



# **ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΙΡΑΙΩΣ**

ΤΜΗΜΑ ΨΗΦΙΑΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ  
ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ  
**«ΔΙΔΑΚΤΙΚΗ ΤΗΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΚΑΙ ΨΗΦΙΑΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ»**  
ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΗ: ΔΙΚΤΥΟΚΕΝΤΡΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ

**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**  
“ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΑΡΙ ΓΙΑ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΑΣΥΡΜΑΤΩΝ ΔΙΚΤΥΩΝ  
ΑΙΣΘΗΤΗΡΩΝ”

**ΜΑΡΙΝΟΣ ΙΩΑΝΝΗΣ (ΜΕ09061)**

**Επιβλέπων: Απόστολος Μηλιώνης, Λέκτορας**

ΠΕΙΡΑΙΑΣ 12/2013

---

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η διπλωματική αυτή διατριβή εκπονήθηκε στα πλαίσια του μεταπτυχιακού προγράμματος σπουδών του Τμήματος Διδακτικής της Τεχνολογίας και ψηφιακών συστημάτων, του Πανεπιστημίου Πειραιώς, με κατεύθυνση Δικτυοκεντρικά Συστήματα.

Σε αυτήν, γίνεται μελέτη των Ασύρματων δικτύων αισθητήρων (Wireless Sensors Network, WSN), των διαφορών τις οποίες έχουν από τις ήδη υπάρχουσες τεχνολογίες ασύρματων δικτύων και των εφαρμογών στις οποίες μπορούν αυτά να χρησιμοποιηθούν.

Γίνεται ανάλυση των διαφόρων πρωτοκόλλων επικοινωνίας και δρομολόγησης και τις τεχνικές που χρησιμοποιούνται ώστε να μπορούν τα δίκτυα αυτά να δουλεύουν απρόσκοπτα και με τη μικρότερη κατανάλωση ενέργειας.

Τέλος, γίνεται παρουσίαση του λογισμικού Mobile Sensor API, το οποίο επιτρέπει σε Java MIDlets να μιλούν με φυσικούς και εικονικούς αισθητήρες διαθέσιμους πάνω σε μια συσκευή.

---

## ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Στην εποχή μας η γνώση, στο μεγαλύτερο τουλάχιστον μέρος της, δεν είναι πια προνόμιο των λίγων αλλά δικαίωμα των πολλών.

Θεωρώ υποχρέωσή μου να ευχαριστήσω τους καθηγητές της σχολής μου οι οποίοι μου δίνουν όχι μόνο τα κλειδιά αλλά μου μαθαίνουν και τον τρόπο να ξεκλειδώσω τον θησαυρό της γνώσης.

Ιδιαίτερες ευχαριστίες στον υπεύθυνο καθηγητή μου για την εργασία αυτή κ. Απόστολο Μηλιώνη ο οποίος με κατεύθυνε στην αναζήτηση των πληροφοριών καθ όλη τη διάρκεια της εργασίας.

Τέλος, θέλω να ευχαριστήσω την οικογένειά μου για την επικοινωνιακή της συμπαράσταση μέχρι το πέρας της εργασίας αυτής.

---

## Πίνακας περιεχομένων

|   |    |
|---|----|
| ΠΕΡΙΛΗΨΗ  | 2  |
| ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ   | 3  |
| ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1. ΑΣΥΡΜΑΤΑ ΔΙΚΤΥΑ ΑΙΣΘΗΤΗΡΩΝ (WIRELESS SENSOR NETWORKS)     | 6  |
| 1.1 Εφαρμογές ασύρματων δικτύων αισθητήρων (WSN)                      | 6  |
| 1.2 Ταξινόμηση ασύρματων δικτύων ή Είδη/Τύποι ασύρματων δικτύων       | 8  |
| 1.3 Spread Spectrum Technology  | 18 |
| 1.4 Multiple Access methods   | 22 |
| 1.5 Radio Frequency (RF) Allocations (Κατανομές RF)                   | 23 |
| Κεφάλαιο 2. Μετατροπείς (Transducers) και Αισθητήρες (Sensors)        | 26 |
| 2.1 Εισαγωγή  | 26 |
| 2.2 Μικροαισθητήρες (Microsensors)                                    | 27 |
| 2.3 Μηχανικοί αισθητήρες  | 29 |
| 2.4 Μαγνητικοί και ηλεκτρομαγνητικοί αισθητήρες                       | 30 |
| 2.5 Θερμικοί Αισθητήρες   | 31 |
| 2.6 Οπτικοί Αισθητήρες  | 33 |
| 2.7 Χημικοί Αισθητήρες  | 34 |
| 2.8 Ακουστικοί Αισθητήρες   | 36 |
| 2.9 Signal Conditioning   | 38 |
| 2.10 Ψηφιακή Επεξεργασία Σήματος                                      | 39 |
| 2.11 Λήψη αποφάσεων και User Interface                                | 40 |
| Κεφάλαιο 3. Πρότυπα IEEE 1451 (Standard for Smart Transducers)        | 42 |
| 3.1 Εισαγωγή  | 42 |
| 3.2 MMI, Class 1 & 2  | 46 |
| 3.3 IEEE 1451.4 TEDS Data   | 49 |
| Κεφάλαιο 4. Πρότυπα ZigBee και Bluetooth /IEEE 802.15 για δίκτυα WPAN | 54 |
| 4.1 Εισαγωγή  | 54 |
| 4.2 Bluetooth   | 54 |
| 4.3 ZigBee  | 55 |
| 4.4 Τοπολογίες WPAN   | 58 |
| 4.5 Αλγόριθμος Ad hoc On Demand Distance Vector                       | 62 |
| 4.6 Multi-Cluster Network   | 65 |
| 4.7 IEEE 802.15.4 PHY   | 66 |
| 4.8 IEEE 802.15.4 MAC   | 71 |

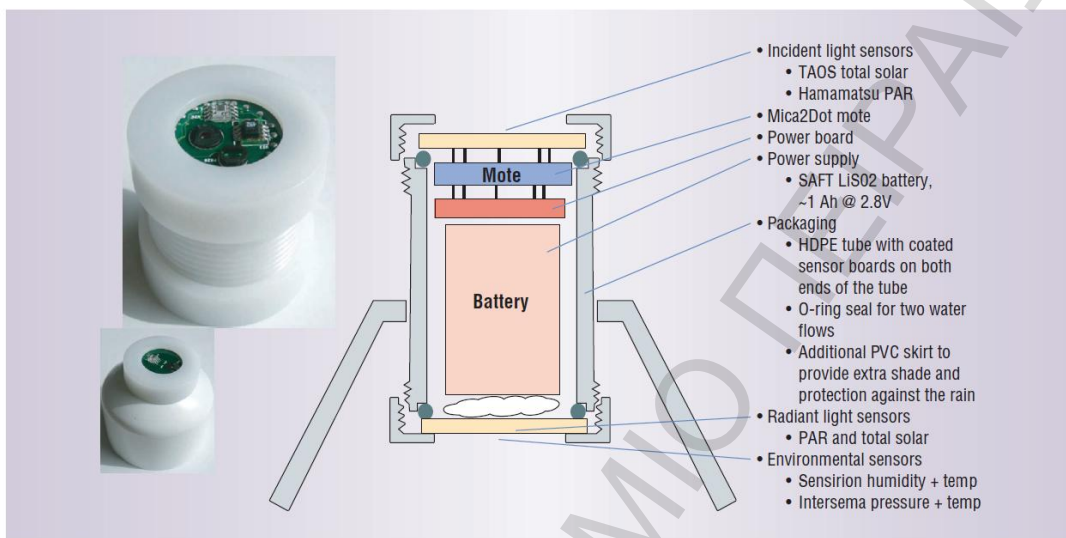
---

|  |     |
|--|-----|
| 4.9 Superframe Structure (Beacon-Enabled mode)                           | 72  |
| 4.10 Αλγόριθμος CSMA-CA (non-Beacon mode)                                | 76  |
| 4.11 MAC Frame Formats   | 78  |
| Κεφάλαιο 5. Πρότυπα Wi-Fi /IEEE 802.11 για δίκτυα WLAN                   | 82  |
| 5.1 Εισαγωγή   | 82  |
| 5.2 IEEE 802.11 Network layer ή Τοπολογίες WLANs                         | 85  |
| 5.3 Infrastructure Mode  | 86  |
| 5.4 IEEE 802.11 PHY Layer  | 88  |
| 5.5 IEEE 802.11 MAC Layer  | 90  |
| 5.6 The Basic Access Method: CSMA/CA                                     | 90  |
| Κεφάλαιο 6. Πρότυπα WiMAX /IEEE 802.16 για δίκτυα WMAN                   | 99  |
| 6.1 Εισαγωγή   | 99  |
| 6.2 Δίκτυα-Mesh / Τοπολογία δικτύου                                      | 100 |
| 6.3 IEEE 802.16 PHY  | 103 |
| 6.4 IEEE 802.16 MAC Επίπεδο  | 106 |
| Κεφάλαιο 7. Mobile Sensor API (JSR 256 for Java Platform, Micro Edition) | 108 |
| 7.1 Εισαγωγή   | 108 |
| 7.2 Καθορισμός Αισθητήρων  | 109 |
| 7.3 Εύρεση των αισθητήρων  | 110 |
| 7.4 Εύρεση όλων των αισθητήρων σε μια συσκευή                            | 111 |
| 7.5 Χειρισμός των πληροφοριών του αισθητήρα                              | 113 |
| 7.6 Συμπεράσματα   | 116 |
| ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ   | 117 |

---

# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1. ΑΣΥΡΜΑΤΑ ΔΙΚΤΥΑ ΑΙΣΘΗΤΗΡΩΝ (WIRELESS SENSOR NETWORKS)

## 1.1 Εφαρμογές ασύρματων δικτύων αισθητήρων (WSN)



**Εικόνα 1: Ασύρματος κόμβος αισθητήρας για περιβαλλοντικό έλεγχο (environmental monitoring) στο μέγεθος κάνιστρου φιλμ**

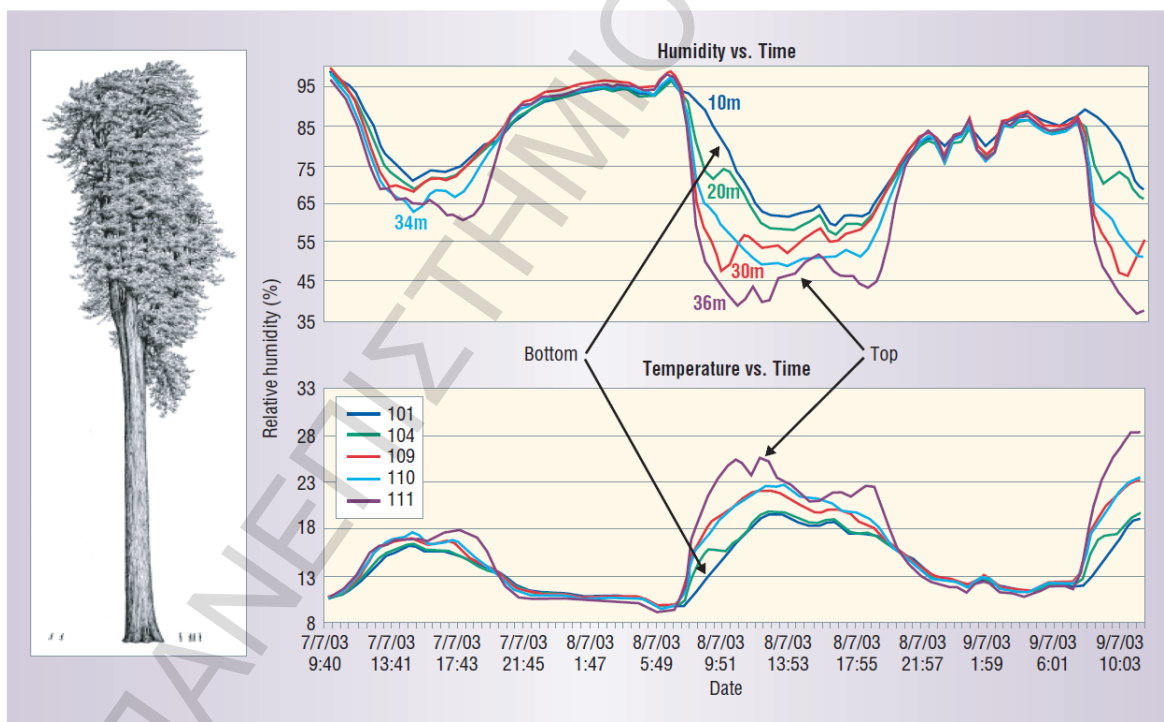
Η στροφή προς τη μαζική παραγωγή έξυπνων αισθητήρων και η χρήση της τεχνολογίας διάχυτης δικτύωσης δίνει στα WSN ένα νέο πεδίο που μπορεί να εφαρμοστεί για ένα ευρύ φάσμα χρήσεων.

Αυτά μπορούν να διαφοροποιηθούν χονδρικά σε:

- τομέα ελέγχου
- την παρακολούθηση αντικειμένων, και
- την παρακολούθηση αλληλεπιδράσεων αντικειμένων μεταξύ τους και με τον περιβάλλοντα χώρο

Η πρώτη κατηγορία περιλαμβάνει περιβαλλοντικό έλεγχο και έλεγχο βιότοπου, γεωργία ακριβείας, εσωτερικό έλεγχο του κλίματος, επιτήρηση, εξακρίβωση συνθηκών, και ευφυείς συναγερούς.

Η δεύτερη περιλαμβάνει διαρθρωτικό έλεγχο, οικοφυσιολογία, κατάσταση που βασίζεται σε συντήρηση εξοπλισμού, ιατρική διάγνωση, και αστική χαρτογράφηση εδάφους. Οι πιο δραματικές εφαρμογές περιλαμβάνουν την παρακολούθηση πολύπλοκων αλληλεπιδράσεων, συμπεριλαμβανομένων βιοτόπων άγριας πανίδας, διαχείρισης καταστροφών, αντιμετώπισης καταστάσεων έκτακτης ανάγκης, πανταχού παρόντων υπολογιστικών περιβάλλοντων, εντοπισμού περιουσιακών στοιχείων, υγειονομικής περίθαλψης, και κατασκευής ροής διαδικασίας.



**Εικόνα 2: Κλιματικά δεδομένα WSN. Το WSN λαμβάνει κλιματικά δεδομένα δειγμάτων κάθε 5 λεπτά και υπολογίζει μέση θερμοκρασία σε κάθε αύξηση**

Με την διεύρυνση της αγοράς και την ανάπτυξη των 6LoWPAN ασύρματων δικτύων αισθητήρων (WSN), οι διαχειριστές δικτύων χρειάζονται όλο και περισσότερο να λαμβάνουν

---

υπόψη τη σημασία των site surveys. Site survey είναι μια διαδικασία που χρησιμοποιείται για την ανίχνευση παρεμβολών που προέρχονται από άλλες ασύρματες πηγές σε μια καθορισμένη περιοχή εφαρμογής. Το site survey πρέπει να γίνεται πριν και μετά την εγκατάσταση για να εξασφαλιστεί ότι έχει επιλεγεί η καταλληλότερη συχνότητα καναλιού για ένα συγκεκριμένο WSN. Επιπλέον, οι site surveys μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τον καθορισμό της καλύτερης θέσης και αριθμού κόμβων 6LoWPAN σε ένα WSN.

Υποβάθμιση απόδοσης ή διαλείπουσες σπασμένες συνδέσεις δικτύου μπορεί να προκύψουν από παρεμβολές και υψηλό bit error rate (BER). Αυτό ισχύει ιδιαίτερα στην unregulated Industrial/Scientific/Medical (ISM) ζώνη των 2,4 GHz στην οποία λειτουργούν οι IEEE 802.15.4/6LoWPAN και 802.11b/g/n (WiFi) και συσκευές. Επιπλέον, πρέπει να γίνει κατανοητό ότι άλλα ηλεκτρονικά εργαλεία – όπως μια κάμερα ασφαλείας, ασύρματο τηλέφωνο, φούρνος μικροκυμάτων, ερασιτεχνικό ραδιόφωνο, ασύρματο ποντίκι USB, πομπός βίντεο, συσκευή ανάγνωσης RFID και άλλα – που τρέχουν στην ίδια ζώνη, μπορούν να συντελέσουν στην παρεμβολή. Η RF υπογραφή (signature) ενός κόμβου 6LoWPAN έχει την ίδια υπογραφή με τον κόμβο ZigBee καθώς χρησιμοποιούν παρόμοια φυσικά επίπεδα chipsets.

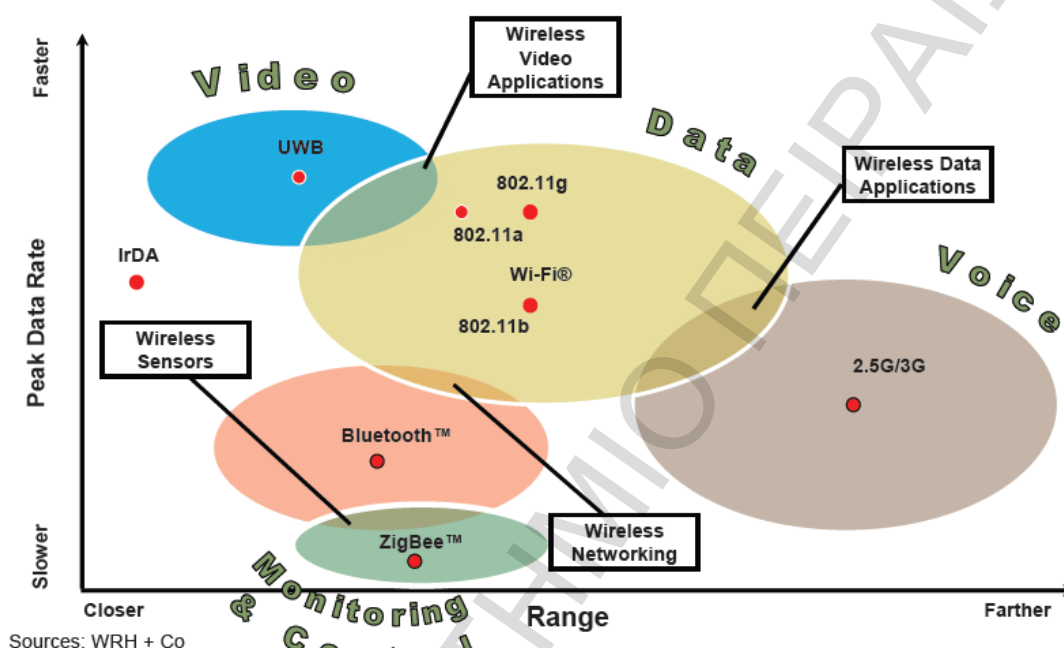
## 1.2 Ταξινόμηση ασύρματων δικτύων ή Είδη/Τύποι ασύρματων δικτύων

### Εισαγωγή

Οι ασύρματες τεχνολογίες δικτύου κυμαίνονται από παγκόσμια δίκτυα φωνής και δεδομένων, τα οποία επιτρέπουν στους χρήστες τη δημιουργία ασύρματων συνδέσεων σε μεγάλες αποστάσεις, ως την υπέρυθρη ακτινοβολία και τεχνολογίες ραδιοσυχνοτήτων που έχουν βελτιστοποιηθεί για μικρής εμβέλειας ασύρματες συνδέσεις. Οι συσκευές που χρησιμοποιούνται συνήθως στα ασύρματα δίκτυα περιλαμβάνουν φορητούς υπολογιστές, υπολογιστές γραφείου, φορητούς υπολογιστές χειρός, προσωπικούς ψηφιακούς βοηθούς (PDAs), κινητά τηλέφωνα, υπολογιστές που βασίζονται σε στυλό, και συσκευές τηλεϊεδοποίησης. Οι ασύρματες τεχνολογίες εξυπηρετούν πολλούς πρακτικούς σκοπούς. Για παράδειγμα, οι χρήστες κινητού μπορούν να χρησιμοποιούν το κινητό τους τηλέφωνο



για πρόσβαση στο e-mail. Οι ταξιδιώτες με φορητούς υπολογιστές μπορούν να συνδεθούν στο Internet μέσω σταθμών βάσης που βρίσκονται σε αεροδρόμια, σιδηροδρομικούς σταθμούς, και άλλους δημόσιους χώρους. Στο σπίτι, οι χρήστες μπορούν να συνδέσουν συσκευές στην επιφάνεια εργασίας τους για να συγχρονίσουν δεδομένα και να μεταφέρουν αρχεία.



**Εικόνα 3: Ταχύτητες μετάδοσης δεδομένων και εμβέλεια διαφόρων προτύπων ασύρματων δικτύων**

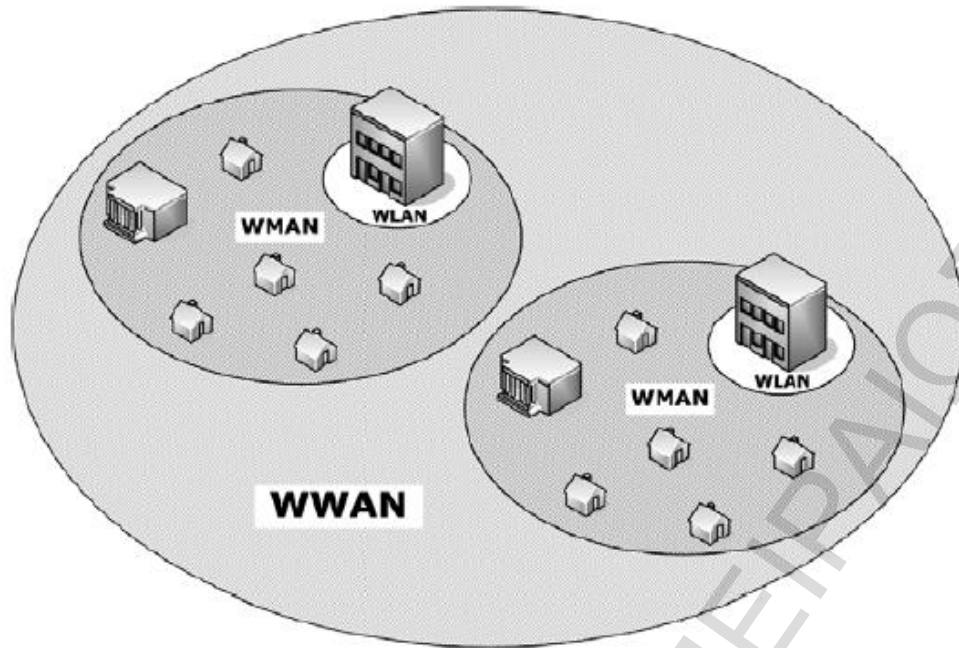
Για την μείωση του κόστους, την εξασφάλιση της διαλειτουργικότητας, και την προώθηση της ευρείας υιοθέτησης ασύρματων τεχνολογιών, οργανισμοί, όπως οι Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE), Internet Engineering Task Force (IETF), Wireless Ethernet Compatibility Alliance (WECA), και η International Telecommunication Union (ITU) συμμετέχουν σε αρκετές μεγάλες προσπάθειες τυποποίησης. Για παράδειγμα, οι IEEE ομάδες εργασίας ορίζουν πως οι πληροφορίες μεταφέρονται από τη μία συσκευή στην άλλη (είτε με ραδιοκύματα ή με υπέρυθρη ακτινοβολία, για παράδειγμα) και το πώς και πότε ένα μέσο μετάδοσης θα πρέπει να χρησιμοποιείται για επικοινωνίες. Κατά την ανάπτυξη προτύπων ασύρματων δικτύων, οργανισμοί όπως ο IEEE, αντιμετωπίζουν τη διαχείριση ενέργειας, το εύρος ζώνης, την ασφάλεια, και ζητήματα που είναι μοναδικά στα ασύρματα δίκτυα.

| Standard name      | Access type   | Status                 | Data rate (aggregate per cell)              | Cell radius                             | User type allowed  | Handover capability | Frequency band  |
|--------------------|---------------|------------------------|---|---|--|---------------------|---|
| IEEE 802.11g/WiFi  | WLAN          | Available              | 54 Mbps                                     | 50–60 m                                 | Fixed (LOS and NLOS),<br>Nomadic                           | No                  | 2.4 GHz   |
| IEEE 802.11n/WiFi  | WLAN          | Expected 2007          | 540 Mbps                                    | 50–60 m                                 | Fixed (LOS and NLOS),<br>Nomadic                           | No                  | 2.4 GHz   |
| ETSI HiperLAN/2    | WLAN          | Available              | 54 Mbps                                     | 50–60 m                                 | Fixed (LOS and NLOS),<br>Nomadic                           | No                  | 5 GHz   |
| IEEE 802.16/WiMAX  | WMAN          | Available              | 36–135 Mbps for<br>LOS, 75 Mbps for<br>NLOS | Up to 70–80 km                          | Fixed (LOS and NLOS)                                       | No                  | 2–66 GHz  |
| IEEE 802.16e/WiMAX | WMAN          | Available              | 30 Mbps                                     | Up to 70–80 km                          | Fixed (LOS and NLOS),<br>Nomadic, mobile                   | Yes                 | 2–6 GHz   |
| ETSI HiperACCESS   | WMAN          | Available              | 25–100 Mbps                                 | 1.8–2.5 km                              | Fixed (LOS)  | No                  | 11–43.5 GHz   |
| ETSI HiperMAN      | WMAN          | Available              | 25 Mbps                                     | 2–4 km                                  | Fixed (LOS and NLOS)                                       | No                  | <11 GHz   |
| WiBro              | WMAN          | Available              | 18 Mbps                                     | 1 km                                    | Fixed (LOS and NLOS),<br>Nomadic, mobile                   | Yes                 | 2.3–2.4 GHz   |
| HAP                | WMAN–<br>WWAN | Available              | Varies                                      | Varies                                  | Varies   | Varies              | 28–31 GHz<br>and 42–43 GHz  |
| IEEE 802.20        | WWAN          | Expected 2007–<br>2008 | 16 Mbps                                     | >15 km                                  | Fixed (LOS and NLOS),<br>Nomadic, mobile, highly<br>mobile | Yes                 | 3.5 GHz   |
| IEEE 802.22        | WMAN–<br>WWAN | Expected 2008          | 18 Mbps                                     | 40 km                                   | Fixed (LOS and NLOS)                                       | No                  | 54–862 MHz  |
| Satellite (GEO)    | WWAN          | Available              | Up to a few Gbps                            | Four satellite gives<br>global coverage | Fixed (LOS), Nomadic, mobile                               | Varies              | 4–8 GHz (C Band),<br>10–18 GHz (Ku<br>Band), 18–31 GHz<br>(Ka Band), 37–<br>50 GHz (Q/V Band) |
| Satellite (MEO)    | WWAN          | Available              | Up to a few Mbps                            | 11 satellite gives<br>global coverage   | Fixed (LOS), Nomadic, mobile                               | Varies              | Same as GSO<br>satellites   |
| Satellite (LEO)    | WWAN          | Available              | Up to a few Mbps                            | Varies                                  | Fixed (LOS), Nomadic, mobile                               | Varies              | Same as GSO<br>satellites   |

#### Εικόνα 4: Σύγκριση προτύπων ασύρματων δικτύων

Η εισαγωγή των κυψελοειδών δικτύων έχει κάνει την κινητικότητα ένα σημαντικό ζήτημα στον τομέα των επικοινωνιών. Παρά το γεγονός ότι τα δίκτυα κινητής τηλεφωνίας παρέχουν υποστήριξη κινητικότητας για μετάδοση φωνής δεν μπορούν να υποστηρίξουν μεταφορά δεδομένων μεγάλου εύρους ζώνης για πολλούς mobile χρήστες ταυτόχρονα. Στόχος των αναδυόμενων ασύρματων δικτύων δεδομένων είναι η παροχή ασύρματων υπηρεσιών συγκρίσιμων με εκείνων των ενσύρματων δικτύων για σταθερούς και κινητούς χρήστες.

Τα ασύρματα δίκτυα δεδομένων μπορούν να ταξινομηθούν σύμφωνα με τις περιοχές κάλυψής τους (Εικόνα 5). Τα ασύρματα τοπικά δίκτυα (WLANs) έχουν σχεδιαστεί για να παρέχουν ασύρματη πρόσβαση σε περιοχές με ακτίνα έως εκατό μέτρα και χρησιμοποιούνται ως επί το πλείστον σε οικιακά και εργασιακά περιβάλλοντα. Τα Wireless Metropolitan Area Networks (WMANs) καλύπτουν ευρύτερες περιοχές, γενικά τόσο μεγάλες όσο ολόκληρες πόλεις. Τα Wireless Wide Area Networks (WWANs) έχουν σχεδιαστεί για περιοχές μεγαλύτερες από μια μόνο πόλη. Διαφορετικά πρότυπα δικτύων προορίζονται για καθεμία από αυτές τις κατηγορίες. Ωστόσο, ορισμένα από αυτά τα πρότυπα ταιριάζουν σε πολλές από αυτές τις κατηγορίες.



**Εικόνα 5: Εμβέλεια ασύρματων δικτύων δεδομένων**

Όπως με τα ενσύρματα δίκτυα, τα ασύρματα δίκτυα μπορούν να ταξινομηθούν σε διαφορετικούς τύπους βάση της απόστασης στην οποία τα δεδομένα μπορούν να μεταδοθούν.

#### Wireless wide area networks (WWANs)

Οι WWAN τεχνολογίες επιτρέπουν στους χρήστες τη δημιουργία ασύρματων συνδέσεων σε απομακρυσμένα δημόσια ή ιδιωτικά δίκτυα. Αυτές οι συνδέσεις μπορούν να διατηρηθούν σε μεγάλες γεωγραφικές περιοχές, όπως πόλεις ή χώρες, με χρήση πολλαπλών θέσεων κεραίας ή δορυφορικών συστημάτων που συντηρούνται από παρόχους ασύρματων υπηρεσιών. Οι υφιστάμενες τεχνολογίες WWAN είναι γνωστές ως δεύτερης γενιάς (2G) συστήματα. Τα βασικά συστήματα 2G περιλαμβάνουν Global System for Mobile Communications (GSM), Cellular Digital Packet Data (CDPD) και Code Division Multiple Access (CDMA). Γίνονται προσπάθειες για τη μετάβαση από τα δίκτυα 2G, μερικά από τα οποία έχουν περιορισμένες δυνατότητες roaming και δεν είναι συμβατά μεταξύ τους, σε τρίτης γενιάς (3G) τεχνολογίες που θα ακολουθούν ένα παγκόσμιο πρότυπο και θα

---

παρέχουν δυνατότητες roaming σε παγκόσμιο επίπεδο. Η ITU προωθεί ενεργά την ανάπτυξη ενός παγκόσμιου προτύπου για 3G και 4G αντίστοιχα.

Τα δορυφορικά συστήματα παρέχουν την ευρύτερη δυνατή κάλυψη για WWAN περιβάλλοντα. Οι δορυφόροι που χρησιμοποιούνται ως επί το πλείστον μεταδίδουν προς μια κατεύθυνση (μόνο downlink). Τα Next Generation Satellite Systems (NGSSs) έχουν Onboard Processing (OBP) και δυνατότητες on-board routing. Σε συνδυασμό με την υποστήριξη μεταφόρτωσης καναλιού, αυτοί οι δορυφόροι θα έχουν μεγαλύτερη ευελιξία και θα διαδραματίσουν σημαντικό ρόλο σε μελλοντικά ευρυζωνικά συστήματα.

Τα Very Small Aperture Terminals (VSAT) είναι σε θέση να παρέχουν εμπορικά βιώσιμη συνδεσιμότητα ακόμα και στις πιο απομακρυσμένες περιοχές της χώρας. Τα VSAT χρησιμοποιούν ένα πολύ μικρό δορυφορικό σταθμό μετάδοσης και λήψης που μεταφέρει δεδομένα, βίντεο και φωνή μέσω δορυφόρου. Η VSAT τεχνολογία είναι ένα ασύρματο δίκτυο επικοινωνίας που έχει συσταθεί με μια σειρά από πομποδέκτες (terminals) που κυμαίνονται σε μέγεθος από 0,6 έως 3,8 σε διάμετρο και συνδέονται με ένα κεντρικό hub μέσω ενός δορυφόρου. Η VSAT είναι σε θέση να υποστηρίζει τα συστήματα backhaul για κάθε τεχνολογία "last-mile". Αυτή η τεχνολογία είναι χρήσιμη σε γεωγραφικά διάσπαρτες περιοχές και σε χώρους όπου δεν υπάρχει εγκατεστημένη υποδομή. Οι πρόσφατες τεχνολογικές εξελίξεις στα VSATs έχουν μειώσει το μέγεθος της κεραίας, απλοποιήσει την εγκατάσταση, μειώσει τις απαιτήσεις χώρου, και μειώσει το κόστος hardware.

Μια άλλη τεχνολογία WWAN είναι το αναδυόμενο IEEE 802.20 πρότυπο. Αυτή η νέα τεχνολογία απευθύνεται σε μεγάλης κινητικότητας οχήματα με ταχύτητες έως και 250 kmph (π.χ., τα τρένα μεγάλης ταχύτητας) για BWA πρόσβαση. Το IEEE 802.20 αναμένεται να καλύψει μεγάλες περιοχές και θα έχει υποστήριξη ευέλικτης κινητικότητας. Έτσι, οι χρήστες κινητών με διαφορετικές ταχύτητες και προφίλ μπορούν να συνδεθούν με το ίδιο IEEE 802.20 BS. Η συνολική μετάδοση του συστήματος δεν αναμένεται να είναι τόσο υψηλή όπως ενός WLAN AP ή ενός WMAN BS λόγω της υψηλής ταχύτητας των χρηστών κινητής τηλεφωνίας.

#### Wireless metropolitan area networks (WMANs)

---

Οι WMAN τεχνολογίες επιτρέπουν στους χρήστες τη δημιουργία ασύρματων συνδέσεων μεταξύ πολλαπλών σημείων μέσα σε μια μητροπολιτική περιοχή (για παράδειγμα, μεταξύ πολλών κτιρίων με πολλά γραφεία σε μια πόλη ή σε μια πανεπιστημιούπολη), χωρίς το υψηλό κόστος τοποθέτησης ινών ή καλωδίων χαλκού και μίσθωσης γραμμών. Επιπλέον, τα WMANs μπορούν να χρησιμεύσουν ως backups για ενσύρματα δίκτυα, όταν οι κύριες μισθωμένες γραμμές για ενσύρματα δίκτυα δεν είναι διαθέσιμες. Τα WMANs χρησιμοποιούν είτε ραδιοκύματα είτε υπέρυθη ακτινοβολία για τη μετάδοση δεδομένων. Τα ασύρματα ευρυζωνικά δίκτυα πρόσβασης, που παρέχουν στους χρήστες υψηλής ταχύτητας πρόσβαση στο Internet, είναι σε αυξανόμενη ζήτηση. Παρά το γεγονός ότι διαφορετικές τεχνολογίες, όπως η multichannel multipoint distribution service (MMDS) και η local multipoint distribution services (LMDS), χρησιμοποιούνται, η IEEE 802.16 ομάδα εργασίας για πρότυπα ευρυζωνικής ασύρματης πρόσβασης εξακολουθεί να αναπτύσσει προδιαγραφές για την τυποποίηση της ανάπτυξης αυτών των τεχνολογιών.

Αν και δεν είναι τόσο ευρέως διαδεδομένα όσο το WLAN, τα WMAN δίκτυα αναμένεται να αναπτυχθούν με αυξανόμενους αριθμούς. Ο IEEE ανέπτυξε το IEEE 802.16 πρότυπο για την παροχή Broadband Wireless Access (BWA) σε σταθερές Line of Sight (LOS) Subscriber Stations (SSS) από ένα base station (BS). Το IEEE 802.16-2005, η τρέχουσα έκδοση, επίσης υποστηρίζει τους non-LOS (NLOS) SSs και Mobile Subscribers (MSs). Έτσι, η προσβασιμότητα σε πυκνοκατοικημένα αστικά περιβάλλοντα αυξάνει σημαντικά. Το IEEE 802.16 είναι μια τεχνολογία με βάση την κυψέλη (cell), στην οποία πολλαπλά cells χρησιμοποιούνται για να καλύψουν αστικές περιοχές. Η μέση μετάδοση ενός IEEE 802.16 cell είναι μεταξύ 75 και 100 Mbps. Από την άλλη πλευρά, το ETSI καθιέρωσε το Broadband Radio Access Networks (BRANs) project του 1997 για την ανάπτυξη προτύπων που παρέχουν ευρυζωνική ασύρματη πρόσβαση σε επιχειρήσεις και οικιακούς χρήστες. Δύο διαφορετικά πρότυπα WMAN εισάγονται στο πλαίσιο του BRAN project:

- το Hiper-ACCESS για LOS και
- το HiperMAN τόσο για LOS όσο και για υποστήριξη χρηστών NLOS

Επιπλέον, Wireless Broadband (WiBro) πρότυπο που αναπτύχθηκε από την TTA (Telecommunications Technology Association) της Νότιας Κορέας με βάση το IEEE 802.16.

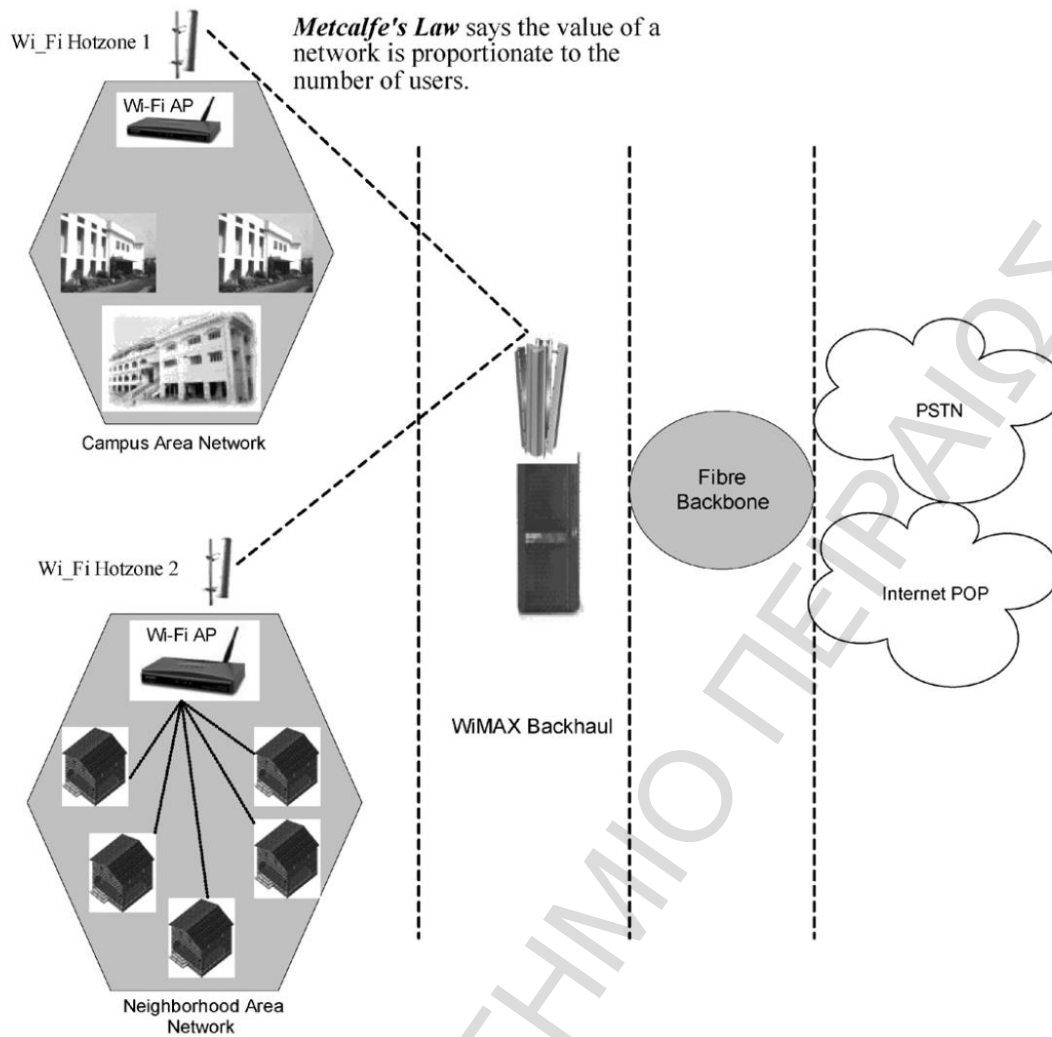
---

Μια διαφορετική προσέγγιση για την υποστήριξη BWA είναι οι High Altitude Platforms (HAPs). Οι HAPs καλύπτουν το κενό μεταξύ WMANs και WWANs. Στα HAP συστήματα, πλωτές πλατφόρμες (ή εναέρια οχήματα) χρησιμεύουν ως BS πάνω από μεγάλες περιοχές, και οι πόλεις που καλύπτονται από πολλαπλές πλατφόρμες. Η πιο σημαντική πλευρά του HAP είναι ικανότητα της πλατφόρμας να φθάσει σχεδόν σε όλα τα κτίρια εντός του LOS της.

