

**ΑΕΙ ΠΕΙΡΑΙΑ Τ.Τ.
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ
ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ Τ.Ε.**

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Ασύρματα δικτυακά αισθητήρια zigbee

Μιχαήλ Στεφανίδης

Εισηγητής: Αλατσαθιανός Σταμάτιος, Καθηγητής

**ΑΘΗΝΑ
ΙΟΥΝΙΟΣ 2016**

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα εργασία εκπονήθηκε με σκοπό την παρουσίαση των ασύρματων δικτύων αισθητηρίων και του Zigbee. Εξάλλου, ζούμε σε μία εποχή, που η τεχνολογία εξελίσσεται χωρίς να αφήνει ανεπηρέαστους ακόμη και τους απλούς καταναλωτές. Οι οικιακοί αυτοματισμοί βρίσκουν συνεχώς εφαρμογή σε διάφορες χωρίς καθώς μπορεί να καλύψουν ανάγκες κόστους και χρόνου.

Η μελέτη εστίασε στην καινοτόμο τεχνολογία Zigbee. Πρόκειται για μία τεχνολογία, η οποία είναι σε θέση να επεκτείνει τις υπάρχουσες δυνατότητες του Bluetooth ενώ από πολλούς θεωρείται το μέλλον των καινοτομικών συστημάτων αυτοματισμού.

Δεδομένου ότι πρόκειται για μία τεχνολογία, για την οποία δεν υπάρχει εκτενή ελληνική βιβλιογραφία, η εργασία αυτή έχει ως σκοπό να μελετήσει σε βάθος το πρωτόκολλο, δίνοντας παραδείγματα εφαρμογής του, ώστε να γίνει κατανοητή η αναγκαιότητα χρήσης του.

ABSTRACT

This work was aimed at presentation of wireless sensor networks and Zigbee. Moreover, we live in an era where technology evolves without leaving unaffected even ordinary consumers. Household automation constantly find application in various free as it can cover the costs and time requirements.

The study focused on innovative Zigbee technology. This is a technology that is able to expand the existing Bluetooth capabilities while considered by many as the future of innovative automation systems.

Since this is a technology for which there is no extensive Greek literature, this paper aims to study in depth the protocol, giving examples of application in order to understand the necessity of using it.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Κεφάλαιο 1ο	10
1.1 Ασύρματα τοπικά δίκτυα	10
1.2 Bluetooth.....	10
1.3 Wi-max.....	11
1.4 Σύγκριση Bluetooth και Zigbee	12
1.5 Η σχέση μεταξύ του ZigBee και του IEEE 802.15.4	13
1.6 Κινητές επικοινωνίες	14
1.7 Πολλαπλά πρωτόκολλα μεταγωγής σήματος (Multi protocol label switching)	15
1.8 Χαρακτηριστικά ασύρματων δικτύων αισθητήρων	15
Κεφάλαιο 2 ^ο	18
2.1 Βασική ορολογία	18
2.2 Εφαρμογές.....	19
2.3 Αρχιτεκτονική HV ασύρματου κόμβου.....	20
2.4 Χαρακτηριστικά ασύρματων δικτύων αισθητήρων	22
2.5 Τοπολογίες ασύρματων δικτύων αισθητήρων.....	24
2.6 Επίπεδο ζεύξης δεδομένων	26
Κεφάλαιο 3ο	29
3.1 Τεχνολογία ZIGBEE	29
3.2 Τοπολογίες Zigbee.....	31
3.3 Επίπεδα Πρωτοκόλλου Zigbee	35
3.4 Έννοιες Πρωτοκόλλου Zigbee	37
3.5 Τα προφίλ του ZigBee.....	43
3.5.1 Φυσικό επίπεδο IEEE 802.15.4 55	46
3.5.2 MAC επίπεδο IEEE 802.15.4 56.....	47
3.6 Παραδείγματα χρήσης ασύρματων δικτύων αισθητήρων.....	47
3.7 Στοίβα πρωτοκόλλων ZigBee	52
Κεφάλαιο 4 ^ο	54
4.1 Τύποι συσκευών	54
4.1.1 Ρόλοι συσκευών	54
4.2 Τοπολογίες δικτύων	55
4.3 Φυσικό επίπεδο (Physical layer, PHY).....	57

4.4 Zigbe και IEEE 802.15.4 επικοινωνίες	58
4.5 Μέθοδοι μεταφοράς δεδομένων.....	60
4.6 Διευθυνσιοδότηση.....	60
4.7 Πρωτόκολλο RHY	62
4.8 Μορφή RPPDU	62
Κεφάλαιο 5 ^ο	64
5.1 Αντικείμενα συσκευής Zigbee	64
5.2 Δημιουργία ενός δικτύου	66
5.3 Μηχανισμός ανάθεσης διευθύνσεων	67
5.4 Δρομολόγηση πλαισίων.....	68
5.5 Επίπεδο εφαρμογών (Application layer, APL)	71
5.5.1 Υποεπίπεδο υποστήριξης εφαρμογών (Application support sublayer, APS).....	72
5.6 Μοντέλο αναφοράς APS	73
5.7 Πλαίσια υποεπιπέδου APS	73
5.8 Μετάδοση, παραλαβή και επιβεβαίωση πλαισίων	58
Κεφάλαιο 6 ^ο	78
6.1 Zigbee Τεχνολογίες υλοποίησης.....	78
6.2 Ασφάλεια	80
6.3 Πύλη Zigbee	81
6.4 ZigBee Μεταφορά.....	81
6.5 Παραδείγματα εφαρμογών Zigbee.....	82
6.5.1 Οικιακοί αυτοματισμοί.....	83
6.5.2 Συστήματα ασφαλείας	82
6.5.3 Συστήματα μετρητών ανάγνωσης.....	83
6.5.4 Αρδευτικά Συστήματα	84
6.5.5 Συστήματα ελέγχου φωτισμού.....	84
6.5.6 Πολλαπλά Συστήματα HVAC Ζώνης	85
6.5.7 Τηλεχειρισμοί.....	86
6.5.8 Zigbee και συστήματα υγείας.....	86
6.5.9 Χρήση σε ξενοδοχειακά συστήματα.....	87
6.5.10 Πυροσβεστήρες	88

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 1.1 Εγκατάσταση Wi -Max.....	12
Εικόνα 1.2 Σύγκριση Zigbee με άλλα πρωτόκολλα	13
Εικόνα 1.3 Open System Interconnect.....	14
Εικόνα 1. 4 Εξέλιξη κινητών επικοινωνιών	14
Εικόνα 1. 5 Διαστρωμάτωση MPLS	15
Εικόνα 2.1 Διαδικασία Sensing.....	18
Εικόνα 2.2 Τοπολογία αστέρα	24
Εικόνα 3.1 Πομποδέκτης Zigbee	32
Εικόνα 3.2 Τοπολογία αστέρα	32
Εικόνα 3.3 Τοπολογία πλέγματος	35
Εικόνα 3.4 Πρωτόκολλο Zigbee	37
Εικόνα 3.5 Εκτέλεση primitives μεταξύ δύο επιπέδων	39
Εικόνα 3.6 Εισαγωγή επιπέδου αντικειμένων συσκευών	39
Εικόνα 3.7 Συγκριτικός πίνακας κατανάλωσης Zigbee σε σχέση με άλλες τεχνολογίες.....	42
Εικόνα 3.8 Επίπεδα.....	47
Εικόνα 3.9 Διαφορές Ad Hoc δικτύων και δικτύων αισθητήρων	46
Εικόνα 3.10 Πεδία εφαρμογής Zigbee	47
Εικόνα 3.11 Επίπεδα εφαρμογών	50
Εικόνα 3.12 Ρόλοι συσκευών	52
Εικόνα 4.1 Λειτουργία δικτύου.....	58
Εικόνα 4.2 Μεταφορά με χρήση beacon και χωρίς.....	57
Εικόνα 4.3 Πρωτόκολλο PHY	63
Εικόνα 4.4 Επιλογή ταυτότητας δικτύου	62
Εικόνα 4.5 Υποεπίπεδο υποστήριξης εφαρμογών	63
Εικόνα 6.1 Δομή ATMEL	78
Εικόνα 6.2 Δομή Freescale	79
Εικόνα 6.3 xBee και xBee Pro	80
Εικόνα 6.4 Αυτοματισμοί κτιρίων.....	82
Εικόνα 6.5 Ρύθμιση φωτισμού σε κτίριο	84
Εικόνα 6.6 Πολλαπλά συστήματα HVAC.....	85
Εικόνα 6.7 Διάγραμμα απομακρυσμένου ελέγχου	87

Πίνακας 1 Συγκεντρωτικά χαρακτηριστικά Zigbee	30
Πίνακας 2 Πλαίσιο εντολών AF	42
Πίνακας 3 Πεδία, μήκη και διάρκειες	64
Πίνακας 4 Πλαίσιο APS.....	74

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Στην παρούσα εργασία θα γίνει αναφορά στα δίκτυα αισθητηρίων γενικότερα, ενώ ειδικότερα θα εμβαθύνουμε στην τεχνολογία Zigbee. Στο πρώτο κεφάλαιο θα γίνει μία γενίκευση στα ασύρματα τοπικά δίκτυα και τις τεχνολογίες τους, στις κινητές επικοινωνίες, τα χαρακτηριστικά ασύρματων δικτύων και στα πολλαπλά πρωτόκολλα μεταγωγής σήματος.

Στο δεύτερο κεφάλαιο θα δοθεί, μία βασική ορολογία των ασύρματων δικτύων αισθητήρων, θα αναφερθούν οι τοπολογίες και τα χαρακτηριστικά τους αλλά και οι τομείς που βρίσκουν εφαρμογή.

Στο τρίτο κεφάλαιο γίνεται εκτενής αναφορά στην τεχνολογία του Zigbee. Συγκεκριμένα μελετώνται οι διάφοροι τύποι δικτύωσης, τα επίπεδα και η στοίβα του πρωτοκόλλου.

Στο τέταρτο κεφάλαιο καταγράφονται οι τύποι συσκευών του Zigbee, καθώς και οι ρόλοι τους, ενώ πραγματοποιείται αναλυτική περιγραφή της μεταφοράς δεδομένων, της διευθυνσιοδότησης και των επικοινωνιών του πρωτοκόλλου.

Στο πέμπτο κεφάλαιο καταγράφονται τα αντικείμενα μίας Zigbee συσκευής, καθώς και ο τρόπος δημιουργίας του δικτύου. Επιπλέον περιγράφονται οι μηχανισμοί ανάθεσης διευθύνσεων, η δρομολόγηση πλαισίων τα μοντέλα αναφοράς του APS και τα πλαίσια υποεπιπέδου του.

Τέλος, το 6^ο κεφάλαιο είναι αφιερωμένο στις τεχνολογίες υλοποίησης του Zigbee, στους τρόπους ασφάλειας, και στα παραδείγματα εφαρμογών και χρήσεων.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1ο

1.1 Ασύρματα τοπικά δίκτυα

Το IEEE 802.11 ασύρματου τοπικού δικτύου τυποποιήθηκε το 1997 παρέχοντας πρότυπα διαλειτουργικότητας για κατασκευαστές WLAN χρησιμοποιώντας εξάπλωση 11 Mcps DS-SS και ρυθμούς δεδομένων χρήστη, 2 MBps¹. Ένα ασύρματο τοπικό δίκτυο αποτελείται από τα ακόλουθα στοιχεία:

1. Σταθμοί (Stations), είναι οποιαδήποτε συσκευή επικοινωνεί μέσω ενός ασύρματου τοπικού δικτύου.
2. Σημεία πρόσβασης (Access points). Όταν σε ένα δίκτυο υπάρχει ένα σημείο πρόσβασης επιτρέπεται η επικοινωνία των σταθμών, μέσω αυτού. Βέβαια, απαιτείται το διπλάσιο εύρος ζώνης σε σχέση με την απ' ευθείας επικοινωνία των σταθμών.
3. Συστήματα διανομής (Distribution Systems) που διασυνδέουν πολλαπλές υποδομές.

1.2 Bluetooth

Ένα δίκτυο πρωτοκόλλου IEEE 802.15.1 λειτουργεί σε μικρές αποστάσεις, με χαμηλή ισχύ και με χαμηλό κόστος. Είναι στην ουσία μία Τεχνολογία "υποκατάστασης καλωδίου" χαμηλής ισχύος, μικρής εμβέλειας και χαμηλού κόστους, για διασύνδεση φορητών υπολογιστών, περιφερειακών συσκευών, κινητών τηλεφώνων και έξυπνων τηλεφώνων, ενώ το 802.11 είναι μια τεχνολογία υψηλότερης ισχύος, μέσης εμβέλειας, υψηλότερου ρυθμού "προσπέλασης"!

Πρόκειται για δίκτυα, τα οποία καλούνται και ως «ασύρματα δίκτυα προσωπικής περιοχής». Τόσο το επίπεδο ζεύξης όσο και το φυσικό επίπεδο του 802.15.1 βασίζονται στην προηγούμενη προδιαγραφή για δίκτυα προσωπικής περιοχής (Held 2001, Bisdikian 2001).

¹ Theodore S. Rappaport,(2010) Ασύρματες επικοινωνίες, Εκδ. Γκιούρδας

Τα δίκτυα 802.15.1 λειτουργούν στην χωρίς άδεια χρήσης ζώνη ραδιοφάσματος 2,4 GHz, παρόμοια με το TDM, με χρονοθυρίδες των 625 μsec. Κατά την διάρκεια κάθε χρονοθυρίδας, ένας αποστολέας μεταδίδει σ' ένα από 79 κανάλια, με το κανάλι να αλλάζει μ' έναν γνωστό, αλλά ψευδοτυχαίο τρόπο από θυρίδα σε θυρίδα.

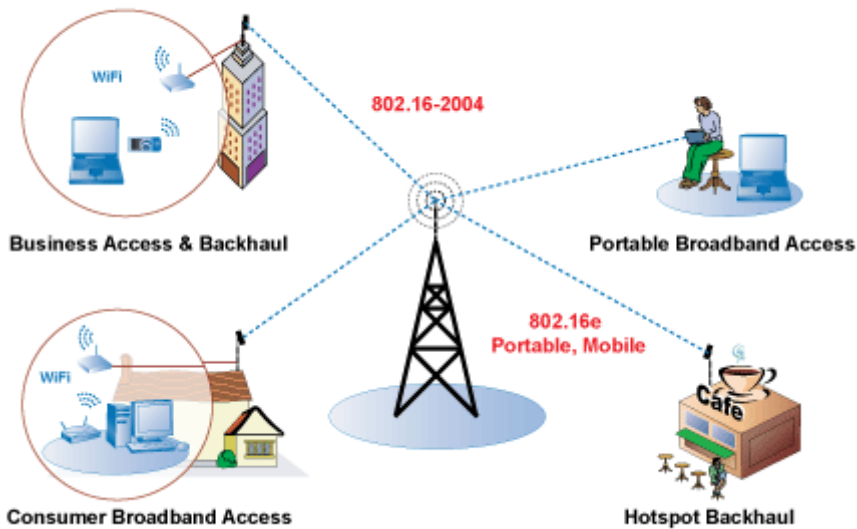
Κατά τη περίπτωση της αναπήδησης του καναλιού, η οποία είναι ευρέως γνωστή και με την ονομασία του εξαπλωμένου φάσματος αναπήδησης συχνότητας. Σύμφωνα με τη μορφή αυτή εξαπλώνονται οι μεταδόσεις μέσα στο χρόνο σύμφωνα με το φάσμα των συχνοτήτων. Το 802.15.1 μπορεί να παρέχει ρυθμούς δεδομένων μέχρι 4 Mbps.

Τα δίκτυα 802.15.1 είναι ad hoc: δίκτυα: Δεν απαιτείται υποδομή δικτύου (πχ. ένα σημείο προσπέλασης) για διασύνδεση συσκευών 802.15.1. Έτσι, οι συσκευές 802.15.1 πρέπει να οργανωθούν μόνες τους. Οι συσκευές 802.15.1 οργανώνονται πρώτα σ' ένα piconet, που περιέχει μέχρι οκτώ ενεργές συσκευές. Μία απ' αυτές τις συσκευές αναλαμβάνει τον ρόλο του αφέντη (master) και οι υπόλοιπες συσκευές δρουν ως σκλάβοι (slaves).

Ο κόμβος master στην πραγματικότητα είναι ο κυρίαρχος του piconet - το ρολόι του καθορίζει τον χρόνο μέσα στο piconet, μπορεί να μεταδώσει σ' όλες τις θυρίδες με μονό αριθμό και ένας σκλάβος μπορεί να μεταδώσει μόνον αφού ο πομπός έχει επικοινωνήσει μαζί του σε μία προηγούμενη θυρίδα, αλλά ακόμη και τότε, ο σκλάβος μπορεί να μεταδώσει μόνον προς τον master. Εκτός των συσκευών σκλάβων, μπορούν να υπάρχουν μέχρι 255 "σταθμευμένες" (pacted) συσκευές μέσα στο δίκτυο.

1.3 Wi-max

Το Wi-max είναι μία ασύρματη τεχνολογία που συμμορφώνεται με το πρότυπο IEEE 802.16 παρέχοντας τόσο σταθερή όσο και κινητή συνδεσιμότητα. Χρησιμοποιεί την τεχνική της Ορθογώνιας Διαίρεσης Συχνότητας Πολλαπλών Σημείων (OFDMA). Μπορεί να καλύψει έως και 50 χιλιόμετρα με data rates κορυφής των 75 Mbps.

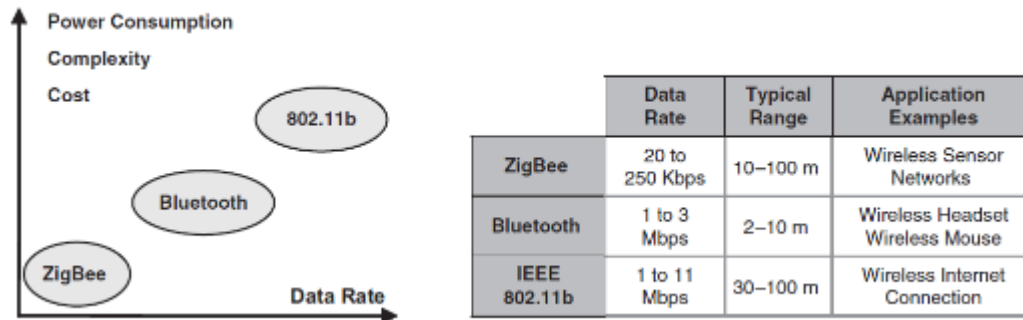


Εικόνα 1.1 Εγκατάσταση Wi -Max

Γενικά το WiMax θεωρείται μία αξιόπιστη και αποτελεσματική ως προς το κόστος, τεχνολογία επικοινωνίας με κύριο χαρακτηριστικό τη χαμηλή κατανάλωση ισχύος. Χρησιμοποιείται κυρίως για οικιακούς αυτοματισμούς και την παρακολούθηση της ενέργειας σε αυτούς.

1.4 Σύγκριση Bluetooth και Zigbee

Για να γίνει κατανοητή η διαφοροποίηση του Zigbee από τα υπόλοιπα πρότυπα, είναι αναγκαία η σύγκρισή του με το Bluetooth.



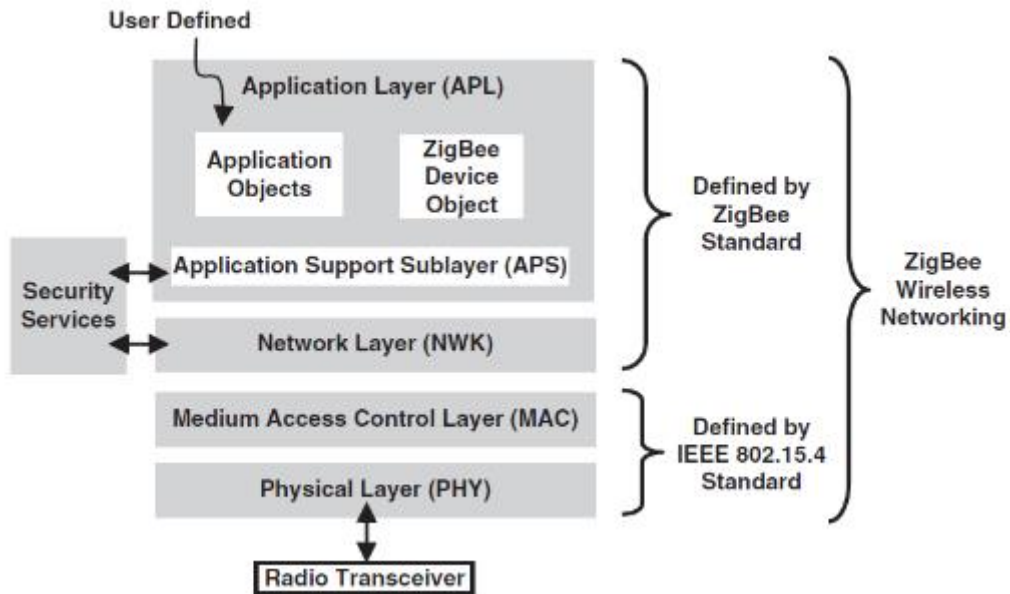
Εικόνα 1.2 Σύγκριση Zigbee με άλλα πρωτόκολλα

Το IEEE 802.11 συντίθεται από πολλά και διαφορετικά πρότυπα. Το επιλέγουν, επειδή λειτουργεί κυρίως στη ζώνη των 2.4 GHz και επειδή έχει υψηλό ρυθμό μετάδοσης. Επιπλέον, έχει μεγάλη περιοχή εμβέλειας που ξεκινάει από τα 30 και φτάνει τα 100 μέτρα.

Το Bluetooth έχει πιο μικρό ρυθμό μετάδοσης δεδομένων, και μικρότερη περιοχή εμβέλειας (2 – 10 μέτρα). Από την άλλη, το ZigBee έχει μικρότερη πολυπλοκότητα αλλά και μικρότερο ρυθμό μετάδοσης δεδομένων. Ωστόσο η διάρκεια μπαταρίας είναι μεγαλύτερη.

1.5 Η σχέση μεταξύ του ZigBee και του IEEE 802.15.4

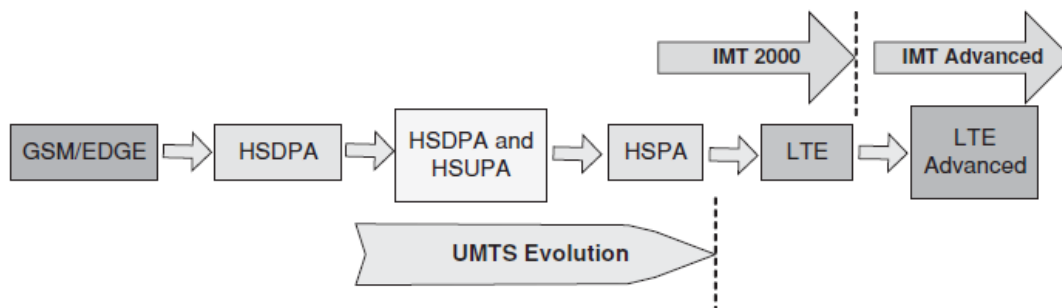
Η χρήση του μοντέλου των επιπέδων δικτύων είναι ένας τρόπος για την ίδρυση ενός δικτύου επικοινωνίας. Κάθε επίπεδο, είναι υπεύθυνο ώστε να επιτελεί συγκεκριμένες λειτουργίες. Τα επίπεδα καταχωρούν δεδομένα και εντολές μόνο στα αμέσως επόμενα ή προηγούμενα επίπεδα.



Εικόνα 1.3 Open System Interconnect

1.6 Κινητές επικοινωνίες

Τα κινητά συστήματα επικοινωνίας είχαν σχεδιαστεί αρχικά για να μεταφέρουν μόνο φωνή. Το πρότυπο που έχει ενεργοποιήσει αυτήν την τεχνολογία είναι το GSM (Global System for Mobile Communications). Ως υπηρεσία δεδομένων με την τεχνολογία GSM, αναπτύχθηκε και το General Packet Radio (GPRS). Το GPRS χρησιμοποιεί το υπάρχον δίκτυο GSM με δύο νέα στοιχεία του δικτύου μεταγωγής πακέτων: το GGSN² και το SGSN³.



Εικόνα 1.4 Εξέλιξη κινητών επικοινωνιών

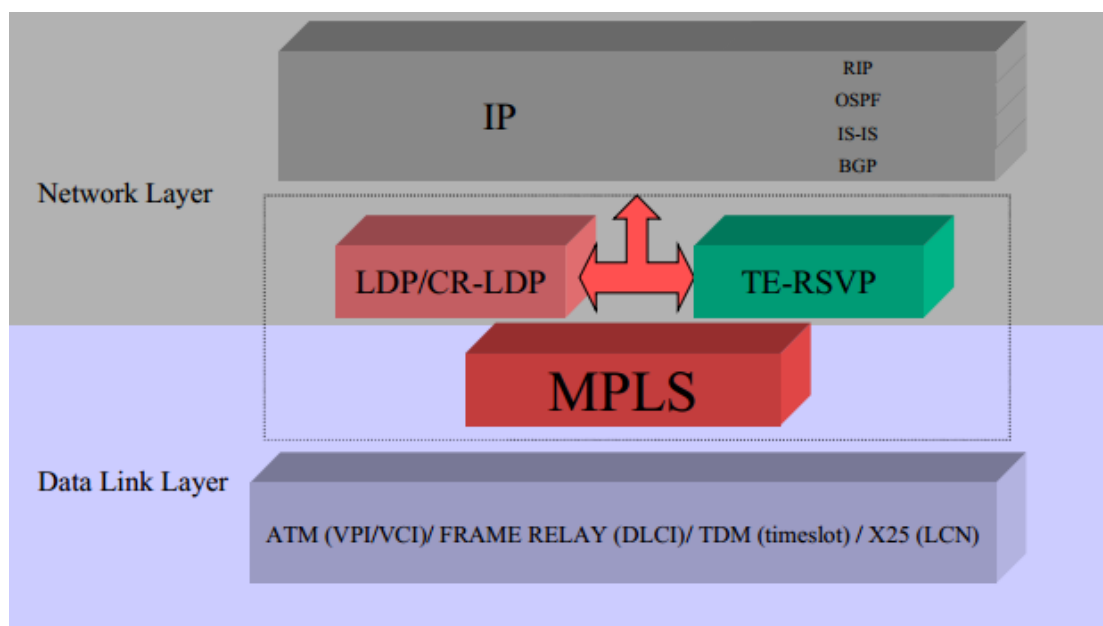
² GPRS support nodes

³ serving GPRS support node

1.7 Πολλαπλά πρωτόκολλα μεταγωγής σήματος (Multi protocol label switching)

Τα πολλαπλά πρωτόκολλα μεταγωγής σήματος (Multi Protocol Label Switching) είναι μια τεχνική προώθησης πακέτων ικανή να παρέχει ένα εικονικό ιδιωτικό δίκτυο (VPN) υπηρεσιών στους χρήστες μέσω των δημόσιων δικτύων ή του Διαδικτύου.

Έτσι εξασφαλίζεται υψηλή ποιότητα των παρεχόμενων υπηρεσιών και ασφάλεια που απαιτείται σε εφαρμογές. Το MPLS χωρίζεται λογικά και λειτουργικά σε δύο μέρη έτσι ώστε να παρέχει τη λειτουργικότητα της μεταγωγής επικέτας σε ένα δίκτυο χωρίς σύνδεση. Σε έναν συμβατικό δρομολογητή, η λειτουργία προώθησης πακέτων είναι απαιτητική ως προς την ισχύ με αποτέλεσμα να πρέπει να γίνεται ανά πακέτο.



