική και να υπάρχει η δυνατότητα επεκτασιμότητας, χωρίς να απαιτείται φυσική πρόσβαση ή αλλαγή υλικού στη συσκευή. Για να μεγιστοποιηθεί η επεκτασιμότητα και η χωρητικότητα του δικτύου, οι μεμονωμένοι σύνδεσμοι πρέπει να βελτιστοποιηθούν

για υψηλή ποιότητα συνδέσμου, αξιοπιστία και να έχουν ενεργειακά αποδοτική επικοινωνία. Για εφαρμογές με ετερογένεια συσκευών απαιτούνται τυποποιημένα πρωτόκολλα. Μεγάλος αριθμός συσκευών και πυκνών εφαρμογών σταθμών βάσης προκαλούν υψηλά επίπεδα παρεμβολών μεταξύ σημάτων από διαφορετικές συσκευές. Το βασικό στην προσέγγιση για τη μείωση των παρεμβολών, είναι η χρήση επαναχρησιμοποίησης της συχνότητας ως μέρος του σχεδιασμού δικτύου. Σε ορισμένες περιπτώσεις η επικοινωνία θα πρέπει να είναι ανθεκτική στις παρεμβολές χρησιμοποιώντας προσαρμοστικά σχήματα διαμόρφωσης, πολλαπλά κανάλια και να κάνει περιττές μεταδόσεις.

Μπορεί να χρησιμοποιηθεί η αποτελεσματική εκμετάλλευση της διαφορετικότητας στο κανάλι, στον χρόνο, στον χώρο και στο υλικό. Σε μερικές εξειδικευμένες εφαρμογές ίσως χρειαστεί να εφαρμοστούν παραλληλισμοί στη μετάδοση αξιοποιώντας τεχνικές όπως πολλαπλά κανάλια και πολλαπλές εισόδους-πολλαπλών εξόδων (MIMO) διαμορφώσεις. Καθώς η τεχνολογία εξελίσσεται, το ραδιόφωνο το οποίο καθορίζεται από λογισμικό (SDR), μπορεί να είναι καλή επιλογή για την βελτιστοποίηση της πρόσβασης και της απόδοσης με αποτελεσματικό τρόπο. Για επιλεγμένες εφαρμογές όπου οι εκτιμήσεις κόστους και η ενεργειακή απόδοση είναι σημαντικές, οι ισχυρές τεχνικές είναι προαιρετικές.[8]

Σε καταστάσεις με μεγάλο αριθμό συσκευών και πυκνότητα απαιτούνται ισχυρές και αποτελεσματικές τεχνικές πολλαπλών προσπελάσεων, λόγω περιορισμένων πόρων αέρα και πιθανών παρεμβολών σε cros-τεχνολογίες. Μια πιθανή προσέγγιση πολλαπλών προσπελάσεων μπορεί να είναι η μη ορθογώνια πολλαπλάσια πρόσβαση (NOMA). Να σημειωθεί ότι το NOMA εξετάζεται επίσης για δίκτυα πρόσβασης 5G. Το NOMA μπορεί να εφαρμοστεί για την υποστήριξη διαφορετικών απαιτήσεων ποιότητας υπηρεσίας (QoS) σε διαφορετικούς τύπους τελικών συσκευών. Χρησιμοποιώντας το NOMA, οι συσκευές μπορούν να επιτύχουν πολλαπλή πρόσβαση αξιοποιώντας τομείς ισχύος και κώδικα. Όλες οι συσκευές μπορούν να χρησιμοποιούν πόρους ταυτόχρονα. Ωστόσο αυτό μπορεί να δημιουργήσει παρεμβολές μεταξύ συσκευών. Για να μετριαστεί, μπορούν να χρησιμοποιηθούν τεχνικές ανίχνευσης πολλαπλών συσκευών, όπως για παράδειγμα η κοινή αποκωδικοποίηση ή η διαδοχική ακύρωση παρεμβολών την ανάκτηση των σημάτων της συσκευής στον δέκτη.

Πολλές και προσαρμόσιμες διαμορφώσεις σε επίπεδο συνδέσμου ενδέχεται να χρειαστεί να υποστηρίζονται με αντισταθμίσεις μεταξύ διαφορετικών μετρήσεων απόδοσης, όπως εύρος ζώνης, καθυστέρηση, ποσοστό σφάλματος κτλ. Αυτό οδηγεί στην ανάγκη προσαρμοστικών τεχνικών, οι οποίες να μπορούν να αναπροσαρμόσουν τις παραμέτρους της για καλύτερη απόδοση, με βάση την ποιότητα του συνδέσμου της οθόνης. Προσαρμοστικά σχήματα διαμόρφωσης, επιλογή καλύτερων καναλιών για την κάλυψη αξιόπιστων αποστάσεων και ο προσαρμοστικός έλεγχος ισχύος μετάδοσης, είναι μερικές από τις τεχνικές που μπορούν να χρησιμοποιηθούν.

Υπάρχει σημαντική ανάγκη στην ανάπτυξη νέων προσεγγίσεων πυκνοποίησης, ειδικά σε πολλές ιδιόκτητες λύσεις. Τέτοιες τεχνολογίες μπορεί να μην είναι σε θέση να χρησιμοποιούν την τεχνική συγχρονισμού και την καλά συντονισμένη διαχείριση των ραδιοφωνικών πόρων. Η δυναμική κατάσταση και οι πληροφορίες πρέπει να αποθηκευτούν, τόσο για τις συσκευές του σταθμού πρόσβασης όσο και των βασικών οντοτήτων. Η διαχείριση των πληροφοριών κατάστασης μαζικού αριθμού συνδεδεμένων συσκευών είναι επίσης ένα ζήτημα που πρέπει να αντιμετωπιστεί.

## **2.3 Λειτουργίες εξοικονόμησης ενέργειας και πηγές χαμηλής ισχύος**

Οι ενεργειακά αποδοτικές λειτουργίες περιλαμβάνουν τη μείωση της πολυπλοκότητας και την αποτελεσματική χρήση των πόρων. Τα παρακάτω είναι μερικά βασικά ζητήματα σχεδιασμού για την παράταση της διάρκειας ζωής του συσκευές έως 10+ χρόνια λειτουργίας.

Για ενεργειακά αποδοτικά σχέδια, η χρήση πολλαπλών τρόπων χαμηλής κατανάλωσης και εξοικονόμησης ενέργειας (όπως για παράδειγμα η κατάσταση αναστολής λειτουργίας), είναι μια επιθυμητή προσέγγιση. Αυτή περιλαμβάνει σημαντικό αριθμό εφαρμογών LPWAN και την αποστολή μεγεθών καρέ της τάξης των δεκάδων byte, τα οποία να μεταδίδονται μερικές φορές την ημέρα σε εξαιρετικά χαμηλές ταχύτητες. Ο σκοπός είναι η λειτουργία των κόμβων να γίνεται με εξαιρετικά χαμηλό κύκλο λειτουργίας, έτσι ώστε να βρίσκονται σε κατάσταση αναστολής τις περισσότερες φορές. Επίσης πρέπει να υπάρχουν επιλεγμένα

*ΠΑΔΑ, Τμήμα Η&ΗΜ, Διπλωματική Εργασία, Γκράσου Μαριάν-Γκαμπριέλ*

*Ανάπτυξη διάταξης πυρανίχνευσης βασισμένης σε LPWAN δίκτυα και τεχνολογίες IoT*

στοιχεία υψηλής κατανάλωσης ενέργειας, όπως οι πομποδέκτες δεδομένων, τα οποία να μπορούν να απενεργοποιηθούν όταν δεν απαιτείται κάποια ενέργεια. Αυτό θα μειώνει την ποσότητα κατανάλωσης ενέργειας. Μόνο όταν πρόκειται να μεταδοθούν ή να ληφθούν δεδομένα, πρέπει να είναι ικανός ο πομποδέκτης να ενεργοποιηθεί. Σε περίπτωση που τα δεδομένα μεταδίδονται από το σταθμό πρόσβασης, ο σταθμός πρόσβασης θα πρέπει να έχει την δυνατότητα να περιμένει μέχρι να λήξει ο χρόνος ύπνου ή να μπορεί να στείλει ρητά σήματα αφύπνισης.[9]

Ο έλεγχος πρόσβασης πολυμέσων (MAC) έχει ιδιαίτερη επιρροή στη βελτίωση της χρήσης πόρων, στην αποδοτικότητα και στην παράταση της διάρκειας ζωής της μπαταρίας. Η αποτελεσματική χρήση πόρων μπορεί να γίνει μέσω προγραμματισμού βελτιστοποίησης. Ο αποτελεσματικός προγραμματισμός περιλαμβάνει εκχώρηση πόρων μετάδοσης σε επιλεγμένες συσκευές με υψηλότερα επίπεδα ποιότητας καναλιού. Μια άλλη προσέγγιση για την παράταση της διάρκειας ζωής της μπαταρίας είναι η συλλογή ενέργειας από άλλες πηγές. Οι φυσικές πηγές (όπως για παράδειγμα αιολική ή ηλιακή ενέργεια) μπορούν να χρησιμοποιηθούν. Ωστόσο αυτές οι πηγές μπορεί να είναι απρόβλεπτες και αναξιόπιστες. Οι πυκνωτές μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την αποθήκευση ενέργειας από αυτούς τους τύπους εναλλακτικών πηγών. Για σταθερή διαθεσιμότητα ενέργειας, η ισχύς μπορεί να προέρχεται από σήματα ραδιοσυχνότητας (RF) που μεταφέρουν πληροφορίες δεδομένων. Επίσης υπάρχει ανταλλαγή μεταξύ του κύκλου ζωής μιας μπαταρίας χωρίς να είναι απαραίτητες αυτές τις βελτιώσεις, έναντι της προκύπτουσας διαθεσιμότητας πρόσθετης ισχύος από τις εναλλακτικές πηγές.

Τα ελαφριά πρωτόκολλα και οι τεχνικές MAC για την πολυπλοκότητα εκτός φορτίου είναι οι τελικές συσκευές και μερικές τυπικές τεχνικές που μπορούν να ληφθούν υπόψη για την ενεργειακή απόδοση. Η χρήση απλών μέσων για τις τεχνικές πρόσβασης είναι ένα παράδειγμα μιας τέτοιας προσέγγισης. Για να ταιριάζουν με το εύρος και τα δεδομένα απαιτούνται χαμηλές τιμές, ευέλικτα και φθηνά σχέδια υλικού για την εφαρμογή σε πολλαπλά φυσικά στρώματα. Κάθε ένα από αυτά τα επίπεδα μπορεί να προσφέρει συμπληρωματικές λύσεις σε αντίστοιχες εφαρμογές.

Γενικά, από την άποψη της κατανάλωσης ενέργειας, οι λειτουργίες επικοινωνίας καταναλώνουν περισσότερη ενέργεια από τις εργασίες επεξεργασίας σε τελικές

*ΠΑΔΑ, Τμήμα Η&ΗΜ, Διπλωματική Εργασία, Γκράσου Μαριάν-Γκαμπριέλ*

*Ανάπτυξη διάταξης πυρανίχνευσης βασισμένης σε LPWAN δίκτυα και τεχνολογίες IoT*



συσκευές. Η χρήση ισχύος στις συσκευές μπορεί να μειωθεί με τη χρήση λιγότερων περίπλοκων ή λιγότερο συχνών μηχανισμών επικοινωνίας, για όσο διάστημα η αντίστοιχη πρόσθετη ισχύς επεξεργασίας είναι ακόμη διαχειρίσιμη. Για παράδειγμα, για μείωση στην γενική επικοινωνία, η αποστολή μεγάλου αριθμού μη μορφοποιημένων δεδομένων μπορεί να αντικατασταθεί, ενοποιώντας τα σε ένα μορφοποιημένο πακέτο πριν από τη μετάδοσή τους.

Με τον αυξανόμενο αριθμό συνδεδεμένων συσκευών LPWAN, οι πρόσθετοι σχεδιαστικοί προβληματισμοί που μπορούν να διερευνηθούν περιλαμβάνουν τη χρήση της ποικιλίας καναλιών, την ευκαιριακή και αποτελεσματική χρήση του φάσματος και την προσαρμοστική μετάδοση. Η χρήση του MIMO στους σταθμούς πρόσβασης LPWAN μπορεί επίσης να αυξήσει σημαντικά το κέρδος ποικιλομορφίας ή τους ρυθμούς δεδομένων. Χρησιμοποιώντας την πολυπλεξία διαχωρισμού διαστήματος, ο σταθμός πρόσβασης μπορεί να αυξήσει τον αριθμό των συσκευών LPWAN που μπορεί να υποστηρίξει.

Η αποτελεσματική χρήση του φάσματος αφορά την βελτιστοποιημένη χρήση του συνολικού φάσματος των πόρων σε χρόνο, συχνότητα, εύρος ζώνης και σε χωρικές διαστάσεις. Σε πολλές περιπτώσεις το φάσμα δεν χρησιμοποιείται πλήρως. Ο σταθμός πρόσβασης ή η συσκευή μπορούν να εντοπίσουν τα κενά χρήσης φάσματος, καθώς και να βελτιώσουν την αποτελεσματικότητα της χρήσης του φάσματος. Μια τέτοια προσέγγιση μπορεί μειώσει επίσης τις διασταυρούμενες παρεμβολές.

## **2.4 Μειωμένη πολυπλοκότητα υλικού συσκευής**

Η μείωση της πολυπλοκότητας του υλικού έχει πολλαπλά πλεονεκτήματα, συμπεριλαμβανομένης της μείωσης του κόστους, μείωση μεγέθους συσκευής και μειωμένη κατανάλωση ενέργειας.[8]

Ένας βασικός τομέας που επηρεάζει την απλότητα του υλικού είναι η εφαρμογή της αναδιαμόρφωσης του λογισμικού σε πομποδέκτες ραδιοφώνου. Τα ραδιόφωνα μπορούν να λειτουργούν σε ζώνες πολλαπλών συχνοτήτων, υποστηρίζουν διάφορους τύπους κυματομορφών, καθώς και διάφορες

τεχνολογίες διασύνδεσης αέρα, ανάλογα με ποια LPWAN σχετίζονται και ποιες άλλες διεπαφές. Πρέπει να αναδιαμορφωθούν με βάση ενός λογισμικού ενημερώσεων, χωρίς αλλαγές υλικού. Επιπλέον το SDR θεωρείται μία από τις βασικές τεχνολογίες που επιτρέπουν τη χρήση βελτιστοποιημένης πρόσβασης στο φάσμα. Η υιοθέτηση ενός ολοκληρωμένου κυκλώματος σε τεχνολογίες και σε δομές πομποδεκτών χαμηλής πολυπλοκότητας (όπως το ραδιόφωνο άμεσης αρχιτεκτονικής μετατροπής DCR) έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση της αποδοτικότητας της κατασκευής. Το DCR δεν απαιτεί εξωτερικά φίλτρα ενδιάμεσης συχνότητας ούτε φίλτρο απόρριψης εικόνας. Η χρήση αυτής της απλοποίησης μειώνει τον κίνδυνο ατελειών RF, όπως για παράδειγμα η ανισορροπία σε φάση και τετράγωνο, ο θόρυβος φάσης και η μη γραμμικότητα του ενισχυτή. Πρέπει να εφαρμοστούν αρκετές τεχνικές ψηφιακής επεξεργασίας οι οποίες να έχουν την δυνατότητα να προκαλέσουν κατανάλωση ενέργειας για την ελαχιστοποίηση των αρνητικών επιπτώσεων. Αυτές οι προσεγγίσεις συνήθως απαιτούν επεξεργασία υψηλής πολυπλοκότητας, η οποία με την σειρά της απαιτεί ενέργεια. Επομένως υπάρχουν αντισταθμίσεις στην εφαρμογή των τεχνικών απλούστευσης.

## 2.5 Εύρος επιλογών λύσεων

Οι επιλογές και η ευελιξία της χρήσης διαφορετικών τεχνολογιών LPWAN δημιουργούν ανταγωνισμό, μειώνουν το κόστος και παρέχει σημαντικές επιλογές δικτύου LPWAN στον χρήστη. Για αυτό τον λόγο, το υλικό, το λογισμικό και τα πρωτόκολλα που υποστηρίζονται στη συσκευή πρέπει να είναι σε θέση να διασυνδέονται με πολλές τεχνολογίες. Η συσκευή πρέπει να υποστηρίζει πολλαπλά φυσικά στρώματα και να ευθυγραμμίζεται με τα αντίστοιχα πρωτόκολλα που σχετίζονται με επιλεγμένες τεχνολογίες LPWAN. Αυτή η προσαρμοστικότητα επεκτείνεται επίσης στη διαθεσιμότητα πολλαπλών επιλογών από την άποψη του εύρους ζώνης και του λανθάνοντος χρόνου, σύμφωνα με τα γνωρίσματα της εφαρμογής. Οι συσκευές πρέπει να υποστηρίζουν πολλαπλούς τρόπους και πολλαπλές συχνότητες. Οι λειτουργίες πολλαπλών τρόπων μπορούν να συνδεθούν με πολλαπλές τεχνολογίες, ενώ η λειτουργία πολλαπλών συχνοτήτων



αναφέρεται στην ικανότητα λειτουργίας σε πολλαπλές συχνότητες αλλά στην ίδια τεχνολογία.

## 2.6 Λειτουργίες, αλληλεπιδράσεις και διεργασίες

Οι ιδιότητες και βασισμένες σε πρότυπα τεχνολογίες LPWAN έχουν διαφορετικά πλεονεκτήματα και αδυναμίες όσον αφορά τις λειτουργίες, τη συνύπαρξη και τη συνεργασία μεταξύ τους. Υπάρχουν διαφορετικές προκλήσεις για τις τεχνολογίες που λειτουργούν σε ζώνες με άδεια και χωρίς. Για τις ζώνες χωρίς άδεια, η ευελιξία και ο ταχύτερος χρόνος προς την αγορά είναι σημαντικά πλεονεκτήματα. Ωστόσο με τους πομποδέκτες γίνονται πιο περίπλοκοι και πρέπει να διαχειριστούν οι παρεμβολές. Επίσης οι ιδιότητες τεχνολογίες πρέπει να τηρούν τους περιφερειακούς κανονισμούς σχετικά με τη χρήση του κοινού φάσματος. Αυτά μπορεί να θέσουν όρια στις λειτουργίες τους, όπως για παράδειγμα την μεταδιδόμενη ισχύ RF. Για τεχνολογίες που λειτουργούν με άδεια ζώνης, τυποποιημένες λύσεις, εγκαταστάσεις διαχείρισης QoS, ο ισχυρός έλεγχος του δικτύου και των συσκευών είναι σημαντικά πλεονεκτήματα. Αλλά το κόστος, οι πολυπλοκότητες που σχετίζονται με την απόκτηση, την διαχείριση του καταναμεμένου φάσματος και οι καθυστερήσεις στην αγορά, είναι θέματα που πρέπει να αντιμετωπιστούν. Σε κάθε περίπτωση, η χρήση των συχνοτήτων sub-GHz επιτυγχάνουν ευρύτερη κάλυψη και καλύτερη διείσδυση στο κτίριο ή στην υπόγεια εγκατάσταση. Η χρήση των συχνοτήτων sub-GHz οδηγεί επίσης σε χαμηλότερες παρεμβολές και σε αυξημένη ευαισθησία, καθιστώντας αυτές τις τεχνολογίες πιο ενεργειακά αποδοτικές.[6]

Παραδοσιακά, οι ιδιότητες τεχνολογίες βελτιστοποιούν το κόστος τους χρησιμοποιώντας προσαρμοσμένες εφαρμογές και αδύνατα και λεπτά πρωτόκολλα ιδιοκτησίας. Οι φορητές υπηρεσίες και η διαθεσιμότητα επιλογών πολλαπλών τεχνολογιών και η χρήση κοινών διεπαφών στους χρήστες καθίσταται πιο σημαντική. Τα προσαρμοσμένα και τα απλά πρωτόκολλα πρέπει να αντικατασταθούν από τα τυποποιημένα. Συνήθως η επικοινωνία που βασίζεται στο πρωτόκολλο διαδικτύου (IP) μεταξύ εφαρμογών διακομιστή δικτύου και τελικών συσκευών, γίνεται με μια διεπαφή επιλογής. Αυτό επιτρέπει σε φορητές

*ΠΑΔΑ, Τμήμα Η&ΜΜ, Διπλωματική Εργασία, Γκράσου Μαριάν-Γκαμπριέλ*

*Ανάπτυξη διάταξης πυρανίχνευσης βασισμένης σε LPWAN δίκτυα και τεχνολογίες IoT*

και σε πιο γενικές εφαρμογές να βασίζονται σε IPv6 και περιορισμένο πρωτόκολλο εφαρμογής (CoAP). Για να ενσωματωθεί η απλότητα, μπορεί να χρειαστεί να εκμεταλλευτούν διαφορετικές τεχνολογίες ραδιοφώνου σε συμπιεσμένη μορφή IPv6 και CoAP. Η εφαρμογή της συσκευής LPWAN απαιτεί μικρό μέγεθος πλαισίου, λόγω των πολύ χαμηλών ποσοστών δεδομένων. Έτσι, οι παραδοσιακές τεχνικές συμπίεσης που βασίζονται σε οκτάδα, μπορεί να μην είναι κατάλληλα για να σηματοδοτήσουν IP και CoAP. Στο υψηλότερο επίπεδο μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί η δομή στοίβας Task Force Internet Engineering (IETF).

Οι παρεμβολές μεταξύ τεχνολογιών επηρεάζουν επίσης την απόδοση των τεχνολογιών LPWAN. Επομένως, πρέπει να τεθούν σε ισχύ συμφωνίες σε επίπεδο υπηρεσίας, ειδικά για την ζώνη χωρίς άδεια λειτουργίας.

Η διαλειτουργικότητα μεταξύ ετερογενών τεχνολογιών είναι ζωτικής σημασίας για τη μακροπρόθεσμη βιωσιμότητα τεχνολογιών LPWAN. Τα ζητήματα που αναφέρονται στην προηγούμενη παράγραφο πρέπει επίσης να αντιμετωπίζονται, ειδικά όταν πρόκειται για διαλειτουργικότητα. Και πάλι, οι τυποποιημένες δομές και τα πρωτόκολλα σχεδιασμού καθίστανται επιτακτικά. Επιπλέον, η εμφάνιση νέων τεχνολογιών επικοινωνίας εισάγει πολλές προκλήσεις ολοκλήρωσης, συμπεριλαμβανομένης της ευθυγράμμισης κοινών πρακτικών, περιγραφές υπηρεσιών, καθώς και πρότυπα και μηχανισμοί ανακάλυψης. Αυτό δημιουργεί ασυμβατότητες και δεν επιτρέπει τη συνεργασία. Τα κοινά μοντέλα εφαρμογών, ταυτότητας, ασφάλειας και διαχείρισης υπηρεσιών πρέπει να χρησιμοποιηθούν από οποιαδήποτε τεχνολογία LPWAN που επιθυμεί να συνεργαστεί με άλλους. Αυτό έχει αντίκτυπο κυρίως στα φυσικά και MAC στρώματα, καθώς και για εργασίες που σχετίζονται με την τήρηση των προτύπων IP και IETF για υψηλότερα επίπεδα.