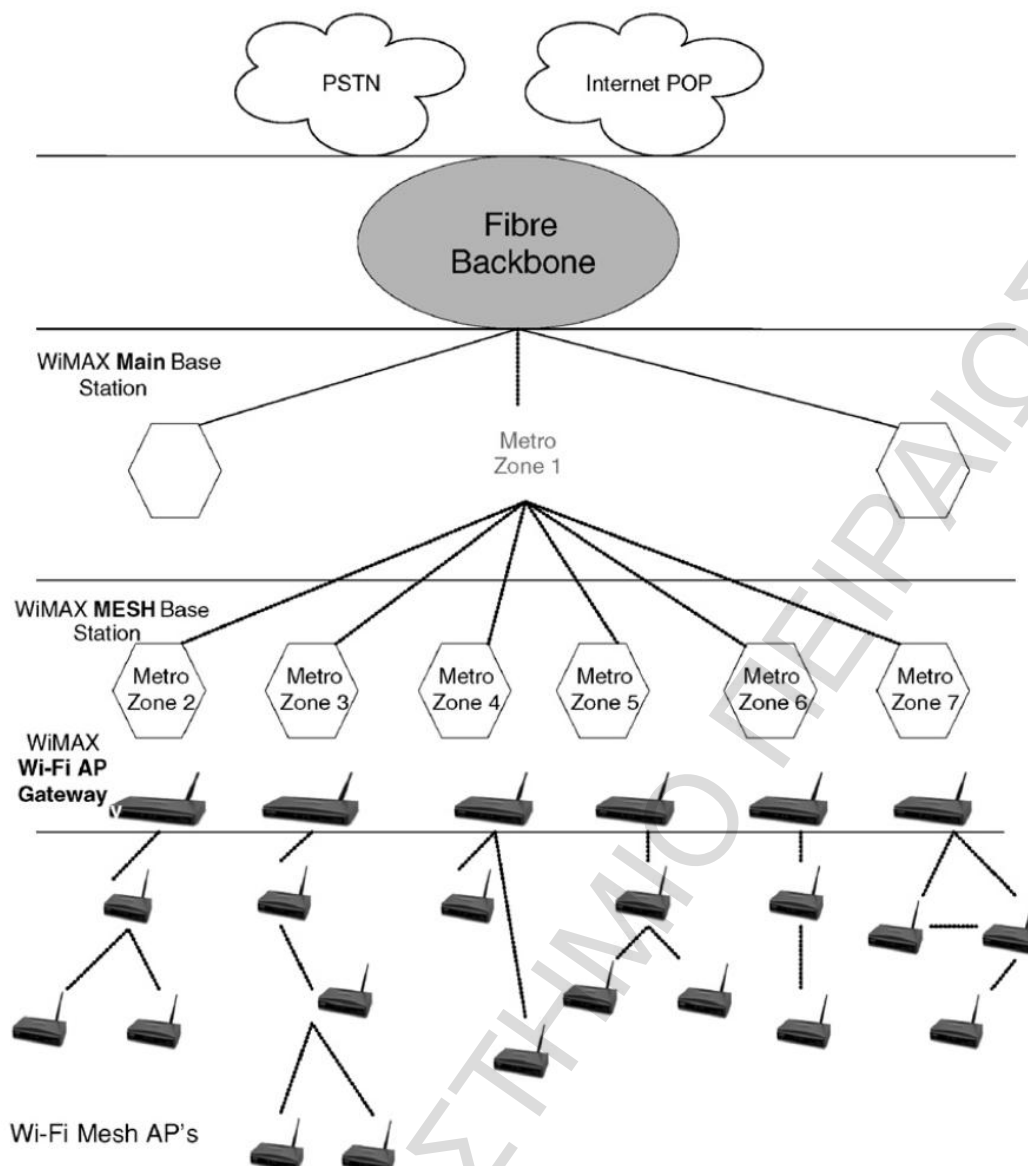
Σε κάποιο στάδιο, αναμένεται το WiMAX να φτάσει τη τιμή και τα επίπεδα απόδοσης του Wi-Fi. Η καταλληλότερη ζώνη συχνοτήτων για WiMAX είναι η 3.5GHz μπάντα και εν συνεχεία η 5.2–5.8 GHz band. Σε ορισμένες χώρες, μπορεί να χρησιμοποιείται και η 2.5–2.7 GHz μπάντα για WiMAX.

Υπάρχουν διάφοροι τρόποι με τους οποίους το WiMAX μπορεί να αναπτυχθεί. Ο πιο δημοφιλής παρέχει backhaul για Wi-Fi σημεία πρόσβασης, και επίσης χρησιμεύει ως backhaul μεταξύ συμβατικών κυψελοειδών πύργων. Ο δεύτερος τρόπος είναι η ανάπτυξη “last mile”, η οποία εξυπηρετεί ιδιώτες και εταιρικούς χρήστες ως εναλλακτική λύση στην καλωδιακή και DSL. Ο τρίτος τρόπος είναι παρόμοιος με το metro Ethernet που παρέχεται σε point-to-multipoint πηγές που ανταγωνίζονται άμεσα τις ίνες. Ο τέταρτος τύπος είναι η mobile έκδοση του WiMAX με βάση το πρότυπο 802.16e.





Εικόνα 6: Υπο-αστικές υποδομές – Wi-Fi



**Εικόνα 7: Αστικές υποδομές με metro zones που δημιουργούν μια Wi-Fi “hot city”**

### Wireless local area networks (WLAN)

Οι WLAN τεχνολογίες επιτρέπουν στους χρήστες τη δημιουργία ασύρματων συνδέσεων μέσα σε μια τοπική περιοχή (για παράδειγμα, μέσα σε ένα εταιρικό κτίριο ή μια πανεπιστημιούπολη, ή σε δημόσιο χώρο, όπως ένα αεροδρόμιο). Τα WLANs μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε προσωρινά γραφεία ή άλλους χώρους όπου η εγκατάσταση



---

εκτεταμένης καλωδίωσης είναι απαγορευτική, ή για να συμπληρώσουν το υφιστάμενο LAN, έτσι ώστε οι χρήστες να μπορούν να εργάζονται σε διαφορετικές θέσεις μέσα σε ένα κτίριο σε διαφορετικές χρονικές στιγμές. Τα WLANs λειτουργούν με δύο διαφορετικούς τρόπους. Στα infrastructure WLANs, οι ασύρματοι σταθμοί (συσκευές με κάρτες ασύρματου δικτύου ή εξωτερικά μόντεμ), συνδέονται με ασύρματα σημεία πρόσβασης που λειτουργούν ως γέφυρες μεταξύ των σταθμών και του υφιστάμενου network backbone. Σε peer-to-peer (ad hoc) WLANs, αρκετοί χρήστες μέσα σε ένα περιορισμένο χώρο, όπως μια αίθουσα συσκέψεων, μπορούν να αποτελέσουν ένα προσωρινό δίκτυο χωρίς τη χρήση σημείων πρόσβασης, αν δεν απαιτείται η πρόσβασή τους σε πόρους του δικτύου.

Το 1997, ο IEEE ενέκρινε το πρότυπο 802.11 για WLANs, το οποίο ορίζει ταχύτητα μεταφοράς δεδομένων από 1 έως 2 megabits ανά δευτερόλεπτο (Mbps). Σύμφωνα με το 802.11b, το οποίο εμφανίζεται ως το νέο κυρίαρχο πρότυπο, τα δεδομένα μεταφέρονται στη μέγιστη ταχύτητα των 11 Mbps στα 2,4 GHz ζώνη συχνοτήτων. Ένα άλλο νεότερο πρότυπο είναι το 802.11a, το οποίο ορίζει μεταφορά δεδομένων με μέγιστη ταχύτητα 54 Mbps σε μια ζώνη συχνοτήτων 5 GHz.

Μέχρι σήμερα, το WLAN είναι η πιο ευρέως διαδεδομένη ασύρματη τεχνολογία. Το πιο αξιοσημείωτο πρότυπο WLAN είναι η οικογένεια IEEE 802.11. Ένα άλλο πρότυπο WLAN είναι η οικογένεια HIPERLAN από το ETSI. Αυτές οι δύο τεχνολογίες είναι ενωμένες κάτω από τη Wireless Fidelity (WiFi) alliance. Και οι δύο τεχνολογίες εξυπηρετούν μια περιοχή με ακτίνα 50-100 m το περισσότερο. Ένα τυπικό WLAN δίκτυο αποτελείται από ένα σημείο πρόσβασης (AP) στο κέντρο και Stations (STAs) που συνδέονται με το AP. Η επικοινωνία προς / από ένα STA γίνεται πάντα πάνω από το AP. Υπάρχει επίσης μια αποκεντρωμένη λειτουργία του WLAN, στην οποία όλοι οι STAs μπορούν να μιλάνε μεταξύ τους άμεσα με ad-hoc τρόπο. Ενώ το Wi-Fi παρείχε αρχικά μια συνολική μετάδοση 11 Mbps (ανά AP), το σημερινό πρότυπο παρέχει μια μετάδοση των 54Mbps. Επίσης, στην αγορά υπάρχουν WiFi συσκευές που υποστηρίζουν ταχύτητες μετάδοσης δεδομένων έως και 108 Mbps με τη χρήση διαφόρων πρόσθετων τεχνικών. Με το αναδυόμενο πρότυπο IEEE 802.11n, το WiFi αναμένεται να τυποποιήσει αυτές τις βελτιώσεις και να παρέχει ρυθμούς μετάδοσης έως και 540 Mbps.

---

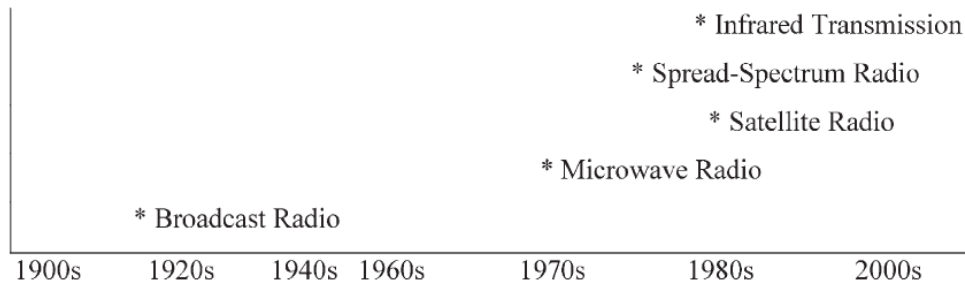
## Wireless personal area networks (WPANs)

Οι WPAN τεχνολογίες επιτρέπουν στους χρήστες τη δημιουργία ad hoc, ασύρματων συνδέσεων για συσκευές (όπως PDAs, κινητά τηλέφωνα ή φορητούς υπολογιστές) που χρησιμοποιούνται μέσα σε ένα personal operating space (POS). Ένα POS είναι ο χώρος που περιβάλλει ένα άτομο, σε απόσταση έως 10 μέτρα. Επί του παρόντος, οι δύο βασικές τεχνολογίες WPAN είναι το Bluetooth και η υπέρυθη ακτινοβολία. Το Bluetooth είναι μια τεχνολογία αντικατάστασης καλωδίου που χρησιμοποιεί ραδιοκύματα για τη μετάδοση δεδομένων σε μια απόσταση έως 30 feet. Τα Bluetooth δεδομένα μπορούν να μεταφερθούν μέσα από τους τοίχους, τσέπες, και χαρτοφύλακες. Η ανάπτυξη τεχνολογίας για Bluetooth γίνεται από την Bluetooth Special Interest Group (SIG), η οποία δημοσίευσε την έκδοση Bluetooth προδιαγραφής 1.0 του 1999. Εναλλακτικά, για τη σύνδεση συσκευών σε πολύ κοντινή απόσταση (1 μέτρο ή λιγότερο), οι χρήστες μπορούν να δημιουργήσουν συνδέσεις υπέρυθρων (infrared).

Για την τυποποίηση της ανάπτυξης των τεχνολογιών WPAN, ο IEEE καθιέρωσε την ομάδα εργασίας 802.15 για WPANs. Αυτή η ομάδα εργασίας αναπτύσσει ένα πρότυπο WPAN, με βάση την έκδοση Bluetooth προδιαγραφής 1.0. Βασικοί στόχοι για αυτό το σχέδιο προτύπου είναι η χαμηλή πολυπλοκότητα, η χαμηλή κατανάλωση ενέργειας, η διαλειτουργικότητα, και η συνύπαρξη με 802.11 δίκτυα

### **1.3 Spread Spectrum Technology**

Τα ασύρματα δίκτυα μπορούν να υλοποιηθούν μέσω των ακόλουθων ακτινοβολούμενων μέσων όπως φαίνονται στο Εικόνα 8.



## Εικόνα 8: Πρώτη χρήση μέσων ασύρματης μετάδοσης

Οι περισσότερες τεχνολογίες επικοινωνίας με τις οποίες είμαστε εξοικειωμένοι – ραδιόφωνο, τηλεόραση, two-way radios – χρησιμοποιούν narrowband σύνδεση. Κάθε σταθμός ή κανάλι λειτουργεί πάνω από μια πολύ λεπτή φέτα του ραδιοφάσματος. Επειδή στο σταθμό έχει εκχωρηθεί η συγκεκριμένη μπάντα, και η FCC διασφαλίζει ότι κανείς άλλος ραδιοτηλεοπτικός φορέας στην περιοχή δε χρησιμοποιεί την ίδια μπάντα μέσω της χορήγησης αδειών, δεν υπάρχει καμία παρεμβολή. Το εύρος του κάθε σταθμού είναι περιορισμένο, έτσι ώστε η ίδια συχνότητα μπορεί να επαναχρησιμοποιηθεί εκ νέου μια μεγάλη απόσταση χωρίς παρεμβολή.

Επειδή πολλές συσκευές μπορεί να χρησιμοποιούν τις ζώνες ISM σε μια περιοχή, απαιτείται επιπλέον τεχνολογία για να αποφευχθούν παρεμβολές μεταξύ διαφόρων σημάτων. Ευτυχώς, έχει αναπτυχθεί τα τελευταία πενήντα χρόνια μια τεχνολογία που επιτρέπει "sharing" τέτοιας ζώνης. Αυτή η τεχνολογία παρέχει τρόπο διάδοσης του ραδιοφωνικού σήματος σε ένα ευρύ "φάσμα" ραδιοσυχνοτήτων, ελαχιστοποιώντας τις επιπτώσεις της narrowband παρεμβολής. Στις περισσότερες περιπτώσεις, μόνο μικρά τμήματα της μετάδοσης καταστρέφονται από οποιαδήποτε παρέμβαση, και τεχνικές κωδικοποίησης επιτρέπουν επανάληψη λήψης τα δεδομένα. Αυτή η τεχνολογία είναι πλέον ευρέως γνωστή ως Spread Spectrum.

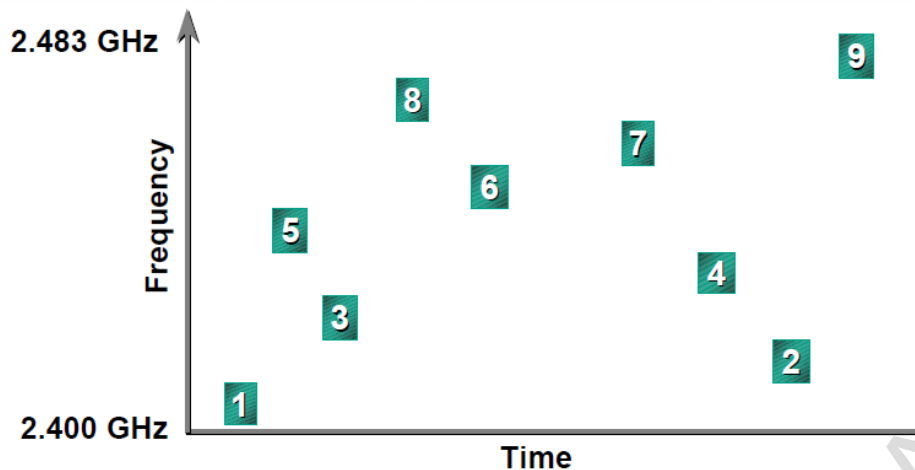
Επί του παρόντος χρησιμοποιούνται δύο διαφορετικές τεχνικές spreading. Και οι δύο χρησιμοποιούν ένα κωδικοποιημένο σχήμα επικοινωνίας. Μια μονάδα λήψης συγχρονίζεται για να χρησιμοποιεί το ίδιο σχήμα και να λαμβάνει τη μετάδοση. Οποιαδήποτε άλλη ασύρματη μονάδα ακούει το σήμα ως θόρυβο, επειδή δεν είναι προγραμματισμένη με την κατάλληλη κωδικοποίηση. Οι δύο τεχνικές είναι:

- 
- Frequency Hopping Spread Spectrum (FHSS) και
  - Direct Sequence Spread Spectrum (DSSS)

### *Frequency Hopping Spread Spectrum (FHSS)*

Ένα σήμα επικοινωνίας (φωνή ή δεδομένα), χωρίζεται σε δύο χωριστά μέρη. Αντί να μεταδίδεται ένα σήμα συνεχώς σε μία στενή ζώνη συχνοτήτων, τα διάφορα μέρη μεταδίδονται χωριστά σε ένα ευρύ φάσμα ραδιοσυχνοτήτων. Ένα καθορισμένο, αλλά τυχαία-εμφανιζόμενο σχήμα μη διαδοχικών ζωνών χρησιμοποιείται, με διαδοχικά τμήματα που μεταδίδονται πάνω στην επόμενη ζώνη συχνοτήτων στο σχήμα. Στο άλλο άκρο, ένας δέκτης είναι ρυθμισμένος να λαμβάνει τα σήματα στο ίδιο σχήμα (μοτίβο). Ο ασύρματος δέκτης επανασυναρμολογεί τα κομμάτια στο αρχικό σήμα. Επειδή πολλά διαφορετικά σχήματα μπορούν να αναπτυχθούν, είναι δυνατό να γίνονται πολλαπλές μεταδόσεις την ίδια στιγμή, αλλά ποτέ στην ίδια συχνότητα τον ίδιο χρόνο. Η διαδικασία του άλματος γρήγορα από τη μία συχνότητα στην άλλη ονομάζεται frequency hopping.

Το frequency hopping έχει δύο πλεονεκτήματα. Ο ηλεκτρικός θόρυβος – τυχαία ηλεκτρομαγνητικά σήματα τα οποία δεν αποτελούν μέρος κανενός σήματος επικοινωνίας – επηρεάζει μόνο ένα μικρό μέρος του σήματος. Επίσης, οι επιπτώσεις των άλλων μορφών ραδιοεπικοινωνιών που λειτουργούν σε στενές ζώνες του φάσματος ελαχιστοποιούνται. Οποιαδήποτε τέτοια παρεμβολή που εμφανίζεται έχει ως αποτέλεσμα μόνο μια ελαφρά μείωση της ποιότητας μετάδοσης φωνής, ή μια μικρή απώλεια δεδομένων. Δεδομένου ότι τα δίκτυα δεδομένων αναγνωρίζουν την επιτυχή λήψη των δεδομένων, οποιαδήποτε κομμάτια λείπουν θα προκαλέσουν αίτημα για μετάδοση των χαμένων στοιχείων.



### Εικόνα 9: Frequency Hopping

- 79 κανάλια, 1MHz το καθένα
- αλλαγές συχνότητας (hops) τουλάχιστο κάθε 0,4 sec
- συγχρονισμένο hopping

### *Direct Sequence Spread Spectrum (DSSS)*

Το Direct Sequence Spreading είναι πολύ διαφορετικό από το frequency hopping. Αντί της διάσπασης ενός σήματος δεδομένων σε κομμάτια, το direct sequencing κωδικοποιεί κάθε bit δεδομένων σε μεγαλύτερο string δυαδικών ψηφίων, που ονομάζεται chip. Συνήθως, 11 έως 20 bit χρησιμοποιούνται για το τσιπ, ανάλογα με την εφαρμογή.

Το τσιπ στη συνέχεια χρησιμοποιείται για τη διαμόρφωση (αλλαγή) του σήματος που παράγεται από τον ασύρματο πομπό, εξαπλώνοντας το σήμα σε μία ευρεία ζώνη συχνοτήτων. Ο δέκτης χρησιμοποιεί τον ίδιο κωδικό και έτσι ακούει για τη μοναδική υπογραφή κατά μήκος του φάσματος συχνοτήτων. Στη συνέχεια αποκωδικοποιεί το σήμα πίσω στα αρχικά δεδομένα.

---

Η ουσία είναι ότι η τεχνολογία spread spectrum επιτρέπει σε πολλαπλά ραδιοσήματα για να λειτουργεί σε μια ανοικτή, μη αδειοδοτούμενη ζώνη συχνοτήτων με ελάχιστες παρεμβολές. Παρέχει επίσης ασφάλεια για τη μετάδοση.

#### 1.4 Multiple Access methods

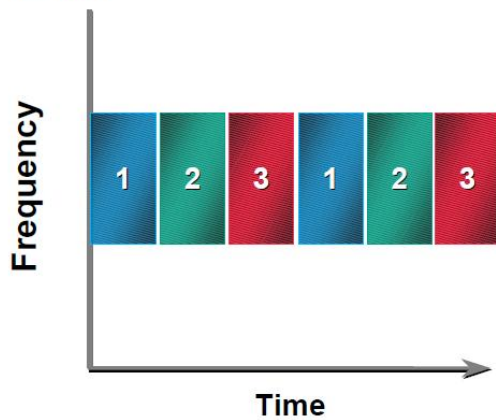
Όταν πολλαπλοί κόμβοι επιθυμούν να μεταδώσουν, χρειάζονται πρωτόκολλα, προκειμένου να αποφευχθούν συγκρούσεις και απώλεια στοιχείων.

Στη Frequency Division Multiple Access (FDMA), διαφορετικοί κόμβοι έχουν διαφορετικές συχνότητες φορέα. Επειδή οι πόροι συχνοτήτων διαχωρίζονται, αυτό μειώνει το διαθέσιμο εύρος ζώνης για κάθε κόμβο. Η FDMA απαιτεί επίσης πρόσθετο hardware και intelligence σε κάθε κόμβο. (Εικόνα 10)

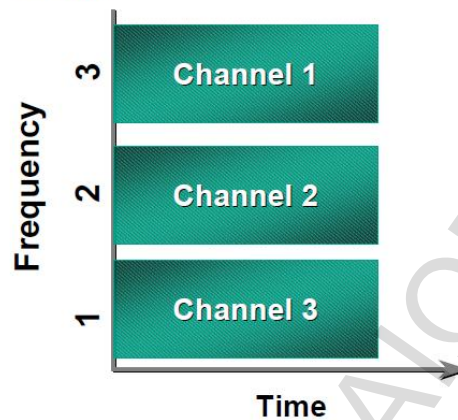
Στη Code Division Multiple Access (CDMA), ένας μοναδικός κωδικός χρησιμοποιείται από κάθε κόμβο για να κωδικοποιεί τα μηνύματα του. Αυτό αυξάνει την πολυπλοκότητα του πομπού και του δέκτη. (Εικόνα 11)

Στη Time Division Multiple Access (TDMA), η ζεύξη RF διαιρείται πάνω σε έναν άξονα χρόνου, με κάθε κόμβο να αντιστοιχίζεται σε ένα προκαθορισμένο time slot που μπορεί να χρησιμοποιεί για επικοινωνία. Αυτό μειώνει τη ταχύτητα σάρωσης, αλλά ένα σημαντικό πλεονέκτημα είναι ότι, η TDMA μπορεί να υλοποιηθεί σε λογισμικό. Όλοι οι κόμβοι απαιτούν ακριβή, συγχρονισμένα ρολόγια για TDMA. (Εικόνα 10)

**TDMA**

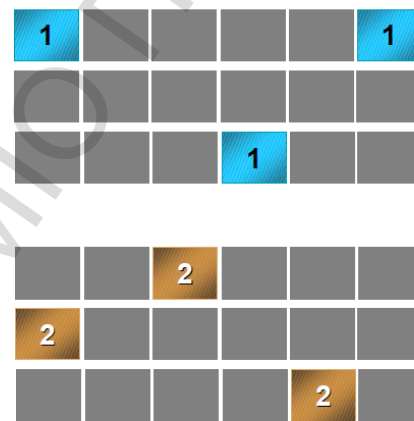
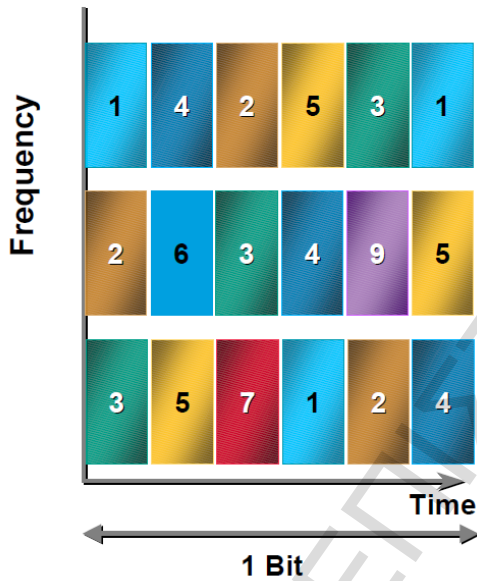


**FDMA**



**Εικόνα 10: TDMA και FDMA (Cisco Systems Inc 2000)**

**CDMA**



A long code is used to generate a mask for each radio.

Typically a code is transmitted on a separate channel

**Εικόνα 11: CDMA (Cisco Systems Inc 2000)**

### 1.5 Radio Frequency (RF) Allocations (Κατανομές RF)

Το RF χρησιμοποιείται ευρέως στη βιομηχανία ασύρματων επικοινωνιών για να περιγράψει εξοπλισμό που χρησιμοποιεί κύματα ραδιοσυχνότητας για τη μετάδοση ήχων και δεδομένων από το ένα σημείο στο άλλο. Σε δικτύωση υπολογιστών, RF χρησιμοποιείται

---

για να περιγράψει συσκευές δικτύου (hubs, bridges, κλπ), που μεταδίδουν σήματα δεδομένων χρησιμοποιώντας ραδιοκύματα αντί για καλώδια δεδομένων ή τηλεφωνικές γραμμές.

Προκειμένου να μην γίνονται παρεμβολές μεταξύ χρηστών ραδιοσημάτων, στις Ηνωμένες Πολιτείες, η Federal Communications Commission (FCC) είναι υπεύθυνη για την εκχώρηση μικρών τμημάτων ραδιοσυχνοτήτων σε συγκεκριμένες χρήσεις. Αυτές ονομάζονται αδειοδοτημένες συχνότητες. Για μετάδοση ραδιοσημάτων στις συχνότητες αυτές πρέπει να γίνει αίτηση στην FCC για άδεια.

Ωστόσο, για να επιτραπεί η χρήση τμήματος του ραδιοφάσματος για μικρές εφαρμογές που δεν απαιτούν άδεια, η FCC έχει διαθέσει τρεις διαφορετικές ζώνες ραδιοσυχνοτήτων ως δημόσια ζώνες. Δεν απαιτείται άδεια για τη χρήση εξοπλισμού που εκπέμπει σε αυτές τις συχνότητες. Αυτές ονομάζονται ζώνες ISM, Industrial, Scientific, Medical ζώνες. Ο Πίνακας 10 δείχνει τις συχνότητες που είναι δεσμευμένες για τις ζώνες αυτές.

**Πίνακας 1**

---

| Frequency Range | Band Description | Bandwidth Available |
|-----------------|------------------|---------------------|
| 902-928MHz      | Industrial Band  | 26.0MHz             |
| 2.40-2.4835GHz  | Scientific Band  | 83.5MHz             |

---

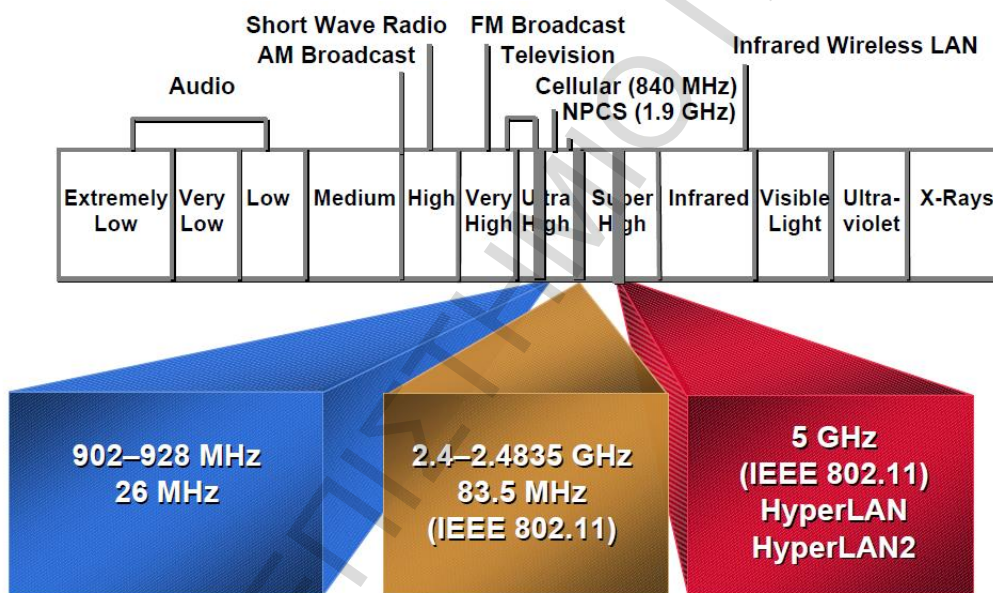


---

5.725-5.850GHz      Medical Band      125.0MHz

---

Παρατηρούμε ότι το διαθέσιμο εύρος ζώνης αυξάνεται στις υψηλότερες περιοχές συχνοτήτων. Αυτές οι υψηλότερες συχνότητες υποστηρίζουν μεγαλύτερες ταχύτητες μεταφοράς δεδομένων.

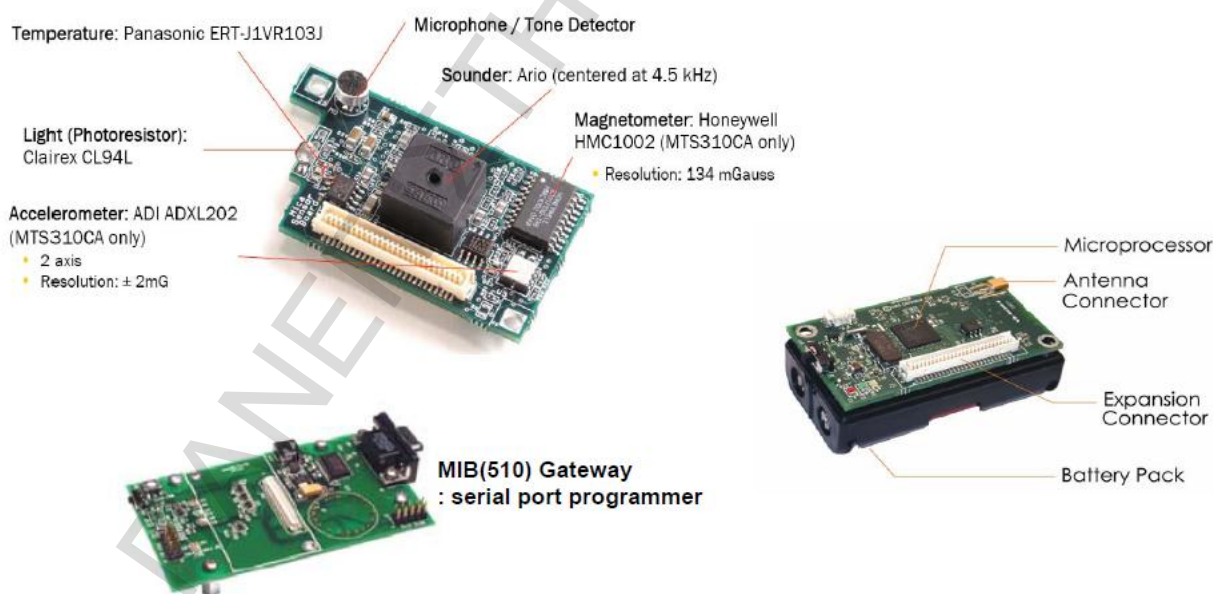


Εικόνα 12: ISM μη αδειοδοτούμενες ζώνες συχνοτήτων

## Κεφάλαιο 2. Μετατροπείς (Transducers) και Αισθητήρες (Sensors)

### 2.1 Εισαγωγή

Ένας μετατροπέας είναι μια συσκευή που μετατρέπει την ενέργεια από τον έναν τομέα στον άλλο. Μετατρέπει την ποσότητα που θα ανιχνεύεται σε ένα χρήσιμο σήμα που μπορεί να μετρηθεί άμεσα και επεξεργασία. Δεδομένου ότι ο κλιματισμός σήματος (SC) και η επεξεργασία ψηφιακού σήματος (DSP) διεξάγονται με ηλεκτρονικά κυκλώματα, οι έξοδοι των μετατροπέων που είναι χρήσιμα για δίκτυα αισθητήρων είναι γενικά τάσεις ή ρεύματα. Η αισθητηριακή μεταγωγή μπορεί να διεξαχθεί χρησιμοποιώντας φυσικές αρχές, μερικές από τις οποίες αναφέρονται παρακάτω. Οι αισθητήρες μικροηλεκτρομηχανικά συστήματα (MEMS) είναι ως τώρα πολύ καλά αναπτυγμένοι και είναι διαθέσιμοι για τις περισσότερες εφαρμογές ανίχνευσης σε ασύρματα δίκτυα.



**Εικόνα 13: Διάφοροι τύποι αισθητήρων με εφαρμογή στον περιβαλλοντικό έλεγχο, στην ασφάλεια, στον εντοπισμό πηγής, στην παρακολούθηση και με βιολογικές εφαρμογές**

---

## 2.2 Μικροαισθητήρες (Microsensors)

Οι αισθητήρες δίνουν στους κόμβους τα μάτια και τα αυτιά τους. Πολλά υλικά αλλάζουν τα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά τους, όταν υποβάλλονται σε ποικίλες περιβαλλοντικές συνθήκες. Οι αισθητήρες κατασκευάζονται έτσι ώστε οι αλλαγές αυτές να είναι προβλέψιμες πάνω από ένα ορισμένο εύρος. Για παράδειγμα, μια θερμοαντίσταση είναι μια μεταβλητή αντίσταση που αλλάζει ομαλά με τη θερμοκρασία. Ένας AD μετατροπέας μετατρέπει την πτώση τάσης σε έναν δυαδικό αριθμό τον οποίο ένας μικροελεγκτής μπορεί να αποθηκεύσει ή επεξεργαστεί. Φωτοκύτταρα και ανιχνευτές ομίχλης λειτουργούν με παρόμοιο τρόπο, αλλά αποτελούνται από λεπτότατα διαστρωμένα χτένες που χωρίζονται από ένα υλικό που χρησιμοποιεί προσπίπτοντα φωτόνια ή υγρασία για να αλλάξει αντίσταση.

Πολύ πιο περίπλοκες δομές έχουν αναπτυχθεί για την ανίχνευση άλλων φαινομένων. Αυτές οι δομές καταναλώνουν μερικά milliwatts και το μόνο που χρειάζονται για να μετατραπούν είναι ένα κλάσμα του χρόνου. Εξαιρετικά αποτελεσματική AD μετατροπείς έχουν αναπτυχθεί έτσι ώστε το υποσύστημα αισθητήρων να έχει ένα προφίλ ενέργειας παρόμοιο με τον επεξεργαστή.

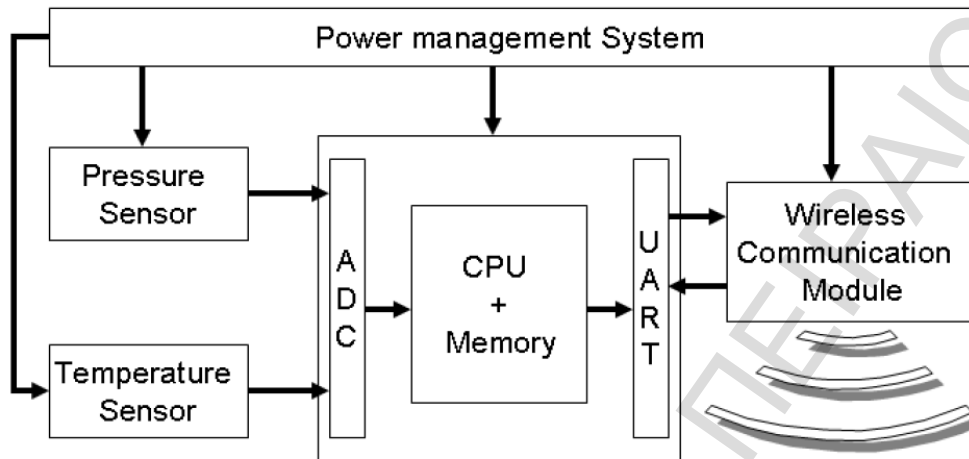
Μικροηλεκτρομηχανικά συστήματα (MEMS) μπορούν να αισθάνονται μία ευρεία ποικιλία φυσικών φαινομένων φτηνά και αποτελεσματικά. Οι ερευνητές μπορούν να χρησιμοποιήσουν διαδικασίες για τη χάραξη τρανζίστορ σε πυρίτιο για τη δημιουργία μικροσκοπικών μηχανικών δομών, όπως ένα μικροσκοπικό εφαλτήριο μέσα σε μια ανοικτή κοιλότητα. Βαρυτικές δυνάμεις ή επιτάχυνση μπορούν να εκτρέψουν τον πρόβολο μάζας, προκαλώντας ισχυρές εσωτερικές δυνάμεις που προκαλούν αλλαγές στις ιδιότητες του υλικού ή ευαίσθητες ευθυγραμμίσεις, που μπορούν να ενισχυθούν και να ψηφιοποιηθούν. Οι κατασκευαστές χρησιμοποίησαν το πρώτο μεγάλο εμπορικό MEMS αισθητήρα, το επιταχυνσιόμετρο, για να προκαλέσουν την απελευθέρωση αερόσακου αυτοκινήτων.

Αν και τα υψηλής ακρίβειας πιεζοηλεκτρικά επιταχυνσιόμετρα κοστίζουν εκατοντάδες δολάρια, τα MEMS παρέχουν επαρκή ακρίβεια για μερικά δολάρια. Μόλις οι συσκευές μπήκαν σε μαζική παραγωγή, θα μπορούσαν να οδηγήσουν την τεχνολογία ανάπτυξης των σύγχρονων τσιπ να γίνει πολύ πιο ακριβής, παραμένοντας φτηνή. Μια ευρεία ποικιλία

---

MEMS συσκευές μπορεί να αισθανθεί διάφορες δυνάμεις, χημικές συγκεντρώσεις, και περιβαλλοντικούς παράγοντες.