Εικόνα 1.5 Διαστρωμάτωση MPLS

1.8 Χαρακτηριστικά ασύρματων δικτύων αισθητήρων

- Χαμηλή κατανάλωση: κατά τη χαμηλή κατανάλωση κάθε κόμβος του δικτύου τροφοδοτείται με μπαταρίες. Οι μπαταρίες αυτές όταν περάσει κάποιο χρονικό διάστημα αδειάζουν. Όταν, λοιπόν, αδειάσουν το δίκτυο

- αυτό πλέον αχρηστεύεται. Όσο πιο χαμηλή κατανάλωση, τόσο μεγαλύτερο το χρονικό αυτό διάστημα και τόσο μειώνεται το κόστος συντήρησης
- Χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Μια τέτοια υλοποίηση εξαρτάται από τοποθεσία. Παράδειγμα: Δίκτυα τοποθετημένα σε μεγάλο βάθος στον ωκεανό για μελέτη της υποθαλάσσιας ζωής ή δίκτυα τοποθετημένα στο ανθρώπινο σώμα (body sensor networks) υπόκεινται σε περιορισμούς και δεν είναι δυνατό να εξαρτώνται από ηλιακές κυψέλες
 - Αυτόνομη και προγραμματιζόμενη λειτουργία: Κάθε κόμβος πρέπει να έχει τη δυνατότητα να ξέρει τί κάνει (λήψη μετρήσεων), πότε να το κάνει (συχνότητα δειγματοληψίας), πού θα στείλει τη μέτρηση (πχ broadcasting, σε όλους τους κόμβους εντός εμβέλειας). • Πρέπει να έχει τη δυνατότητα να προγραμματίζεται δυναμικά (πχ το base station να μπορεί να δώσει στο δίκτυο καινούργια δεδομένα λειτουργίας για τον κάθε κόμβο, επαναπρογραμματισμός του δικτύου).
 - Χαμηλό κόστος: όταν τα δίκτυα είναι μεγάλης κλίμακας και εμβέλειας, τότε το κόστος των κόμβων απαγορεύεται. Αν πχ θέλουμε να παρακολουθήσουμε το δάσος του Αμαζονίου που έχει έκταση 5.5 εκατομμύρια τετραγωνικά χιλιόμετρα με ασύρματους αισθητήρες εμβέλειας 100 μέτρων θα χρειαστούμε εκατομμύρια κόμβους και εκατοντάδες εκατομμύρια ευρώ!
 - Γρήγορη δημιουργία δικτύου: πληθώρα δικτύων έχουν τη δυνατότητα τόσο να χαρτογραφήσουν το δίκτυο μέσα σε μόλις λίγα λεπτά, όσο και να ξεκινήσουν να λειτουργούν σύμφωνα με τον προγραμματισμό τους. Αυτό εξαρτάται από το μέγεθος του δικτύου και από το hardware/software των κόμβων.
 - Προσαρμοστικότητα: δίκτυα τέτοιου είδους έχουν τη δυνατότητα προσαρμογής σε δεδομένα νέα για το δίκτυο. Πρόκειται για χαρακτηριστικό, σύμφωνα με το οποίο ακόμη και όταν εκλείπουν κάποιοι κόμβοι, το δίκτυο δεν καταστρέφεται ολόκληρο, καθώς μπορεί να προσαρμόζεται αλλά και διατηρεί νέα μονοπάτια μεταξύ των κόμβων
 - Απλότητα: πρόκειται για ένα χαρακτηριστικό κατά το οποίο οι υπολογιστικοί και ενεργειακοί πόροι, οι οποίοι βρίσκονται σε περιορισμένο βαθμό,

προϋποθέτουν να σχεδιαστούν απλοί αλλά και αποδοτικοί αλγόριθμοι που θα στοχεύουν στην εκτέλεση των διεργασιών που εκτελεί το δίκτυο

- Απόδοση: Θυσιάζοντας την ταχύτητα αποστολής δεδομένων οι κόμβοι μειώνουν τις επανεκπομπές πακέτων λόγω σφαλμάτων αυξάνοντας την αξιοπιστία στη μετάδοση κάθε πακέτου

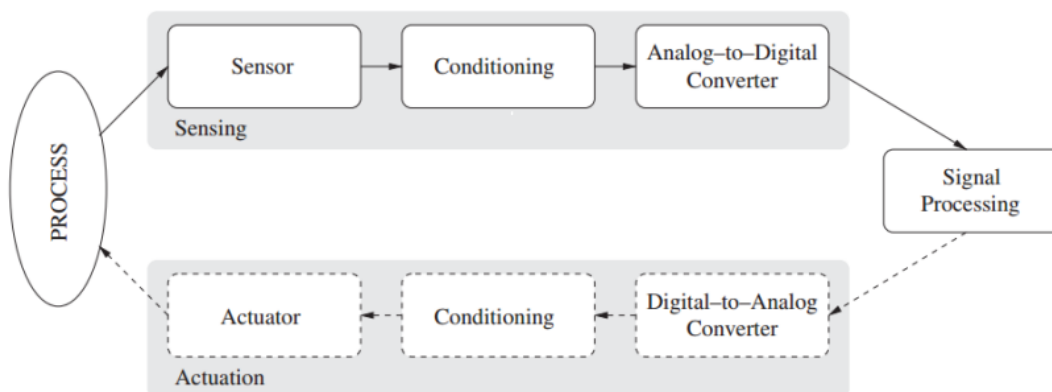
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2ο

2.1 Βασική ορολογία

Sensing: Τεχνική η οποία χρησιμοποιείται για συγκέντρωση πληροφορίας για ένα φυσικό αντικείμενο ή για μία διεργασία, συμπεριλαμβανομένης της καταγραφής γεγονότων (πχ αλλαγές πίεσης ή θερμοκρασίας).

Αισθητήρας (sensor): Αντικείμενο το οποίο πραγματοποιεί τις παραπάνω διαδικασίες. Το ανθρώπινο σώμα περιέχει αισθητήρες οι οποίοι συγκεντρώνουν οπτική πληροφορία από το περιβάλλον (μάτια) ακουστική πληροφορία (αυτιά) και οσμές (μύτη). Παραδείγματα απομακρυσμένων αισθητήρων (remote sensors) οι οποίοι δεν απαιτούν άμεση επαφή (άγγιγμα) με το αντικείμενο προκειμένου να συγκεντρωθεί η πληροφορία. Τεχνικά ένας αισθητήρας είναι μία διάταξη η οποία μετατρέπει παραμέτρους ή γεγονότα από τον φυσικό κόσμο σε σήματα τα οποία μπορούν να μετρηθούν και να αναλυθούν.

Transducer: Διάταξη η οποία μετατρέπει ενέργεια από μια μορφή σε μία άλλη. Ο αισθητήρας αποτελεί τέτοια διάταξη μετατροπής η οποία μετατρέπει ενέργεια από το φυσικό κόσμο σε ηλεκτρική ενέργεια η οποία μεταφέρεται σε ένα υπολογιστικό σύστημα



Εικόνα 2.1 Διαδικασία Sensing

Στο σχήμα φαίνονται τα βήματα τα οποία πραγματοποιούνται κατά τη διαδικασία sensing (data acquisition). Φαινόμενα στο φυσικό κόσμο (process, system, ή plant) παρατηρούνται από διάταξη αισθητήρα. Τα παραγόμενα ηλεκτρικά σήματα δεν είναι κατάλληλα για άμεση επεξεργασία, για αυτό το λόγο περνούν από το μπλόκ signal conditioning.

Εκεί πραγματοποιούνται πολλές λειτουργίες μέχρις ότου το σήμα προετοιμαστεί για περαιτέρω χρήση, π.χ απαιτείται ενίσχυση ή εξασθένιση του σήματος για να μπορέσει να υπάρξει συμβιβασμός με τον μετατροπέα αναλογικού σε ψηφιακό. Απαιτείται φιλτράρισμα για να απομακρυνθεί ανεπιθύμητος θόρυβος σε καθορισμένες περιοχές συχνοτήτων (πχ., υψιπερατά φίλτρα χρησιμοποιούνται για απομάκρυνση θορύβου στις συχνότητες 50 ή 60 Hz από γραμμές μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας. Τελευταίο στάδιο η μετατροπή από αναλογικό σε ψηφιακό σήμα. Το παραγόμενο σήμα είναι έτοιμο για επιπρόσθετη επεξεργασία, αποθήκευση, οπτική αναπαράσταση

Ένα ασύρματο δίκτυο αισθητήρων (Wireless Sensor Network) αποτελείται από πολλούς αυτόνομους αισθητήρες διασκορπισμένους στον υπό επιτήρηση χώρο σύμφωνα με τον οποίο παρακολουθούνται τα φυσικά αλλά και περιβαλλοντικά φαινόμενα και μεγέθη. Πρόκειται για φαινόμενα τα οποία αφορούν τη θερμοκρασία, την υγρασία και άλλα φαινόμενα. Έτσι, καθένα από τα δεδομένα αυτά μεταφέρονται μέσω του δικτύου σε συγκεκριμένη τοποθεσία όπου βρίσκεται σταθμός βάσης.

2.2 Εφαρμογές

Τα επιστημονικά και βιομηχανικά πεδία στα οποία ενδείκνυται η χρήση των WSNs είναι:

- Περιβαλλοντικές εφαρμογές: κάθε περιβαλλοντική συνθήκη μπορεί να επιβλεφθεί αλλά και να ανιχνευθεί μέσα από την καταγραφή της εξέλιξης και της αλλαγής του οικοσυστήματος. Με την βοήθεια των WSNs είναι δυνατόν παρατηρηθεί ένα οικοσύστημα, να καταγραφεί η βιοποικιλότητα, η σύσταση του εδάφους, κ.α. Πληθώρα εφαρμογών είναι διαθέσιμες, οι οποίες έχουν άμεσα συσχέτιση με το περιβάλλον και τις συνθήκες που επικρατούν σε αυτό. Μάλιστα με την εφαρμογή που κάθε φορά χρησιμοποιείται σημειώνεται και διαφοροποίηση στο τύπο του αισθητήρα.

- Γεωργία: Η χρήση των WSNs σχετίζεται με την υποστήριξη εφαρμογών ακριβείας, για την ορθολογική ρίψη λιπασμάτων, νερού, κ.α. όποτε και που είναι απαραίτητο στην αναγκαία ποσότητα “Γεωργία ακριβείας”.
- Επιτήρηση μηχανών και βιομηχανικές εφαρμογές: Ο έλεγχος των συστημάτων και των εφαρμογών στις βιομηχανίες παίζει σημαντικό ρόλο για την ορθή λειτουργία της παραγωγής και την ασφάλεια του προσωπικού. Οι υπόγειες παραγωγικές διαδικασίες που είναι αρκετά επικίνδυνες και δύσκολες στο χειρισμό. Στις βιομηχανικές εγκαταστάσεις τα σημεία ελέγχου πληθαίνουν, έτσι τα WSNs χρησιμοποιούνται για την επιτήρηση των μηχανών και την προληπτική τους συντήρηση. Μπορεί να γίνει έλεγχος διαφόρων υπόγειων αγωγών είτε πρόκειται για αποχετευτικούς και υδρευτικούς αγωγούς είτε για δεξαμενές και αγωγούς φυσικού αερίου.
- Υγειονομική και φαρμακευτική περίθαλψη: Στον τομέα της Ιατρικής δεν χρησιμοποιείται ο όρος WSNs αλλά ο όρος BSN (Body Sensor Area Network). Μερικές από τις κατηγορίες των εφαρμογών που συναντώνται σήμερα είναι: Η παρακολούθηση κατ’ οίκον εξ’ αποστάσεως όταν υπάρχουν περιπτώσεις που αφορούν χρόνιες παθήσεις ή όταν τα άτομα είναι σε προχωρημένη ηλικία. Κατά τις μετεγχειρητικές περιόδους χρησιμοποιείται η εφαρμογή BSN, κατά την οποία παρακολουθείται η πορεία του κάθε ασθενούς.
- Έλεγχος μεταφορών και συγκοινωνιών: χάρη στα δίκτυα αυτά ελέγχεται κάθε όχημα το οποίο κυκλοφορεί και έτσι η οδήγηση γίνεται με μεγαλύτερη ασφάλεια, μειώνονται τα ατυχήματα και ελέγχονται τα όρια ταχύτητας. Ο εξοπλισμός των WSNs σε συνεργασία με τα δίκτυα GPS οδηγεί στην ανταλλαγή πληροφοριών μεταξύ των οχημάτων.

2.3 Αρχιτεκτονική HV ασύρματου κόμβου

Οι κόμβοι από δίκτυο σε δίκτυο μπορούν να έχουν διαφορετικά τεχνικά χαρακτηριστικά αφού αυτό εξαρτάται από την εκάστοτε εφαρμογή, ωστόσο όλοι οι αποτελούνται από τα εξής βασικά μέρη:

- Μικροεπεξεργαστή
- Μνήμη

- Πομποδέκτης
- Αισθητήρες & ενεργοποιητές
- Πηγή ενέργειας

ΜΙΚΡΟΕΠΕΞΕΡΓΑΣΤΗΣ: ως μικροεπεξεργαστής χαρακτηρίζεται ο κεντρικός πυρήνας του κόμβου. Στον μικροεπεξεργαστή συγκεντρώνονται όλα τα δεδομένα από κάθε άλλο κόμβο, τα οποία υπόκεινται σε επεξεργασία, και από εκεί παίρνονται οι αποφάσεις για τον προορισμό όπου και θα αποσταλούν. Για την επιλογή του κατάλληλου επεξεργαστή σημαντικό ρόλο παίζει η δυνατότητα να απενεργοποιείται όταν δεν εκτελεί κάποια λειτουργία (sleep mode) και η κατανάλωση ενέργειας.

ΜΝΗΜΗ: Η μνήμη απαιτείται για να αποθηκεύσει τα προγράμματα και τα ενδιάμεσα αποτελέσματα. Τρία είδη μνήμης μπορεί να διαθέτει ο κάθε κόμβος του δικτύου

- RAM
- ROM
- EEPROM

ΠΟΜΠΟΔΕΚΤΗΣ: Πομποδέκτης υπάρχει σε κάθε κόμβο. Η εμφάνιση του είναι απαραίτητη ώστε να εξυπηρετείται επικοινωνία ανάμεσα στους κόμβους αμφίδρομα. Τόσο ο πομπός όσο και ο δέκτης συναντώνται σε ένα κύκλωμα ολοκληρωμένο με την επικοινωνία να είναι half-duplex.

ΑΙΣΘΗΤΗΤΗΡΕΣ ΚΑΙ ΕΝΕΡΓΟΠΟΙΗΤΕΣ: Οι αισθητήρες και οι ενεργοποιητές (actuators) αποτελούν την διεπαφή με το φυσικό κόσμο. Δηλαδή, είναι συσκευές που μπορούν να παρατηρούν φυσικές παραμέτρους του περιβάλλοντος.

ΠΗΓΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ: Εξαρτάται από την εφαρμογή του WSN. Πρόκειται για μία μονάδα, η οποία είναι πολύ πιθανό να στελεχώνεται είτε από μία μονάδα εξαγωγής είτε από μία ομάδα παραγωγής ενέργειας, που προέρχεται από το περιβάλλον. Παράδειγμα τέτοιας πηγής ενέργειας αποτελούν οι ηλιακές κυψέλες. Όμως, κάθε κόμβος μπορεί να παίρνει ενέργεια από διάφορους τύπους μπαταριών π.χ. κάθε κόμβος τροφοδοτείται από 2 μπαταρίες τύπου AA.

2.4 Χαρακτηριστικά ασύρματων δικτύων αισθητήρων

Χρόνος Ζωής: Η λειτουργία των κόμβων εξαρτάται από μια περιορισμένη πηγή ενέργειας. Η ενέργεια έχει ιδιαίτερη σημασία και για το λόγο αυτό θα πρέπει να διαχειρίζεται προσεκτικά. Η διάρκεια ζωής αποτελεί μέγεθος, το οποίο είναι αντιστρόφως ανάλογο της ποιότητας λειτουργίας, δηλαδή αν υπάρχει υψηλή κατανάλωση ενέργειας, τότε το δίκτυο θα έχει καλύτερη απόδοση, αλλά μικρότερο χρόνο ζωής.

Δυνατότητα Επεξεργασίας Δεδομένων: Ο επεξεργαστής και η μνήμη ενός ασύρματου κόμβου, είναι χαρακτηριστικά, τα οποία είναι σε θέση να διαμορφώσουν την υπολογιστική ικανότητα, ικανότητα σύμφωνα με την οποία εκτελούνται βασικοί υπολογισμοί που αφορούν την επεξεργασία του σήματος καθώς και πιθανές διεργασίες συσχέτισης δεδομένων. Μια πιθανή διεργασία μπορεί να είναι η Data fusion η συνδυάζει ένα ή περισσότερα πακέτα δεδομένων που έχουν ληφθεί από διαφορετικούς αισθητήρες και δημιουργεί ένα μοναδικό πακέτο. Έτσι μειώνεται η μεταδιδόμενη ποσότητα δεδομένων και συνεπώς υπάρχει μείωση της καταναλισκόμενης ενέργειας.

Κάλυψη και Επεκτασιμότητα: Η κάλυψη έχει διπλή έννοια – χωρική κάλυψη & κάλυψη εμβέλειας.

- **Χωρική κάλυψη:** αναφέρεται στις αποστάσεις των κόμβων έτσι ώστε να προσφέρουν ακριβείς μετρήσεις και δεδομένα. Κατά τη κάλυψη εμβέλειας υποδηλώνεται ο γεωμετρικός χώρος, στον οποίο σημειώνεται η συλλογή των δεδομένων. Κατά την επεκτασιμότητα, σύμφωνα πάντα και με την εφαρμογή ο αριθμός των κόμβων κυμαίνεται από μερικούς αισθητήρες έως μερικούς εκατοντάδες αισθητήρες. Πρέπει να υπάρχουν μηχανισμοί που θα επιτρέπουν την προσθήκη νέων κόμβων χωρίς να διαταράσσουν την λειτουργία του δικτύου.

Ευκολία ανάπτυξης: Απαιτείται η ανάπτυξη του δικτύου στο χώρο λειτουργίας για να είναι δυνατόν ακόμη και από μη εξειδικευμένο προσωπικό. Μία τέτοια δυνατότητα έχει ως βασική προϋπόθεση το δίκτυο να μπορεί να αυτορυθμιστεί. Σε μία ιδεατή περίπτωση το σύστημα θα είναι ικανό να ρυθμίζεται

αυτόματα ανεξάρτητα την κατάσταση που επικρατεί στο περιβάλλον που τοποθετείται.

Αντοχή στα σφάλματα: είναι πολύ πιθανό Κάποιοι κόμβοι να πάψουν να λειτουργούν. Η διακοπή αυτή ενδεχομένων να οφείλεται σε κάποια βλάβη λόγω ή ακόμα πιο πιθανό να οφείλεται σε τυχόν παρεμβολές που οφείλονται σε εξωτερικό αίτιο στη περίπτωση αυτή η διακοπή της λειτουργίας οφείλεται στο σφάλμα ενός κόμβου ή μιας ομάδας κόμβων δεν θα πρέπει να επηρεάσει την συνολική λειτουργία του δικτύου.

Συγχρονισμός: Σε ορισμένες εφαρμογές δεδομένα από πολλούς κόμβους πρέπει να συσχετισθούν χρονικά έτσι ώστε να γίνει εφικτός ο εντοπισμός βασικών παραμέτρων του φαινομένου που παρατηρείται. Ο συγχρονισμός του δικτύου επέρχεται όταν έχει τη δυνατότητα όχι μόνο να κατασκευάσει αλλά και να διατηρήσει τη καθολική ώρα που απαιτείται από το σύστημα όταν αυτό χρησιμοποιείται προκειμένου να γίνει καθολική ταξινόμηση των δεδομένων που καταγράφονται σε κάθε κόμβο δικτύου.

Χρόνος απόκρισης: υπάρχουν κάποιες εφαρμογές, κατά τις οποίες απαραίτητη προϋπόθεση αποτελούν τόσο η σχεδίαση όσο και η αξιολόγηση του δικτύου. Όμως, η ικανότητα που έχει το δίκτυο να διαθέτει μικρό χρόνο απόκρισης έρχεται σε σύγκρουση με άλλους δείκτες όπως είναι ο χρόνος ζωής του συστήματος.

Ασφάλεια: Τα WSNs πρέπει να είναι σε θέση να κρατούν την πληροφορία που συλλέγουν κρυφή από μη εξουσιοδοτημένους χρήστες. Η διατήρηση της μυστικότητας στο δίκτυο προϋποθέτει μηχανισμούς, οι οποίοι θα είναι σε θέση να υποστηρίξουν τόσο την κρυπτογράφηση όσο και την αυθεντικότητα. Ωστόσο, η διαδικασία της ενσωμάτωσης στα πακέτα που μεταφέρονται επιπλέον bits που περιέχουν πληροφορίες αυθεντικότητας μειώνει τον αριθμό των πραγματικών δειγμάτων που μπορούν να μεταφερθούν μεταξύ των κόμβων.

Τα οφέλη της εγκατάστασης ενός δικτύου αισθητήρων είναι πολλά κάτι που είναι κοινά παραδεκτό και από τους πελάτες που ήδη τα χρησιμοποιούν. Η συμμετοχή ολοένα και περισσότερων χρηστών καθιστά ακόμη και την παροχή ηλεκτρικής ενέργειας εντελώς διαφορετική κάτι που θα αναφέρουμε παρακάτω.

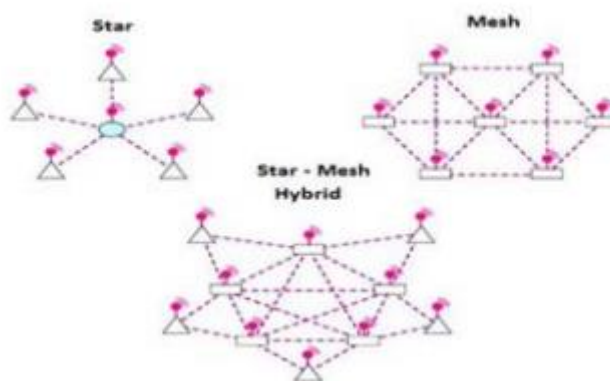
Μέσω των δικτύων αισθητηρίων και των έξυπνων συσκευών οι πελάτες μπορεί να γνωρίζουν ανα πάσα στιγμή την καλύτερη διαχείριση κατανάλωσης που μπορούν να κάνουν για μεγαλύτερη εξοικονόμηση ενέργειας και χρημάτων.

Ακόμη είναι απαραίτητη η τεχνολογία πληροφόρησης και επικοινωνίας προκειμένου η διαχείριση της κατανάλωσης και των μετρήσεων να γίνεται σε πραγματικό χρόνο εξυπηρετώντας μεμονωμένους καταναλωτές οικιακών δικτύων αλλά και ολοκληρωμένα συστήματα εταιριών. Αξίζει επίσης να σημειωθεί ότι με τα έξυπνα δίκτυα αισθητήρων και τα συστήματα παρακολούθησης θα υπάρχει καλύτερη διαχείριση της συμφόρησης ενώ θα λαμβάνονται ταυτόχρονα μέτρα προστασίας της μεταφοράς φορτίων για να είναι αξιόπιστο ένα δίκτυο. Έτσι λοιπόν κάθε πολίτης είναι έτοιμος να υποδεχτεί τις νέες αλλαγές και να αξιοποιήσει την ευκαιρία να ελέγχει δραστηριότητες που εκείνος επιθυμεί.

2.5 Τοπολογίες ασύρματων δικτύων αισθητήρων

Οι κόμβοι του WSN, πηγές και αποδέκτες, μπορούν να συνδυαστούν για το σχηματισμό τριών ειδών τοπολογίας:

1. Τοπολογία αστέρα (star)
2. Τοπολογία πλέγματος (mesh)
3. Τοπολογία star – mesh (υβριδική – hybrid)



Εικόνα 2.2 Τοπολογία αστέρα

ΤΟΠΟΛΟΓΙΑ ΑΣΤΕΡΑ :κατά την τοπολογία αυτή παρατηρείται ένας κεντρικός αποδέκτης καθώς επίσης και περιφερειακοί κόμβοι. Περιφερειακοί κόμβοι χαρακτηρίζονται οι πηγές που υπάρχουν γύρω του. Κάθε κόμβος επικοινωνεί αποκλειστικά με τον κεντρικό κόμβο (δε μπορούν να ανταλλάξουν μηνύματα μεταξύ τους). Πλεονέκτημα είναι η εξοικονόμηση ενέργειας για τους κόμβους. Μειονέκτημα αποτελεί η αδυναμία να υποστηρίξει πολυπληθή δίκτυα κόμβων, με δεδομένη την εξάρτηση του συνόλου των κόμβων από μία και μόνη Κεντρική Μονάδα.

ΤΟΠΟΛΟΓΙΑ ΠΛΕΓΜΑΤΟΣ: Ένας κόμβος – πηγή έχει τη δυνατότητα να επικοινωνήσει με κάθε γείτονα του. Οι κόμβοι έχουν τη δυνατότητα να ανταλλάσσουν μεταξύ τους μηνύματα και πληροφορίες, χωρίς να απαιτείται να παρεμβληθεί η Κεντρική Μονάδα. Όλοι οι κόμβοι μπορούν να επικοινωνήσουν μεταξύ τους ακόμη και αν δε βρίσκονται εντός εμβέλειας χρησιμοποιώντας Επικοινωνία Πολλαπλών Βημάτων (Multi- Hop). Το Δίκτυο μπορεί να επεκταθεί σημαντικά σε μέγεθος. Όμως η διάταξη αυτή έχει σημαντικό αντίκτυπο στην απαιτούμενη ενέργεια λειτουργίας, χαρακτηριστικό το οποίο την καθιστά σχεδόν απαγορευτική σε αρκετές εφαρμογές.

ΤΟΠΟΛΟΓΙΑ STAR – MESH (ΥΒΡΙΔΙΚΗ – HYBRID): Ο κεντρικός αποδέκτης υπάρχει αλλά το δίκτυο εξαπλώνεται σε μορφή δέντρου, όπου τα κλαδιά του είναι κόμβοι πηγές που παίζουν το ρόλο τοπικών συντονιστών. Οι κόμβοι – φύλλα και λειτουργούν όπως στη τοπολογία αστέρα. Το δίκτυο έχει σαφή ιεράρχηση των κόμβων σε αντίθεση με την τοπολογία mesh που το δίκτυο είναι ομότιμο.

Η αρχιτεκτονική του δικτύου των ασύρματων δικτύων αισθητήρων απαιτεί την ύπαρξη:

- Φυσικού επιπέδου (Physical Layer)
- Επίπεδο ζεύξης δεδομένων (Data Link Layer)
- Επίπεδο Δικτύου (Network Layer)

Φυσικό επίπεδο

Η διαμόρφωση και η αποδιαμόρφωση του ψηφιακού σήματος εκτελείται από τον πομποδέκτη. Για την μετάδοση των σημάτων χρησιμοποιούνται μεταξύ

άλλων και τεχνικές εξάπλωσης φάσματος (οι εκπεμπόμενες κυματομορφές καταλαμβάνουν μεγαλύτερο εύρος ζώνης από ότι πραγματικά χρειάζεται για τη μετάδοση των δεδομένων). Ο βασικότερος λόγος που χρησιμοποιείται αυτή η τεχνική είναι η μείωση των παρεμβολών από άλλα σήματα, καθώς το σήμα δεν μεταδίδεται μόνο σε μια συχνότητα.

2.6 Επίπεδο ζεύξης δεδομένων

Χρησιμοποιείται για να μεταφέρει ένα πακέτο δεδομένων από έναν κόμβο σε έναν άλλο. Πρόκειται για τη μορφή εκείνη που παίρνουν τα πακέτα, τα οποία είναι δυνατόν να ανταλλαχθούν μεταξύ των κόμβων. Παράλληλα, εξυπηρετούνται οι ενέργειες εκείνες, οι οποίες γίνονται από αυτούς τους κόμβους κατά την αποστολή και τη λήψη αυτών των πακέτων.