## 2.7 IoT / LWPAN

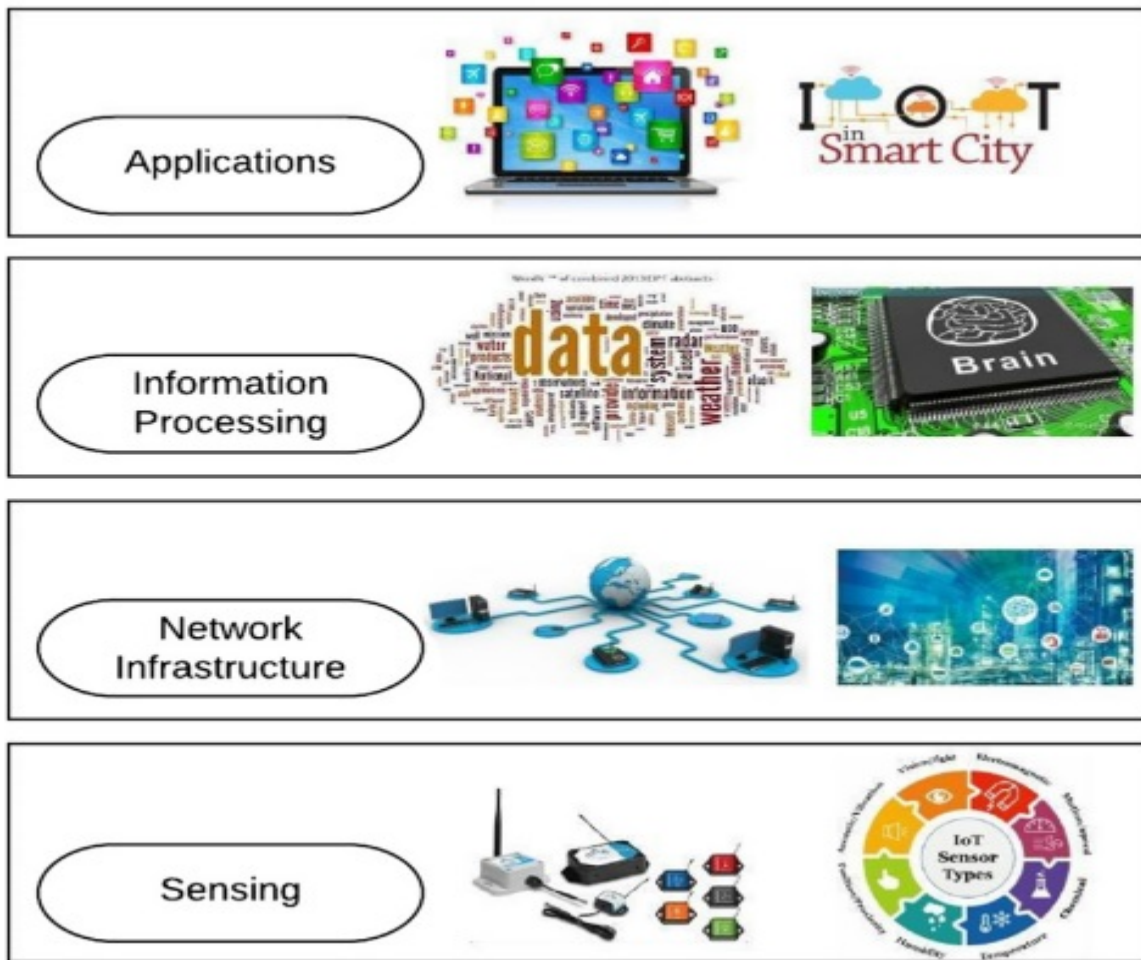
Το IoT θεωρείται το τρίτο κύμα του διαδικτύου μετά από στατικές ιστοσελίδες και κοινωνικά δίκτυα στο διαδικτυακό δίκτυο. Χρησιμοποιεί IP για τη σύνδεση διαφορετικών τύπων αισθητήρων και αντικειμένων παγκοσμίως. Τα τελευταία χρόνια, διαφορετικές αρχιτεκτονικές στρώσεις έχουν προταθεί από διαφορετικούς

*ΠΑΔΑ, Τμήμα Η&ΗΜ, Διπλωματική Εργασία, Γκράσου Μαριάν-Γκαμπριέλ*

*Ανάπτυξη διάταξης πυρανίχνευσης βασισμένης σε LPWAN δίκτυα και τεχνολογίες IoT*

ερευνητές. Ωστόσο δεν υπάρχει συναίνεση για μια συμφωνημένη αρχιτεκτονική έννοια παγκοσμίως, όσον αφορά το IoT. Ένα γενικό μοντέλο τεσσάρων επιπέδων για το IoT φαίνεται στο σχήμα 2.7-1.[10]

**Σχήμα 2.7-1:Μοντέλο τεσσάρων επιπέδων IoT [30]**



Όπως στην στοίβα πρωτοκόλλου ελέγχου μετάδοσης / πρωτόκολλο IP, το κάτω στρώμα καλείται επίπεδο ανίχνευσης και ταυτοποίησης και είναι ένα φυσικό στρώμα το οποίο είναι κυρίως υπεύθυνο για την ενσωμάτωση συσκευών όπως αισθητήρες, αντικείμενα, ενεργοποιητές, κτλ. Αυτό το επίπεδο ονομάζεται επίπεδο

ΠΑΔΑ, Τμήμα Η&ΗΜ, Διπλωματική Εργασία, Γκράσου Μαριάν-Γκαμπριέλ

Ανάπτυξη διάταξης πυρανίχνευσης βασισμένης σε LPWAN δίκτυα και τεχνολογίες IoT

αντίληψης IoT. Οι συσκευές IoT περιλαμβάνουν κόμβους απομακρυσμένου αισθητήρα, συσκευές συλλογής πληροφοριών, έξυπνους μετρητές, έξυπνες συσκευές και έξυπνες ηλεκτρονικές συσκευές. Αυτό το επίπεδο συλλέγει πληροφορίες από IoT συσκευές και μεταδίδει τα δεδομένα που συλλέγονται σε ένα επίπεδο υποδομής δικτύου. Έχει επίσης δυνατότητες για σύνδεση σε διαφορετικούς σταθμούς πρόσβασης και σε βασικές οντότητες των δικτύων. Εκτελεί διαμόρφωση / αποδιαμόρφωση, έλεγχο ισχύος και μετάδοσης και, λήψη των σημάτων. Για δίκτυα LPWAN ορισμένες από τις τεχνολογίες έχουν ιδιόκτητο φυσικό επίπεδο, όπως για παράδειγμα LoRa και Sigfox. Πάνω από το φυσικό επίπεδο υπάρχει επίπεδο υποδομής δικτύου για παροχή υποστήριξης δικτύωσης και μεταφορά δεδομένων μέσω ενσύρματων και ασύρματων δικτύων. Μπορούν επίσης να υπάρχουν ένα ή δύο τέτοια στρώματα, όπως για παράδειγμα σύνδεση δεδομένων και δίκτυο, ανάλογα με τον τύπο των δικτύων. Για αρχιτεκτονικές τυπολογίας αστέρα αρκεί το επίπεδο συνδέσμων δεδομένων που περιλαμβάνει MAC και λογικούς συνδέσμους (LLC) υποστρωμάτων. Ωστόσο, όποτε τα δεδομένα αποστέλλονται σε διακομιστή στο cloud, το επίπεδο δικτύου με δυνατότητα της δρομολόγησης των πακέτων στο Διαδίκτυο απαιτείται με βάση το IP. Για τεχνολογίες LPWAN, γενικά ορίζονται τα MAC / LLC, για δίκτυα μονής λυκίσκου με βάση την τοπολογία τύπου αστέρα. Για επικοινωνίες στο διαδίκτυο, υπάρχει ένα ευρύ φάσμα εφαρμογών. Ορισμένα συστήματα ενδέχεται να χρησιμοποιούν όλα τα κύρια επίπεδα του μοντέλου αναφοράς ανοιχτού συστήματος διασύνδεσης (OSI)-μεταφορά, συνεδρία, παρουσίαση και εφαρμογή, ενώ άλλα συστήματα μπορεί να χρησιμοποιούν επιλεγμένα επίπεδα, όπως για παράδειγμα μεταφορά και εφαρμογή.

Για εφαρμογές IoT, το επίπεδο δικτύου μπορεί να είναι ενσύρματο ή ασύρματο. Ανάλογα με τον τύπο συσκευών IoT, χρησιμοποιείται κατάλληλο δίκτυο επικοινωνίας. Για παράδειγμα, χρησιμοποιείται το ZigBee από κόμβους αισθητήρα για να μεταδίδει τα δεδομένα που συλλέγονται ασύρματα για πολύ μικρές αποστάσεις. Το επίπεδο δικτύου απομακρυσμένης επικοινωνίας μπορεί επίσης να είναι ενσύρματο ή ασύρματο. Για ενσύρματες συνδέσεις, μπορεί να χρησιμοποιηθεί οπτική δικτύωση. Για ασύρματη συνδεσιμότητα, μπορεί να γίνει χρήση 2G, 3G, μακροπρόθεσμη εξέλιξη (LTE) ή LPWAN.

Το επόμενο επίπεδο πάνω από το επίπεδο υποδομής δικτύου ορίζεται ως πληροφορίες ή ως στρώμα επεξεργασίας υπηρεσιών. Αυτό είναι υπεύθυνο για τη διαχείριση των υπηρεσιών σύμφωνα με τις ανάγκες του πελάτη. Οι κύριες ευθύνες περιλαμβάνουν την ανάλυση πληροφοριών, τον έλεγχο ασφάλειας, τη μοντελοποίηση διαδικασιών και τον έλεγχο της συσκευής.

Το επίπεδο εφαρμογής έχει ενσωματωμένες εφαρμογές και παρέχει μεθόδους αλληλεπίδρασης για χρήστες και εφαρμογές. Σε πολλές περιπτώσεις, προστίθενται υποεπίπεδα υποστήριξης για ειδικές ανάγκες, όπως ο υπολογισμός edge / fog και το cloud computing. Παρόμοια στρώματα μπορούν να προστεθούν και να χρησιμοποιηθούν ως πύλες LPWAN και πλευρές του διακομιστή.

## 2.8 IoT / Συσκευή σε Συσκευή (D2D)

Με την ανάπτυξη των τεχνολογιών επικοινωνίας και την ανάπτυξη των έξυπνων συσκευών (όπως έξυπνα τηλέφωνα, φορητές συσκευές και έξυπνα μη επανδρωμένα αεροσκάφη κ.λπ.), τα δεδομένα κίνησης έχουν αυξηθεί δραματικά την τελευταία δεκαετία. Ωστόσο, οι πόροι στα παραδοσιακά δίκτυα κινητής τηλεφωνίας (KN) δεν μπορούν να ικανοποιήσουν αυτές τις απαιτήσεις. Οι επικοινωνίες Device to Device (D2D) βοηθούν στην βελτίωση της φασματικής απόδοσης και της χωρητικότητας του δικτύου, επιτρέποντας σε δύο κοντινές κοινές συσκευές να επικοινωνούν άμεσα παρακάμπτοντας το σταθμός βάσης (BS). Ωστόσο, ο πόρος φάσματος είναι περιορισμένος λόγω της επαναχρησιμοποίησης του φάσματος από πολλούς χρήστες, ειδικά σε σημεία με πολλούς συνδέσμους δεδομένων. Για την αντιμετώπιση αυτής της πρόκλησης, η ανάπτυξη 5 GHz στο φάσμα CNs μπορεί να είναι μια εξαιρετική λύση. Η LTE-U τεχνολογία επιτυγχάνει καλύτερη απόδοση δικτύου σε επικοινωνίες D2D χωρίς άδεια. Η τεχνολογία φάσματος (D2D-U) έχει προσελκύσει όλο και περισσότερη προσοχή για τη μεγάλη της δυνητική ικανότητα ενίσχυσης της χωρητικότητας του δικτύου. Ωστόσο, το φάσμα χωρίς άδεια καταλαμβάνεται κυρίως από τους χρήστες Wi-Fi και η πρόσβαση των χρηστών στο φάσμα σε μια λειτουργία κατανεμημένου συντονισμού (DCF) βασίζεται στην πολλαπλή πρόσβαση με αποφυγή σύγκρουσης (CSMA/CA), στην οποία ακούγονται οι κόμβοι στο υποκάνάλι πριν

*ΠΑΔΑ, Τμήμα Η&ΜΜ, Διπλωματική Εργασία, Γκράσου Μαριάν-Γκαμπριέλ*

*Ανάπτυξη διάταξης πυρανίχνευσης βασισμένης σε LPWAN δίκτυα και τεχνολογίες IoT*

από τη μετάδοση δεδομένων. Σε αντίθεση με τους χρήστες Wi-Fi, οι επικοινωνίες LTE και D2D ελέγχονται και οι δύο από το BS, χωρίς να απαιτείται ανίχνευση πριν την μετάδοση. Οι χρήστες LTE και οι χρήστες D2D μοιράζονται την ίδια ζώνη χωρίς άδεια με τους χρήστες Wi-Fi και επιφέρουν τον τεράστιο εκφυλισμό των επιδόσεων αυτού του συστήματος. Επομένως, είναι δύσκολο να διατηρηθεί μια δίκαιη και αρμονική συνύπαρξη. Ένας μεγάλος αριθμός μηχανισμών πρόσβασης έχουν προταθεί χωρίς φάσμα υπό το φως αυτής της κατάστασης, δηλαδή το Listen-Before-Talk (LBT) που επιτρέπει στους χρήστες LTE και χρήστες D2D να λειτουργούν παρόμοια στην τεχνική του γνωστικού ραδιοφώνου (CR) και στη μέθοδο του κύκλου λειτουργίας, η οποία είναι επίσης γνωστή ως Carrier Sense Adaptive Transmission (CSAT). Επομένως:

- Θεωρούμε ένα δίκτυο κινητής τηλεφωνίας με χρήστες κινητής τηλεφωνίας, χρήστες D2D και χρήστες Wi-Fi, όπου οι χρήστες CU και D2D μπορούν να έχουν πρόσβαση στο φάσμα με άδεια και χωρίς άδεια.
- Διατυπώνουμε ένα πρόβλημα βελτιστοποίησης για τη μεγιστοποίηση του ρυθμού του συστήματος, βελτιστοποιώντας την κοινή πρόσβαση χρηστών και την κατανομή πόρων. Για την αντιμετώπιση του διατυπωμένου προβλήματος, προτείνεται ένας αλγόριθμος κοινής πρόσβασης χρηστών και κατανομής πόρων που βασίζεται σε αντιστοίχιση-επανάληψη της βέλτιστης λύσης.
- Οι ιδιότητες του προτεινόμενου αλγορίθμου συμπεριλαμβάνει την σύγκλιση, την σταθερότητα, την βελτιστοποίηση και αναλύει η πολυπλοκότητα. Τα αποτελέσματα προσομοίωσης δείχνουν ότι ο προτεινόμενος αλγόριθμος μπορεί να επιτύχει υψηλότερη απόδοση σε σχέση με τους άλλους αλγορίθμους αναφοράς σε όρους βελτίωσης του επιτοκίου του συστήματος.

## 2.9 IoT / MQTT

Ένα σύστημα συναγερμού πυρκαγιάς αποτελείται από διάφορους ανιχνευτές καπνού ή σημεία κλήσης, τα οποία συνδέονται στον πίνακα ελέγχου χρησιμοποιώντας καλώδια. Όλα τα εξαρτήματα και οι συσκευές του συστήματος που παρακολουθούν τη φωτιά ελέγχονται από έναν πίνακα ελέγχου συναγερμού

*ΠΑΔΑ, Τμήμα Η&ΗΜ, Διπλωματική Εργασία, Γκράσου Μαριάν-Γκαμπριέλ*

*Ανάπτυξη διάταξης πυρανίχνευσης βασισμένης σε LPWAN δίκτυα και τεχνολογίες IoT*



(FACP) που βασίζεται σε διάφορες ζώνες. Ένα από τα μειονεκτήματα του τρέχοντος συστήματος ανίχνευσης πυρκαγιάς είναι ότι δεν είναι σε θέση να παράσχει την ακριβή τοποθεσία της πυρκαγιάς και παρέχει μόνο τις πληροφορίες για την ζώνη που καίγεται. Το συμβατικό σύστημα πυρανίχνευσης δεν είναι εξοπλισμένο με σύστημα πρόληψης ψευδών συναγερμών. Ο ψευδής συναγερμός του συστήματος μπορεί να προκληθεί από υψηλή υγρασία, σκόνη ή έντομα, χημικές οσμές ή καπνός τσιγάρου.

Τα δεδομένα που συλλέγονται από τους αισθητήρες θα σταλούν στη μονάδα επεξεργασίας από το ESP32 (μικροελεγκτής χαμηλού κόστους και χαμηλής ισχύος με ενσωματωμένο Wi-Fi και διπλή λειτουργία Bluetooth) μέσω της αναμονής μηνυμάτων και του πρωτοκόλλου επικοινωνίας τηλεμετρίας μεταφοράς (MQTT). Το MQTT είναι ένα ελαφρύ σύστημα δημοσίευσης ή εγγραφής πρωτοκόλλου μεταφοράς για επικοινωνίες από μηχανή σε μηχανή και λειτουργεί πάνω από το πρωτόκολλο ελέγχου μετάδοσης (TCP). Η ασφάλεια του μηνύματος MQTT μπορεί να ενισχυθεί περαιτέρω χρησιμοποιώντας την ασφάλεια διαδικτύου TTL/SSL μέσω κρυπτογράφησης. Ένας μεσίτης θα χρησιμοποιηθεί για τη διαχείριση της ανταλλαγής πληροφοριών μεταξύ των πελατών. Ο μεσίτης είναι ένα λογισμικό που λειτουργεί για να λαμβάνει όλες τις πληροφορίες και τα μηνύματα από τους πελάτες, τα φιλτράρει και στέλνει τα μηνύματα- πληροφορίες στους πελάτες-συνδρομητές. Το MQTT προσαρμόζει έναν κεντρικό μεσίτη ο οποίος μειώνει τον αριθμό των πακέτων που αποστέλλονται στο διαδίκτυο και μειώνει τη χρήση της μνήμης που απαιτείται από τους πελάτες. Το ESP32 λαμβάνει τις τιμές από τους αισθητήρες και τις δημοσιεύει στα θέματα που έχουν εγγραφεί στο Node-RED(εργαλείο ανάπτυξης με βάση τη ροή για οπτικό προγραμματισμό). Οι πληροφορίες που λαμβάνονται θα ενημερώνονται και θα εμφανίζονται τακτικά στη διεπαφή χρήστη του Node-RED. Όταν δύο ή περισσότερες είσοδοι αισθητήρων είναι πάνω από τις τυπικές τιμές, το Node-RED δημοσιεύει το μήνυμα "on" στο θέμα "esp32/alarm" και ενημερώνει το ESP32 για να την ενεργοποίηση του συναγερμού.

## **Κεφάλαιο 3 - Τοπολογίες και αρχιτεκτονικές LWPAN**

Αυτή η ενότητα συνοψίζει τις τοπολογίες που ισχύουν για τα δίκτυα LPWAN και το αρχιτεκτονικό πλαίσιο που σχετίζεται με αυτά. Οι ιδιότητες και βασισμένες σε πρότυπα λύσεις LPWAN χρησιμοποιούν ένα σύνολο τοπολογιών που προσανατολίζονται στις εφαρμογές που εξυπηρετούν και στο σύνολο απαιτήσεων που θέλουν να επικεντρωθούν. Από άποψη τοπολογίας, τα δίκτυα LPWAN μπορούν να ταξινομηθούν σε δύο μεγάλες ομάδες - αστέρα και πλέγματος. Μια επιλεγμένη τεχνολογία μπορεί να διαμορφωθεί σε οποιοδήποτε από αυτά εάν είναι εξοπλισμένη με τα σχέδια που απαιτούνται για την τοπολογία και εάν υπάρχουν εγκαταστάσεις για να το υποστηρίξουν. Οι κυψελοειδείς τεχνολογίες είναι γενικά ευέλικτες από αυτή την άποψη και προσφέρουν υποστήριξη της κινητικότητας. Υπάρχει ένα σύνολο βασικών οντοτήτων που διαμορφώνουν την αρχιτεκτονική για δίκτυα LPWAN. Τυπικές αρχιτεκτονικές καλύπτονται παρακάτω σε αυτήν την ενότητα.

### **3.1 Τοπολογίες LWPAN**

Οι διακεκριμένες τοπολογίες είναι αστέρα και πλέγματος. Γενικά, προτιμάται η τοπολογία αστέρα για LPWAN μέσω δικτύου πλέγματος, για τη διατήρηση της ισχύος της μπαταρίας και την αύξηση του εύρους επικοινωνίας. Η συνδεσιμότητα μεγάλης εμβέλειας του LPWAN επιτρέπει σε τέτοια δίκτυα μονής λυκίσκου πρόσβαση σε ένα μεγάλο αριθμό κόμβων, μειώνοντας έτσι το κόστος. Από άποψη κάλυψης, παραδοσιακές ασύρματες τεχνολογίες αισθητήρων όπως το ZigBee, το Bluetooth και το Wi-Fi δεν έχουν σχεδιαστεί για ευρεία κάλυψη και ως εκ τούτου δεν εφαρμόζονται άμεσα ως τεχνολογίες LPWAN.

Η απλούστερη μορφή τοπολογίας ασύρματου δικτύου είναι ένα δίκτυο από σημείο σε σημείο, στο οποίο οι κόμβοι επικοινωνούν απευθείας με έναν κεντρικό κόμβο. Αυτό χρησιμοποιείται συχνά για εφαρμογές με απομακρυσμένη

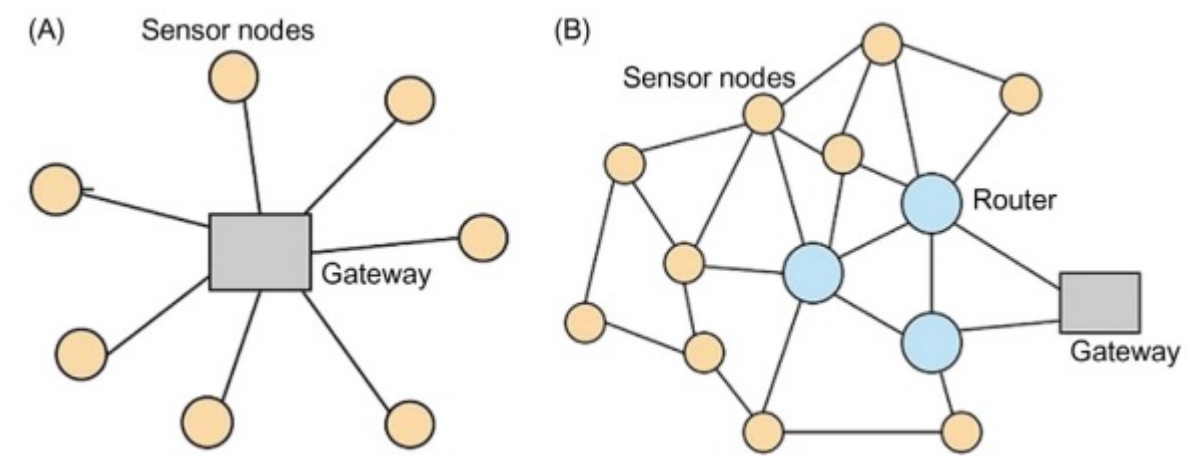


παρακολούθηση και μπορεί να είναι χρήσιμες σε επικίνδυνο περιβάλλον. Τέτοιες τεχνολογίες LPWAN υποστηρίζουν μια τοπολογία αστεριών, όπως φαίνεται στο Σχήμα 3-1 (Α). Ένα δίκτυο αστερά αποτελείται από έναν κόμβο πύλης στον οποίο συνδέονται όλοι οι άλλοι κόμβοι. Οι κόμβοι μπορούν να επικοινωνούν μεταξύ τους μέσω της πύλης. Τα μηνύματα κόμβου μεταδίδονται σε κεντρικό διακομιστή μέσω πυλών. Κάθε τερματικός κόμβος μεταδίδει τα μηνύματα σε μία ή περισσότερες πύλες. Η πύλη προωθεί τα μηνύματα στον διακομιστή δικτύου όπου υπάρχει πλεονασμός και πραγματοποιούνται έλεγχοι για σφάλματα και για την ασφάλεια. Τα δίκτυα αστερά είναι γρήγορα και αξιόπιστα λόγω της δυνατότητας single-hop. Οι ελαττωματικοί κόμβοι μπορούν επίσης να εντοπιστούν και να απομονωθούν εύκολα. Αλλά, εάν η πύλη αποτύχει όλοι οι κόμβοι που συνδέονται με αυτό γίνονται απρόσιτοι. Δεδομένου ότι ο τελικός κόμβος στέλνει μηνύματα σε πολλαπλές πύλες, δεν υπάρχει ανάγκη για επικοινωνία από πύλη σε πύλη. Αυτό απλοποιεί το σχεδιασμό σε σύγκριση με τα δίκτυα όπου οι τελικοί κόμβοι είναι κινητοί.

Το δίκτυο τοπολογίας πλέγματος αποτελείται από έναν κόμβο πύλης, κόμβους αισθητήρα και συνδέσμους αισθητήρα-σωρευτικής σύνδεσης όπως φαίνεται στο Σχήμα 3.1-1 (Β). Σε ένα πλέγμα μερικής τοπολογίας, ορισμένοι κόμβοι συνδέονται με μερικούς και άλλοι συνδέονται μόνο με αυτούς με τους οποίους ανταλλάσσουν τα περισσότερα μηνύματα.

Τα δίκτυα πλέγματος έχουν πολλά πλεονεκτήματα, όπως η διαθεσιμότητα πολλαπλών διαδρομών για καλύτερη δυνατότητα πρόσβασης, ταυτόχρονες μεταδόσεις προς τα πάνω και προς τα κάτω και εύκολη επεκτασιμότητα του δικτύου. Αυτά τα δίκτυα έχουν κάποια μειονεκτήματα συμπεριλαμβανομένης της πολυπλοκότητας που οφείλεται σε περιττούς κόμβους, πρόσθετη καθυστέρηση λόγω της επικοινωνίας πολλαπλών συνδέσμων και αύξηση του κόστους. Ο πλεονασμός των κόμβων θέτει επίσης σε κίνδυνο την ενεργειακή απόδοση του δικτύου.

**Σχήμα 3.1-1: (A) Τοπολογία αστέρα (B) Τοπολογία δικτύου πλέγματος [30]**



### 3.2 Σημαντικές αρχιτεκτονικές στις τεχνολογίες LPWAN

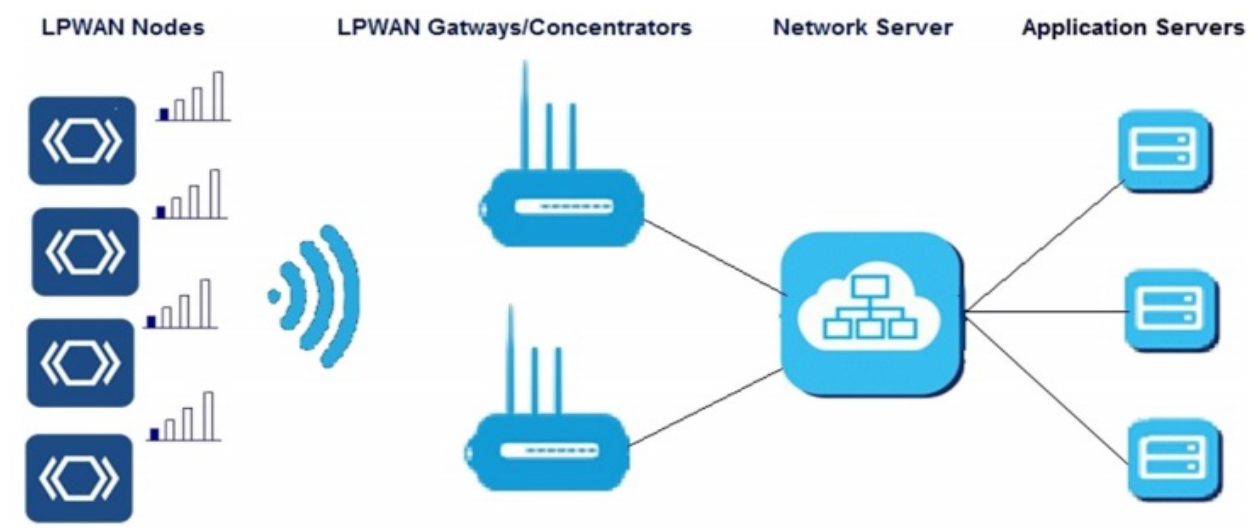
Η βασική αρχιτεκτονική LPWAN απαιτεί ασύρματη πρόσβαση και συνδεσιμότητα στο διαδίκτυο και στο Cloud.