### Τεχνικά χαρακτηριστικά κόμβων ασύρματης μετάδοσης δεδομένων



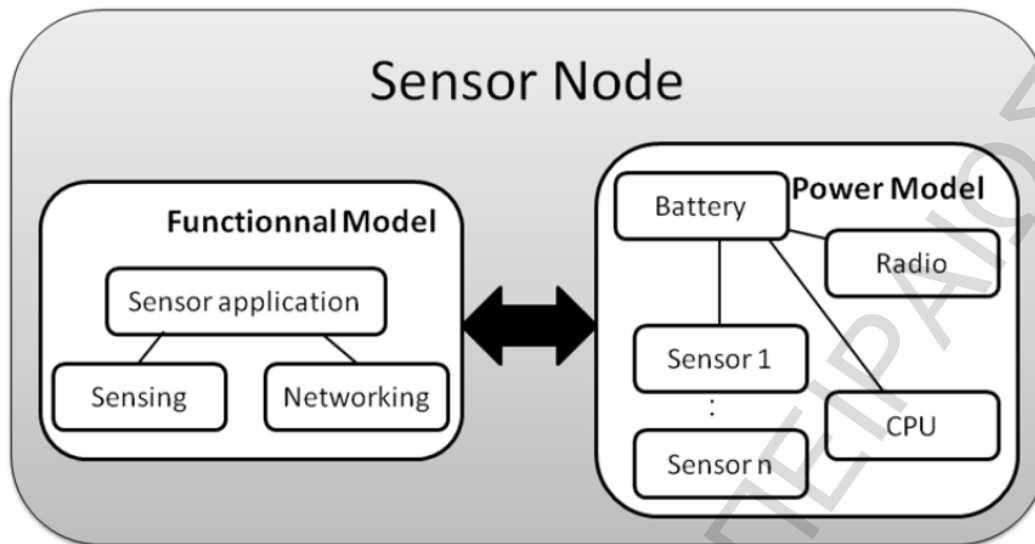
**Εικόνα 14: Η προτεινόμενη αρχιτεκτονική ενός αισθητήρα**

Από την άποψη του υλικού ένας κόμβος αισθητήρα περιέχει μια μονάδα ασυρμάτου, ένα CPU, έναν ή περισσότερους εξωτερικούς αισθητήρες και μια μπαταρία. Η Εικόνα 14 απεικονίζει παράδειγμα κόμβου αισθητήρα και δείχνει τη σύνδεση μεταξύ των μονάδων του.

Ένα ισοδύναμο μοντέλο σχεδιασμού υλικού που φαίνεται στην Εικόνα 14, πρέπει να εφαρμοστεί. Για να γίνει ο προσομοιωτής κατάλληλος για διαφορετικούς τύπους κόμβων αισθητήρων και διαφορετικούς τύπους ασύρματων δικτύων αισθητήρων, το μοντέλο αισθητήρα πρέπει να είναι γενικό και όσο γίνεται πιο ευέλικτο. Συνεπώς, ένας κόμβος αισθητήρα χωρίζεται σε δύο κύρια εξαρτήματα, το αλγοριθμικό ή λειτουργικό μοντέλο και το μοντέλο πόρων. Το λειτουργικό μοντέλο προσομοιώνει κυρίως τις δυνατότητες ανίχνευσης και δικτύωσης του κόμβου, ενώ το μοντέλο πόρων προσομοιώνει την κατανάλωση ενέργειας. (Η μνήμη και η χρήση της CPU δεν προσομοιώνονται, αλλά η κατανάλωση ενέργειας που προκύπτει από την χρήση της CPU λαμβάνεται υπόψη στο μοντέλο ισχύος).

---

Συνεπώς το μοντέλο πόρων περιορίζεται στο μοντέλο ενέργειας (μπαταρίας). Στην Εικόνα 15 απεικονίζει τα δυο κύρια εξαρτήματα του μοντέλου αισθητήρα.



Εικόνα 16: Προτεινόμενο μοντέλο αισθητήρα

### 2.3 Μηχανικοί αισθητήρες

Οι μηχανικοί αισθητήρες περιλαμβάνουν εκείνους που βασίζονται σε άμεση φυσική επαφή. Το φαινόμενο πιεζοαντίστασης μετατρέπει μια εφαρμοσμένη πίεση σε μια μεταβολή στην αντίσταση που μπορεί να ανιχνευθεί με τη χρήση ηλεκτρονικών κυκλωμάτων, όπως γέφυρας Wheatstone. Η σχέση είναι:

$\Delta R/R = S\varepsilon$  , με  $R$  την αντίσταση,  $\varepsilon$  την πίεση και  $S$  τον παράγοντα εύρους ο οποίος εξαρτάται από ποσότητες, όπως την ειδική αντίσταση και την αναλογία «Poisson» του υλικού. Μπορεί να υπάρχει ένας τετραγωνικός όρος στο  $\varepsilon$  για ορισμένα υλικά. Μέταλλα και ημιαγωγοί εμφανίζουν πιεζοαντίσταση. Η επίδραση πιεζοαντίστασης στο πυρίτιο ενισχύεται με ντόπινγκ με βόριο ( $p$ -τύπου πυρίτιο μπορεί να έχει παράγοντα εύρους έως 200). Με μετρητές τάσης ημιαγωγών, η αντιστάθμιση θερμοκρασίας είναι σημαντική.

Το πιεζοηλεκτρικό φαινόμενο, μετατρέπει μια εφαρμοσμένη τάση (δύναμη) σε ένα διαχωρισμό φορτίων ή διαφορά δυναμικού. Πιεζοηλεκτρικά υλικά περιλαμβάνουν τιτανικό

---

βάριο, PZT και μόνο-κρυσταλλικό χαλαζία. Η σχέση μεταξύ της μεταβολής ισχύος  $F$  και της μεταβολής στην τάση  $V$  δίνεται από  $\Delta V = k\Delta F$

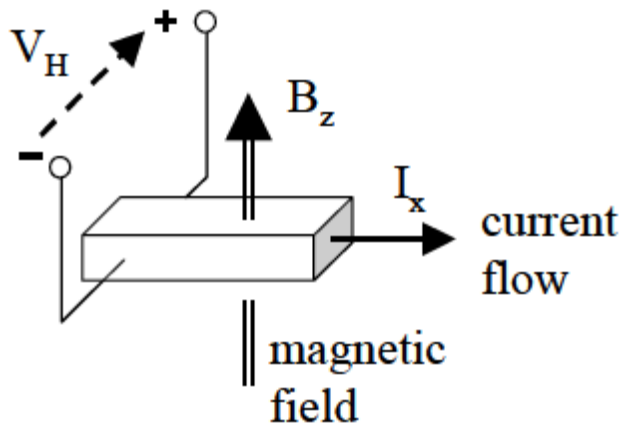
όπου το  $k$  είναι ανάλογο προς τους συντελεστές ευαισθησίας του φορτίου του υλικού και το πάχος κρυστάλλου, και αντιστρόφως ανάλογο προς την περιοχή κρυστάλλου και του υλικού σχετικής διηλεκτρικής διαπερατότητας. Το πιεζοηλεκτρικό φαινόμενο είναι αναστρέψιμο, έτσι ώστε μια αλλαγή στην τάση δημιουργεί επίσης μια δύναμη και μια αντίστοιχη αλλαγή στο πάχος. Έτσι, η ίδια συσκευή μπορεί να είναι και ένας αισθητήρας και ένας ενεργοποιητής. Οι συνδυασμένοι αισθητήρες/ενεργοποιητές είναι ένα ενδιαφέρον θέμα της σύγχρονης έρευνας.

Η Ανίχνευση Διοχέτευσης (Tunneling Sensing) εξαρτάται από την εκθετική σχέση μεταξύ του ρεύματος διοχέτευσης  $I$  και την κορυφή / επιφάνεια διαχωρισμού  $z$  που δίνεται από τη σχέση  $I = I_0 e^{-kz}$ , όπου το  $k$  εξαρτάται από το ύψος φράγματος διοχέτευσης σε ev. Το tunneling είναι μια εξαιρετικά ακριβής μέθοδος ανίχνευσης μετατοπίσεων νανομετρικής κλίμακας, αλλά η εξαιρετικά μη γραμμική φύση του απαιτεί τη χρήση του ελέγχου ανάδρασης για να είναι χρήσιμο.

Χωρητικοί Αισθητήρες τυπικά έχουν μία σταθερή πλάκα και μια κινητή πλάκα. Όταν μια δύναμη εφαρμόζεται στην κινητή πλάκα, η μεταβολή στην χωρητικότητα  $C$  δίδεται ως  $\Delta C = \varepsilon A / \Delta d$ , με  $\Delta d$  η προκύπτουσα μετατόπιση,  $A$  η έκταση και  $\varepsilon$  η διηλεκτρική σταθερά. Μεταβολές στη χωρητικότητα μπορούν να ανιχνευθούν χρησιμοποιώντας μια ποικιλία ηλεκτρικών κυκλωμάτων και να μετατραπούν σε μία τάση ή μεταβολή ρεύματος για περαιτέρω επεξεργασία. Επαγωγικοί αισθητήρες, οι οποίοι μετατρέπουν τη μετατόπιση σε μεταβολή της αυτεπαγωγής, χρησιμοποιούνται επίσης συχνά.

## 2.4 Μαγνητικοί και ηλεκτρομαγνητικοί αισθητήρες

Μαγνητικοί και ηλεκτρομαγνητικοί αισθητήρες δεν απαιτούν άμεση φυσική επαφή και είναι χρήσιμοι για την ανίχνευση επιδράσεων εγγύτητας.



**Εικόνα 17: Το φαινόμενο Hall**

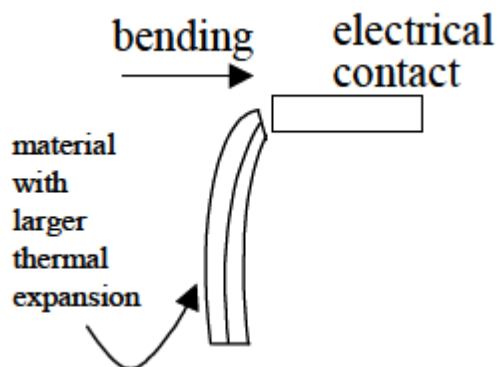
Το φαινόμενο Hall στηρίζεται στο γεγονός ότι η Δύναμη Lorentz εκτρέπει φορείς φορτίου που ρέουν σε μια κατεύθυνση κάθετη στην κατεύθυνση και της ροής τους και του εφαρμοσμένου μαγνητικού πεδίου (π.χ. προϊόν εγκάρσιου διανύσματος). Η τάση Hall που προκαλείται σε μια πλάκα πάχους  $T$  δίνεται από  $V_H = RI_x B_z / T$  με  $R$  το συντελεστή Hall,  $I_x$  η υφιστάμενη ροή στη κατεύθυνση  $x$  και  $B_z$  η πυκνότητα μαγνητικής ροής στη διεύθυνση  $z$ . Το  $R$  είναι 4-5 φορές μεγαλύτερο σε ημιαγωγούς απ' ότι τα περισσότερα μέταλλα. Το φαινόμενο μαγνητοαντίστασης είναι ένα φαινόμενο ανάλογο με το γεγονός ότι η αγωγιμότητα μεταβάλλεται με το τετράγωνο της εφαρμοζόμενης πυκνότητας ροής.

**Μαγνητικοί Αισθητήρες Πεδίου** μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την ανίχνευση παρουσίας απομακρυσμένου μεταλλικών αντικειμένων. Αισθητήρες Δίνης-Ρεύματος χρησιμοποιούν αισθητήρα μαγνητικών πηνίων για την ανίχνευση ελαττωμάτων σε μεταλλικές κατασκευές, όπως σωλήνες.

## 2.5 Θερμικοί Αισθητήρες

**Θερμικοί Αισθητήρες** είναι μια οικογένεια αισθητήρων που χρησιμοποιούνται για τη μέτρηση της θερμοκρασίας ή ροή θερμότητας. Οι περισσότεροι βιολογικοί οργανισμοί έχουν αναπτύξει εξελιγμένα συστήματα ανίχνευσης θερμοκρασίας.





Εικόνα 18: Θερμικό δίμορφο

**Θερμο-μηχανική μεταγωγή** χρησιμοποιείται για την ανίχνευση και τη ρύθμιση της θερμοκρασίας σε σπίτια και αυτοκίνητα. Στις αλλαγές στη θερμοκρασία  $T$ , όλα τα υλικά εμφανίζουν (γραμμική) θερμική διαστολή του τύπου  $\Delta L/L = \alpha \Delta T$ , με  $L$  το μήκος και  $\alpha$  ο συντελεστής γραμμικής διαστολής. Κάποιος μπορεί να κατασκευάσει μία λωρίδα από δύο ενωμένα υλικά με διαφορετικές θερμικές διαστολές. Στη συνέχεια, η ακτίνα της καμπυλότητας αυτού του θερμικού δίμορφου εξαρτάται από τη μεταβολή της θερμοκρασίας.

Το φαινόμενο της θερμοαντίστασης βασίζεται στο γεγονός ότι η αντίσταση  $R$  αλλάζει με την θερμοκρασία  $T$ . Για μέτριες μεταβολές, η σχέση δίδεται κατά προσέγγιση για πολλά μέταλλα από  $\Delta R/R = \alpha_R \Delta T$  με  $\alpha_R$  το συντελεστή θερμοκρασίας της αντίστασης. Η σχέση για το πυρίτιο είναι πιο πολύπλοκη αλλά είναι πλήρως κατανοητή. Ως εκ τούτου, το πυρίτιο είναι χρήσιμο για την ανίχνευση μεταβολών θερμοκρασίας.

**Θερμοστοιχεία** βασίζονται στο θερμοηλεκτρικό φαινόμενο Seebeck, οπότε αν ένα κύκλωμα αποτελείται από δύο διαφορετικά υλικά ενωμένα μεταξύ τους σε κάθε άκρο, με μία διασταύρωση θερμότερη από το άλλη, ένα ρεύμα ρέει στο κύκλωμα. Αυτό δημιουργεί μία



---

τάση Seebeck που δίδεται κατά προσέγγιση από  $V \approx \alpha(T_1 - T_2) + \gamma(T_1^2 - T_2^2)$  με  $T_1, T_2$  θερμοκρασίες στις δυο διασταυρώσεις. Οι συντελεστές εξαρτώνται από τις ιδιότητες των δύο υλικών. Τα θερμοστοιχεία ημιαγωγών έχουν γενικά υψηλότερες ευαισθησίες απ' ό,τι τα μεταλλικά θερμοζεύγη. Τα θερμοστοιχεία είναι φθηνά και αξιόπιστα και έτσι χρησιμοποιούνται πολύ. Τυπικά θερμοστοιχεία έχουν εξόδους της τάξεως των  $50 \mu\text{V}/^\circ\text{C}$  και μερικά είναι αποτελεσματικά για περιοχές θερμοκρασία από  $270^\circ\text{C}$  έως  $2700^\circ\text{C}$ .

**Συντονισμένοι Αισθητήρες Θερμοκρασίας** στηρίζονται στο γεγονός ότι οι ενιαίο κρύσταλλο  $\text{SiO}_2$  παρουσιάζει μια αλλαγή στη συχνότητα συντονισμού, ανάλογα με την αλλαγή της θερμοκρασίας. Δεδομένου ότι αυτό είναι ένα φαινόμενο συχνότητα, είναι ακριβέστερη από αλλαγή πλάτους δράσεις, και έχει εξαιρετική ευαισθησία και ακρίβεια για μικρές μεταβολές της θερμοκρασίας.

## 2.6 Οπτικοί Αισθητήρες

**Οπτικοί Μετατροπείς** μετατρέπουν το φως σε διάφορες ποσότητες που μπορούν να ανιχνευθούν. Αυτές βασίζονται σε έναν ή αρκετούς μηχανισμούς. Στο φωτοηλεκτρικό φαινόμενο ένα ηλεκτρόνιο εκπέμπεται στο αρνητικό άκρο ενός ζευγαριού φορτισμένων πλακών για κάθε φωτόνιο επαρκούς ενέργειας. Αυτό προκαλεί ροή ενός ρεύματος. Σε φωτοαγωγίμους αισθητήρες, τα φωτόνια παράγουν φορείς που μειώνουν την αντίσταση του υλικού. Σε φωτοαισθητήρες που βασίζονται σε διασταύρωση, τα φωτόνια δημιουργούν ζεύγη ηλεκτρονίων-οπών σε μια ημιαγώγιμη ένωση που προκαλεί ροή ρεύματος. Αυτό κακώς αποκαλείται συχνά το φωτοβολταϊκό φαινόμενο. Αυτές οι συσκευές περιλαμβάνουν φωτοδιόδους και φωτοτρανζίστορες. Οι θερμοπύλες χρησιμοποιούν ένα θερμοστοιχείο με μια διασταύρωση επικαλυμμένα με χρυσό ή μαύρο βισμούθιο απορρόφησης, η οποία παράγει θερμότητα για φωτισμό. Τα ηλιακά κύτταρα είναι μεγάλες φωτοδιόδοι που παράγουν τάση από φως. Τα βολόμετρα αποτελούνται από δύο αντιστάσεις θερμικά ευαίσθητες σε μια διάταξη γέφυρας Wheatstone, και ένα από αυτά προστατεύονται από το προσπίπτον φως. Οπτικοί μετατροπείς μπορούν να βελτιστοποιηθούν για διαφορετικές συχνότητες του φωτός, με αποτέλεσμα ανιχνευτές υπέρυθρων, υπεριώδεις ανιχνευτές, κλπ.

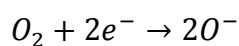
---

Οι διάφορες συσκευές, συμπεριλαμβανομένων των επιταχυνσιόμετρων, με βάση την τεχνολογία οπτικής ίνας, χρησιμοποιώντας συχνά την πληροφορία χρόνου-πτώσης.

## 2.7 Χημικοί Αισθητήρες

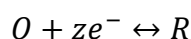
**Χημικοί και Βιολογικοί Μετατροπείς** καλύπτουν ένα πολύ ευρύ φάσμα των συσκευών που αλληλεπιδρούν με στερεά, υγρά και αέρια όλων των τύπων. Πιθανές εφαρμογές περιλαμβάνουν παρακολούθηση περιβάλλοντος, παρακολούθηση βιοχημικού πολέμου, επιτήρηση ασφάλειας περιοχής, ιατρικές διαγνώσεις, εμφυτεύσιμους βιοαισθητήρες, και παρακολούθηση των ειδών διατροφής. Αποτελεσματική χρήση έχει αποδειχθεί για NOx (από ρύπανση), οργανοφωσφορικά φυτοφάρμακα, αέρια νευρών (Sarin, κλπ), υδροκυάνιο, άνθρακας, COx, SOx, και άλλα.

Χημειοαντιστάτες έχουν δύο συμπλεγμένα ηλεκτρόδια δακτύλου επικαλύπτονται με εξειδικευμένες χημικές επιστρώσεις που αλλάζουν την αντίστασή τους όταν εκτίθενται σε ορισμένους χημικούς παράγοντες πρόκλησης. Τα ηλεκτρόδια μπορούν να συνδέονται απευθείας σε ένα FET, που ενισχύει τα προκύπτοντα σήματα επί τόπου για την καλή απόρριψη θορύβου. Αυτή η διάταξη είναι γνωστή ως αλληλοπαρεμβαλλόμενης-πύλης ηλεκτρόδιο FET (IGFET). Συστοιχίες χημειοαντιστατών, κάθε συσκευή με μια διαφορετική χημικά ενεργή επικάλυψη, μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να αυξηθεί η εξειδίκευση για συγκεκριμένο παράγοντα πρόκλησης. Η επεξεργασία ψηφιακού σήματος, συμπεριλαμβανομένων τεχνικών ταξινόμησης νευρωνικών δικτύων, είναι σημαντική στην σωστή αναγνώριση του παράγοντα. **Μετάλλου-Οξειδίου Αισθητήρες Αερίου** βασίζονται στο γεγονός ότι η προσρόφηση αερίων σε ορισμένους ημιαγωγούς αλλάζει σε μεγάλο βαθμό τις αντιστάσεις τους. Σε ανιχνευτές λεπτού-υμένα, ένας καταλύτης όπως ο λευκόχρυσος εναποτίθεται στην επιφάνεια για να επιταχύνει τις αντιδράσεις και να αυξήσει την απόκριση. Χρήσιμοι ως αισθητήρες είναι τα οξειδία κασσίτερου, ψευδαργύρου, σιδήρου, ζirkονίου, κλπ. Αέρια τα οποία μπορούν να ανιχνευθούν περιλαμβάνουν CO<sub>2</sub>, CO, H<sub>2</sub>S, NH<sub>3</sub>, και το όζον. Αντιδράσεις είναι της μορφής



έτσι που η προσρόφηση παράγει αποτελεσματικά ένα ηλεκτρόνιο θέσης παγίδας, ουσιαστικά καταστρέφοντας την επιφάνεια των κινητών μεταφορέων και αυξάνοντας την αντοχή της.

**Ηλεκτροχημικοί Μετατροπείς** βασίζονται σε ρεύματα που επάγονται από οξειδωση ή αναγωγή ενός χημικού είδους σε μία επιφάνεια ηλεκτροδίου. Αυτοί είναι από τους απλούστερους και πιο χρήσιμους χημικούς αισθητήρες. Μια αντίδραση μεταφοράς ηλεκτρονίων λαμβάνει χώρα και αυτό περιγράφεται από



με O τα οξειδωμένα είδη, R τα μειωμένα είδη, και z το φορτίο του εμπλεκόμενου ιόντος. Η προκύπτουσα πυκνότητα ρεύματος δίδεται με τον όρο z από την Butler-Volmer εξίσωση.

**Βιοαισθητήρες** μιας ευρείας ποικιλίας τύπων εξαρτώνται από την υψηλή επιλεκτικότητα πολλών βιομοριακών αντιδράσεων, π.χ. θέσεις μοριακής δέσμευσης του ανιχνευτή μπορεί να δεχθεί μόνο ορισμένα είδη μορίων αναλύτη. Δυστυχώς, τέτοιες αντιδράσεις συνήθως δεν είναι αντιστρέψιμες ώστε ο αισθητήρας δεν είναι επαναχρησιμοποιήσιμος. Αυτές οι συσκευές έχουν μια βιοχημικά ενεργή λεπτή μεμβράνη που έχει αποτεθεί σε μια συσκευή πλατφόρμα που μετατρέπει τις μεταβολές ιδιοτήτων που προκαλούνται (π.χ. μάζα, αντοχή) σε ανιχνεύσιμα ηλεκτρικά ή οπτικά σήματα. Κατάλληλες πλατφόρμες μετατροπής περιλαμβάνουν την IGFET (παραπάνω), ευαίσθητες σε ιόντα FET (ISFET), SAW (παρακάτω), κρυσταλλικός χαλαζίας μικροισορροπίας (QCM), μικροπροβόλους, κλπ. Για να παρέχει εξειδίκευση σε ένα προκαθορισμένο μετρητέο αναλύτη, για το λεπτό φιλμ μπορεί κανείς να χρησιμοποιήσει πρωτεΐνες (ένζυμα ή αντισώματα), πολυσακχαρίτη, νουκλειικό οξύ, ολιγονουκλεοτίδια, ή ένα ιονοφόρο (που έχει εκλεκτικές αποκρίσεις σε συγκεκριμένους τύπους ιόντων). Συστοιχίες αισθητήρων μπορούν να χρησιμοποιηθούν, που ο καθένας να έχει ένα διαφορετικό βιοχημικά ενεργό φιλμ, για βελτίωση της ευαισθησίας. Αυτό έχει χρησιμοποιηθεί στην λεγόμενη «ηλεκτρονική μύτη».

---

## 2.8 Ακουστικοί Αισθητήρες

**Ακουστικοί αισθητήρες** περιλαμβάνουν εκείνους που χρησιμοποιούν τον ήχο ως μέσο ανίχνευσης. Τεχνικές Doppler επιτρέπουν τη μέτρηση των ταχυτήτων. Το υπερηχογράφημα συχνά παρέχει περισσότερη πληροφορία σχετικά με μηχανικές δονήσεις μηχανημάτων, διαρροή υγρών, και τις επικείμενες βλάβες εξοπλισμού από ό,τι σε άλλες τεχνικές. Το Sonar χρησιμοποιεί ήχο για να καθορίσει την απόσταση χρησιμοποιώντας πληροφορίες χρόνου-πτώσης. Είναι αποτελεσματικό σε μέσα πλην του αέρα, συμπεριλαμβανομένου του νερού. Προσοχή θα πρέπει να χρησιμοποιείται κατά το ότι η ταχύτητα διάδοσης των ακουστικών σημάτων εξαρτάται από το μέσο. Η ταχύτητα του ήχου στο επίπεδο θαλάσσης σε μία πρότυπη ατμόσφαιρα είναι  $c_s = 340,294$  m/s. Υπόγειες ηχώ από σεισμούς και δονήσεις μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να συλλέξουν πληροφορίες για τον πυρήνα της γης, καθώς και για την εκδήλωση δονήσεων, αλλά τεχνικές αποσυνέλιξης θα πρέπει να χρησιμοποιούνται για την αφαίρεση φαινομένων ήχων και για να αντισταθμίσουν αβέβαιες ταχύτητες μετάδοσης.

**Ακουστικοί αισθητήρες κυμάτων** είναι χρήσιμοι για ένα ευρύ φάσμα συσκευών αισθητήριων. Αυτοί οι μετατροπείς μπορούν να ταξινομηθούν ως επιφανειακών ακουστικών κυμάτων (SAW), λειτουργίας διάτμησης-πάχους (TSM), κύματος καμπτικής πλάκας (FPW), ή λειτουργίας ακουστικής πλάκας (APM). Το SAW και αποτελείται από δύο σύνολα συμπλεγμένων δάκτυλων σε κάθε άκρο κάθε μεμβράνης, ένα σετ για την παραγωγή του SAW και ένα για την ανίχνευσή του. Όπως και το IGEFET, αυτές είναι χρήσιμες πλατφόρμες για τη μετατροπή μεταβολών ιδιοτήτων, όπως η μάζα σε ανιχνεύσιμα ηλεκτρικά σήματα. Για παράδειγμα, η επιφάνεια της συσκευής μπορεί να επικαλυφθεί με μια χημικά ή βιολογικά ενεργή λεπτή μεμβράνη. Στην παρουσίαση του μετρητέου για να γίνει αισθητή, η προσρόφηση μπορεί να προκαλέσει τη μάζα  $m$  να μεταβληθεί, με αποτέλεσμα τη μετατόπιση συχνότητας που δίνεται από την εξίσωση Sauerbrey

$$\Delta f = kf_o^2 \Delta m / A$$

με  $f_o$  τη συχνότητα συντονισμού μεμβράνης, τη σταθερά  $k$  που εξαρτάται από τη συσκευή, και  $A$  την επιφάνεια μεμβράνης.

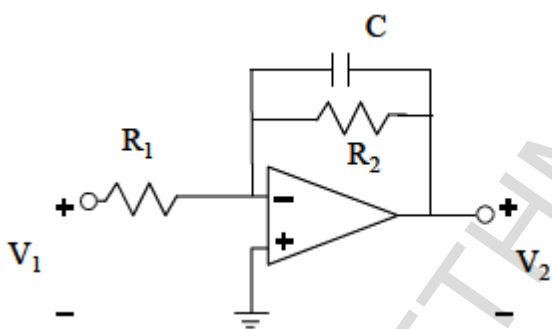
| <b>Measurements for Wireless Sensor Networks</b> |                    |   |
|--|--------------------|---|
|  | <b>Measurand</b>   | <b>Transduction Principle</b>   |
| <b>Physical Properties</b>                       | Pressure           | Piezoresistive, capacitive  |
|  | Temperature        | Thermistor, thermo-mechanical, thermocouple                           |
|  | Humidity           | Resistive, capacitive   |
|  | Flow               | Pressure change, thermistor   |
| <b>Motion Properties</b>                         | Position           | E-mag, GPS, contact sensor  |
|  | Velocity           | Doppler, Hall effect, optoelectronic                                  |
|  | Angular velocity   | Optical encoder   |
|  | Acceleration       | Piezoresistive, piezoelectric, optical fiber                          |
| <b>Contact Properties</b>                        | Strain             | Piezoresistive  |
|  | Force              | Piezoelectric, piezoresistive   |
|  | Torque             | Piezoresistive, optoelectronic  |
|  | Slip               | Dual torque   |
|  | Vibration          | Piezoresistive, piezoelectric, optical fiber, Sound, ultrasound       |
| <b>Presence</b>                                  | Tactile/contact    | Contact switch, capacitive  |
|  | Proximity          | Hall effect, capacitive, magnetic, seismic, acoustic, RF              |
|  | Distance/range     | E-mag (sonar, radar, lidar), magnetic, tunneling                      |
|  | Motion             | E-mag, IR, acoustic, seismic (vibration)                              |
| <b>Biochemical</b>                               | Biochemical agents | Biochemical transduction  |
| <b>Identification</b>                            | Personal features  | Vision  |
|  | Personal ID        | Fingerprints, retinal scan, voice, heat plume, vision motion analysis |

**Πίνακας 2: Μετρήσεις για Ασύρματα Δίκτυα Αισθητήρων**

---

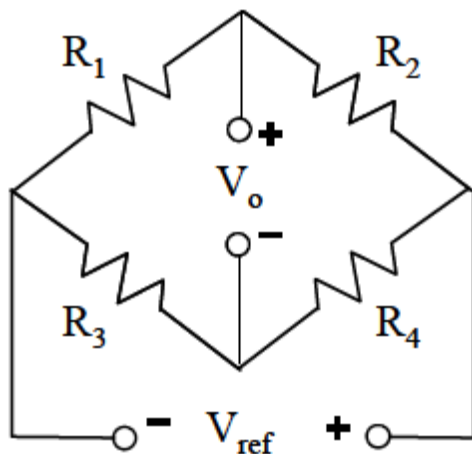
## 2.9 Signal Conditioning

Τα σήματα που προέρχονται από αισθητήρες MEMS μπορεί να είναι πολύ θορυβώδη, χαμηλής έντασης, μεροληπτικά, και να εξαρτώνται από δευτερεύουσες παραμέτρους, όπως η θερμοκρασία. Επιπλέον, κάποιος μπορεί να μην είναι πάντα σε θέση να μετρήσει την ποσότητα ενδιαφέροντος, αλλά μόνον μια σχετική ποσότητα. Συνεπώς απαιτείται συνήθως επεξεργασία σήματος. Το SC εκτελείται χρησιμοποιώντας ηλεκτρονικά κυκλώματα, τα οποία μπορεί βολικά να κατασκευαστούν χρησιμοποιώντας πρότυπες τεχνικές κατασκευής VLSI με αισθητήρες MEMS. Ένα πραγματικό πρόβλημα με τους αισθητήρες MEMS είναι η ανεπιθύμητη ευαισθησία σε δευτερεύουσες ποσότητες, όπως η θερμοκρασία. Αντιστάθμιση θερμοκρασίας μπορεί συχνά να γίνεται άμεσα σε ένα κύκλωμα αισθητήρα MEMS. Αντιστάθμιση θερμοκρασίας μπορεί επίσης να προστεθεί κατά το στάδιο της SC, όπως αναφέρεται παρακάτω.



**Εικόνα 19: Αναλογικό φίλτρο διέλευσης χαμηλών συχνοτήτων**

Μια βασική τεχνική για τη βελτίωση της αναλογίας σήματος προς θόρυβο (SNR) είναι το χαμηλής διέλευσης συχνοτήτων φιλτράρισμα, αφού ο θόρυβος κυριαρχεί γενικά τα επιθυμητά σήματα σε υψηλές συχνότητες. Στο σχήμα φαίνεται ένα αναλογικό LPF που επίσης ενισχύει, κατασκευασμένο από ένα λειτουργικό ενισχυτή. Τέτοιες συσκευές κατασκευάζονται εύκολα χρησιμοποιώντας VLSI τεχνικές ημιαγωγού. Εναλλακτικά, κάποιος μπορεί να χρησιμοποιήσει ένα ψηφιακό LPF που υλοποιείται σε έναν υπολογιστή μετά τη δειγματοληψία.



**Εικόνα 20: Γέφυρα Wheatstone**

Συχνά, οι αλλαγές στην αντίσταση πρέπει να μετατραπούν σε τάσεις για περαιτέρω επεξεργασία. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί με τη χρήση μιας γέφυρας Wheatstone (Εικόνα 21).

## 2.10 Ψηφιακή Επεξεργασία Σήματος

Η σύντηξη αισθητήρων είναι σημαντική σε ένα δίκτυο αισθητήρων διαφόρων τρόπων. Ένα καταναμημένο όχημα / δίκτυο επιτήρησης προσωπικού μπορεί να περιλαμβάνει σεισμική, ακουστική, υπέρυθρη κίνηση, θερμοκρασία, και μαγνητικούς αισθητήρες. Το πρότυπο εργαλείο DSP για το συνδυασμό των πληροφοριών από πολλούς αισθητήρες είναι το Φίλτρο Kalman. Το φίλτρο Kalman χρησιμοποιείται για επικοινωνίες, πλοήγηση, έλεγχο ανάδρασης, και αλλού και παρέχει την ακρίβεια που επέτρεψε στον άνθρωπο να περιηγηθεί στο διάστημα και τελικά να φτάσει στο φεγγάρι και πιο πρόσφατα να στείλει ανιχνευτές στα όρια του ηλιακού συστήματος.

Ένα σωστά σχεδιασμένο φίλτρο Kalman επιτρέπει σε κάποιον να παρατηρήσει μόνο λίγες ποσότητες, ή να μετρημένες εξόδους, και στη συνέχεια να ανακατασκευάσει ή να εκτιμήσει την πλήρη εσωτερική κατάσταση του συστήματος. Παρέχει, επίσης, φιλτράρισμα χαμηλής διέλευσης συχνοτήτων και ενίσχυση, και μπορεί να κατασκευαστεί για να παρέχει

---

αντιστάθμιση θερμοκρασίας, απόρριψη κοινού τρόπου, μηδενική διόρθωση μετατοπίσεως, κτλ.

Η κατανεμημένη επεξεργασία σήματος είναι το πιο αποτελεσματικό μέσο για τον υπολογισμό σε ένα δίκτυο των κατανεμημένων κόμβων επεξεργασίας σήματος. Η θεωρία του Αποκεντρωμένου φιλτραρίσματος Kalman παρέχει έναν επίσημο μηχανισμό για επιμερισμό φιλτραρίσματος αισθητήρα, ανοικοδόμηση, και αντιστάθμιση καθηκόντων ανάμεσα σε μια ιεραρχικά οργανωμένη ομάδα κόμβων. Άλλα εργαλεία DSP περιλαμβάνουν τεχνικές που χρησιμοποιούνται στην ανάλυση φάσματος, επεξεργασία λόγου, ανάλυση της αγοράς μετοχών, κλπ.

Οι στατιστικές μέθοδοι επιτρέπουν ανάλυση παλινδρόμησης, ανάλυση συσχέτισης, ανάλυση κύριων συνιστωσών, και ομαδοποίηση. Επίσης διαθέσιμο είναι ένα ευρύ φάσμα τεχνικών που βασίζονται στις νευρωνικές ιδιότητες δικτύου ταξινόμησης, σύνδεσης, γενίκευσης, και ομαδοποίησης. Το λογισμικό MATLAB MathWorks έχει εκτεταμένες δυνατότητες σε όλους αυτούς τους τομείς, καθώς και εξειδικευμένες Εργαλειοθήκες που παρέχουν ισχυρά εργαλεία για DSP και λήψη αποφάσεων για κατανεμημένα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων.

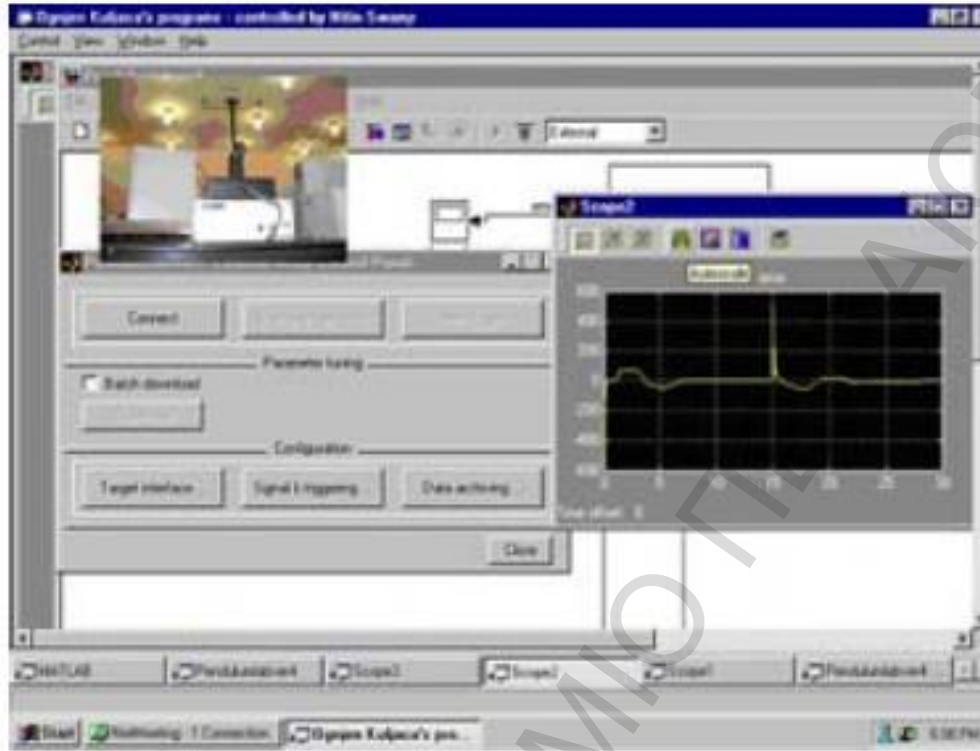
## 2.11 Λήψη αποφάσεων και User Interface

Πολλά προϊόντα λογισμικού είναι διαθέσιμα για την παροχή προηγμένων DSP, ευφείς διασυνδέσεις χρήστη, υποστήριξη αποφάσεων, και λειτουργίες συναγερμού. Ανάμεσα στα πιο δημοφιλή, ισχυρό και εύκολο στη χρήση είναι το National Instruments LabVIEW λογισμικό. Είναι διαθέσιμα εργαλεία για επεξεργασία εικόνας κάμερας, μηχανήματα επεξεργασίας σήματος και διάγνωσης, αισθητήρας βαθμονόμησης εξοπλισμού και δοκιμών, έλεγχος ανάδρασης, και πολλά άλλα. Η Εικόνα 22 δείχνει μια LabVIEW interface χρήστη για παρακολούθηση συνθηκών μηχανήματα μέσω Internet για αυτοματοποιημένες λειτουργίες προγραμματισμού συντήρησης. Συμπεριλαμβάνονται οθόνες σημάτων αισθητήρων που μπορούν να επιλεγούν και να προσαρμοστούν από τον χρήστη. Ο



---

χρήστης μπορεί να καθορίσει μπάντες κανονικής λειτουργίας, εξορμήσεις έξω από τις οποίες παράγονται συναγερμοί διαφόρων ειδών και βαρύτητας.



**Εικόνα 23: LabVIEW interface χρήστη για εξ αποστάσεως παρακολούθηση θέσης σε ασύρματο Internet**

---

## Κεφάλαιο 3. Πρότυπα IEEE 1451 (Standard for Smart Transducers)

### 3.1 Εισαγωγή

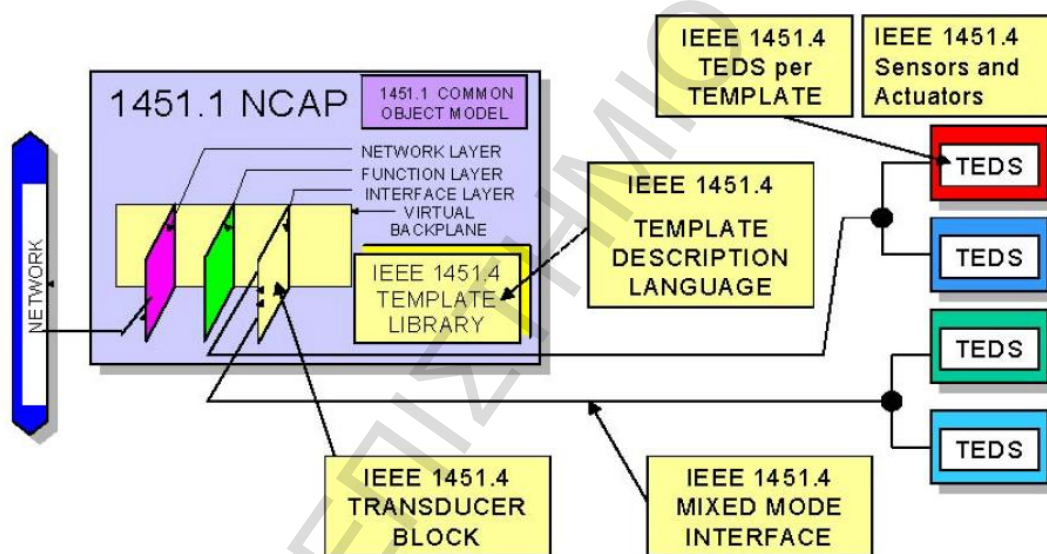
Αρκετά δίκτυα δεδομένων είναι σε γενική χρήση στη βιομηχανία, μαζί με μια μυριάδα βιομηχανικών μετατροπέων, και αισθητήρων και ενεργοποιητών. Συχνά, ένας χρήστης πρέπει να στραφεί προς ένα ενιαίο κατασκευαστή για δίκτυα, μετατροπείς και ελέγχους, για να εξασφαλίσει συμβατή λειτουργία. Θα ήταν τεράστια οικονομία, να επιτρέπεται σε κάθε αισθητήρα να επικοινωνεί χρησιμοποιώντας οποιοδήποτε δίκτυο δεδομένων. Η έννοια των έξυπνων αισθητήρων (μετατροπείς) προσπαθεί να κάνει αυτό πραγματικότητα.