Οι μονάδες δεδομένων που ανταλλάσσονται από ένα πρωτόκολλο επιπέδου ζεύξης ονομάζονται πλαίσια (frames). Οι ενέργειες που γίνονται από αυτά τα πρωτόκολλα κατά την αποστολή και λήψη τους είναι: η ανίχνευση σφάλματος, η αναμετάδοση και ο έλεγχος ροής. Οι 2 γνωστές τεχνικές για τον έλεγχο σφαλμάτων είναι:

- Forward Error Correction - FED
- Automatic Repeat ReQuest - ARQ

Επίπεδο δικτύου

Είναι υπεύθυνο για την διακίνηση των δεδομένων στο δίκτυο. Εκτελεί λειτουργίες όπως μεταγωγή δεδομένων στους κόμβους, δρομολόγηση, έλεγχο ροής, αποκατάσταση των σφαλμάτων, διατηρώντας πάντα την ποιότητα εξυπηρέτησης που απαιτεί το επίπεδο. Ακόμη, παρέχει τη διασύνδεση με εξωτερικά δίκτυα (π.χ. άλλα δίκτυα αισθητήρων)

IEEE 802.15

Το πρότυπο IEEE 802.15 αποτελεί την 15η ομάδα εργασίας του IEEE 802 που επικεντρώνεται στα ασύρματα προσωπικά δίκτυα (Wireless Personal Area Networks - WPANs). Η περιοχή κάλυψης είναι λιγότερη των 10μέτρων, για αυτό αποτελεί την ιδανικότερη λύση για τη σχεδίαση των WSNs. Το IEEE περιλαμβάνει πολλές διαφορετικές ομάδες διεργασιών, το 802.15.4 για χαμηλού ρυθμού WPAN πάνω στο οποίο βασίζεται το ZigBee.

Το ZigBee είναι ένα πρωτόκολλο δικτύωσης και χρησιμοποιεί τις υπηρεσίες μεταφοράς και δεδομένων που προδιαγράφονται στο IEEE 802.15.4. Όλα τα επίπεδα δικτύου και εφαρμογών έρχονται να «πατήσουν» πάνω στο πρωτόκολλο 802.15.4. Είναι ένα πρότυπο που ορίζει το φυσικό επίπεδο και το επίπεδο ζεύξης δεδομένων (MAC- media access control) στα προσωπικά δίκτυα μικρής εμβέλειας και χαμηλής ταχύτητας (Low – rate Wireless Personal Area Networks, LR – WPANs) – στην κατηγορία αυτή ανήκουν και τα WSNs. ` Κατηγοριοποιείται σε μια σειρά από επίπεδα που διευκολύνουν τη μελέτη και το σχεδιασμό του δικτύου και προτυποποιούνται από μια σειρά πρωτοκόλλων.

Αποτελείται από το φυσικό επίπεδο που περιλαμβάνει έναν πομποδέκτη για τις ράδιο-συχνότητες μαζί με κάποιους μηχανισμούς ελέγχου χαμηλού επιπέδου. Το επίπεδο MAC που παρέχει μηχανισμούς πρόσβασης στο φυσικό κανάλι, όπως το CSMA/CA (Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance), για πρόσβαση στο κανάλι μέσω του φυσικού μέσου.

Αρχικά τα LR-WPANs σχηματίζονταν από ζεύξεις, οι οποίες εκτείνονται ως και 75μ.. επιπρόσθετα, φαίνεται ότι μπορεί να αυξηθεί η εμβέλεια της επικοινωνίας, ωστόσο, αυξάνεται σε αλλά βάρος του ρυθμού εκείνου κατά τη διαδικασία μετάδοσης των δεδομένων.

Το βασικότερο συστατικό των δικτύων που χρησιμοποιούν το πρότυπο 802.15.4 είναι κόμβοι. Υπάρχουν 2 είδη κόμβων:

- Πλήρους λειτουργίας (Full Function Device – FFD)
- Μειωμένης λειτουργίας (Reduce Function Device – RFD)

FFD (Full Function Device) Ένας κόμβος που είναι FFD μπορεί να είναι:

1. Ο κεντρικός συντονιστής του δικτύου.
2. Ο τοπικός συντονιστής οπουδήποτε στο δίκτυο.
 - a. Μπορούν να επικοινωνούν με οποιοδήποτε κόμβο εντός της εμβελείας τους.
 - b. Οι κόμβοι FFD είναι ο βασικός κορμός του δικτύου.

RFD (Reduced Function Device). Πρόκειται για συσκευές στο δίκτυο, με χαρακτηριστικό την απλότητα. Αυτές, δημιουργήθηκαν με στόχο να υλοποιηθούν

εργασίες μικρής εμβέλειας, ενώ ταυτοχρόνως να επιτρέπουν επικοινωνία μονάχα με τον FFD κόμβο που βρίσκεται πλησιέστερα.

Το Zigbee είναι τυποποιημένο πρωτόκολλο υψηλού επιπέδου. Συνήθως, χρησιμοποιείται για να δημιουργούνται προσωπικά ασύρματα δικτύων. Αποτελείται από μικρές, χαμηλής κατανάλωσης κεραίες, ενώ βασίζεται στο πρότυπο IEEE 802.15.

Οι συσκευές Zigbee είναι χαμηλής κατανάλωσης, αλλά έχουν τη δυνατότητα να μπορούν να μεταδώσουν δεδομένα σε μεγάλες αποστάσεις διαμέσω ενδιάμεσων σταθμών ώστε να καταλήξουν στους πιο απομακρυσμένους. Έτσι επιτυγχάνεται η δημιουργία ενός δικτύου mesh τοπολογίας.

Το ZigBee αναπτύχθηκε από την ZigBee Alliance ως αποτέλεσμα μιας συνεργασίας μεταξύ εταιρειών παραγωγής ηλεκτρονικού εξοπλισμού και ημιαγωγών, για την προώθηση της τεχνολογίας αυτής. Οι συχνότητες που λειτουργεί είναι 868 Mhz στην Ευρώπη, 915 Mhz στην Αμερική και Αυστραλία καθώς και 2,4 Ghz παγκοσμίως στην ISM ζώνη. Ο ρυθμός μετάδοσης ποικίλει από 20 kilobits/sec στην συχνότητα των 868 Mhz σε 250 kilobits/sec στα 2,4 Ghz⁴.

⁴ S. Dagtas et al., " Multi-stage Real Time Health Monitoring via ZigBee in Smart Homes, " Proceedings of 2007 IEEE International Conference on Advanced Information Networking and Applications Workshops (AINAW), pp. 782–786.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3ο

3.1 Τεχνολογία ZIGBEE

Πρόκειται για μία τεχνολογία η οποία δημιουργήθηκε όπως και το Bluetooth με στόχο την εξυπηρέτηση των ασύρματων προσωπικών δικτύων και η οποία βασίζεται στο πρότυπο IEEE 802.15.4. Η ονομασία Zigbee προέρχεται από τον χορό «ζιγκ-ζαγκ». Με τον χορό αυτό οι μέλισσες επικοινωνούν μεταξύ τους και ανταλλάσσουν ανά πάσα στιγμή πληροφοριακό υλικό. Έτσι, ο τρόπος εκείνος με τον οποίο πληθώρα μοναδικών και απλών οργανισμών συμμετέχουν και επικοινωνούν με στόχο να αντιμετωπίσουν προβλήματα και να επιλύσουν πολύπλοκες καταστάσεις καλείται πρωτόκολλο Zigbee.⁵

Όπως και οι περισσότερες ασύρματες τεχνολογίες και η τεχνολογία ZIGBEE παρουσιάζει λειτουργία στο φάσμα ISM των 2.4 GHz. Η εμβέλεια της όσον αφορά τη μετάδοση φτάνει έως και 100 μέτρα, έχοντας μέγιστη ταχύτητα τα 250 Kbps. Ωστόσο, η συχνότητα της λειτουργίας της μπορεί να εκπέμπει και στα 868 MHz και στα 915 MHz. Ιδιαίτερα γνωρίσματα της τεχνολογίας ZIGBEE αποτελούν η εξαιρετικά χαμηλή κατανάλωση ισχύος που απαιτείται σε πληθώρα σύγχρονων εφαρμογών και το σχετικά μικρό της κόστος χρήσης αλλά και εγκατάστασης. Παράλληλα είναι σε θέση να χρησιμοποιήσει μη αδειοδοτημένες ραδιοσυχνότητες. Ακόμη, μπορεί να δημιουργήσει ευέλικτα και επεκτάσιμα δίκτυα καθώς και να ενσωματώσει νοημοσύνη με στόχο να αποκατασταθούν δίκτυα και να δρομολογηθούν μηνύματα.⁶

Στο σημείο αυτό να αναφερθεί ότι η ανάπτυξη του ZIGBEE οφείλεται στην Zigbee Alliance, στην οποία σημειώνεται συνεργασία ανάμεσα σε εταιρίες παραγωγής ηλεκτρονικού εξοπλισμού και ημιαγωγών, με στόχο την αύξηση και την προώθηση της τεχνολογίας αυτής. Αρχικά, η Zigbee Alliance κατόρθωσε να αναπτύξει τα ανώτερα επίπεδα του πρωτοκόλλου. Το πρωτόκολλο όπου

⁵ Kinney P., 2003, "Zigbee Technology: Wireless Control That Simply Works", Proc Communications Design Conference, October 2003, Διαθέσιμο Online στο: <http://www.zigbee.org/LearnMore/WhitePapers.aspx>, [τελευταία πρόσβαση 20/05/2016]

⁶Fread Eady, (2007), "Hands- on Zigbee", Newnes

χρησιμοποιεί και ακολουθεί ονομάζεται WPAN-LR. Η ονομασία αυτή οφείλεται στο μέγιστο ρυθμό μετάδοσης των δεδομένων και ο οποίος είναι 250 Kbps. Αυτός είναι και ο λόγος μη προορισμού της τεχνολογίας αυτής σε σήματα τα οποία έχουν πιο χαμηλή ποσότητα πληροφοριακού υλικού, όπως είναι οι μετρήσεις ενός αισθητηρίου.

Τα ZigBee δίκτυα επικεντρώνονται σε δύο λειτουργίες. Η πρώτη είναι η λειτουργία της περιοδικής εκπομπής ενός σήματος συντονισμού και η δεύτερη είναι η λειτουργία της μη περιοδικής εκπομπής. Όσον αφορά τη πρώτη περίπτωση, ο κόμβος συντονιστής αφυπνίζει όλους εκείνους τους κόμβους του δικτύου, οι οποίοι πρέπει να τον ενημερώσουν αν υπάρχει μήνυμα για προώθηση, στέλνοντας περιοδικά μηνύματα.

Όσον αφορά τη δεύτερη περίπτωση, όταν δεν στέλνονται περιοδικά μηνύματα αφύπνισης από τον κόμβο συντονιστή, το δίκτυο εμφανίζεται να είναι λιγότερο συντονισμένο. Αυτό γιατί κάθε κόμβος εκπέμπει ένα σήμα το οποίο πρέπει να παραδοθεί στον συντονιστή κόμβο, μέσω των ενδιάμεσων κόμβων στο δίκτυο.

Έτσι, ο συντονιστής θα πρέπει να βρίσκεται σε συνεχή λειτουργία ώστε ανά πάσα στιγμή να είναι έτοιμος να ανταποκριθεί σε οποιοδήποτε σήμα, έχοντας αυξανόμενη κατανάλωση ενέργειας. Σε όλες τις περιπτώσεις που ένα δίκτυο αποτελείται από κόμβους που ενσωματώνουν το IEEE 802.15.4 πρωτόκολλο διατηρείται χαμηλή κατανάλωση ισχύος, εξαιτίας της πλειοψηφίας που έχουν οι κόμβοι του δικτύου που παραμένουν σε κατάσταση ύπνου για μεγάλα χρονικά διαστήματα.

Στο πίνακα ακολούθως αναφέρονται συγκεντρωτικά τα χαρακτηριστικά του προτύπου Zigbee.

Πίνακας 3.1 Συγκεντρωτικά χαρακτηριστικά Zigbee

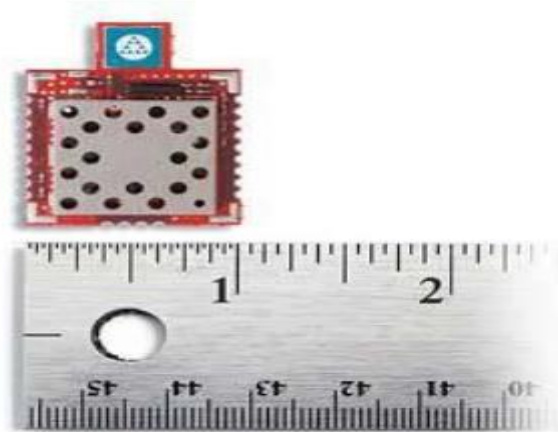
Πρότυπο	Συχνότητα Λειτουργίας (GHz)	Ρυθμός μετ. δεδομένων (Mbps)	Τυπική Εμβέλεια (m)	Κατανάλωση ισχύος	Τύπος δικτύου
Zigbee	<ul style="list-style-type: none">• 0.868• 0.915	<ul style="list-style-type: none">• 0.02• 0.04	100	Πολύ Χαμηλή	WPAN-LR

	• 2.4	• 0.25			
--	-------	--------	--	--	--

3.2 Τοπολογίες Zigbee

Πρώτα- πρώτα, το Zigbee στοχεύει στη παροχή επικοινωνιακών δυνατοτήτων μεταξύ συσκευών ελέγχου και αισθητήρων, όπου και δεν απαιτείται μεγάλος χρόνος για αυτόνομη λειτουργία καθώς επίσης και σε ευέλικτες τοπολογίες δικτύου. Στη περίπτωση εκείνη που επιδιώκεται η κατασκευή των συσκευών εκείνων όπου δεν απαιτούν μεγάλη ενέργεια οι συσκευές Zigbee διακρίνονται σε δύο κατηγορίες:

1. FFD (Full Function Devices): πρόκειται για τις συσκευές πλήρους λειτουργικότητας. Οι FFD συσκευές διακρίνονται καθώς πάντα είναι ενεργοποιημένες. Έτσι, η κατανάλωση ενέργειας φτάνει σε υψηλά επίπεδα.
2. RFD (Reduced Function Devices): πρόκειται για τις συσκευές μειωμένης λειτουργικότητας. Οι RFD συσκευές δεν βρίσκονται πάντα ενεργοποιημένες. Αντιθέτως, τίθενται αυτόματα σε αναμονή (sleep mode). Έτσι, με τις συσκευές αυτής της τοπολογίας τα δεδομένα μεταδίδονται μόνο στη περίπτωση που κάποιο συμβάν υπάρξει. Ακόμη, οι συσκευές αυτές λειτουργούν αποκλειστικά και μόνο ως τερματικά σημεία (end points) κάποιου δικτύου. Παράλληλα για να λειτουργήσουν χρειάζονται οπωσδήποτε μία τουλάχιστον FFD συσκευή με στόχο να υπάρξει επικοινωνία. Επειδή όπως αναφέρθηκε προηγουμένως για τη λειτουργία μιας RFD συσκευής απαιτείται μία συσκευή τουλάχιστον FFD, αυτομάτως αυτό που γίνεται αντιληπτό είναι ότι ένα δίκτυο το οποίο έχει μία συσκευή FFD και πολλαπλές συσκευές RFD είναι σε θέση να δημιουργήσει μόνο σε τοπολογία αστέρα.



Εικόνα 3.2 Πομποδέκτης Zigbee

3.2.1 Δικτύωση

Όλες οι συσκευές Zigbee μπορούν να διακριθούν σε συσκευές που έχουν πλήρη λειτουργία (συσκευές FFD) και σε συσκευές που εμφανίζουν περιορισμένες λειτουργίες (συσκευές RFD). Τα στοιχεία εκείνα που συναντώνται σε ένα δίκτυο Zigbee είναι:

- Ο κεντρικός διαχειριστής (PAN Coordinator): θα πρέπει να είναι απαραίτητος συσκευή FFD. Ο συντονιστής- διαχειριστής είναι σε θέση να δημιουργήσει το δίκτυο, να δώσει τις διευθύνσεις δικτύου καθώς και να κρατήσει τον πίνακα των δεσμών (binding table).
- Ο απλός διαχειριστής ή δρομολογητής (Router): θα πρέπει όπως και ο κεντρικός διαχειριστής να είναι συσκευή FFD. Πολλές φορές είναι προαιρετικός. Ο δρομολογητής είναι σε θέση να επεκτείνει το βεληνεκές του δικτύου, να επιτρέψει τη σύνδεση περισσότερων από ένα κόμβους καθώς και να παρακολουθήσει τις διάφορες λειτουργίες που σχετίζονται με τον έλεγχο του δικτύου.
- Η τερματική συσκευή (End Device): μπορεί να είναι οποιαδήποτε συσκευή, συνήθως, όμως είναι RFD συσκευή και η οποία είναι σε θέση είτε να παρακολουθήσει είτε να κάνει τις διάφορες λειτουργίες που αφορούν τον έλεγχο του δικτύου.⁷

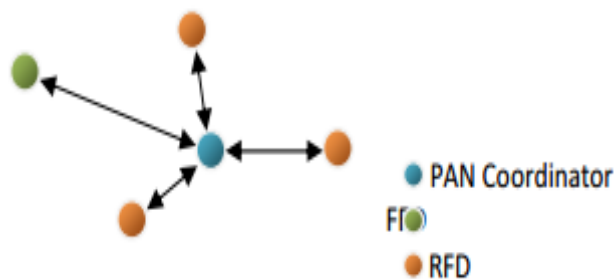
⁷ Zigbee Alliance, "Zigbee Specification: Zigbee Document 053474r17", Διαθέσιμο στο <http://www.zigbee.org/Specifications/ZigBee.aspx>, [τελευταία πρόσβαση 20/05/2016]

3.2.2 Δικτύωση σε αστέρα (Star)

Αναφορικά με την δικτύωση σε τοπολογία αστέρα, αυτή περιλαμβάνει το κεντρικό διαχειριστή και πληθώρα στοιχείων, όπου είναι σε θέση να επικοινωνήσουν κατά αποκλειστικότητα με τον κεντρικό διαχειριστή. Έτσι, επιτυγχάνεται επικοινωνία μεταξύ των τερματικών συσκευών (κόμβων) και τον συντονιστή δικτύου.

Όταν ένας κόμβος FFD ενεργοποιείται για πρώτη φορά είναι σε θέση να προχωρήσει στην εγκατάσταση ενός δικού του δικτύου και έτσι ο ίδιος να καταστεί συντονιστής δικτύου. Κάθε δίκτυο το οποίο δημιουργείται εκ νέου επιλέγει και ένα αναγνωριστικό, το οποίο δεν χρησιμοποιείται από κάποιο άλλο δίκτυο και το οποίο θα είναι σε θέση να επιτρέψει ανεξάρτητη λειτουργία.

Μειονέκτημα της τοπολογίας αυτής αποτελεί η εξάρτηση του δικτύου από τον συντονιστή δικτύου. Παράλληλα καθώς τα πακέτα μεταξύ των συσκευών θα πρέπει απαραίτητως να περνούν και να ελέγχονται από τον συντονιστή είναι αναμενόμενη η δημιουργία συμφόρησης στον συντονιστή. Επιπρόσθετο μειονέκτημα της δικτύωσης αυτής αποτελεί το γεγονός ότι δεν υπάρχει κάποιο άλλο μονοπάτι το οποίο να είναι σε θέση να λειτουργήσει εναλλακτικά με στόχο το προορισμό. Η τοπολογία αυτή, ωστόσο είναι αρκετά απλή και είναι πρακτική διότι τα πακέτα για να φτάσουν στον προορισμό τους κάνουν μέχρι και δύο άλματα.⁸



Εικόνα 3.3 Τοπολογία αστέρα

3.2.3 Δικτύωση σε πλέγμα (Mesh)

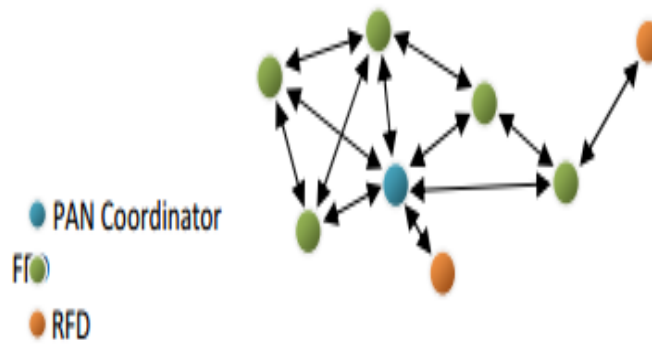
Αναφορικά με την δικτύωση τοπολογίας σε πλέγμα, αυτή περιλαμβάνει όλα εκείνα τα στοιχεία FFD, τα οποία μπορούν και επικοινωνούν αμφίδρομα το ένα με

⁸ Farahani S., (2008), "ZigBee Wireless Networks and Transceivers", Elsevier

το άλλο, ενώ τα στοιχεία RFD μπορούν και αλληλοεπιδρούν μόνο με το στοιχείο FFD το οποίο και βρίσκεται πλησιέστερα σε αυτά. Σε αντίθεση με την τοπολογία αστέρα, η τοπολογία πλέγματος προσφέρει επικοινωνία κάθε τερματικής συσκευής με οποιαδήποτε άλλη συσκευή, με μόνη προϋπόθεση η μία να ανήκει στην εμβέλεια της άλλης. Τα χαρακτηριστικά που παρουσιάζει η τοπολογία πλέγματος αναφέρονται στη συνέχεια:

- Κάθε πακέτο είναι σε θέση να πραγματοποιήσει πολλά άλματα μέχρι να φτάσει στο προορισμό του και όχι μέχρι και δύο όπως γίνεται στη τοπολογία αστέρα.
- Η εμβέλεια του δικτύου έχει δυνατότητες αύξησης, καθώς είναι σε θέση να προστεθούν επιπλέον συσκευές.
- Η ελαχιστοποίηση των νεκρών ζωνών.
- Υπάρχει δυνατότητα αυτοεπούλωσης. Με την αυτοεπούλωση στη περίπτωση που κατά τη διαδικασία της μετάδοσης δεν είναι δυνατόν να επιτευχθεί κάποιο μονοπάτι, ο κόμβος είναι σε θέση εντοπίσει εναλλακτικά μονοπάτια.
- Οι αποστάσεις μεταξύ των συσκευών είναι κοντινές, γεγονός που υποδηλώνει λιγότερη ισχύ.
- Οι συσκευές μπορούν να προστεθούν αλλά και να αφαιρεθούν εύκολα και γρήγορα.
- Κάθε συσκευή προέλευσης είναι σε θέση να επικοινωνήσει με οποιαδήποτε συσκευή προορισμού.
- Κατά τη δρομολόγηση του πλέγματος, χρησιμοποιείται πρωτόκολλο ιδιαίτερα πολύπλοκο.
- Η επικεφαλίδα του πακέτου είναι απαραίτητως μεγαλύτερη από την επικεφαλίδα του πακέτου στην τοπολογία αστέρα.⁹

⁹ Farahani S., (2008), "ZigBee Wireless Networks and Transceivers", Elsevier



Εικόνα 3.4 Τοπολογία πλέγματος

3.3 Επίπεδα Πρωτοκόλλου Zigbee

Το πρωτόκολλο Zigbee αποτελείται από τέσσερα επίπεδα, καθένα από τα οποία είναι σε θέση να εκτελέσει ένα συγκεκριμένο σύνολο λειτουργιών. Επιπλέον, κάθε επίπεδο είναι σε θέση να παράσχει τις υπηρεσίες του στο ανώτερο επίπεδο χάρη σε μια διεπαφή, η οποία ονομάζεται «σημείο πρόσβασης υπηρεσιών» (service access point, SAP).¹⁰ Τα τέσσερα επίπεδα της στοίβας πρωτοκόλλων του ZigBee όπως παρουσιάζονται, είναι τα παρακάτω:

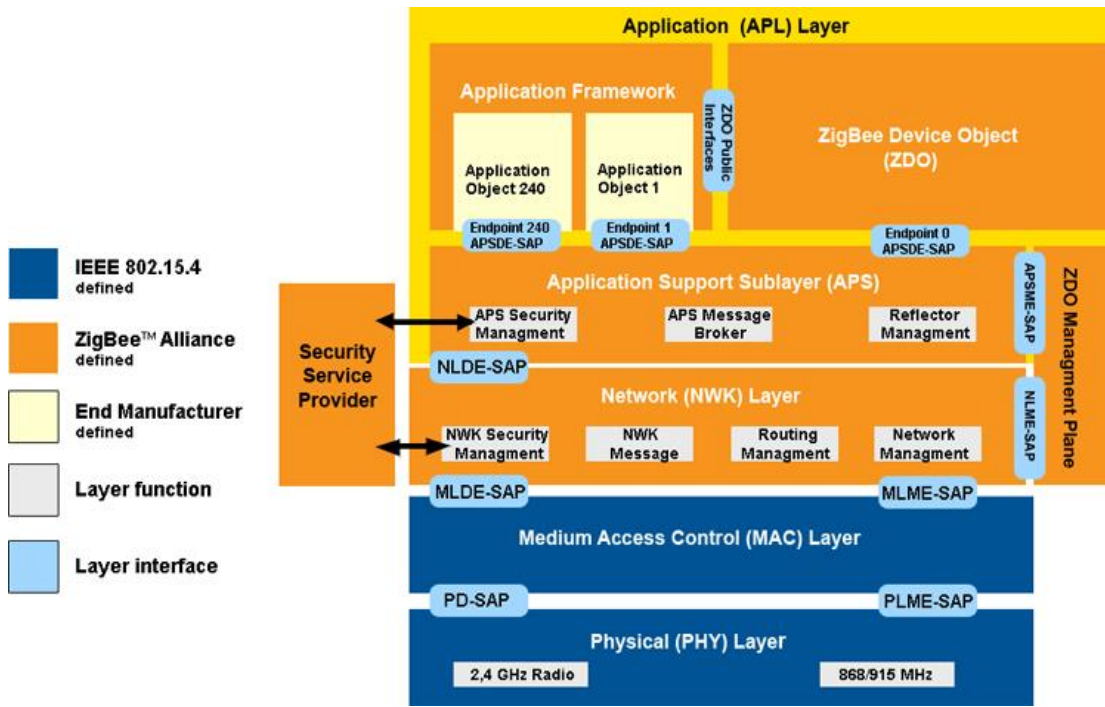
1. Φυσικό επίπεδο (Physical layer, PHY): το φυσικό επίπεδο είναι υπεύθυνο για τις ακόλουθες λειτουργίες:
 - ενεργοποίηση και απενεργοποίηση του πομποδέκτη
 - μετάδοση και λήψη δεδομένων
 - ανίχνευση ενέργειας στο κανάλι
 - εκτίμηση της κατάστασης των καναλιών για την πολλαπλή πρόσβαση με ανίχνευση φέροντος και με αποφυγή συγκρούσεων (CSMA-CA)
 - μέτρηση της ποιότητας των λαμβανομένων πακέτων.
2. Επίπεδο ελέγχου πρόσβασης στο μέσο (Medium access control layer, MAC): το επίπεδο ελέγχου πρόσβασης στο μέσο είναι υπεύθυνο για:
 - την παροχή υπηρεσιών που σχετίζονται με τη μεταφορά των δεδομένων και την διαχείριση αυτών.
 - την πρόσβαση στο κανάλι,
 - τη διαχείριση των χρονοσχημάτων και για
 - την παροχή μιας αξιόπιστης σύνδεσης μεταξύ δύο επιπέδων MAC.

¹⁰ Gislason Drew, (2008), "ZIGBEE WIRELESS NETWORKING", Newnes

Επιπρόσθετα, το επίπεδο αυτό παρέχει κάθε μέσο το οποίο είναι απαραίτητο για την εφαρμογή διαφόρων μηχανισμών ασφάλειας.