Με βάση την ποικιλία των επιθυμητών και βελτιωτικών κατασκευών σχεδιασμού και τα ποικίλα επίπεδα λειτουργιών στρώματος που προτείνονται στο Σχήμα 2.7-1, μια συγκεκριμένη τεχνολογία LPWAN μπορεί να απαιτεί ένα επιλεγμένο σύνολο αρχιτεκτονικών οντοτήτων όπως φαίνεται στο Σχήμα 3.2-1.

Η βασική λειτουργία μιας συσκευής LPWAN είναι η συλλογή δεδομένων και η απόκριση σε εισόδους από το δίκτυο LPWAN. Τα δεδομένα που συλλέγονται αποστέλλονται σε συγκεκριμένο ραδιοφωνικό σύνδεσμο προς τον σταθμό ασύρματης πρόσβασης και στο δίκτυο IoT. Ο σταθμός πρόσβασης παρέχει τη σύνδεση ραδιοφώνου για τη διαχείριση συσκευών και ανταλλαγή της πληροφορίας των συσκευών. Διατηρεί την ακεραιότητα του ραδιοσυνδέσμου με τον χειρισμό αποδεκτών ποσοστών σφάλματος bit, εισαγωγές, ασφάλεια κλπ. Ο σταθμός πρόσβασης διασυνδέεται με την πύλη η οποία σε ορισμένες περιπτώσεις

ονομάζεται και πυρήνας. Υπάρχουν διαφορετικές υλοποιήσεις ανάλογα με την ιδιότητα ή είναι βασισμένη σε πρότυπα τεχνολογιών LPWAN τα οποία εξετάζονται. Ο πυρήνας είναι υπεύθυνος για το χειρισμό του ελέγχου και της κυκλοφορίας. Επίσης παρέχει έναν αγωγό ανταλλαγής πληροφοριών μεταξύ του σταθμού πρόσβασης και του δικτύου IoT καθώς και μετάφραση μεταξύ των πρωτοκόλλων που υποστηρίζονται από το σταθμό πρόσβασης στη μία πλευρά και από το δίκτυο από την άλλη. Ανάλογα με την τεχνολογία, ένας συμπυκνωτής μπορεί να παρέχει άκρες υπολογιστικών και αποθηκευτικών χώρων για να τα φορτώσει το cloud. Λόγω της σχετικής εγγύτητάς των συσκευών, αυτό ισχύει ιδιαίτερα σε περιπτώσεις όπου η συσκευή απαιτεί υποστήριξη σε πραγματικό χρόνο με χαμηλή καθυστέρηση σε επιλεγμένες τεχνολογίες LPWAN, όπου ο πυρήνας μπορεί να παρέχει ισχυρή εισαγωγή καθώς και υποστήριξη κινητικότητας. Ο διακομιστής LPWAN είναι υπεύθυνος για την παροχή, την εγγραφή και τη λειτουργία των οντοτήτων LPWAN. Μπορεί επίσης να μοιραστεί ή να αυξήσει βασικές λειτουργίες όπως η δρομολόγηση της κυκλοφορίας και η ασφάλεια και ο χειρισμός προτεραιότητας με τον πυρήνα. Οι διακομιστές εφαρμογών και το cloud υποστηρίζουν το δίκτυο LPWAN κατά τη διαχείριση της βάσης δεδομένων που περιέχει τα μηνύματα που λαμβάνονται από όλα τα συνδεδεμένα αντικείμενα. Επίσης μπορεί να χρησιμοποιεί μεγάλη ανάλυση δεδομένων για να αναλύει και να ενεργεί με βάση τα δεδομένα.

**Σχήμα 3.2-1: Τυπικές οντότητες δικτύου LPWAN [31]**



ΠΑΔΑ, Τμήμα Η&ΗΜ, Διπλωματική Εργασία, Γκράσου Μαριάν-Γκαμπριέλ

Ανάπτυξη διάταξης πυρανίχνευσης βασισμένης σε LPWAN δίκτυα και τεχνολογίες IoT

## Κεφάλαιο 4 - NB-IoT

Για τη μελλοντική ανάπτυξη του IoT στη βιομηχανία κινητής τηλεφωνίας, στην τρίτη γενιά το πρόγραμμα συνεργασίας 3GPP έχει τυποποιήσει νέες τεχνολογίες κατηγορίας για εφαρμογές δικτύου ευρείας περιοχής και χαμηλής ισχύος (LPWAN). Αυτά τα πρότυπα αναφέρονται ως κινητά IoT. Αυτά είναι σχεδιασμένα για άδεια χρήσης φάσματος και για υποστήριξη συσκευών με απαιτήσεις χαμηλής κατανάλωσης ενέργειας, μεγάλης εμβέλειας, χαμηλού κόστους και ασφάλειας. Έχουν μια ποικιλία εφαρμογών LPWA IoT και οι απαιτήσεις τους διαφέρουν μεταξύ τους. Μια τεχνολογία LPWAN δεν μπορεί αντιμετωπίζει τις απαιτήσεις όλων των εφαρμογών IoT χαμηλής ισχύος και για αυτόν τον λόγο, δύο συμπληρωματικά πρότυπα 3GPP με άδεια χρήσης Narrowband-Internet of Things (NB-IoT) και Long-Term To Evolution for Machines (LTE-M) έχει προταθεί και βασίζεται στο LTE.

Το NB-IoT είναι ένα νέο πρότυπο γνωστό ως τεράστιο LPWAN για υποστήριξη μεγάλων και χαμηλών δεδομένων για εφαρμογές IoT. Έχει πολλά χαρακτηριστικά όπως η υπερβολική κατανάλωση ενέργειας, ευρεία κάλυψη και μαζική σύνδεση. Επίσης, το NB-IoT έχει πολλά νέα χαρακτηριστικά όσον αφορά την ανάπτυξη LPWAN για την αντιμετώπιση των ελλείψεων, όπως κακή ασφάλεια, κακή αξιοπιστία και υψηλό κόστος λειτουργίας και συντήρησης. Το NB-IoT μπορεί να φορτωθεί από μεγάλους κατασκευαστές κινητών συσκευών και μονάδων και πράγματι θα είναι προσαρμόσιμο με δίκτυα κινητής τηλεφωνίας 2G, 3G, 4G και 5G. Επιτρέπει τη λειτουργία παραδοσιακών επιχειρήσεων IoT και ανοίγει νέες ευκαιρίες για βιομηχανικές εφαρμογές και άλλες πτυχές. Επιπλέον, στην αγορά φαίνεται η αυξανόμενη ζήτηση για διαφορετικές έξυπνες εφαρμογές.

Επομένως, το NB-IoT είναι ένα κυψελοειδές δίκτυο ευρείας περιοχής χαμηλής ισχύος (LPWAN), τεχνολογία που σχεδιάστηκε από το 3GPP. Οι κύριοι σχεδιαστικοί στόχοι του NB-IoT είναι:

- i) Η εκτεταμένη κάλυψη (Μέγιστη απώλεια ζεύξης (MCL) 20 dB χαμηλότερη από ό, τι στο General Packet Radio Service (GPRS))
- ii) Η παρατεταμένη διάρκεια ζωής της μπαταρίας (πάνω από 10 χρόνια)

*ΠΑΔΑ, Τμήμα Η&Μ, Διπλωματική Εργασία, Γκράσου Μαριάν-Γκαμπριέλ*

*Ανάπτυξη διάταξης πυρανίχνευσης βασισμένης σε LPWAN δίκτυα και τεχνολογίες IoT*

iii)Ο τεράστιος αριθμός συνδεδεμένων συσκευών (περίπου 50000 ανά κύτταρο 180 kHz)

iv)Το χαμηλό κόστος συσκευής.

Έτσι, οι κύριες περιπτώσεις χρήσης για το NB-IoT εμπίπτουν στην μεγάλη κατηγορία των IoT (π.χ. παρακολούθηση στοιχείων, απομακρυσμένη παρακολούθηση),όπου ο αριθμός συσκευών, η κατανάλωση ισχύος και η κάλυψη σήματος παίζουν πιο σημαντικό ρόλο από τον ρυθμό καθυστέρησης ή δεδομένων. Σε αυτή την διπλωματική εργασία θεωρούμε μια αυτοματοποιημένη παρακολούθηση με βάση τους αισθητήρες, η οποία διευκολύνει τη διαχείριση των σημείων ενός κλειστού χώρου σε περίπτωση πυρκαγιάς. Τα μηνύματα αποστέλλονται μόνο σε περίπτωση φωτιάς σε κάποιο σημείο του χώρου. Ο χαμηλός ρυθμός δεδομένων, η άμεση ανταπόκριση του συστήματος και η αξιοπιστία του είναι υψίστης σημασίας.

## 4.1 Ιστορία και πρότυπα

Η ταχεία και ισχυρή ανάπτυξη της τεχνολογίας NB-IoT στις αγορές δείχνει μεγάλο αριθμό σχεδίων ανάπτυξης με δισεκατομμύρια συνδέσεις και ώθηση των εσόδων του φορέα σε τρισεκατομμύρια δολάρια έως σήμερα. Επί του παρόντος, η αγορά NB-IoT καθοδηγείται από πολλούς φορείς από την Ασία, Ευρώπη και Ηνωμένες Πολιτείες. Σύμφωνα με έρευνα αγοράς στην ζώνη IoT, η παγκόσμια αγορά NB-IoT αναμένεται να αναπτυχθεί με σύνθετο ετήσιο ρυθμό ανάπτυξης 50% μεταξύ των ετών 2016 και 2022,λόγω της ταχείας ανάπτυξης στη βιομηχανία IoT και της αυξανόμενης ζήτησης για νέες τεχνολογίες κινητής επικοινωνίας, οι οποίες είναι αφιερωμένες σε εφαρμογές IoT LPWA.[11]

Για οποιαδήποτε τυποποίηση νέας τεχνολογίας, ένα σημαντικό ζήτημα είναι να διασφαλιστεί η διαλειτουργικότητα προϊόντων και εφαρμογών που θα βοηθήσουν στην ανάπτυξη και ρύθμιση της λειτουργίας των προϊόντων από την τεχνολογία και να διασφαλίζεται η ασφάλεια και το απόρρητο των δεδομένων για τους χρήστες. Διαφορετικά πρότυπα έχουν κυκλοφορήσει από τα εθνικά και διεθνή επίπεδα ανάπτυξης, με τη βοήθεια κατασκευαστών επικοινωνίας οι οποίοι έχουν

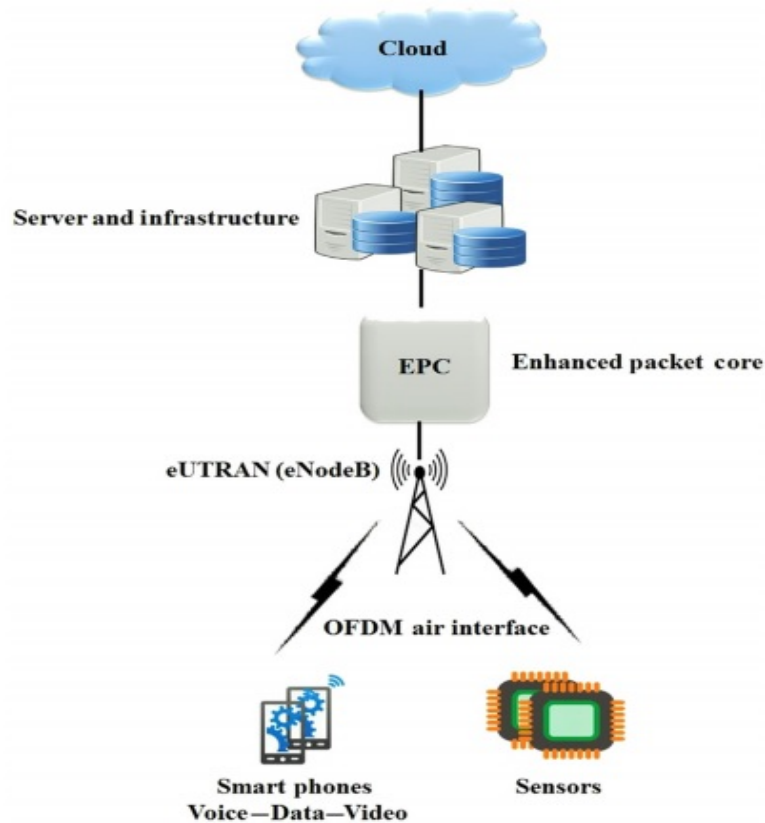
διαδραματίσει σημαντικό ρόλο στη ρύθμιση του τελευταίου προτύπου για NB-IoT. Τα πρότυπα στενής ζώνης M2M και στενής ζώνης LTE κυκλοφόρησαν μεταξύ των ετών 2014 και 2015, όπου και οι δύο τεχνολογίες συνέβαλαν στην εμφάνιση του γνωστού ως στενής ζώνης κυτταρικού IoT (NB-CIoT). Το NB-CIoT με τα πρότυπα του 3GPP οδήγησε σε ένα σαφές όραμα για τη χρήση της τεχνολογίας NB-IoT.

Το 3GPP έχει αναπτύξει ένα πρότυπο για IoT συμπεριλαμβανομένων των eMTC και EC-GSM-IoT. Παράγουν επίσης νέες προδιαγραφές για την κυψελοειδή επικοινωνία από το NB-IoT και το 2016 ολοκλήρωσαν το πρώτο σετ προδιαγραφών για το NB-IoT ως πρότυπο ραδιοφώνου που αναπτύχθηκε για το LPWAN για υποστήριξη τεχνολογιών IoT. Με την ολοκλήρωση του NB-IoT, το 3GPP ολοκλήρωσε μια σημαντική προσπάθεια σε αυτό που είναι γνωστό ως Release 13, για την αντιμετώπιση της αγοράς IoT. Η ύπαρξη νέων τεχνολογιών όπως το NB-IoT επιτρέπει στους χειριστές 3GPP να αντιμετωπίζουν τις διαφορετικές απαιτήσεις του IoT.

## 4.2 Έννοιες Narrowband-Internet of Things

Το NB-IoT βασίζεται στα χαρακτηριστικά του LTE, επιτρέποντας την εύκολη ανάπτυξη και ενσωμάτωση με δίκτυα LTE. Χρησιμοποιείται για εφαρμογές IoT με εκτεταμένη κάλυψη και χαμηλή κατανάλωση ενέργειας. Το LTE είναι το δίκτυο κινητής πρόσβασης τέταρτης γενιάς όπως ορίζεται από το 3GPP πρότυπο. Είναι ένα επίπεδο βασισμένο στο Πρωτόκολλο Διαδικτύου (IP) για να βελτιώσει σημαντικά την απόδοση 3G μέσω της χρήσης δικτύου ραδιοπρόσβασης με βάση OFDMA (RNC) και πυρήνα μόνο για πακέτα. Η βασική αρχιτεκτονική για LTE / LTE-M φαίνεται στο Σχήμα 4.2-1.

**Σχήμα 4.2-1:Βασική αρχιτεκτονική LTE / LTE-M [30]**



Στο δίκτυο LTE, το eUTRAN / eNodeB αποτελεί τον ελεγκτή ασύρματου δικτύου (RNC) και ο πυρήνας πακέτου που χαρακτηρίζεται ως ενισχυμένος πυρήνας (EPC). Οι κύριες οντότητες στα δίκτυα πρόσβασης LTE καθορίζονται από τα πρότυπα 3GPP που ονομάζονται 3GPP Release 16. Όπως φαίνεται στο Σχήμα 4.2-2, ο ενσωματωμένος σταθμός βάσης/ελεγκτής συγκροτήματος eUTRAN (eNodeB) παρέχει πρόσβαση ραδιοφώνου και λειτουργίες διαχείρισης, ενώ ο φορέας ραδιοφώνου (RB) τον εξοπλισμό χρήστη (UE). Οι λειτουργίες του περιλαμβάνουν έλεγχο εισόδου ραδιοφώνου (RAC), διαχείριση πόρων

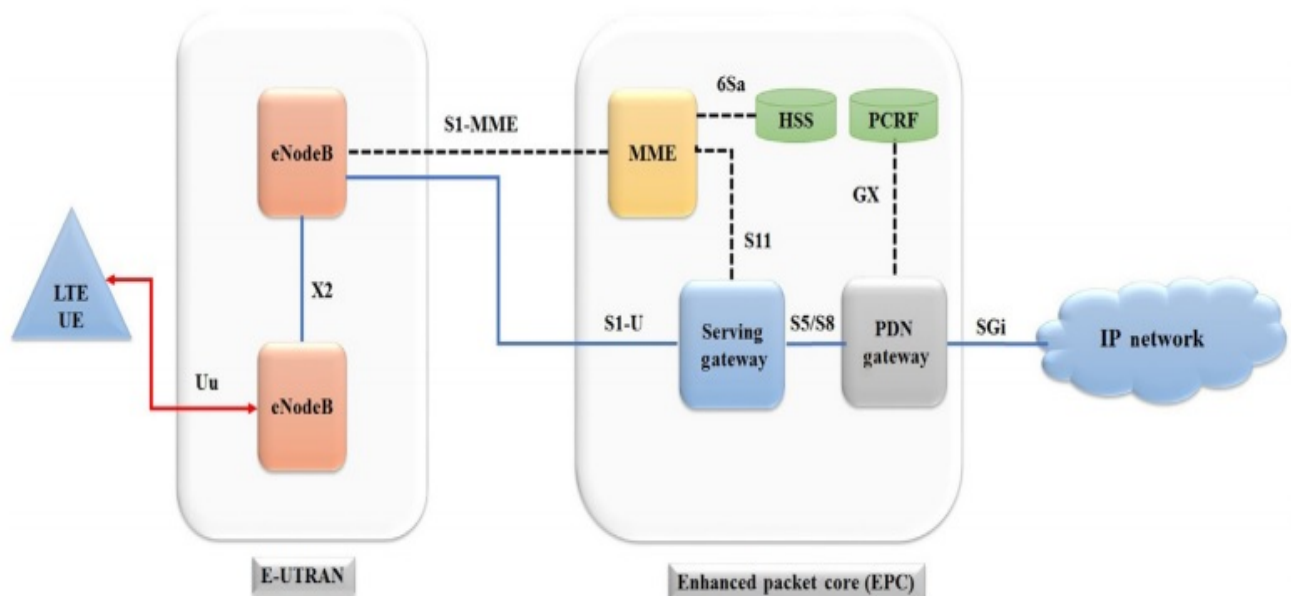
*ΠΑΔΑ, Τμήμα Η&ΜΜ, Διπλωματική Εργασία, Γκράσον Μαριάν-Γκαμπριέλ*

*Ανάπτυξη διάταξης πυρανίχνευσης βασισμένης σε LPWAN δίκτυα και τεχνολογίες IoT*



ραδιοφώνου (RRM), κρυπτογράφηση, συμπίεση, κινητικότητα διεπαφής αέρα, παράδοση (HO), έλεγχο RB, έλεγχο κινητικότητας σύνδεσης, και δυναμική κατανομή πόρων σε UE σε uplink και downlink, προγραμματισμό και, επιπλέον την ασφάλεια. Η λειτουργία βασίζεται σε OFDMA in downlink και SC-FDMA σε uplink με Απόσταση τόνου 15 kHz.

**Σχήμα 4.2-2:Μεγάλες οντότητες LTE / LTE-M [30]**



Τα κανάλια δεδομένων ορίζονται για να παρέχουν αποτελεσματική και αποδοτική μεταφορά δεδομένων μέσω της διεπαφής ραδιοφώνου LTE. Αυτά διατυπώνονται χρησιμοποιώντας μπλοκ πόρων (RBs) που τυποποιείται με συχνότητα 180 kHz. Το RAN υποστηρίζει ένα εύρος ζωνών συχνοτήτων, ιδίως 1,4,5,10 και 20 MHz. Το EPC διαχειρίζεται και χειρίζεται διάφορους τύπους χρηστών και κυκλοφορίας συσκευών, υποστηρίζει και εισάγει νέο εξοπλισμό και εφαρμογές και, παρέχει υποστήριξη για απρόσκοπτη φορητότητα υπηρεσιών σε ασύρματα δίκτυα IP. Τα κλειδιά των στοιχείων στο EPC περιλαμβάνουν την οντότητα διαχείρισης κινητικότητας (MME), την πύλη εξυπηρέτησης (S-GW), πύλη δικτύου δεδομένων πακέτων (PDN) (P-GW), λειτουργία κανόνων πολιτικής και

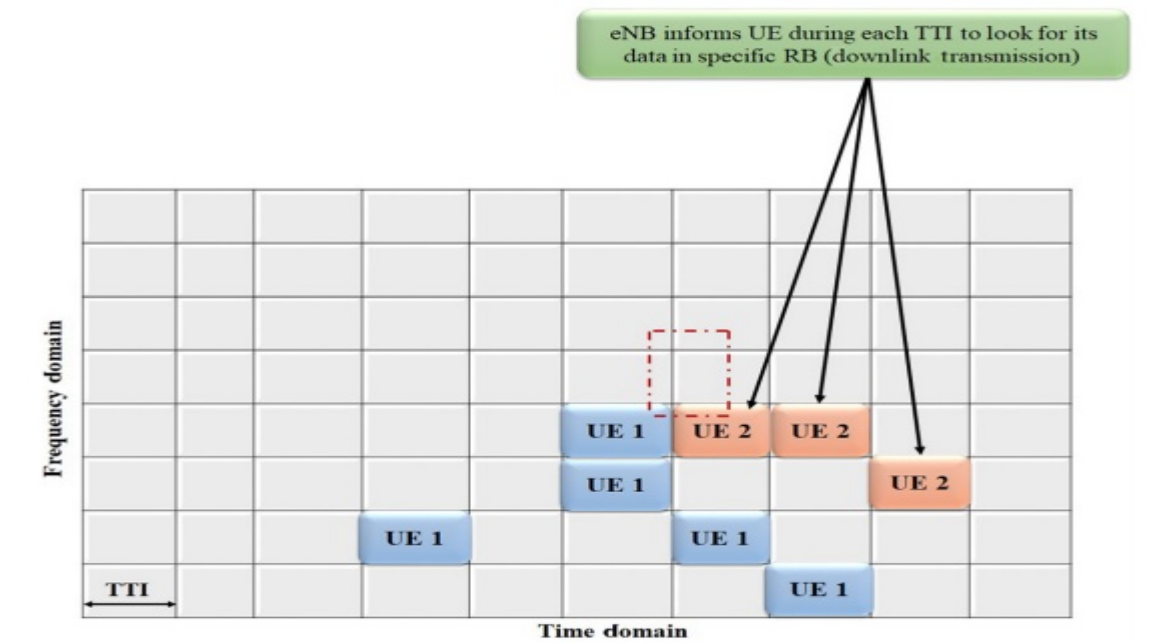
ΠΑΔΑ, Τμήμα Η&ΗΜ, Διπλωματική Εργασία, Γκράσου Μαριάν-Γκαμπριέλ

Ανάπτυξη διάταξης πυρανίχνευσης βασισμένης σε LPWAN δίκτυα και τεχνολογίες IoT



φόρτισης και το οικιακό σύστημα συνδρομητών (HSS) με ένα σύνολο σχετικών υποσυστημάτων. Η MME παρέχει τις λειτουργίες του επιπέδου ελέγχου που σχετίζονται με τη διαχείριση συνδρομητών και συνεδριών, τη διαχείριση εξοπλισμού και την παρακολούθηση, όλα εκτός από τη διαχείριση τοποθεσίας. Το S-GW παρέχει την δρομολόγηση δεδομένων και πακέτων και είναι η άγκυρα κινητικότητας κυκλοφορίας των χρηστών. Το P-GW είναι η προεπιλεγμένη πύλη προς το PDN. Είναι υπεύθυνο για το φιλτράρισμα πακέτων και την εφαρμογή QoS. Το HSS αποθηκεύει και ενημερώνει μια βάση δεδομένων με πληροφορίες χρήστη και συσκευής, την διεθνής κινητή ταυτότητα συνδρομητή και εγκεκριμένα προφίλ QoS. Το χρονικό διάστημα μετάδοσης (TTI) σε LTE είναι η μικρότερη μονάδα χρόνου στην οποία το eNB είναι σε θέση να προγραμματίζει οποιονδήποτε χρήστη για uplink ή μετάδοση ζεύξης και είναι 1 ms σε LTE / LTE-M. Εάν ένας χρήστης λαμβάνει downlink δεδομένων, στη συνέχεια κατά τη διάρκεια κάθε ενός 1 ms, το eNB θα εκχωρήσει πόρους και θα ενημερώσει τον χρήστη που να ψάξει για τα δεδομένα της κάτω ζεύξης μέσω του καναλιού Physical Downlink Control Channel (PDCCH, Εικόνα 4.2-3).

**Σχήμα 4.2-3: Χρονικό διάστημα μετάδοσης (TTI) σε LTE [30]**



Το υβριδικό αυτόματο αίτημα επανάληψης (HARQ),όπως φαίνεται στο σχήμα 4.2-4,είναι μια διαδικασία όπου ο δέκτης συνδυάζει τη νέα μετάδοση κάθε φορά με τα προηγούμενα εσφαλμένα δεδομένα. Το LTE / LTEM εφαρμόζει την αυξητική έκδοση HARQ πλεονασμού.

Στο HARQ,όταν ο δέκτης εντοπίζει εσφαλμένα δεδομένα, δεν τα απορρίπτει. Μετά την παραλαβή NACK,ο αποστολέας στέλνει τα ίδια δεδομένα με ένα διαφορετικό σύνολο κωδικοποιημένων bit.Ο λαβών συνδυάζει τα λανθασμένα δεδομένα που είχαν ληφθεί στο παρελθόν με τα πρόσφατα δεδομένα του αποστολέα και η διαδικασία επαναλαμβάνεται μέχρι ο δέκτης να αποκωδικοποιήσει επιτυχώς τα σωστά δεδομένα ή ο αριθμός των μεταδόσεων να υπερβαίνει ένα όριο. Αυτή η λειτουργία μπορεί να οδηγήσει σε καθυστερήσεις και επίσης σε πολλή επιβάρυνση ελέγχου, σε περίπτωση κακών ραδιοφωνικών συνθηκών, εάν ο αποστολέας πρέπει να επιχειρήσει πολλές μεταδόσεις.