Το IEEE P1451.1 καθορίζει μια κοινή περιγραφή μοντέλου αντικειμένου για μετατροπείς και ένα ικανό δίκτυο επεξεργαστή εφαρμογών (NCAP) για την διασύνδεση του δικτύου, ενώ το IEEE P1451.2 καθορίζει ένα ηλεκτρονικό δελτίο δεδομένων αισθητήρα (TEDS), μονάδα διασύνδεσης έξυπνου μετατροπέα (STIM) και αισθητήρα ανεξάρτητης διασύνδεσης (TII).

Το IEEE 1451.3 εξελίχθηκε για να ορίσει ένα multi-drop αισθητήρα δικτύου δεδομένων που βασίζεται σε ένα RF ευρέους φάσματος σε φυσικό μέσο σύρμα και δημοσιεύθηκε το 2003 ως IEEE Std 1451.3 - 2003 IEEE πρότυπο για μια Έξυπνη Διασύνδεση Μετατροπέα για Αισθητήρες και Ενεργοποιητές-Ψηφιακή Επικοινωνία και Formats Ηλεκτρονικού Δελτίου Δεδομένων (TEDS) Μετατροπέα για Κατανεμημένα Συστήματα multi-drop. Το IEEE P1451.4 έγινε δεκτό ως πλήρες πρότυπο χρήσης από την IEEE Standards Association, 14 του Μαΐου 2004, για μια Έξυπνη Διασύνδεση Μετατροπέα για Αισθητήρες και Ενεργοποιητές - Mixed-Mode Πρωτόκολλα Επικοινωνίας και Formats Electronic Data Sheet (TEDS) Μετατροπέα.

Το IEEE 1451.4 ορίζει μία φυσική σύνδεση (Mixed-Mode Interface, ή MMI) που χρησιμοποιείται εναλλακτικά για TEDS δεδομένα και αναλογικά σήματα, σε 2, 3 ή 4 σύρματα. Αυτό προσαρμόζει το Πρότυπο για χρήση με μια ευρεία ποικιλία από αισθητήρες και ενεργοποιητές.

Το μικρό φυσικό μέγεθος της συσκευής μνήμης επιτρέπει στα TEDS να συμπεριληφθούν στους μικροσκοπικούς, ελαφρούς αισθητήρες. Ωστόσο, ο χαμηλός αριθμός bit που διατίθεται σε φυσικά μικρές συσκευές μνήμης υπαγορεύει μόνο τα απαραίτητα δεδομένα να αποθηκεύονται σε έναν πίνακα που διέπεται από ένα υπόδειγμα (template). Το υπόδειγμα καθορίζει τη σημασία και τις μονάδες που σχετίζονται με τα αποθηκευμένα δεδομένα και την χαρτογράφηση των δεδομένων στη μνήμη. Πριν από την αποθήκευση των δεδομένων και μετά την ανάγνωση προς τα πίσω των αποθηκευμένων δεδομένων TEDS, το υπόδειγμα καθοδηγεί, αντίστοιχα, τη συσκευασία και την αποσυσκευασία των δεδομένων. Νέα υποδείγματα μπορούν να γραφούν στη γλώσσα περιγραφής προτύπου (TDL) που ορίζεται από το πρότυπο. Η Εικόνα 24 περιγράφει τη σχέση μεταξύ των μερών του προτύπου IEEE 1451.4 –2004



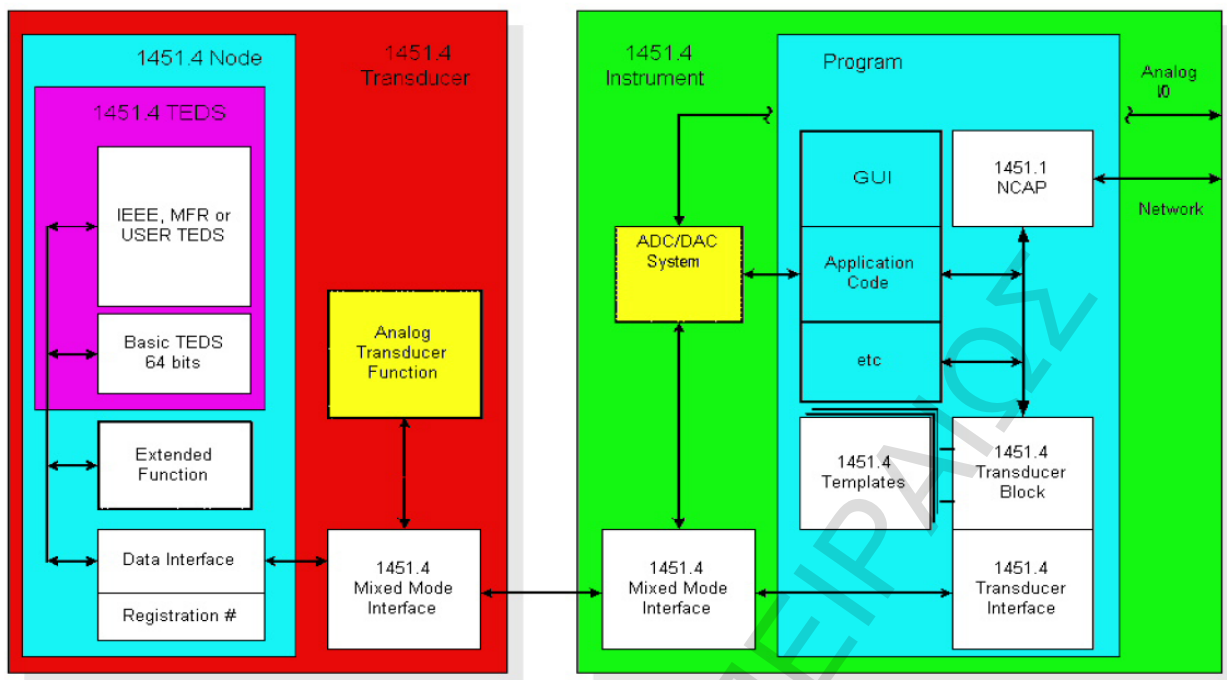
**Εικόνα 25: Αρχιτεκτονική Συστήματος IEEE 1451.4**

Χάρη στη χρήση υποδειγμάτων, το IEEE 1451.4 επιτρέπει στα TEDS δεδομένα να αποθηκεύονται σε μνήμες που είναι φυσικά μικρές, επεκτείνοντας τη χρήση του προτύπου σε μικρούς ελαφρούς μετατροπείς πολλών περιγραφών. Υποδείγματα μπορούν να γραφούν για μετατροπείς που δεν έχουν ακόμη οριστεί στη βιβλιοθήκη υποδειγμάτων που περιέχεται στο πρότυπο, χρησιμοποιώντας το TDL. Αυτό το είδος ανάπτυξης ενθαρρύνεται.

---

Το MMI (Mixed Mode Interface) ορίζεται σε δύο τάξεις, και πάλι για να επιτρέψει μια όσο το δυνατόν ευρεία επιλογή μετατροπών να χρησιμοποιούν το πρότυπο. Η Κλάση 1 του ορισμού MMI, για την ελαχιστοποίηση της καλωδίωσης του συστήματος, ορίζει την χρήση μιας μόνο σύνδεσης από τα δύο αναλογικά σήματα και δεδομένα, εναλλακτικά. Η Κατηγορία 1 είναι καλά προσαρμοσμένη για επιταχυνσιόμετρα και μικρόφωνα που περιέχουν ενισχυτές που λειτουργούν με ρεύμα. Εν τω μεταξύ, η Κατηγορία 2 επιτρέπει το αναλογικό και τα δεδομένα να μεταφερθούν μέσω ξεχωριστών συνδέσεων, σε εφαρμογές που δεν προσαρμόζονται σε μια κοινόχρηστη σύνδεση. Η εφαρμογές της Κατηγορίας 2 θα μπορούσαν να περιλαμβάνουν αισθητήρες πολύ υψηλής αντίστασης (γυάλινα ηλεκτρόδια pH), ενεργοποιητές και αισθητήρες 4–20mA ποικιλίας (I / P ρυθμιστές ελέγχου πίεσης, για παράδειγμα, γνωστούς ως Ida Pease) και μετατροπείς γέφυρας, θερμίστορ ή RTD αισθητήρες θερμοκρασίας, στα οποία θα είχαν προστεθεί σφάλματα από διόδους μεταγωγής.

Σε γενικές γραμμές, ο σκοπός του IEEE 1451.4 Standard είναι η προσαρμοστικότητα που επιτρέπει στα TEDS να χρησιμοποιούνται σε κάθε μορφή μετατροπέα. Σε γενικές γραμμές, τα δεδομένα που περιέχονται στα TEDS περιλαμβάνουν τον τύπο μετατροπέα και την αναγνώριση του κατασκευαστή (Βασικά TEDS), επιτρέποντας σε ένα σύστημα δεδομένων να επιλέξει το σωστό υπόδειγμα για την ερμηνεία των αποθηκευμένων δεδομένων. Το σώμα των TEDS δεδομένων περιλαμβάνει πληροφορία βαθμονόμησης, η οποία επιτρέπει σε ένα "έξυπνο" σύστημα δεδομένων την προσαρμογή για μεταβολές στην ευαισθησία του μετατροπέα, τυποποιώντας την απόκρισή του. Μια μικρή περιοχή χρήστη επιτρέπει σε μετατροπείς σε ένα μεγάλο φάσμα να προσδιοριστούν κατά θέση, πιθανώς διευκολύνοντας την επαχθή τήρηση βιβλίων σε τομείς όπως η πειραματική τυπική ανάλυση. Τέλος, το Πρότυπο ορίζει ένα μπλοκ μετατροπέα (T-block), το οποίο περιέχει τα "αγκίστρια" για τη σύνδεση ενός 1451.4 συστήματος σε ένα 1451.1 δίκτυο ικανό επεξεργαστή εφαρμογών.



**Εικόνα 26: Διάγραμμα ροής IEEE 1451.4 TEDS Συστήματος**

Το IEEE 1451.4 διάγραμμα ροής του συστήματος TEDS (Εικόνα 27) περιγράφει μια ιεραρχία των λειτουργιών που είναι απαραίτητες για να στεγάσει τα δεδομένα TEDS εντός φυσικής μνήμης, και να επιτρέψει την προσπέλαση αυτών των δεδομένων, μέσω ενός πρωτοκόλλου μετάδοσης δεδομένων. Το διάγραμμα ροής απεικονίζει όλα τα μέρη ενός πλήρως συμβατού συστήματος TEDS με το IEEE 1451.4, στο οποίο τα TEDS περιέχονται εντός ενός κόμβου και του κόμβου που βρίσκεται μέσα σε ένα αισθητήρα, το οποίο περιέχει ένα Mixed Interface Mode. Τα TEDS δεδομένα είναι διαθέσιμα σε μια συσκευή μέτρησης / ελέγχου που περιέχει το 1451.4 Transducer Interface και Transducer Block και μια Βιβλιοθήκη Υποδειγμάτων. Αυτές οι τρεις λειτουργίες είναι firmware αντικείμενα, τα οποία ταιριάζουν στο πρότυπο IEEE 1451.1 NCAP Object Model, που περιγράφεται πλήρως στο πρότυπο IEEE Std.1451.1-1999.

Τα υποσύνολα της υλοποίησης αυτής αναγνωρίζονται, κάτω από το IEEE 1451.4, συμπεριλαμβανομένου ενός ελάχιστου εφαρμογή, στην οποία η IEEE 1451,4 TEDS έχει αφομοιωθεί σε Block μετατροπέα, μαζί με ένα ενιαίο υπόδειγμα. Η εφαρμογή αυτή μπορεί να είναι η περίπτωση ενός μικρού οργάνου που περιέχει αναπόσπαστο μετατροπέα. Συμπεριλαμβάνονται, για αναφορά, στο διάγραμμα block συναρτήσεις που δεν ορίζονται

---

στο πρότυπο αυτό, αλλά οι οποίες μπορούν να βρεθούν σε μια τυπική εφαρμογή. Ακολουθούν σύντομες περιγραφές των λειτουργιών αυτών:

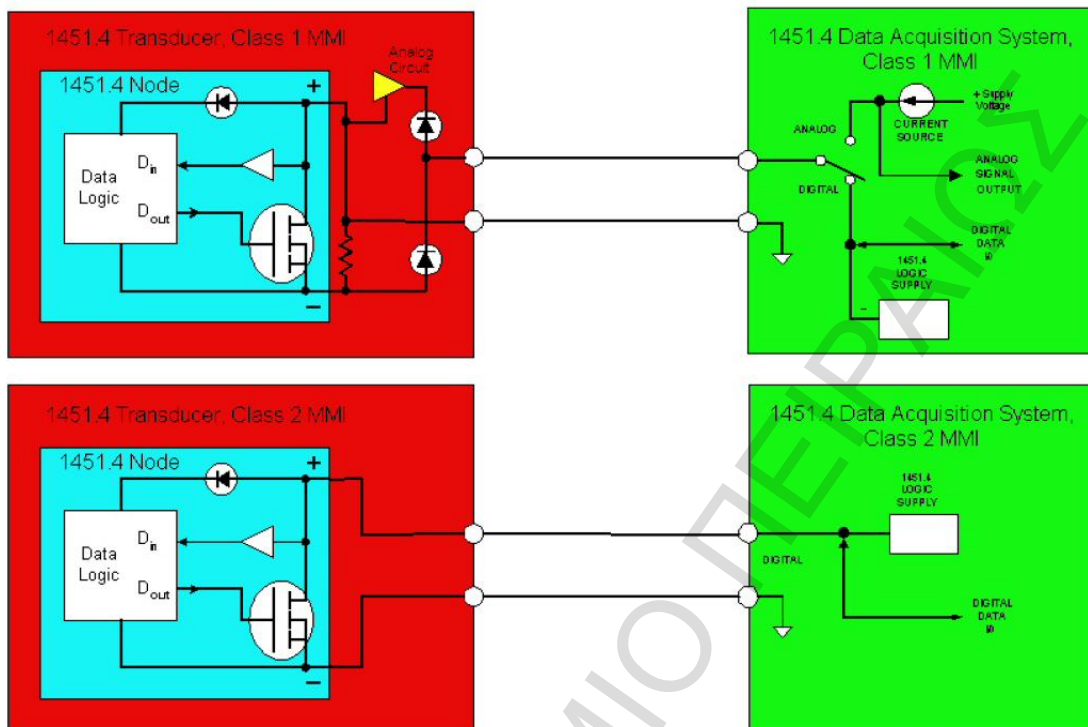
Εντός του IEEE 1451.4 Μετατροπέα, ένας αναλογικός μετατροπέας μοιράζεται τη Mixed Interface Mode. Τα TEDS δεδομένα εισέρχονται ή εξέρχονται από ένα 1451.4 κόμβο μέσω διασύνδεσης δεδομένων, το οποίο είναι ένα στοιχείο ελέγχου και λειτουργία εκπομπής / λήψης. Κάθε συναλλαγή μέσω διασύνδεσης δεδομένων χαρακτηρίζεται από το μοναδικό αριθμό καταχώρισης (URN), ο οποίος ελέγχει την επικοινωνία με επιμέρους κόμβους που συνδέονται με το MMI. Ο URN περιέχει έναν κωδικό οικογένειας, ένα σειριακό αριθμό και έναν κωδικό CRC. Ο κωδικός οικογένειας καθορίζει κυρίως το σετ εντολών που χρησιμοποιούνται κατά την επικοινωνία με τη συσκευή. Ο σειριακός αριθμός και το CRC επιτρέπουν μοναδική πρόσβαση σε μια μεμονωμένη συσκευή-κόμβο που συνδέεται σε ένα multi-drop system.

Μαζί με τη μνήμη TEDS, ένας κόμβος μπορεί να περιέχει πρόσθετες λειτουργίες, όπως διακόπτες, μετρητές, μέτρηση θερμοκρασίας, κλπ., όπως αντιπροσωπεύεται από την εκτεταμένη λειτουργία block. Πρόσβαση σε αυτές τις λειτουργίες θα βρεθούν στις προδιαγραφές της συσκευής, όπως υπονοείται από τον κωδικό οικογένειας. Στο όργανο 1451.4, αναλογικά δεδομένα εισέρχονται ή εξέρχονται από το μπλοκ προγράμματος εφαρμογής μέσω ενός αναλογικού συστήματος, το οποίο μοιράζεται το 1451.4 MMI. Όλες οι IEEE 1451.4 λειτουργίες αποτελούν τμήματα του συνολικού κώδικα προγράμματος, που μπορεί επίσης να περιλαμβάνει εφαρμογή κώδικα προγράμματος για τη συγκεκριμένη λειτουργία του οργάνου, μια γραφική interface χρήστη (GUI) και οθόνη, διασύνδεση δικτύου, και ούτω καθεξής. Η 1451.4 Interface Μετατροπέα περιλαμβάνει ένα χαμηλό επίπεδο δομής διοίκησης απαραίτητο για την εκτέλεση του πρωτοκόλλου επικοινωνίας που απαιτείται από τους TEDS κόμβους.

### 3.2 MMI, Class 1 & 2

Το IEEE 1451.4 Πρότυπο ορίζει δύο κατηγορίες MMI, για να επιτρέψει στο πρότυπο να χρησιμοποιείται με την ευρύτερη δυνατή επιλογή μετατροπέων. Οι λεπτομέρειες της λειτουργίας του κυκλώματος για IEEE 1451.2 συσκευές κατηγορίας 1 και κατηγορίας 2 TEDS φαίνεται στο παρακάτω διάγραμμα. Παρά το γεγονός ότι φαίνονται αισθητήρες

παρακάτω, οι ενεργοποιητές είναι εξίσου σε θέση να επικοινωνούν χρησιμοποιώντας το 1451.4 MMI.



**Εικόνα 28: Λεπτομέρειες Class 1 & 2 IEEE 1451.4**

Η Κλάση 1 ορίζει διαδοχική ανταλλαγή μιας ενιαίας σύνδεσης, που αποτελείται από δύο σύρματα, από αναλογικό και ψηφιακά σήματα. Ένα αναλογικό σήμα ορίζεται ως μία θετική τάση σε σχέση με σήμα επιστροφής, ενώ τα ψηφιακά δεδομένα μεταδίδονται ως μία αρνητική τάση. Για την Κλάση 1, μηδέν βολτ είναι ένα λογικό μηδέν και -5 βολτ είναι ένα λογικό ένα.

Η Κλάση 2 ορίζει μία σύνδεση δεδομένων ανεξάρτητη από το αναλογικό σήμα, επιτρέποντας στα TEDS να συμπεριληφθούν σε εφαρμογές οι οποίες δεν είναι προσαρμόσιμες σε κοινές λειτουργίες μεταξύ των δεδομένων και αναλογικών σημάτων, όπως γέφυρες, θερμοστοιχεία, μετατροπείς σε λειτουργία, κλπ., τα οποία δεν μπορούν να έχουν μια δίοδο μεταγωγής στη σύνδεση αναλογικού σήματος. Για την Κλάση 2, μηδέν βολτ είναι ένα λογικό μηδέν και +5 βολτ είναι ένα λογικό ένα. Επειδή οι συνδέσεις είναι



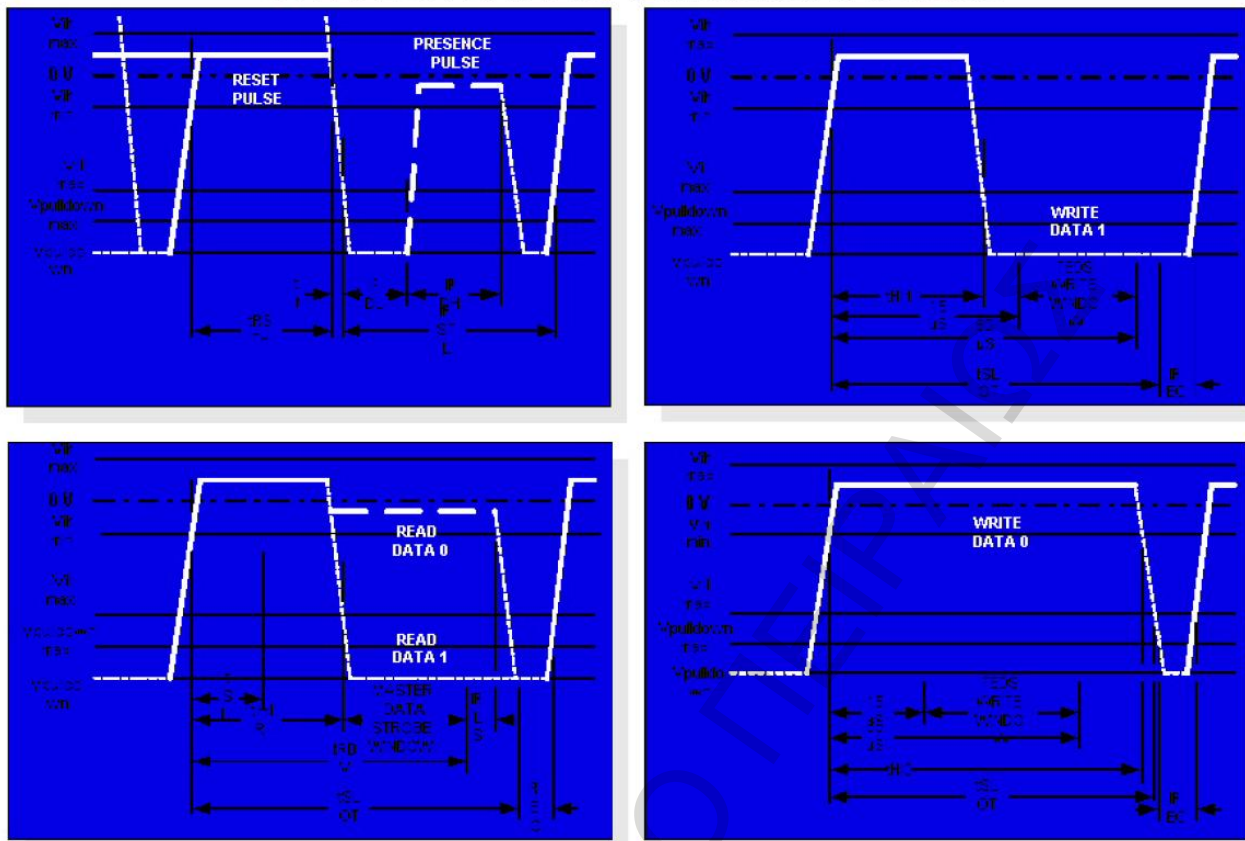
---

ανεξάρτητες, τα αναλογικά σήματα και τα ψηφιακά δεδομένα είναι διαθέσιμα ταυτόχρονα και συνεχώς, στην κλάση 2.

#### IEEE 1451.4-Mixed Mode Interface Μεταφοράς δεδομένων

Η μεταφορά δεδομένων σε μικτό περιβάλλον λειτουργίας υλοποιείται μέσω εντολών που αποτελούνται από τέσσερα διαστήματα παλμών: επαναφορά, εγγραφή-ένα, εγγραφή-μηδέν και ανάγνωση. Αυτά εφαρμόζονται σε μία αλληλουχία η οποία ορίζεται για τη συσκευή κόμβο TEDS. Οι μεταφορές αρχίζουν πάντα με μία επαναφορά διαστήματος, ακολουθούμενη από μία εντολή ROM, που αποτελείται από αλληλουχίες ανάγνωσης και εγγραφής, που ακολουθείται από μια εντολή RAM, η οποία επίσης αποτελείται από αλληλουχίες ανάγνωσης και εγγραφής. Οι αλληλουχίες για την Κλάση 1 που φαίνονται στα διαγράμματα χρονισμού παρακάτω, με παλμούς μεταξύ μηδέν και αρνητικών 5 βολτ, ονομαστικά. Η πολικότητα σήματος αντιστρέφεται για την Κλάση 2, με παλμούς μεταξύ μηδέν και θετικών 5 βολτ.





Εικόνα 29: IEEE 1451.4 MMI Κυματομορφές Μετάδοσης Δεδομένων

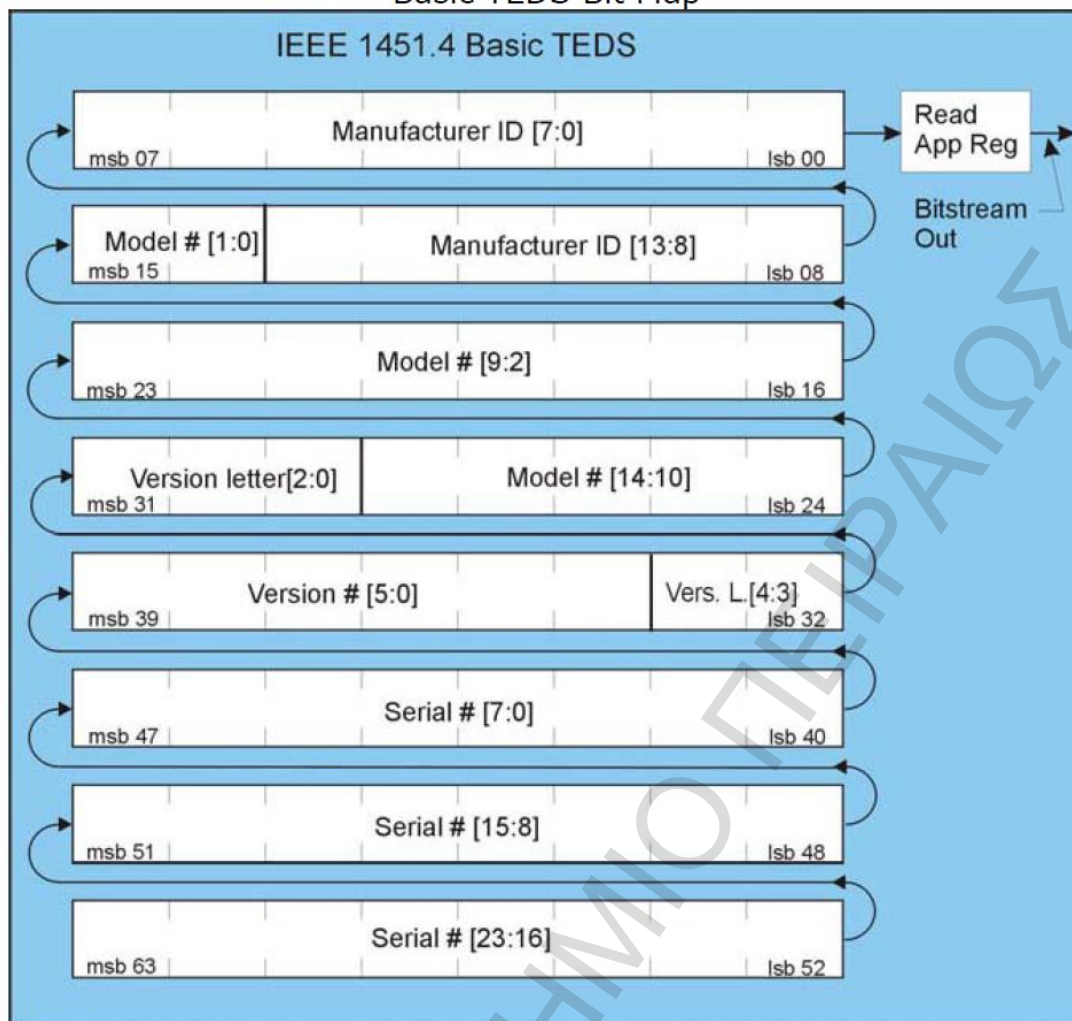
### 3.3 IEEE 1451.4 TEDS Data

Το πρότυπο IEEE 1451.4 Interface Μετατροπέα χρησιμοποιείται για την απαρίθμηση τυχόν κόμβων που περιέχονται σε ένα αισθητήρα και για ανάκτηση δεδομένων από κάθε κόμβο. Στην απλούστερη των διαμορφώσεων, μπορεί να υπάρχει μόνο μια μοναδική συσκευή μνήμης σε ένα μετατροπέα. Μια πιο περίπλοκη χρήση μπορεί να περιλαμβάνει μία ή περισσότερες συσκευές μνήμης, μαζί με οποιοδήποτε αριθμό περιφερειακών. Μία χρήση ενός περιφερειακού θα επέτρεπε στους μετατροπείς να είναι πολυπλεκτικοί σε ένα μεμονωμένο κανάλι με ενσωμάτωση ενός διακόπτη στον μετατροπέα που μπορεί να απομονώνει το μετατροπέα από την αναλογική διαδρομή. Όταν τέτοιοι μετατροπείς

---

συνδέονται με ένα μόνο κανάλι, τότε όλοι οι κόμβοι σε κάθε μετατροπέα πρέπει να μοιράζονται το ψηφιακό κανάλι. Πριν την επεξεργασία δεδομένων, οι κόμβοι πρέπει να καταμετρηθούν και να συλλεχθούν σε μία ομάδα για κάθε αισθητήρα. Οι ειδικά διαμορφωμένοι αισθητήρες που ονομάζονται Node Lists χρησιμοποιούνται για να καθοριστούν ποιοι κόμβοι πρέπει να ομαδοποιηθούν για κάθε αισθητήρα και με ποια σειρά τα περιεχόμενα της κάθε συσκευής μνήμης θα πρέπει να υποβάλλονται σε επεξεργασία. Ωστόσο, όταν τα δεδομένα είναι σε αλληλουχία σε ένα ενιαίο μπλοκ, τα δεδομένα υφίστανται επεξεργασία με τον ίδιο τρόπο όπως μια συσκευή με ένα μόνο κόμβο.

Πολλοί IEEE 1451.4 μετατροπείς θα ενσωματώσουν μια απλή DS2430A, ή ισοδύναμη, συσκευή μνήμης. Η συσκευή αυτή περιέχει 64 bit μνήμη write once που καλείται μητρώο εφαρμογή, 8 bit κατάσταση μητρώου, και 256 bit EPROM που ονομάζεται μνήμη δεδομένων. Ο οκτώ-bit καταχωρητής κατάστασης χρησιμοποιείται για να καθοριστεί εάν ή όχι το μητρώο εφαρμογής έχει καεί. Σύμφωνα με το πρότυπο, τα 64 bit Βασικά TEDS πρέπει να αποθηκεύονται στο μητρώο εφαρμογής. Το υπόλοιπο των δεδομένων είναι αποθηκευμένα στη μνήμη δεδομένων.

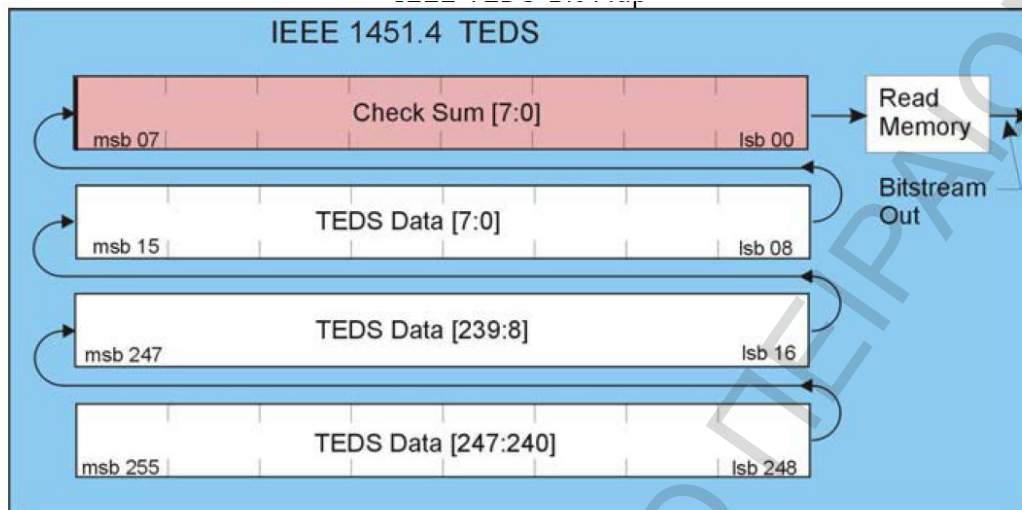


**Εικόνα 30: Χάρτης Bit Βασικών TED**

Έλεγχος αθροίσματος χρησιμοποιείται για την εξασφάλιση ότι τα δεδομένα μεταφέρονται σωστά στο ψηφιακό κανάλι. Σε γενικές γραμμές, οκτώ bit άθροισμα ελέγχου υπολογίζεται για κάθε τμήμα 256-bit μνήμης σε έναν κόμβο. Για τη DS2430A, αφού υπάρχει μόνο ένα 256-bit μνήμης, υπάρχει μόνο ένα άθροισμα ελέγχου, το οποίο βρίσκεται στο πρώτο byte της μνήμης δεδομένων. Αυτό είναι σημασμένο byte μηδέν στην περιγραφή της μνήμης δεδομένων για τη DS2430A. Ωστόσο, επειδή το μητρώο εφαρμογής περιέχει επίσης δεδομένα και μπορούν να εγγραφούν μόνο μία φορά, το άθροισμα ελέγχου στη μνήμη δεδομένων περιλαμβάνει επίσης τα Βασικά TEDS που αποθηκεύονται στο μητρώο εφαρμογής. Το άθροισμα ελέγχου υπολογίζεται από την πρώτη αθροίζοντας κάθε byte στη μνήμη και παίρνοντας το συμπλήρωμα των δύο από τα χαμηλότερα οκτώ bits του αθροίσματος. Με αυτό τον τρόπο, ένα οκτώ-bits άθροισμα όλων των δεδομένων και το

---

άθροισμα ελέγχου πρέπει να είναι ίσο με 0. Αφού τα αθροίσματα ελέγχου επαληθευτούν, απορρίπτονται.



**Εικόνα 31: Χάρτης Bit IEEE TEDS**

Τα δεδομένα στη συσκευή μνήμης είναι συσκευασμένα σε ένα πραγματικό ρεύμα bit. Δεν υπάρχουν όρια μήκους λέξης που καθορίζονται από τη δομή των δεδομένων της ίδιας εκτός από την κατασκευή των βασικών TEDS, η οποία επιλέχθηκε για να χωρέσει μέσα του 64-bit εύρος του μητρώου εφαρμογής. Όλα τα πεδία εντός των βασικών TEDS και τυχόν υποδείγματα που ακολουθούν είναι μόνο λέξη ευθυγραμμισμένη, εάν ο σχεδιαστής του προτύπου επιλέγει να το πράξει. Κάθε byte που διαβάζεται από τη συσκευή μνήμης συσκευάζεται στο ρεύμα bit αρχίζοντας με το λιγότερο σημαντικό bit και τελειώνοντας με το πλέον σημαντικό bit του byte. Όπως τα bits διαβάζονται από το ρεύμα, το πρώτο bit είναι το λιγότερο σημαντικό bit της τρέχουσας τιμής που διαβάζεται. Εάν ένα πεδίο δεδομένων TEDS είναι εύρους έξι bits, τα έξι bit απομακρύνονται από το ρεύμα bit και το πρώτο bit τοποθετείται στην λιγότερο σημαντική θέση, ενώ το τελευταίο bit που απομακρύνθηκε τοποθετείται στην πλέον σημαντική θέση.

Στην περίπτωση ενός μετατροπέα που περιέχει μια μόνο DS2430A, η συναρμολόγηση του ρεύματος bit εκτελείται ως ακολούθως. Το μπλοκ μετατροπέα αρχίζει με την ανάγνωση των

---

bytes από το μητρώο εφαρμογής ξεκινώντας από byte 0. Η μνήμη δεδομένων συνενώνεται με τον ίδιο τρόπο που το άθροισμα ελέγχου απορρίπτεται. Σε αυτήν την περίπτωση, αυτό σημαίνει ότι byte 1 της μνήμης δεδομένων ακολουθεί οκτώ byte του μητρώου εφαρμογής. Το τελευταίο byte στο ρεύμα είναι 31 byte της μνήμης δεδομένων. Σε όλα, με την απόρριψη του αθροίσματος ελέγχου, υπάρχουν 39 bytes στο ρεύμα.

Σε αυτό το σημείο, οι βασικές TEDS μπορούν να εξεταστούν. Τα πρώτα 14 bits απομακρύνονται από το ρεύμα bit, όπως περιγράφεται παραπάνω. Τα bit αυτά αντιπροσωπεύουν τον κατασκευαστή του μετατροπέα. Το υπόλοιπο των βασικών TEDS απομακρύνεται όπως φαίνεται στον παρακάτω πίνακα (Πίνακας 3).

| <b>Basic TEDS</b> |             |              |
|-------------------|-------------|--------------|
| <b>Field</b>      | <b>Size</b> | <b>Range</b> |
| Manufacturer ID   | 14 bits     | 17-16381     |
| Model Number      | 15 bits     | 0-32767      |
| Version Letter    | 5 bits      | A-Z (Chr5)   |
| Version Number    | 6 bits      | 0-63         |
| Serial Number     | 24 bits     | 0-16777215   |

### **Πίνακας 3: Βασικά TEDS**

Το υπόλοιπο των TEDS δεδομένα διαιρείται σε μεγάλα τμήματα. Αυτά τα τμήματα συνήθως αποτελούνται από υποδείγματα. Κατά την έναρξη του κάθε τμήματος είναι ένα δύο-bit πεδίο που ονομάζεται "Επιλογέας Περιγραφής" ή DS. Αυτό το πεδίο χρησιμοποιείται στην αρχή του κάθε μεγάλου μπλοκ δεδομένων και περιγράφεται με περισσότερες λεπτομέρειες στο τμήμα 6.4 του standard. Για ένα μπλοκ το οποίο περιγράφεται από ένα υπόδειγμα IEEE, η τιμή του πεδίου είναι πάντοτε μηδέν και τα επόμενα οκτώ bits χρησιμοποιούνται για να καθοριστεί ποιο υπόδειγμα περιγράφει το μπλοκ δεδομένων. Μια TEDS ροή δεδομένων συχνά τελειώνει με ένα 7-bit ASCII μπλοκ δεδομένων. Ωστόσο, οποιοσδήποτε αριθμός των υποδειγμάτων μπορεί να ακολουθήσει υπό την προϋπόθεση ότι υπάρχει αρκετός χώρος στη μνήμη για να τους φιλοξενήσει. Ένα μπλοκ 7-bit ASCII δεδομένων υποδεικνύεται από ένα DS set σε 3 ακολουθούμενα από ένα bit set σε 1. Τα δεδομένα σε αυτό το είδος του μπλοκ εννοείται ότι είναι απλά δεδομένα κειμένου που μπορεί εύκολα να επεξεργαστούν από το χρήστη.