3. Επίπεδο δικτύου (Network layer, NWK): το επίπεδο δικτύου είναι υπεύθυνο για:
 - τη δημιουργία του δικτύου,
 - την είσοδο και την έξοδο μία συσκευής από ένα δίκτυο,
 - την ασφάλεια και για
 - τη δρομολόγηση των πακέτων όπου και μεταδίδονται.
4. Επίπεδο εφαρμογών (Application layer, APL): το επίπεδο αυτό περιλαμβάνει τα ακόλουθα υποεπίπεδα:
 - υποεπίπεδο υποστήριξης εφαρμογών (Application support sublayer, APS), το οποίο αναφέρεται σε ένα πλαίσιο εφαρμογών (Application framework, AF) και έχει στη διάθεση του τα αντικείμενα συσκευής ZigBee (ZigBee Device Objects, ZDO) και τις καθορισμένες από τον κατασκευαστή εφαρμογές. Το APS είναι υπεύθυνο για τη σύνδεση δύο συσκευών βάση των αναγκών και των υπηρεσιών τους καθώς επίσης και για την αμφίδρομη αποστολή δεδομένων ανάμεσα στις υπηρεσίες. Επιπλέον, το ZDO χρησιμοποιείται για τον καθορισμό του ρόλου που έχει η κάθε συσκευή στο δίκτυο και το επίπεδο ασφάλειας. Επίσης, τα zdo είναι σε θέση να ανιχνεύσουν τις συσκευές που βρίσκονται σε ένα δίκτυο αλλά και να προσδιορίσουν κάθε παρεχόμενη υπηρεσία που αυτές παρέχουν. Τα ZDO αποτελούν εφαρμογές, οι οποίες μεταχειρίζονται τις εντολές του επιπέδου του δικτύου καθώς και του επιπέδου υποστήριξης των εφαρμογών με στόχο τη δημιουργία των τελικών συσκευών ZigBee, των δρομολογητών ZigBee και των συντονιστών ZigBee. Παράλληλα, το προφίλ που έχει υιοθετηθεί από το ZDO είναι ότι χρησιμοποιεί τις συστάδες με στόχο την περιγραφή των εντολών του. Οι συστάδες αυτές είναι ακριβώς όπως είναι και τα διάφορα μηνύματα σε ένα πρωτόκολλο μεταφοράς μηνυμάτων.¹¹

¹¹ Labiod H., Afifi H. & de Santis C., (2007), "WiFi, Bluetooth, ZigBee and Wimax, Springer



Εικόνα 3.5 Πρωτόκολλο Zigbee

3.4 Έννοιες Πρωτοκόλλου Zigbee

Για να κατανοηθεί πλήρως το πρωτόκολλο Zigbee¹² θα πρέπει να κατανοηθούν οι έννοιες που ακολουθούν:

- **Services**

Πρόκειται για τις υπηρεσίες εκείνες των οποίων η εκτέλεση τους γίνεται για χάρη του ανώτερου επιπέδου. Κάθε επίπεδο παρέχει και μία σειρά ποικιλότροπων υπηρεσιών. καθεμία από τις υπηρεσίες υλοποιείται από το Management Entity. Εκτός της δικαιοδοσίας του Management Entity αποτελεί η μεταφορά των δεδομένων.

Πρόκειται για υπηρεσία η οποία εκτελείται από το Data Entity. Αξίζει να σημειωθεί ότι το υψηλότερο επίπεδο αποκτά πρόσβαση σε υπηρεσίες των χαμηλότερων επιπέδων, χάρη στη συμβολή των Service Access Points (SAP). Παραδείγματος χάρη στη περίπτωση που κάποιος επιδιώκει την ενεργοποίηση του πομποδέκτη, τότε το MAC επίπεδο θα πρέπει να

¹² Farahani Shahin, (2008), "ZIGBEE WIRELESS NETWORKS AND TRANSCEIVERS", Newnes

χρησιμοποιήσει το PHY data service με τη βοήθεια του PD-SAP και έτσι θα του επιτραπεί τόσο η αποστολή όσο και η λήψη των PDUs.

Ένα σύνολο υπηρεσιών, ανιχνεύεται σε κάθε επίπεδο. Οι υπηρεσίες αυτές εκτελούνται συνήθως με σκοπό να εξυπηρετούν κάποιο ανώτερο επίπεδο. Όλες ανεξαιρέτως οι υπηρεσίες υλοποιούνται από το Management Entity. Ωστόσο, η μεταφορά δεδομένων γίνεται από το Data Entity. Έπιπλέον, τα ανώτερα επίπεδα, αποκτούν πρόσβαση σε υπηρεσίες κατώτερων επιπέδων με τη βοήθεια των Service Access Points (SAP).

- **Primitives**

- Τα IEEE 802.15.4 και ZigBee πρότυπα χρησιμοποιούν την έννοια των primitives για να περιγράψει υπηρεσίες που ένα στρώμα παρέχει στο χρήστη υπηρεσιών στο επόμενο υψηλότερο επίπεδο. Οι επικοινωνίες μεταξύ των γειτονικών στρωμάτων πραγματοποιούνται μέσω ενός πρωτόκολλου που διαχειρίζεται τις λειτουργίες κλήσης και ονομάζεται primitive. Κάθε υπηρεσία ενσωματώνει μία σειρά από εντολές οι οποίες καλούνται Primitives. Κάθε εντολή εσωκλείει τις ακόλουθες δραστηριότητες- λειτουργίες:

- Request
- Confirm
- Indication
- Response

Το όνομα που κάθε εντολή έχει υποδηλώνει τις περισσότερες φορές και το επίπεδο του οποίου είναι μέρος καθώς επίσης και τη λειτουργία της. Η διαδικασία της ανταλλαγής πληροφοριών ανάμεσα σε δύο επίπεδα με τη χρήση ενός primitive υλοποιείται ως εξής. Έστω ότι υπάρχουν δύο επίπεδα το 1 και το 2 (Σχήμα 3). Το επίπεδο 2 είναι υψηλότερο από το επίπεδο 1. Έτσι στη περίπτωση που το επίπεδο 2 θελήσει να χρησιμοποιήσει οποιαδήποτε υπηρεσία, θα πρέπει πρωτίστως να κάνει αίτηση (request) στο επίπεδο 1. Κατόπιν, το επίπεδο 1 θα πρέπει να ενημερώσει το επίπεδο 2 εάν η υπηρεσία έχει ολοκληρωθεί επιτυχώς ή ανεπιτυχώς με την επιβεβαίωση (confirm). Στη περίπτωση που το επίπεδο 1 θελήσει να αναφέρει οποιοδήποτε περιστατικό τότε θα πρέπει να χρησιμοποιήσει την ένδειξη (Indication). Ένα το περιστατικό

απαιτεί απάντηση τότε το επίπεδο 2 θα πρέπει να αποκριθεί (response) στο επίπεδο 1.



Εικόνα 3.6 Εκτέλεση primitives μεταξύ δύο επιπέδων

- **Constants και Attributes**

Ως constants ορίζονται εκείνες οι σταθερές, οι οποίες αντιπροσωπεύουν κάποιες τιμές. Τέτοια σταθερά αποτελεί το μέγεθος ενός μεταφερόμενου πακέτου. Τόσο στα επίπεδα PHY όσο και στα επίπεδα MAC οι σταθερές παίρνουν το πρόθεμα «a», ενώ για τα επίπεδα σχετικά με την εφαρμογή είναι «arpsc» και σχετικά με το δίκτυο «nwk».

Ως attributes ορίζονται εκείνα τα χαρακτηριστικά τα οποία λειτουργούν ως μεταβλητές. Αυτά τα χαρακτηριστικά, λοιπόν, μπορούν να αλλαχθούν και εν ώρα λειτουργίας. Αξίζει να σημειωθεί πως κάθε επίπεδο έχει στη διάθεση του στην PIB βάση δεδομένων μεταβλητές. Ωστόσο, κάποια από τα χαρακτηριστικά αυτά προορίζονται μόνο για ανάγνωση. Αυτό σημαίνει ότι είναι δυνατόν να σημειωθεί προσπέλαση τους από οποιοδήποτε επίπεδο, δίχως όμως η τιμή τους να υποβληθεί σε καμία μεταβολή πέρα από εκείνον που την έχει φτιάξει και στον οποίο και ανήκει.

- **Binding**

Η έννοια του Binding χρησιμοποιείται για να δείξει τη συσχέτιση μεταξύ των συσκευών. Όλες οι συσκευές είναι συνδεδεμένες «λογικά». Έτσι, παραδείγματος χάρη σε ένα ασύρματο σύστημα συναγερμού η μονάδα Zigbee του αισθητήριου κίνησης διασυνδέεται με λογική διαδικασία με την μονάδα Zigbee του κεντρικού πίνακα του συναγερμού. Κάθε πληροφορία η οποία σχετίζεται με τις λογικές διασυνδέσεις αποθηκεύεται αυτόματα στο επίπεδο εφαρμογής. Κάθε συσκευή η οποία συνδέεται λογικά με κάποια άλλη χαρακτηρίζεται και Bound device.

- **Energy Detection (ED)**

Με το ED ορίζεται εκείνος ο μηχανισμός σύμφωνα με τον οποίο υλοποιείται μία διαδικασία εκτίμησης σχετικά με τα ενεργειακά επίπεδα που διαθέτει κάθε σήμα και τα οποία μπορούν να υπάρξουν σε ένα συγκεκριμένο κανάλι. Στη περίπτωση που κάποιο σήμα εντοπιστεί δεν είναι πάντα δυνατόν να γίνει ξεκαθάρισμα σχετικά με το είδος του σήματος.

- **Carrier Sence (CS)**

Με το CS υποδηλώνεται εκείνη η μέθοδος η οποία χρησιμοποιείται για να ανιχνευθεί οποιοδήποτε σήμα υπάρχει σε ένα ράδιο- κανάλι. Ανάμεσα στο ED και το CS υπάρχει η εξής διαφορά. Η διαφορά αυτή έγκειται στο γεγονός ότι στη περίπτωση που το ED εντοπίσει κάποιο σήμα δεν αποδιαμορφώνεται, ενώ το CS αποδιαμορφώνει αλλά και ελέγχει το τύπο του σήματος.

- **Link Quality Indicator (LQI)**

Το LQI αποτελεί μία ένδειξη για τη ποιότητα του σήματος που λαμβάνεται. η ποιότητα καθορίζεται από κάποιους παράγοντες, παράγοντες όπως είναι ο SNR και το RSS. Από τη μία το SNR είναι ο λόγος σήματος προς θόρυβο. Όταν η τιμή του είναι ιδιαίτερα μεγάλη, το ωφέλιμο σήμα επηρεάζεται δύσκολα από το σήμα θορύβου. Στη περίπτωση αυτή υπάρχουν και λιγότερες πιθανότητες να σημειωθεί κάποιο σφάλμα. Όσο μεγαλύτερο είναι το SNR τόσο καλύτερη θεωρείται και η ποιότητα σήματος. Από την άλλη ως RSS ορίζεται η συνολική ισχύς του σήματος που λήφθηκε.

- **Clear Channel Assessment (CCA)**

Στο 802.15.4 χρησιμοποιείται η τεχνική CSMA-CA. Πρόκειται για μία τεχνική, η οποία χρησιμοποιείται με στόχο να αποφευχθούν συγκρούσεις ανάμεσα στα πακέτα που εφαρμόζει το CCA. Πρόκειται παράλληλα, θα λέγαμε για έναν έλεγχο με στόχο να διαπιστωθεί η διαθεσιμότητα του καναλιού. Το CCA κάνει τόσο χρήση των ED όσο και των CS για να καθοριστεί αν το κανάλι είναι ελεύθερο. Οι καταστάσεις λειτουργίας παρουσιάζονται στη συνέχεια:

- ο Κατάσταση 1: στη κατάσταση αυτή χρησιμοποιείται αποκλειστικά και μόνο το ED. Όταν το επίπεδο ενέργειας που ανιχνεύεται πέσει κάτω

από την τιμή κατωφλίου, τιμή η οποία έχει οριστεί εκ των προτέρων από τον κατασκευαστή τότε το κανάλι θεωρείται ελεύθερο.

- Κατάσταση 2: στη κατάσταση αυτή χρησιμοποιείται αποκλειστικά και μόνο το CS. Το κανάλι θεωρείται κατειλημμένο στη περίπτωση που το επίπεδο ενέργειας, το οποίο και ανιχνεύεται, προέρχεται από σήμα ίδιου τύπου με εκείνο του πομπού που κάνει τον έλεγχο.
- Κατάσταση 3: στη κατάσταση αυτή χρησιμοποιούνται οι παρακάτω συνδυασμοί των ED και CS με τις λογικές πράξεις ΚΑΙ Η΄. στη περίπτωση που το επίπεδο ενέργειας είναι υψηλότερο από το κατώφλι ΚΑΙ , εάν το σήμα είναι ίδιου τύπου με εκείνο του πομπού το κανάλι θεωρείται κατειλημμένο. Στη περίπτωση, όμως που το επίπεδο ενέργειας είναι υψηλότερο από το κατώφλι Η΄ , εάν το σήμα είναι ίδιου τύπου με εκείνο του πομπού το κανάλι θεωρείται κατειλημμένο.

- **Beacon**

Το Beacon αποτελεί ένα σήμα, το οποίο αποστέλλεται από τον PAN coordinator με στόχο τον συγχρονισμό όλων εκείνων των συσκευών που ανήκουν στο δίκτυο. Έτσι, θα έχει τη δυνατότητα να παραχωρήσει ένα GTS. Το GTS δίνεται σε μια συσκευή για την απόκτηση της πρόσβασης στο κανάλι δίχως να χρησιμοποιηθεί το CSMA-CA.

- **Superframe**

Όταν γίνεται χρήση Beacon σε ένα δίκτυο η πρόσβαση στο κανάλι γίνεται μέσω των superframes. Κάθε superframe περικλείεται από δύο Beacons και αποτελείται από τρεις περιόδους: α) την περίοδο CAP, β) την περίοδο CFP και γ) την ανενεργή περίοδο.

Κατά τη διάρκεια της περιόδου CAP η συσκευή εκείνη η οποία επιδιώκει να εκπέμψει δεν είναι σε θέση να χρησιμοποιήσει ένα κανάλι μόλις το χρειαστεί, καθώς η μόνη περίπτωση για να γίνει αυτό είναι η απόκτηση πρόσβασης σε αυτό μέσω του μηχανισμού CSMA-CA.

Κατά την περίοδο CFP δεν χρησιμοποιείται το CSMA-CA, άλλα αντιθέτως δίνεται ένα GTS σε μια συσκευή ώστε να ξεκινήσει η μετάδοσή της. Πρόκειται για έναν τρόπο αρκετά χρήσιμο για εφαρμογές όπου ο χρόνος είναι ιδιαίτερα

κρίσιμος και μια συσκευή δεν μπορεί να περιμένει να ελευθερωθεί ένα κανάλι για να μπορέσει να κάνει εκπομπή.

Τόσο τα CAP και τα CFP μαζί αποτελούν την ενεργή περίοδο. Στην διάρκεια της ανενεργούς περιόδου η συσκευή μπαίνει σε κατάσταση χαμηλής κατανάλωσης ισχύος για εξοικονόμηση ενέργειας.

Το γενικό πλαίσιο εντολών Application Framework φαίνεται στο σχήμα 4.7.5. και αποτελείται από τα παρακάτω πεδία:

- Μέτρηση συναλλαγών (Transaction count), το οποίο καθορίζει τον αριθμό εκείνο των συναλλαγών που περιέχονται στο πλαίσιο.
- Τύπος πλαισίου (Frame type), ο οποίος καθορίζει τον τύπο της υπηρεσίας που χρησιμοποιείται.
- Συναλλαγές (Transactions), οι οποίες αποτελούνται από τον αριθμό ακολουθίας (8 bits) και από το πεδίο των δεδομένων.

Πίνακας 3.7 Πλαίσιο εντολών AF

Bits:4	4	Variable	Variable	Variable
Transaction count	Frame type	Transaction 1	...	Transaction n

- **Route Discovery**

Σε ένα ZigBee δίκτυο υπάρχουν συσκευές, οι οποίες προχωρούν σε συνεργασίες με στόχο την εύρεση των πιο σύντομων διαδρομών. Αυτές οι σύντομες διαδρομές καλούνται «routes» και είναι σε θέση να εξασφαλίσουν την μεταξύ τους επικοινωνία. Αυτή η μέθοδος καλείται ως «Route Discovery».

- **Device Discovery**

Το Device Discovery αποτελεί μία διαδικασία κατά την οποία μια ZigBee συσκευή είναι σε θέση να ανιχνεύσει όποια ZigBee συσκευή υπάρχει στο δίκτυο της.

3.5 Τα προφίλ του ZigBee

Κάθε συσκευή ZigBee μπορεί να υποστηρίζει ένα ή και περισσότερα προφίλ. Δύο συσκευές μπορούν να επικοινωνήσουν μόνο αν υποστηρίζουν ένα συγκεκριμένο προφίλ. Το κάθε προφίλ έχει τη δική του ταυτότητα (profile identifier, 2 bytes), η οποία είναι μοναδική. Τα προφίλ καθορίζουν τη φύση των εφαρμογών, τα χαρακτηριστικά των συσκευών και τα συμπλέγματα δεδομένων που χρησιμοποιούνται στην επικοινωνία.

Τα συμπλέγματα δεδομένων έχουν και αυτά τη δική τους ταυτότητα (cluster identifier, 1 byte), η οποία είναι μοναδική μέσα σε ένα συγκεκριμένο προφίλ. Καθορίζουν τις δομές των δεδομένων που χρησιμοποιούνται στην επικοινωνία μεταξύ των σημείων τερματισμού. Κάθε σύμπλεγμα αποτελείται από ιδιότητες. Κάθε ιδιότητα έχει μία μοναδική ταυτότητα (attribute identifier, 2 bytes) μέσα σε ένα συγκεκριμένο σύμπλεγμα.

Τα χαρακτηριστικά των συσκευών ZigBee καθορίζονται με τους παρακάτω περιγραφείς¹³.

- Περιγραφέας κόμβου. Περιέχει πληροφορίες σχετικά με τις συσκευές που υπάρχουν σε αυτόν, τις ζώνες συχνοτήτων που λειτουργεί, τον κωδικό του κατασκευαστή και το μέγιστο μέγεθος των δεδομένων που παραδίδονται στο υποεπίπεδο APS ή παραλαμβάνονται από αυτό. Ένας κόμβος μπορεί να αποτελείται από περισσότερες από μία συσκευές που μοιράζονται όμως τον ίδιο πομποδέκτη.
- Περιγραφέας ισχύος κόμβου. Περιέχει πληροφορίες σχετικά με την κατάσταση λειτουργίας του δέκτη, τις διαθέσιμες πηγές ενέργειας, την πηγή ενέργειας που χρησιμοποιείται και το επίπεδο φόρτισης.
- Απλός περιγραφέας. Αντιστοιχεί ένας σε κάθε σημείο τερματισμού. Περιέχει τον αριθμό του σημείου, την ταυτότητα του προφίλ που υποστηρίζει το συγκεκριμένο σημείο, την ταυτότητα των συσκευών που υποστηρίζονται, τον αριθμό και τη λίστα των εισερχόμενων και εξερχόμενων συμπλεγμάτων δεδομένων που υποστηρίζονται.
- Σύνθετος περιγραφέας. Είναι προαιρετικός. Περιέχει πληροφορίες για τη συσκευή, όπως το όνομα του κατασκευαστή, τον αριθμό της και το URL

¹³ Shahin, F., (2008) Zigbee Wireless Networks and Transceivers, Oxford, Elsevier

στο οποίο βρίσκονται όλες οι πληροφορίες σχετικά με αυτή. Αν ο κόμβος αποτελείται από περισσότερες από μία συσκευές, τότε υπάρχει ένας σύνθετος περιγραφέας για κάθε συσκευή.

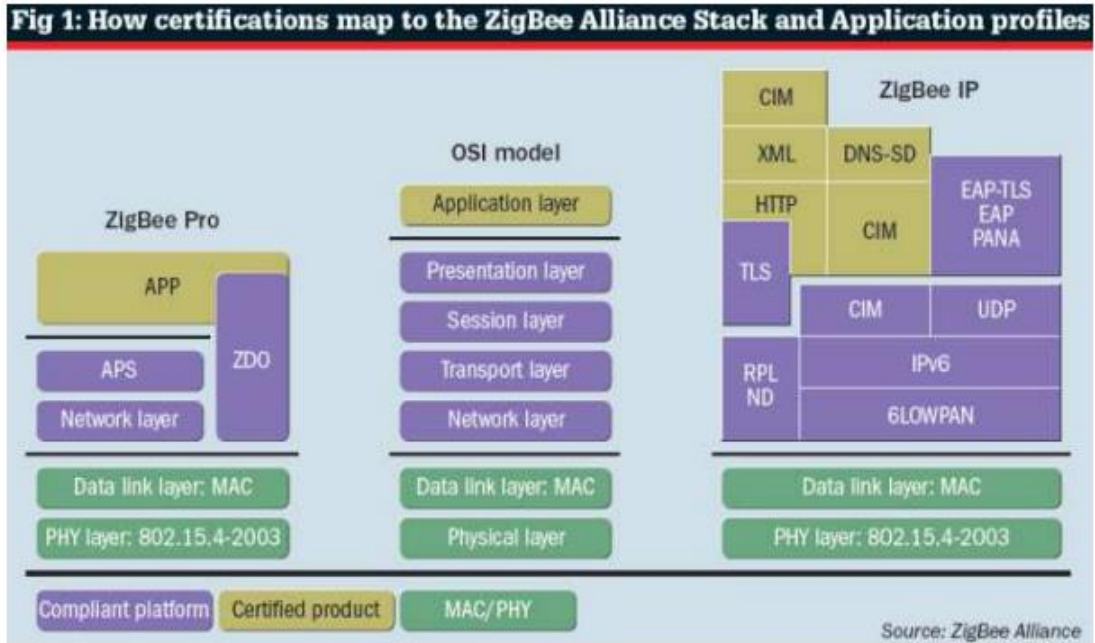
- Περιγραφέας χρήστη. Είναι προαιρετικός και περιέχει το όνομα που δίνει ο χρήστης στη συσκευή. Αν ο κόμβος αποτελείται από περισσότερες από μία συσκευές τότε υπάρχει ένας περιγραφέας χρήστη για κάθε συσκευή.

Παρακάτω βλέπουμε μια μονάδα ZigBee. Τα επίπεδα του πρωτοκόλλου ζεύξης δεδομένων έχουν οριστεί στο πρότυπο IEEE 802.15.4. Σχετικά με το υπόλοιπο πρότυπο δημιουργήθηκαν από την Zigbee Alliance τέσσερα επίπεδα:

- δύο ανώτερα (δικτύου, εφαρμογών) και
- δύο επιπλέον (αντικειμένων Zigbee συσκευών και εφαρμογών ορισμένες από τον κατασκευαστή).

Μία από τις σημαντικότερες προσθήκες είναι η εισαγωγή του επιπέδου αντικειμένων συσκευών. Το συγκεκριμένο επίπεδο είναι υπεύθυνο για πολλές εργασίες, όπως είναι η διαχείριση των αιτήσεων για την ένταξη τους σε δίκτυο. Άλλη μία λειτουργία, είναι ο εντοπισμός συσκευών αλλά και η ασφάλεια.

Παρακάτω μπορούμε να παρατηρήσουμε την αναφερθείσα υλοποίηση. Το βασικότερο χαρακτηριστικό του πρωτοκόλλου Zigbee είναι η χαμηλή κατανάλωση ισχύος γεγονός που καθιστά το Zigbee ιδανικό για πολλές εφαρμογές.



Εικόνα 3.8 Εισαγωγή επιπέδου αντικειμένων συσκευών

Στην παρακάτω εικόνα μπορούμε να δούμε την κατανάλωση σε σχέση με το Wi-Fi. Συμπεραίνουμε ότι ένα κανάλι WiFi ισοδυναμεί με τέσσερα κανάλια ZigBee. Το Zigbee είναι διαδεδομένη τεχνική, η οποία βρίσκει εφαρμογή στα «έξυπνα» σπίτια, λόγω της χαμηλής κατανάλωσης ισχύος¹⁴.

¹⁴ Bandara, D,(2011), Other Types of Networks:bluetooth, Zigbee & NFC, CS303

ZigBee, Bluetooth, NFC, vs., WiFi

	Low Energy Bluetooth	ZigBee	NFC	Low Power WiFi
Frequency (MHz)	2402 – 2482	868 - 868.8, 902 - 928, 2402 – 2482	13.56	2400 - 2500
Channels	3	16	1	3
Modulation	GFSK	BPSK & QPSK	ASK	64QAM
Max potential data rate	1 Mbps	250 Kbps	424 Kbps	54 Mbps
Range	10m	100+m	10cm	30m
Power Profile	Days	Months/Years	Months/Years	Hours
Complexity	Complex	Simple	Simple	Complex
Nodes/Master	7	65,000	1+1	
Extendibility	No	Yes	No	Yes ³⁷

Εικόνα 3.9 Συγκριτικός πίνακας κατανάλωσης Zigbee σε σχέση με άλλες τεχνολογίες

3.5.1 Φυσικό επίπεδο IEEE 802.15.4 55

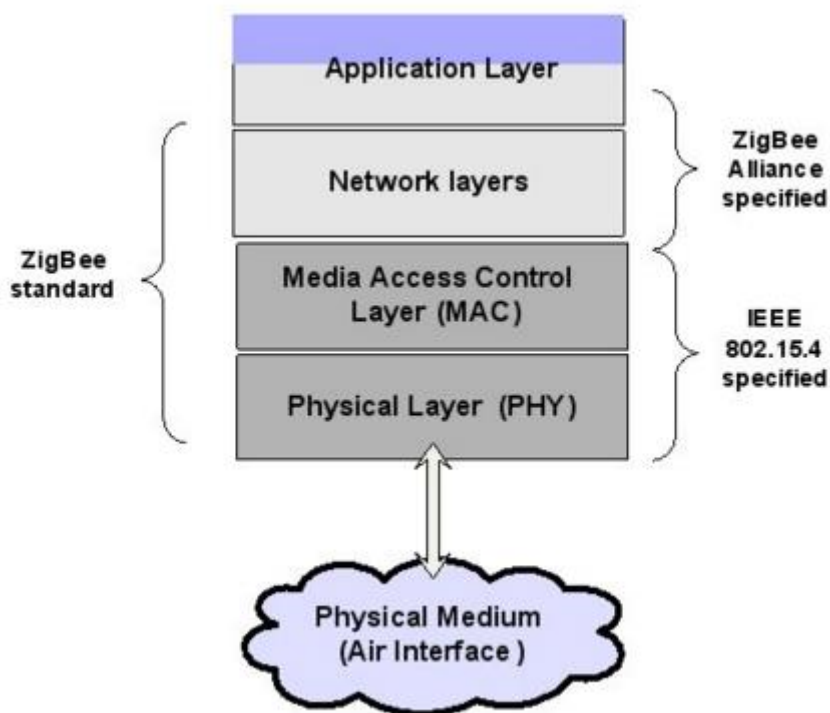
Οι βασικές λειτουργίες και υπηρεσίες που υλοποιούνται από το Φυσικό Επίπεδο του 802.15.4 είναι:

- Ενεργοποίηση και Απενεργοποίηση του Πομποδέκτη, όταν αυτός τίθεται σε μια από τις 3 καταστάσεις: εκπομπή, λήψη και sleeping.
- Ανίχνευση ενέργειας (Energy Detection – ED) στο κανάλι που χρησιμοποιείται, και σύμφωνα με το οποίο μπορεί να εκτιμηθεί η ισχύς του σήματος που λαμβάνεται.
- Επιλογή συχνότητας καναλιού, καθώς με τις ασύρματες ζεύξεις είναι δυνατόν να σημειωθεί λειτουργία σε παραπάνω από 27 διαφορετικά κανάλια σύμφωνα με το πρότυπο του 802.15. Συνεπώς, το φυσικό επίπεδο είναι υπεύθυνο για τη μετάθεση του πομποδέκτη σε ένα συγκεκριμένο κανάλι.
- Αποστολή και λήψη δεδομένων που είναι και η πιο βασική λειτουργία του φυσικού επιπέδου, εφαρμόζοντας τεχνικές διαμόρφωσης.

3.5.2 MAC επίπεδο IEEE 802.15.4 56

Εξασφαλίζει την διασύνδεση των ανώτερων επιπέδων με το φυσικό. Οι βασικές αρμοδιότητες που υλοποιούνται από το MAC επίπεδο του 802.15.4 είναι:

- Διαχείριση του beacon (πλαίσιο συγχρονισμού).
- Πρόσβαση στο διαθέσιμο κανάλι
- Η επιβεβαίωση των μεταδιδόμενων frames.
- Η αναγνώριση μεταφοράς των frames.