**Σχήμα 4.2-4:Κανονικό HARQ σε LTE [30]**



### 4.3 Γενικές δυνατότητες Narrowband-Internet of Things

Η ανάπτυξη της τεχνολογίας NB-IoT η οποία έκανε την έννοια των έξυπνων λύσεων περισσότερο ρεαλιστική έχει κύρια χαρακτηριστικά που την καθιστούν πιο αξιόπιστη σε εφαρμογές. Τα πιο σημαντικά χαρακτηριστικά του NB-IoT με βάση

τα οποία λειτουργεί είναι η συνδεσιμότητα, η απόδοση ισχύος, η τεράστια δέσμευση και ασφάλεια.[12]

#### 4.4 Χαμηλή κατανάλωση ενέργειας

Η εξοικονόμηση ενέργειας και η ικανότητα εξοικονόμησης στις συσκευές NB-IoT είναι ένα από τα σημαντικά χαρακτηριστικά σε μαζική συνδεσιμότητα μεγάλης εμβέλειας. Το NB-IoT πρέπει να είναι σε θέση να μειώσει την ποσότητα ενέργειας που χρησιμοποιείται όσο το δυνατόν περισσότερο για να έχει μεγάλη διάρκεια ζωής η μπαταρία στους αισθητήρες. Το NB-IoT χρησιμοποιεί δύο τύπους μηχανισμών αποδοτικότητας ισχύος σε μαζική επικοινωνία, δηλαδή λειτουργία εξοικονόμησης ενέργειας (PSM) και eDRX. Το PSM μπορεί να επιτύχει την διάρκεια ζωής μπαταρίας 10 ετών επιτρέποντας στις συσκευές να εισέλθουν σε λειτουργία βαθύ ύπνου για μεγάλο χρονικό διάστημα, χωρίς να σηματοδοτεί. Το eDRX θεωρείται ως υπάρχουσα δυνατότητα LTE που χρησιμοποιείται από τις συσκευές για τη μείωση της κατανάλωσης ενέργειας, επεκτείνοντας τον κύκλο τερματικού σε κατάσταση αναμονής και μειώνοντας την περιττή εκκίνηση του κυττάρου λήψης. Για μια εφαρμογή IoT, μπορεί να είναι αρκετά αποδεκτό να μην είναι προσβάσιμη η συσκευή για λίγα δευτερόλεπτα ή περισσότερα. Όποτε η συσκευή δεν ακούει, μπορεί να χρησιμοποιήσει το eDRX για να απενεργοποιήσει τον ραδιοφωνικό δέκτη για καθορισμένο χρονικό διάστημα, έτσι ώστε η διάρκεια ζωής της μπαταρίας να μπορεί να παραταθεί.

#### 4.5 Ευρεία κάλυψη

Η τεχνολογία NB-IoT κυκλοφορεί για την υποστήριξη συσκευών IoT, ώστε να μπορούν να λειτουργούν σε εσωτερικούς χώρους, σε εξωτερικές και απομακρυσμένες περιοχές που χρειάζονται εκτεταμένη κάλυψη. Αυτό φέρνει την ευκαιρία για τις νέες κατηγορίες εφαρμογών, συμπεριλαμβανομένης της απόκτησης δεδομένων και του ελέγχου εξοπλισμού, τα οποία βρίσκονται στα φρεάτια, στους αγωγούς και σε άλλα περιβάλλοντα όπου υπάρχει επικοινωνιακή

υποδομή, αλλιώς δεν είναι προσβάσιμα. Αν και η διείσδυση του σήματος βελτιώνεται, οι συσκευές αναμένεται να λειτουργήσουν στα χαμηλότερα όρια λήψης σήματος, επομένως θα πρέπει να παρέχεται υποστήριξη για αξιόπιστη μεταφορά δεδομένων ως μέρος της λύσης συνδεσιμότητας. Η ισχύς κάλυψης NB-IoT μπορεί να φτάσει στα 164 dB σε ανεξάρτητη λειτουργία ανάπτυξης, εισάγοντας ένα σύνολο τεχνικών για την ενίσχυση της κάλυψης, όπως η αναμετάδοση (200 φορές) και η διαμόρφωση χαμηλής συχνότητας.[13]

## 4.6 Υψηλή πυκνότητα σύνδεσης

Η επεκτασιμότητα του δικτύου NB-IoT είναι απαραίτητη για πολλές εφαρμογές που υποστηρίζουν έναν τεράστιο αριθμό συσκευών και έξυπνων αισθητήρων και μπορούν να φτάσουν περίπου τα 10 δισεκατομμύρια. Η 3GPP επιτυγχάνει τεράστια επεκτασιμότητα για την υποστήριξη των μικρών συσκευών με εξαιρετικά ενεργειακή απόδοση. Το NB-IoT, ως υπάρχουσα τεχνολογία για 3GPP, είναι βελτιστοποιημένο για χαμηλή ισχύ, βαθύτερη κάλυψη και υψηλότερη πυκνότητα συσκευών (έως 50K συσκευών ανά κελί) ενώ συνυπάρχει απρόσκοπτα με τις υπηρεσίες LTE.Μαζί, τα NB-IoT και LTE υποστηρίζουν ένα ευρύ φάσμα εφαρμογών IoT χαμηλής ισχύος.

## 4.7 Απόρρητο και αξιοπιστία

Η τεχνολογία NB-IoT λειτουργεί σε μια άδεια ζώνη και ως εκ τούτου, βελτιώνει την αξιοπιστία της μετάδοσης. Η διαδικασία τυποποίησης της τεχνολογίας, μαζί με την εισαγωγή πολλών κλειδιών σε παγκόσμιους αερομεταφορείς, σημαίνει ότι το NB-IoT διαθέτει όλες τις έννοιες της αξιοπιστίας. Επίσης, τα ίδια μέτρα ασφαλείας υπάρχουν σε δίκτυα LTE.Αυτό καθιστά το NB-IoT ασφαλές και αξιόπιστο. Για την ασφάλεια των δεδομένων, υπάρχουν λειτουργίες όπως ο ασφαλείς έλεγχος ταυτότητας, η προστασία σηματοδότησης και η κρυπτογράφηση δεδομένων από άκρο σε άκρο. Το NB-IoT χρησιμοποιεί το πρωτόκολλο datagram χρήστη (UDP) εφόσον καταναλώνει χαμηλή ισχύ. Ο διακομιστής cloud είναι υπεύθυνος για τον

*ΠΑΔΑ, Τμήμα Η&ΗΜ, Διπλωματική Εργασία, Γκράσου Μαριάν-Γκαμπριέλ*

*Ανάπτυξη διάταξης πυρανίχνευσης βασισμένης σε LPWAN δίκτυα και τεχνολογίες IoT*

έλεγχο ταυτότητας και την αποκωδικοποίηση των δεδομένων. Το NB-IoT μπορεί επίσης να χρησιμοποιήσει άλλη ασφάλεια σε επίπεδα όπως ορίζονται στο LTE.[14]

## **Κεφάλαιο 5 - Βασικές θεωρίες και χαρακτηριστικά του NB-IoT**

Η ανάπτυξη του NB-IoT βασίζεται σε πολλά τεχνικά και θεωρητικά χαρακτηριστικά τα οποία θεωρούνται βασικά χαρακτηριστικά. Αυτά μπορούν να επηρεάσουν την απόδοση της ρύθμισης NB-IoT και την ικανότητα των συσκευών για λειτουργία σε δυναμικά περιβάλλοντα.

### **5.1 Βασικές τεχνολογίες NB-IoT**

Η απόδοση του NB-IoT σε πρακτικές εφαρμογές εξαρτάται από μετρήσεις ρυθμού δεδομένων, τον αριθμό των συσκευών και την λανθάνουσα κατάσταση που ενδιαφέρουν τους χειριστές, εκτός από άλλα βασικά χαρακτηριστικά που επηρεάζουν την απόδοση του NB-IoT, όπως εναέρια κανάλια, περιβάλλον ραδιοφώνου και παρέμβαση. [15] Επίσης, η κατανομή πόρων σε μια τεράστια συσκευή IoT θα περιορίσει την απόδοση του NB-IoT, καθώς η διαθεσιμότητα πόρων φάσματος περιορίζονται στο φάσμα χαμηλών συχνοτήτων. Για όλους αυτούς τους λόγους είναι απαραίτητο να αξιολογηθούν τα θεωρητικά και κύρια τεχνολογικά χαρακτηριστικά του NB-IoT, σύμφωνα με τις ακόλουθες εκτιμήσεις:

i) Απόδοση σηματοδότησης και δεδομένων

ii) Ανάλυση σύνδεσης

iii) Ανάλυση καθυστέρησης και

iv) Βελτίωση κάλυψης για την επίτευξη της αξιοπιστίας, της απόδοσης και της ανάπτυξης NB-IoT σε διαφορετικές εφαρμογές

### **5.2 Σηματοδότηση και δεδομένα**

*ΠΑΔΑ, Τμήμα Η&ΜΜ, Διπλωματική Εργασία, Γκράσου Μαριάν-Γκαμπριέλ*

*Ανάπτυξη διάταξης πυρανίχνευσης βασισμένης σε LPWAN δίκτυα και τεχνολογίες IoT*

Η σχέση μεταξύ σηματοδότησης και δεδομένων είναι ένας βασικός παράγοντας που καθορίζει την επίδραση και την ταυτόχρονη πρόσβαση των τεράστιων τερματικών IoT στην εφαρμογή NB-IoT και, εξαρτάται από τις τερματικές συμπεριφορές και το μοντέλο δικτύου όπου μερικές φορές μπορούν να προκαλέσουν γενικά σήματα. Για το λόγο αυτό, πρέπει να εξεταστεί η ανάλυση των νέων φυσικών και MAC επιπέδων και να δημιουργηθεί ένα δυναμικό μοντέλο δυναμικής σηματοδότησης, το οποίο να μπορεί να περιγράψει τη συνάφεια μεταξύ υπηρεσίας σηματοδότησης και δεδομένων, έτσι ώστε να παρέχεται μια θεωρητική καθοδήγηση για μείωση της πίεσης της σηματοδότησης και των δεδομένων, καθώς και της πρόληψης συμφόρησης.[16]

Τα μαζικά τερματικά IoT σε εφαρμογές NB-IoT θα καθορίσουν το εύρος του ρυθμού δεδομένων της τυπικής εφαρμογής, δεδομένου ότι αυτός είναι στο κλάσμα της χωρητικότητας καναλιού το οποίο διέπεται από τη σηματοδότηση για μετάδοση δεδομένων. Επιπλέον, ο ρυθμός δεδομένων επηρεάζεται από πολλούς παράγοντες, όπως η αποτελεσματικότητα της αποφυγής της σύγκρουσης, η επιβάρυνση της σηματοδότησης ελέγχου, η χρήση του καναλιού και η καθυστέρηση της επέκτασης του χρόνου μετάδοσης με χαμηλή χρήση της ισχύος. Ο ρυθμός δεδομένων στο NB-IoT μπορεί να ελεγχθεί για την βελτίωση της κατανάλωσης ισχύος των τερματικών των συσκευών, αλλά και για την αφαίρεση από την περιοχή κάλυψης. Η ενίσχυση της περιοχής κάλυψης μπορεί να επεκταθεί με τη βοήθεια της διαδικασίας επαναλήψεων.

Οι επαναλήψεις στο NB-IoT είναι μια τεχνική που περιλαμβάνει επανάληψη της ίδιας μετάδοσης αρκετές φορές, η οποία μπορεί να επιτύχει επιπλέον κάλυψη έως και 20 dB. Κάθε επανάληψη είναι αυτο-αποκωδικοποιήσιμη, ο κωδικός αναμετάδοσης αλλάζει για κάθε μετάδοση και οι επαναλήψεις πραγματοποιούνται μόνο μία φορά για όλα τα κανάλια NB-IoT. Στο NB-IoT, η διαδικασία τυχαίας πρόσβασης είναι μια διαδικασία που αντιπροσωπεύει τον αριθμό επαναλήψεων μεταξύ των συσκευών NB-IoT και του eNodeB σε υψηλότερη αλληλεπίδραση πρωτοκόλλου επιπέδου. Οι επαναλήψεις του προοιμίου μπορούν να επαναληφθούν έως και 128 φορές.[17]

### 5.3 Ανάλυση σύνδεσης

Στο NB-IoT, ο αριθμός των συνδέσεων που μπορεί να επιτευχθεί εξαρτάται από την πληρότητα της υπηρεσίας NB-IoT στην εφαρμογή. Μελέτες έχουν επικεντρωθεί στο πώς οι υπηρεσίες κατανέμονται ομοιόμορφα μέσα σε μια μέρα για συνδέσεις σε τεχνολογίες που σχετίζονται με το NB-IoT και την επίδρασή της στην υπερφορτωμένη πρόσβαση στο δίκτυο, όταν ένας μεγάλος αριθμός συσκευών εισέρχεται ταυτόχρονα στο δίκτυο. Σε LTE-M, η πίεση φορτίου του καναλιού τυχαίας προσπέλασης LTE (RACH) και ο έλεγχος υπερφόρτωσης σε μηχανισμούς όπως η διαβαθμισμένη ελεγχόμενη πρόσβαση, οι αποκλειστικοί πόροι RACH, η δυναμική RACH κατανομή πόρων, ο αποκλειστικός μηχανισμός back-off, η πρόσβαση διαίρεσης χρόνου και η ενεργή τηλεειδοποίηση. Όλοι οι μηχανισμοί αυτοί λαμβάνονται υπόψη για την μαζική ενίσχυση της δυνατότητας σύνδεσης. Προκειμένου να βελτιωθεί η χωρητικότητα του NB-IoT, οι ερευνητές μελετούν τον μέγιστο αριθμό συνδέσεων που υποστηρίζονται από το NB-IoT RACH και το βέλτιστο ποσοστό κατανομής πόρων για αυθαίρετη ισχύ τυχαίας πρόσβασης και για το συνολικό περιορισμένο εύρος ζώνης.[18]

### 5.4 Ανάλυση καθυστέρησης

Το 3GPP έδειξε ότι εκτός από τον αριθμό των συνδέσεων, ένας θεωρητικός υπολογισμός απαιτείται για το μοντέλο καθυστέρησης πρόσβασης uplink. Επίσης απαιτούνται πολλά είδη καθυστερήσεων που σχετίζονται με την ντετερμινιστική επεξεργασία και άλλα για την ανίχνευση σήματος. Για επικοινωνία χαμηλού λανθάνοντος χρόνου και υψηλής αξιοπιστίας, η αρχιτεκτονική δικτύου με δυνατότητα δικτύωσης καθορίζεται από ένα λογισμικό το οποίο προτείνεται από πολλούς ερευνητές, που ενσωματώνει διαφορετικούς τύπους τεχνολογιών πρόσβασης. Πραγματοποιούνται μελέτες για τη διερεύνηση των στατιστικών ιδιοτήτων της τυχαίας πρόσβασης NB-IoT σε λανθάνουσα κατάσταση, συμπεριλαμβανομένης της μέσης τιμής, της διακύμανσης και του PDF για την αυθαίρετη διέγερση ισχύος τυχαίας πρόσβασης και για τη βελτίωση της θεωρίας ανάλυσης λανθάνουσας κατάστασης για το NB-IoT. Το NB-IoT στοχεύει σε

*ΠΑΔΑ, Τμήμα Η&ΗΜ, Διπλωματική Εργασία, Γκράσου Μαριάν-Γκαμπριέλ*



καθυστέρηση αιχμής 10 δευτερολέπτων. Αυτό είναι 100 φορές μεγαλύτερο από μια κανονική σύνδεση WAN, αλλά αρκεί για τις περισσότερες εφαρμογές που χρησιμοποιούν LPWAN. Ο λανθάνων χρόνος θα μπορούσε να μειωθεί, αλλά αυτό θα παρεμβαίνει σε άλλους στόχους σχεδίασης, όπως η πυκνότητα της συσκευής.

## 5.5 Βελτίωση κάλυψης

Η βελτίωση της κάλυψης μπορεί να επιτευχθεί βελτιώνοντας την ευαισθησία του δέκτη και το φάσμα αποδοτικότητας στο NB-IoT. Χρησιμοποιούνται προσαρμοστικές διαμορφώσεις και βελτιωμένες τεχνικές κωδικοποίησης βελτίωση της ανάλυσης απόδοσης και του βέλτιστου σχεδιασμού μηχανισμών βελτίωσης. Αυτή βασίζεται σε τάξη κάλυψης με στόχο την ανάπτυξη διακρίσεων κατηγορίας κάλυψης / μηχανισμός βελτίωσης και τεχνολογίας ενίσχυσης κάλυψης βασισμένη σε δυναμική στατιστική πολυπλεξία. Αυτή η μεθοδολογία λειτουργεί για την εξαγωγή ενός βέλτιστου ορίου κάλυψης αναφερόμενος στον λαμβανόμενο δείκτη ισχύος σήματος (RSSI) και το SINR, που καθορίζεται από απώλεια διείσδυσης κτιρίων και την δυναμική προσαρμογή της κατηγορίας κάλυψης σύμφωνα με το υβριδικό αυτόματο αίτημα επανάληψης (HARQ) και την βελτίωση κάλυψης. Για την βελτίωση συνδέσμου, οι δέκτες μπορούν να ελέγξουν το σφάλμα πακέτου χρησιμοποιώντας κωδικούς ανίχνευσης σφαλμάτων, όπως κυκλικό πλεονασμό έλεγχος (CRC), ACK / NACK μηνύματα και τεχνική ARQ σε συνδυασμό με κωδικοποίηση καναλιού στο πλαίσιο του προγράμματος HARQ.[19]

Για βαθιά εσωτερική κάλυψη, το NB-IoT απαιτεί μέγιστη απώλεια σύζευξης (MCL) 164 dB που είναι 20 dB υψηλότερο από το LTE, με την υπόθεση ότι ο αριθμός των συσκευών σε ένα κελί είναι 55.000 και σε μεγάλη απόσταση μεταξύ 10 και 15 km. Το NB-IoT επιτρέπει έως και τρία επίπεδα κάλυψης, που θα καθοριστούν από ένα κελί υπηρεσίας. Κάθε επίπεδο κάλυψης σχετίζεται με μια διαμόρφωση που καθορίζει τον αριθμό των επαναλήψεων που πρέπει να χρησιμοποιούνται σε κάθε φυσικό κανάλι uplink / downlink και οι UE επιλέγουν ένα από τα τρία επίπεδα κάλυψης βάσει της ληφθείσας ισχύος σήματος.

## **Κεφάλαιο 6 -Τεχνικές ιδιότητες Narrowband-Internet of Things**

*ΠΑΔΑ, Τμήμα Η&ΜΜ, Διπλωματική Εργασία, Γκράσου Μαριάν-Γκαμπριέλ*

*Ανάπτυξη διάταξης πυρανίχνευσης βασισμένης σε LPWAN δίκτυα και τεχνολογίες IoT*

Το εύρος ζώνης φάσματος και η διαμόρφωση είναι οι δύο βασικοί παράγοντες που επηρεάζουν την απόδοση του NB-IoT ανάλογα με τους τρόπους λειτουργίας και τη δομή του πλαισίου σε τρόπους μετάδοσης uplink και downlink. Η ακόλουθη ενότητα θα δώσει μια σύντομη ανασκόπηση των τεχνικών χαρακτηριστικών που σχετίζονται με το NB-IoT.

## 6.1 Εύρος ζώνης και διαμόρφωση φάσματος

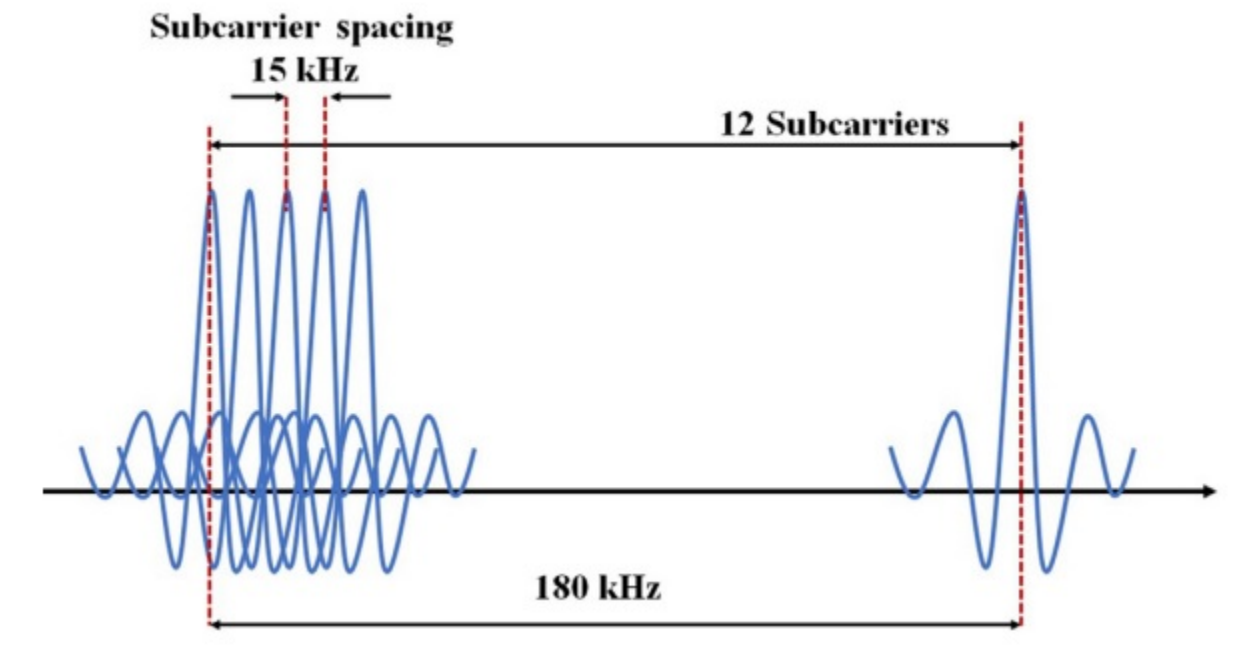
Στο NB-IoT, το UE υποστηρίζει μόνο ένα περιορισμένο εύρος ζώνης φορέα 180 kHz, το οποίο τελικά οδηγεί σε μείωση της πολυπλοκότητας και του κόστους της συσκευής σε σύγκριση με εκείνη των συσκευών ευρείας ζώνης. Η μετάδοση κάτω-ζεύξης στο NB-IoT βασίζεται στο OFDMA όπως στο LTE. Ο σχεδιασμός ανερχόμενης ζεύξης είναι ελαφρώς διαφορετική από αυτό του LTE. Για την ανερχόμενη ζεύξη, χρησιμοποιείται το σχήμα πολλαπλής πρόσβασης SC-FDMA για υποστήριξη χαμηλής πολυπλοκότητας για UE και υψηλού αριθμού ταυτόχρονης πρόσβασης. Το Σχήμα 6.1-1 δείχνει τη δομή περιοχής συχνοτήτων για το NB-IoT. [20]

Η τεχνολογία ραδιοφωνικού δικτύου για το NB-IoT βασίζεται σε μη διαβαθμισμένο λογισμικό, το οποίο θα προσφέρει τρεις τύπους ζωνών πρόσβασης φάσματος: 2100 MHz για 3G και 4G, 1800 MHz για 2G και 4G και 900 MHz για 3G και 4G. Για την υποστήριξη αυτών των ζωνών, υπάρχουν πολλά chipsets και modules που έχουν σχεδιαστεί από διαφορετικούς κατασκευαστές, όπως QUALCOMM, Intel, Ublox, Neul και Quectel. Όσον αφορά τη διαμόρφωση, το Key sight ισχυρίζεται ότι η διαμόρφωση uplink είναι BPSK 1 bit / σύμβολο, QPSK 2 bit / σύμβολο, 8PSK 3 bits / σύμβολο ή προαιρετικά 16 QAM 4 bit / σύμβολο. Οι ίδιες επιλογές εκτός από το 8PSK είναι διαθέσιμες για τη διαμόρφωση της κάτω ζεύξης.

Στο NB-IoT, ο αντίκτυπος του φάσματος εύρους ζώνης για μετάδοση μεταξύ UE και eNB μπορεί να αναλυθεί χρησιμοποιώντας το θεώρημα Shannon με βάση τον τροποποιημένο αριθμό μονάδων πόρων (RUs) που κατανέμονται από το eNB στο

UE και εξαρτάται από τρεις ιδιότητες μετάδοσης: SNR, χρήση εύρους ζώνης και ενέργεια ανά μεταδιδόμενο bit.