---

## Κεφάλαιο 4. Πρότυπα ZigBee και Bluetooth /IEEE 802.15 για δίκτυα WPAN

### 4.1 Εισαγωγή

Τα WPANs εστιάζουν στο χώρο γύρω από ένα πρόσωπο ή αντικείμενο που συνήθως εκτείνεται έως 10m σε όλες τις κατευθύνσεις. Τα WPANs αφορούν σε χαμηλό κόστος, χαμηλή ισχύ, μικρή εμβέλεια και πολύ μικρό μέγεθος. Έχουν οριστεί σήμερα τρεις κατηγορίες προτύπων WPANs που διαφοροποιούνται με τη ταχύτητα δεδομένων, την εξάντληση της μπαταρίας και την ποιότητα υπηρεσιών (QoS). Το υψηλής ταχύτητας WPAN (IEEE 802.15.3) είναι κατάλληλο για multi-media εφαρμογές που απαιτούν πολύ υψηλή QoS. Μέσης ταχύτητας WPANs (IEEE 802.15.1/Bluetooth) χειρίζονται μια ποικιλία καθηκόντων που κυμαίνονται από κινητά τηλέφωνα μέχρι PDA επικοινωνιών και διαθέτουν κατάλληλη QoS για φωνητικές επικοινωνίες. Τα χαμηλής ταχύτητας WPANs (IEEE 802.15.4/LR-WPAN) έχουν σα στόχο να εξυπηρετήσουν ένα σύνολο βιομηχανικών, οικιακών και ιατρικών εφαρμογών με πολύ χαμηλή κατανάλωση ενέργειας χωρίς να λαμβάνεται υπόψη η απαίτηση κόστους από τα ανωτέρω WPANs και με χαλαρές απαιτήσεις για ταχύτητα μετάδοσης δεδομένων και QoS. Ο χαμηλό ρυθμό μετάδοσης δεδομένων επιτρέπει την LR-WPAN να καταναλώνουν πολύ λίγη ενέργεια.

Οι ZigBee συμβατές ασύρματες συσκευές μεταδίδουν στα 10-75 μέτρα, ανάλογα με το περιβάλλον RF και την κατανάλωση ισχύος εξόδου που απαιτείται για μια δεδομένη εφαρμογή, και λειτουργούν σε μη αδειοδοτημένες RF σε όλο τον κόσμο (2.4GHz παγκόσμια, 915MHz Αμερική ή 868 MHz Ευρώπη). Η ταχύτητα μετάδοσης δεδομένων του ZigBee είναι 250kbps στα 2.4GHz, 40kbps στα 915MHz και 20kbps στα 868MHz, ενώ του Bluetooth είναι 1Mbps. Το IEEE 802.15.4 επικεντρώνεται στην προδιαγραφή των δύο κατώτερων στρωμάτων (layers) του πρωτοκόλλου (PHY και Data Link Layers).

### 4.2 Bluetooth

Ειδικότερα, το Bluetooth είναι μια τεχνολογία μικρού εύρους RF που αποσκοπεί στη διευκόλυνση της επικοινωνίας των ηλεκτρονικών συσκευών μεταξύ τους και με το



---

Διαδίκτυο, επιτρέποντας το συγχρονισμό δεδομένων που είναι διαφανής στο χρήστη. Υποστηριζόμενες συσκευές περιλαμβάνουν υπολογιστές, φορητούς υπολογιστές, εκτυπωτές, joysticks, πληκτρολόγια, ποντίκια, κινητά τηλέφωνα, PDAs, και καταναλωτικά προϊόντα. Οι κινητές συσκευές υποστηρίζονται επίσης. Discovery πρωτόκολλα επιτρέπουν σε νέες συσκευές να συνδεθούν εύκολα με το δίκτυο. Bluetooth χρησιμοποιεί το χωρίς άδεια 2,4 GHz και μπορεί να μεταδώσει δεδομένα μέχρι 1Mbit / s, μπορεί να διαπεράσει στερεά μη-μεταλλικών εμποδίων, και έχει ένα ονομαστικό εύρος των 10m που μπορεί να επεκταθεί σε 100m. Ένας κεντρικός σταθμός μπορεί να εξυπηρετήσει μέχρι 7 ταυτόχρονες συνδέσεις σκλάβων. Σχηματίζοντας ένα δίκτυο από αυτά τα δίκτυα, π.χ. ένα riconet, μπορεί να επιτρέψει σε ένα κύριο να εξυπηρετήσει μέχρι και 200 σκλάβους.

Επί του παρόντος, Bluetooth kit ανάπτυξης μπορεί να αγοραστεί από μια ποικιλία προμηθευτών, αλλά τα συστήματα γενικά απαιτούν πολύ χρόνο, προσπάθεια, και γνώσεις προγραμματισμού και εντοπισμού σφαλμάτων. Η δημιουργία riconets δεν έχει ακόμη εκσυγχρονιστεί και είναι υπερβολικά δύσκολη.

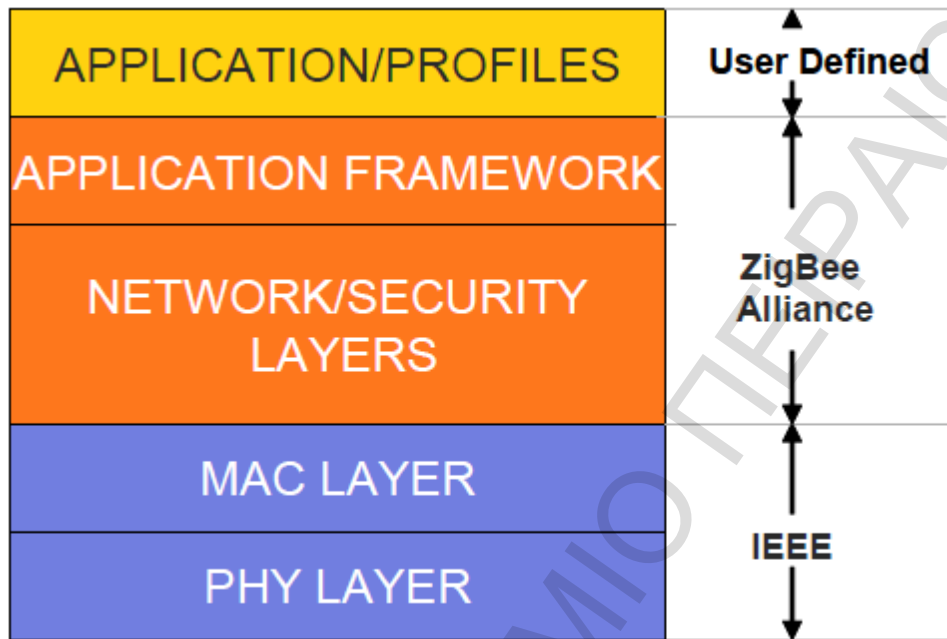
### 4.3 ZigBee

Η ZigBee τεχνολογία είναι ένα χαμηλής ταχύτητας δεδομένων, χαμηλής κατανάλωσης ενέργειας, χαμηλού κόστους, ασύρματο πρωτόκολλο δικτύωσης (network / routing layers) που απευθύνεται στην αυτοματοποίηση και στις εφαρμογές μακρινού ελέγχου (remote control).

Το IEEE και η ZigBee Alliance έχουν εργαστεί στενά για τον καθορισμό ολόκληρης της στοίβας πρωτοκόλλου (protocol stack). Τα IEEE πρότυπα επικεντρώνονται στην προδιαγραφή των δύο κατώτερων στρωμάτων (layers) του πρωτοκόλλου (φυσικού και σύνδεσης δεδομένων). Από την άλλη πλευρά, η ZigBee Alliance στοχεύει να παράσχει τα ανώτερα στρώματα της στοίβας πρωτοκόλλων (από το δίκτυο ως το επίπεδο εφαρμογών) για διαλειτουργικό δίκτυο δεδομένων, υπηρεσίες ασφάλειας και μια ποικιλία ασύρματων εφαρμογών ελέγχου οικίας και κτιρίου, να διασφαλίζει τη διαλειτουργικότητα δοκιμών συμμόρφωσης, εμπορίας των προτύπων, προηγμένης τεχνολογίας για την εξέλιξη των προτύπων. Αυτό θα εξασφαλίσει τους καταναλωτές να

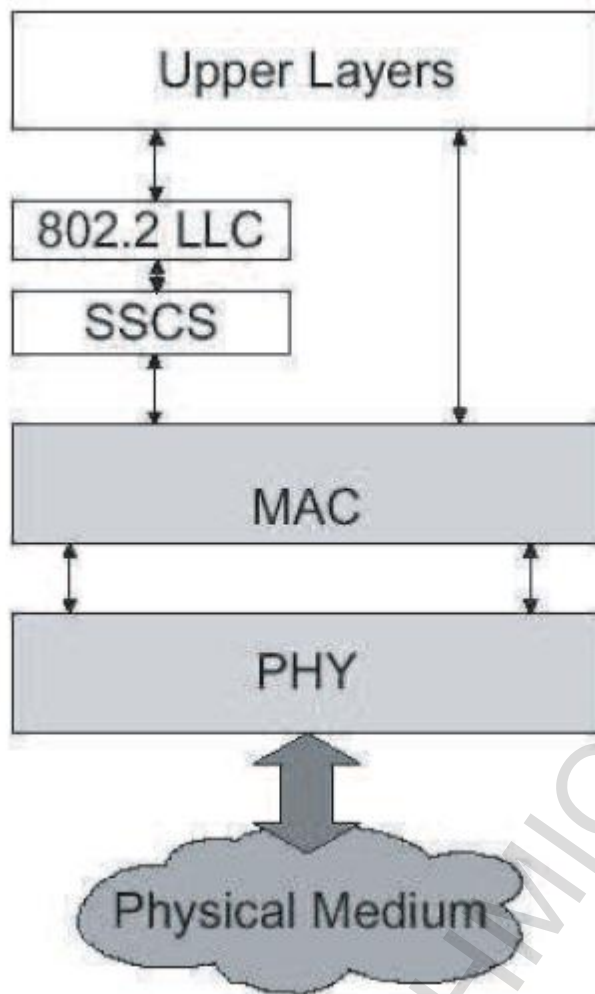
---

αγοράζουν προϊόντα από διαφορετικούς κατασκευαστές με εμπιστοσύνη ότι τα προϊόντα θα λειτουργήσουν μαζί.



Σχήμα 6. IEEE 802.15.4 Stack





**Εικόνα 32: Αρχιτεκτονική διάταξη LR-WPAN**

Η Εικόνα 33 δείχνει μια LR-WPAN συσκευή. Η συσκευή περιλαμβάνει ένα PHY, το οποίο περιέχει ένα πομποδέκτη ραδιοσυχνοτήτων (RF) μαζί με το χαμηλού επιπέδου μηχανισμό ελέγχου του, και ένα υπόστρωμα MAC που παρέχει πρόσβαση στο φυσικό κανάλι για όλους τους τύπους μεταφοράς. Τα ανώτερα στρώματα αποτελούνται από ένα στρώμα δικτύου, το οποίο παρέχει τη διαμόρφωση του δικτύου, το χειρισμό και τη δρομολόγηση μηνυμάτων, και στρώμα εφαρμογής, το οποίο παρέχει τη προβλεπόμενη λειτουργία μίας συσκευής. Ένας IEEE 802.2 έλεγχος λογικής σύνδεσης (LLC) μπορεί να έχει πρόσβαση στο υποεπίπεδο MAC μέσω της υπηρεσίας υποστρώματος ειδικής σύγκλισης (SSCS).

---

## 4.4 Τοπολογίες WPAN

Το IEEE 802.15 παρουσιάζει λεπτομερώς τις προδιαγραφές των PHY και MAC, προσφέροντας δομικά μπλοκ (blocks) για διαφορετικούς τύπους δικτύου, γνωστών ως «star, mesh, και cluster tree». Και το ZigBee επίπεδο δικτύου (network layer) επίσης υποστηρίζει τους τρεις αυτούς τύπους τοπολογίας δικτύου (Εικόνα 34).

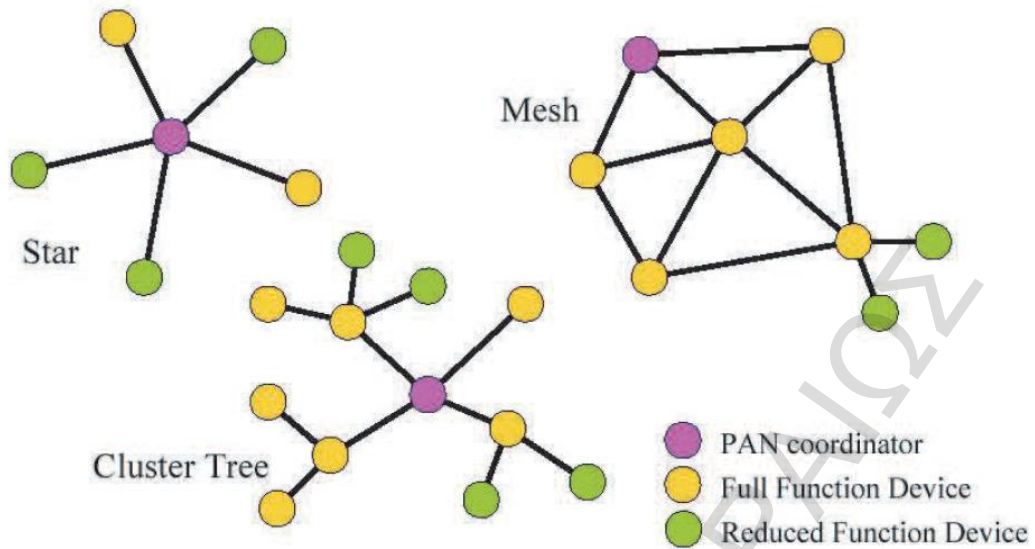
Ένα σύστημα ZigBee αποτελείται από διάφορα στοιχεία. Το βασικότερο είναι η συσκευή. Μια συσκευή μπορεί να είναι πλήρους λειτουργίας (Full-Function Device, FFD) ή μειωμένης λειτουργίας (Reduced-Function Device, RFD). Ένα δίκτυο πρέπει να περιλαμβάνει τουλάχιστον μία FFD, που λειτουργεί ως συντονιστής PAN (Personal Area Network). Η FFD μπορεί να λειτουργεί με τρεις τρόπους: ένας συντονιστής PAN, ένας συντονιστής ή μια συσκευή. Μια RFD προορίζεται για εφαρμογές που είναι εξαιρετικά απλές και δεν χρειάζεται να αποστέλλει μεγάλες ποσότητες δεδομένων. Μια FFD μπορεί να επικοινωνεί με RFDs ή FFDs ενώ μια RFD μπορεί να επικοινωνεί μόνο με μια FFD :

- **Star Topology.** Στην τοπολογία αστέρα, η επικοινωνία γίνεται μεταξύ συσκευών και ενός κεντρικού ελεγκτή, που λέγεται συντονιστής PAN. Ο συντονιστής PAN μπορεί να τροφοδοτείται με ρεύμα, ενώ οι συσκευές πιθανότατα θα τροφοδοτούνται με μπαταρία. Εφαρμογές που επωφελούνται από αυτή την τοπολογία συμπεριλαμβάνουν αυτοματοποίηση οικίας, προσωπικό υπολογιστή (PC), περιφερειακά, παιχνίδια και παιχνίδια. Μετά από την ενεργοποίηση μιας FFD για πρώτη φορά, αυτή μπορεί να δημιουργήσει το δικό της δίκτυο και να γίνει συντονιστής PAN. Κάθε δίκτυο έναρξης επιλέγει ένα PAN αναγνωριστικό, το οποίο δεν χρησιμοποιείται επί του παρόντος από οποιοδήποτε άλλο δίκτυο εντός της εμβέλειας. Αυτό επιτρέπει σε κάθε δίκτυο αστέρα να λειτουργεί ανεξάρτητα.
- **Mesh / Peer-to-peer Topology.** Στην τοπολογία peer-to-peer, υπάρχει επίσης ένας συντονιστής PAN. Σε αντίθεση με την τοπολογία αστέρα, οποιαδήποτε συσκευή μπορεί να επικοινωνεί με οποιαδήποτε άλλη συσκευή εφ' όσον είναι στην εμβέλεια ο ένας του άλλου. Ένα peer-to-peer δίκτυο μπορεί να είναι ad hoc, self-organizing και self-healing. Εφαρμογές όπως βιομηχανικός έλεγχος και παρακολούθηση, ασύρματα δίκτυα αισθητήρων, παρακολούθηση περιουσιακών

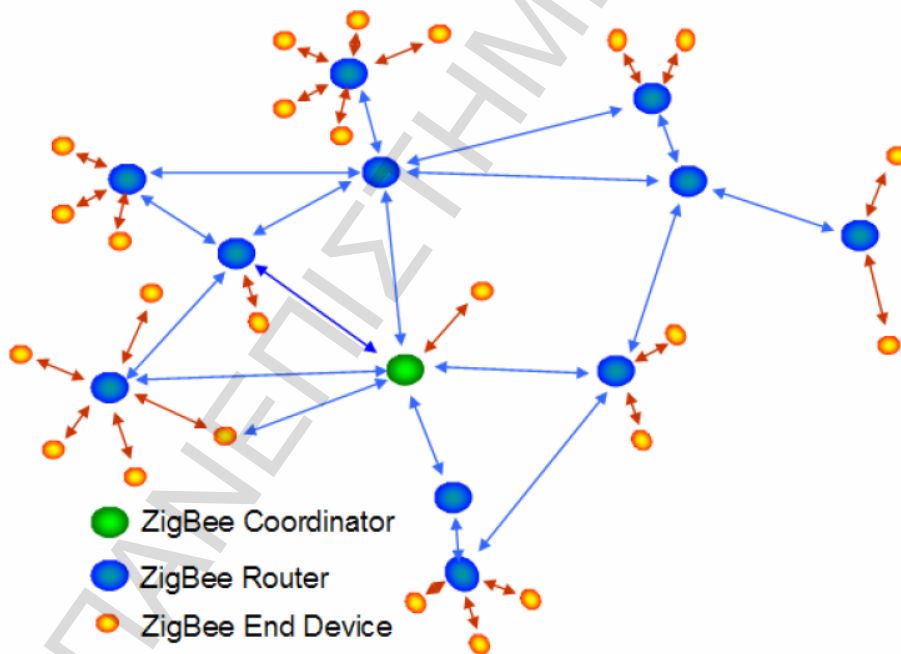
---

στοιχείων και αποθεμάτων επωφελούνται από μια τέτοια τοπολογία. Επίσης, επιτρέπει πολλαπλά σημεία (hops) για δρομολόγηση μηνυμάτων σε μηνύματα διαδρομή από οποιαδήποτε συσκευή σε οποιαδήποτε άλλη συσκευή στο δίκτυο. Μπορεί να προσφέρει αξιοπιστία με τη δρομολόγηση πολλαπλών διαδρομών.

- **Cluster-tree Topology.** Το δίκτυο cluster-tree (συστάδας δέντρου) είναι μια ειδική περίπτωση ενός δικτύου peer-to-peer στο οποίο οι περισσότερες συσκευές είναι FFDs και μία RFD μπορεί να συνδεθεί με ένα δίκτυο συστάδας δέντρου ως ένας κόμβος φύλλου στο τέλος του κλαδιού. Οποιαδήποτε από τις FFD μπορεί να λειτουργεί ως συντονιστής και να παρέχει υπηρεσίες συγχρονισμού σε άλλες συσκευές και συντονιστές. Μόνο ένας από αυτούς τους συντονιστές είναι όμως συντονιστής PAN. Ο συντονιστής PAN σχηματίζει την πρώτη συστάδα ως επικεφαλής συστάδας (CLH) με ένα αναγνωριστικό συστάδας (CID) από το μηδέν, επιλέγοντας ένα χρησιμοποιήσιμο αναγνωριστικό PAN (PAN identifier), και μεταδίδοντας (αναγνωριστικά σήματα) beacon frames σε γειτονικές συσκευές. Μια υποψήφια συσκευή που λαμβάνει ένα beacon frame μπορεί να ζητήσει να συνδεθεί στο δίκτυο CLH. Αν ο συντονιστής PAN επιτρέπει στη συσκευή να συνδεθεί, θα προσθέσει αυτή τη νέα συσκευή ως συσκευή παιδί στη λίστα γειτόνων της. Η νέο-ενταχθείσα συσκευή θα προσθέσει το CLH ως μητρικό στη λίστα γειτόνων της και θα αρχίσει να μεταδίδει περιοδικά beacons έτσι ώστε άλλες υποψήφιες συσκευές να μπορούν να ενταχθούν στο δίκτυο σε εκείνη τη συσκευή. Εφόσον η εφαρμογή ή οι απαιτήσεις δικτύου πληρούνται, ο PAN συντονιστής μπορεί να αναθέσει σε μια συσκευή να γίνει CLH μιας νέας συστάδας δίπλα στη πρώτη. Το πλεονέκτημα αυτής της δομής συστάδας είναι η αυξημένη περιοχή κάλυψης στο κόστος αυξημένης καθυστέρησης μηνύματος.



Εικόνα 35: Μοντέλα τοπολογίας



Εικόνα 36: Το δίκτυο αστέρα υποστηρίζει ένα ενιαίο συντονιστή ZigBee με μία ή περισσότερες συσκευές ZigBee End (μέχρι 65.536 στη θεωρία). Το δίκτυο δρομολόγησης Mesh επιτρέπει το σχηματισμό μονοπατιού από οποιαδήποτε συσκευή πηγή σε οποιαδήποτε συσκευή προορισμό

---

Η self-forming και self-healing ZigBee αρχιτεκτονική δικτύου mesh επιτρέπει στα μηνύματα δεδομένων και ελέγχου να περνούν από τον ένα κόμβο στον άλλο κόμβο μέσω πολλαπλών διαδρομών. Αυτό το χαρακτηριστικό επεκτείνει το εύρος του δικτύου και βελτιώνει την αξιοπιστία των δεδομένων. Αυτή η peer-to-peer ικανότητα μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την κατασκευή μεγάλων, διάσπαρτων γεωγραφικά δικτύων, όπου τα μικρότερα δίκτυα συνδέονται μεταξύ τους για να σχηματίσουν ένα δίκτυο «cluster tree». Το ZigBee παρέχει μια εργαλειοθήκη ασφάλειας για να εξασφαλίσει αξιόπιστα και ασφαλή δίκτυα. Λίστες ελέγχου πρόσβασης, packet freshness timers και 128-bit κρυπτογράφηση προστατεύουν τη μετάδοση δεδομένων και τα ZigBee ασύρματα δίκτυα.

Τα ZigBee δίκτυα αποτελούνται από πολλαπλούς τύπους κυκλοφορίας με μοναδικά χαρακτηριστικά, συμπεριλαμβανομένων περιοδικών δεδομένων, διαλειπόντων δεδομένων, και επαναλαμβανόμενων δεδομένων χαμηλής καθυστέρησης. Τα χαρακτηριστικά του καθενός είναι τα ακόλουθα:

- Περιοδικά δεδομένα – συνήθως καθορίζονται από την εφαρμογή, όπως ένας ασύρματος αισθητήρας ή μετρητής. Τα δεδομένα συνήθως διακινούνται με τη χρήση ενός συστήματος beaconing σύμφωνα με το οποίο ο αισθητήρας ξυπνά σε καθορισμένο χρόνο και ελέγχει για το beacon, ανταλλάσσει δεδομένα, και πάει για ύπνο.
- Διαλείποντα δεδομένα – είτε εφαρμογή είτε εξωτερικό ερέθισμα που ορίζεται όπως ένας ασύρματος διακόπτης φωτός. Τα δεδομένα μπορούν να διακινούνται σε ένα beaconless σύστημα ή να αποσυνδέονται. Σε λειτουργία αποσύνδεσης, η συσκευή συνδέεται στο δίκτυο μόνο όταν απαιτείται επικοινωνία, εξοικονομώντας σημαντική ενέργεια.
- Επαναληπτικά δεδομένα χαμηλής καθυστέρησης – χρησιμοποιεί το διαθέσιμο χρόνο κατανομών χρήσης χρόνου, όπως ένα σύστημα ασφαλείας. Αυτές οι εφαρμογές μπορούν να χρησιμοποιούν την δυνατότητα guaranteed time slot (GTS). Η GTS είναι μια μέθοδος QoS που επιτρέπει σε κάθε συσκευή συγκεκριμένη διάρκεια χρόνου, όπως ορίζεται από τον συντονιστή PAN στο Superframe να κάνει ό, τι χρειάζεται χωρίς σύγκρουση (contention) ή καθυστέρηση.

---

Για παράδειγμα, μια εφαρμογή ανάγνωσης αυτόματου μετρητή αντιπροσωπεύει κυκλοφορία δεδομένων περιοδικού τύπου με δεδομένα από μετρητές νερού ή αερίου που μεταδίδονται σε έναν ηλεκτροδοτούμενο μετρητή γραμμής και διέρχονται επί μιας ηλεκτρικής γραμμής προς μια κεντρική θέση. Χρησιμοποιώντας το χαρακτηριστικό beaconing του προτύπου IEEE, ο αντίστοιχος RFD μετρητής ξυπνάει και ακούει το beacon από το συντονιστή PAN, και αν το λάβει, ο RFD ζητά να συνδεθεί στο δίκτυο. Ο συντονιστής PAN αποδέχεται το αίτημα. Μόλις γίνει η σύνδεση, η συσκευή περνά τις πληροφορίες του μετρητή και πάει για ύπνο. Αυτή η δυνατότητα παρέχει πολύ χαμηλούς κύκλους λειτουργίας και επιτρέπει πολυετή διάρκεια ζωής μπαταρίας.

Κυκλοφορία διαλείποντος τύπου, όπως ασύρματοι διακόπτες φωτισμού, συνδέονται με το δίκτυο όταν χρειάζεται να επικοινωνήσουν (π.χ. άναμμα φωτός). Για επαναληπτικές εφαρμογές χαμηλής καθυστέρησης η επιλογή GTS παρέχει Quality of Service με χωρίς συγκρούσεις, ειδική χρονοθυρίδα σε κάθε superframe που μειώνει τη σύγκρουση (contention) και την καθυστέρηση. Εφαρμογές που απαιτούν έγκαιρη και κρίσιμη διέλευση δεδομένων μπορεί να περιλαμβάνουν ιατρικές ειδοποιήσεις και συστήματα ασφαλείας. Σε όλες τις εφαρμογές, τα μικρότερα μεγέθη πακέτων των συσκευών ZigBee έχουν σαν αποτέλεσμα υψηλότερες τιμές αποτελεσματικής διέλευσης σε σύγκριση με άλλα πρότυπα.

Τα δίκτυα ZigBee προορίζονται κυρίως για δίκτυα αισθητήρων χαμηλού κύκλου λειτουργίας (<1%). Ένα νέο δικτύου κόμβων μπορεί να αναγνωριστεί και συνδεθεί σε περίπου 30 ms. Το ξύπνημα ένας κόμβου που κοιμάται διαρκεί περίπου 15 ms, όσο η πρόσβαση σε ένα κανάλι και η μετάδοση δεδομένων. Οι ZigBee εφαρμογές επωφελούνται από την ικανότητα γρήγορης σύνδεσης πληροφορίας, αποσύνδεσης, και εισόδου σε βαθύ ύπνο, που οδηγεί σε χαμηλή κατανάλωση ενέργειας και μεγαλύτερη διάρκεια ζωής μπαταρίας.

#### 4.5 Αλγόριθμος Ad hoc On Demand Distance Vector

Ο AODV είναι ένας καθαρά κατά παραγγελία αλγόριθμος απόκτησης διαδρομής: κόμβοι που δεν βρίσκονται σε ενεργά μονοπάτια ούτε διατηρούν καμιά πληροφορία δρομολόγησης ούτε συμμετέχουν σε περιοδικές ανταλλαγές πίνακα δρομολόγησης. Επιπλέον, ένας

---

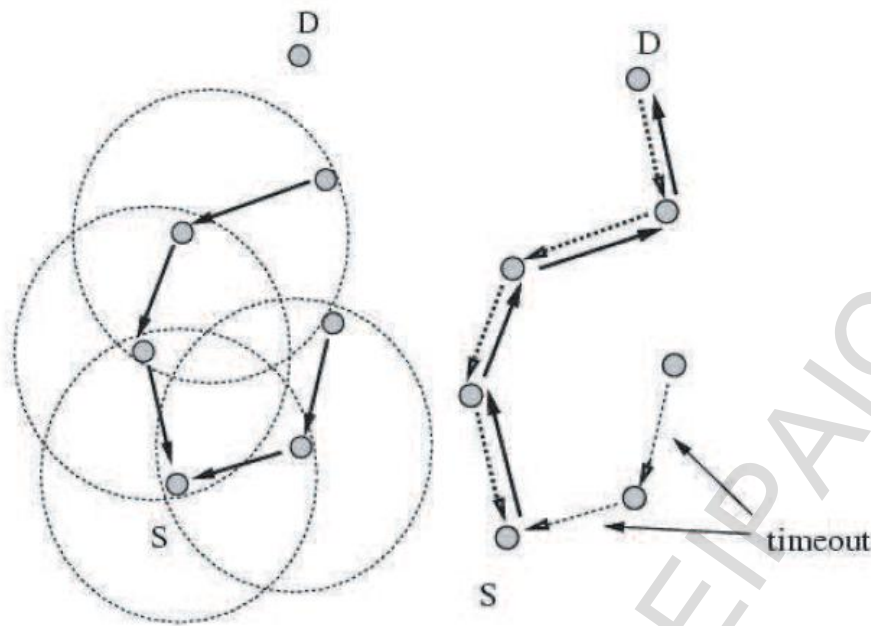
κόμβος δε χρειάζεται να ανακαλύψει και να διατηρήσει μια διαδρομή προς άλλο κόμβο μέχρι οι δύο να χρειαστεί να επικοινωνήσουν, εκτός αν ο προηγούμενος κόμβος προσφέρει υπηρεσίες ως ένας ενδιάμεσος σταθμός προώθησης για τη διατήρηση συνδεσιμότητας μεταξύ δύο άλλων κόμβων.

Οι κύριοι στόχοι του αλγορίθμου είναι να μεταδώσουν πακέτα ανακάλυψης μόνο όταν είναι απαραίτητο, για να διακρίνουν μεταξύ τοπικής διαχείρισης συνδεσιμότητας και γενικής συντήρησης τοπολογίας και για να διαδώσουν πληροφορία σχετικά με τις αλλαγές στην τοπική συνδεσιμότητα σε εκείνους τους γειτονικούς κινητούς κόμβους που είναι πιθανό να χρειάζονται την πληροφορία.

Όταν ένας κόμβος πηγή χρειάζεται να επικοινωνήσει με έναν άλλο κόμβο για τον οποίο δεν διαθέτει πληροφορίες στον πίνακά του δρομολόγησης, η διαδικασία ανακάλυψης διαδρομής ξεκινά. Κάθε κόμβος διατηρεί δύο ξεχωριστούς μετρητές: *sequence number* (αριθμό ακολουθίας) και *broadcast id* (ταυτότητα μετάδοσης). Ο κόμβος πηγή ξεκινά το μονοπάτι ανακάλυψης μεταδίδοντας ένα πακέτο αιτήματος διαδρομής (RREQ) στους γείτονές της, το οποίο περιλαμβάνει *source addr*, *source sequence number*, *broadcast id*, *dest addr*, *dest sequence number*, *hop cnt*. Το ζεύγος *source addr*, *broadcast id* προσδιορίζει μοναδικά ένα RREQ, όπου η *broadcast id* αυξάνεται όποτε η πηγή εκδίδει μια νέα RREQ. Όταν ένας ενδιάμεσος κόμβος λαμβάνει ένα RREQ, εάν έχει ήδη λάβει ένα RREQ με την ίδια *broadcast id* και *source addr*, πετάει το περιττό RREQ και δεν το αναμεταδίδει. Διαφορετικά, το αναμεταδίδει στους γείτονές του, κατόπιν αύξησης του *hop cnt*. Κάθε κόμβος διατηρεί τις ακόλουθες πληροφορίες: IP διεύθυνση προορισμού, IP διεύθυνση προέλευσης, *broadcast id*, χρόνο λήξης για αντίστροφη διαδρομή εισόδου και αριθμό ακολουθίας κόμβου-πηγής.

Καθώς το RREQ μετακινείται από μια πηγή σε προορισμούς, ρυθμίζει αυτόματα την αντίστροφη πορεία από όλους τους κόμβους πίσω στην πηγή. Για τη ρύθμιση της αντίστροφης πορείας, ένας κόμβος καταγράφει τη διεύθυνση του γείτονα από τον οποίο έλαβε το πρώτο αντίγραφο του RREQ. Αυτές οι εγγραφές ανάστροφης διαδρομής διατηρούνται για αρκετό χρόνο για να διασχίσει το RREQ το δίκτυο και να παράγει μια απάντηση στον αποστολέα





**Εικόνα 37: Σχηματισμός αντίστροφης και προς τα μπρος πορείας στο AODV πρωτόκολλο *Single Cluster Network***

Αφού ένας κόμβος ενεργοποιηθεί, ανιχνεύει τα κανάλια για αναζήτηση μηνύματος HELLO από άλλους κόμβους (τα HELLO μηνύματα αντιστοιχούν σε beacons στο MAC επίπεδο του IEEE 802.15.4). Εάν δε μπορεί να πάρει κανένα HELLO μήνυμα για ένα ορισμένο χρονικό διάστημα, τότε αυτό μετατρέπεται σε ένα cluster head, όπως φαίνεται στην Εικόνα 38 και στέλνει HELLO μηνύματα στους γείτονές της. Το νέο cluster head αναμένει για απαντήσεις από γείτονες για λίγο. Εάν δεν έχει λάβει κανένα αίτημα σύνδεσης, γίνεται πάλι κανονικός κόμβος και ακούει πάλι. Το cluster head μπορεί επίσης να επιλεγεί με βάση τις αποθηκευμένες παραμέτρους κάθε κόμβου, όπως φάσμα μετάδοσης, ισχύς, ικανότητα υπολογισμών ή πληροφορίες τοποθεσίας.

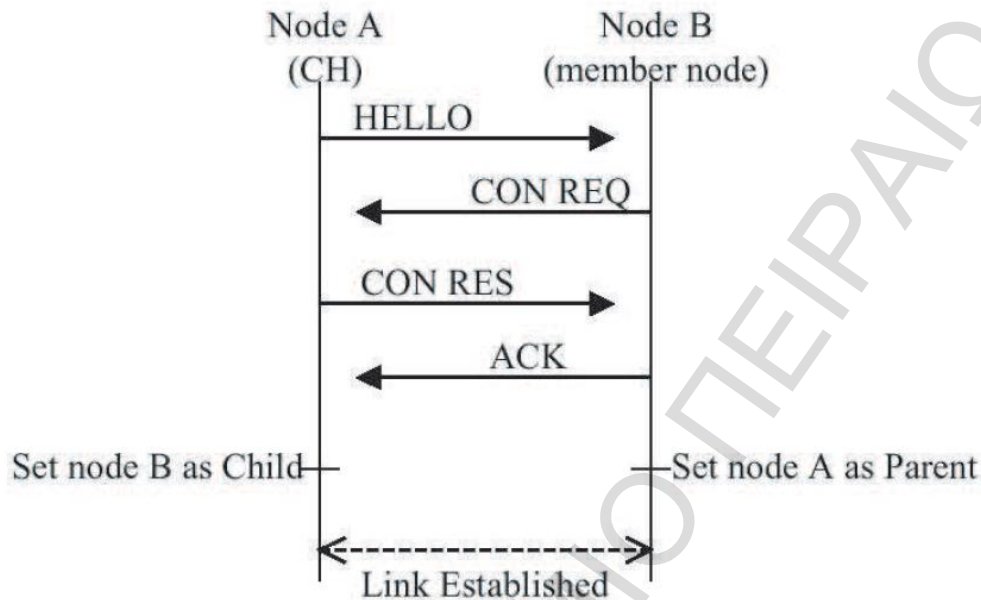
Αφού γίνει cluster head (CH), ο κόμβος μεταδίδει ένα περιοδικό HELLO μήνυμα που περιέχει μέρος της διεύθυνσης του cluster head MAC και κόμβο ID 0 που υποδεικνύει το cluster head. Οι κόμβοι που λαμβάνουν αυτό το μήνυμα στέλνουν ένα μήνυμα αίτηση σύνδεσης στο cluster head. Όταν το CH το λάβει, ανταποκρίνεται στον κόμβο με ένα μήνυμα απάντηση σύνδεσης που περιέχει ένα αναγνωριστικό κόμβου για τον κόμβο (το node ID αντιστοιχεί σε σύντομο χαιρετισμό στο επίπεδο MAC). Όταν ο κόμβος συνδεθεί ένα



---

ID κόμβου απαντάει με ένα ACK μήνυμα στο cluster head. Η ανταλλαγή μηνυμάτων φαίνεται στην Εικόνα 39.

(ZigBee/IEEE 802.15.4 Summary)



**Εικόνα 40: Ρύθμιση σύνδεσης μεταξύ CH και κόμβου**

Εάν όλοι οι κόμβοι βρίσκονται στην εμβέλεια του cluster head, η τοπολογία της σύνδεσης γίνεται star και κάθε κόμβος μέλος συνδέεται στο cluster head με ένα hop. Ένα cluster μπορεί να επεκταθεί σε multi-hop δομή όταν κάθε κόμβος υποστηρίζει πολλαπλές συνδέσεις.

#### 4.6 Multi-Cluster Network

Για το σχηματισμό ενός δικτύου, μια Designated Device (DD) είναι απαραίτητη. Η DD έχει ευθύνη να αντιστοιχίσει ένα μοναδικό cluster ID σε κάθε cluster head. Αυτό το cluster ID σε συνδυασμό με το ID κόμβου που το CH αντιστοιχεί σε κάθε κόμβο μέσα σε ένα cluster σχηματίζει μια λογική διεύθυνση και χρησιμοποιείται για τη δρομολόγηση πακέτων. Ένας

---

ακόμη ρόλος της DD είναι ο υπολογισμός της συντομότερης διαδρομής από το cluster της DD και η γνωστοποίησή του σε όλους τους κόμβους εντός του δικτύου. Όταν η DD συνδέεται στο δίκτυο, ενεργεί ως το CH του cluster 0 και αρχίζει να στέλνει μήνυμα HELLO στη γειτονιά. Εάν ένα CH έχει λάβει αυτό το μήνυμα, στέλνει ένα μήνυμα αιτήματος σύνδεσης και συνδέεται στο cluster 0. Μετά από αυτό, το CH ζητά μία CID προς τη DD. Σε αυτή την περίπτωση, το CH είναι συνοριακός κόμβος που έχει δύο λογικές διευθύνσεις. Η μία είναι για μέλος του cluster 0 και η άλλη για το CH. Όταν το CH παίρνει μια νέα CID, ενημερώνει τους κόμβους μέλη του με HELLO μήνυμα.

Εάν ένα μέλος έχει λάβει το μήνυμα HELLO από την DD, προσθέτει CID 0 στη λίστα γειτόνων της και αναφέρεται στο CH του. Το αναφερόμενο CH επιλέγει τον κόμβο μέλος ως ένα συνοριακό κόμβο στο μητρικό του cluster και στέλνει ένα μήνυμα αιτήματος σύνδεσης δικτύου στον κόμβο μέλος για να ρυθμίσει τη σύνδεση με το DD. Ο συνοριακός κόμβος ζητά μια σύνδεση και ενώνει το cluster 0 ως κόμβο μέλος. Στη συνέχεια, στέλνει ένα μήνυμα αίτημα CID προς το DD. Μετά την άφιξη του μηνύματος απάντηση CID, ο συνοριακός κόμβος στέλνει μήνυμα απάντηση σύνδεσης δικτύου που περιέχει ένα νέο CID προς το CH. Όταν το CH παίρνει ένα νέο CID, ενημερώνει τους κόμβους μέλη με HELLO μήνυμα.