Εικόνα 3.10 Επίπεδα

3.6 Παραδείγματα χρήσης ασύρματων δικτύων αισθητήρων

Στις 2 Αυγούστου 2007, μια γέφυρα κατάρρευσε στην πόλη της Minnesota μέσα στο Μισισσιπή σκοτώνοντας 9 ανθρώπους. Η επιτροπή δεν μπόρεσε να προσδιορίσει την αιτία του ατυχήματος όμως έδωσε τρεις πιθανές αιτίες: Φθορά

λόγω χρήσης, κακές καιρικές συνθήκες και επίδραση μιας κατασκευαστικής εργασίας που πραγματοποιούνταν κοντά στην περιοχή.

Λόγω της κατασκευής οι 4 από τις οκτώ λωρίδες κυκλοφορίας είχαν κλείσει όταν συνέβη το ατύχημα. Δύο εβδομάδες αργότερα – στις 14 Αυγούστου 2007 – κατάρρευσε μια άλλη γέφυρα σε ένα δημοφιλές τουριστικό κέντρο στην Κίνα, στην Fenghuang, σκοτώνοντας 86 ανθρώπους. Την ίδια μέρα, το BBC ανέφερε ότι η Κίνα ταυτοποίησε περισσότερες από 6000 γέφυρες ως επικίνδυνες. Κατά τη διάρκεια αυτών των γεγονότων, το Associated Press (3 August 2007) και το Time (10 August 2007), δημοσίευε άρθρα τα οποία ζητούσαν τη χρήση WSNs για την παρακολούθηση γεφυρών και άλλων κατασκευών.

Οι γέφυρες παρακολουθούνται σε διαφορετικές φάσεις και σε διαφορετικά επίπεδα (Koh and Dyke 2007):

1. Οπτική παρακολούθηση η οποία πραγματοποιείται carried από τεχνικούς συντήρησης δρόμων, συνήθως κάθε μέρα.
2. Βασική παρακολούθηση η οποία πραγματοποιείται τουλάχιστον μια φορά το χρόνο από τους τοπικούς ελεγκτές της γέφυρας.
3. Λεπτομερής παρακολούθηση, τουλάχιστον κάθε πέντε χρόνια από περιφερειακούς ελεγκτές γεφυρών.
4. Ειδικό έλεγχο από υψηλά εξειδικευμένο προσωπικό και ερευνητές ανάλογα με τα αποτελέσματα της λεπτομερούς παρακολούθησης.

Η πρώτη φάση απαιτεί έντονη χειρωνακτική εργασία είναι ασυνεπής και υποκειμενική (Koh and Dyke 2007), ενώ οι υπόλοιπες απαιτούν εξειδικευμένα εργαλεία τα οποία είναι συνήθως ακριβά, ογκώδη και καταναλώνουν μεγάλα ποσά ενέργειας. Συνεπώς η ανάπτυξη αυτοματοποιημένων, αποδοτικών και φθηνών τεχνικών παρακολούθησης είναι μια ενεργή ερευνητική περιοχή.

Οι τεχνικές παρακολούθησης βασισμένες σε εργαλεία (tool based inspection techniques) μπορούν χονδρικά να κατηγοριοποιηθούν σε τοπικές (local) και σε καθολικές (global) (Chintalapudi et al. 2006). Οι τοπικές τεχνικές εστιάζουν στην ανίχνευση ανεπαίσθητων σφαλμάτων σε μια πολύ εξειδικευμένη περιοχή της κατασκευής. Αυτές οι τεχνικές χρησιμοποιούν υπερήχους, θερμικές τεχνικές, ακτίνες Χ, μαγνητικές και οπτικές τεχνικές αλλά απαιτούν πολύ χρόνο και τη διακοπή της κανονικής λειτουργίας της κατασκευής.

Οι καθολικές τεχνικές παρακολούθησης ανιχνεύουν ζημιά ή ελάττωμα το οποίο είναι αρκετά μεγάλο ώστε να επηρεάσει όλη την κατασκευή. Εμφανείς αλλαγές στις κινήσεις των στηριγμάτων, κιγκλιδωμάτων, φραγμάτων, πύργων, συνδέσμων κλπ. Οι τεχνικές αυτές θεωρούνται ως ένα αντίστροφο πρόβλημα, δηλαδή η κατάσταση της δομής καθορίζεται στη βάση της απόκρισης σε ένα εξωτερικό ερέθισμα.

Τέτοια ερεθίσματα μπορεί να είναι άμεσα, πχ ένας σεισμός ή ισχυρός άνεμος ή εξαναγκασμένα, πχ ένα ερέθισμα που προέρχεται από το χτύπημα ενός σφυριού. Σε κάθε περίπτωση, παράμετροι όπως οι φυσικές συχνότητες, συντελεστές απόσβεσης, τρόποι ταλάντωσης χρησιμοποιούνται για τον καθορισμό της ζημιάς η οποία μπορεί να οφείλεται σε διαστολές, αποκολλήσεις, διαβρώσεις, ραγίσματα κλπ.

Οι παράμετροι των μοντέλων καθορίζονται από διάφορους παράγοντες όπως το μέγεθος και η διάρκεια του ερεθισμού, το υλικό της κατασκευής, το μέγεθος της κατασκευής, τους τεχνικούς περιορισμούς, την ηλικία, κλπ.

Πρόσφατα, οι ερευνητές ανέπτυξαν και δοκίμασαν WSNs σαν μέρος των μηχανισμών καθολικής παρακολούθησης. Τρία πράγματα τα καθιστούν κατάλληλα για αυτή τη διαδικασία:

1. Οι κόμβοι μπορούν να τοποθετηθούν σε περιοχές μή προσβάσιμες σε καλωδιωμένες και ογκώδεις συσκευές.
2. Εγκαθιστώντας ένα μεγάλο αριθμό κόμβων μπορούμε να συσχετίσουμε (correlate) διαφορετικές μετρήσεις.
3. Ιδανικά, η εγκατάσταση και η διαχείριση του δικτύου δεν παρεμβάλλεται στην ομαλή λειτουργία της κατασκευής.

Η σεισμική απόκριση σε μεγάλες δομές είναι μεταβατική από τη φύση της και εμπεριέχει συχνότητες κάτω από μερικές δεκάδες Hz. Η απόκριση σε σεισμό μπορεί να παρακολουθηθεί χρησιμοποιώντας αισθητήρες επιταχύνσεως, αισθητήρες κλίσης (tilt), και πιεζοηλεκτρικούς αισθητήρες.

Πρέπει να γίνει υπερδειγματοληψία σε υψηλές συχνότητες για αντιστάθμιση του θορύβου και ατελούς τοποθέτησης. Προκλήσεις για την ανάλυση των δεδομένων αποτελούν:

1. περιορισμοί που αφορούν στα χαρακτηριστικά των διεγέρσεων
2. θόρυβος
3. σφάλμα στο μοντέλο
4. περιβαλλοντικοί περιορισμοί

Ad hoc δίκτυα και δίκτυα αισθητήρων...

Ad hoc	WSN
Δεν υλοποιούν μετρήσεις αλλά η επικοινωνία καθορίζεται από τις ανάγκες των εφαρμογών.	Οι κόμβοι κάνουν μετρήσεις στο περιβάλλον από τις οποίες εξαρτάται η μεταφορά δεδομένων στο δίκτυο.
Ισχυρή υπολογιστική ισχύς και μεγάλη μνήμη.	Μικρή υπολογιστική ισχύς και περιορισμένη μνήμη.
Η επικοινωνία πραγματοποιείται μεταξύ συγκεκριμένων κόμβων όταν απαιτηθεί από τους χρήστες.	Η επικοινωνία βασίζεται στα δεδομένα.
Μικρή πυκνότητα κόμβων.	Μεγάλη πυκνότητα κόμβων.
Δυνατότητα εύρεσης και αποκατάστασης σφαλμάτων και αλλαγής μπαταρίας.	Ο κόμβοι μπορεί να μείνουν χωρίς συντήρηση ή επιτήρηση για μεγάλο διάστημα.
Συνεχόμενη ροή πληροφορίας.	Μικρή ροή πληροφορίας κυρίως κατά την εμφάνιση συγκεκριμένων γεγονότων

Εικόνα 3.11 Διαφορές Ad Hoc δικτύων και δικτύων αισθητήρων

Ένα δεύτερο δίκτυο προσωπικής περιοχής, που έχει προτυποποιηθεί από το IEEE στο πρότυπο 802.14.5 (IEEE 902.15 2012) είναι γνωστό σαν Zigbee. Ενώ τα δίκτυα Bluetooth παρέχουν έναν ρυθμό δεδομένων «υποκατάστασης καλωδίου», μεγαλύτερο του ενός Megabit ανά δευτερόλεπτο, το Zigbee στοχεύει σε εφαρμογές χαμηλότερης ισχύος, χαμηλότερων ρυθμών δεδομένων και χαμηλότερη χρήσης απ' το Bluetooth.

Ενώ τείνουμε να σκεφτόμαστε ότι το «μεγαλύτερο και το ταχύτερο», είναι καλύτερο, δεν χρειάζονται όλες οι δικτυακές εφαρμογές υψηλό εύρος ζώνης και συνεπώς υψηλότερο κόστος (οικονομικό κόστος και κόστος ισχύος).

Για παράδειγμα, οι αισθητήρες θερμοκρασίας οικιών, και οι αισθητήρες φωτισμού, οι συσκευές ασφαλείας και οι επιτοίχιοι μεταγωγείς, είναι πολύ απλές συσκευές, χαμηλής ισχύος καθημερινής χρήσης και χαμηλού κόστους. Το Zigbee είναι λοιπόν, πολύ κατάλληλο γι' αυτές τις συσκευές. Το Zigbee ορίζει ρυθμούς καναλιού 20, 40, 100 και 250 Kbps, ανάλογα με τη συχνότητα του καναλιού.

Οι κόμβοι σε ένα δίκτυο Zigbee παρέχονται σε δύο παραλλαγές. Οι επονομαζόμενες συσκευές μειωμένης λειτουργικότητας, λειτουργούν ως συσκευές σκλάβοι κάτω από τον έλεγχο μίας συσκευής πλήρους λειτουργικότητας, όπως οι συσκευές Bluetooth. Μία συσκευή πλήρους λειτουργικότητας, μπορεί να λειτουργεί ως master, όπως το Bluetooth, ελέγχοντας πολλαπλές συσκευές και συσκευές πλήρους λειτουργικότητας μπορούν επιπρόσθετα να διαμορφώνονται σε ένα δίκτυο πλέγματος, στο οποίο συσκευές πλήρους λειτουργικότητας δρομολογούν πλαίσια ανάμεσά τους.

Το Zigbee, έχει κοινούς πολλούς από τους μηχανισμούς του πρωτοκόλλου, άλλων πρωτοκόλλων επιπέδου ζεύξης όπως, πλαίσια ραδιοφάρου και επιβεβαιώσεις επιπέδου ζεύξης. Πρωτόκολλα τυχαίας προσπέλασης ανίχνευσης φέροντος με δυαδική εκθετική υποχώρηση και σταθερή, εγγυημένη κατανομή χρονοθυρίδων.

Τα δίκτυα Zigbee μπορούν να διαμορφωθούν κατά πολλούς και διάφορους τρόπους. Ας θεωρήσουμε την απλή περίπτωση μίας συσκευής πλήρους λειτουργικότητας, που ελέγχει πολλαπλές συσκευές μειωμένης λειτουργικότητας με χρονοθυρίδες, χρησιμοποιώντας πλαίσια ραδιοφάρου.

Η παρακάτω εικόνα δείχνει την περίπτωση, κατά την οποία το δίκτυο Zigbee διαιρεί τον χρόνο σε επαναλαμβανόμενα υπερπλαίσια, το κάθε ένα από τα οποία αρχίζει με ένα πλαίσιο ραδιοφάρου.

Κάθε πλαίσιο ραδιοφάρου, διαιρεί το υπερπλαίσιο σε μία ενεργή περίοδο (κατά τη διάρκεια της οποίας όλες οι συσκευές, περιλαμβανομένου και του ελεγκτή, μπορούν να είναι αδρανείς, κι έτσι να εξοικονομούν ενέργεια). Η ενεργή

περίοδος αποτελείται από 16 χρονοθυρίδες, ορισμένες απ' τις οποίες χρησιμοποιούνται από συσκευές με έναν τρόπο τυχαίας προσπέλασης CSMA/CA και ορισμένες από τις οποίες κατανέμονται απ' τον ελεγκτή σε συγκεκριμένες συσκευές, παρέχοντας έτσι εγγυημένη προσπέλαση καναλιού γι' αυτές τις συσκευές.



Εικόνα 3.12 Πεδία εφαρμογής Zigbee

3.7 Στοίβα πρωτοκόλλων ZigBee

Τα επίπεδα διακρίνονται στη στοίβα πρωτοκόλλων του Zigbee. Κάθε ένα από τα επίπεδα διενεργεί ένα συγκεκριμένο σύνολο λειτουργιών και προσφέρει υπηρεσίες στο ανώτερο επίπεδο διαμέσω μιας διεπαφής. Η διεπαφή αυτή ονομάζεται σημείο πρόσβασης υπηρεσιών (service access point, SAP). Τα τέσσερα επίπεδα της στοίβας αναφορικά είναι:

- Το φυσικό επίπεδο (Physical layer, PHY): Το φυσικό επίπεδο είναι υπεύθυνο για να ενεργοποιείται και να απενεργοποιείται ο πομποδέκτης. Επιπλέον χρησιμοποιείται για να ανιχνεύεται ενέργεια στο κανάλι, να εκτιμάται η κατάσταση των καναλιών και να αποφεύγονται συγκρούσεις.
- Το επίπεδο ελέγχου πρόσβασης στο μέσο (Medium access control layer, MAC): Το συγκεκριμένο επίπεδο, παρέχει υπηρεσίες για τη μεταφορά

δεδομένων και τη διαχείριση. Ευθύνεται για την απόκτηση πρόσβασης στο κανάλι αλλά και για τον έλεγχο των χρονοσχισμών ώστε να διασφαλίζεται μία αξιόπιστη σύνδεση μεταξύ δύο επιπέδων MAC. Ακόμη, προσφέρει μέσα μηχανισμούς ασφάλειας.

- Το επίπεδο δικτύου (Network layer, NWK): Το επίπεδο αυτό, ευθύνεται για τη δημιουργία του δικτύου, για την εισαγωγή και την εξαγωγή μίας συσκευής από ένα δίκτυο, για την ασφάλεια και για τη δρομολόγηση των μεταδιδόμενων πακέτων.
- Το επίπεδο εφαρμογών (Application layer, APL): Περιέχει το υποεπίπεδο υποστήριξης εφαρμογών (Application support sublayer, APS), το πλαίσιο εφαρμογών (Application framework, AF), τα αντικείμενα συσκευής ZigBee (ZigBee Device Objects, ZDO) και τις καθορισμένες από τον κατασκευαστή εφαρμογές. Το πρώτο υποεπίπεδο, δηλαδή το υποεπίπεδο APS, είναι υπεύθυνο για να συνδέονται δύο συσκευές και για να αποστέλλονται δεδομένα μεταξύ τους. Τα ZDO διευθετούν το ρόλο που διαδραματίζει κάθε συσκευή σε ένα δίκτυο. Ακόμη βοηθούν στο να ανιχνεύονται συσκευές σε ένα δίκτυο. Οι εφαρμογές μέσα από μία συσκευή Zigbee φιλοξενούνται στο πλαίσιο εφαρμογών¹⁵.

¹⁵ IEEE Standard 802.15.4. Wireless Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY). Specifications for Low-Rate Wireless Personal Area Networks (LR-WPANs). IEEE, 1 October 2003

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4ο

4.1 Τύποι συσκευών

Οι συσκευές ενός δικτύου ZigBee, μπορούν να χωριστούν σε:

- πλήρους λειτουργίας (full-function device , FFD) και
- μειωμένης λειτουργίας (reducedfunction device, RFD).

Για κάθε δίκτυο υφίσταται μία FFD η οποία διαδραματίζει συντονιστικό ρόλο στο δίκτυο (PAN coordinator). Οι FFDs έχουν τη δυνατότητα να επικοινωνούν με όλες τις συσκευές εν αντιθέσει με τις RFDs οι οποίες χρησιμοποιούνται σε απλούστερες εφαρμογές και μπορούν να επικοινωνήσουν μόνο με μία FFD.

4.1.1 Ρόλοι συσκευών

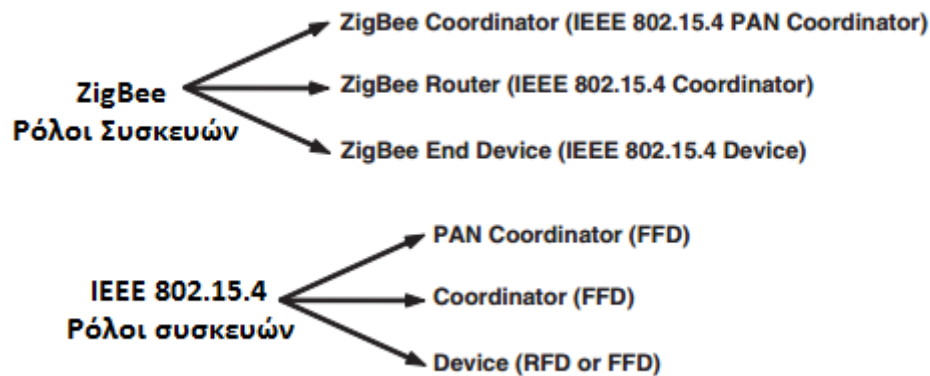
Σε ένα δίκτυο IEEE 802.15.4, μία συσκευή FFD μπορεί να πάρει τρεις διαφορετικούς ρόλους:

- συντονιστής,
- PAN συντονιστής,
- Απλή συσκευή.

Ο συντονιστής είναι μια συσκευή FFD που είναι ικανή να αναμεταδίδει μηνύματα. Αν ο συντονιστής είναι επίσης ο κύριος υπεύθυνος ενός δικτύου προσωπικής περιοχής (PAN), τότε ονομάζεται συντονιστής PAN. Αν μια συσκευή δεν λειτουργεί ως συντονιστής, τότε χαρακτηρίζεται ως απλή συσκευή.

Το πρότυπο ZigBee χρησιμοποιεί ελαφρώς διαφορετική ορολογία όπως βλέπουμε στην παρακάτω εικόνα. Ένας ZigBee coordinator είναι ένας συντονιστής IEEE 802.15.4 PAN. Ένας δρομολογητής ZigBee είναι μια συσκευή που μπορεί να ενεργεί ως συντονιστής 802.15.4 IEEE. Τέλος, ένα άκρο ZigBee συσκευή είναι μια συσκευή που δεν λειτουργεί ούτε σαν συντονιστής ούτε σαν δρομολογητής. Έχει το λιγότερο μέγεθος μνήμης, τις λιγότερες δυνατότητες επεξεργασίας και τα πιο απλά χαρακτηριστικά. Μια τερματική συσκευή είναι συνήθως η λιγότερο δαπανηρή συσκευή στο δίκτυο¹⁶.

¹⁶ A. Cavallini , (1997) , Chip-Level Differential Encoding/Detection of Spread-Spectrum Signals for CDMA Radio Transmission over Fading Channels , IEEE Transactions on Communications , Vol. 45 , No. 4



Εικόνα 4.1 Ρόλοι συσκευών

4.2 Τοπολογίες δικτύων

Η κάθε εφαρμογή έχει διαφορετικές απαιτήσεις. Ανάλογα με το τι απαιτήσεις έχει, το ZigBee υποστηρίζει δύο βασικές τοπολογίες δικτύων. Κάθε μία συσκευή, διαθέτει μία μοναδική διεύθυνση που έχει μήκος 64 bits. Η διεύθυνση αυτή, μπορεί να εξασφαλίσει την επικοινωνία της συσκευής μέσα στο δίκτυο, αλλά και να αποδώσει μία συντομευμένη διεύθυνση (16 bits).

Κάθε φορά που δημιουργείται ένα δίκτυο, ο συντονιστής διαλέγει μία ταυτότητα (16 bits) που προσδιορίζει μοναδικά το συγκεκριμένο δίκτυο. Η ταυτότητα δικτύου και διεύθυνσης συσκευής διασφαλίζει την επικοινωνία. Ένα δίκτυο μπορεί να έχει έως 255 συσκευές.

Ο σχηματισμός του δικτύου έχει ιεραρχικό στρώμα, το στρώμα ZigBee δικτύωσης. Το δίκτυο πρέπει να είναι σε μία από τις δύο τοπολογίες δικτύωσης που ορίζονται στο πρότυπο IEEE 802.15.4:

Στην τοπολογία αστέρα, που βλέπουμε παρακάτω, οι συσκευές μέσα στο δίκτυο μπορούν να επικοινωνήσουν μέσω ενός συντονιστή PAN. Ένα τυπικό σενάριο σε τοπολογία δικτύου αστέρα είναι ότι μια FFD, έχει προγραμματιστεί να είναι ένας συντονιστής PAN, και ενεργοποιείται με τη δημιουργία του δικτύου.

Το πρώτο πράγμα που διενεργεί ο συντονιστής PAN είναι να επιλέξει ένα μοναδικό αναγνωριστικό το οποίο δεν θα χρησιμοποιείται από οποιοδήποτε άλλο δίκτυο. Με άλλα λόγια, διασφαλίζει ότι το αναγνωριστικό PAN δεν χρησιμοποιείται από οποιοδήποτε άλλο κοντινό δίκτυο.

Σε μια τοπολογία peer-to-peer, κάθε συσκευή μπορεί να επικοινωνεί απευθείας με οποιαδήποτε άλλη συσκευή αν οι συσκευές είναι τοποθετημένες αρκετά κοντά μεταξύ τους για τη δημιουργία ενός επιτυχημένου σύνδεσμου επικοινωνίας. Κάθε FFD σε ένα δίκτυο peer-to-peer μπορεί να παίξει το ρόλο του συντονιστή PAN. Ένας τρόπος για να αποφασίσει ποια συσκευή θα είναι ο συντονιστής PAN είναι να λαμβάνει την πρώτη συσκευή FFD που ξεκινά την επικοινωνία. ως συντονιστής PAN.

Σε ένα peer-to-peer δίκτυο, όλες οι συσκευές που συμμετέχουν στην αναμετάδοση των μηνυμάτων είναι FFD επειδή τα RFD δεν είναι ικανά για την αναμετάδοση των μηνυμάτων. Ωστόσο, μια RFD μπορεί να είναι μέρος του δικτύου και να επικοινωνούν μόνο με μία συγκεκριμένη συσκευή (συντονιστή ή έναν δρομολογητή) στο δίκτυο.

Ένα peer-to-peer δίκτυο μπορεί να λάβει διάφορες μορφές με περιορισμό από την επικοινωνία των συσκευών μεταξύ τους. Εάν δεν υπάρχει κανένας περιορισμός, το δίκτυο peer-to-peer είναι γνωστό ως τοπολογία mesh. Μια άλλη μορφή του peer-to-peer δικτύου ZigBee είναι η τοπολογία δέντρου.

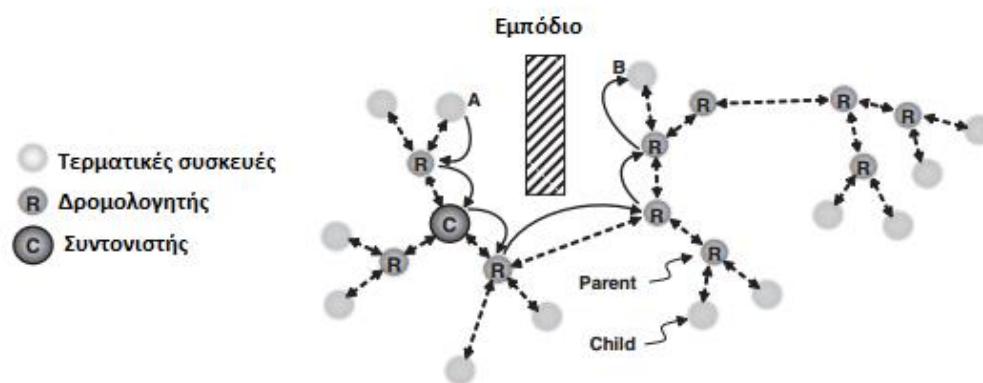
Σε αυτήν την περίπτωση, ένας συντονιστής ZigBee (συντονιστής PAN) καθορίζει το αρχικό δίκτυο. Οι ZigBee δρομολογητές αποτελούν τα κλαδιά και αναμεταδίδουν τα μηνύματα. Οι συσκευές τέλος συμπεριφέρονται σαν τα φύλλα του δέντρου και δεν συμμετέχουν στη δρομολόγηση μηνυμάτων.

Στους δρομολογητές, το δίκτυο μπορεί να αναπτυχθεί το δίκτυο πέρα από το αρχικό δίκτυο και από τον συντονιστή ZigBee. Το παρακάτω σχήμα δείχνει ένα παράδειγμα για το πως η μετεγκατάσταση ενός μηνύματος μπορεί να βοηθήσει στην επέκταση του φάσματος του δικτύου. Για παράδειγμα, η συσκευή A πρέπει να στείλει ένα μήνυμα στη συσκευή B, αλλά υπάρχει ένα εμπόδιο μεταξύ τους που καθιστά δύσκολη τη διείσδυση του σήματος.

Η τοπολογία δέντρου βοήθησε με την μετεγκατάσταση του μηνύματος γύρω από το φράγμα ώστε να φτάσει στη συσκευή B. Το φαινόμενο αυτό, πολλές φορές, αναφέρεται και σαν hopping επειδή ένα μήνυμα μεταπηδά από έναν κόμβο στον άλλο μέχρι να φτάσει στον προορισμό του.

Ένα δίκτυο στο IEEE 802.15.4, ανεξάρτητα από την τοπολογία του, πάντα δημιουργείται από ένα PAN συντονιστής. Ο συντονιστής PAN ελέγχει το δίκτυο και εκτελεί την ακόλουθη διαδικασία:

- Αποδίδει μια μοναδική διεύθυνση (16-bit ή 64-bit) σε κάθε συσκευή του δικτύου.
- Εκκινεί, τερματίζει και δρομολογεί, τα μηνύματα σε όλο το δίκτυο.
- Επιλέγει ένα μοναδικό αναγνωριστικό PAN για το δίκτυο. Αυτό το αναγνωριστικό PAN επιτρέπει στις συσκευές ενός δικτύου, να χρησιμοποιήσουν την 16-bit μέθοδο μικρής αντιμετώπισης ώστε να μπορούν να επικοινωνούν με άλλες συσκευές, ανεξάρτητα από το δίκτυο στο οποίο βρίσκονται.



Εικόνα 4.2 Λειτουργία δικτύου

Σε ολόκληρο το δίκτυο, υπάρχει μόνο ένας συντονιστής PAN. Ένας συντονιστής PAN μπορεί να χρειαστεί να εργάζεται για αρκετό χρόνο. Ως εκ τούτου, είναι συνήθως συνδεδεμένος σε ένα κύριο σύστημα ενέργειας και όχι σε μια μπαταρία. Όλες οι άλλες συσκευές συνδέονται συνήθως με μπαταρία. Το μικρότερο δυνατό δίκτυο περιλαμβάνει δύο συσκευές: ένα συντονιστή PAN και μια συσκευή.

4.3 Φυσικό επίπεδο (Physical layer, PHY)

Το φυσικό επίπεδο παρέχει δύο ειδών υπηρεσίες, τις υπηρεσίες των δεδομένων και τις υπηρεσίες της διαχείρισης, στο επίπεδο MAC. Για να επιτευχθεί η πρόσβαση χρησιμοποιούνται δύο διαφορετικά σημεία πρόσβασης υπηρεσιών (SAPs):

- PHY dataSAP (PD-SAP)
- PLME-SAP

Ακόμη, στο συγκεκριμένο επίπεδο, η βάση δεδομένων (PHY PIB) περιέχει πληροφορίες που είναι σχετικές με τη λειτουργία του, όπως το ποιο κανάλι χρησιμοποιείται, ποιο υποστηρίζεται, την εκπεμπόμενη ισχύ και τον τρόπο που ανιχνεύεται το ελεύθερο κανάλι¹⁷.