**Σχήμα 6.1-1: Δομή συχνότητας-τομέα για φυσικά κανάλια uplink/downlink [20]**



## 6.2 Τρόπος λειτουργίας

Το NB-IoT μπορεί να εφαρμοστεί σε τρία σενάρια λειτουργίας: αυτόνομα, προστατευτικά συγκροτήματα και σενάρια εσωτερικής ζώνης. Σε αυτόνομο, χρησιμοποιείται το φάσμα που δεν χρησιμοποιείται για κυψελοειδείς υπηρεσίες. Το σενάριο μπορεί επίσης να καθοριστεί με τη μορφοποίηση ενός ή περισσότερων GSM με εύρος ζώνης 200 kHz και ένα διάστημα προστασίας 10 kHz και στις δύο πλευρές του φάσματος για να μεταφέρει κυκλοφορία NB-IoT, εξασφαλίζοντας

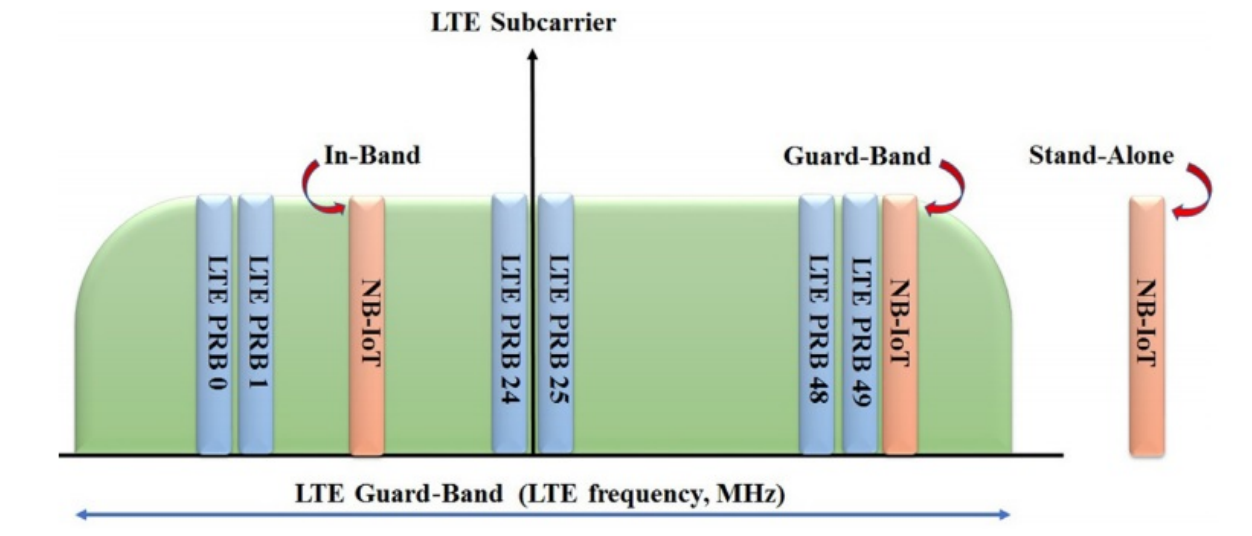
*ΠΑΔΑ, Τμήμα Η&ΜΜ, Διπλωματική Εργασία, Γκράσου Μαριάν-Γκαμπριέλ*

*Ανάπτυξη διάταξης πυρανίχνευσης βασισμένης σε LPWAN δίκτυα και τεχνολογίες IoT*

ομαλή μετάβαση στις μαζικές επικοινωνίες μηχανών LTE. Η λειτουργία του σεναρίου φρουράς με κινητές υπηρεσίες τοποθέτησε την κυκλοφορία NB-IoT στη ζώνη προστασίας των αερομεταφορέων LTE, χωρίς να κατανέμονται πόροι LTE και να αποφεύγεται το ενδεχόμενο της παρέμβασης. Το σενάριο εντός ζώνης θα επιτρέψει στο NB-IoT στον αερομεταφορέα LTE να μοιράζεται τους LTE πόρους, οι οποίοι θα χρησιμοποιούν αποτελεσματικά πόρους φάσματος για υπηρεσίες LTE ή NB-IoT με βάση την ζήτηση των χρηστών ή των συσκευών κινητής τηλεφωνίας και, θα είναι πιο οικονομικά αποδοτική. Αυτό σημαίνει ότι το λογισμικό eNodeB θα πρέπει να αναβαθμιστεί. Το σχήμα 6.2-1 δείχνει τη διαδικασία του NB-IoT στο οποίο έχει ανατεθεί ένας επιλεγμένος φορέας από το φάσμα LTE με βάση τις τρεις επιλογές λειτουργίας.[21]

Για αυτόνομη επιλογή, το αρχικό κόστος είναι υψηλότερο από άλλες επιλογές λειτουργίας λόγω του νέου υλικού που απαιτείται για συστήματα κεραιών και RF. Για ζώνη εντός και την ζώνη ασφαλείας, το αρχικό κόστος είναι παρόμοιο επειδή χρησιμοποιούν τον φορέα LTE, αλλά το κόστος φάσματος είναι διαφορετικό καθώς η επιλογή εντός ζώνης χρησιμοποιεί συνυπάρχον σήμα LTE ενώ η ζώνη προστασίας χρησιμοποιεί δωρεάν κλειδαριές ενός φυσικού πόρου. Σύμφωνα με τις επιλογές λειτουργίας, η ανάπτυξη του NB-IoT θα πρέπει να είναι διαφανή για UE όταν είναι ενεργοποιημένη και αναζητά φορέα NB-IoT. Απαιτείται μόνο η αναζήτηση ενός φορέα 100 kHz για να διευκολυνθεί ο αρχικός συγχρονισμός UE, ο οποίος αναφέρεται ως άγκυρα-φορέας.

#### **Σχήμα 6.2-1:Επιλογή φορέα NB-IoT από φάσμα LTE [21]**



### 6.3 Τρόπος μετάδοσης

Τα σενάρια μετάδοσης στο NB-IoT για uplink και downlink μεταξύ των σταθμών βάσης και UE είναι προσαρμόσιμα με βάση τρία επίπεδα βελτίωσης κάλυψης, από το επίπεδο CE 0 έως το επίπεδο CE 2. Το επίπεδο CE 0 αντιστοιχεί στην κανονική κάλυψη και το επίπεδο CE 2 αντιστοιχεί στο χειρότερο περίπτωση, όπου η κάλυψη μπορεί να θεωρηθεί ότι είναι πολύ κακή. Αυτά τα τρία διαφορετικά επίπεδα κάλυψης είναι γνωστά ως κανονικά, ισχυρά και ακραία με MCL 144, 154 και 164 dB αντίστοιχα. Για κάθε επίπεδο CE μεταδίδεται μια λίστα ορίων ισχύος για τα ληφθέντα σήματα αναφοράς. Ο κύριος αντίκτυπος των διαφόρων επιπέδων CE είναι ότι τα μηνύματα πρέπει να επαναληφθούν αρκετές φορές. Τα τρία επίπεδα βελτίωσης κάλυψης διέπουν τη λειτουργία της επικοινωνίας uplink και downlink ανάλογα με τους τύπους καναλιών. Για uplink, υπάρχουν δύο φυσικά κανάλια: το Narrowband Physical Uplink (NPUSCH) και το κανάλι φυσικής τυχαίας προσπέλασης στενής ζώνης. Το downlink χρησιμοποιεί τρία φυσικά κανάλια γνωστά ως Narrowband Physical Broadcast Channel (NPBCH), Narrowband Physical Downlink Control Channel (NPDCCH) και Narrowband Physical Downlink

Shared Channel (NPDSCH). Τα φυσικά κανάλια Downlink είναι πάντα διαμορφωμένα με QPSK.[22]

Το NB-IoT υποστηρίζει τη λειτουργία με μία ή δύο θύρες κεραίας χρησιμοποιώντας κωδικοποίηση διαστημικής συχνότητας. Το ίδιο σχήμα μετάδοσης εφαρμόζεται σε NPBCH, NPDCCH και NPDSCH. Για έναν τρόπο μετάδοσης, όλα τα δεδομένα αποστέλλονται / λαμβάνονται μέσω του NPUSCH και κανάλια NPDSCH.

Στο downlink, η επικοινωνία θα πραγματοποιηθεί με ένα μήνυμα που στέλνει το eNodeB στη συσκευή και, λαμβάνοντας υπόψη μια σειρά μέτρων για τη διατήρηση της ισχύος της μπαταρίας και επιτρέποντας στο NB-IoT τη διαμόρφωση της διαδικασίας eDRX και PSM. Αυτό επιτρέπει στη συσκευή να εισέλθει σε λειτουργία βαθιάς αναστολής για μερικά δευτερόλεπτα και να μην είναι πλέον προσβάσιμη από το δίκτυο. Για την έναρξη της επικοινωνίας, η συσκευή μπορεί να επιλέξει την κατώτερη σύνδεση TBS σε επίπεδο MAC από 2 byte έως 85 bytes όπως εγκρίθηκε από το 3GPP και, στη συνέχεια, το επιλεγμένο TBS μεταφέρει τα περιεχόμενα (όπως ωφέλιμο φορτίο δεδομένων και κεφαλίδα για IP, UDP και CoAP).

Στην ανερχόμενη σύνδεση, η συσκευή ζητά να επικοινωνήσει με το eNodeB χρησιμοποιώντας τη διαδικασία RACH. Το eNodeB λαμβάνει το αίτημα και στέλνει έναν προγραμματισμό στη συσκευή για να υποδείξει το χρόνο και την κατανομή συχνότητας για τη συσκευή, ακολουθούμενη από μεταφορά δεδομένων uplink και ACK / NACK. Στην κάτω σύνδεση, το TBS στο MAC που επιλέχθηκε από τη συσκευή είναι μεταξύ 2 έως 125 byte και το ωφέλιμο φορτίο είναι ανάλογο με το πρωτόκολλο υψηλότερου επιπέδου στρώματος.

## 6.4 Δομή πλαισίου Narrowband-Internet of Things

Το NB-IoT υποστηρίζει την αμφίδρομη διαίρεση συχνότητας (FDD) στο half-duplex καθώς και στο full-duplex. Στο FDD half-duplex χρησιμοποιείται χωριστή συχνότητα για επικοινωνία άνω ζεύξης και κατερχόμενης ζεύξης με υποπλαίσιο φρουράς και οι δέκτες ή οι πομποί δεν εκτελούν και τις δύο λειτουργίες ταυτόχρονα. Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, το NB-IoT χρησιμοποιεί το OFDM σε downlink

*ΠΑΔΑ, Τμήμα Η&ΜΜ, Διπλωματική Εργασία, Γκράσου Μαριάν-Γκαμπριέλ*

*Ανάπτυξη διάταξης πυρανίχνευσης βασισμένης σε LPWAN δίκτυα και τεχνολογίες IoT*

και SC-FDMA σε ανερχόμενη ζεύξη και, κάθε σύμβολο OFDM αποτελείται από 12 υπο-φορείς με εύρος ζώνης 180 kHz. Πολλά σύμβολα OFDMA καταλαμβάνονται στην υποδοχή.[23]

Στην ανερχόμενη ζεύξη, μπορούν να χρησιμοποιηθούν δύο τύποι πλαισίων: μονόχρωμο πλαίσιο και πλαίσιο πολλαπλών τόνων. Το μονόχρωμο πλαίσιο είναι υποχρεωτικό και χρησιμοποιείται για την παροχή χωρητικότητας σε σενάρια περιορισμένης ισχύος σήματος και πιο πυκνή χωρητικότητα για έναν συνδρομητή με απόσταση 15 ή 3,75 kHz, μέσω τυχαίας πρόσβασης και διάρκειας υποδοχής μεταξύ 0,5 και 2 ms. Το πολυτονικό πλαίσιο χρησιμοποιείται για την παροχή υψηλών ποσοστών δεδομένων για συσκευές με κανονική κάλυψη, ως μια προαιρετική δυνατότητα. Ο αριθμός των συνδρομητών μπορεί να είναι 3,6 ή 12, σηματοδοτημένος μέσω DIC με απόσταση 15 kHz και διάρκεια υποδοχής 0,5 ms.

Στην κάτω ζεύξη η δομή του πλαισίου είναι η ίδια με εκείνη του LTE (συνύπαρξη με LTE). Το εύρος ζώνης είναι 180 kHz για 12 subcarrier διαχωρισμένα με 15 kHz. Οι διάρκειες κατηγοριοποιούνται ως ένα πλαίσιο για 10 υποπλαίσια και ένα υποπλαίσιο ισούται με δύο υποδοχές σε 1 ms. Μια υποδοχή απαιτεί διάρκεια 0,5 ms, η οποία ισούται με επτά σύμβολα OFDM.

## 6.5 Αρχιτεκτονική δικτύωσης Narrowband-Internet of Things

Τα δίκτυα NB-IoT αποτελούνται από εξοπλισμό χρήστη (UE). Το NodeB (eNodeB) εξελίχθηκε για να μεταδώσει τα δεδομένα στο IoT. Ο εξελεγμένος πυρήνας πακέτου (EPC) συνδέεται με την εφαρμογή που είναι συνδεδεμένη στο δίκτυο διακομιστών. Η επικοινωνία μεταξύ των NB-IoT και της διασύνδεσης eNodeB μέσω αέρα βασίζεται σε λειτουργίες που περιγράφουν την επεξεργασία και την διαχείριση της πρόσβασης διεπαφής. Η λειτουργία της αρχιτεκτονικής δικτύου πραγματοποιείται από το UE με το eNodeB, το οποίο μπορεί να επικοινωνήσει με το IoT EPC μέσω της διεπαφής S1-lite στέλνοντας δεδομένα NAS στο EPC για την έναρξη της επεξεργασίας. Τα δεδομένα προωθούνται στο διακομιστή εφαρμογών από την πλατφόρμα IoT μέσω της αλληλεπίδρασης μεταξύ του IoT EPC με το NAS της UE. Η IoT πλατφόρμα συλλέγει τα δεδομένα από τα

*ΠΑΔΑ, Τμήμα Η&ΜΜ, Διπλωματική Εργασία, Γκράσου Μαριάν-Γκαμπριέλ*

*Ανάπτυξη διάταξης πυρανίχνευσης βασισμένης σε LPWAN δίκτυα και τεχνολογίες IoT*



δίκτυα πρόσβασης και στη συνέχεια αυτά προωθούνται στους διακομιστές εφαρμογών για την επεξεργασία δεδομένων IoT.

Στο NB-IoT η διεπαφή S1-lite θεωρείται ως βελτιστοποιημένη έκδοση για το επίπεδο ελέγχου με βάση το πρωτόκολλο S1 AP, την διεπαφή μεταξύ του πυρήνα διαχείρισης eNodeB και IoT. Τα δεδομένα μεταφέρονται από τα τροποποιημένα μηνύματα S1 AP για την υποστήριξη μικρών χειρισμών δεδομένων με αποτελεσματικό τρόπο και βελτιστοποιημένες διαδικασίες ασφαλείας σε CIoT και NB-IoT. Η συλλογή των δεδομένων και η φωνή στο NB-IoT εκτελούνται από το EPC, ένα πλαίσιο που ενοποιεί τη φωνή και τα δεδομένα μιας αρχιτεκτονικής υπηρεσίας IP ως MME και η φωνή αντιμετωπίζεται ως μια άλλη εφαρμογή IP. Αυτός ο μηχανισμός θα επιτρέπει στους χειριστές να αναπτύξουν και να λειτουργήσουν ένα πακέτο δικτύου για όλα τα κυψελοειδή δίκτυα εκτός από τα WLAN, WIMAX, LTE και της σταθερής πρόσβασης με τις εφαρμογές NB-IoT. Στο NB-IoT, η μετάδοση δεδομένων μέσω δικτύου μπορεί να πάρει δύο πιθανές επιλογές μεταξύ συσκευών NB-IoT και AS, και αυτές οι μεταδόσεις βασίζονται σε IP και σε μη.

Στο δίκτυο IP, ανάλογα με την ικανότητα της μονάδας ραδιοφώνου, IPv4 και IPv6 με UDP χρησιμοποιούν το πρωτόκολλο μεταφοράς. Στη διεπαφή το TCP υποστηρίζεται από το NB-IoT ενώ το HTTP και HTTPS δεν εφαρμόζονται λόγω της επιβάρυνσης στο TCP. Για τον λόγο αυτό συνιστάται η μετάδοση δεδομένων που δεν βασίζεται σε IP για το NB-IoT, επειδή μειώνει τον όγκο δεδομένων μετάδοσης. Αυτή η επιλογή μπορεί να αντιμετωπιστεί επιτρέποντας μόνο μία διεύθυνση IP, κάτι που σημαίνει ότι τα δεδομένα μπορούν να σταλούν μόνο σε αυτήν (διακομιστής).

## 6.6 Σχετικές τεχνολογίες NB-IoT

Γενικά, το NB-IoT έχει περισσότερα πλεονεκτήματα από άλλες τεχνολογίες LPWAN, ειδικά όσον αφορά την στενή ζώνη και τον ρυθμό αιχμής. Αυτό σημαίνει ότι έχει καλύτερες επιδόσεις στην υπέρταση των υπηρεσιών κατανάλωσης και του χαμηλού ρυθμού δεδομένων. Είναι σε θέση να εξυπηρετεί αποτελεσματικά σε διάφορες εφαρμογές και να είναι η κύρια αγορά για το LPWAN.

*ΠΑΔΑ, Τμήμα Η&ΜΜ, Διπλωματική Εργασία, Γκράσου Μαριάν-Γκαμπριέλ*

*Ανάπτυξη διάταξης πυρανίχνευσης βασισμένης σε LPWAN δίκτυα και τεχνολογίες IoT*

Παρά την υψηλή απόδοση του NB-IoT σε σύγκριση με άλλες τεχνολογίες, η ενσωμάτωση ορισμένων άλλων τεχνολογιών LPWAN προσφέρουν υψηλότερη απόδοση σε ορισμένες τεχνολογικές για διαφορετικές εφαρμογές. Το Sigfox χρησιμοποιεί ένα αποδοτικό εύρος ζώνης και χαμηλά επίπεδα θορύβου, με αποτέλεσμα υψηλή ευαισθησία δέκτη, σχεδιασμό κεραίας χαμηλού κόστους και υπερβολική κατανάλωση ενέργειας. Τόσο οι τεχνολογίες Sigfox όσο και NB-IoT μπορούν να ενσωματωθούν σε ένα δίκτυο ως ολοκληρωμένη ασύρματη τεχνολογία IoT της NB-IoT / Sigfox. Οι ολοκληρωμένες σχεδιαστικές λύσεις στοχεύουν εφαρμογές όπως παρακολούθηση, φορητά, ασφάλεια, γεωργία, υγειονομική περίθαλψη, βιομηχανική και καταναλωτική. Η χρήση ενσωματωμένων NB-IoT και sigfox επιτρέπει σε μια εφαρμογή με συσκευές παρακολούθησης εξαιρετικά μεγάλη διάρκεια ζωής της μπαταρίας.

Το LTE-M μπορεί να υποστηρίξει χαμηλότερη πολυπλοκότητα συσκευών, εκτεταμένη κάλυψη και μεγαλύτερη διάρκεια ζωής της μπαταρίας. Τα NB-IoT και LTE-M παρουσιάζονται και τα δύο ως στάνταρ έκδοση από το 3GPP, τα οποία λειτουργούν σε αδειοδοτημένο φάσμα. Έχουν μια κοινή ιδιότητα λειτουργίας σε υπάρχουσες κυψελοειδείς υποδομές. Το NB-IoT χρησιμοποιεί τα ίδια χαρακτηριστικά εξοικονόμησης ενέργειας που χρησιμοποιείται στο LTE-M, γνωστά ως PSM και eDRX. Η έρευνα σχετικά με τους επεξεργαστές σήματος και την τεχνητή νοημοσύνη (AI) παρέχει ένα νέο μοντέλο για εξυπνότερες, συνδεδεμένες συσκευές που παρέχουν συνδεσιμότητα IoT κυψελίδας χαμηλής ισχύος, η οποία επιτρέπει στα LTE-M / NB-IoT να διασφαλίζουν την υπερβολική κατανάλωση ενέργειας και έχει εξαιρετικά αποτελεσματική απόδοση που απαιτείται για ένα ευρύ φάσμα κυτταρικών

περιπτώσεων χρήσης IoT. Στην κυτταρική συνδεσιμότητα IoT, η ενσωμάτωση του NB-IoT με μια μονάδα που χρησιμοποιεί επεξεργασία ψηφιακού σήματος χαμηλής ισχύος και αρχιτεκτονική παράλληλης επεξεργασίας, θα επιτρέψει τη χρήση της χαμηλής ισχύος στο IoT. Αυτό επιτυγχάνει εξαιρετική κατανάλωση ενέργειας, διατηρώντας παράλληλα την ευελιξία για την υποστήριξη πολλαπλών κυτταρικών προτύπων IoT.

## **Κεφάλαιο 7 -Εφαρμογές Narrowband-Internet of Things**

Πολλές αναμενόμενες εφαρμογές τεχνολογίας επικοινωνιών ευρείας περιοχής δεν απαιτούν υψηλούς ρυθμούς δεδομένων, αλλά απαιτούν μια συσκευή χαμηλού κόστους που καταναλώνει πολύ μικρή ισχύ και μπορεί να αναπτύσσεται σε μαζικούς αριθμούς. Ο οργανισμός συνεργατικών προτύπων 3GPP έχει ορίσει ένα πρότυπο για δικτύωση IoT ευρείας περιοχής χαμηλής ισχύος ως NB-IoT, το οποίο είναι σε θέση να αναπτύξει πολλά είδη εφαρμογών, όπως έξυπνο πλέγμα, έξυπνες πόλεις, έξυπνο περιβάλλον και έξυπνη βιομηχανία.

### **7.1 Έξυπνο δίκτυο**

Το NB-IoT παρέχει μια ασφαλή τεχνολογία επικοινωνιών ανάλογα με τους τύπους δικτύου, όπως το δίκτυο οικίας περιοχής και το δίκτυο περιοχής γειτονιάς. Τα χαρακτηριστικά του NB-IoT, όπως η εξαιρετική κάλυψη και η χαμηλή κατανάλωση ενέργειας, υπόσχονται να βελτιώσουν την ανάπτυξη του έξυπνου δικτύου στη μέτρηση, την παρακολούθηση σε πραγματικό χρόνο και στην φόρτιση ηλεκτρικού οχήματος (EV). Στην έξυπνη μέτρηση, το NB-IoT μειώνει την πολυπλοκότητα και το κόστος χρήσης πυλών, επιτρέποντας στους έξυπνους μετρητές να επικοινωνούν απευθείας μέσω cloud και προσφέρουν υψηλή ευελιξία εφαρμογής λόγω της ικανότητας λειτουργίας σε διαφορετικά είδη περιβάλλοντος. Η ανάπτυξη του NB-IoT στην έξυπνη μέτρηση παρέχει χαμηλή κατανάλωση ενέργειας της συσκευής και χαμηλό κόστος ενέργειας που χρησιμοποιείται σε υλικό. Στην έξυπνη μέτρηση, οι αυτοματοποιημένες υπηρεσίες ανάγνωσης μετρητών μπορούν να ενσωματωθούν σε δίκτυα 2G και 4G. Αυτά είναι σε θέση να συλλέξουν τάση, ρεύμα και άλλες πληροφορίες για μετρήσεις ισχύος σε πραγματικό χρόνο σχετικά με την κατανάλωση ενέργειας. Με τη διασύνδεση του AMI με το NB-IoT, οι πωλητές μετρητών μπορούν να παρέχουν όχι μόνο μετρητές αλλά και μια ολοκληρωμένη λύση AMI συμπεριλαμβανομένης της διαχείρισης

*ΠΑΔΑ, Τμήμα Η&ΗΜ, Διπλωματική Εργασία, Γκράσου Μαριάν-Γκαμπριέλ*

*Ανάπτυξη διάταξης πυρανίχνευσης βασισμένης σε LPWAN δίκτυα και τεχνολογίες IoT*

δεδομένων μέτρησης και του συστήματος head-end (HES), μέσω του δικτύου NB-IoT. Τα δεδομένα έξυπνων μετρητών θα μπορούσαν να ληφθούν από το κέντρο δεδομένων κοινής ωφέλειας. Με αυτόν τον τρόπο, οι ακριβείς λογαριασμοί θα σταλούν στους τελικούς χρήστες μέσω καρτών SIM ή υπηρεσίες cloud.[24]

Το NB-IoT μπορεί να προσφέρει περισσότερα οφέλη στις εταιρείες νερού για έξυπνη μέτρηση της κατανάλωσης και υπολογισμού της πρόβλεψης της μελλοντικής ζήτησης. Η εφαρμογή του NB-IoT επιτυγχάνει τη δυνατότητα μεταφοράς ενός συνόλου πληροφοριών του νερού με βάση αισθητήρες μέτρησης στο σύστημα διαχείρισης της εταιρείας για να παρέχει τη δυνατότητα ανταλλαγής πληροφοριών σχετικά με την ανάγνωση του μετρητή σε πραγματικό χρόνο, τη συσσώρευση της μέτρησης, την κατανάλωση της αντίστροφης ροής, την θερμοκρασία του νερού, την πίεση των σωλήνων και τους συναγερμούς μετριάσμου. Για την έξυπνη μέτρηση αερίου, το NB-IoT μπορεί να παρέχει μια έξυπνη λύση διαχείρισης επιχειρήσεων για εταιρείες φυσικού αερίου μέσω υπηρεσιών cloud.

Στην έξυπνη φόρτιση EV, η τεχνολογία NB-IoT συμβάλει στην επίτευξη μιας έξυπνης διασύνδεσης και αλληλεπίδρασης μεταξύ των ηλεκτρικών οχημάτων, των μπαταριών και της φόρτισης των σταθμών υπό τον έλεγχο του συστήματος διαχείρισης δικτύου και παροχής ηλεκτρικού ρεύματος. Η έξυπνη φόρτιση παρέχει σχετικές πληροφορίες σε πολίτες σε πραγματικό χρόνο και επιτρέπει μαζική σύνδεση συσκευών στο NB-IoT. Η χρήση του έξυπνου συστήματος φόρτισης γίνεται μετριάζοντας το πρόβλημα υπερφόρτωσης στο ηλεκτρικό δίκτυο και αλλάζοντας τις πληροφορίες των EV σε κατάσταση φόρτισης και μπαταρίας μέσω αμφίδρομης επικοινωνίας για ανταλλαγή δεδομένων.