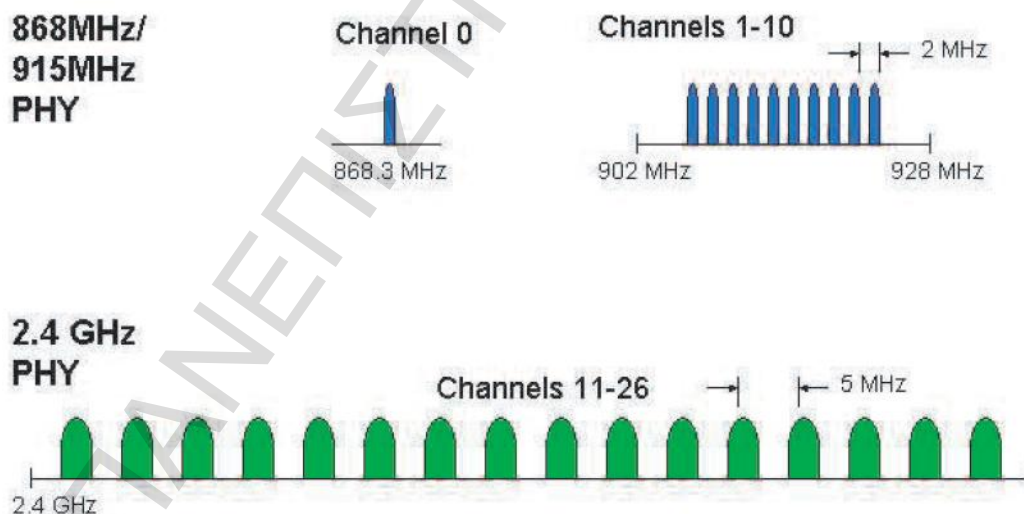
#### 4.7 IEEE 802.15.4 PHY

Το PHY παρέχει δύο υπηρεσίες: την υπηρεσία δεδομένων PHY και τη PHY διαχείριση υπηρεσιών διασύνδεσης με το φυσικό επίπεδο διαχειριστικού φορέα (PLME). Η PHY υπηρεσία δεδομένων επιτρέπει τη μετάδοση και υποδοχή των μονάδων πρωτοκόλλου δεδομένων PHY (PPDU) σε όλο το φυσικό ασύρματο κανάλι. Τα χαρακτηριστικά του PHY είναι ενεργοποίηση και απενεργοποίηση ασύρματου πομποδέκτη, ανίχνευση ενέργειας (ED), ένδειξη σύνδεσης ποιότητας (LQI), επιλογή καναλιού, Clear Channel Assessment (CCA) και μετάδοση, καθώς και λήψη πακέτων σε όλο το φυσικό μέσο.

Το πρότυπο προσφέρει δύο επιλογές PHY που βασίζονται στην ζώνη συχνοτήτων. Και οι δύο βασίζονται σε άμεση ακολουθία ευρέος φάσματος (DSSS). Η ταχύτητα δεδομένων είναι

250kbps στα 2.4GHz, 40kbps στα 915MHz και 20kbps στα 868MHz. Υψηλότερη ταχύτητα δεδομένων στα 2.4GHz αποδίδεται σε ένα σχήμα διαφοροποίησης ανώτερης τάξης. Χαμηλότερη συχνότητα παρέχει μεγαλύτερη εμβέλεια λόγω χαμηλότερων απωλειών διάδοσης. Χαμηλή ταχύτητα μπορεί να μεταφραστεί σε καλύτερη ευαισθησία και μεγαλύτερη περιοχή κάλυψης. Υψηλότερη ταχύτητα σημαίνει υψηλότερη απόδοση, μειωμένος χρόνος αναμονής ή χαμηλότερος κύκλος λειτουργίας. Αυτή η πληροφορία συνοψίζεται στον Πίνακα 4.

Η ζώνη ISM 2.4GHz διαιρείται σε έναν αριθμό καναλιών, παρόμοια με τον τρόπο που κατανέμονται τα τηλεοπτικά κανάλια. Ωστόσο, λόγω εκχωρήσεων φάσματος, λειτουργικών περιορισμών και κανονισμών για συγκεκριμένα πρότυπα, οι ακριβείς ζώνες λειτουργίας είναι μερικές φορές διαφορετικές μεταξύ των χωρών. Στην περίπτωση του IEEE 802.15.4, ορίζονται 16 κανάλια (11-26) στη ζώνη των 2,4 GHz σε όλο τον κόσμο. Διαφορές μεταξύ χωρών υπάρχουν μόνο στις ζώνες των 780 (Κίνα), 868 (Ευρώπη), 915 (ΗΠΑ) και 950 (Ιαπωνία) MHz.



**Εικόνα 41: Μπάντες συχνοτήτων λειτουργίας**

Το πρότυπο IEEE 802.15.4 ορίζει δύο PHYs που αντιπροσωπεύουν τρεις μη αδειοδοτημένες ζώνες συχνοτήτων, που περιλαμβάνουν δεκαέξι κανάλια στα 2,4 GHz, δέκα κανάλια στα 902 έως 928 MHz, και ένα κανάλι στα 868 έως 870 MHz. Οι μέγιστες ταχύτητες δεδομένων για κάθε ζώνη είναι 250 kbps, 40 kbps και 20 kbps, αντίστοιχα. Η ζώνη 2,4 GHz λειτουργεί σε παγκόσμιο επίπεδο, ενώ η υπο-1 GHz μπάνα λειτουργεί στη Βόρεια Αμερική, την Ευρώπη και την Αυστραλία / Νέα Ζηλανδία, Πίνακας 4. Το πρότυπο IEEE συμμορφώνεται με τις καθιερωμένες ρυθμίσεις σε Ευρώπη, Ιαπωνία, Καναδά και Ηνωμένες Πολιτείες.

| PHY         | Frequency Band | Channel Numbering | Spreading Parameters |            | Data Parameters |             |                   |
|-------------|----------------|-------------------|----------------------|------------|-----------------|-------------|-------------------|
|             |                |                   | Chip Rate            | Modulation | Bit Rate        | Symbol Rate | Modulation        |
| 868/915 MHz | 868-870 MHz    | 0                 | 300 kchip/s          | BPSK       | 20 kb/s         | 20 kbaud    | BPSK              |
|             | 902-928 MHz    | 1 to 10           | 600 kchip/s          | BPSK       | 40 kb/s         | 40 kbaud    | BPSK              |
| 2.4 GHz     | 2.4-2.4835 GHz | 11 to 26          | 2.0 Mchip/s          | O-QPSK     | 250 kb/s        | 62.5 kbaud  | 16-ary Orthogonal |

#### Πίνακας 5: Ζώνες Συχνότητας και ταχύτητα δεδομένων

Και οι δύο PHYs χρησιμοποιούν Direct Sequence Spread Spectrum (DSSS). Ο τύπος διαμόρφωσης (modulation type) στη ζώνη των 2,4 GHz είναι O-QPSK με ένα κωδικό μήκους 32 PN και μια RF μπάνα συχνοτήτων 2 MHz. Στις υπο-1 GHz μπάνες, η BPSK διαμόρφωση χρησιμοποιείται με έναν κωδικό μήκους 15 PN και λειτουργεί στη RF ζώνη συχνοτήτων 600 kHz στην Ευρώπη και 1200 kHz στη Βόρεια Αμερική.

Η ευαισθησία δέκτη είναι -85dBm για 2.4GHz και -92dBm για 868/915MHz. Το πλεονέκτημα των 6-8dB προέρχεται από το πλεονέκτημα της χαμηλότερης ταχύτητας. Το επιτεύξιμο εύρος είναι συνάρτηση της ευαισθησίας του δέκτη και της ισχύος εκπομπής. Η μέγιστη ισχύς εκπομπής πρέπει να συμμορφώνεται με τους τοπικούς κανονισμούς. Μια συμβατή συσκευή θα έχει ονομαστική στάθμη ισχύος μετάδοσης που υποδεικνύεται από την παράμετρο PHY, phyTransmitPower.

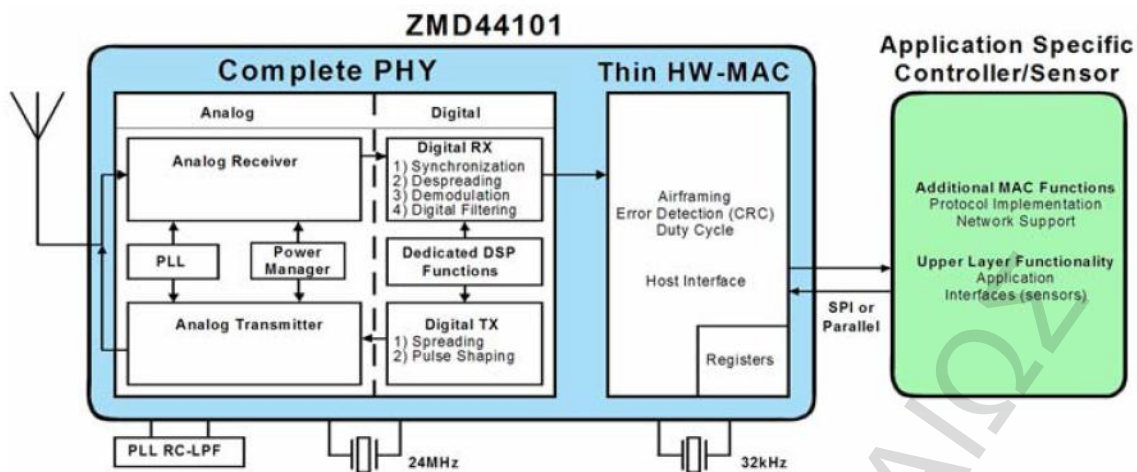
Η δομή του πακέτου PPDU (PHY protocol data units) απεικονίζεται στην Εικόνα 42. Κάθε πακέτο PPDU αποτελείται από τα ακόλουθα βασικά συστατικά:

- SHR, το οποίο επιτρέπει σε μια συσκευή λήψης να συγχρονιστεί και να κλειδώσει στο ρεύμα των bit
- PHR, το οποίο περιέχει πληροφορίες μήκους frame (πλασιού)
- ένα μεταβλητού μήκους ωφέλιμο φορτίο, το οποίο φέρει το πλαίσιο υποστρώματος MAC

|           |     |                          |                     |
|-----------|-----|--------------------------|---------------------|
| Octets: 4 | 1   | 1                        | variable            |
| Preamble  | SFD | Frame length<br>(7 bits) | Reserved<br>(1 bit) |
| SHR       |     | PHR                      |                     |
|           |     | PHY payload              |                     |

**Εικόνα 43: Format του PPDU**

Ένας αντιπροσωπευτικός υπο-1 GHz πομποδέκτης φαίνεται στην Εικόνα 44. Το IC περιέχει ένα φυσικό στρώμα 900 MHz (PHY) και τμήμα του media access controller (hardware-MAC). Οι υπόλοιπες λειτουργίες MAC (software-MAC) και το στρώμα εφαρμογής εκτελούνται σε έναν εξωτερικό μικροελεγκτή. Όλες οι PHY λειτουργίες ενσωματώνονται στο τσιπ με ελάχιστα εξωτερικά εξαρτήματα που απαιτούνται για ένα πλήρες ασύρματο.



**Εικόνα 45: Σχηματικό Διάγραμμα Πομποδέκτη υπο-1 GHz**

Το αναλογικό τμήμα του δέκτη μετατρέπει το επιθυμητό σήμα από RF στη ψηφιακή βασική ζώνη. Συγχρονισμός, αποδιασπορά και αποδιαμόρφωση γίνονται στο ψηφιακό τμήμα του δέκτη. Το ψηφιακό μέρος του πομπού κάνει τη διασπορά (spreading) και το φιλτράρισμα της baseband, ενώ το αναλογικό τμήμα του πομπού κάνει τη διαμόρφωση (modulation) και μετατροπή σε RF. Τα τρία βασικά αναλογικά μπλοκ – ο δέκτης άμεσης-μετατροπής, ο πομπός άμεσης-μετατροπής, και το κλασματικό-N PLL, αναφέρονται παρακάτω.

Η επιλογή της αρχιτεκτονικής του δέκτη είναι κυρίως ένας συμβιβασμός ανάμεσα στις επιδόσεις, το κόστος (λαμβάνοντας υπόψη την έκταση του πυριτίου και τα εξωτερικά εξαρτήματα), και την κατανάλωση ενέργειας. Μια αρχιτεκτονική δέκτη άμεσης-μετατροπής (DCR) (ή Zero-IF αρχιτεκτονική) προτιμάται όταν δεν απαιτούνται συχνότητα εικόνας και IF φιλτράρισμα. Περαιτέρω πλεονεκτήματα είναι ότι τα επιλεκτικά φίλτρα καναλιού είναι φίλτρα χαμηλής διέλευσης, αντί φίλτρων ζώνης διέλευσης, και η συχνότητα βασικής ζώνης είναι η χαμηλότερη δυνατή. Η αρχιτεκτονική DCR παρέχει τα πρόσθετα οφέλη χαμηλότερου κόστους, πολυπλοκότητας, και κατανάλωσης ενέργειας.

Η αρχιτεκτονική του πομπού είναι επίσης απευθείας-μετατροπής. Δεδομένου ότι χρησιμοποιείται η BPSK διαμόρφωση, μόνο μία διαδρομή βασικής ζώνης απαιτείται. Μια διαφορική αρχιτεκτονική χρησιμοποιείται για την ελαχιστοποίηση του θορύβου κοινής

---

λειτουργίας. Η έξοδος μπορεί να είναι μονής-απόληξης ή διαφορική. Η μονής-απόληξης έξοδος προτιμάται γιατί είναι χαμηλού κόστους, απαιτεί ένα διακόπτη TR πάνω στο τσιπ, και δεν απαιτεί εξωτερικό συμμετροασυμμετριστή.

Ο Πίνακας 4 παρουσιάζει την κατανομή καναλιών στις υπο-1 GHz ζώνες του προτύπου IEEE, το οποίο καθορίζει το απαιτούμενο εύρος ζώνης και την ανάλυση συχνότητας. Αυτό έχει σοβαρές επιπτώσεις στην τοπολογία PLL. Στόχος είναι ένα κύκλωμα PLL για τις μπάντες 868/915 MHz χρησιμοποιώντας μια σταθερή συχνότητα κρυστάλλου. Για την ικανοποίηση αυτών των απαιτήσεων, προτιμάται μια κλασματική-N PLL αρχιτεκτονική. Ένα πρόσθετο όφελος είναι ότι το λογισμικό ελεγχόμενης κλασματικής-N PLL παρέχει την προσαρμοστικότητα για την ικανοποίηση της μελλοντικής παγκόσμιας εξάπλωσης φάσματος στην περιοχή των 860 - 930 MHz.

#### 4.8 IEEE 802.15.4 MAC

Το IEEE 802.15.4 MAC επίπεδο παρέχει τον έλεγχο για τη ροή των πλαισίων που διέρχονται μέσω του ασύρματου interface και μεταδίδονται μέσω του αέρα. Παρέχει επίσης το interface με τις στοίβες πρωτοκόλλου υψηλότερου επιπέδου που παρέχονται από την ποικιλία διαφορετικών συστημάτων εφαρμογών, συμπεριλαμβανομένων Zigbee, κλπ.

Σκοπός του IEEE 802.15.4 MAC στρώματος είναι να παράσχει μια διασύνδεση (interface) μεταξύ του PHY ή φυσικού επιπέδου και του επιπέδου εφαρμογής. Η λεγόμενο IEEE 802.15.4 δεν προσδιορίζει επίπεδο εφαρμογής, το οποίο είναι γενικά ένα σύστημα εφαρμογής όπως Zigbee, RF4CE, Miwi, κλπ.



---

Το IEEE 802.15.4 MAC παρέχει τη διασύνδεση με το επίπεδο εφαρμογής με χρήση δύο υπηρεσιών:

- **MAC Management Service:** Αυτό ονομάζεται MAC επίπεδο διαχειριστικού φορέα, MLME. Η υπηρεσία διαχείρισης MAC διασυνδέει στο διαχειριστικό φορέα υποστρώματος MAC (MLME) υπηρεσία σημείου πρόσβασης (SAP) (MLME-SAP). Τα χαρακτηριστικά του MAC υποεπιπέδου είναι η διαχείριση beacon, το κανάλι πρόσβαση, η διαχείριση GTS, επικύρωση πλαισίου, αναγνώριση παράδοσης πλαισίου, σύνδεση και αποσύνδεση. (ZigBee/IEEE 802.15.4 Summary) Παρέχει υπηρεσία διασυνδέσεων μέσω των οποίων οι λειτουργίες διαχείρισης επιπέδου μπορούν να κληθούν ή να προσπελαστούν. Το IEEE 802.15.4 MAC MLME είναι επίσης υπεύθυνο για τον έλεγχο μιας βάσης δεδομένων των αντικειμένων για το MAC επίπεδο. Αυτή η βάση δεδομένων αναφέρεται ως το MAC επίπεδο PAN βάσης πληροφοριών ή PIB. Η MLME έχει, επίσης, πρόσβαση σε υπηρεσίες MCPS για δραστηριότητες μεταφοράς δεδομένων.

- **MAC Data Service:** Αυτό ονομάζεται MAC Common Port Layer, MCPS. Αυτή η οντότητα μέσα στο IEEE 802.15.4 MAC παρέχει υπηρεσίες μεταφοράς δεδομένων μεταξύ ομότιμων MAC . Η MAC υπηρεσία δεδομένων επιτρέπει τη μετάδοση και λήψη των μονάδων δεδομένων πρωτοκόλλου MAC (MPDU) σε όλη την PHY υπηρεσία δεδομένων.

#### 4.9 Superframe Structure (Beacon-Enabled mode)

Το LR-WPAN επιτρέπει την προαιρετική χρήση δομής superframe. Το format του superframe ορίζεται από τον συντονιστή. Το superframe οριοθετείται από beacons δικτύου και διαιρείται σε 16 ίσου μεγέθους slots. Το πλαίσιο beacon αποστέλλεται στο πρώτο slot κάθε superframe. Εάν ένας συντονιστής δεν θέλει να χρησιμοποιεί τη δομή superframe, μπορεί να απενεργοποιήσει τις μεταδόσεις beacon. Τα beacons χρησιμοποιούνται για το συγχρονισμό των συνδεδεμένων συσκευών, για τον προσδιορισμό του PAN και για την περιγραφή της δομής superframes.



---

Το superframe μπορεί να έχει ένα ενεργό και ένα ανενεργό τμήμα. Κατά τη διάρκεια του ανενεργού τμήματος, ο συντονιστής δεν πρέπει να αλληλεπιδρά με το PAN του και μπορεί να τεθεί σε λειτουργία χαμηλής κατανάλωσης. Το ενεργό τμήμα αποτελείται από τις contention access period (CAP) και contention free period (CFP). Κάθε συσκευή που επιθυμεί να επικοινωνήσει κατά τη διάρκεια της CAP πρέπει να ανταγωνιστεί με άλλες συσκευές που χρησιμοποιούν ένα slotted CSMA-CA μηχανισμό. Από την άλλη πλευρά, η CFP περιέχει εγγυημένες χρονοθυρίδες (GTSS). Οι GTSSs πάντα εμφανίζονται στο τέλος του ενεργού superframe αρχίζοντας σε ένα όριο slot αμέσως μετά την CAP. Ο συντονιστής PAN μπορεί να καταναίμει έως και επτά από αυτά τα GTSSs και ένα GTSS μπορεί να καταλάβει περισσότερο από μία περίοδο slot.

Η διάρκεια των διαφόρων τμημάτων του superframe περιγράφονται με τις τιμές των macBeaconOrder και macSuperFrameOrder. Το macBeaconOrder περιγράφει το χρονικό διάστημα στο οποίο ο συντονιστής μεταδίδει τα beacon πλαίσιά του. Το χρονικό διάστημα beacon, BI, σχετίζεται με το macBeaconOrder, BO, ως εξής:

$$BI = aBaseSuperFrameDuration2^{BO}, 0 \leq BO \leq 14$$

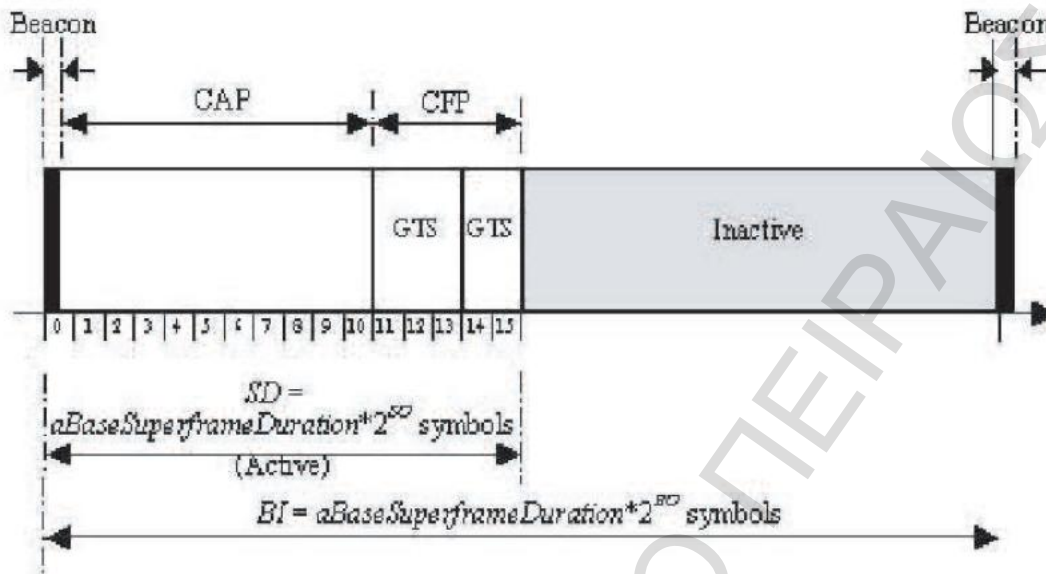
Το superframe αγνοείται αν  $BO = 15$

Η τιμή του macSuperFrameOrder περιγράφει το μήκος του ενεργού τμήματος του superframe. Η διάρκεια superframe, SD, σχετίζεται με το macSuperFrameOrder, SO, ως εξής:

$$SD = aBaseSuperFrameDuration2^{SO}, 0 \leq SO \leq 14$$

Αν  $SO = 15$ , το superframe δεν πρέπει να παραμείνει ενεργό μετά το beacon.

Το ενεργό τμήμα κάθε superframe χωρίζεται σε  $aNumSuperFrameSlots$  σε ίσες αποστάσεις slots διάρκειας  $2^{SO} aBaseSuperFrameDuration$  και αποτελείται από τρία μέρη: ένα beacon, μια CAP και CFP.



**Εικόνα 46: Ένα παράδειγμα δομής superframe (ZigBee/IEEE 802.15.4 Summary)**

Το beacon μεταδίδεται στην έναρξη του slot 0 χωρίς τη χρήση CSMA. Η CAP ξεκινά αμέσως μετά το beacon. Η CAP πρέπει να είναι τουλάχιστον  $aMinCAPLength$  σύμβολα εκτός αν χρειάζεται πρόσθετος χώρος για να φιλοξενήσει προσωρινά την αύξηση του μήκους του πλαισίου beacon για την εκτέλεση συντήρησης GTS. Όλα τα πλαίσια, εκτός από αναγνώριση πλαισίων ή οποιοδήποτε πλαίσιο δεδομένων που ακολουθεί αμέσως την αναγνώριση μιας εντολής αιτήματος δεδομένων που διαβιβάζονται στη CAP πρέπει να χρησιμοποιούν slotted CSMA-CA για πρόσβαση στο κανάλι. Η μετάδοση στην CAP ολοκληρώνεται μία IFS περίοδο πριν από το τέλος της CAP. Εάν αυτό δεν είναι δυνατό, μεταθέτει τη μετάδοση του μέχρι την CAP του επόμενου superframe. Ένα παράδειγμα δομής superframe παρουσιάζεται στην Εικόνα 47.

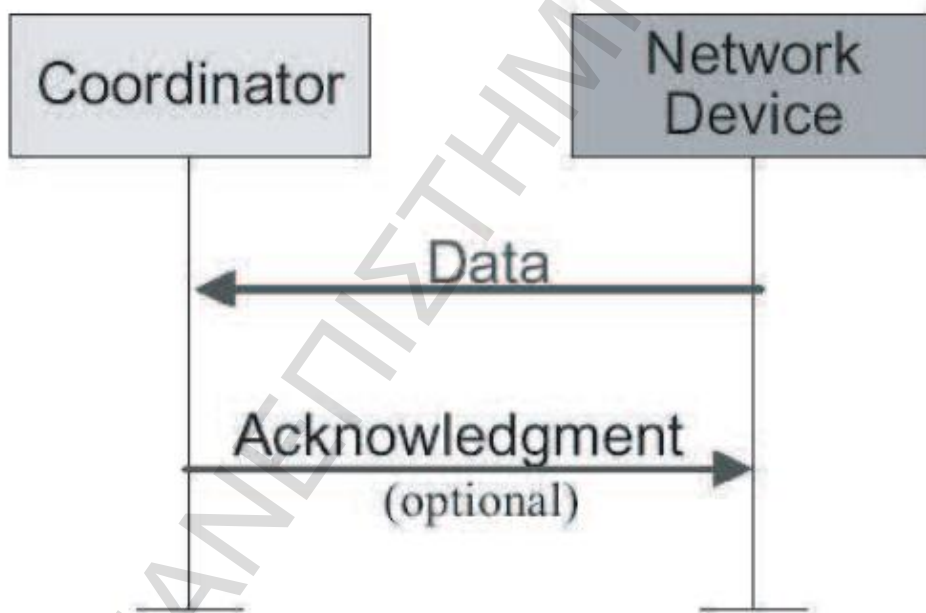
Η CFP, αν υπάρχει, ξεκινάει πάνω σε ένα όριο slot αμέσως μετά την CAP και εκτείνεται στο άκρο του ενεργού τμήματος του superframe. Το μήκος της CFP καθορίζεται από το συνολικό μήκος όλων των συνδυασμένων GTSs. Καμιά μετάδοση στην CFP δεν πρέπει να χρησιμοποιεί ένα CSMA-CA μηχανισμό. Μια συσκευή που εκπέμπει στη CFP πρέπει να

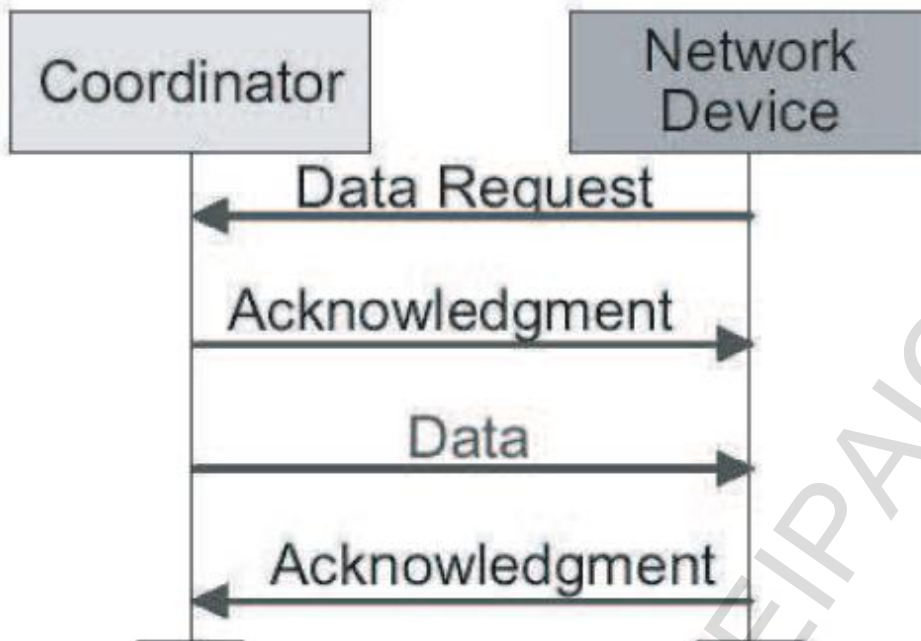
---

εξασφαλίζει ότι οι μεταδόσεις της ολοκληρώνονται μια IFS περίοδο πριν από το τέλος του GTS της.

Ο IFS χρόνος είναι η ποσότητα του χρόνου που απαιτείται για την επεξεργασία του λαμβανόμενου πακέτου από το PHY. Πλαίσια που μεταδίδονται πρέπει να ακολουθούνται από μια IFS περίοδο. Το μήκος του IFS εξαρτάται από το μέγεθος του πλαισίου που μόλις έχει διαβιβαστεί. Πλαίσια μέχρι  $aMaxSIFSFrameSize$  σε μήκος πρέπει να ακολουθούνται από μια SIFS ενώ πλαίσια μεγαλύτερου μήκους πρέπει να ακολουθούνται από ένα LIFS.

Τα PANs που δεν επιθυμούν να χρησιμοποιούν το superframe σε nonbeacon-enabled mode ορίζουν και το  $macBeaconOrder$  και το  $macSuperFrameOrder$  στο 15. Σε αυτό το είδος δικτύου, ένας συντονιστής δε μεταδίδει κανένα beacon, όλες οι μεταδόσεις εκτός της αναγνώρισης πλαισίου χρησιμοποιούν unslotted CSMA-CA για πρόσβαση στο κανάλι, τα GTSs δεν επιτρέπονται.





Εικόνα 48: Επικοινωνία ενός συντονιστή σε ένα nonbeacon-enabled δίκτυο

#### 4.10 Αλγόριθμος CSMA-CA (non-Beacon mode)

Εάν η δομή superframe χρησιμοποιείται στο PAN, τότε πρέπει να χρησιμοποιείται slotted CSMA-CA. Αν τα beacons δε χρησιμοποιούνται στο PAN ή ένα beacon δε μπορεί να βρίσκεται σε ένα beacon-enabled δίκτυο, χρησιμοποιείται unslotted CSMA-CA αλγόριθμος. Σε αμφότερες τις περιπτώσεις, ο αλγόριθμος υλοποιείται χρησιμοποιώντας μονάδες χρόνου που ονομάζονται backoff periods, ο οποίος είναι ίσος με  $aUnitBackoffPeriod$  σύμβολα.

Σε slotted CSMA-CA μηχανισμό πρόσβασης καναλιού, τα όρια της backoff period κάθε συσκευής στο PAN είναι ευθυγραμμισμένα με τα slot όρια του superframe του συντονιστή PAN. Σε slotted CSMA-CA, κάθε φορά που μια συσκευή επιθυμεί να μεταδώσει πλαίσια δεδομένων κατά τη διάρκεια της CAP, εντοπίζει το όριο της επόμενης backoff περιόδου. Στο unslotted CSMA-CA, οι backoff περίοδοι μίας συσκευής δε χρειάζεται να συγχρονιστούν με τις backoff περιόδους της άλλης συσκευής.

---

Κάθε συσκευή έχει 3 μεταβλητές: NB, CW και BE. NB είναι ο αριθμός των απαιτούμενων backoff στην προσπάθεια του CSMA-CA αλγόριθμου να κάνει την τρέχουσα μετάδοση. Αρχικοποιείται σε 0 πριν από κάθε νέα μετάδοση. CW είναι το μήκος παραθύρου σύγκρουσης (contention), το οποίο καθορίζει τον αριθμό των backoff περιόδων που πρέπει να είναι καθαρά από δραστηριότητα πριν η μετάδοση μπορέσει να ξεκινήσει. Αρχικοποιείται σε 2 πριν από κάθε προσπάθεια μετάδοσης και επαναφέρεται σε 2 κάθε φορά που το κανάλι εκτιμάται ότι είναι απασχολημένο. CW χρησιμοποιείται μόνο για slotted CSMA-CA. BE είναι ο εκθέτης backoff, ο οποίος σχετίζεται με το πόσες backoff περιόδους μια συσκευή θα περιμένει πριν επιχειρήσει να προσπελάσει το κανάλι. Μολονότι ο δέκτης της συσκευής είναι ενεργοποιημένος κατά τη διάρκεια του τμήματος αξιολόγησης καναλιών (διαύλων) αυτού του αλγορίθμου, η συσκευή πρέπει απορρίψει τυχόν πλαίσια που λαμβάνονται κατά τη διάρκεια αυτής της περιόδου.

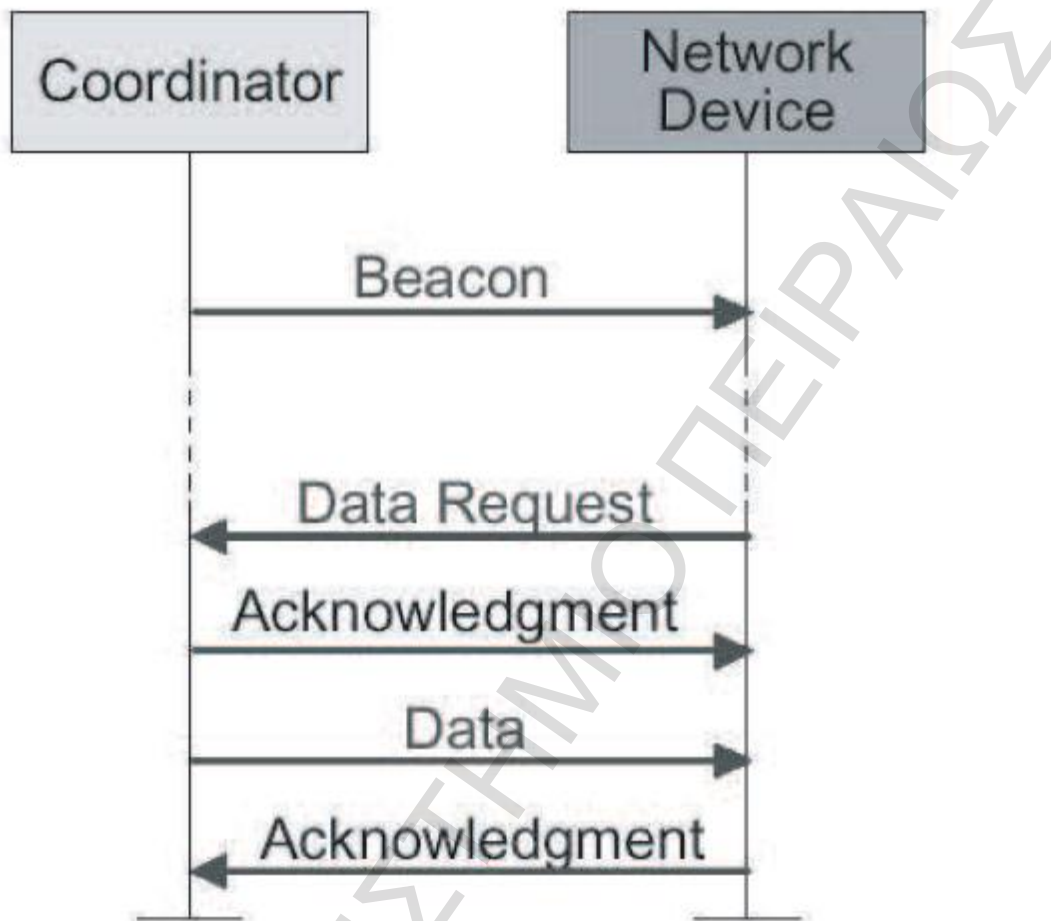
Σε slotted CSMA-CA, τα NB, CW και BE αρχικοποιούνται και το όριο της επόμενης backoff περιόδου τοποθετείται. Σε unslotted CSMA-CA, τα NB και BE αρχικοποιούνται (βήμα 1). Το επίπεδο MAC καθυστερεί για ένα τυχαίο αριθμό ολόκληρων backoff περιόδων στην κλίμακα 0 έως  $2^{BE} - 1$  (στάδιο 2) και στη συνέχεια ζητάει το PHY να εκτελέσει ένα CCA (clear channel assessment) (βήμα 3). Το υπόστρωμα MAC στη συνέχεια προχωράει, αν τα υπόλοιπα βήματα CSMA-CA αλγορίθμου, η μετάδοση πλαισίου, καθώς και κάθε αναγνώριση μπορούν να ολοκληρωθούν πριν από το τέλος της CAP. Αν το MAC υπόστρωμα δεν μπορεί να προχωρήσει, περιμένει μέχρι την έναρξη της CAP στο επόμενο superframe και επαναλαμβάνει την αξιολόγηση.

Εάν το κανάλι εκτιμάται ότι είναι απασχολημένο (βήμα 4), το MAC υπόστρωμα αυξάνει τόσο το NB όσο και το BE κατά ένα, διασφαλίζοντας ότι το BE δεν είναι μεγαλύτερο από  $aMaxBE$ . Σε slotted CSMA-CA, το CW μπορεί επίσης να επαναφέρεται στο 2. Εάν η τιμή του NB είναι μικρότερη από ή ίση με  $macMaxCSMABackoffs$ , το CSMA-CA επιστρέφει στο βήμα 2, αλλιώς το CSMA-CA λήγει με μια κατάσταση αποτυχημένης πρόσβασης καναλιού (Channel Access Failure).

Αν το κανάλι εκτιμάται ότι είναι αδρανές (βήμα 5), σε slotted CSMA-CA, το υπόστρωμα MAC διασφαλίζει ότι το παράθυρο σύγκρουσης (contention) έχει λήξει πριν την έναρξη μετάδοσης. Γι' αυτό, το υπόστρωμα MAC πρώτο μειώνει το CW κατά ένα. Αν το CW δεν

---

είναι ίσο με 0, προχωρά στο βήμα 3 αλλιώς αρχίζει τη μετάδοση στο όριο της επόμενης backoff περιόδου. Σε unslotted CSMA-CA, το MAC υπόστρωμα αρχίζει τη μετάδοση αμέσως αν το κανάλι εκτιμάται ότι είναι σε αδράνεια.



**Εικόνα 49: Επικοινωνία ενός συντονιστή σε ένα beacon-enabled δίκτυο**

#### 4.11 MAC Frame Formats

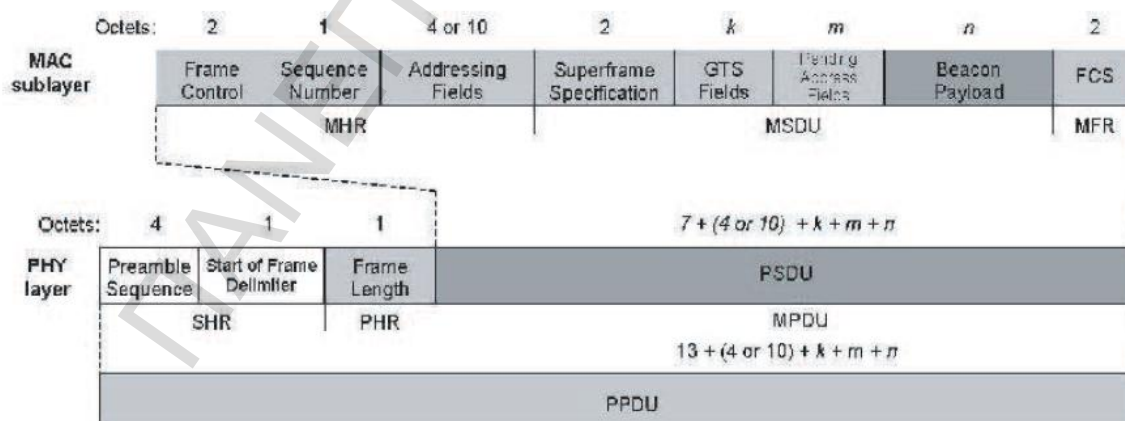
Η γενική μορφή πλαισίου MAC δίνεται στην Εικόνα 50. Κάθε MAC πλαίσιο αποτελείται από τα ακόλουθα βασικά συστατικά:

- MHR, το οποίο περιλαμβάνει έλεγχο πλαισίου, αριθμό ακολουθίας, και διεύθυνση πληροφορίας
- Ένα ωφέλιμο φορτίο (payload) MAC μεταβλητού μήκους, το οποίο περιέχει ειδικές πληροφορίες για τον τύπο πλαισίου. Τα πλαίσια αναγνώρισης δεν περιέχουν ωφέλιμο φορτίο.
- Ένα MFR, το οποίο περιέχει FCS.