4.4 Zigbe και IEEE 802.15.4 επικοινωνίες

Το IEEE 802.15.4 υλοποιεί μια απλή μέθοδο για να επιτρέψει σε πολλαπλές συσκευές να χρησιμοποιούν το ίδιο κανάλι συχνοτήτων για μέσο επικοινωνίας τους. Ο μηχανισμός πρόσβασης στο κανάλι που χρησιμοποιείται είναι ο Carrier Sense Multiple Access με αποφυγής σύγκρουσης (CSMA-CA). Στο πρωτόκολλο πολλαπλής πρόσβασης, οποτεδήποτε μια συσκευή θέλει να μεταδώσει, πραγματοποιεί την πρώτη αξιολόγηση (CCA) για να εξασφαλιστεί ότι το κανάλι δεν είναι σε χρήση από οποιαδήποτε άλλη συσκευή. Στη συνέχεια, η συσκευή ξεκινά να μεταδίδει το δικό της σήμα.

Η απόφαση να καταστεί ένα κανάλι διαθέσιμο δεν μπορεί να βασιστεί στη μέτρηση της φασματικής ενέργειας στο κανάλι συχνοτήτων ή την ανίχνευση τύπου συχνότητας.

Όταν μια συσκευή σχεδιάζει να μεταδώσει ένα μήνυμα, πηγαίνει πρώτα σε κατάσταση λήψης για την ανίχνευση και την εκτίμηση του επιπέδου ενέργειας του σήματος, στο επιθυμητό κανάλι. Αυτή η εργασία είναι γνωστή ως ενεργειακή ανίχνευση (ED). Στην ενεργειακή ανίχνευση, ο δέκτης δεν προσπαθεί να αποκωδικοποιήσει το σήμα, και δεν εκτιμάται το επίπεδο ενέργειάς του. Εάν υπάρχει ένα σήμα ήδη στη ζώνη που μας ενδιαφέρει, η ενεργειακή ανίχνευση δεν μπορεί να καθορίσει εάν είναι ένα σήμα 802.15.4 ή κάποιο άλλο.

Ένας εναλλακτικός τρόπος για να δηλώσει ένα κανάλι συχνότητας τη διαθεσιμότητά του, είναι η αίσθηση φορέα (CS). Εκεί, σε αντίθεση με την ενεργειακή ανίχνευση, μπορεί να προσδιοριστεί η θέση κατοχής του σήματος και

¹⁷ Sun T., Liang N. C., Chen L. J., Chen P. C., Gerla M.,(2007) Evaluating Mobility Support in ZigBee Networks, IFIP International Federation for Information Processing

αν αυτό το σήμα είναι ένα σήμα IEEE 802.15.4, τότε η συσκευή μπορεί να αποφασίσει να εξετάσει αν το κανάλι είναι απασχολημένο ακόμα και αν η ενέργεια του σήματος είναι κάτω από ένα όριο καθορισμένο από το χρήστη¹⁸.

Αν το κανάλι δεν είναι διαθέσιμο, η συσκευή υπαναχωρεί για ένα τυχαίο χρονικό διάστημα και προσπαθεί πάλι. Η τυχαία υπαναχώρηση και επανάληψη επαναλαμβάνονται μέχρις ότου είτε το κανάλι γίνεται διαθέσιμο ή η συσκευή φτάσει στο μέγιστο αριθμό των επαναλήψεων που έχουν οριστεί από το χρήστη.

Υπάρχουν δύο μέθοδοι για την πρόσβαση καναλιού

- με βάση την απασχόληση
- με βάση τη διαθεσιμότητα.

Στον ισχυρισμό που βασίζεται στην πρόσβαση καναλιού, όλες οι συσκευές που θέλουν να μεταδίδουν στο ίδιο κανάλι συχνοτήτων χρησιμοποιούν CSMA-CA, και το πρώτο που κανάλι που βρίσκεται διαθέσιμο ξεκινά τη μετάδοση. Στη μέθοδο της διαθεσιμότητας, ο συντονιστής PAN αφιερώνει μια συγκεκριμένη χρονοθυρίδα σε μια συγκεκριμένη συσκευή. Αυτό ονομάζεται εγγυημένη χρονοθυρίδα (GTS).

Ως εκ τούτου, μια συσκευή με κατανομή GTS θα αρχίσει να εκπέμπει κατά τη διάρκεια αυτής χωρίς τη χρήση του μηχανισμού CSMA-CA. Για να παρέχει μια GTS, ο συντονιστής PAN πρέπει να εξασφαλίσει ότι όλες οι συσκευές στο δίκτυο συγχρονίζονται. Το Beacon είναι ένα μήνυμα με συγκεκριμένη μορφή που χρησιμοποιείται για το συγχρονισμό των ρολογιών των κόμβων του δικτύου. Ο συντονιστής έχει τη δυνατότητα να μεταδίδει σήματα beacon για το συγχρονισμό των συσκευών που συνδέονται με αυτόν.

Αυτό ονομάζεται beacon με δυνατότητα PAN. Το μειονέκτημα του είναι ότι όλες οι συσκευές στο δίκτυο πρέπει να ενεργοποιούνται σε τακτική βάση, ώστε να συγχρονίζουν την ώρα. Αυτό σημαίνει ότι πολλές συσκευές στο δίκτυο μπορεί να ενεργοποιηθούν μόνο για συγχρονισμό και να μην εκτελέσουν οποιαδήποτε άλλη εργασία, ενώ είναι ενεργές. Ως εκ τούτου, η διάρκεια ζωής της μπαταρίας της συσκευής είναι ενεργοποιημένη σε ένα δίκτυο, και μπορεί να λιγοστέψει εύκολα.

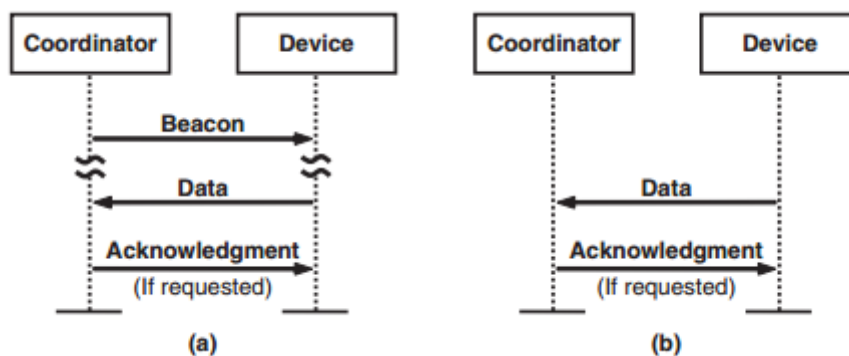
¹⁸ A. Cavallini , (1997) Chip-Level Differential Encoding/Detection of Spread-Spectrum Signals for CDMA Radio Transmission over Fading Channels , " IEEE Transactions on Communications , Vol. 45 , No. 4 , April 1997 .

4.5 Μέθοδοι μεταφοράς δεδομένων

Υπάρχουν τρεις τύποι μεταφοράς δεδομένων στο IEEE 802.15.4:

- Η μεταφορά δεδομένων σε ένα συντονιστή από μια συσκευή
- Η μεταφορά δεδομένων από ένα συντονιστή σε μια συσκευή
- Η μεταφορά δεδομένων μεταξύ δύο συσκευών από ομοτίμους

Και οι τρεις μέθοδοι μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε μια τοπολογία peer-to-peer. Σε μια τοπολογία αστέρα, χρησιμοποιούνται μόνο οι πρώτες δύο, επειδή δεν έχουν άμεση peer-to-peer επικοινωνία¹⁹.



Εικόνα 4.3 Μεταφορά με χρήση beacon και χωρίς

Σε ένα δίκτυο με beacon δυνατότητα, όταν μια συσκευή αποφασίζει να διαβιβάσει τα δεδομένα στο συντονιστή, συγχρονίζει το ρολόι της σε τακτική βάση και μεταδίδει τα δεδομένα για το συντονιστή χρησιμοποιώντας τη μέθοδο CSMA-CA (υποθέτοντας ότι δεν συμβαίνει η μετάδοση κατά τη διάρκεια μιας GTS).

Ο συντονιστής μπορεί να αναγνωρίσει τη λήψη της ημερομηνίας μόνο αν ζητήθηκε από τον πομπό δεδομένων. Στην περίπτωση που δεν υπάρχει beacon, η συσκευή μεταδίδει τα δεδομένα αμέσως μόλις το κανάλι είναι διαθέσιμο. Η μετάδοση από τον συντονιστή PAN είναι προαιρετική.

4.6 Διευθυνσιοδότηση

Κάθε συσκευή σε ένα δίκτυο χρειάζεται μια μοναδική διεύθυνση. Το IEEE 802.15.4 χρησιμοποιεί δύο μεθόδους διευθυνσιοδότησης:

- 16-bit σύντομη διευθυνσιοδότηση
- 64-bit εκτεταμένη διευθυνσιοδότηση

¹⁹ www.ieee.com

Ένα δίκτυο μπορεί να επιλέξει να χρησιμοποιήσει είτε 16-bit ή 64-bit διευθυνσιοδότηση. Η σύντομη διευθυνσιοδότηση επιτρέπει την επικοινωνία μέσα σε ένα ενιαίο δίκτυο. Χρησιμοποιώντας το μηχανισμό σύντομης διευθυνσιοδότησης, επιτυγχάνεται η μείωση του μήκους των μηνυμάτων και εξοικονομείται απαιτούμενος χώρος μνήμης που διατίθεται για την αποθήκευση των διευθύνσεων. Ο συνδυασμός ενός μοναδικού αναγνωριστικού PAN και ενός σύντομου χαιρετισμού μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την επικοινωνία μεταξύ των ανεξάρτητων δικτύων.

Από την άλλη, η διευθυνσιοδότηση των 64-bit σημαίνει ότι ο μέγιστος αριθμός των συσκευών σε ένα δίκτυο μπορεί να είναι 2^{64} , ή περίπου $1,8 \cdot 10^{19}$. Ως εκ τούτου, ένα IEEE 802.15.4 ασύρματο δίκτυο δεν έχει σχεδόν κανένα όριο στον αριθμό των συσκευών που μπορούν να συμμετάσχουν στο δίκτυο.

Το επίπεδο δικτύου του zigbee, μπορεί να αποδώσει και μία επιπλέον διεύθυνση, μήκους 16 bit, ανεξάρτητη από αυτήν του πρωτοκόλλου IEEE. Για την αντιστοίχιση της 64 bit διεύθυνσης σε μία του επιπέδου δικτύου, μοναδική, χρησιμοποιείται ένας πίνακας lookup.

Κάθε πομπός, σε ένα δίκτυο δύναται να έχει μία διεύθυνση IEEE και μία του επιπέδου δικτύου. Αυτές οι δύο διευθύνσεις, μπορούν να συνδέσουν 240 διαφορετικές συσκευές. Ο αριθμός της κάθε συσκευής ονομάζεται και τελικό σημείο, (netpoint).

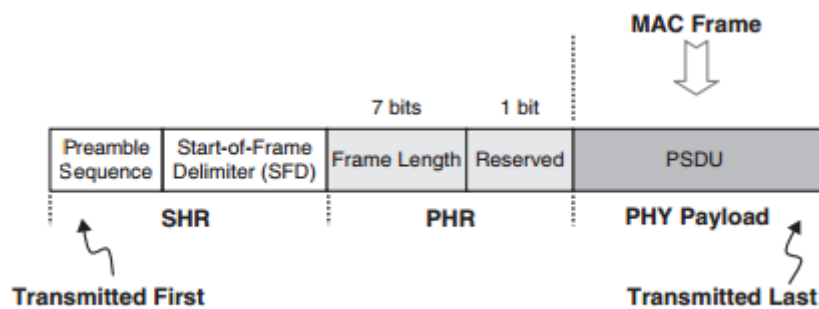
Ασύρματα δίκτυα αισθητήρων

Τα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων είναι μια αναδυόμενη τεχνολογία που υπόσχεται ένα ευρύ φάσμα των πιθανών εφαρμογών, τόσο πολιτικών όσο και στρατιωτικών περιοχών. Ένα τέτοιο δίκτυο (WSN) συνήθως αποτελείται από ένα μεγάλο αριθμό χαμηλού - κόστους, χαμηλής - δύναμη, και πολυλειτουργικών κόμβων αισθητήρων που έχουν αναπτυχθεί σε μια περιοχή ενδιαφέροντος. Αυτοί οι κόμβοι αισθητήρων είναι μικροί σε μέγεθος, αλλά είναι εξοπλισμένα με αισθητήρες, ενσωματωμένους μικροεπεξεργαστές, και ραδιοπομπούς.

4.7 Πρωτόκολλο PHY

Η PHY μονάδα δεδομένων πρωτοκόλλου (PDU) παρουσιάζεται στο ακόλουθο σχήμα. Η PPDU αποτελείται από τρία στοιχεία:

- Την κεφαλίδα συγχρονισμού (SHR),
- Την κεφαλίδα PHY (PHR),
- Το PHY ωφέλιμο φορτίο.



Εικόνα 4.4 Πρωτόκολλο PHY

4.8 Μορφή PPDU

Η SHR επιτρέπει στον δέκτη να εκσυγχρονίσει και να κλειδώσει στο ρεύμα bit. Η PHR περιέχει πληροφορίες κατά μήκος του πλαισίου. Το ωφέλιμο φορτίο PHY παρέχεται από ανώτερα στρώματα και περιλαμβάνει δεδομένα ή εντολές που πρέπει να διαβιβάζονται στην άλλη συσκευή.

Το πεδίο SFD υποδεικνύει το τέλος του SHR και την αρχή του PHR. Η SFD για 868 MHz και 915 MHz ASK PHYs είναι η ανεστραμμένη ακολουθία 0 από πίνακες.

Πίνακας 4.5 Πεδία, μήκη και διάρκειες

PHY επιλογές	Μήκος		Διάρκεια (μs)
868 MHz BPSK	4 οχτάδες	32 σύμβολα	1600
915 MHz BPSK	4 οχτάδες	32 σύμβολα	800
868 MHz ASK	5 οχτάδες	2 σύμβολα	160
915 MHz ASK	3,75 οχτάδες	6 σύμβολα	120
868 MHz O-QPSK	4 οχτάδες	8 σύμβολα	320
915 MHz O-QPSK	4 οχτάδες	8 σύμβολα	128
2.4 GHz O-QPSK	4 οχτάδες	8 σύμβολα	128

Για όλα τα άλλα PHYs, η SFD είναι ένα πεδίο 8-bit παρουσιάζονται στον πίνακα.

SFD πεδία και τιμές

Bits	0	1	2	3	4	5	6	7
Τιμές	1	1	1	0	0	1	0	1

Το στρώμα PHY είναι το πιο κοντινό στρώμα με το υλικό και ελέγχει άμεσα και επικοινωνεί με τον ραδιοπομποδέκτη. Το στρώμα PHY είναι υπεύθυνο για τα εξής:

- Ενεργοποίηση και απενεργοποίηση του ασύρματου πομποδέκτη.
- Μετάδοση και λήψη δεδομένων.
- Επιλογή της συχνότητας του καναλιού (η ακριβής συχνότητα με την οποία ο πομποδέκτης θα λειτουργήσει)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5ο

5.1 Αντικείμενα συσκευής Zigbee

Τα αντικείμενα συσκευής ZigBee (ZigBee Device Objects, ZDO) βρίσκονται στο επίπεδο εφαρμογών. Επικοινωνούν με το υποεπίπεδο APS και το επίπεδο δικτύου μέσω των APSME-SAP και NLME-SAP αντίστοιχα.

Η μεταφορά των δεδομένων σε αυτά γίνεται από το υποεπίπεδο APS μέσω του APSDE-SAP και του σημείου τερματισμού 0. Επικοινωνούν με τις άλλες εφαρμογές της συσκευής μέσω μίας κοινής διεπαφής και επιπλέον μπορούν να επικοινωνήσουν με οποιαδήποτε άλλη συσκευή ZigBee χρησιμοποιώντας το προφίλ συσκευής. Είναι υπεύθυνα για τις παρακάτω διαδικασίες.

- Αρχικοποίηση του υποεπιπέδου APS και του επιπέδου δικτύου. Με τη βοήθεια των στοιχειωδών υπηρεσιών που ορίστηκαν για τα APSME-SAP και NLME-SAP, τα ZDO μπορούν να ορίσουν συγκεκριμένες τιμές στις ιδιότητες που βρίσκονται στις αντίστοιχες βάσεις δεδομένων διαμορφώνοντας έτσι και τη λειτουργία του κάθε επιπέδου με βάση τις απαιτήσεις των εφαρμογών.
- Ανακάλυψη συσκευών. Είναι μία διαδικασία με την οποία μία συσκευή μπορεί να ανακαλύψει την ταυτότητα των άλλων συσκευών του δικτύου. Υπάρχουν τα αιτήματα για την εκτεταμένη διεύθυνση (IEEE address, 64 bits) και για τη διεύθυνση δικτύου (NWK address, 16 bits). Τα πρώτα μεταδίδονται προς ένα συγκεκριμένο προορισμό και προϋποθέτουν ότι η διεύθυνση δικτύου είναι γνωστή. Τα δεύτερα εκπέμπονται σε όλο το δίκτυο και φέρουν ως ωφέλιμο φορτίο την εκτεταμένη διεύθυνση της συσκευής που αναζητείται.
- Όταν μία συσκευή λάβει ένα αίτημα ανακάλυψης, απαντά ανάλογα με τον ρόλο της στο δίκτυο. Οι τερματικές συσκευές στέλνουν τη διεύθυνση που τους ζητείται. Οι συντονιστές και οι δρομολογητές στέλνουν μαζί με τη δική τους διεύθυνση και τις διευθύνσεις των συσκευών που είναι συνδεδεμένες μαζί τους.

- Ανακάλυψη υπηρεσιών. Με αυτή, μία συσκευή μπορεί να ανακαλύψει όλες τις εφαρμογές που είναι διαθέσιμες στα σημεία τερματισμού μίας άλλης, να ζητήσει τον περιγραφέα κόμβου ή τον περιγραφέα ισχύος μιας συγκεκριμένης συσκευής ή κοί τον απλό περιγραφέα ενός συγκεκριμένου σημείου τερματισμού της. Για τις παραπάνω αιτήσεις είναι απαραίτητη η διεύθυνση δικτύου της συσκευής. Τέλος υπάρχει και η περίπτωση να συμπεριλαμβάνονται σε ένα αίτημα η ταυτότητα του προφίλ και οι ταυτότητες των συμπλεγμάτων που υποστηρίζονται από τον αποστολέα. Ο παραλήπτης αυτού του αιτήματος θα απαντήσει με τη λίστα των σημείων τερματισμού του, που υποστηρίζουν το συγκεκριμένο προφίλ και τα συγκεκριμένα συμπλέγματα δεδομένων.
- Διαχείριση ασφάλειας. Τα ZDO είναι υπεύθυνα για την ενεργοποίηση ή όχι της ασφάλειας. Όταν η ασφάλεια είναι ενεργοποιημένη, πρέπει να καθορίσουν το επίπεδο στο οποίο θα εφαρμόζεται, να δημιουργήσουν τα κλειδιά που είναι απαραίτητα για την κρυπτογράφηση των δεδομένων, να φροντίσουν για τη μεταφορά αυτών στις υπόλοιπες συσκευές που συμμετέχουν στην επικοινωνία και να πιστοποιούν την ταυτότητα των συσκευών που στέλνουν τα πλαίσια.
- Διαχείριση δικτύου. Αυτή επιτυγχάνεται με τις στοιχειώδεις υπηρεσίες που υποστηρίζονται από το NLME-SAP. Τα ZDO ζητούν από το επίπεδο δικτύου να ανιχνεύσει ένα συγκεκριμένο σύνολο καναλιών, επιλέγουν το κατάλληλο κανάλι για τη δημιουργία ενός δικτύου ή για την ένταξη σε ένα δίκτυο με βάση τα αποτελέσματα των ανιχνεύσεων, ξεκινούν τη διαδικασία για αποχώρηση ή ένταξη σε ένα δίκτυο και επιτρέπουν ή απαγορεύουν σε άλλες συσκευές να συνδεθούν.
- Διαχείριση συνδέσεων μεταξύ σημείων τερματισμού. Τα ZDO διαχειρίζονται τις εγγραφές (πρόσθεση, αφαίρεση) σε έναν πίνακα συνδέσεων και εξυπηρετούν τις αιτήσεις των εφαρμογών για σύνδεση με κάποια άλλη εφαρμογή σε μία απομακρυσμένη συσκευή.
- Διαχείριση κόμβου. Με αυτή, οι συντονιστές και οι δρομολογητές μπορούν να επιτύχουν τη διαχείριση μιας απομακρυσμένης συσκευής τερματισμού.

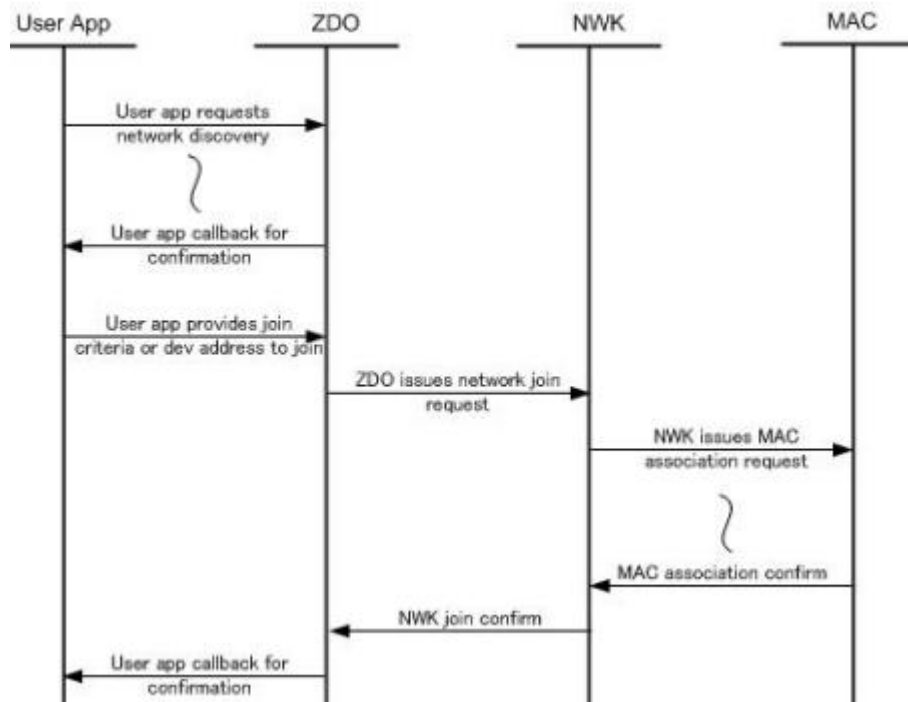
5.2 Δημιουργία ενός δικτύου

Μόνο συσκευές ZigBee που έχουν τη δυνατότητα να γίνουν συντονιστές δικτύων μπορούν να ξεκινήσουν αυτή τη διαδικασία. Αρχικά, το επίπεδο εφαρμογών ζητά από το επίπεδο δικτύου να δημιουργήσει ένα καινούριο δίκτυο με συγκεκριμένα χαρακτηριστικά. Η διαδικασία συνεχίζεται με την εκτέλεση ανίχνευσης ενέργειας σε ένα σύνολο καναλιών.

Η ανίχνευση αυτή πραγματοποιείται από το επίπεδο δικτύου, με τη βοήθεια των κατώτερων επιπέδων. Με τη λήψη των αποτελεσμάτων, το επίπεδο δικτύου κατατάσσει τα κανάλια σε μία σειρά, ξεκινώντας από το κανάλι στο οποίο μετρήθηκε η χαμηλότερη ενέργεια. Επίσης απορρίπτει τα κανάλια στα οποία η ενέργεια ξεπερνά ένα αποδεκτό επίπεδο, το οποίο καθορίζεται από την εφαρμογή για την αποφυγή παρεμβολών.

Στη συνέχεια το επίπεδο δικτύου, με τη βοήθεια των κατώτερων, εκτελεί ενεργή ανίχνευση των αποδεκτών καναλιών, ψάχνοντας για συσκευές. Τα αποτελέσματα της ανίχνευσης παραδίδονται στο επίπεδο δικτύου, το οποίο προσδιορίζει τον αριθμό και τις ταυτότητες των δικτύων που λειτουργούν σε κάθε κανάλι. Ως κανάλι λειτουργίας του δικτύου επιλέγεται εκείνο με το μικρότερο αριθμό δικτύων.

Έπειτα επιλέγεται η ταυτότητα του δικτύου. Αυτή έχει μήκος 16 bits, δεν πρέπει να είναι μία από τις κρατημένες για ειδικούς σκοπούς (π.χ εκπομπή σε όλα τα δίκτυα) και πρέπει να προσδιορίζει μοναδικά το δίκτυο στη συγκεκριμένη περιοχή. Η αδυναμία εύρεσης κατάλληλου καναλιού ή μοναδικής ταυτότητας, οδηγείται διαδικασία σε τερματισμό.



Αφού επιλεγεί η ταυτότητα, το επίπεδο δικτύου του συντονιστή πρέπει να προσδιορίσει τη διεύθυνση του μέσα στο δίκτυο. Αυτή έχει μήκος 16 bits και την τιμή 0. Έπειτα μέσω του σημείου πρόσβασης υπηρεσιών διαχείρισης του επιπέδου MAC (MLME-SAP), το επίπεδο δικτύου διαμορφώνει τη λειτουργία του MAC, ανάλογα με τις απαιτήσεις της εφαρμογής. Τελικά, το επίπεδο εφαρμογών ενημερώνεται για την επιτυχία της αίτησης και ο συντονιστής είναι πλέον έτοιμος να δεχθεί νέες συσκευές στο δίκτυο.

5.3 Μηχανισμός ανάθεσης διευθύνσεων

Για τη μετάδοση δεδομένων σε ένα δίκτυο, οι συσκευές χρησιμοποιούν μία διεύθυνση με μήκος 16bits. Οι διευθύνσεις αυτές είναι μοναδικές μέσα σε ένα συγκεκριμένο δίκτυο και δίνονται από το γονέα στα παιδιά του. Ο κάθε γονέας παίρνει τις διευθύνσεις από το συντονιστή.

Κατά τη δημιουργία ενός δικτύου, ο συντονιστής του παίρνει την διεύθυνση 0. Αυτός καθορίζει το μέγιστο αριθμό των παιδιών (CM) που επιτρέπεται να έχει

κάθε συσκευή, καθώς και το πόσα από αυτά μπορούν να είναι δρομολογητές (RM).

Για κάθε συσκευή ενός δικτύου ορίζεται μία παράμετρος που ονομάζεται βάθος (d). Αυτό δείχνει τον ελάχιστο αριθμό των βημάτων που απαιτούνται για να φθάσει ένα πλαίσιο της συγκεκριμένης συσκευής στο συντονιστή του δικτύου, χρησιμοποιώντας μόνο συνδέσεις μεταξύ γονέα-παιδιού.

Έτσι ο συντονιστής έχει βάθος 0, ενώ τα παιδιά του έχουν βάθος 1. Το μέγιστο βάθος (dM) του δικτύου καθορίζεται από το συντονιστή.

Κάθε γονέας που βρίσκεται σε βάθος d, δίνει στα παιδιά του που είναι δρομολογητές ένα σύνολο N συνεχόμενων διευθύνσεων. Από αυτό το σύνολο, κάθε παιδί κρατάει την πρώτη διεύθυνση για δική του και τις υπόλοιπες τις μοιράζει στα δικά του παιδιά, με τον ίδιο τρόπο. Το μέγεθος αυτού του συνόλου (N), δίνεται από την παρακάτω σχέση:

$$N = 1 + C_M * (d_m - d - 1) \text{ εάλν } R_M = 1 \text{ ή } N = \frac{1 + C_M - R_M - C_M * R_M^{d_M - d - 1}}{1 - R_M} \text{ εάλν } R_M \neq 1$$

Εάν το N πάρει την τιμή 0, τότε η συγκεκριμένη συσκευή δεν μπορεί να έχει παιδιά και αντιμετωπίζεται ως τερματική συσκευή. Στις τερματικές συσκευές οι διευθύνσεις δίνονται σύμφωνα με την σχέση:

$$A_n = A_r + N * R_m + n \text{ με } 1 \leq n \leq C_M - R_M$$

$$\text{Όπου } A_n = A_p + N * R_M + N$$

5.4 Δρομολόγηση πλαισίων

Κάθε συντονιστής δικτύου και όλοι οι δρομολογητές έχουν από έναν πίνακα δρομολόγησης. Κάθε εγγραφή σε αυτόν περιέχει τη διεύθυνση προορισμού (2 bytes), την κατάσταση της διαδρομής (3 bits) και τη διεύθυνση του επόμενου βήματος (2 bytes). Εκτός του πίνακα δρομολόγησης, στις συσκευές των

συντονιστών και των δρομολογητών υπάρχει και ένας πίνακας ανακάλυψης διαδρομής.