## 7.2 Έξυπνες πόλεις

Η ανάπτυξη του NB-IoT σε έξυπνες πόλεις θα ανοίξει δρόμους για την οικοδόμηση ενός νέου τύπου τεχνολογικών πόλεων, επιτυγχάνοντας έξυπνη λειτουργία σε μεταφορές, συστήματα παρακολούθησης, παρακολούθηση περιβάλλοντος, υγειονομική περίθαλψη και έξυπνα κτίρια. Το NB-IoT θα

*ΠΑΔΑ, Τμήμα Η&ΗΜ, Διπλωματική Εργασία, Γκράσου Μαριάν-Γκαμπριέλ*

*Ανάπτυξη διάταξης πυρανίχνευσης βασισμένης σε LPWAN δίκτυα και τεχνολογίες IoT*

μπορούσε να συνδέσει τεχνολογίες αποτελεσματικά. Επίσης συνδέει μια ποικιλία συσκευών όπως οθόνες ή αισθητήρες καιρού, για την επίτευξη της αποτελεσματικής ασύρματης απόδοσης χωρίς συνεχή διαμάχη μεταξύ κατανάλωσης ισχύος και αναποτελεσματικότητας. Στην υγειονομική περίθαλψη, η ένταξη των φορητών συσκευών με τη διαχείριση του νοσοκομείου είναι πολύ σημαντικές. Το NB-IoT μπορεί να παρέχει κατάλληλες λύσεις για τέτοιες εφαρμογές υγειονομικής περίθαλψης επειδή υποστηρίζει ασφαλή επικοινωνία για μεγάλο εύρος και υψηλή ενεργειακή απόδοση, πράγματα που μπορούν να χρησιμοποιηθούν στην έξυπνη υγειονομική περίθαλψη και να επιτρέψουν την εξατομίκευση της κατανομής της υγειονομικής περίθαλψης σε ασθενείς σε πραγματικό χρόνο. Το NB-IoT με τη βοήθεια τεχνολογίας αιχμής υπολογιστών θα προσφέρει έναν αποτελεσματικό τρόπο για την ενσωμάτωση φορητών συσκευών με τις διευθύνσεις του νοσοκομείου. Επίσης θα είναι δυνατόν να αντιμετωπιστεί η απαίτηση καθυστέρησης στην ιατρική διαδικασία. Χρησιμοποιώντας τα τεράστια τεμαχικά NB-IoT, το cloud computing και τις υπηρεσίες στην υγειονομική περίθαλψη, η ιδέα της εξατομίκευσης θα επιτευχθεί. Στο Health 4.0, η βελτιωμένη υγειονομική περίθαλψη με ασφαλείς μηχανισμούς συναρμολόγησης για υπηρεσίες υγείας βελτιώνει τις στρατηγικές στην θεραπεία ασθενειών και επιτρέπει μια προοδευτική κατανομή μέσω του αποθετηρίου παρακολούθησης της νόσου οπουδήποτε, οποτεδήποτε, τόσο για την ενσωμάτωση φαρμάκων όσο και για τη θεραπεία χωρίς αυτά.[25]

Στις μεταφορές, οι λύσεις για τη μείωση του αντίκτυπου της συμφόρησης και τη βελτίωση των μέσων μαζικής μεταφοράς μπορούν να χειριστούν τα δίκτυα NB-IoT για την παρακολούθηση οχημάτων σε πραγματικό χρόνο, συλλογή πληροφοριών από οχήματα ή αισθητήρες δρόμου, έως την παρακολούθηση της μεταφοράς για τους σκοπούς της ανάλυσης της κυκλοφορίας και της πλοήγησης. Ένα άλλο ζήτημα είναι η απασχόληση με οδικές οδηγίες για ρύθμιση ομάδας οδηγών, με τις οποίες μπορεί να χειριστεί το δίκτυο NB-IoT με D2D για ενημέρωση σχετικά με αλλαγές στις διαδρομές μεταφοράς, την εγγύτητα ή μη εμφάνιση διαδρομών διακοπής ή αλλαγές στην επιτρεπόμενη ταχύτητα του δρόμου σύμφωνα με άλλες διαφορετικές συνθήκες. Για φωτισμό δρόμου, το NB-IoT μπορεί να βοηθήσει στην βελτίωση της χρήσης της ενέργειας και επίσης στην μείωση της δυσκολίας της

*ΠΑΔΑ, Τμήμα Η&ΗΜ, Διπλωματική Εργασία, Γκράσου Μαριάν-Γκαμπριέλ*

διαχείρισης μιας μεγάλης κλίμακας φωτεινών σηματοδοτών, καθώς και στην παροχή έξυπνου μοντέλου αναβάθμισης για αστικούς φωτεινούς δρόμους. Η χρήση του συστήματος ελέγχου φωτεινών σηματοδοτών μέσω NB-IoT θα επιτρέψει τη λήψη της κατάστασης σε πραγματικό χρόνο των φωτεινών σηματοδοτών, της κατανάλωσης ενέργειας και άλλων παραμέτρων. Οι πληροφορίες που συλλέγονται μπορούν να χρησιμοποιηθούν για ανάλυση και βελτίωση της απόδοσης. Διά μέσων των τερματικών ελέγχου NB-IoT, η τρέχουσα περιβαλλοντική κατάσταση μπορεί να αναλυθεί και να ελέγξει τα φώτα του δρόμου ρυθμίζοντας τη φωτεινότητα, για να προσαρμόσει την ένταση του φωτός στο περιβάλλον. Γενικά, το σύστημα έξυπνου φωτισμού δρόμου NB-IoT μπορεί να αποτελείται από τρία επίπεδα, δηλαδή μετάδοση, πλατφόρμα και εφαρμογή. Οι πληροφορίες από τους αισθητήρες NB-IoT έως το επίπεδο μετάδοσης θα δρομολογούνται στις εφαρμογές στο κέντρο παρακολούθησης μέσω διαφορετικών τύπων πλατφορμών .[26]

### 7.3 Έξυπνη βιομηχανία

Στις έξυπνες βιομηχανίες, τα μηχανήματα συνδέονται μέσα στα εργοστάσια με έναν αριθμό αισθητήρων που μπορούν να συνδεθούν στο cloud, επιτρέποντας τον βέλτιστο σχεδιασμό και την ευελιξία στην κατασκευή και συντήρηση, εκτός από τον αυτοπαρακολούθηση όλων των σχετικών λειτουργιών. Οι αισθητήρες NB-IoT μπορούν να προσθέσουν ειδικές τιμές στην έξυπνη βιομηχανία προβλέποντας τις πιθανότητες βλάβης του μηχανήματος στα εργοστάσια. Αυτό βοηθάει στον προγραμματισμό της συντήρησης για την ελαχιστοποίηση του χρόνου διακοπής του εργοστασίου, στέλνοντας πληροφορίες μέσω ασφαλών και αποτελεσματικών δικτύων στο κέντρο παρακολούθησης και λήψης αποφάσεων για την ανάληψη της κατάλληλης δράσης. Η χρήση του AI με το δίκτυο NB-IoT είναι ικανό για την αυτόματη παρακολούθηση του μηχανήματος και ειδοποιεί τον διαχειριστή εγκαταστάσεων όταν η συσκευή χρειάζεται συντήρηση από αλγόριθμους AI, οι οποίοι αυτοματοποιούνται για την μάθηση και την αναγνώριση προτύπων για την παρακολούθηση της κατάστασης του μηχανήματος. Ο βιομηχανικός αυτοματισμός

*ΠΑΔΑ, Τμήμα Η&ΜΜ, Διπλωματική Εργασία, Γκράσου Μαριάν-Γκαμπριέλ*

*Ανάπτυξη διάταξης πυρανίχνευσης βασισμένης σε LPWAN δίκτυα και τεχνολογίες IoT*



που χρησιμοποιεί το NB-IoT μπορεί να προσφέρει ένα νέο μοντέλο σύνδεσης των βιομηχανικών συσκευών IoT σε κρίσιμα βιομηχανικά συστήματα. Μπορεί να συνδυάσει μια σειρά λειτουργιών όπως η ακριβής τοποθέτηση εσωτερικού χώρου και η υποστήριξη του ethernet μέσω του νέου ραδιοφώνου (NR), επιτρέποντας έτσι την πρόσβαση σε προσαρμογείς QoS για την υποστήριξη και την επαναχρησιμοποίηση υφιστάμενων βιομηχανικών συσκευών και συστημάτων ελέγχου.[27]

Στην έξυπνη βιομηχανική αυτοματοποίηση, χρησιμοποιούνται συνήθως TSN και βιομηχανικά συστήματα ελέγχου για την μεταφορά με βάση το ethernet. Η ενσωμάτωση βιομηχανικών συσκευών NB-IoT με το TSN και ο τομέας ethernet έχουν το NR ως τεχνολογία για την υποστήριξη μιας ευρείας ποικιλίας υπηρεσιών, συσκευών και αναπτύξεων. Η βιομηχανία 5G NR θα ξεπεράσει σε ένα διαφορετικό φάσμα οποιαδήποτε επιδείνωση της απόδοσης του βιομηχανικού αυτοματισμού. Επιτρέπει πιο προηγμένη αυτοματοποίηση, διευκόλυνση της ευελιξίας και μεγαλύτερη αποτελεσματικότητα κατά την επικοινωνία, επιτρέποντας έτσι ένα μεγαλύτερο επίπεδο διορατικότητας σε πραγματικό χρόνο σχετικά με την κατάσταση παραγωγής και λειτουργίας. Επιπλέον, ένα δίκτυο NR βιομηχανίας 5G διευκολύνει την ενσωμάτωση σε τεχνολογίες όπως υπολογιστικό νέφος, μηχανική μάθηση και μεγάλη επεξεργασία δεδομένων. Σε μια βιομηχανία, το NB-IoT στο πλαίσιο του 5G μειώνει το κόστος σύνδεσης IoT. Η συνύπαρξη του NB-IoT στη βιομηχανία 5G βελτιώνει την κινητή ευρυζωνική σύνδεση στην κρίσιμη επικοινωνία του κλάδου.

## **Κεφάλαιο 8 -Προκλήσεις ανάπτυξης στενής ζώνης στο Διαδίκτυο των πραγμάτων και λύσεις**

Η τεχνολογία NB-IoT έχει σχεδιαστεί ειδικά για να ξεπεράσει τα μειονεκτήματα σε πολλές εφαρμογές. Αυτό ανοίγει την πόρτα σε νέες προκλήσεις ανάπτυξης για την αντιμετώπιση των ταχέως αναπτυσσόμενων IoT εφαρμογές, οι οποίες σχετίζονται με τις απαιτήσεις ενός μεγάλου εύρους κάλυψης, πολύ χαμηλής ισχύος και πολύ χαμηλών ποσοστών δεδομένων. Απαιτείται χαμηλή διάρκεια ζωής

*ΠΑΔΑ, Τμήμα Η&ΗΜ, Διπλωματική Εργασία, Γκράσου Μαριάν-Γκαμπριέλ*

*Ανάπτυξη διάταξης πυρανίχνευσης βασισμένης σε LPWAN δίκτυα και τεχνολογίες IoT*



μπαταρίας σε πολλές εφαρμογές αισθητήρων IoT για να αποφευχθεί υψηλή κατανάλωση ενέργειας και δαπανηρή συντήρηση βελτιστοποιώντας τον κύκλο ζωής των συσκευών μειώνοντας τις επαναλήψεις για τη μετάδοση δεδομένων . Στο NB-IoT, η μέγιστη διάρκεια ζωής της μπαταρίας αναμένεται στο εύρος 10 ετών, όπου αποστέλλονται μικρά πακέτα δεδομένων μέσω εφαρμογών, αλλά μία από τις μεγαλύτερες προκλήσεις για τη διάρκεια ζωής της μπαταρίας της συσκευής NB-IoT είναι ότι μπορεί να επηρεαστεί σημαντικά από τη χαμηλή κάλυψη. Η λύση για μεγάλη διάρκεια ζωής της μπαταρίας έγκειται στο ότι οι κατασκευαστές πρέπει να καθορίσουν το επίπεδο ισχύος που απαιτείται για τη διαχείριση συσκευών κατά τον έλεγχο της διαδικασίας σύνδεσης σε κατάσταση ενεργού, αδράνειας, αναμονής και ύπνου. Από την άλλη άποψη, το πρότυπο 3GPP καθορίζει το PSM που επιτρέπει στις συσκευές να εισέρχονται σε κατάσταση βαθιάς αναστολής λειτουργίας και να απενεργοποιούνται τα περισσότερα εσωτερικά του στοιχεία.

Στο NB-IoT, η ακραία κάλυψη για βιομηχανικό IoT είναι πολύ σημαντική. Το NB-IoT πρέπει να είναι σε θέση να παρέχει επαρκή κάλυψη για να φτάσει σε περιοχές σε απομακρυσμένη τοποθεσία ή σε περιοχές με δύσκολη πρόσβαση. Το NB-IoT αναμένεται να έχει ένα μέγιστο κέρδος κάλυψης σε σχέση με το κανονικό LTE. Ανάλογα με τις μεθόδους ανάπτυξης και διαμόρφωσης, το κέρδος διατηρείται στο μέγιστο για όλα τα υπάρχοντα πλέγματα σταθμών βάσης LTE. Η λύση για την ακραία κάλυψη βρίσκεται στο γεγονός ότι οι κατασκευαστές πρέπει να διεξάγουν μελέτες για έναν διαφορετικό αριθμό σεναρίων για ένα διαφορετικό περιβάλλον ραδιοσυχνοτήτων, συμπεριλαμβανομένων απομακρυσμένων τοποθεσιών. Μια άλλη πρόκληση στην ανάπτυξη NB-IoT είναι να διασφαλίζει την ικανότητα του δικτύου για να αντιμετωπίσει τον αναμενόμενο όγκο ανάπτυξη συνδεδεμένων συσκευών. Το NB-IoT υπόσχεται αρκετές λύσεις στο βιομηχανικό IoT. Ωστόσο, η επιτυχία του συστήματος NB-IoT εξαρτάται από τον κατασκευαστή και τον πάροχο υπηρεσιών, καθώς και από τις λύσεις για την αντιμετώπιση των προκλήσεων στη διάρκεια ζωής της μπαταρίας, την κάλυψη, το χαμηλό κόστος και τις δυνατότητες δικτύου, πραγματοποιώντας μέτρηση πεδίου.

Η ασφάλεια στο NB-IoT είναι ένα αναδυόμενο ζήτημα. Για την ανάπτυξη του NB-IoT, και για την αποτροπή κλοπής πληροφοριών, απαιτείται η χρήση κρυπτογραφικών αλγορίθμων όπως κρυπτογράφηση δεδομένων, έλεγχος

*ΠΑΔΑ, Τμήμα Η&ΜΜ, Διπλωματική Εργασία, Γκράσου Μαριάν-Γκαμπριέλ*

ταυτότητας και επαλήθευση ακεραιότητας. Το επίπεδο εφαρμογής στο NB-IoT καταλαμβάνει μεγαλύτερο όγκο δεδομένων και οι απαιτήσεις του είναι η αναγνώριση και η επεξεργασία των τεράστιων ετερογενή δεδομένων, καθώς και η ακεραιότητα και ο έλεγχος ταυτότητάς τους. Στο δίκτυο NB-IoT, τα δεδομένα ταξιδεύουν κρυπτογραφημένα, επομένως με ασφαλή τρόπο. Η μόνη απειλή είναι όταν τα δεδομένα εγκαταλείπουν το δίκτυο NB-IoT και αποστέλλονται μέσω του διαδικτύου από το δίκτυο τελεστής στον τελικό διακομιστή cloud. Από την άλλη πλευρά, ορισμένες από τις συσκευές IoT ενδέχεται να βρίσκονται σε περιοχές που πιθανότατα “επιτίθενται” με την απόκτηση φυσικής πρόσβασης στον έλεγχο της συσκευής. Η αδυναμία των κωδικών πρόσβασης και η κρυπτογράφηση σε πολλά αντικείμενα στο διαδίκτυο, συσκευές, κάρτες SIM, πομποδέκτες, ανοίγουν κενά ασφαλείας για εισβολείς. Το NB-IoT πρέπει να παρέχει μέσα ασφαλείας στη σύνδεση διαφόρων συσκευών, διαφορετικών δυνατοτήτων σε διαφορετικές εφαρμογές και πρέπει να επιτρέπει την κλιμάκωση διαχείρισης λύσεων ασφαλείας για μεγάλο αριθμό συσκευών IoT, εκτός από την παροχή μέτρων ασφαλείας από άκρο σε άκρο μεταξύ συσκευών IoT και την φιλοξενία διαδικτύου ακόμη και στα σύννεφα. Πρέπει να πραγματοποιούνται διαδικασίες ελέγχου ταυτότητας και διαχείρισης για να εξασφαλιστεί η σχέση και η πρόσβαση μεταξύ των στοιχείων του δικτύου IoT, και για να εξασφαλιστεί η επικύρωση των μηχανών ανάλυσης δεδομένων ανάλογα με την εφαρμοσμένη εφαρμογή. Οι απειλές και οι επιθέσεις που μπορούν να προκύψουν στις συσκευές απαιτούν διαδικασίες για την αντίσταση ορισμένων τύπων επιθέσεων που μπορούν να προκύψουν στο IoT.

## 8.1 Συμπέρασμα

Το NB-IoT και οι πτυχές του τεχνικές κάνουν το IoT πιο σημαντικό στο μέλλον. Εξαιτίας της μαζικής αύξησης στις συσκευές IoT και δισεκατομμυρίων συνδέσεων σε διαφορετικές εφαρμογές, οι τρέχουσες τεχνολογίες επικοινωνίας θα αντιμετωπίσουν μεγαλύτερη δυσκολία στην ανάπτυξη έξυπνων εφαρμογών. Η χρήση του NB-IoT θα απαλλάξει τις περισσότερες δυσκολίες όπως το κόστος, η

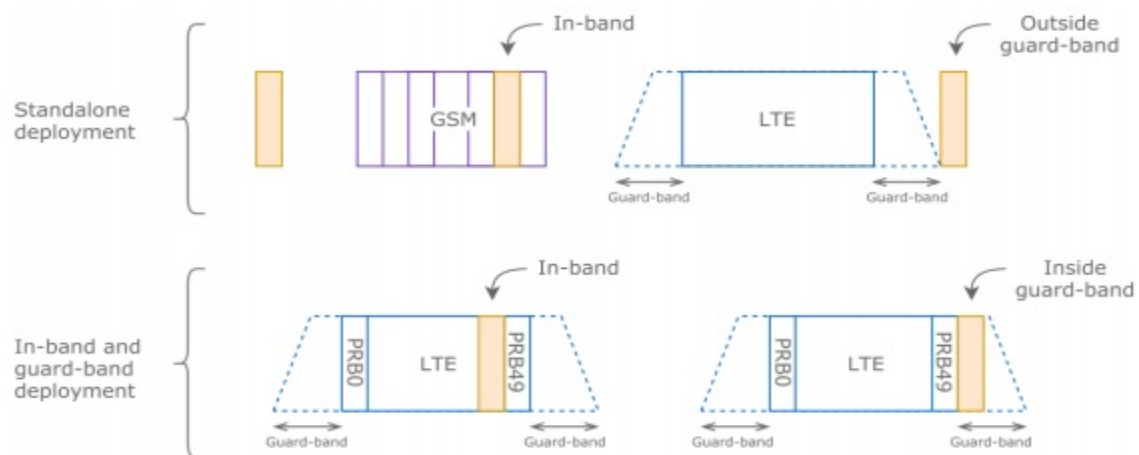
κατανάλωση ενέργειας και κάλυψη ενός ευρέος φάσματος (εκτός από την αντιστοίχιση διαφορετικής κατανομής φάσματος των χειριστών). Επίσης μπορεί να χρησιμοποιηθεί για εφαρμογές όπως η έξυπνη μέτρηση, η παρακολούθηση ιδιοτήτων, η γεωργία, το έξυπνο περιβάλλον και η διαχείριση logistics. Για όλες αυτές τις εφαρμογές, το NB-IoT πληρεί τις απαιτήσεις της καθυστέρησης ρυθμού, της διάρκειας ζωής της μπαταρίας και της πυκνής σύνδεσης ευρείας περιοχής. Σε έξυπνες πόλεις, το NB-IoT με το LTE επιτρέπουν τον έλεγχο των φώτων του δρόμου, του χώρου των δωρεάν πάρκινγκ και των συνθήκες περιβάλλοντος. Νέες πρωτοβουλίες NB-IoT θα τεθούν εύκολα σε οποιοδήποτε δίκτυο και υπηρεσίες και θα βοηθήσουν να γίνει μια πολύ ελκυστική επιχείρηση.

## 8.2 Επισκόπηση του Narrowband-IoT

Δεδομένου ότι το εύρος ζώνης του NB-IoT είναι ίσο με ένα φυσικό αποκλεισμό πόρων (PRB) της μακροπρόθεσμης εξέλιξης (LTE) 180kHz, η τεχνολογία είναι κατάλληλη για συνύπαρξη με LTE χρησιμοποιώντας κοινή υποδομή δικτύου[32]. Η τεχνολογία μπορεί να αναπτυχθεί με τους ακόλουθους τρόπους:

- i) Stand-alone, όπου το NB-IoT καταλαμβάνει έναν από τους μεταφορείς GSM ή οποιαδήποτε άλλη ζώνη που δεν προορίζεται για άλλες τεχνολογίες
- ii) Guard-band, όπου το NB-IoT λειτουργεί στη guard-band του LTE
- iii) In-band, όπου το NB-IoT χρησιμοποιεί μέρος του φάσματος LTE. Οι επιλογές ανάπτυξης απεικονίζονται στο σχήμα 8.2-1.

### **Σχήμα 8.2-1: Επιλογές ανάπτυξης με κοινή υποδομή δικτύου [32]**



### 8.3 Περιορισμοί σε σύγκριση με το LTE

Στο NB-IoT τα μόνα διαθέσιμα σχήματα διαμόρφωσης είναι το Binary Shift Keying (BPSK) και το Quadrature Phase Shift Keying (QPSK), το οποίο περιορίζει τους εφικτούς ρυθμούς δεδομένων. Οι μέγιστες τιμές είναι 32,4 kbps Down-link και 66,7 kbps Uplink. Επιπλέον, μόνο το μισό-διπλό τμήμα συχνότητας υποστηρίζεται στο Duplex (FDD). Το πρότυπο χρησιμοποιεί ορθογώνιο πολλαπλή πρόσβαση διαίρεσης συχνότητας (OFDMA) με 15kHz απόχρωση τόνου για DL και Single Carrier-FDMA (SC-FDMA) με μονό τόνο (απόσταση 15 kHz / 3,75 kHz) ή με πολλαπλούς τόνους (απόσταση 15 kHz) για UL. Η διαδικασία αυτόματης επανάληψης reQuest (HARQ) χρησιμοποιείται και, το πιο σημαντικό, δεν υπάρχει υποστήριξη παράδοσης. Εξάλλου, λόγω της επαναλαμβανόμενης έννοιας μετάδοσης, το NB-IoT είναι κατάλληλο για εφαρμογές με ανοχή καθυστέρησης, χωρίς εγγυήσεις ποιότητας υπηρεσίας (QoS). Εκτός από αυτό, ούτε το υποσύστημα πολυμέσων IP (IMS) ούτε οι υπηρεσίες φωνής δεν είναι δυνατά.

ΠΑΔΑ, Τμήμα Η&ΜΜ, Διπλωματική Εργασία, Γκράσου Μαριάν-Γκαμπριέλ

Ανάπτυξη διάταξης πυρανίχνευσης βασισμένης σε LPWAN δίκτυα και τεχνολογίες IoT

Έτσι, ο περιορισμένος εξοπλισμός του χρήστη (UE) στερεί ένα σημαντικό μέρος της λειτουργικότητας LTE, αλλά από την άλλη πλευρά γίνεται δυνατή η μείωση του κόστους του υλικού χρησιμοποιώντας μικρότερο ολοκληρωμένο κύκλωμα, λιγότερο ικανή μνήμη, απλοποιημένη RF μονάδα, μόνο μία κεραία και φθηνότερος ενισχυτής ισχύος.[28]

## 8.4 Εκτεταμένη κάλυψη

Οι τιμές NB-IoT MCL έως 164 dBm μπορούν να επιτευχθούν χάρη σε:

1) βελτιωμένη πυκνότητα φασματικής ισχύος: Η ισχύς μετάδοσης του UE παραμένει η ίδια όπως στο LTE Rel.8 (23 dBm), αλλά το εύρος ζώνης γίνεται τόσο στενό όσο 15 kHz;

2) Μηχανισμός επανάληψης: Ο αποστολέας μεταδίδει το μήνυμα N φορές με μη αναγνωρισμένο τρόπο και η τιμή του N ορίζεται ανάλογα με τις τρέχουσες ραδιοφωνικές συνθήκες. Ο αριθμός των επαναλήψεων N μπορεί να είναι έως 2048 σε DL και 128 σε UL. Εναπόκειται στο δίκτυο να ορίσει έως και τρία επίπεδα Ενίσχυσης Κάλυψης (CE), όπου το επίπεδο CE0 αντιστοιχεί στο πρότυπο LTE, δηλαδή χωρίς επαναλήψεις, και το CE2 αντιπροσωπεύει τις χειρότερες συνθήκες ραδιοφώνου. Μόλις καθοριστεί ο αριθμός των CE, καθώς και τα όρια ισχύος σήματος που ενεργοποιούν τις μεταβάσεις CE, το UE επιλέγει τον αριθμό των επαναλήψεων με βάση τα ανιχνευμένα επίπεδα CE.

## 8.5 Παρατεταμένη διάρκεια ζωής μπαταρίας

Η μεγάλη διάρκεια ζωής της μπαταρίας των συσκευών NB-IoT πραγματοποιείται γενικά επεκτείνοντας στο μέγιστο, τον χρόνο που περνά η συσκευή στη λειτουργία αναστολής λειτουργίας της. Σε μια τέτοια κατάσταση η μονάδα είναι εντελώς απενεργοποιημένη και η συσκευή δεν είναι προσβάσιμη, αλλά διατηρεί την εγγραφή του στο δίκτυο. Η λειτουργία εξοικονόμησης ενέργειας (PSM) είναι μια ιδέα στην οποία το NB-IoT UE καθίσταται αδρανές για ένα

ορισμένο χρονικό διάστημα, το οποίο καθορίζεται από έναν ενεργό χρονοδιακόπτη. Θεωρητικά, η συσκευή μπορεί να παραμείνει σε κατάσταση βαθύ ύπνου για 310 ώρες, αλλά στην πράξη το UE ξυπνά όταν ένα επόμενο μήνυμα σελιδοποίησης πρόκειται να ληφθεί από το δίκτυο ή όταν διαθέτει ορισμένα δεδομένα για μετάδοση. Η Επέκταση Ασυνεχής Λύψης (eDRX) είναι μια προσέγγιση στην οποία το UE μπορεί να αποφύγει την παρακολούθηση των μηνυμάτων σελιδοποίησης έως σχεδόν 3 ώρες, κάτι το οποίο παρατείνει περαιτέρω τον χρόνο βαθύ ύπνου.