Το LR-WPAN καθορίζει 4 δομές πλαισίου: beacon frame (Εικόνα 51), data frame (Εικόνα 52), πλαίσιο αναγνώρισης (Εικόνα 52), MAC πλαίσιο εντολών (Εικόνα 53)

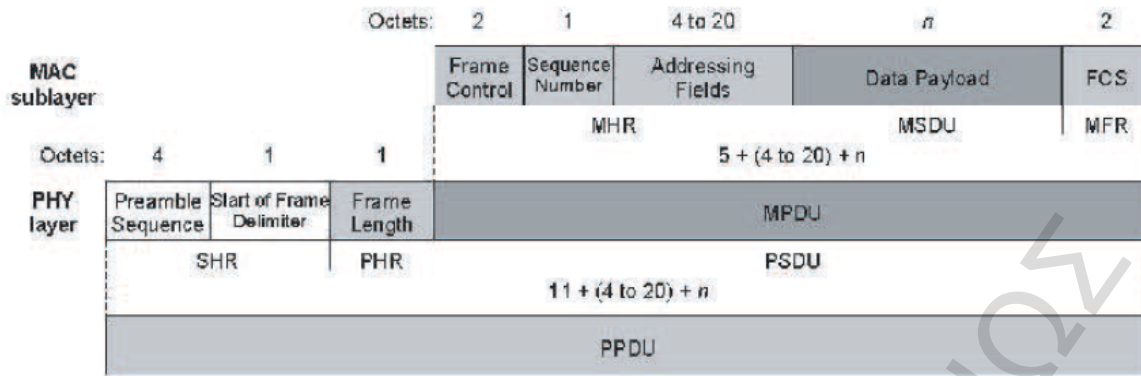
|               |                 |                            |                     |                       |                |               |     |
|---------------|-----------------|----------------------------|---------------------|-----------------------|----------------|---------------|-----|
| Octets: 2     | 1               | 0/2                        | 0/2/8               | 0/2                   | 0/2/8          | variable      | 2   |
| Frame control | Sequence number | Destination PAN identifier | Destination address | Source PAN identifier | Source address | Frame payload | FCS |
|               |                 | Addressing fields          |                     |                       |                |               |     |
| MHR           |                 |                            |                     |                       |                | MAC payload   | MFR |

Εικόνα 49: Γενικό MAC frame format

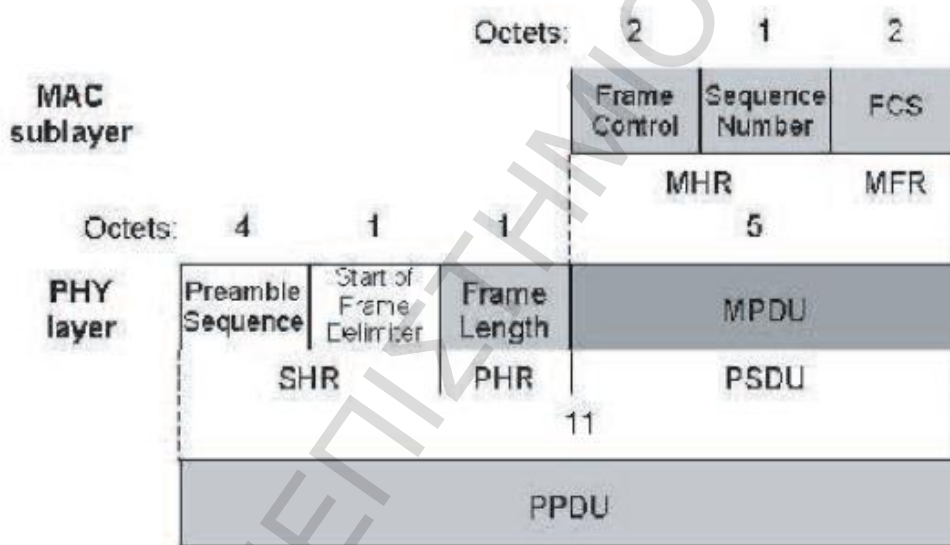


Εικόνα 50: Σχηματική αναπαράσταση του beacon frame

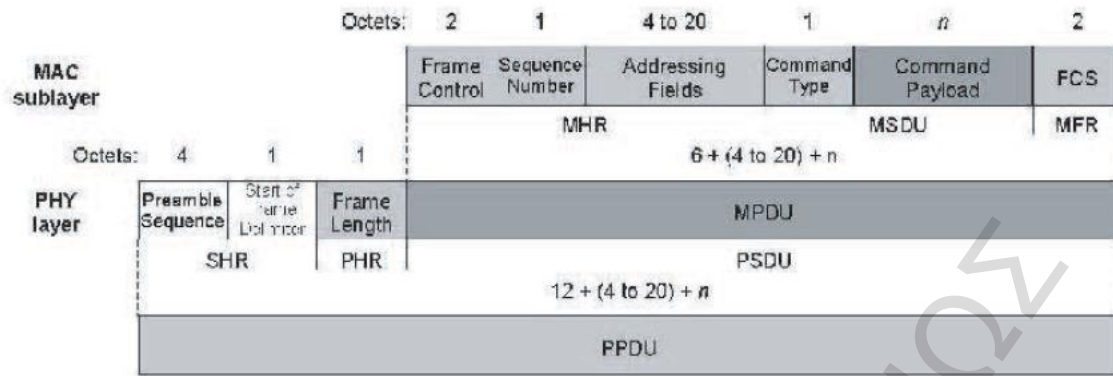




Εικόνα 51: Σχηματική αναπαράσταση του data frame



Εικόνα 53: Σχηματική αναπαράσταση του acknowledgement frame



Εικόνα 54: Σχηματική αναπαράσταση του MAC command frame

---

# Κεφάλαιο 5. Πρότυπα Wi-Fi /IEEE 802.11 για δίκτυα WLAN

## 5.1 Εισαγωγή

Τα WLANs παρέχουν υψηλές ταχύτητες δεδομένων (τουλάχιστον 1 Mbps) σε μια τοπική περιοχή (<100 m) για παροχή πρόσβασης σε ενσύρματα LANs και στο Διαδίκτυο. Σήμερα, όλα τα επιτυχημένα WLANs λειτουργούν σε μη αδειοδοτούμενες ζώνες δωρεάν και με αυστηρές ρυθμίσεις. Λαμβάνοντας υπόψη ότι η PCS ζώνες δημοπρατήθηκαν σε πολύ υψηλές τιμές, τα τελευταία χρόνια τα WLANs έχουν προσελκύσει μια ανανεωμένη προσοχή.

Ο Πίνακας 6 παρέχει μια περίληψη των προτύπων IEEE 802.11 και HIPERLAN για WLANs. Τα IEEE πρότυπα περιλαμβάνουν τα 802.11 και 802.11b που λειτουργούν στα 2,4 GHz και το 802.11a, που λειτουργεί στα 5 GHz. Τα HIPERLAN-1 και -2, που αναπτύχθηκαν από το European Telecommunication Standards Institute (ETSI), λειτουργούν στα 5 GHz. Τα 2,4 GHz προϊόντα λειτουργούν σε ζώνες ISM με spread spectrum τεχνολογία για υποστήριξη ταχυτήτων δεδομένων που κυμαίνονται από 1 έως 11 Mbps. Το HIPERLAN-1 χρησιμοποιεί διαμόρφωση GMSK με επεξεργασία σήματος στο δέκτη που υποστηρίζει έως 23,5 Mbps. Τα IEEE 802.11a και HIPERLAN-2 χρησιμοποιούν το Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM) φυσικό υπόστρωμα για υποστήριξη μέχρι και 54 Mbps. Η μέθοδος πρόσβασης για όλα τα πρότυπα 802.11 είναι η ίδια και περιλαμβάνει CSMA / CA, PCF, και RTS / CTS, που περιγράφονται παρακάτω. Η μέθοδος πρόσβασης του HIPERLAN-1 είναι πάνω στις γραμμές του 802.11, αλλά η μέθοδος πρόσβασης για HIPERLAN-2 είναι μια voice-oriented τεχνική πρόσβασης που είναι κατάλληλη για την ενσωμάτωση υπηρεσιών φωνής και δεδομένων. Τα IEEE 802.11, IEEE 802.11b, και HIPERLAN-1 πρότυπα έχουν ολοκληρωθεί, και τα IEEE 802.11 και IEEE 802.11b κυριαρχούν σήμερα στην αγορά. Τα IEEE 802.11a και HIPERLAN-2 ακόμα αναπτύσσονται.

Τα IEEE 802.11 και HIPERLAN-1 πρότυπα μπορούν να θεωρηθούν ασύρματα τοπικά δίκτυα 2G. Τα OFDM WLANs διαμορφώνουν η επόμενη γενιά των εν λόγω προϊόντων.

| Parameters      | IEEE 802.11                             | IEEE 802.11b       | IEEE 802.11a                      | HIPER-LAN/2                               | HIPER-LAN/1                                      |
|-----------------|---|--------------------|-----------------------------------|---|--|
| Status          | Approved, Products                      | Products           | Approved, Products in development | Approved                                  | Approved, No products                            |
| Freq. Band      | 2.4 GHz                                 | 2.4 GHz            | 5 GHz                             | 5 GHz                                     | 5 GHz  |
| PHY, modulation | DSSS: FHSS:                             | DSSS: CCK          | OFDM                              | OFDM                                      | GMSK   |
| Data rate       | 1, 2 Mbps                               | 1, 2, 5.5, 11 Mbps | 6, 9, 12, 18, 24, 36, 54 Mbps     |   | 23.5 Mbps  |
| Access method   | Distributed control, CSMA/CA or RTS/CTS |                    |                                   | Central control; reservation-based access | Active contention resolution; priority signaling |

## Πίνακας 7: Πρότυπα WLAN

Το υφιστάμενο πρότυπο IEEE 802.11-1999 έχει επίσης γίνει δεκτό ως ένα αμερικανικό εθνικό πρότυπο από το American National Standards Institute (ANSI) και έχει υιοθετηθεί από τον International Organization for Standardization (ISO) ως το πρότυπο ISO / IEC 8802-11:1999.

Το 1997 πρότυπο καθορίζει εύρος ζώνης 2 Mbps, με fallback στο 1 Mbps σε εχθρικά (με θόρυβο) περιβάλλοντα με Direct Sequence Spread Spectrum (DSSS) διαμόρφωση, και εύρος ζώνης 1 Mbps με Frequency Hopping Spread Spectrum (FHSS) διαμόρφωση, με δυνατή 2 - Mbps λειτουργία σε φιλικά (με λιγότερο θόρυβο) περιβάλλοντα. Και οι δύο μέθοδοι λειτουργούν στη μη αδειοδοτούμενη ζώνη των 2,4 GHz. Αυτό που είναι λιγότερο γνωστό για το IEEE 802.11 είναι ότι καθορίζει επίσης ένα baseband infrared medium, εκτός από τις DSSS και FHSS ασύρματες προδιαγραφές, παρότι η χρησιμότητά του είναι κάπως περιορισμένη.

Υπάρχουν επίσης αρκετές ομάδες εργασίας στο πλαίσιο της ομάδας εργασίας 802.11 που εργάζονται για τα substandards του 802.11:

802.11d: Πρόσθετα Ρυθμιστικά Domains

802.11e: Quality of Service (QoS)

---

802.11f: Inter-Access Point Protocol (IAPP)

802.11g: Υψηλότερες ταχύτητες δεδομένων στα 2,4 GHz

802.11h: Dynamic Channel Selection και Transmission Power Control

802.11i: Authentication και Ασφάλεια

Δύο συμπληρώματα στο IEEE 802.11 - 1999, γνωστά και ως IEEE 802.11a και IEEE 802.11b, έφεραν σημαντικές αλλαγές και βελτιώσεις στο πρότυπο IEEE 802.11-1999.

Το IEEE 802.11a καθορίζει ένα υψηλής ταχύτητας φυσικό επίπεδο που λειτουργεί στη 5 GHz μη αδειοδοτούμενη ζώνη χρησιμοποιώντας μία πολύπλοκη τεχνική κωδικοποίησης γνωστή ως OFDM. Οι ταχύτητες δεδομένων που καθορίζονται από το πρωτόκολλο IEEE 802.11a είναι 6, 9, 12, 18, 24, 36, 48, και 54 Mbps, υποστηρίζουν για 6, 12, και 24 Mbps ως υποχρεωτική απαίτηση. Το IEEE 802.11a θεωρείται από κάποιους στη βιομηχανία ως το μέλλον του IEEE 802.11. Ωστόσο, το 802.11a έχει και μειονεκτήματα. Το αυξημένο εύρος ζώνης του IEEE 802.11a έχει ως αποτέλεσμα μικρότερο εύρος λειτουργίας.

Επιπλέον, εξαιτίας του εναέριου πρωτοκόλλου και παρεμβολών / διόρθωσης σφαλμάτων, το πραγματικό εύρος ζώνης μπορεί να είναι σημαντικά μικρότερο από το ονομαστικό. Νέες έρευνες και εγκαταστάσεις απαιτούνται επίσης σε πολλές περιπτώσεις. Η infrastructure διαμόρφωση είναι επίσης πιο ακριβή, λόγω μικρότερου εύρους λειτουργίας (περίπου 1/3 του 802.11b) και μεγαλύτερης πυκνότητας σταθμών βάσης (γνωστών ως σημεία πρόσβασης).

IEEE 802.11b. Πιθανώς η πιο ευρέως χρησιμοποιούμενη τεχνολογία ασύρματου LAN σήμερα, το IEEE 802.11b καθορίζει 5,5-και 11-Mbps ταχύτητες δεδομένων (εκτός από τα ήδη προσδιορισμένα 1 και 2 Mbps), αλλά λειτουργεί στην αρχική 2,4-GHz μπάντα, χρησιμοποιώντας επίσης DSSS διαμόρφωση. Τα προϊόντα IEEE 802.11 που πωλούνται περισσότερο σήμερα εφαρμόζουν IEEE 802.1b. Οι IEEE 802.11b συμβατές συσκευές λειτουργούν στα 1, 2, 5,5, και 11 Mbps.

Είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι και οι δύο εκδόσεις του IEEE 802.11 χρησιμοποιούν το ίδιο Media Access Control (MAC) πρωτόκολλο, Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance (CSMA / CA). Ως εκ τούτου, οι τροποποιήσεις αυτές επηρεάζουν μόνο το φυσικό επίπεδο του προτύπου.

---

Τα 1/2- και 5.5/11-Mbps DSSS (IEEE 802.11b) δίκτυα μπορούν να συνυπάρξουν, επιτρέποντας μια ανώδυνη μετάβαση στο IEEE 802.11b (High Rate) στα 11 Mbps.

## 5.2 IEEE 802.11 Network layer ή Τοπολογίες WLANs

Ένα 802.11 LAN βασίζεται σε κυψελοειδή αρχιτεκτονική όπου το σύστημα υποδιαιρείται σε κυψέλες (cells), και κάθε cell (που ονομάζεται Basic Service Set ή BSS) ελέγχεται από έναν Base Station (που ονομάζεται Access Point, AP).

Αν και το WLAN μπορεί να σχηματιστεί από ένα μόνο cell, με ένα μόνο Access Point (ή και χωρίς Access Point), οι περισσότερες εγκαταστάσεις αποτελούνται από πολλά cells, όπου τα Access Points συνδέονται μέσω κάποιου τύπου backbone (ονομάζεται Distribution System ή DS), τυπικά το Ethernet, και σε κάποιες περιπτώσεις ασύρματο και το ίδιο.

Το πλήρες διασυνδεδεμένο WLAN που περιλαμβάνει διαφορετικά cells, τα αντίστοιχα Access Points και το Distribution System, φαίνεται στα ανώτερα επίπεδα του μοντέλου OSI, ως ένα ενιαίο 802 δίκτυο, και ονομάζεται μέσα στο Πρότυπο Extended Service Set (ESS).

Το Πρότυπο επίσης ορίζει την έννοια μιας Πύλης, που είναι μια συσκευή που συνδέει ένα 802.11 LAN με ένα άλλο 802 LAN.

Οι κεραιές που χρησιμοποιούνται με IEEE 802.11b συσκευές μπορούν να ομαδοποιηθούν σε δύο κατηγορίες: omnidirectional και point-to-point. Προφανώς, οι omnidirectional κεραιές είναι πιο εύκολες στη χρήση, επειδή δεν απαιτούν positioning. Οι πανκατευθυντικές κεραιές χρησιμοποιούνται στους περισσότερους σταθμούς βάσης, καθώς και στις περισσότερες κάρτες πρόσβασης. Ωστόσο, λόγω της φύσης τους, οι πανκατευθυντικές κεραιές δεν λειτουργούν καλά σε μεγαλύτερες αποστάσεις, εκτός και αν χρησιμοποιούν εξωτερικούς ενισχυτές, και αυτοί δεν είναι πάντα νόμιμοι ή κατάλληλοι για χρήση.

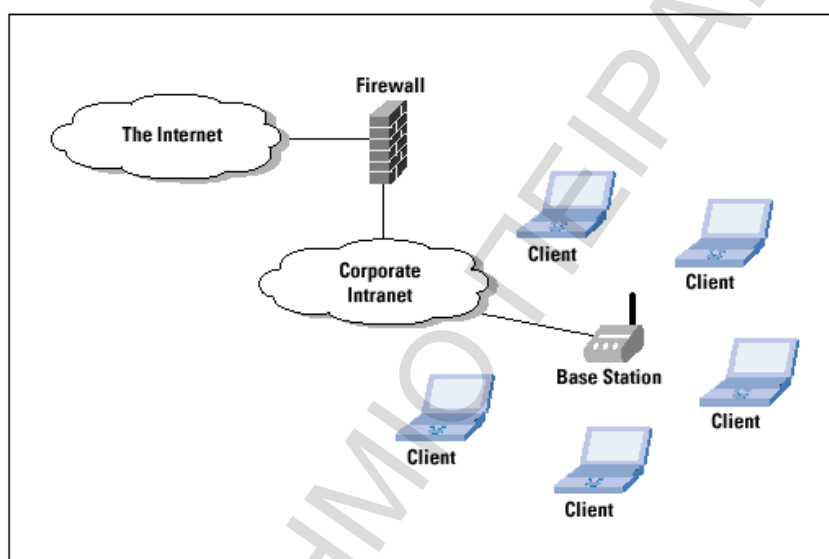
Κατευθυντικές, ή σημείου-προς-σημείου κεραιές, από την άλλη πλευρά, απαιτούν προσεκτικό positioning και χρησιμοποιούνται σε εξωτερικούς χώρους. Αν και το τυπικό φάσμα για ένα σύστημα πανκατευθυντικής κεραιάς είναι 150 ft (45m), διαμορφώσεις κατευθυντικών κεραιών υψηλής απόδοσης μπορούν να λειτουργούν σε αποστάσεις έως και

---

25 μίλια (περίπου 40 χλμ). Σε περιοχές όπου επιτρέπονται ενισχυτές, η μέγιστη απόσταση μπορεί να αυξηθεί σημαντικά και να περιοριστεί μόνο από τη γραμμή ορατότητας (line of sight).

### 5.3 Infrastructure Mode

Figure 1: Typical IEEE 802.11 Configuration in Infrastructure Mode



Εικόνα 55: Τυπική IEEE 802.11 Infrastructure Mode διαμόρφωση δικτύου

Όλες οι IEEE 802.11 συσκευές μπορούν να καταταγούν σε μια από δύο ομάδες: σταθμούς βάσης ή πελάτες. Σταθμοί βάσης μπορούν να λειτουργήσουν ως πελάτες. Ωστόσο, δεν μπορούν όλοι οι πελάτες να λειτουργήσουν ως σταθμοί βάσης. Ο λόγος για αυτό είναι ότι, οι σταθμοί βάσης που απαιτούνται για την παροχή ορισμένων υπηρεσιών δικτύου προς πελάτες (σύνδεση, διανομή, ένταξη, επανασύνδεση, και ούτω καθεξής) που δεν μπορούν όλοι οι πελάτες hardware, firmware ή λογισμικού να παρέχουν.

Οι σκέψεις αυτές ισχύουν, όταν εφαρμόζεται Infrastructure Mode IEEE 802.11. Σε ad hoc δίκτυα, όπου δεν υπάρχουν σταθμοί βάσης, όλοι οι πελάτες επικοινωνούν απευθείας μεταξύ τους, γεγονός που θυμίζει ένα παραδοσιακό shared δίκτυο Ethernet, με όλους τους κόμβους να μοιράζονται ίσα δικαιώματα και υποχρεώσεις. Όπως προαναφέρθηκε, 11 έως



---

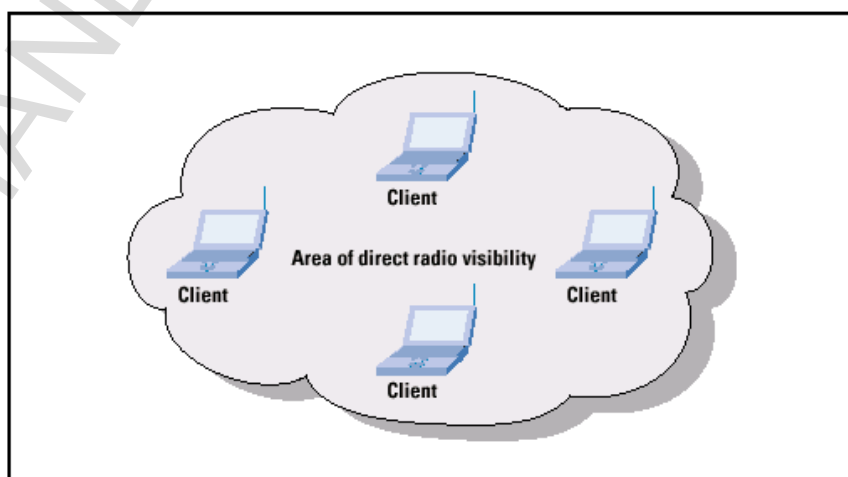
14 κανάλια είναι διαθέσιμα, αλλά ξεχωριστά δίκτυα μπορούν να συνυπάρχουν στην ίδια συχνότητα (χρησιμοποιώντας διαφορετικές IDs (Service Set Identifiers [SSIDs]), αλλά με κυρώσεις απόδοσης.

Η λειτουργία των συσκευών 802.11, επίσης, διαφέρει στις infrastructure και ad hoc λειτουργίες. Στην infrastructure mode (Εικόνα 56), οι πελάτες συνδέουν τον εαυτό τους (και προαιρετικά με έλεγχο ταυτότητας) με ένα σταθμό βάσης, και η παρουσία του σταθμού βάσης είναι απαραίτητη για τη λειτουργία του δικτύου.

Πολύπλοκα 802.11 δίκτυα μπορούν να κατασκευαστούν χρησιμοποιώντας την infrastructure mode, με πολλούς σταθμούς βάσης που παρέχουν κάλυψη σε σχετικά μεγάλες φυσικές περιοχές, και οι πελάτες μπορούν να περιάγονται (roam) μέσα σε αυτό τον τομέα περιαγωγής (roaming), ο οποίος θεωρητικά μπορεί να κυμαίνεται από ένα μόνο κτίριο σε ολόκληρη πανεπιστημιούπολη ή πόλη. Το Spanning-Tree Protocol (STP) χρησιμοποιείται συνήθως σε αυτές τις περιπτώσεις για να παρέχει loop-free bridging σε αυτό το ασύρματο LAN.

Στη λειτουργία ad hoc (Εικόνα 57), οι σταθμοί βάσης δεν χρησιμοποιούνται και δεν είναι απαραίτητοι, επειδή όλοι οι κόμβοι του ασύρματου LAN έχουν άμεση προσβασιμότητα (δηλ. «βλέπουν» ο ένας τον άλλον). Η λειτουργία αυτή χρησιμοποιείται συνήθως σε περιπτώσεις όπου όλες οι συσκευές είναι σε στενή εγγύτητα η μια στην άλλη (όπως ένα πάτωμα ή γραφείο) και όταν χρησιμοποιούνται πανκατευθυντικές κεραίες.

Figure 2: IEEE 802.11  
ad hoc Network



---

## Εικόνα 58: Τυπική IEEE 802.11 Ad Hoc διαμόρφωση δικτύου

Το IEEE 802.11 παρέχει roaming και mobility των συσκευών-πελατών 802.11 και επιτρέπει στους πελάτες να περιάγονται μεταξύ πολλαπλών 802.11 σταθμών βάσης που μπορεί να λειτουργούν στις ίδιες ή διαφορετικές συχνότητες (κανάλια). Αυτό επιτυγχάνεται μέσω της χρήσης beacon frames, τα οποία χρησιμοποιούνται για το συγχρονισμό 802.11 συσκευές και, στην infrastructure mode, για σύνδεση με ένα σταθμό βάσης.

Υπάρχουν δύο τρόποι σάρωσης για υφιστάμενα 802,11 δίκτυα: ενεργητική και παθητική σάρωση. Στην λειτουργία ενεργής σάρωσης, η συσκευή 802.11 στέλνει "probe" frame, προσελκύοντας "I am here" απαντήσεις από τις υφιστάμενες συσκευές 802.11. Στην παθητική λειτουργία, οι συσκευές απλά ακούνε για beacon frames, τα οποία μεταδίδονται περιοδικά από τις ενεργές συσκευές. Επιπλέον, το IEEE 802.11 Task Group F εργάζεται πάνω στο IAPP, για παροχή καλύτερης και διαλειτουργικής κινητικότητας και μηχανισμών περιαγωγής.

### 5.4 IEEE 802.11 PHY Layer

Έντεκα έως δεκατέσσερα κανάλια είναι διαθέσιμα για χρήση με IEEE 802.11b στη 2,4-GHz ζώνη, ανάλογα με τους τοπικούς νομικούς και διοικητικούς περιορισμούς.

Το 802.11 Πρότυπο ορίζει τρία PHYs (όλα τους τρέχουν σε 1 και 2 Mbit/s):

- Μεταπήδηση Συχνοτήτων Ευρέους Φάσματος (Frequency Hopping Spread Spectrum) στην μπάντα 2,4 GHz
- Άμεση Αλληλουχία Ευρέου Φάσματος (Direct Sequence Spread Spectrum) στην μπάντα 2,4 GHz
- Υπέρυθρο (InfraRed)

---

## **DSSS**

Direct Spread Spectrum Sequence (DSSS) είναι μια από τις τεχνικές διαμόρφωσης που προβλέπεται από το IEEE 802.11 και εκείνο που έχει επιλεγεί από την Ομάδα Εργασίας 802.11 για ευρέως χρησιμοποιούμενες συσκευές IEEE 802.11b. Η DSSS διαμόρφωση καθορίζεται στις Ηνωμένες Πολιτείες από τον FCC Κανονισμό 15.247 και στην Ευρώπη από τους ETSI Κανονισμούς 300-328. Η DSSS στο IEEE 802.11 χρησιμοποιεί Differential Binary Phase Shift Keying (DBPSK) για 1 Mbps, και Differential Quadrature Phase Shift Keying (DQPSK) για 2 Mbps. Το Higher-Rate DSSS (DSSS / HR) που ορίζεται στο πρότυπο IEEE 802.11b χρησιμοποιεί Complementary Code Keying (CCK) ως σχήμα διαμόρφωσής του και παρέχει 5,5-και 11-Mbps ταχύτητες δεδομένων.

Λόγω της συμβατότητας τους, και τα τρία συστήματα διαμόρφωσης μπορούν να συνυπάρξουν χρησιμοποιώντας rate-switching διαδικασίες που ορίζονται στο πρότυπο IEEE 802.11. Η Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM), που χρησιμοποιείται από το IEEE 802.11a καθορίζεται στις Ηνωμένες Πολιτείες από τον Τίτλο 47 Τμήμα 15.407 του Code of Federal Regulation (CFR) των ΗΠΑ. Το IEEE 802.11a χρησιμοποιεί ένα σύστημα 52 subcarriers που διαμορφώνονται από BPSK ή QPSK και 16-quadrature amplitude modulation. Χρησιμοποιεί, επίσης, forward error correction (FEC) κωδικοποίηση, που χρησιμοποιείται επίσης από το Digital Video Broadcasting (DVB) πρότυπο με ταχύτητες κωδικοποίησης 1/2, 2/3, και 3/4.

## **FHSS**

Παρά το γεγονός ότι καθορίζεται από το αρχικό IEEE 802.11, η Frequency Hopping Spread Spectrum (FHSS) διαμόρφωση δεν ευνοείται από τους προμηθευτές και, όπως φαίνεται, και από την ίδια την ομάδα εργασίας 802.11. Η DSSS έχει κερδίσει την μάχη – πολύ λίγοι προμηθευτές υποστηρίζουν το 802.11/FHSS, και οι περαιτέρω εφαρμογές με 802.11 χρησιμοποιούν DSSS. Κάποιοι έχουν εκφράσει την ιδέα ότι το frequency hopping από την FHSS μπορεί να συμβάλει στην ασφάλεια του 802.11, αλλά αυτές οι προσδοκίες δεν είναι έγκυρες – οι hopping κωδικοί που χρησιμοποιούνται από την FHSS καθορίζονται από το πρότυπο και είναι διαθέσιμες σε οποιονδήποτε, καθιστώντας έτσι την προσδοκία της ασφάλειας μέσω FHSS παράλογη.

---

## 5.5 IEEE 802.11 MAC Layer

Πέρα από την τυπική λειτουργικότητα των MAC Layers, το 802.11 MAC εμφανίζει και άλλες λειτουργίες που σχετίζονται τυπικά με τα πρωτόκολλα ανώτερων στρωμάτων, όπως Κατακερματισμός, Αναμεταδόσεις Πακέτων και Αναγνώρισεις.

Το MAC Layer ορίζει δυο διαφορετικές μεθόδους πρόσβασης, την Κατανεμημένη Συνάρτηση Συντονισμού (Distributed Coordination Function) και τη Συνάρτηση Συντονισμού Σημείου (Point Coordination Function).

## 5.6 The Basic Access Method: CSMA/CA

Ένα CSMA πρωτόκολλο δουλεύει ως εξής: ένας σταθμός που επιθυμεί να μεταδώσει ανιχνεύει το μέσο, αν το μέσο είναι απασχολημένο (π.χ. κάποιος άλλος σταθμός μεταδίδει) τότε ο σταθμός μεταθέτει τη μετάδοσή του για αργότερα, αν το μέσο είναι ελεύθερο τότε ο σταθμός επιτρέπεται να μεταδώσει.

Αυτά τα πρωτόκολλα είναι πολλοί αποτελεσματικά όταν το μέσο δεν είναι πολύ φορτωμένο, αφού επιτρέπουν στους σταθμούς να μεταδίδουν με ελάχιστη καθυστέρηση, αλλά υπάρχει πάντα πιθανότητα σταθμοί να μεταδίδουν στον ίδιο χρόνο (σύγκρουση), που προκαλείται από το γεγονός ότι οι σταθμοί ανίχνευσαν το ελεύθερο μέσο και αποφάσισαν να μεταδώσουν με μιας.

Αυτές οι καταστάσεις συγκρούσεων πρέπει να προσδιοριστούν, έτσι ώστε το MAC επίπεδο να μπορεί να αναμεταδώσει το πακέτο μόνο του και όχι από τα ανώτερα επίπεδα, τα οποία μπορούν να προκαλέσουν σημαντική καθυστέρηση. Στην περίπτωση του Ethernet αυτή η σύγκρουση αναγνωρίζεται από τους σταθμούς μετάδοσης οι οποίοι προχωρούν σε μια φάση αναμετάδοσης που βασίζεται σε έναν τυχαίο εκθετικό backoff αλγόριθμο.

Το 802.11, σε ασύρματο LAN περιβάλλον, χρησιμοποιεί το μηχανισμό Αποφυγής Συγκρούσεων (Collision Avoidance) μαζί με ένα σχήμα Θετικής Αναγνώρισης, ως εξής:

---

Ένας σταθμός που πρόκειται να μεταδώσει ανιχνεύει το μέσο, αν το μέσο είναι απασχολημένο αναβάλλει. Αν το μέσο είναι ελεύθερο για ένα καθορισμένο χρονικό διάστημα (DIFS, Distributed Inter Frame Space) ο σταθμός μεταδίδει, ο σταθμός λήψης θα ελέγξει το CRC του πακέτου που παραλαμβάνει και θα στείλει ένα πακέτο αναγνώρισης ACK (acknowledgment packet). Η παραλαβή της αναγνώρισης θα υποδείξει στον πομπό ότι δεν συνέβη καμία σύγκρουση. Αν ο αποστολέας δε λάβει αναγνώριση τότε θα αναμεταδίδει το κομμάτι (fragment) μέχρι να λάβει αναγνώριση ή να το πετάξει μετά από δεδομένο αριθμό αναμεταδόσεων.

### **Ανίχνευση Εικονικού Φορέα**

Προκειμένου να μειωθεί η πιθανότητα σύγκρουσης δυο σταθμών επειδή δεν μπορούν να ακούσουν ο ένας τον άλλον, το πρότυπο ορίζει ένα μηχανισμό Ανίχνευσης Εικονικού Φορέα:

Ένας σταθμός που πρόκειται να μεταδώσει ένα πακέτο πρώτα θα μεταδώσει ένα μικρό πακέτου ελέγχου RTS (Request To Send), το οποίο θα περιλαμβάνει τη προέλευση, το προορισμό και τη διάρκεια της ακόλουθης συναλλαγής, ο σταθμός προορισμού θα απαντήσει (αν το μέσο είναι ελεύθερο) με πακέτου ελέγχου CTS (Clear To Send), που θα περιλαμβάνει πληροφορία ίδιας διάρκειας.

Όλοι οι σταθμοί που θα λάβουν είτε το RTS και/είτε το CTS, θα ρυθμίσουν τον δείκτη Ανίχνευσης Εικονικού Φορέα τους (Network Allocation Vector, NAV), για τη συγκεκριμένη διάρκεια και θα χρησιμοποιήσουν αυτή την πληροφορία μαζί με την Ανίχνευση Φυσικού Φορέα όταν ανιχνεύουν το μέσο.

Αυτός ο μηχανισμός μειώνει τη πιθανότητα μιας σύγκρουσης στην περιοχή λήψης από ένα σταθμό που είναι «κρυμμένος» από τον πομπό, στη μικρή διάρκεια της RTS μετάδοσης,

---

γιατί ο σταθμός ακούει το CTS και «διατηρεί» το μέσο ως απασχολημένο ως το τέλος της συναλλαγής. Η διάρκεια πληροφορίας RTS επίσης προστατεύει την περιοχή του πομπού από συγκρούσεις κατά τη διάρκεια του ACK (από σταθμούς εκτός εμβέλειας του σταθμού αναγνώρισης).

Δεδομένου ότι τα RTS και CTS είναι σύντομα πλαίσια (short frames), αυτό επίσης μειώνει τις εναέριες συγκρούσεις, αφού αναγνωρίζονται γρηγορότερα απ' ό,τι θα αναγνωρίζονταν αν μεταδίδονταν ολόκληρο το πακέτο (αυτό είναι αλήθεια αν το πακέτο είναι σημαντικά μεγαλύτερο από το RTS, αλλά το πρότυπο επιτρέπει μικρά πακέτα να μεταδίδονται χωρίς RTS/CTS συναλλαγή, και αυτό ελέγχεται ανά σταθμό από μια παράμετρο που λέγεται RTSThreshold).

### ***Fragmentation/reassembly mechanism at the MAC Layer***

Σε ένα ασύρματο LAN περιβάλλον υπάρχουν αρκετοί λόγοι γιατί είναι προτιμότερη η χρήση μικρότερων πακέτων:

- Λόγο του υψηλότερου Bit Error Rate (BER) μιας ασύρματης σύνδεσης, η πιθανότητα να καταστραφεί ένα πακέτο αυξάνει με το μέγεθός του
- Σε περίπτωση καταστροφής του πακέτου (λόγω σύγκρουσης ή θορύβου), όσο μικρότερο είναι το πακέτο τόσο λιγότερη η επιβάρυνση για να αναμεταδοθεί
- Σε ένα Σύστημα Μεταπήδησης Συχνοτήτων, το μέσο διακόπτεται περιοδικά για μεταπήδηση (hopping), έτσι όσο μικρότερο το πακέτο, τόσο λιγότερη η πιθανότητα να αναβληθεί η μετάδοση μετά το χρόνο παραμονής

Από την άλλη, δεν έχει νόημα να εισάγεται ένα νέο LAN πρωτόκολλο που δεν μπορεί να αντιμετωπίσει πακέτα των 1518 bytes που χρησιμοποιούνται στο Ethernet, έτσι η επιτροπή έλυσε αυτό το πρόβλημα προσθέτοντας ένα μηχανισμό κατακερματισμού/επανασυρμολόγησης στο MAC Layer.

Ο μηχανισμός είναι ένας απλός αλγόριθμος Send-and-Wait, όπου ο πομπός δεν επιτρέπεται να μεταδώσει ένα νέο κομμάτι μέχρι να συμβεί ένα από τα ακόλουθα:

- 
- να λάβει ένα ACK για το εν λόγω κομμάτι ή
  - να αποφασίσει ότι το κομμάτι αναμεταδόθηκε πάρα πολλές φορές και να πετάξει όλο το πλαίσιο

Πρέπει να σημειωθεί ότι το πρότυπο δεν επιτρέπει στο σταθμό να μεταδώσει σε διαφορετική διεύθυνση μεταξύ αναμεταδόσεων συγκεκριμένου κομματιού, το οποίο είναι ιδιαίτερα χρήσιμο όταν ένα AP έχει πολλά εκκρεμή πακέτα για διαφορετικούς προορισμούς και ένας από αυτούς δεν απαντά.

Το πρότυπο ορίζει 4 τύπους πλαισίου μεταξύ κενών (Inter Frame Spaces), που χρησιμοποιούνται για να παρέχουν διαφορετικές προτεραιότητες:

- SIFS (Short Inter Frame Space), χρησιμοποιείται για το διαχωρισμό μεταδόσεων που ανήκουν σε ένα ενιαίο διάλογο και είναι το μικρότερο πλαίσιο μεταξύ κενών και υπάρχει πάντα το πολύ ένας σταθμός να μεταδίδει τη δεδομένη στιγμή, ως εκ τούτου να έχει την προτεραιότητα από όλους τους άλλους σταθμούς. Η τιμή είναι καθορισμένη ανά PHY και υπολογίζεται με τέτοιο τρόπο που ο πομπός θα μπορεί να επιτρέψει στη λειτουργία λήψης και να αποκωδικοποιήσει το εισερχόμενο πακέτο, στο 802.11 FH PHY η τιμή είναι 28 microseconds.
- PIFS (Point Coordination IFS), χρησιμοποιούνται από το AP για πρόσβαση στο μέσο πριν από κάθε άλλο σταθμό. Αυτή η τιμή είναι 78 microseconds
- DIFS (Distributed IFS), είναι το IFS που χρησιμοποιείται από ένα σταθμό που πρόκειται να ξεκινήσει μια νέα μετάδοση, δηλ. 128 microseconds και
- EIFS (Extended IFS), που είναι ένα μεγαλύτερο IFS που χρησιμοποιείται από ένα σταθμό που έχει λάβει ένα πακέτο που δε μπορούσε να καταλάβει, αυτό χρειάζεται για να εμποδίσει το σταθμό (που δε μπορούσε να καταλάβει τη διάρκεια της πληροφορίας για τον Εικονικό Δείκτη Φορέα) να συγκρουστεί με ένα μελλοντικό πακέτο που θα ανήκει στον υφιστάμενο διάλογο

Αυτοί είναι οι κύριοι τύποι 802.11 frames:

- Data Frames: που χρησιμοποιούνται για τη μεταβίβαση δεδομένων



- 
- Control Frames: που χρησιμοποιούνται για τον έλεγχο πρόσβασης στο μέσο (π.χ. RTS, CTS και ACK) και
  - Management Frames: που είναι frames που μεταδίδονται με τον ίδιο τρόπο όπως τα data frames για την ανταλλαγή πληροφοριών διαχείρισης, αλλά δεν προωθούνται στα ανώτερα επίπεδα

Όλα τα 802.11 frames αποτελούνται από τα ακόλουθα συστατικά:

- Preamble: που εξαρτάται από το PHY και περιλαμβάνει:
  - Synch: μια 80-bit ακολουθία διαδοχικών 0 και 1, που χρησιμοποιείται από τη PHY circuitry για την επιλογή κατάλληλης κεραίας (αν υπάρχει επιλογή) και για να φτάσει steady-state offset διόρθωση συχνότητας και συγχρονισμό με το χρόνο παραλαβής πακέτου και
  - SFD: ένας Start Frame οριοθέτης που αποτελείται από 16-bit δυαδική ακολουθία 0000 1100 1011 1101, που χρησιμοποιείται για τον καθορισμό του frame timing
- PLCP Header: που πάντα μεταδίδεται στα 1Mbit/s και περιέχει Λογική πληροφορία που θα χρησιμοποιηθεί από το φυσικό επίπεδο για την αποκωδικοποίηση του πλαισίου και αποτελείται από:
  - PLCP\_PDU Length Word: που αντιπροσωπεύει τον αριθμό bytes που περιέχονται στο πακέτο, αυτό είναι χρήσιμο για το PHY να ανιχνεύει σωστά το τέλος του πακέτου
  - PLCP Signaling Field: που περιέχει μόνο τη στιγμιαία ταχύτητα της πληροφορίας, κωδικοποιημένη σε 0,5 MBps βήματα από 1Mbit/s έως 4,5Mbit/s και
  - Header Error Check Field: που είναι ένα 16 bit CRC error detection field
- MAC Data: που περιλαμβάνει πάρα πολλά πεδία
- CRC: που είναι ένα 32-bit πεδίο που περιέχει ένα 32-bit Cyclic Redundancy Check (CRC)

### **Αλγόριθμος Exponential Backoff**

Η backoff είναι μια γνωστή μέθοδος για την επίλυση συγκρούσεων μεταξύ διαφορετικών σταθμών που επιθυμούν να προσπελάσουν το μέσο, η μέθοδος απαιτεί κάθε σταθμός να

---

διαλέξει ένα τυχαίο αριθμό (Random Number) μεταξύ 0 και ενός δεδομένου αριθμού και να περιμένει αυτό τον αριθμό slots πριν να προσπελάσει το μέσο, πάντα ελέγχοντας αν ένας διαφορετικός σταθμός έχει προσπελάσει το μέσο πριν.