Αυτός περιέχει την ταυτότητα του αιτήματος διαδρομής (1 byte), τη διεύθυνση της συσκευής που έκανε την αίτηση (2 bytes), τη διεύθυνση του αποστολέα του αιτήματος (2 bytes), το κόστος της διαδρομής από τη συσκευή που έκανε την αίτηση ως τη συγκεκριμένη συσκευή (1 byte), το κόστος της διαδρομής από τη συγκεκριμένη συσκευή ως τον τελικό προορισμό (1 byte) και το χρόνο λήξης (2 bytes). Οι εγγραφές στον πίνακα δρομολόγησης έχουν μεγάλη χρονική διάρκεια, ενώ στον πίνακα ανακάλυψης διαδρομής διαγράφονται με τη λήξη της διαδικασίας ανακάλυψης διαδρομής.

Το κόστος της κάθε ζεύξης παίρνει τιμές από 0 ως 7 και ορίζεται από τη σχέση:

$$C = \min\{7, \text{round}\left(\frac{1}{p^4}\right)\}$$

όπου το p είναι η πιθανότητα να παραδοθεί το πακέτο. Η πιθανότητα αυτή εκτιμάται με βάση τις μετρήσεις που εκτελεί το φυσικό επίπεδο σε κάθε κανάλι. Στη συνέχεια για να υπολογιστεί το κόστος της διαδρομής, προσθέτονται τα κόστη όλων των ζεύξεων που την αποτελούν.

Μόλις το επίπεδο εφαρμογών μιας συσκευής συντονιστή ή δρομολογητή στείλει ένα πλαίσιο για μετάδοση στο επίπεδο δικτύου, τότε αυτό ελέγχει τη διεύθυνση προορισμού του πλαισίου.

Αν η συσκευή προορισμού είναι ένα από τα παιδιά του, τότε γίνεται απευθείας μετάδοση. Στην περίπτωση αυτή η διεύθυνση του επόμενου βήματος και η διεύθυνση προορισμού στον πίνακα δρομολόγησης είναι ίδιες. Αν η διεύθυνση προορισμού είναι η διεύθυνση εκπομπής, τότε στο πεδίο διεύθυνση προορισμού της επικεφαλίδας του πλαισίου MAC τοποθετείται η διεύθυνση εκπομπής, ενώ στο πεδίο ταυτότητα δικτύου προορισμού η ταυτότητα του δικτύου στο οποίο ανήκει η συσκευή.

Στην περίπτωση που δεν συμβαίνει κάτι από τα παραπάνω, το επίπεδο δικτύου ψάχνει στον πίνακα δρομολόγησης για μία εγγραφή που να έχει τη συγκεκριμένη διεύθυνση προορισμού. Αν υπάρχει, το πλαίσιο παραδίδεται στο επίπεδο MAC για αποστολή. Στο πεδίο διεύθυνση προορισμού της επικεφαλίδας του πλαισίου MAC τοποθετείται η διεύθυνση του επόμενου βήματος. Το πεδίο διεύθυνση πηγής περιέχει τη διεύθυνση της συσκευής που έστειλε το πλαίσιο.

Στο επόμενο βήμα το πλαίσιο φθάνει σε μία ενδιάμεση συσκευή. Εκεί γίνεται δεκτό από το επίπεδο MAC της συσκευής, αφού έχει ως διεύθυνση προορισμού τη διεύθυνση της συγκεκριμένης συσκευής. Εφόσον δεν ανιχνευθεί κάποιο λάθος, το πλαίσιο παραδίδεται στο επίπεδο δικτύου. Από το πεδίο διεύθυνση προορισμού της επικεφαλίδας δικτύου (NWK Header), καταλαβαίνει ότι πρόκειται για ένα πλαίσιο που δεν προορίζεται για τη συγκεκριμένη συσκευή. Ψάχνει στον πίνακα δρομολόγησης για μία εγγραφή που να έχει τη συγκεκριμένη διεύθυνση προορισμού.

Αν υπάρχει, το πλαίσιο παραδίδεται στο επίπεδο MAC για αποστολή. Στο πεδίο διεύθυνση προορισμού της επικεφαλίδας του πλαισίου MAC τοποθετείται η διεύθυνση του επόμενου βήματος από τον πίνακα δρομολόγησης, ενώ στο πεδίο διεύθυνση πηγής περιέχεται η διεύθυνση της ενδιάμεσης συσκευής. Με αυτά τα διαδοχικά βήματα, το πλαίσιο φθάνει στον τελικό προορισμό του και παραδίδεται στο επίπεδο εφαρμογών.

Υπάρχει βέβαια και το ενδεχόμενο ο πίνακας δρομολόγησης του αποστολέα ή κάποιας ενδιάμεσης συσκευής να μην περιέχει εγγραφή για την συγκεκριμένη διεύθυνση προορισμού. Στην περίπτωση αυτή, το πλαίσιο αποθηκεύεται προσωρινά και ξεκινά η διαδικασία αναζήτησης διαδρομής που περιγράφεται στην επόμενη παράγραφο. Με το τέλος αυτής, συμπληρώνεται ο πίνακας δρομολόγησης και συνεχίζεται η αποστολή του πλαισίου προς τον τελικό προορισμό.

Η παραπάνω διαδικασία ισχύει μόνο όταν η συσκευή έχει δυνατότητες δρομολόγησης. Οι συσκευές που δεν έχουν τέτοιες δυνατότητες, μπορούν να επικοινωνήσουν μόνο με τα παιδιά και το γονέα τους. Τα πλαίσια που έχουν προορισμό είτε το γονέα είτε κάποιο από τα παιδιά, μεταδίδονται απευθείας. Τα

πλαίσια με προορισμό μία συσκευή που είναι απόγονος κάποιου από τα παιδιά, μεταδίδονται μέσω του κατάλληλου παιδιού.

Όταν ο προορισμός του πλαισίου είναι μία τυχαία συσκευή, η μετάδοση του πλαισίου γίνεται μέσω του γονέα. Αν και αυτός δεν έχει δυνατότητες δρομολόγησης, η μετάδοση συνεχίζεται προς το δικό του γονέα. Η διαδικασία αυτή συνεχίζεται μέχρι το πλαίσιο να φθάσει σε μία συσκευή με δυνατότητες δρομολόγησης, οπότε και μεταδίδεται προς τον τελικό προορισμό.

Κατά τη δρομολόγηση σε ένα Zigbee μόνο οι δρομολογητές και οι coordinators μπορούν να συμμετέχουν. Συγκεκριμένα, υποστηρίζονται τρεις τύποι δρομολόγησης:

- Γειτονική δρομολόγηση (Neighbor Routing) η οποία βασίζεται σε γειτονικούς πίνακες. Οι πίνακες αυτοί, περιέχουν πληροφορίες, των συσκευών που βρίσκονται μέσα στην εμβέλεια ενός κόμβου. Εφόσον η συσκευή προορισμού βρίσκεται στην εμβέλεια το μήνυμα δύναται να σταλεί μέσω των τερματικών συσκευών.
- **Δρομολόγηση Πινάκων (Table/Mesh Routing):** πρόκειται για μία δρομολόγηση, η οποία βασίζεται στο AODV πρωτόκολλο. Συγκεκριμένα, υλοποιεί δρομολόγηση και εξερεύνηση πινάκων δρομολόγησης με τις μετρικές κόστους μονοπατιού. Αν και είναι απαιτητικό σχετικά με το overhead στο δίκτυο, ωστόσο είναι πιο αποδοτικό.
- **Δρομολόγηση Δέντρου (Tree Routing):** Η δρομολόγηση των μηνυμάτων γίνεται ιεραρχικά. Για να σταλεί ένα πακέτο στον προορισμό, δεν απαιτούνται πίνακες δρομολόγησης. Η δρομολόγηση δέντρου, μειώνει το overhead ενώ μπορεί εύκολα να αποφασιστεί ένα ένα πακέτο απαιτείται να αποστείλει προς τα πάνω ή προς τα κάτω στον κόμβο.

5.5 Επίπεδο εφαρμογών (Application layer, APL)

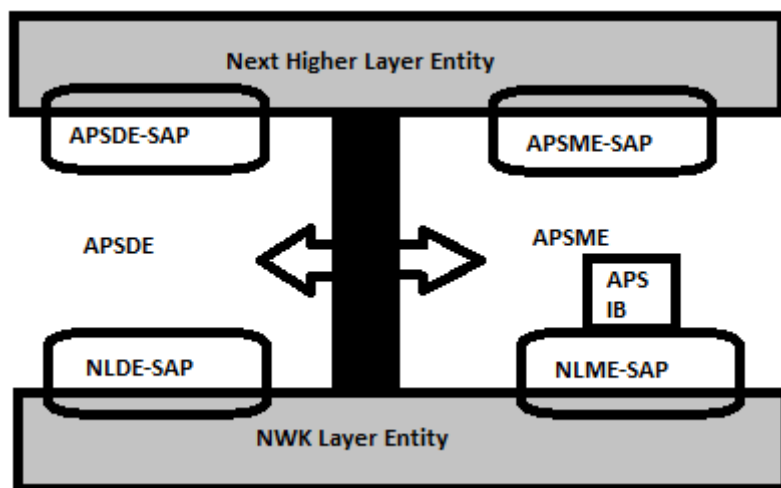
Το επίπεδο εφαρμογών αποτελείται από το υποεπίπεδο υποστήριξης εφαρμογών (Application support sublayer, APS), το πλαίσιο εφαρμογών

(Application framework, AF), τα αντικείμενα συσκευής ZigBee (ZigBee Device Objects, ZDO) και από τις καθορισμένες από τον κατασκευαστή εφαρμογές. Το υποεπίπεδο APS είναι υπεύθυνο για τη μεταφορά των δεδομένων των εφαρμογών σε άλλες συσκευές του δικτύου.

Επίσης υποστηρίζει την ανακάλυψη συσκευών και την εγκατάσταση συνδέσεων με αυτές. Τα ZDO είναι αυτά που καθορίζουν το ρόλο της κάθε συσκευής στο δίκτυο, τον τρόπο λειτουργίας της και παρέχουν τη δυνατότητα για ανακάλυψη υπηρεσιών και συσκευών στις εφαρμογές. Επίσης διαχειρίζονται όλους τους μηχανισμούς που έχουν σχέση με την ασφάλεια. Το πλαίσιο εφαρμογών είναι το περιβάλλον στο οποίο φιλοξενούνται οι εφαρμογές μέσα σε μία συσκευή ZigBee. Σε αυτό μπορούν να υπάρξουν μέχρι και 240 εφαρμογές. Για το διαχωρισμό τους, καθεμία έχει το δικό της σημείο τερματισμού.

5.5.1 Υποεπίπεδο υποστήριξης εφαρμογών (Application support sublayer, APS)

Το υποεπίπεδο APS χρησιμοποιεί τις υπηρεσίες που του παρέχονται από το επίπεδο δικτύου μέσω των σημείων πρόσβασης υπηρεσιών NLDE (Network Layer Data Entity) και NLME (Network Layer Management Entity), ενώ ταυτόχρονα παρέχει τις υπηρεσίες του στις εφαρμογές και στα ZDO.



Εικόνα 5.1 Υποεπίπεδο υποστήριξης εφαρμογών

5.6 Μοντέλο αναφοράς APS

Αυτές οι υπηρεσίες παρέχονται διαμέσου των οντοτήτων δεδομένων (APSDDE) και διαχείρισης (APSMDE) και των αντίστοιχων σημείων πρόσβασης υπηρεσιών (APSDDE-SAP και APSMDE-SAP). Επίσης στο υποεπίπεδο αυτό υπάρχει και μία βάση δεδομένων (APSIDB), που περιέχει πληροφορίες σχετικές με τη λειτουργία του.

5.7 Πλαίσια υποεπιπέδου APS

Το πλαίσιο του υποεπιπέδου APS (σχήμα 4-26) αποτελείται από την επικεφαλίδα APS (APS header) και από το ωφέλιμο φορτίο APS (APS payload). Η επικεφαλίδα περιέχει το πεδίο έλεγχος πλαισίου και τα πεδία διευθύνσεων.

Πίνακας 5.1 Πλαίσιο APS

Octets: 1	0/1	0/1	0/2	0/1	Variable
Frame control	Destination end-point	Cluster Identifier	Profile Identifier	Source endpoint	Frame payload
	Addressing fields				
APS header					APS payload

- Το πεδίο έλεγχος πλαισίου (σχήμα 4-27) αποτελείται από τα παρακάτω υποπεδία:
- Τύπος πλαισίου (Frame type, 2 bits). Η τιμή του προσδιορίζει τον τύπο του πλαισίου (δεδομένα, εντολή ή επιβεβαίωση)

- Τρόπος παράδοσης (Delivery mode, 2 bits). Καθορίζει τον τρόπο παράδοσης των δεδομένων στις εφαρμογές (έμμεση και άμεση μετάδοση, εκπομπή)
- Τρόπος έμμεσης μετάδοσης (Indirect address mode, 1 bit). Καθορίζει αν υπάρχουν τα υποπεδία σημείο τερματισμού προορισμού και σημείο τερματισμού πηγής στην επικεφαλίδα του πλαισίου. Όταν έχει την τιμή 1, λείπει το σημείο τερματισμού προορισμού και όταν έχει την τιμή 0, λείπει το σημείο τερματισμού πηγής. Τα παραπάνω ισχύουν μόνο όταν το προηγούμενο υποπεδίο έχει την τιμή 01, ενώ σε διαφορετική περίπτωση αγνοείται.
- Ασφάλεια (Security, 1 bit). Προσδιορίζει αν το πλαίσιο είναι κρυπτογραφημένο.
- Αίτημα επιβεβαίωσης (Ack. Request, 1 bit). Προσδιορίζει αν το συγκεκριμένο πλαίσιο απαιτεί επιβεβαίωση.
- Το επόμενο bit είναι κρατημένο για μελλοντική χρήση.

Τα πεδία διευθύνσεων αποτελούνται τα παρακάτω υποπεδία:

- Σημείο τερματισμού στον προορισμό (destination endpoint, 1 byte). Προσδιορίζει την εφαρμογή στην οποία πρέπει να παραδοθούν τα δεδομένα. Η ύπαρξη του εξαρτάται από τις τιμές των υποπεδίων Delivery mode και Indirect address mode του πεδίου έλεγχος πλαισίου.
- Ταυτότητα συμπλέγματος (cluster identifier, 1 byte). Υπάρχει μόνο στα πλαίσια δεδομένων και χρησιμοποιείται κατά τη διαδικασία μεταφοράς δεδομένων μεταξύ των εφαρμογών. Το σύμπλεγμα καθορίζει τη μορφή που έχουν τα μεταφερόμενα δεδομένα.
- Ταυτότητα προφίλ (profile identifier, 2 bytes). Προσδιορίζει το προφίλ στο οποίο απευθύνεται το πλαίσιο. Υπάρχει στα πλαίσια δεδομένων και στις επιβεβαιώσεις.
- Σημείο τερματισμού στην πηγή (source endpoint, 1 byte). Προσδιορίζει την εφαρμογή που στέλνει τα δεδομένα. Η ύπαρξη του εξαρτάται από τις τιμές

των υποπεδίων Delivery mode και Indirect address mode του πεδίου έλεγχος πλαισίου.

Τα πεδία διευθύνσεων δεν περιέχονται στα πλαίσια εντολών. Σε αυτά οι διευθύνσεις προορισμού και πηγής περιέχονται σε υποπεδία στο ωφέλιμο φορτίο. Το πεδίο ωφέλιμο φορτίο έχει μεταβλητό μήκος και περιέχει συγκεκριμένες πληροφορίες για κάθε τύπο πλαισίου. Στα πλαίσια δεδομένων, περιέχει τα δεδομένα των εφαρμογών. Στα πλαίσια εντολών, περιέχει την ταυτότητα της εντολής και την εντολή. Στα πλαίσια επιβεβαιώσεων δεν υπάρχει.

5.8 Μετάδοση, παραλαβή και επιβεβαίωση πλαισίων

Μία συσκευή μπορεί να μεταδώσει ένα πλαίσιο APS μόνο αν ανήκει στο δίκτυο. Η μετάδοση μπορεί να είναι είτε άμεση είτε έμμεση. Στην άμεση, τα πλαίσια περιλαμβάνουν τα υποπεδία σημείο τερματισμού στον προορισμό και σημείο τερματισμού στην πηγή. Όλες οι συσκευές που διαθέτουν πίνακα συνδέσεων κάνουν άμεσες μεταδόσεις πλαισίων προς κάθε προορισμό.

Στην περίπτωση των έμμεσων μεταδόσεων, τα πλαίσια περιλαμβάνουν μόνο ένα από τα παραπάνω υποπεδία και έχουν την τιμή 10 στο υποπεδίο τρόπος παράδοσης. Όλες οι συσκευές που δεν διαθέτουν πίνακα συνδέσεων, όταν κάνουν μία έμμεση μετάδοση θα πρέπει να την κατευθύνουν προς τη συσκευή του συντονιστή που περιέχει τον αντίστοιχο πίνακα.

Το συγκεκριμένο πλαίσιο δεν θα περιέχει το υποπεδίο σημείο τερματισμού στον προορισμό. Ο συντονιστής με τη βοήθεια του πίνακα συνδέσεων, θα βρει τη διεύθυνση προορισμού και το αντίστοιχο σημείο τερματισμού. Στη συνέχεια, θα μεταδώσει το πλαίσιο προς τον τελικό προορισμό χωρίς το υποπεδίο σημείο τερματισμού στην πηγή.

Η έμμεση μετάδοση χρησιμοποιείται κυρίως από πολύ απλές συσκευές που δεν έχουν τη δυνατότητα να αποθηκεύουν μεγάλο όγκο δεδομένων. Για μία άμεση μετάδοση, η συσκευή θα πρέπει να γνωρίζει τη διεύθυνση προορισμού, το σημείο τερματισμού στον προορισμό και την ταυτότητα του συμπλέγματος. Σε μία έμμεση μετάδοση, μόνο η ταυτότητα του συμπλέγματος απαιτείται.

Και στις δύο περιπτώσεις, έμμεση και άμεση μετάδοση, η μεταφορά του πλαισίου από την πηγή στον προορισμό επιτυγχάνεται μέσω των υπηρεσιών που παρέχουν τα κατώτερα στρώματα.

Στην πλευρά του δέκτη, το υποεπίπεδο APS παραλαμβάνει τα πλαίσια από το επίπεδο δικτύου. Όταν το πλαίσιο περιέχει και τα δύο υποπεδία, το APS το παραδίδει στην εφαρμογή που καθορίζεται από το σημείο τερματισμού στον προορισμό. Στην περίπτωση των έμμεσων μεταδόσεων, όπου το υποπεδίο τρόπος παράδοσης έχει την τιμή 10, ο τρόπος χειρισμού του πλαισίου είναι διαφορετικός. Αν ένα πλαίσιο περιέχει μόνο το υποπεδίο σημείο τερματισμού στην πηγή και φθάσει σε μία συσκευή που διαθέτει πίνακα συνδέσεων, τότε θα βρεθεί στον πίνακα η αντίστοιχη εγγραφή και το πλαίσιο θα αποσταλεί προς τον τελικό του προορισμό χωρίς το υποπεδίο σημείο τερματισμού στην πηγή.

Αν η συσκευή δεν διαθέτει πίνακα ή ο πίνακας δεν περιέχει την κατάλληλη εγγραφή, το πλαίσιο θα απορριφθεί. Επίσης, το πλαίσιο θα απορριφθεί και στην περίπτωση που η συσκευή δεν διαθέτει πίνακα και δεν υπάρχει το υποπεδίο σημείο τερματισμού στον προορισμό.

Εκτός από την άμεση και έμμεση μετάδοση, υπάρχει και η εκπομπή προς όλες τις εφαρμογές που περιέχονται σε μία συσκευή. Στην περίπτωση αυτή, το υποπεδίο τρόπος παράδοσης έχει την τιμή 01 και το πλαίσιο APS έχει τα υποπεδία ταυτότητα συμπλέγματος, ταυτότητα προφίλ και σημείο τερματισμού στην πηγή (με τιμή 255). Ως διεύθυνση προορισμού στην επικεφαλίδα δικτύου χρησιμοποιείται η διεύθυνση εκπομπής στο δίκτυο.

Σε κάθε πλαίσιο APS υπάρχει υποπεδίο αίτημα επιβεβαίωσης (Ack request). Όταν αυτό έχει την τιμή 1, ο δημιουργός του πλαισίου απαιτεί από τον παραλήπτη να του επιβεβαιώσει την ορθή λήψη. Εφόσον η επιβεβαίωση δεν έρθει μέσα σε ένα ορισμένο χρονικό διάστημα, το πλαίσιο μεταδίδεται ξανά.

Η παραπάνω διαδικασία επαναλαμβάνεται είτε μέχρι να έρθει μία επιβεβαίωση είτε μέχρι να συμπληρωθεί ο μέγιστος αριθμός επαναμεταδόσεων (3 επαναμεταδόσεις). Στην περίπτωση των έμμεσων μεταδόσεων, η ενδιάμεση συσκευή που αναλαμβάνει να μεταδώσει το πλαίσιο στον τελικό προορισμό, έχει την υποχρέωση να στείλει μία επιβεβαίωση στο δημιουργό του πλαισίου. Στη συνέχεια στέλνει το πλαίσιο προς τον τελικό προορισμό και απαιτεί από αυτόν να της στείλει επιβεβαίωση.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6ο

6.1 Zigbee Τεχνολογίες υλοποίησης

Οι εταιρείες που είναι μέλη της ZigBee Alliance δημιουργούν μονάδες αλλά και ολοκληρωμένα κυκλώματα υλοποίησης του πρωτοκόλλου. Η τεχνολογία εξελίσσεται και επομένως είναι αναγκαία η κάλυψη πιο απαιτητικών εφαρμογών.

Atmel

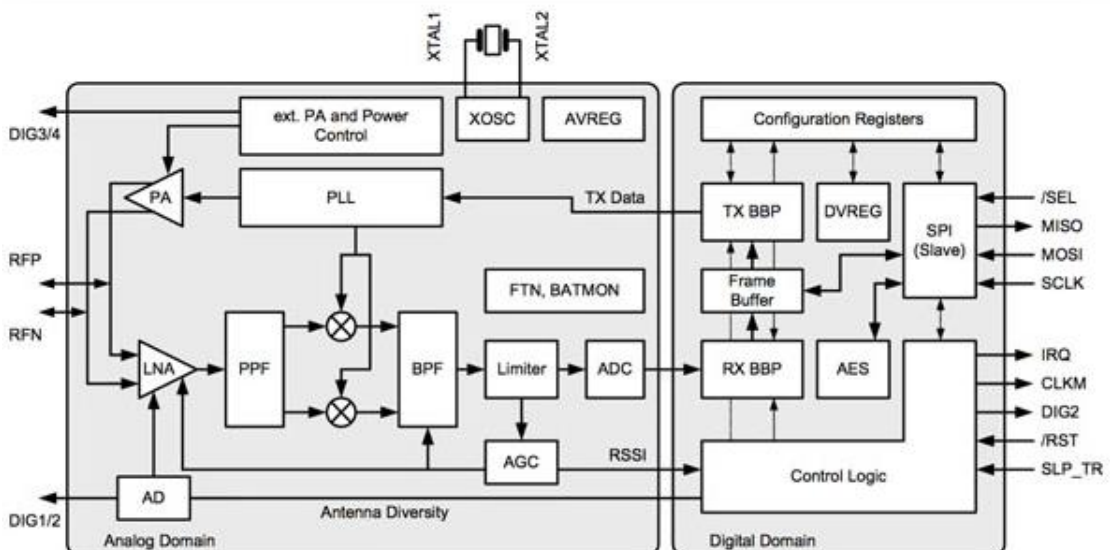
Το AT86RF31 συντίθεται από δύο βαθμίδες. Τη βαθμίδα του πομποδέκτη και τη βαθμίδα για τη διασύνδεση του IC με έναν εξωτερικό μικροελεγκτή. Η διασύνδεση αυτή επιτυγχάνεται διαμέσω του SPI. Η ισχύς εκπομπής μπορεί να προγραμματιστεί από -17 dBm έως +3dBm. Ως προς την τροφοδοσία, αυτή κυμαίνεται από 1.8 έως 3.6 Βόλτ. Συγκεκριμένα, η κατανάλωση ρεύματος διαμορφώνεται ως εξής:

SLEEP=0.02A

TRX_OFF=0.4mA

RX_ON=12.3mA

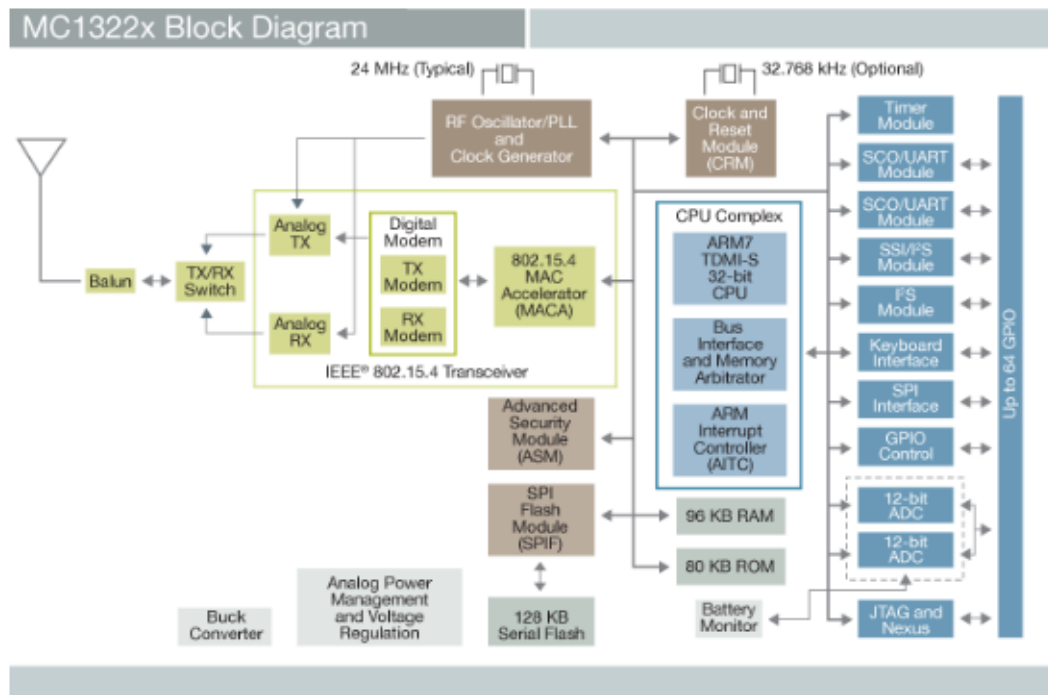
BUSY_TX=14mA



Εικόνα 6.1 Δομή ATMEL

FreeScale

Η νέα τεχνολογία είναι η MC13224V τρίτης γενιάς Zigbee. Πρόκειται για ένα ολοκληρωμένο το οποίο περιλαμβάνει πομποδέκτη χαμηλής ισχύος και χαρακτηρίζεται ως PiP. Περιλαμβάνει έναν μικροελεγκτή με πυρήνα ARM7 32 bits ώστε να επιτυγχάνεται προσαρμογή της εξόδου του πομποδέκτη με την κεραία. Επιπλέον, περιλαμβάνει Flash μνήμη 128KB και ROM 80 KB²⁰.