## **Κεφάλαιο 9 -Ανιχνευτής φλόγας/φωτιάς**

Ένας ανιχνευτής φλόγας είναι ένας αισθητήρας σχεδιασμένος να ανιχνεύει και να ανταποκρίνεται στην παρουσία μιας φλόγας ή φωτιάς. Οι αποκρίσεις σε μια ανιχνευμένη φλόγα εξαρτώνται από την εγκατάσταση, αλλά μπορεί να περιλαμβάνουν τον ήχο συναγερμού, την απενεργοποίηση μιας γραμμής καυσίμου (όπως μια προπανίου ή μια γραμμή φυσικού αερίου) και την ενεργοποίηση ενός συστήματος πυρόσβεσης. Αυτός χρησιμοποιείται σε εφαρμογές όπως οι βιομηχανικοί κλίβανοι και ο ρόλος του είναι να παρέχει επιβεβαίωση ότι ο κλίβανος λειτουργεί σωστά. Επίσης μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να απενεργοποιήσει το σύστημα ανάφλεξης αν και σε πολλές περιπτώσεις δεν λαμβάνει καμία άμεση ενέργεια πέρα από την ειδοποίηση του χειριστή ή του συστήματος ελέγχου. Ένας ανιχνευτής φλόγας μπορεί συχνά να ανταποκρίνεται πιο γρήγορα και με μεγαλύτερη ακρίβεια από έναν ανιχνευτή καπνού ή θερμότητας λόγω των μηχανισμών που χρησιμοποιεί για την ανίχνευση της φλόγας.

### **Οπτικοί ανιχνευτές φλόγας**

#### **Ανιχνευτής υπεριώδους**

Οι ανιχνευτές υπεριώδους (UV) λειτουργούν ανιχνεύοντας την υπεριώδη ακτινοβολία που εκπέμπεται τη στιγμή της ανάφλεξης. Παρόλο που είναι ικανό να

*ΠΑΔΑ, Τμήμα Η&Μ, Διπλωματική Εργασία, Γκράσου Μαριάν-Γκαμπριέλ*

*Ανάπτυξη διάταξης πυρανίχνευσης βασισμένης σε LPWAN δίκτυα και τεχνολογίες IoT*

ανιχνεύσει πυρκαγιές και εκρήξεις μέσα σε 3–4 χιλιοστά του δευτερολέπτου, μια χρονική καθυστέρηση 2–3 δευτερολέπτων περιλαμβάνεται συχνά για την ελαχιστοποίηση ψευδών συναγερμών που μπορούν να προκληθούν από άλλες πηγές υπεριώδους ακτινοβολίας, όπως αστραπή συγκόλληση τόξου, ακτινοβολία και ηλιακό φως. Οι ανιχνευτές UV λειτουργούν συνήθως με μήκη κύματος μικρότερα από 300 nm για την ελαχιστοποίηση των επιπτώσεων της φυσικής ακτινοβολίας του υποβάθρου. Η τυφλή ηλιακή ζώνη μήκους κύματος UV τυφλώνεται επίσης εύκολα από λιπαρούς ρύπους.

### Κοντά σε συστοιχία IR

Οι ανιχνευτές φλόγας πλησίον υπέρυθρων (IR) (0,7 έως 1,1 μm) είναι γνωστοί ως ανιχνευτές οπτικής φλόγας και χρησιμοποιούν τεχνολογία αναγνώρισης φλόγας για να επιβεβαιώσουν τη φωτιά, αναλύοντας την ακτινοβολία IR χρησιμοποιώντας μια συσκευή συζευγμένης φόρτισης (CCD). Ένας αισθητήρας εγγύς υπέρυθρων (IR) είναι ιδιαίτερα ικανός να παρακολουθεί τα φαινόμενα φλόγας, χωρίς εμπόδιο από νερό και υδρατμούς. Οι πυροηλεκτρικοί αισθητήρες που λειτουργούν σε αυτό το μήκος κύματος μπορούν να είναι σχετικά φθηνοί. Οι φλόγες παρακολούθησης πολλαπλών καναλιών ή συστοιχιών εικονοστοιχείων στην κοντινή ζώνη IR είναι αναμφισβήτητα οι πιο αξιόπιστες διαθέσιμες τεχνολογίες για την ανίχνευση πυρκαγιών. Η εκπομπή φωτός από φωτιά σχηματίζει μια εικόνα της φλόγας σε μια συγκεκριμένη στιγμή. Η ψηφιακή επεξεργασία εικόνας μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την αναγνώριση των φλογών μέσω ανάλυσης του βίντεο που δημιουργήθηκε από τις κοντινές εικόνες IR.

### Υπέρυθρες

Οι υπέρυθροι (IR) ή οι υπέρυθρες ζώνες (1,1 μm και υψηλότεροι) ανιχνευτές φλόγας παρακολουθούν την υπέρυθρη φασματική ζώνη για συγκεκριμένα μοτίβα που εκπέμπονται από καυτά αέρια. Αυτά ανιχνεύονται χρησιμοποιώντας μια εξειδικευμένη κάμερα θερμικής απεικόνισης πυρόσβεσης (TIC), έναν τύπο θερμογραφικής κάμερας. Ψευδείς συναγερμοί μπορούν να προκληθούν από άλλες θερμές επιφάνειες και από θερμική ακτινοβολία του υποβάθρου στην περιοχή. Το νερό στο φακό του ανιχνευτή μειώνει σημαντικά την ακρίβεια του

*ΠΑΔΑ, Τμήμα Η&ΗΜ, Διπλωματική Εργασία, Γκράσου Μαριάν-Γκαμπριέλ*

*Ανάπτυξη διάταξης πυρανίχνευσης βασισμένης σε LPWAN δίκτυα και τεχνολογίες IoT*



ανιχνευτή, καθώς και η έκθεση στο άμεσο ηλιακό φως. Ένα ειδικό εύρος συχνοτήτων είναι 4,3 έως 4,4 μm. Αυτή είναι μια συχνότητα συντονισμού του CO<sub>2</sub>. Κατά την καύση ενός υδρογονάνθρακα (για παράδειγμα, ξύλο ή ορυκτά καύσιμα όπως το πετρέλαιο και το φυσικό αέριο) απελευθερώνεται πολύ θερμότητα και CO<sub>2</sub>. Το θερμό CO<sub>2</sub> εκπέμπει πολύ ενέργεια στη συχνότητα συντονισμού των 4,3 μm. Αυτό προκαλεί μια κορυφή στην ολική εκπομπή ακτινοβολίας και μπορεί να ανιχνευθεί καλά. Επιπλέον, το "κρύο" CO<sub>2</sub> στον αέρα φροντίζει για το φιλτράρισμα του ηλιακού φωτός και άλλων υπέρυθρων ακτινοβολιών. Αυτό καθιστά τον αισθητήρα σε αυτήν τη συχνότητα. Παρόλα αυτά η ευαισθησία μειώνεται από το φως του ήλιου. Παρατηρώντας τη συχνότητα τρεμοπαίγματος μιας πυρκαγιάς (1 έως 20 Hz), ο ανιχνευτής καθίσταται λιγότερο ευαίσθητος σε ψευδείς συναγερμούς που προκαλούνται από ακτινοβολία θερμότητας, όπως για παράδειγμα αυτή που προκαλείται από θερμά μηχανήματα.

Ένα σοβαρό μειονέκτημα είναι ότι σχεδόν όλη η ακτινοβολία μπορεί να απορροφηθεί από νερό ή υδρατμούς. Αυτό ισχύει ιδιαίτερα για την ανίχνευση υπέρυθρης φλόγας στην περιοχή 4,3 έως 4,4 μm. Από 3,5 μm περίπου και υψηλότερη, η απορρόφηση από νερό ή πάγο είναι σχεδόν 100%. Αυτό καθιστά τους αισθητήρες υπέρυθρων μη ανταποκρινόμενοι για χρήση σε εξωτερικές εφαρμογές στις πυρκαγιές. Το μεγαλύτερο πρόβλημα είναι η άγνοιά μας. Ορισμένοι ανιχνευτές υπέρυθρων έχουν αυτοματοποιημένο παράθυρο αυτόματου ανιχνευτή, αλλά αυτός ο αυτοδιαγνωστικός έλεγχος παρακολουθεί μόνο την ύπαρξη νερού ή πάγου στο παράθυρο του ανιχνευτή.

Ένα φιλμ αλατιού είναι επίσης επιβλαβές, επειδή το αλάτι απορροφά νερό. Ωστόσο οι υδρατμοί, η ομίχλη ή η ελαφριά βροχή καθιστούν τον αισθητήρα σχεδόν τυφλό, χωρίς να το γνωρίζει ο χρήστης. Η αιτία είναι παρόμοια με αυτό που κάνει ένας πυροσβέστης αν πλησιάσει μια φωτιά: προστατεύει τον εαυτό του μέσω μιας οθόνης υδρατμών από την τεράστια υπέρυθρη ακτινοβολία θερμότητας. Η παρουσία υδρατμών, ομίχλης ή ελαφριάς βροχής θα "μπερδέψει" επίσης την οθόνη, με αποτέλεσμα να μην δει τη φωτιά. Ωστόσο, το ορατό φως θα μεταδοθεί μέσω της οθόνης υδρατμών και αυτό εύκολα μπορεί να φανεί από το γεγονός ότι ένας άνθρωπος μπορεί ακόμα να δει τις φλόγες μέσω της οθόνης υδρατμών.

Ο συνηθισμένος χρόνος απόκρισης ενός ανιχνευτή υπερύθρων είναι 3-5 δευτερόλεπτα.

### Υπέρυθρες θερμικές κάμερες

Οι κάμερες υπέρυθρης ακτινοβολίας MWIR (IR) μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την ανίχνευση θερμότητας και, με συγκεκριμένους αλγόριθμους, μπορούν να εντοπίσουν θερμά σημεία σε μια σκηνή καθώς και φλόγες τόσο για την ανίχνευση όσο και για την πρόληψη της φωτιάς και τους κινδύνους πυρκαγιάς. Αυτές οι κάμερες μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε απόλυτο σκοτάδι και να λειτουργούν τόσο εντός όσο και εκτός.

### UV / IR

Αυτοί οι ανιχνευτές είναι ευαίσθητοι και στα μήκη κύματος UV και IR, και ανιχνεύουν μια φλόγα συγκρίνοντας το σήμα κατωφλίου και των δύο περιοχών. Αυτό βοηθά στην ελαχιστοποίηση ψευδών συναγερμών.

### Ανίχνευση φλόγας IR / IR

Οι διπλοί ανιχνευτές φλόγας IR (IR / IR) συγκρίνουν το σήμα κατωφλίου σε δύο περιοχές υπερύθρων. Συχνά ένας αισθητήρας κοιτάζει στα 4,4 μικρόμετρα το διοξείδιο του άνθρακα (CO<sub>2</sub>), ενώ ο άλλος αισθητήρας εξετάζει μια συχνότητα αναφοράς. Η ανίχνευση των εκπομπών CO<sub>2</sub> είναι κατάλληλη για καύσιμα υδρογονανθράκων και για καύσιμα με βάση άνθρακα (π.χ. υδρογόνο). Οι ζώνες νερού ευρείας ζώνης ανιχνεύονται.

### Ανίχνευση φλόγας IR3

Οι ανιχνευτές πολλαπλών υπερύθρων χρησιμοποιούν αλγόριθμους για να καταστέλλουν τα αποτελέσματα της ακτινοβολίας φόντου (ακτινοβολία μαύρου σώματος) και η ευαισθησία μειώνεται από αυτήν την ακτινοβολία.

Οι ανιχνευτές φλόγας Triple-IR συγκρίνουν τρεις συγκεκριμένες ζώνες μήκους κύματος εντός της φασματικής περιοχής IR και την αναλογία τους μεταξύ τους. Σε

*ΠΑΔΑ, Τμήμα Η&ΗΜ, Διπλωματική Εργασία, Γκράσου Μαριάν-Γκαμπριέλ*

*Ανάπτυξη διάταξης πυρανίχνευσης βασισμένης σε LPWAN δίκτυα και τεχνολογίες IoT*

αυτήν την περίπτωση, ένας αισθητήρας εξετάζει το εύρος των 4,4 μικρομέτρων, ενώ οι άλλοι αισθητήρες εξετάζουν τα μήκη κύματος αναφοράς τόσο πάνω όσο και κάτω από το 4.4. Αυτό επιτρέπει στον ανιχνευτή να διακρίνει μεταξύ πηγών IR χωρίς φλόγες και πραγματικών φλογών που εκπέμπουν θερμό CO<sub>2</sub> στη διαδικασία καύσης. Ως αποτέλεσμα, τόσο το εύρος ανίχνευσης όσο και η ανοσία σε ψευδείς συναγερμούς μπορούν να αυξηθούν σημαντικά. Οι ανιχνευτές IR3 μπορούν να ανιχνεύσουν πυρκαγιά από 0,1m<sup>2</sup> (1 ft<sup>2</sup>) βενζίνης έως και 65 m (215 ft) σε λιγότερο από 5 δευτερόλεπτα. Τα τριπλά IR όπως και άλλοι τύποι ανιχνευτών IR, είναι ευαίσθητα στην τύφλωση από ένα στρώμα νερού στο παράθυρο του ανιχνευτή.

Οι περισσότεροι ανιχνευτές υπέρυθρων έχουν σχεδιαστεί για να αγνοούν τη σταθερή ακτινοβολία υπέρυθρων η οποία υπάρχει σε όλα τα περιβάλλοντα. Αντ' αυτού έχουν σχεδιαστεί για να ανιχνεύουν ξαφνικές μεταβαλλόμενες ή αυξανόμενες πηγές της ακτινοβολίας. Όταν εκτίθενται σε μεταβαλλόμενα πρότυπα ακτινοβολίας IR χωρίς φλόγα, οι ανιχνευτές IR και UV / IR γίνονται πιο επιρρεπείς σε ψευδείς συναγερμούς, ενώ οι ανιχνευτές IR3 γίνονται κάπως λιγότερο ευαίσθητοι, αλλά είναι πιο ανοσοποιημένοι σε ψευδείς συναγερμούς.

### Ανίχνευση φλόγας 3IR + UV

Οι ανιχνευτές πολλαπλών υπέρυθρων (Multi-IR / 3IR) χρησιμοποιούν αλγόριθμους για να προσδιορίσουν την παρουσία της φωτιάς και να τους ξεχωρίσουν από τον θόρυβο του φόντου που είναι γνωστό ως "Ακτινοβολία μαύρου σώματος", ο οποίος γενικά μειώνει το εύρος και την ακρίβεια του ανιχνευτή. Η ακτινοβολία μαύρου σώματος υπάρχει συνεχώς σε όλα τα περιβάλλοντα, αλλά εκπέμπεται ιδιαίτερα έντονα από αντικείμενα σε υψηλή θερμοκρασία. Αυτό δημιουργεί περιβάλλοντα υψηλής θερμοκρασίας ή περιοχές όπου το υλικό υψηλής θερμοκρασίας αντιμετωπίζεται ιδιαίτερα δύσκολα για ανιχνευτές μόνο υπέρυθρων. Έτσι, ένας πρόσθετος αισθητήρας ζώνης UV-C περιλαμβάνεται μερικές φορές στους ανιχνευτές φλόγας, για να προσθέσει ένα άλλο επίπεδο επιβεβαίωσης, καθώς η ακτινοβολία μαύρου σώματος δεν επηρεάζει τους αισθητήρες UV εκτός εάν η θερμοκρασία είναι εξαιρετικά υψηλή (όπως η λάμψη πλάσματος από μια μηχανή συγκόλλησης Arc).

*ΠΑΔΑ, Τμήμα Η&Μ, Διπλωματική Εργασία, Γκράσου Μαριάν-Γκαμπριέλ*

*Ανάπτυξη διάταξης πυρανίχνευσης βασισμένης σε LPWAN δίκτυα και τεχνολογίες IoT*

Οι ανιχνευτές πολλαπλών μήκων κύματος διαφέρουν στη διαμόρφωση του αισθητήρα. 1 IR + UV ή UVIR είναι το πιο κοινό και χαμηλό κόστος. Το 2 IR + UV αποτελεί συμβιβασμό μεταξύ κόστους και ασυλίας ψευδούς συναγερμού και το 3 IR + UV, το οποίο συνδυάζει την προηγούμενη τεχνολογία 3IR με το πρόσθετο επίπεδο αναγνώρισης από τον αισθητήρα UV.

Οι ανιχνευτές μήκους κύματος ή πολυφασματικοί ανιχνευτές όπως το 3IR + UV και UVIR είναι μια βελτίωση σε σχέση με τους αντίστοιχους ανιχνευτές IR, οι οποίοι είτε στέλνουν ψευδείς συναγερμούς είτε χάνουν ευαισθησία και εύρος, με παρουσία ισχυρού θορύβου φόντου όπως σε άμεσες ή ανακλώμενες πηγές φωτός ή ακόμα και με την έκθεση στον ήλιο. Οι ανιχνευτές υπέρυθρων βασίζονταν συχνά στην αύξηση της ενέργειας της υπέρυθρης ακτινοβολίας ως πρωταρχικός καθοριστικός παράγοντας για την ανίχνευση πυρκαγιάς, δηλώνοντας συναγερμό όταν οι αισθητήρες υπερβούν ένα δεδομένο εύρος. Ωστόσο, αυτή η προσέγγιση είναι επιρρεπής στο να προκαλεί θόρυβο χωρίς φωτιά, είτε από ακτινοβολία μαύρου σώματος, είτε από περιβάλλοντα υψηλής θερμοκρασίας ή απλώς από αλλαγές στον φωτισμό του περιβάλλοντος. Εναλλακτικά, σε μια άλλη προσέγγιση σχεδιασμού, οι ανιχνευτές των υπέρυθρων μπορούν να προκαλούν συναγερμό μόνο σε τέλειες συνθήκες και με σαφείς αντιστοιχίσεις σήματος, με αποτέλεσμα να μην υπάρχει φωτιά όταν υπάρχει πολύς θόρυβος, όπως η θέα στο ηλιοβασίλεμα.

Οι σύγχρονοι ανιχνευτές φλόγας μπορούν επίσης να χρησιμοποιούν αισθητήρες υψηλής ταχύτητας, οι οποίοι επιτρέπουν τη σύλληψη της κίνησης της φλόγας που τρεμοπαίζει και παρακολουθούν το μοτίβο και τους λόγους της φασματικής εξόδου για μοναδικά μοτίβα στη φωτιά. Οι αισθητήρες υψηλότερης ταχύτητας επιτρέπουν όχι μόνο ταχύτερους χρόνους αντίδρασης, αλλά και περισσότερα δεδομένα ανά δευτερόλεπτο, αυξάνοντας το επίπεδο εμπιστοσύνης στην αναγνώριση πυρκαγιάς ή ψευδής απόρριψη συναγερμού.

### Ορατοί αισθητήρες

Ένας αισθητήρας ορατού φωτός (για παράδειγμα μια κάμερα: 0,4 έως 0,7 μm) είναι σε θέση να παρουσιάσει μια εικόνα, η οποία μπορεί να γίνει κατανοητή από τον άνθρωπο. Επιπλέον, η σύνθετη ανάλυση επεξεργασίας εικόνας μπορεί να εκτελεστεί από υπολογιστές, οι οποίοι μπορούν να αναγνωρίσουν μια φλόγα ή

*ΠΑΔΑ, Τμήμα Η&ΗΜ, Διπλωματική Εργασία, Γκράσον Μαριάν-Γκαμπριέλ*

*Ανάπτυξη διάταξης πυρανίχνευσης βασισμένης σε LPWAN δίκτυα και τεχνολογίες IoT*

ακόμη και έναν καπνό. Δυστυχώς, μια κάμερα μπορεί να τυφλωθεί, όπως ο άνθρωπος, από έντονο καπνό και ομίχλη. Είναι επίσης δυνατή η ανάμιξη πληροφοριών ορατού φωτός (οθόνης) με πληροφορίες υπεριώδους ή υπερύθρου προκειμένου να γίνει καλύτερη διάκριση έναντι ψευδών συναγερμών και να βελτιωθεί το εύρος ανίχνευσης. Η κάμερα κορώνας είναι ένα παράδειγμα αυτού του εξοπλισμού. Σε αυτόν τον εξοπλισμό οι πληροφορίες μιας κάμερας UV αναμιγνύονται με ορατές πληροφορίες εικόνας και χρησιμοποιείται για την ανίχνευση ελαττωμάτων στον εξοπλισμό υψηλής τάσης και την ανίχνευση πυρκαγιάς σε μεγάλες αποστάσεις.

Σε ορισμένους ανιχνευτές, προστίθεται στη σχεδίαση ένας αισθητήρας για ορατή ακτινοβολία (φως).

### Βίντεο

Μπορεί να χρησιμοποιηθεί τηλεόραση κλειστού κυκλώματος ή κάμερα web για οπτική ανίχνευση (μήκη κύματος μεταξύ 0,4 και 0,7 μm). Ο καπνός και η ομίχλη μπορούν να περιορίσουν το πραγματικό εύρος αυτών, καθώς λειτουργούν αποκλειστικά στο ορατό φάσμα.

## Κεφάλαιο 10 -Κατασκευή

### **Υλικά κατασκευής**

Για την υλοποίηση της κατασκευής χρησιμοποιήθηκαν τα παρακάτω υλικά, όργανα και λογισμικά:

- i) Αισθητήρας θερμοκρασίας υπερύθρων, μοντέλο MLX90614ESF
- ii) Arduino UNO R3 ATmega328P
- iii) SIM7000 Arduino NB-IoT LTE GPRS Expansion Shield SKU DFR0505
- iv) Μπαταρία των 9V
- v) Λογισμικό Arduino 1.8.11

## MLX90614ESF

### **Χαρακτηριστικά και οφέλη:**

- i)Μικρό μέγεθος και χαμηλό κόστος
- ii)Εύκολη ενσωμάτωση
- iii)Βαθμονομημένο σε μεγάλο θερμοκρασιακό εύρος,  $-40^{\circ}\text{C}\dots+125^{\circ}\text{C}$  για θερμοκρασία αισθητήρα και  $-70^{\circ}\text{C}\dots+380^{\circ}\text{C}$  για θερμοκρασία αντικειμένου.
- iv)Υψηλή ακρίβεια  $0,5^{\circ}\text{C}$
- v)Βαθμονόμηση υψηλής ακρίβειας
- vi)Ανάλυση μέτρησης  $0,02^{\circ}\text{C}$
- vii)Εκδόσεις μονής και διπλής ζώνης
- viii)Ψηφιακή διεπαφή συμβατή με SMBus
- ix)Προσαρμόσιμη έξοδος PWM για συνεχή ανάγνωση
- x)Διατίθεται σε εκδόσεις 3V και 5V
- xi)Απλή προσαρμογή για εφαρμογές 8V...16V
- xii)Λειτουργία ύπνου για μείωση κατανάλωσης της ισχύος
- xiii)Διαφορετικές επιλογές πακέτων για εφαρμογές και μετρήσεις της ευελιξίας

### **Παραδείγματα εφαρμογών:**

- i)Μετρήσεις υψηλής ακρίβειας της θερμοκρασίας χωρίς να χρειάζεται κάποια επαφή
- ii)Αισθητήρας θερμικής άνεσης για κινητό αέρα
- iii)Σύστημα ελέγχου κλιματισμού
- iv)Στοιχείο ανίχνευσης θερμοκρασίας οικιστικών, εμπορικών και βιομηχανικών κλιματισμών κτιρίων.
- v)Ξεθάμπωμα παρμπρίζ
- vi)Ανίχνευση της τυφλής γωνίας στα αυτοκίνητα
- vii)Βιομηχανικός έλεγχος θερμοκρασίας
- viii)Έλεγχος θερμοκρασίας σε εκτυπωτές
- ix)Οικιακές συσκευές με έλεγχο θερμοκρασίας

*ΠΑΔΑ, Τμήμα Η&ΗΜ, Διπλωματική Εργασία, Γκράσου Μαριάν-Γκαμπριέλ*

*Ανάπτυξη διάταξης πυρανίχνευσης βασισμένης σε LPWAN δίκτυα και τεχνολογίες IoT*

- x)Υγειονομική περίθαλψη
- xi)Παρακολούθηση κτηνοτροφίας
- xii)Ανίχνευση κίνησης
- xiii)Έλεγχος θερμοκρασίας πολλαπλών ζωνών - έως 127 αισθητήρες μπορούν να διαβαστούν μέσω 2 κοινών καλωδίων
- xiv)Θερμικό ρελέ / συναγερμός
- xv)Μέτρηση θερμοκρασίας σώματος

**Σχήμα 10-1:MLX90614ESF [33]**

Part No.	Temperature Code	Package Code	- Option Code	Standard part	Packing form
MLX90614	E (-40°C...85°C) K (-40°C...125°C)	SF (TO-39)	- X X X (1) (2) (3)	-000	-TU

<p>(1) Supply Voltage/ Accuracy</p> <p>A - 5V</p> <p>B - 3V</p> <p>C - Reserved</p> <p>D - 3V medical accuracy</p>	<p>(2) Number of thermopiles:</p> <p>A – single zone</p> <p>B – dual zone</p> <p>C – gradient compensated*</p>	<p>(3) Package options:</p> <p>A – Standard package</p> <p>B – Reserved</p> <p>C – 35° FOV</p> <p>D/E – Reserved</p> <p>F – 10° FOV</p> <p>G – Reserved</p> <p>H – 12° FOV (refractive lens)</p> <p>I – 5° FOV</p> <p>K – 13°FOV</p>
--	--	--