Εικόνα 6.2 Δομή Freescale

Υπάρχει η δυνατότητα προγραμματισμού της ισχύος εκπομπής, από -30dBm έως +4dBm. Η τάση ξεκινάει από 2 έως 3,6 Βολτ. Ωστόσο η κατανάλωση ρεύματος είναι μεταβαλλόμενη:

- TRX_ON=29mA
- RX_ON=22mA
- Radio off MCU active=3.3mA
- Radio off MCU idle=0.8 mA
- Radio off MCU off=0.4 μA

MaxStream

²⁰ <http://www.nxp.com/products/microcontrollers-and-processors/arm-processors/kinetis-cortex-m-mcus/k-series/k3x-slcd-mcus/2.4-ghz-802.15.4-rf-and-32-bit-arm7-mcu-with-128kb-flash-96kb-ram:MC13224V>

Η εταιρεία κατέχει τα πρότυπα XBEE και XBEE PRO. Τα modules Xbee και Xbee-PRO OEM RF Modules κατασκευάστηκαν ώστε να πληρούν τα πρότυπα IEEE 802.15.4 και να υποστηρίζουν ανάγκες χαμηλού κόστους και χαμηλής ισχύος στα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων.

Τα modules απαιτούν ελάχιστη ισχύ και παρέχουν αξιόπιστη μεταφορά δεδομένων ανάμεσα στις συσκευές. Επίσης τα modules λειτουργούν στο πλαίσιο ISM συχνοτήτων 2,4 GHz²¹.



Εικόνα 6.3 xBee και xBee Pro

6.2 Ασφάλεια

Σε ένα ασύρματο δίκτυο, τα μεταδιδόμενα μηνύματα μπορούν να ληφθούν από οποιαδήποτε κοντινή συσκευή. Υπάρχουν δύο κύριες ανησυχίες για την ασφάλεια σε ένα ασύρματο δίκτυο.

Η πρώτη είναι η εμπιστευτικότητα των δεδομένων. Η συσκευή εισβολέας μπορεί να αποκτήσει ευαίσθητες πληροφορίες μέσω των μεταδιδόμενων μηνυμάτων.

Η κρυπτογράφηση των μηνυμάτων πριν την μετάδοση θα λύσει το πρόβλημα της εμπιστευτικότητας. Ένας αλγόριθμος κρυπτογράφησης τροποποιεί ένα μήνυμα χρησιμοποιώντας μια σειρά από bits γνωστή ως το κλειδί ασφαλείας, και μόνο ο παραλήπτης είναι σε θέση να ανακτήσει το αρχικό μήνυμα. Το πρότυπο IEEE 802.15.4 υποστηρίζει τη χρήση του Advanced Encryption Standard (AES) για την κρυπτογράφηση εξερχόμενων μηνυμάτων²².

²¹ <https://www.sparkfun.com/datasheets/Wireless/Zigbee/XBee-Manual.pdf>

²² R. B. Staszewski and P. T. Balsara , “ All-Digital Frequency Synthesizer in DeepSubmicron CMOS , ” John Wiley & Sons , 2006

Μία δεύτερη ανησυχία είναι ότι η συσκευή εισβολέας μπορεί να τροποποιήσει και να ξαναστείλει ένα προηγούμενο μήνυμα, ακόμη κι αν τα μηνύματα είναι κρυπτογραφημένα μηνύματα. Συμπεριλαμβανομένου του κώδικα ακεραιότητας μηνύματος (MIC) με κάθε εξερχόμενο πλαίσιο ο παραλήπτης θα είναι σε θέση να γνωρίζει αν το μήνυμα έχει αλλαχτεί κατά τη μεταφορά. Αυτή η διαδικασία είναι γνωστή ως πιστοποίηση δεδομένων.

Ένα από τα κύρια εμπόδια στην εφαρμογή των χαρακτηριστικών ασφαλείας σε ένα ασύρματο δίκτυο ZigBee, είναι οι περιορισμένοι πόροι. Οι κόμβοι είναι κυρίως μπαταρίες και έχουν περιορισμένη υπολογιστική ισχύ αλλά και μικρό μέγεθος μνήμης. Το ZigBee εξάλλου στοχεύει σε εφαρμογές χαμηλού κόστους και το υλικό σε κόμβους μπορεί να επομένως να είναι ευάλωτο σε παραβιάσεις. Εάν ένας εισβολέας αποκτά ένα πρόσβαση σε έναν κόμβο από ένα δίκτυο λειτουργίας που δεν έχει παραβιαστεί, το πραγματικό κλειδί θα μπορούσε να ληφθεί μόνο από τη μνήμη της συσκευής. Ένας κόμβος μπορεί να διαγράψει ευαίσθητες πληροφορίες, συμπεριλαμβανομένων και των κλειδιών ασφαλείας, σε περίπτωση αλλοίωσης

6.3 Πύλη Zigbee

Μια πύλη ZigBee παρέχει τη διεπαφή μεταξύ ενός δικτύου ZigBee και κάποιου άλλου δικτύου χρησιμοποιώντας ένα διαφορετικό πρότυπο. Για παράδειγμα, εάν η ασύρματη δικτύωση ZigBee χρησιμοποιείται για να συλλέξει πληροφορίες ασθενών σε τοπικό επίπεδο μέσα σε ένα δωμάτιο, οι πληροφορίες μπορεί να χρειαστεί να μεταδοθούν μέσω του Διαδικτύου σε ένα σταθμό παρακολούθησης. Στην περίπτωση αυτή, τα εργαλεία πύλης ZigBee και το πρωτόκολλο του Internet θα πρέπει να είναι σε θέση να μεταφράσουν τα πακέτα ZigBee σε μορφή πακέτων πρωτοκόλλου Internet, και το αντίστροφο²³.

6.4 ZigBee Μεταφορά

Ένα από τα βασικά χαρακτηριστικά του προτύπου ZigBee είναι η δυνατότητα δικτύωσης mesh. Σε ένα μεγάλο καταναμημένο δίκτυο πλέγματος, ένα μήνυμα αναμεταδίδεται από τη μία συσκευή στην άλλη μέχρι να φτάσει σε ένα μακρινό

²³ Xiaolong Li, (2014), Information technology and application, USA, CRC Press

Ασύρματα δικτυακά αισθητήρια zigbee

προορισμό. Το όνομα ZigBee επιλέχθηκε για τη μεταφορά πληροφοριών σε συσκευές που επικοινωνούν μεταξύ τους²⁴.

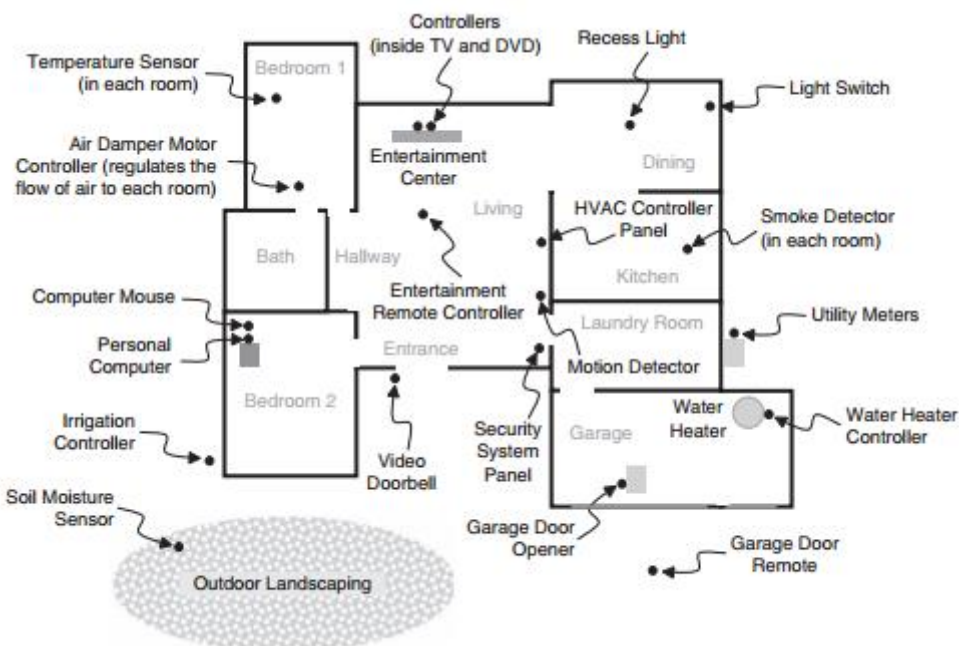
6.5 Παραδείγματα εφαρμογών Zigbee

Η δικτύωση ZigBee έχει ένα ευρύ φάσμα εφαρμογών, που περιλαμβάνουν αλλά δεν περιορίζονται μόνο στους οικιακούς αυτοματισμούς, την παρακολούθηση και την απογραφή δεδομένων αλλά και σε εκπαιδευτικές μονάδες²⁵.

6.5.1 Οικιακοί αυτοματισμοί

Οι οικιακοί αυτοματισμοί είναι ένας από τους σημαντικότερους τομείς εφαρμογής για την ασύρματη δικτύωση ZigBee.

Η τυπική ταχύτητα δεδομένων στο σπίτι όσον αφορά τους αυτοματισμούς, είναι μόνο 10 Kbps . Στην εικόνα, βλέπουμε μερικές από τις πιθανές εφαρμογές ZigBee, σε ένα τυπικό κτίριο κατοικιών²⁶.



Εικόνα 6.4 Αυτοματισμοί κτιρίων

6.5.2 Συστήματα ασφαλείας

Ένα σύστημα ασφαλείας μπορεί να αποτελείται από διάφορους αισθητήρες, συμπεριλαμβανομένων των ανιχνευτών κίνησης, διακόπτες γυαλιού,

²⁴ J. Adams , et al. , " Busy as a Bee , " IEEE Spectrum, Oct . 2006 , available at [http:// spectrum.ieee.org](http://spectrum.ieee.org) .

²⁵ J. Gutierrez et al. , " Low-Rate Wireless Personal Area Networks , " IEEE Press , 2007 .

²⁶ Home Heartbeat (EATON) Zigbee-Based Security System; available at www.homeheartbeat.com

αισθητήρες και κάμερες ασφαλείας. Οι συσκευές αυτές πρέπει να επικοινωνούν με τον κεντρικό πίνακα ασφαλείας είτε μέσω καλωδίου ή μέσω ασύρματου δικτύου. Τέτοιου είδους συστήματα, μπορούν να απλοποιήσουν την εγκατάσταση και την αναβάθμιση των συστημάτων ασφαλείας.

Παρά τη χαμηλή ταχύτητα δεδομένων το ZigBee, είναι ικανό για ασύρματη μεταφορά εικόνων με αποδεκτή ποιότητα. Για παράδειγμα, το ZigBee έχει χρησιμοποιηθεί σε συστήματα ασύρματης κάμερας για την καταγραφή σε βίντεο των επισκεπτών κατά της είσοδό τους.

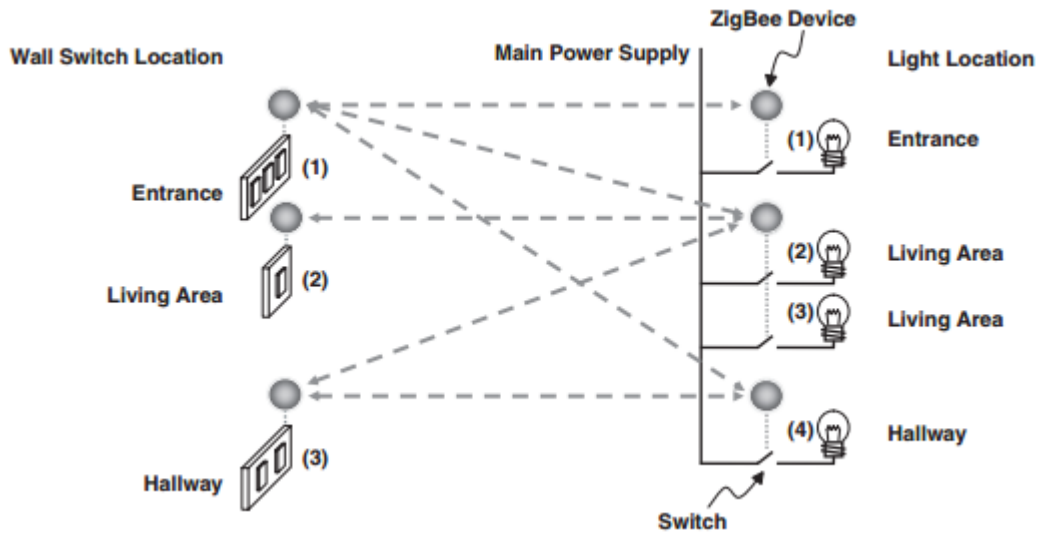
6.5.3 Συστήματα μετρητών ανάγνωσης

Ένα αυτόματο σύστημα ZigBee με βάση το μετρητή ανάγνωσης (AMR) μπορεί να δημιουργήσει αυτοδιαμορφώμενα πλέγματα ασύρματων δικτύων σε οικιστικά συγκροτήματα που συνδέονται με εταιρικά γραφεία κοινής ωφέλειας». Η τεχνολογία AMR παρέχει τη δυνατότητα να παρακολουθούν οι πελάτες από απόσταση το μετρητή ηλεκτρικού, αερίου και νερού ώστε να μην είναι απαραίτητο κάθε άνθρωπος να επισκέπτεται αυτοπροσώπως την εταιρία για να πληροφορηθεί για το λογαριασμό και τις μετρήσεις τους.

Ένα σύστημα AMR μπορεί να κάνει περισσότερα από το να παραδίδει το σύνολο δεδομένων κατά ένα χρονικό διάστημα. μπορεί και να συγκεντρώσει λεπτομερείς πληροφορίες χρήσης, ανιχνεύει αυτόματα τις διαρροές και τα προβλήματα εξοπλισμού, καιβοηθά στην ανίχνευση παραβιάσεων.

Το ZigBee βασίζεται σε ασύρματες συσκευές οι οποίες μπορούν να διαχειρίζονται την επικοινωνία με τις συσκευές στο εσωτερικό της. Για παράδειγμα, όταν υπάρχει ένα κύμα στη χρήση της ηλεκτρικής ενέργειας, ένα ZigBee-enabled στον ηλεκτρικό θερμοσίφωνα μπορεί να απενεργοποιήσει τη λειτουργία για ένα μικρό χρονικό διάστημα ώστε να μειωθεί η ισχύς στην κατανάλωση²⁷.

²⁷ Automatic Meter Reading Association (AMRA); available at www.amra-intl.org.



6.5.4 Αρδευτικά Συστήματα

Ένα σύστημα άρδευσης που βασίζεται σε αισθητήρα μπορεί να οδηγήσει σε αποτελεσματική διαχείριση του νερού. Οι αισθητήρες μπορούν να επικοινωνούν με τον πίνακα άρδευσης και να καταγράφουν το επίπεδο υγρασίας του εδάφους σε διαφορετικά βάθη. Ο ελεγκτής καθορίζει το χρόνο ποτίσματος με βάση το επίπεδο υγρασίας, το είδος των φυτών, την ώρα της ημέρας και την εποχή. Ένα καταναμημένο σύστημα θα εξαλείψει το ασύρματο δίκτυο αισθητήρων καθώς η δυσκολία καλωδίωσης σε σταθμούς αισθητήρων σε όλο το πεδίο μειώνει το κόστος συντήρησης.

6.5.5 Συστήματα ελέγχου φωτισμού

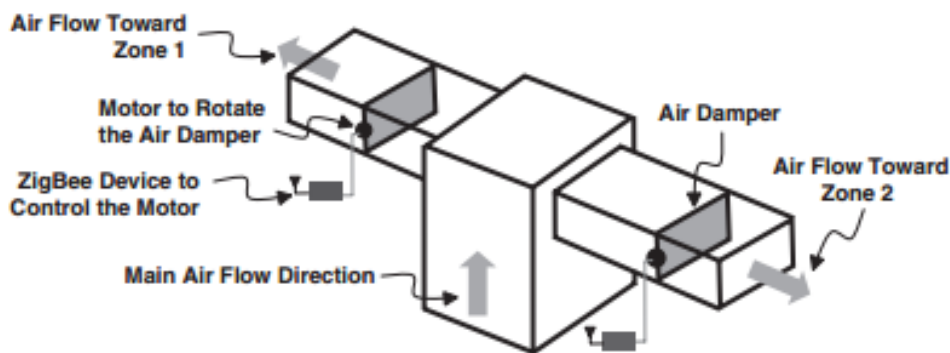
Τα συστήματα ελέγχου φωτισμού είναι ένα από τα κλασικά παραδείγματα της χρήσης ZigBee σε ένα σπίτι ή σε μία κτιριακή εγκατάσταση. Στην παραδοσιακή εγκατάσταση φωτισμού, η ενεργοποίηση και η απενεργοποίηση του φωτός γίνεται εφόσον ο χρήστης πατήσει το διακόπτη και φέρει το σύρμα από το φως σε ένα διακόπτη.

Αν ο διακόπτης είναι εξοπλισμένος με Zigbee δεν υπάρχει ενσύρματη σύνδεση μεταξύ του φωτός και του διακόπτη. Με αυτό τον τρόπο, κάθε αλλαγή στο σπίτι μπορεί να εκχωρηθεί για να ενεργοποιηθεί και να απενεργοποιηθεί ο χρήστης το φως.

Στην παραπάνω εικόνα βλέπουμε ένα παράδειγμα των ασύρματων συνδέσεων μεταξύ των διακοπών τοίχου και των φώτων. Στο παράδειγμα μας τα φώτα βρίσκονται σε μια κατοικημένη είσοδο κτιρίου, στο καθιστικό και στο διάδρομο. Ο διακόπτης που βρίσκεται στον τοίχο συντονίζει την ενεργοποίηση και απενεργοποίηση όλων των φώτων.

6.5.6 Πολλαπλά Συστήματα HVAC Ζώνης

Το σύστημα ελέγχου πολλαπλών ζωνών επιτρέπει την ενιαία θέρμανση, τον αερισμό και τον κλιματισμό μέσω μίας (HVAC) μονάδας η οποία παρέχει χωριστές ζώνες θερμοκρασίας μέσα στο σπίτι. Η οριοθέτηση του συστήματος HVAC μπορεί να βοηθήσει στην εξοικονόμηση ενέργειας με τον έλεγχο της ροής του αέρα σε κάθε δωμάτιο και την αποφυγή ψύξης ή θέρμανσης σε περιττές περιοχές. Στην παρακάτω εικόνα βλέπουμε ένα απλοποιημένο διάγραμμα που δείχνει τον έλεγχο ενός μοτέρ.



Εικόνα 6.6 Πολλαπλά συστήματα HVAC

Στο σύστημα της εικόνας χρησιμοποιούνται αποσβεστήρες αέρα για τη ρύθμιση της ροής του αέρα σε διαφορετικές ζώνες. Οι συσκευές ZigBee ελέγχουν αυτούς τους κινητήρες με βάση τις εντολές που λαμβάνουν από τον κύριο πίνακα ελέγχου HVAC και τους αισθητήρες θερμοκρασίας. Ένας εναλλακτικός τρόπος εφαρμογής ενός συστήματος ελέγχου πολλαπλών ζωνών είναι η σύνδεση του πίνακα ελέγχου ζώνης, κινητήρων και αισθητήρων θερμοκρασιών μέσω καλωδίων αντί για ένα ασύρματο δίκτυο. Ένα ενσύρματο σύστημα έχει λιγότερη ευελιξία και επιπλέον το

κόστος εργασίας για την καλωδίωση είναι υψηλό, αλλά το κόστος των εξαρτημάτων.

6.5.7 Τηλεχειρισμοί

Στα ηλεκτρονικά προϊόντα, όπως σε ασύρματα τηλεχειριστήρια, σε ελεγκτές παιχνιδιών, σε ασύρματες περιφερειακές συσκευές αλλά και σε άλλες εφαρμογές, το Zigbee μπορεί να χρησιμοποιηθεί..

Ένα υπέρυθρο (IR) τηλεχειριστήριο επικοινωνεί με τηλεοράσεις, DVD και άλλες συσκευές ψυχαγωγίας μέσω υπέρυθρων σημάτων. Ο περιορισμός των τηλεχειριστηρίων IR είναι ότι παρέχουν μόνο μονόδρομη επικοινωνία από την απομακρυσμένη συσκευή προς τη συσκευή ψυχαγωγίας. Επίσης, τα σήματα IR δεν διαπερνούν τοίχους και άλλα αντικείμενα και συνεπώς απαιτούν οπτική επαφή για να λειτουργήσουν εντός των ραδιοσυχνοτήτων (RF), όμως, διαπερνούν εύκολα τοίχους και τα περισσότερα αντικείμενα.

Το πρωτόκολλο IEEE 802.15.4 είναι μια κατάλληλη αντικατάσταση για την τεχνολογία IR σε τηλεχειριστήρια, εξαιτίας του χαμηλού κόστους και της μεγάλης διάρκειας ζωής της μπαταρίας της ασύρματης επικοινωνίας ZigBee με βάση IEEE 802.15.4 μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη δημιουργία αμφίδρομης επικοινωνίας μεταξύ του τηλεχειριστηρίου και της συσκευής ψυχαγωγίας.

Για παράδειγμα, οι πληροφορίες τραγουδιού ή η οθόνη προγραμματισμού και οι επιλογές τους μπορούν να βρεθούν στο ίδιο σημείο ακόμη κι όταν δε βρίσκονται στον ίδιο χώρο.

6.5.8 Zigbee και συστήματα υγείας

Μια από τις εφαρμογές του IEEE 802.15.4 στον κλάδο της υγείας είναι η παρακολούθηση πληροφοριών ζωτικής σημασίας για τον ασθενή από απόσταση. Μπορούμε να αναλογιστούμε έναν ασθενή ο οποίος διαμένει στο σπίτι του, αλλά για κάποιους λόγους είναι σημαντικό ότι ο γιατρός του παρακολουθεί τον καρδιακό ρυθμό του και την πίεση του αίματος του, συνεχώς²⁸. Σε αυτό το σύστημα, ένα δίκτυο IEEE 802.15.4 μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη συλλογή

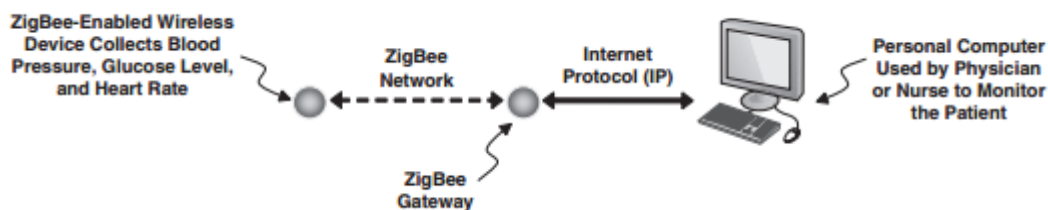
²⁸ J. P. Lynch , “ An overview of wireless structural health monitoring for civil structures , ” Phil. Trans. R. Soc. A , 2007 , pp. 345 – 372

δεδομένων από διάφορους αισθητήρες που συνδέονται με τον ασθενή. Το πρότυπο 802.15.4 χρησιμοποιεί 128-bit και βασική τεχνολογία κρυπτογράφησης (AES) για να μεταφέρει με ασφάλεια δεδομένα μεταξύ συσκευών ZigBee και άλλων δικτύων.

Στην παρακάτω εικόνα, βλέπουμε ένα απλοποιημένο διάγραμμα ενός συστήματος απομακρυσμένου ελέγχου. Ένας ασθενής φοράει μία συσκευή ZigBee που διασυνδέεται με έναν αισθητήρα, όπως ο αισθητήρας πίεσης του αίματος, που συγκεντρώνει πληροφορίες σε περιοδική βάση.

Στη συνέχεια, αυτές οι πληροφορίες μεταδίδονται σε μία ZigBee πύλη. Μια πύλη ZigBee παρέχει τη διεπαφή μεταξύ ενός δικτύου ZigBee και άλλων δικτύων, όπως ένα δίκτυο IP (Internet Protocol).

Οι πληροφορίες του ασθενή μεταδίδονται μέσω του Διαδικτύου σε έναν προσωπικό υπολογιστή που ο γιατρός ή η νοσοκόμα χρησιμοποιεί για να παρακολουθεί τον ασθενή. Το σύστημα αυτό θα μπορούσε να βοηθήσει τα νοσοκομεία να βελτιώσουν τη φροντίδα των ασθενών και να ανακουφίσουν το πρόβλημα του υπερπληθυσμού στα νοσοκομεία δίνοντάς τους τη δυνατότητα να παρακολουθούν τους ασθενείς στο σπίτι.



Εικόνα 6.7 Διάγραμμα απομακρυσμένου ελέγχου

6.5.9 Χρήση σε ξενοδοχειακά συστήματα

Τα συστήματα που είναι βασισμένα στην τεχνολογία ZigBee μπορούν να αντικαταστήσουν τα μαγνητικά συστήματα κάρτας-κλειδιού που χρησιμοποιείται στα ξενοδοχεία για την πρόσβαση στα δωμάτια.

Οι παραδοσιακές πλαστικές κάρτες, έχουν μια μαγνητική ταινία ενώ στην πόρτα βρίσκεται ένας αναγνώστης καρτών ώστε να διαβάζει τις πληροφορίες που

κωδικοποιούνται στην μαγνητική ταινία με αποτέλεσμα να επιτρέψει ή να αρνηθεί την πρόσβαση στο δωμάτιο.

Η εγκατάσταση αυτού του αναγνώστη για κάθε θύρα απαιτεί καλωδίωση από την πόρτα. Εναλλακτικά, ένα σύστημα πρόσβασης δωματίου ZigBee περιλαμβάνει μια φορητή συσκευή ZigBee που δρα ως το κλειδί και μια μπαταρία-powered ZigBee συσκευής μέσα από την πόρτα που κλειδώνει και ξεκλειδώνει. Σε αντίθεση με την παραδοσιακή μέθοδο, το σύστημα πρόσβασης στο δωμάτιο δεν απαιτεί καλωδίωση σε κάθε πόρτα, η οποία μειώνει το κόστος εγκατάστασης.

6.5.10 Πυροσβεστήρες

Οι πυροσβεστήρες πρέπει να ελέγχονται κάθε 30 ημέρες για να διαπιστώνεται ότι όλα τα δοχεία έχουν σωστές πιέσεις. Αντί για τον έλεγχο των πυροσβεστήρων με το χέρι, σε ένα σύστημα παρακολούθησης που βασίζεται σε αισθητήρα ZigBee ένας αισθητήρας επισυνάπτεται σε κάθε πυροσβεστήρα κι έτσι επικοινωνούν ασύρματα με τον συντονιστή, όταν χρειάζεται συντήρηση. Ένα σύστημα παρακολούθησης ZigBee όχι μόνο εξοικονομεί χρόνο και κόστος εργασίας, αλλά βοηθά επίσης στη βελτίωση πυρασφάλειας με άμεση ειδοποίηση των αρχών εάν ένας πυροσβεστήρας δεν λειτουργεί σωστά.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] Hands-on Zigbee [Βιβλίο] / συγγραφέας Eady Fread. - [s.l.] : Newnes, 2007.
- [2]WiFi Handbook [Βιβλίο] / συγγραφείς Frank Ohrtman, Konrad Roeder. - [s.l.] : McGraw Hill, 2003.
- [3] WI-FI, BLUETOOTH, ZIGBEE and WiMAX [Βιβλίο] / συγγραφείς H. LABIOD, H. AFIFI, C. DE SANTIS. - [s.l.] : Springer, 2007.
- [4] WiMAX HANDBOOK [Βιβλίο] / συγγραφέας OHRTMAN FRANK. - [s.l.] : McGraw HILL, 2005. Zigbee
- [5] Specification [Έγγραφο] / συντάκτης Alliance ZigBee. - [s.l.] : ZigBee Alliance, 2007.
- [6] ZIGBEE WIRELESS NETWORKING [Βιβλίο] / συγγραφέας Gislason Drew. - [s.l.] : Newnes, 2008.
- [7] ZIGBEE WIRELESS NETWORKS AND TRANSCEIVERS [Βιβλίο] / συγγραφέας Farahani Shahin. - [s.l.] : Newnes, 2008.

ΔΙΚΤΥΑΚΟΪ ΤΌΠΟΙ

- [1] www.zigbee.org
- [2] www.ti.com
- [3] www.fractus.com
- [4] www.anaren.com
- [5] www.freescale.com
- [6] www.atmel.com
- [7] www.microchip.com