### Arduino UNO R3 ATmega328P

ΠΑΔΑ, Τμήμα Η&ΜΜ, Διπλωματική Εργασία, Γκράσου Μαριάν-Γκαμπριέλ

Ανάπτυξη διάταξης πυρανίχνευσης βασισμένης σε LPWAN δίκτυα και τεχνολογίες IoT



### **Χαρακτηριστικά:**

- Μικροελεγκτής υψηλής απόδοσης, χαμηλής ισχύος AVR® 8-bit
- Προηγμένη αρχιτεκτονική RISC
- 131 Ισχυρές Οδηγίες
- Εκτελεστικός Κύκλος Ενιαίου Ρολογιού
- 32 x 8 Μητρώα εργασίας γενικού σκοπού
- Πλήρως στατική λειτουργία
- Έως 20 MIPS Χωρητικότητα σε 20 MHz
- Πολλαπλασιαστής 2 κύκλων σε τσιπ
- Υψηλής αντοχής και χωρίς πτητικά τμήματα μνήμης
- 4/8/16/32K Bytes μνήμης προ-προγραμματιζόμενης μνήμης Flash
- 256/512/512/1K Bytes EEPROM και 512/1K/1K/2K Bytes Εσωτερικό SRAM
- Κύκλοι εγγραφής/διαγραφής: 10.000 Flash/100.000 EEPROM
- Διατήρηση δεδομένων: 20 χρόνια στους 85 ° C/100 χρόνια στους 25 ° C (1)
- Προαιρετικό τμήμα κωδικού εκκίνησης με ανεξάρτητα bit κλειδώματος
- Προγραμματισμός στο σύστημα μέσω προγράμματος εκκίνησης σε τσιπ
- Λειτουργία True Read-while-Writing
- Κλείδωμα προγραμματισμού για ασφάλεια λογισμικού
- Περιφερειακά χαρακτηριστικά
- Δύο χρονοδιακόπτες/μετρητές 8-bit με ξεχωριστή λειτουργία προ-ζυγοστάθμισης και λειτουργία σύγκρισης
- Ένας χρονοδιακόπτης/μετρητής 16-bit με ξεχωριστό Prescaler με λειτουργία σύγκρισης και λήψης
- Μετρητής πραγματικού χρόνου με ξεχωριστό ταλαντωτή
- Έξι κανάλια PWM
- ADC 8 καναλιών 10-bit σε πακέτο TQFP και QFN/MLF
- ADC 6 καναλιών 10-bit σε πακέτο PDIP
- Προγραμματιζόμενη Σειριακή USART
- Σειριακή διεπαφή Master/Slave SPI
- Σειριακή διεπαφή 2-καλωδίων προσανατολισμένη σε byte
- Προγραμματιζόμενος χρονοδιακόπτης Watchdog με ξεχωριστό ταλαντωτή
- On-chip Analog Comparator

*ΠΑΔΑ, Τμήμα Η&ΗΜ, Διπλωματική Εργασία, Γκράσου Μαριάν-Γκαμπριέλ*

*Ανάπτυξη διάταξης πυρανίχνευσης βασισμένης σε LPWAN δίκτυα και τεχνολογίες IoT*

- Διακοπή και αφύπνιση στην αλλαγή καρφισών
  - Επαναφορά ενεργοποίησης και προγραμματιζόμενη ανίχνευση Brown-out
  - Εσωτερικός βαθμονομημένος ταλαντωτής
  - Εξωτερικές και εσωτερικές πηγές διακοπής
  - Έξι λειτουργίες ύπνου: Idle, ADC Noise Reduction, Power-save, Power-down, Standby και Extended Standby
  - I/O και πακέτα
  - 23 προγραμματιζόμενες γραμμές εισόδου/εξόδου
- 
- PDIP 28 ακίδων, TQFP 32 αγωγών, QFN/MLF 28 ακίδων και QFN/MLF 32 Ακίδων

**Τάση λειτουργίας:**

- 1,8 - 5,5V

**Εύρος θερμοκρασίας:**

-40 ° C έως 85 ° C

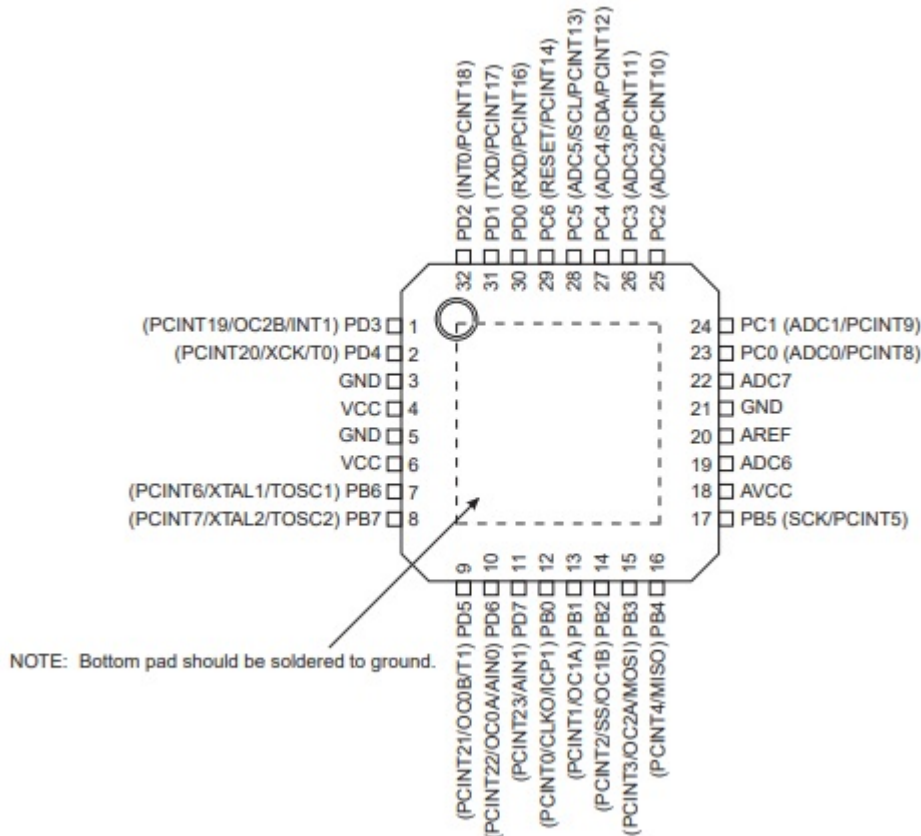
**Βαθμός ταχύτητας:**

- 0 - 4 MHz @ 1.8 - 5.5V, 0 - 10 MHz @ 2.7 - 5.5V, 0 - 20 MHz @ 4.5 - 5.5V

**Σχήμα 10-2:ATmega328P**

*ΠΑΔΑ, Τμήμα Η&ΜΜ, Διπλωματική Εργασία, Γκράσου Μαριάν-Γκαμπριέλ*

*Ανάπτυξη διάταξης πυρανίχνευσης βασισμένης σε LPWAN δίκτυα και τεχνολογίες IoT*



### SIM7000E Arduino NB-IoT/LTE/GPRS Expansion Shield SKU DFR0505

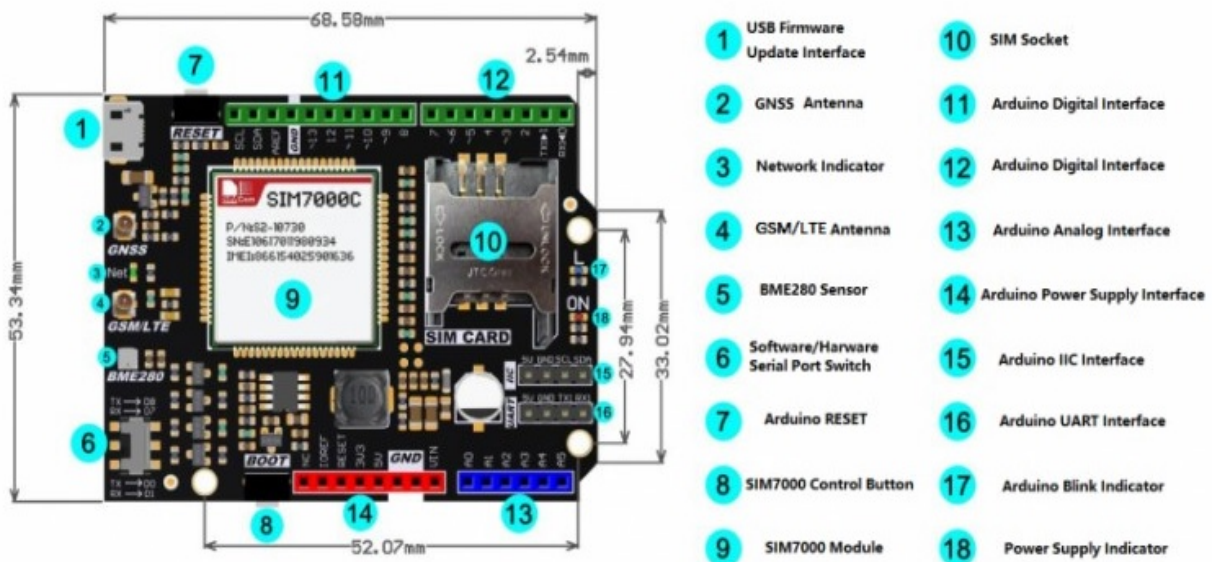
Η SIM7000E Arduino NB-IoT/LTE/GPRS Expansion Shield είναι μια μονάδα ασύρματης επικοινωνίας που παράγεται από την DFRobot και ο σχεδιασμός της βασίζεται στην SIMCom SIM7000E. Αυτή η μονάδα ασύρματης επικοινωνίας έχει σχεδιαστεί για ελεγκτές Arduino, υποστηρίζοντας επικοινωνία πολλαπλών συχνοτήτων LTE-FDD, επικοινωνία διπλής συχνότητας GPRS/EDGE και επικοινωνία NB-IoT. Ανεξάρτητα από τις πρωτότυπες εξελίξεις ή μικρές παρτίδες παραγωγής, η SIM7000E Arduino NB-IoT/LTE/GPRS Expansion Shield είναι η καλύτερη λύση σε εφαρμογές χαμηλής κατανάλωσης ενέργειας, χαμηλής καθυστέρησης και παρεμβολής. Εκτός από το GNSS (Global Navigation Satellite System), η SIM7000E υποστηρίζει αμερικανικό GPS, ρωσικό GLONASS, European Galileo, ιαπωνικό QZSS και κινεζικό δορυφορικό σύστημα πλοήγησης

ΠΑΔΑ, Τμήμα Η&ΗΜ, Διπλωματική Εργασία, Γκράσου Μαριάν-Γκαμπριέλ

Ανάπτυξη διάταξης πυραίνχνευσης βασισμένης σε LPWAN δίκτυα και τεχνολογίες IoT

ΒειDou. Μπορεί να εφαρμοστεί ευρέως σε εφαρμογές IoT όπως έλεγχος μεγάλων αποστάσεων, παρακολούθηση κινήσεων και μεταφόρτωση δεδομένων μεγάλων αποστάσεων.

**Σχήμα 10-3:SIM7000 Arduino NB-IoT/LTE/GPRS Expansion Shield [34]**



### Προγραμματισμός κατασκευής

Για τον προγραμματισμό του ARDUINO χρησιμοποιήθηκε μια τροποποιημένη βιβλιοθήκη της Adafruit\_FONA καθώς η κανονική δεν υποστηρίζει σύνδεση μέσω LTE.Ο παρακάτω κώδικας χρησιμοποιείται για να διαβάζει την θερμοκρασία σε έναν χώρο και σε περίπτωση που αυτή ξεπεράσει τους 60 C τότε ενεργοποιείται η SIM και στέλνει το μήνυμα “fire” στο κινητό.

```
#include <DFRobot_SIM7000.h>
#include <Wire.h>
#include <Adafruit_MLX90614.h>
Adafruit_MLX90614 mlx = Adafruit_MLX90614();
```

ΠΑΔΑ, Τμήμα Η&ΗΜ, Διπλωματική Εργασία, Γκράσου Μαριάν-Γκαμπριέλ

Ανάπτυξη διάταξης πυρανίχνευσης βασισμένης σε LPWAN δίκτυα και τεχνολογίες IoT

```

#include "Adafruit_FONA.h"

#if defined(ARDUINO_SAMD_ZERO) &&
defined(SERIAL_PORT_USBVIRTUAL)

// Required for Serial on Zero based boards
#define Serial SERIAL_PORT_USBVIRTUAL
#endif

#define SIMCOM_7000

#define FONA_PWRKEY 6
#define FONA_RST 7

#define FONA_TX 10
#define FONA_RX 11

#include <SoftwareSerial.h>
SoftwareSerial fonaSS = SoftwareSerial(FONA_TX, FONA_RX);

SoftwareSerial *fonaSerial = &fonaSS;

Adafruit_FONA_LTE fona = Adafruit_FONA_LTE();
uint8_t readline(char *buff, uint8_t maxbuff, uint16_t timeout = 0);
uint8_t type;
char imei[16] = {0}; // Πρέπει να χρησιμοποιήσουμε έναν buffer 16 χαρακτήρων για
το IMEI!
char callerIDbuffer[32]="+0036949252936"; //Αριθμός τηλεφώνου

```

*ΠΑΔΑ, Τμήμα Η&ΗΜ, Διπλωματική Εργασία, Γκράσου Μαριάν-Γκαμπριέλ*

*Ανάπτυξη διάταξης πυρανίχνευσης βασισμένης σε LPWAN δίκτυα και τεχνολογίες IoT*

```

char message[141] = "fire";
void setup() {
  Serial.begin(9600);
  Serial.println("Adafruit MLX90614 test");
  mlx.begin();
  // while (!Serial);

  pinMode(FONA_RST, OUTPUT);
  digitalWrite(FONA_RST, HIGH); // Default state

  // Ενεργοποίηση πατώντας PWRKEY low για λίγα δευτερόλεπτα
  fona.powerOn(FONA_PWRKEY);

  Serial.begin(9600); //Ξεκινάμε δοκιμάζοντας σε αυτό το baud rate
  Serial.println(F("Initializing....(May take several seconds)"));

  fonaSerial->begin(115200); // Baud rate της SIM7000
  if (! fona.begin(*fonaSerial)) {
    DEBUG_PRINTLN(F("Couldn't find SIM7000"));
  }
}

```

//SOS ο παρακάτω κώδικας είναι για την περίπτωση που δεν χρησιμοποιείται η SIM7000 και βρίσκει το είδος της SIM.

//Σε αυτό το Project έτσι βρέθηκε ότι η sim που χρησιμοποιούνταν δεν ήταν η SIM7000 αλλά η SIM7500.

```
type = fona.type();
Serial.println(F("FONA is OK"));
Serial.print(F("Found "));
switch (type) {
  case SIM800L:
    Serial.println(F("SIM800L")); break;
  case SIM800H:
    Serial.println(F("SIM800H")); break;
  case SIM808_V1:
    Serial.println(F("SIM808 (v1)")); break;
  case SIM808_V2:
    Serial.println(F("SIM808 (v2)")); break;
  case SIM5320A:
    Serial.println(F("SIM5320A (American)")); break;
  case SIM5320E:
    Serial.println(F("SIM5320E (European)")); break;
  case SIM7000:
    Serial.println(F("SIM7000")); break;
  case SIM7070:
    Serial.println(F("SIM7070")); break;
  case SIM7500:
    Serial.println(F("SIM7500")); break;
  case SIM7600:
    Serial.println(F("SIM7600")); break;
  default:
```



```

    Serial.println(F("???")); break;
}

// Print module IMEI number.
uint8_t imeiLen = fona.getIMEI(imei);
if (imeiLen > 0) {
    Serial.print("Module IMEI: "); Serial.println(imei);
}

// Ενεργοποίηση του modem σε πλήρη λειτουργία

fona.setFunctionality(1); // AT+CFUN=1
fona.setPreferredMode(38); // Για να χρησιμοποιήσει μόνο LTE

Serial.println("FONA Ready");
}

//Ο παρακάτω κώδικας είναι για τον αισθητήρα, εμφανίζει και υπολογίζει την
θερμοκρασία σε C αλλά και σε F
int g;
void loop() {
    Serial.print("Ambient = "); Serial.print(mlx.readAmbientTempC());
    Serial.print("\tObject    =    ");    Serial.print(mlx.readObjectTempC());
    Serial.println("\tC");
    Serial.print("Ambient = "); Serial.print(mlx.readAmbientTempF());

```

*ΠΑΔΑ, Τμήμα Η&ΗΜ, Διπλωματική Εργασία, Γκράσου Μαριάν-Γκαμπριέλ*

*Ανάπτυξη διάταξης πυρανίχνευσης βασισμένης σε LPWAN δίκτυα και τεχνολογίες IoT*

```

Serial.print("F\tObject    =    ");    Serial.print(mlx.readObjectTempF());
Serial.println("F");
Serial.println();
g=mlx.readObjectTempC();
if (g>=60)
//Σε περίπτωση που η θερμοκρασία ξεπεράσει τους 60C στέλνει το μήνυμα "fire"
στο κινητό
{
    sendText(message);
}
delay(500);
}
//Η συνάρτηση για να σταλθεί μήνυμα
void sendText(const char* message)
{
    Serial.println("Sending reponse...");
    if (!fona.sendSMS(callerIDbuffer, message))
    {
        Serial.println(F("Failed")); }
    else
    {
        Serial.println(F("Sent!"));
    }
}
}

```

### Έξτρα κώδικας για σύνδεση LTE στην βιβλιοθήκη FONA\_Adafruit

ΠΑΔΑ, Τμήμα Η&ΗΜ, Διπλωματική Εργασία, Γκράσου Μαριάν-Γκαμπριέλ

Ανάπτυξη διάταξης πυρανίχνευσης βασισμένης σε LPWAN δίκτυα και τεχνολογίες IoT

```

class Adafruit_FONA_LTE : public Adafruit_FONA {

public:

  Adafruit_FONA_LTE () : Adafruit_FONA(FONA_NO_RST_PIN) { _type =
SIM7000; _type = SIM7070; _type = SIM7500; }

  boolean setPreferredMode(uint8_t mode);
  boolean setPreferredLTEMode(uint8_t mode);
  boolean setOperatingBand(const char * mode, uint8_t band);
  boolean setBaudrate(uint16_t baud);
  boolean hangUp(void);

```

## ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Ο στόχος της Διπλωματικής εργασίας ήταν η υλοποίηση μιας πειραματικής διάταξης βασισμένης σε LPWAN τηλεπικοινωνιακά δίκτυα, με στοιχεία ανοικτού κώδικα όπου ήταν εφικτό, ώστε να μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε ερευνητικές δραστηριότητες εντοπισμού πυρκαγιών σε δάση. Στην συγκεκριμένη υλοποίηση, λόγω των πολλών λειτουργιών της η SIM7000 Arduino NB-IoT/LTE/GPRS Expansion Shield μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε μια μεγάλη γκάμα εφαρμογών. Η συγκεκριμένη διπλωματική εργασία είναι ένα απλό παράδειγμα των δυνατοτήτων της. Με κάποιες μικρές αλλαγές το σύστημα θα μπορούσε να μας στείλει ένα μήνυμα με την τοποθεσία στην οποία βρίσκεται (η SIM7000 παρέχει αυτήν την δυνατότητα). Σε περίπτωση κάποιας πυρκαγιάς θα υπάρξει άμεση αντίδραση. Τα θετικά αυτής της κατασκευής είναι ότι έχει χαμηλό κόστος, έχει μικρό μέγεθος και

*ΠΑΔΑ, Τμήμα Η&ΜΜ, Διπλωματική Εργασία, Γκράσου Μαριάν-Γκαμπριέλ*

*Ανάπτυξη διάταξης πυρανίχνευσης βασισμένης σε LPWAN δίκτυα και τεχνολογίες IoT*

έχει μεγάλη διάρκεια ζωής της μπαταρίας εφόσον ενεργοποιείται και στέλνει μήνυμα μόνο σε περίπτωση φωτιάς. Λόγω του μεγέθους και της μεγάλης διάρκειας ζωής της μπαταρίας μπορεί εύκολα να τοποθετηθεί και σε δυσπρόσιτα σημεία, καθώς σπάνια χρειάζεται συντήρηση.

## Βιβλιογραφία – Αναφορές - Διαδικτυακές Πηγές

- [1] < [https://www.wwf.gr/ti\\_kanoume/fysh/dasi/pyrkagies/](https://www.wwf.gr/ti_kanoume/fysh/dasi/pyrkagies/) >
- [2] Return on IoT: dealing with the IoT skills gap < <https://www.forbes.com/sites/danielnewman/2019/07/30/return-on-iot-dealing-with-the-iot-skills-gap/#27017efb7091> >
- [3] Low-power wide area network (LPWAN) overview < <https://datatracker.ietf.org/doc/pdf/rfc8376.pdf> >
- [4] Frost and Sullivan, growing convergence of LPWAN & IoT technologies < <https://g8fek.com/index.html> >

ΠΑΔΑ, Τμήμα Η&ΗΜ, Διπλωματική Εργασία, Γκράσου Μαριάν-Γκαμπριέλ

Ανάπτυξη διάταξης πυρανίχνευσης βασισμένης σε LPWAN δίκτυα και τεχνολογίες IoT

- [5] < [https://www.ericsson.com/4ada75/assets/local/reports-papers/white-papers/wp\\_iot.pdf](https://www.ericsson.com/4ada75/assets/local/reports-papers/white-papers/wp_iot.pdf) >
- [6] K. Mekki, E. Bajic, F. Chaxel, F. Meyer, A comparative study of LPWAN technologies for large-scale IoT deployment < <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2405959517302953> >
- [7] Bharat S. Chaudhari, Marco Zennaro, LPWAN Technologies for IoT and M2M Applications
- [8] U. Raza, P. Kulkarni, M. Sooriyabandar, Low power wide area networks: an overview, < <https://arxiv.org/abs/1606.07360> >
- [9] S.M. Islam, M. Zeng, O.A. Dobre, K.-S. Kwak, Non-orthogonal multiple access (NOMA): how it meets 5G and beyond, < <https://arxiv.org/abs/1907.10001> >
- [10] M. Bilal, A review of Internet of things architecture, technologies and analysis smartphone-based attacks against 3D printers < <https://arxiv.org/abs/1708.04560> >
- [11] Q.M. Qadir, et al., Low power wide area networks: a survey of enabling technologies, applications and interoperability needs < <https://arxiv.org/abs/2008.08639> >
- [12] Georgios Kambourakis, Constantinos Koliass, Dimitrios Geneiatakis, Georgios Karopoulos, Georgios Michail Makrakis and Ioannis Kounelis < [https://www.icsd.aegean.gr/publication\\_files/833669971.pdf](https://www.icsd.aegean.gr/publication_files/833669971.pdf) >
- [13] M. Chafii, F. Bader, J. Palicot, Enhancing coverage in narrow band-IoT using machine learning, < <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/8377263> >
- [14] L. Alberto, B. Pacheco, et al., Device-based security to improve user privacy in the Internet of things, Sensors (Basel) (2018) < <https://www.mdpi.com/1424-8220/18/8/2664> >
- [15] A. Rakic, Key Aspects of narrow band IoT communication technology driving future IoT applications < <https://ieeexplore.ieee.org/document/8249327> >
- [16] Larmo, A. Ratilainen, J. Saarinen, Article impact of CoAP and MQTT on NB-IoT system performance, Sensors (Basel) 19 (2019) < <https://www.mdpi.com/1424-8220/19/1/7> >
- [17] M. Chafii, F. Bader, J. Palicot, Enhancing coverage in narrow band-IoT using machine learning, HAL < <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01705715/document> >
- [18] N. Li, C. Cao, C. Wang, Dynamic resource allocation and access class barring scheme for delay-sensitive devices in machine to machine (M2M) communications, Sensors (2017) < <https://www.mdpi.com/1424-8220/17/6/1407> >
- [19] P. Niemelä, Narrowband LTE in Machine to Machine Satellite Communication, Aalto University < <https://core.ac.uk/download/pdf/159158487.pdf> >
- [20] P. Andres-Maldonado, et al., Narrow band IoT data transmission procedures for massive machine type communications, IEEE Network 31(6) (2017) < <https://ieeexplore.ieee.org/document/8120238> >

- [21] S.K. Sharma, X. Wang, Towards massive machine type communications in ultra-dense cellular IoT networks: current issues and machine learning-assisted solutions < <https://ieeexplore.ieee.org/document/8712527> >
- [22] A. Rico-Alvariño, et al., An overview of 3GPP enhancements on machine to machine communications
- [23] A. Morgado et al., A survey of 5G technologies: regulatory, standardization and industrial perspectives, Digit. Commun. Netw < <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352864817302584> >
- [24] M. Faheem, et al., Smart grid communication and information technologies in the perspective of Industry 4.0: opportunities and challenges < <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1574013718300856> >
- [25] T. van der Vorst, et al., The Wireless Internet of Things: Spectrum Utilization and Monitoring, Radiocommunications Agency Netherlands < [https://www.iotjournaal.nl/wp-content/uploads/2017/02/dialogic\\_-\\_internet\\_of\\_things\\_spectrum\\_utilisation\\_and\\_monitoring\\_v2.3.pdf](https://www.iotjournaal.nl/wp-content/uploads/2017/02/dialogic_-_internet_of_things_spectrum_utilisation_and_monitoring_v2.3.pdf) >
- [26] S.B. Baker, et al., Internet of things for smart healthcare: technologies, challenges, and opportunities < <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/8124196> >
- [27] Shahid Mumtaz et al, Massive Internet of things for industrial applications < <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/7883984> >
- [28] <<https://dl.acm.org/doi/abs/10.1145/2069087.2069099> >
- [29] <[https://www.researchgate.net/figure/Wireless-access-geographic-coverage-RFID-radio-frequency-identification-NFC-near\\_fig2\\_339755491](https://www.researchgate.net/figure/Wireless-access-geographic-coverage-RFID-radio-frequency-identification-NFC-near_fig2_339755491)>
- [30] Bharat S. Chaudhari, Marco Zennaro, LPWAN Technologies for IoT and M2M Applications
- [31] [https://www.researchgate.net/figure/Typical-low-power-wide-area-network-LPWAN-entities\\_fig4\\_339755491](https://www.researchgate.net/figure/Typical-low-power-wide-area-network-LPWAN-entities_fig4_339755491)
- [32] Krzysztof Mateusz Malarskia , Alexander Bardrama , Mikkel Delbo Larsena , Jakob Thranea , Martin Nordal Petersena , Lars Moellerb , and Sarah Rueppa, Demonstration of NB-IoT for Maritime Use Cases
- [33] <https://www.mouser.fi/ProductDetail/Melexis/MLX90614ESF-BCI-000-TU?qs=KuGPmAKtFKXB55OHcItFHA%3D%3D>
- [34] <https://www.dfrobot.com/product-1732.html>