Ο slot time ορίζεται με τέτοιο τρόπο που ένας σταθμός να μπορεί πάντα να προσδιορίζει αν ένας σταθμός προσπέλασε το μέσο στην αρχή του προηγούμενου slot. Αυτό μειώνει τη πιθανότητα σύγκρουσης στο μισό.

Εκθετικό backoff σημαίνει ότι κάθε φορά ο σταθμός επιλέγει ένα slot και προκύπτει σύγκρουση, θα αυξηθεί ο μέγιστος αριθμός για την εκθετικά τυχαία επιλογή.

Το 802.11 πρότυπο ορίζει ένα Exponential Backoff Algorithm, που πρέπει να εκτελείται στις ακόλουθες περιπτώσεις:

- όταν ο σταθμός ανιχνεύει το μέσο πριν από την πρώτη μετάδοση του πακέτου, και το μέσο είναι απασχολημένο
- μετά από κάθε αναμετάδοση και
- μετά από μια επιτυχή μετάδοση

Στη μόνη περίπτωση που ο μηχανισμός δε χρησιμοποιείται είναι όταν ο σταθμός αποφασίζει να μεταδώσει ένα νέο πακέτο και το μέσο είναι ελεύθερο για πάνω από ένα DIFS.

### **Σύνδεση σε LAN**

Όταν ένας σταθμός θέλει να προσπελάσει ένα υπάρχον BSS (είτε μετά από power-up ή sleep mode ή απλά μπαίνοντας στην BSS περιοχή), ο σταθμός χρειάζεται να λάβει πληροφορίες συγχρονισμού από το Access Point (ή από τους άλλους σταθμούς σε ad-hoc mode, η οποία αναφέρεται παρακάτω).

Ο σταθμός μπορεί να λάβει πληροφορία με ένα από τους δυο τρόπους:

- 
1. **Passive scanning:** Σε αυτή την περίπτωση ο σταθμός απλά περιμένει να λάβει ένα Beacon Frame από τον AP, (το beacon frame είναι ένα περιοδικό πλαίσιο που στέλνει ο AP με πληροφορίες συγχρονισμού), ή
  2. **Active Scanning:** Σε αυτή τη περίπτωση ο σταθμός προσπαθεί να βρει ένα AP μεταδίδοντας Probe Request Frames και περιμένοντας για Probe Response από τον AP

Και οι δυο μέθοδοι ισχύουν και η επιλογή γίνεται σύμφωνα με το tradeoff μεταξύ κατανάλωσης/απόδοσης.

Μόλις ο σταθμός βρει ένα AP και αποφασίσει να συνδεθεί στο BSS του, περνά από Authentication Process, η οποία είναι ανταλλαγή πληροφοριών μεταξύ του AP και του σταθμού, όπου κάθε πλευρά αποδεικνύει τη γνώση ενός δεδομένου password.

Όταν ο σταθμός πιστοποιηθεί, αρχίζει την Association Process, η οποία είναι η ανταλλαγή πληροφοριών για τους σταθμούς και τις δυνατότητες BSS, και η οποία επιτρέπει στο DSS (Distribution System Set των APs) να γνωρίζει την θέση του σταθμού). Μόνο μετά την ολοκλήρωση της διαδικασίας σύνδεσης, μπορεί ένας σταθμός να μεταδίδει και να λαμβάνει data frames.

### **Roaming**

Το roaming είναι η διαδικασία μετακίνησης από ένα cell (ή BSS) σε άλλο χωρίς απώλεια σύνδεσης. Αυτή η λειτουργία είναι παρόμοια με τη μεταβίβαση στη κυψελοειδή τηλεφωνία με δυο βασικές διαφορές:

- σε LAN packet based system, η μεταβίβαση από κυψέλη σε κυψέλη μπορεί να γίνει με μεταβιβάσεις πακέτων, αντίθετα με τη τηλεφωνία όπου η μεταβίβαση μπορεί να γίνει κατά τη διάρκεια τηλεφωνικής συνομιλίας, που κάνει το LAN roaming ελαφρώς ευκολότερο, αλλά

- 
- σε voice system μια προσωρινή αποσύνδεση μπορεί να μην επηρεάσει τη συνομιλία, ενώ σε ένα packet based περιβάλλον θα μειώσει σημαντικά την απόδοση γιατί η αναμετάδοση θα γίνει από τα ανώτερου επιπέδου πρωτόκολλα

Το 802.11 πρότυπο δεν καθορίζει πως πρέπει να γίνεται το roaming, αλλά ορίζει τα βασικά εργαλεία για αυτό, τα οποία περιλαμβάνουν το active/passive scanning και τη διαδικασία επανασύνδεσης, όπου ένας σταθμός που κάνει roaming από ένα AP σε ένα άλλο θα συνδεθεί με το νέο AP.

Οι σταθμοί χρειάζεται να είναι συγχρονισμένοι, αυτό χρειάζεται για διατηρείται το hopping συγχρονισμένο και για άλλες λειτουργίες όπως Εξοικονόμηση Ενέργειας. Σε μια BSS δομή, αυτό γίνεται με τη ρύθμιση των ρολογιών όλων των σταθμών σύμφωνα με το ρολόι του AP, χρησιμοποιώντας τον ακόλουθο μηχανισμό:

Το AP μεταδίδει περιοδικά frames που λέγονται Beacon Frames, αυτά τα πλαίσια περιέχουν τη τιμή ρολογιού του AP τη στιγμή της μετάδοσης (σημειώνεται ότι είναι η στιγμή που λαμβάνει χώρα η μετάδοση και όχι όταν μπαίνει στην ουρά για μετάδοση, δεδομένου ότι το Beacon Frame μεταδίδεται με τους κανόνες του CSMA, η μετάδοση μπορεί να καθυστερήσει σημαντικά).

Οι σταθμοί λήψης ελέγχουν τη τιμή του ρολογιού τους τη στιγμή λήψης και τη διορθώνουν για να κρατήσουν συγχρονισμό με το ρολόι του AP, αυτό εμποδίζει το drifting του ρολογιού το οποίο θα μπορούσε να προκαλέσει απώλεια συγχρονισμού μετά από κανά δυο ώρες λειτουργίας.

Η ασφάλεια είναι ένα από τα πρώτα ζητούμενα χρηστών ενός Wireless LAN και η 802.11 επιτροπή αντιμετώπισε το θέμα παρέχοντας το Wired Equivalent Privacy, WEP.

Τα Wireless LANs τυπικά σχετίζονται με κινητές συσκευές και αυτού του τύπου οι συσκευές τροφοδοτούνται με μπαταρία, γι' αυτό το 802.11 πρότυπο αντιμετωπίζει ευθέως το θέμα της εξοικονόμησης ενέργειας και ορίζει ολόκληρο μηχανισμό που να επιτρέπει στους σταθμούς να μένουν σε sleep mode για μεγάλες χρονικές περιόδους χωρίς να χάνουν πληροφορία.

---

Η βασική ιδέα πίσω από το μηχανισμό εξοικονόμησης ενέργειας είναι ότι το AP διατηρεί ένα ενημερωμένο αρχείο των σταθμών που δεδομένη στιγμή εργάζονται σε Power Saving mode και ρυθμίζει (buffers) τα πακέτα που απευθύνονται σε αυτούς τους σταθμούς μέχρι είτε οι σταθμοί να απαιτήσουν ειδικά να πάρουν τα πακέτα στέλνοντας ένα rolling request, ή μέχρι να αλλάξουν την κατάσταση λειτουργίας τους.

Το AP επίσης μεταδίδει περιοδικά (σα μέρος των Beacon Frame του) πληροφορία για το ποιοι Power Saving Stations έχουν πλαίσια buffered στο AP, έτσι ώστε αυτοί οι σταθμοί να ενεργοποιηθούν προκειμένου να λάβουν ένα από αυτά τα Beacon Frames και αν υπάρχει μια ένδειξη ότι υπάρχει ένα πλαίσιο αποθηκευμένο στο AP που περιμένει για διανομή, τότε ο σταθμός θα πρέπει να μείνει ενεργός και να στείλει ένα Poll message στο AP για να λάβει αυτά τα πλαίσια.

Οι multicasts και broadcasts αποθηκεύονται στο AP και μεταδίδονται σε γνωστό από πριν χρόνο, όπου όλοι οι Power Saving Stations που θέλουν να λάβουν αυτού του είδους τα πλαίσια θα πρέπει να είναι ενεργοί.

---

## Κεφάλαιο 6. Πρότυπα WiMAX /IEEE 802.16 για δίκτυα WMAN

### 6.1 Εισαγωγή

Τα WMANs έχουν σχεδιαστεί για να καλύπτουν ολόκληρες πόλεις με μεγάλο αριθμό LANs και WLANs. Ενώ τα WLANs παρέχουν εσωτερική και hotspot κάλυψη, μπορούν να συνδεθούν στο Internet μέσω WMAN τεχνολογιών.

Το πρότυπο IEEE 802.16 έχει αναπτυχθεί με βάση δύο συστήματα:

- Multichannel Multipoint Distribution System (MMDS) και
- Local Multipoint Distribution System (LMDS)

Προκειμένου να παρέχει αποδεκτή υπηρεσία ποιότητας σε αστικές ρυθμίσεις, το MMDS δουλεύει στα 2,1 GHz και 2,5–2,7 GHz ζώνες συχνοτήτων, οι οποίες είναι πολύ καλές στη βροχή και την εξασθένηση λόγω βλάστησης. Ένα τυπικό MMDS cell έχει ακτίνα 50 χιλιομέτρων και δίνει 0,5 έως 30 Mbps συνολική ταχύτητα μετάδοσης δεδομένων ανά κυψέλη (cell).

Λόγω της ευκολίας εγκατάστασης, το MMDS έγινε καταπληκτική τεχνολογία σε σύγκριση με το DSL και τα καλωδιακά συστήματα. Ωστόσο, το εύρος ζώνης μιας MMDS κυψέλης απέχει πολύ από το να είναι επαρκές για όλους τους χρήστες σε μια ακτίνα 50 χιλιομέτρων. Έτσι, ένα νέο είδος υπηρεσίας, που ονομάζεται LMDS, αναπτύχθηκε για να λειτουργεί σε υψηλότερες συχνότητες. Χρησιμοποιώντας 28–31 GHz στις ΗΠΑ και 40,5–42,5 GHz στην Ευρώπη, το LMDS έχει σχεδιαστεί για να παρέχει υψηλή μετάδοση. Αυτές οι ζώνες συχνοτήτων επιτρέπουν άκρως τομεακές κυψέλες, για αύξηση της μετάδοσης σε μια συγκεκριμένη περιοχή. Το μέγεθος κυψέλης ενός συστήματος LMDS είναι πολύ μικρότερο από το MMDS ομόλογό του, και κυμαίνεται από 3 έως 5 χιλιόμετρα. Οι κυψέλες LMDS υποστηρίζουν συνολική ταχύτητα δεδομένων 34–38 Mbps ανά τομέα, ενώ τα μοντέλα MMDS αυξάνουν αυτήν την τιμή στα 36 Gbps.

Τα LMDS συστήματα είναι ασύμμετρα και ευνοούν το downlink περισσότερο από το uplink. Η χρήση υψηλότερων συχνοτήτων προκαλεί προβλήματα όπως η απαίτηση LOS συνδεσιμότητας, εξασθένηση λόγω βροχής και βλάστησης. Ένα άλλο πρόβλημα είναι η έλλειψη τυποποίησης μεταξύ

---

συστημάτων LMDS από διαφορετικές εταιρείες, προκαλώντας προβλήματα διαλειτουργικότητας. Για τη δημιουργία ενός προτύπου για συστήματα LMDS, το IEEE σχημάτισε την Ομάδα Εργασίας 16 η οποία σε τη σειρά της ανέπτυξε το πρότυπο IEEE 802.16 το 2002.

Το αρχικό πρότυπο IEEE 802.16 παρέχει συνδεσιμότητα για συνδρομητές LOS στην τοπολογία PMP. Το στρώμα PHY λειτουργεί στη ζώνη συχνοτήτων 10–66 GHz. Τα προβλήματα της LOS συνδεσιμότητας σε αστικές ρυθμίσεις ανάγκασαν το πρότυπο να αναπτύξει άλλο PHY επίπεδο για NLOS επικοινωνίες. Αυτό το νέο PHY επίπεδο, που αναπτύχθηκε ως μέρος της IEEE 802.16a, εισήχθη το 2003. Εκτός από το νέο PHY επίπεδο, το IEEE 802.16a εισήγαγε επίσης την υποστήριξη λειτουργίας Mesh τοπολογίας (Εικόνα 59). Δεδομένου ότι σημαντική διάδοση πολλαπλής διαδρομής απαιτείται για NLOS επικοινωνία και στη 10–66 GHz μπάντα υπάρχει μικρή διάδοση πολλαπλής διαδρομής, μία κατώτερη ζώνη συχνοτήτων, 2-11 GHz, επιλέγεται για NLOS λειτουργία. Έτσι, το IEEE 802.16a χρησιμοποιεί αδειοδοτούμενες και μη-αδειοδοτούμενες συχνότητες στη 2–11 GHz μπάντα. Μετά από κάποιες τροποποιήσεις (κυρίως υπό το όνομα IEEE 802.16d) τόσο για το πρότυπο όσο και για το PHY επίπεδο, το IEEE 802.16-2004, εισήχθη το 2004. Ένα πρόσφατα ολοκληρωμένο πρότυπο, το IEEE 802.16e, προσθέτει υποστήριξη κινητικότητας στην οικογένεια. Η τρέχουσα έκδοση του προτύπου (IEEE 802.16-2005) περιλαμβάνει τόσο LOS όσο και NLOS επικοινωνία στα 10–66 GHz και στα –11 GHz, αντίστοιχα. Έχει επίσης την υποστήριξη κινητικότητας για συχνότητες μεταξύ 2 και 6 GHz.

Ως connection-oriented πρωτόκολλο, όλες οι μεταδόσεις σε ένα IEEE 802.16 δίκτυο συνδέονται με συνδέσεις. Οι συνδέσεις είναι μιας κατεύθυνσης και μπορούν να είναι unicast, multicast, ή broadcast.

## 6.2 Δίκτυα-Mesh / Τοπολογία δικτύου

Στη βασική ρύθμιση ενός WMAN, υπάρχουν δύο τύποι συσκευών στο δίκτυο: ο BS και οι συνδρομητές. Αυτό το είδος σύνδεσης αντιπροσωπεύει ένα Point-to-Multipoint (PMP) δίκτυο όπως φαίνεται στην Εικόνα 60. Οι συνδρομητές μπορούν να είναι είτε κτίρια (για σταθερή πρόσβαση), ή πεζοί και οχημάτα (για κινητή πρόσβαση). Στην ύπαιθρο, κάθε συνδρομητής συνήθως έχει LOS (Line of Sight) σύνδεση με τον BS. Ωστόσο, στις αστικές περιοχές οι συνδρομητές συνδέονται με τον BS κατά NLOS τρόπο. Δεδομένου ότι τα σήματα υψηλής συχνότητας έχουν LOS σύνδεση για αποδεκτή απόδοση υπηρεσιών, τα WMANs δεν λειτουργούν καλά σε πολύ υψηλές συχνότητες για αστικές ρυθμίσεις. Γενικώς, η μετάδοση ενός συνδρομητή συνίσταται στο σύνολο των μεταδόσεων των τοπικών χρηστών. Έτσι, οι WMANs ενσωματώνουν παρόμοιους τύπους μεταδόσεων (π.χ.

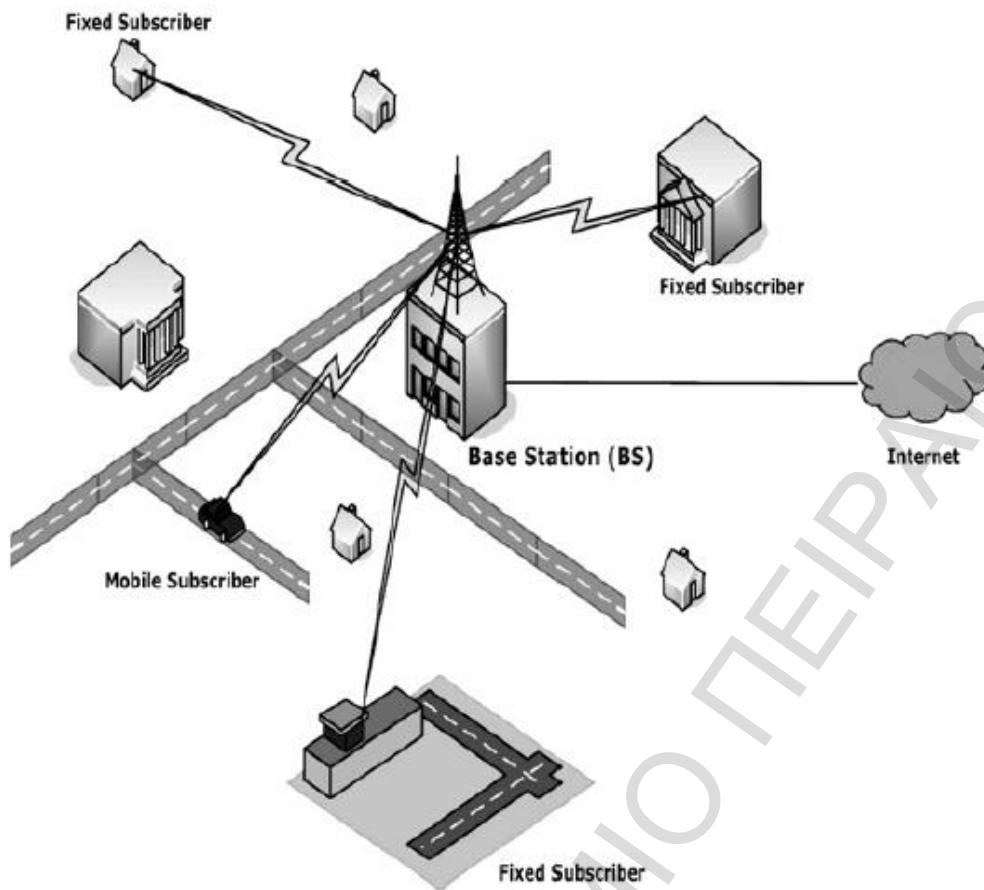


---

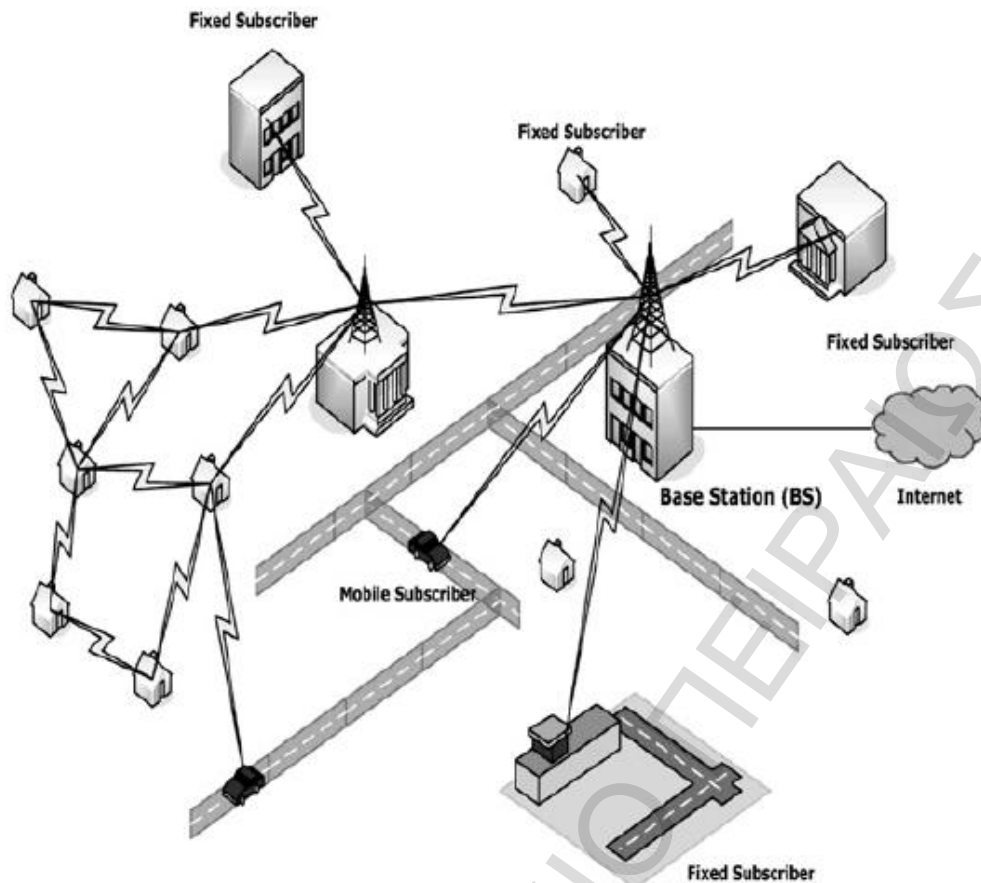
μεταδόσεις με παρόμοιους περιορισμούς QoS) που προέρχονται από διαφορετικούς χρήστες στο LAN σε μία μόνο σύνδεση.

Εκτός από την βασική ρύθμιση PMP, ορισμένα WMAN πρότυπα υποστηρίζουν συνδεσιμότητα mesh. Η mesh συνδεσιμότητα παρέχει μια πιο ισχυρή ευρυζωνική τοπολογία πρόσβασης, εξαλείφοντας το μοναδικό σημείο προβλήματος αποτυχίας, και επιτρέπει την άμεση επικοινωνία μεταξύ συνδρομητών. Οι συνδρομητές μπορούν να αναμεταδώσουν τις μεταδόσεις τους μέσω άλλων συνδρομητών σε δίκτυα mesh αν δεν μπορούν να καταλήξουν άμεσα ένα BS. Η συνδεσιμότητα mesh είναι γενικά καλύτερη επιλογή συνδεσιμότητας για mobile χρήστες σε σύγκριση με τη συνδεσιμότητα PMP.

Οι εταιρείες που αναπτύσσουν προϊόντα για WMAN δίκτυα έχουν δημιουργήσει ένα φόρουμ που ονομάζεται Worldwide Interoperability for Microwave Access (WiMAX). Παρόμοια με τη WiFi alliance, το WiMAX Forum έχει ως στόχο την αντιμετώπιση των προβλημάτων διαλειτουργικότητας μεταξύ συσκευές από διαφορετικές εταιρείες. Εκτός από το IEEE 802.16, το WiMAX Forum υποστηρίζει επίσης το ETSI HiperMAN πρότυπο. Η τρέχουσα εστίαση του φόρουμ είναι στη NLOS επικοινωνία αντί για τα προγενέστερα συστήματα LOS επικοινωνίας.



Εικόνα 61: WMAN διαμόρφωση point-to-multipoint



Εικόνα 62: WMAN διαμόρφωση mesh

### 6.3 IEEE 802.16 PHY

Αρχικά, το IEEE 802.16 υποστήριζε ένα ενιαίο PHY επίπεδο, Single Carrier PHY (WirelessMAN-SC PHY). Αργότερα, αναπτύχθηκαν τρία επιπλέον επίπεδα PHY για NLOS μεταδόσεις στην αναθεώρηση του 2004, ένα που βασίζεται σε τεχνολογία ενιαίου φορέα και δύο επιπλέον PHYs με βάση την τεχνολογία OFDM (Πίνακας 8). Το εύρος ζώνης καναλιού μπορεί να είναι 20, 25, κα 28 MHz για WirelessMAN SC.

| Specification     | Frequency band | Optional mechanisms | Description  | Duplexing |
|-------------------|----------------|---------------------|--|-----------|
| WirelessMAN-SC    | 10–66 GHz      |                     | Main PHY specification of IEEE 802.16                          | TDD, FDD  |
| WirelessMAN-SCa   | <11 GHz        | AAS, ARQ            | Single carrier specification for NLOS transmission             | TDD, FDD  |
| WirelessMAN-OFDM  | <11 GHz        | AAS, ARQ, Mesh      | OFDM support for NLOS transmission, also used in Mesh topology | TDD, FDD  |
| WirelessMAN-OFDMA | <11 GHz        | AAS, ARQ            | OFDM support for NLOS transmissions                            | TDD, FDD  |
| WirelessHUMAN     | <11 GHz        | AAS, ARQ, Mesh, DFS | Main PHY specification for mesh topology                       | TDD       |

### Πίνακας 9: Προδιαγραφές IEEE 802.16 PHY επιπέδου

Δεν υπάρχουν σταθερές παγκόσμιες τιμές εύρους ζώνης καναλιού για NLOS PHYs, αλλά οι διαθέσιμες μπάντες καναλιών βασίζονται στην ζώνη συχνοτήτων που χρησιμοποιείται.

Στην LOS επικοινωνία, η συνολική ταχύτητα μετάδοσης δεδομένων του δικτύου είναι 36–135 Mbps με βάση την διαμόρφωση και το εύρος ζώνης καναλιού που χρησιμοποιείται. Ωστόσο, το IEEE 802.16 παρέχει μέχρι και 75 Mbps συνολικής ταχύτητας δεδομένων σε επικοινωνία NLOS. Σύμφωνα με μια ανάλυση απόδοσης όσον αφορά το πραγματικό εύρος ζώνης της NLOS επικοινωνίας, το IEEE 802.16 υποστηρίζει 10 Mbps για ένα 5MHz εύρους κανάλι και 4,8–18,2 Mbps για ένα 6MHz εύρους κανάλι.

Για την εξασφάλιση της διαλειτουργικότητας μεταξύ WiMAX συσκευών που παράγονται από διαφορετικούς προμηθευτές, το WiMAX Forum όρισε ένα προφίλ για IEEE 802.16 συσκευές. Δύο διαφορετικές ζώνες συχνοτήτων χρησιμοποιούνται σε αυτό το προφίλ: 3,5 GHz και 5,8 GHz. Το εύρος καναλιού ορίζεται για αυτές τις ζώνες συχνοτήτων 3,5 ή 7 MHz στα 3,5 GHz και 10 MHz στα 5,8 GHz. Μεταξύ των διαθέσιμων PHY επιπέδων, το προφίλ χρησιμοποιεί WirelessMAN-OFDM με 256 φορές είτε με Time Division Duplexing (TDD) είτε με Frequency Division Duplexing (FDD).

Το IEEE 802.16 υποστηρίζει τόσο το TDD όσο και το FDD σε ξεχωριστή downlink και uplink επικοινωνίας. Ενώ τα BSs υποστηρίζουν full-duplex FDD, τα SSs μπορούν να υποστηρίξουν μόνο half-duplex FDD για την ελαχιστοποίηση του κόστους σχεδιασμού. Μία συνεχής μετάδοση ενός δικτύου IEEE 802.16 χωρίζεται σε σταθερού μήκους τμήματα που ονομάζονται frames. Σε TDD λειτουργία, το frame αποτελείται από downlink και uplink subframes. Σε λειτουργία FDD, τα downlink και uplink subframes χρησιμοποιούν διαφορετικά κανάλια.

---

Το IEEE 802.16 περιλαμβάνει αρκετά συστήματα διαμόρφωσης και Forward Error Correction (FEC) μηχανισμό για την αντιμετώπιση της διακύμανσης στην ποιότητα ραδιοζεύξης που οφείλεται σε καιρικές συνθήκες, έδαφος, κλπ. Οι τεχνικές διαμόρφωσης που επιτρέπονται στο πρότυπο ποικίλλουν ανάλογα με το PHY επίπεδο που χρησιμοποιείται. Ενώ το Quadrature Phase Shift Keying (QPSK), 16-state QAM και 64-state QAM υποστηρίζεται σε όλα τα PHY επίπεδα, ένα πιο ισχυρό σύστημα διαμόρφωσης, Binary Phase Shift Keying (BPSK), και ένα λιγότερο ισχυρό σύστημα, 256-state QAM, υποστηρίζονται επίσης στο WirelessMAN-SCa PHY επίπεδο. Οι FEC τιμές 1/2 και 3/4 μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη διόρθωση σφάλματος. Μαζί αυτές οι αξίες αποτελούν ένα προφίλ σχάσης και κάθε σύνδεση (είτε uplink είτε downlink) περιγράφεται με ένα προφίλ σχάσης. Τα διαθέσιμα προφίλ σχάσης στο δίκτυο περιγράφονται με τον Uplink Interval Usage Code (UIUC) για uplink και Downlink Interval Usage Code (DIUC) για downlink συνδέσεις. Η χαρτογράφηση των συνδέσεων σε αυτούς τους κωδικούς μεταδίδονται σε Downlink Channel Description (DCD) και Uplink Channel Description (UCD) μηνύματα σε κάθε frame. Σε ένα ενιαίο frame, ο SS μπορεί να έχει πολλαπλές συνδέσεις με διαφορετικά προφίλ σχάσης.

Οι συνδέσεις σχετίζονται με τα προφίλ σχάσης κατά τη δημιουργία της σύνδεσης. Όταν η κατάσταση σύνδεσης αλλάζει ένα updated μήνυμα DCD ή UCD αποστέλλεται από το BS στο επόμενο frame με νέα προφίλ σχάσης για τις συνδέσεις. Όταν επιδεινώνεται η κατάσταση σύνδεσης, η σύνδεση αλλάζει σε ένα πιο ισχυρό προφίλ σχάσης. Από την άλλη πλευρά, εάν η ποιότητα σύνδεσης βελτιώνεται, η σύνδεση μπορεί να αλλάξει σε ένα λιγότερο ισχυρό προφίλ για μεγαλύτερο εύρος ζώνης. Μεταδόσεις μεταξύ BS και SSs σε ένα ενιαίο frame ξεκινούν από τη σύνδεση με το πιο ισχυρή προφίλ σχάσης και συνεχίζουν με φθίνουσας ισχύος προφίλ σχάσης.

Broadcast και multicast συνδέσεις στο uplink είναι ουσιαστικά περίοδοι contention που χρησιμοποιούνται είτε για αιτήματα εύρους ζώνης είτε για σκοπούς αρχικού ranging. Κάθε contenting SS επιλέγει τυχαία μια ευκαιρία μετάδοσης από τις διαθέσιμες ευκαιρίες μετάδοσης που διατίθενται για τη σύνδεση στο uplink, και στέλνει το μήνυμα ή αίτημά του κατά τη διάρκεια της επιλεγμένης ευκαιρίας μετάδοσης. Εάν περισσότεροι από ένας SS επιλέξουν την ίδια δυνατότητα μετάδοσης, συμβαίνει σύγκρουση και αυτά τα SSs αναμεταδίδουν τα αιτήματά τους στο επόμενο frame, μέχρις ότου η μετάδοση είναι επιτυχής ή λήξει το χρονόμετρο.

Το IEEE 802.16 υποστηρίζει προαιρετικά Adaptive Antenna Systems (AASs). Χρησιμοποιώντας πολλαπλές κεραίες, ο BS μπορεί να αυξήσει το εύρος και την ποιότητα του σήματος. Είτε υπάρχουν non-AAS SSs στο δίκτυο είτε όχι, οι AAS BSs έχουν τη δυνατότητα να υποστηρίξουν non-AAS SSs. Όταν υπάρχουν τόσο AAS όσο και non-AAS SSs στο δίκτυο, τα downlink και uplink μέρη χωρίζονται

---

σε δύο μέρη για τους δύο τύπους των SSs. Το IEEE 802.16 χρησιμοποιεί επίσης ένα μηχανισμό DFS παρόμοιο με εκείνο που χρησιμοποιείται στο HIPERLAN. Σε περίπτωση σύγκρουση με ένα άλλο δίκτυο IEEE 802.16 ο BS εκκινεί ένα μηχανισμό αλλαγής συχνότητας. Τα BS και SSs ανιχνεύουν ενεργά τον αέρα για άλλες μεταδόσεις δεδομένων και διαθέσιμες συχνότητες.

#### 6.4 IEEE 802.16 MAC Επίπεδο

Το IEEE 802.16 MAC υλοποιεί μηχανισμούς, όπως κατανομή εύρους ζώνης, ARQ, κλπ. Επίσης χαρτογραφεί frames σε συνδέσεις. Το επίπεδο MAC του WiMAX έχει σχεδιαστεί λαμβάνοντας υπόψη την κατάσταση σύνδεσης του PHY επιπέδου. Έτσι, το MAC επίπεδο μπορεί να αλλάξει προφίλ σχάσης μιας σύνδεσης ως απάντηση σε δυναμικές μεταβολές σύνδεσης. Υπάρχουν τρία υποεπίπεδα στο IEEE 802.16 MAC επίπεδο:

- Convergence Sublayer (Υπόστρωμα σύγκλισης) (CS),
- Common Part Sublayer (CPS), και
- Security Sublayer

Στο CS, αποκτώνται τμήματα του επιπέδου δικτύου από την CS Service Access Point (SAP) και μετατρέπονται σε MAC Segment Data Units (SDUs). Αυτό το υποεπίπεδο επίσης χαρτογραφεί υψηλού επιπέδου παραμέτρους μετάδοσης σε IEEE 802.16 υπηρεσία ροής και ζεύγη σύνδεσης, και χρησιμοποιεί μηχανισμούς όπως Payload Header Suppression (PHS). Διαφορετικά υψηλού επιπέδου πρωτόκολλα εφαρμόζονται σε διαφορετικά CSs. Επί του παρόντος υπάρχουν δύο: ATM CS για δίκτυα ATM και Packet CS για Ethernet, PPP, και TCP / IP.

Το δεύτερο υπόστρωμα, το CPS, φέρνει MAC SDUs από το CS υποεπίπεδο μέσω MAC SAP και τα μετατρέπει σε MAC PDUs. Αυτό το υποεπίπεδο είναι υπεύθυνο για την πρόσβαση στο σύστημα, κατανομή εύρους ζώνης, μηχανισμούς σχετικούς με τη σύνδεση και packing πολλαπλών MAC SDUs σε MAC PDUs. Στην περίπτωση μεγάλων MAC SDUs, το CPS διασπά επίσης τα MAC SDUs σε πολλαπλά MAC Packet Data Units (PDUs). Με τη βοήθεια των PHS, packing, και μηχανισμών fragmentation, το πρότυπο προσπαθεί να εξαλείψει το waste εύρος ζώνης που οφείλεται σε επαναλαμβανόμενες πληροφορίες από τα υψηλότερα επίπεδα. Ωστόσο, με το μηχανισμό PHS, το IEEE 802.16 αποκλίνει από το μοντέλο OSI στο οποίο οι layer headers θεωρούνται μέρος των δεδομένων. Συνεπώς, τα επίπεδα δεν είναι πάντα διαφανή μεταξύ τους σε δίκτυα IEEE 802.16.

---

Το τελευταίο υποεπίπεδο, το Security Sublayer , παρέχει ασφάλεια και κρυπτογράφηση κατά τη μετάδοση. Η ασφάλεια διατηρείται με την κρυπτογράφηση των πακέτων δεδομένων, ασφαλές κλειδί κατανομής μέσω της Privacy Key Management (PKM), την έγκριση για PKM, και αναγνώριση των κόμβων μέσω X.509 προφίλ. Διάφοροι μηχανισμοί ασφάλειας είναι διαθέσιμοι για χρήση σε Security Associations (SAs). Το BS εκχωρεί SA Identifiers (SAIDs) στις SAs. Σε κάθε σύνδεση μπορεί να εκχωρηθεί ένα διαφορετικό SAID, και σε ένα SAID μπορεί να αντιστοιχήσει ένας αριθμός συνδέσεων. Ορίζονται δύο τύποι της SAs:

- Data SAs και
- Authorization SAs .

Το πρότυπο ορίζει μια προαιρετική χρήση για ARQ που μπορεί να εφαρμοστεί μόνο σε NLOS PHY interfaces. Στη δημιουργία σύνδεσης, οι κόμβοι αποφασίζουν αν πρέπει να χρησιμοποιηθεί ARQ ή όχι. Μόλις επιλεγεί ARQ για μια σύνδεση, δεν μπορεί να αλλάξει κατά τη διάρκεια ζωής αυτής της σύνδεσης. Τα ARQ feedback μηνύματα μπορούν είτε να αποστέλλονται μέσω διαχείριση συνδέσεων είτε να riggybacked σε άλλες συνδέσεις. Το ARQ μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί με το packing, fragmentation και PHS μηχανισμούς.



---

## Κεφάλαιο 7. Mobile Sensor API (JSR 256 for Java Platform, Micro Edition)

### 7.1 Εισαγωγή

Το Mobile Sensor API (JSR 256 για Java Platform, Micro Edition) επιτρέπει σε Java MIDlets να μιλούν με φυσικούς και εικονικούς αισθητήρες διαθέσιμους πάνω σε μια συσκευή.

Το Mobile Sensor API (JSR 256 για Java Platform, Micro Edition [Java ME]) παρέχει τη δυνατότητα για Java MIDlets να μιλούν με τους φυσικούς και εικονικούς αισθητήρες που είναι διαθέσιμοι πάνω στη συσκευή. Αυτό είναι ένα ιδιαίτερα χρήσιμο API, διότι παρέχει στο MIDlet τα μέσα για τη μέτρηση της υγείας, όχι μόνο της συσκευής, αλλά επίσης και του εξωτερικού φυσικού περιβάλλοντος, γεγονός που κάνει δυνατές μερικές πολύ ενδιαφέρουσες εφαρμογές. Φυσικά, όπως και με όλα τα APIs, η εφαρμογή αυτού του API από τον κατασκευαστή της συσκευής προσδιορίζει τους πραγματικούς αισθητήρες που είναι διαθέσιμοι.

Σε αυτό το κεφάλαιο, γίνεται μια εισαγωγή σε αυτό το API και δίδεται κάποιος απλός κώδικας για τον προσδιορισμό των διαθέσιμων αισθητήρων πάνω σε μια συσκευή. Στη συνέχεια δίδεται ένα MIDlet παράδειγμα για τον υπολογισμό της τρέχουσας κλίσης μιας συσκευής χρησιμοποιώντας επιταχυνσιόμετρο. Ο προσανατολισμός κλίσης (axisX, axisY, και axisZ) βοηθά τις Java συσκευές να καταλάβουν με ποιο τρόπο ένας χρήστης κρατά τη συσκευή, προκειμένου να χειριστούν το user interface αναλόγως.

Τα MIDlets είναι τα πιο σημαντικά δομικά στοιχεία (building blocks) της Java Platform, Micro Edition (Java ME) runtime environment.

Το Mobile Information Device Profile (MIDP) είναι ένα σύνολο από Java APIs που απευθύνονται σε κινητές συσκευές πληροφορίας, όπως τα κινητά τηλέφωνα και οι entry-level palmtop συσκευές (παλάμης). Ένα MIDlet είναι μια εφαρμογή MIDP.

---

Το Mobile Sensor API γεννήθηκε από το JSR 256. Το API παρέχει τρόπους λήψης και παρακολούθησης δεδομένων από φυσικούς και εικονικούς αισθητήρες ομοιόμορφα. Το απλούστερο παράδειγμα ενός αισθητήρα είναι ένα monitor μπαταρίας, το οποίο λέει στο MIDlet το επίπεδο φόρτισης μπαταρίας. Χρησιμοποιώντας το API, λαμβάνονται ενημερωμένες αποφάσεις μέσα στο MIDlet για το τί λέει ο αισθητήρας μπαταρίας, αν πρώτα δημιουργηθεί μια σύνδεση με τον αισθητήρα και στη συνέχεια εγγραφεί για να ακούγονται τα γεγονότα που προέρχονται από αυτόν τον αισθητήρα.

Ένας αισθητήρας μπορεί να ή να μην επιτρέπει στο χρήστη να ελέγχει τον αισθητήρα μέσω programmatic interface. Για παράδειγμα, εάν ένας φυσικός αισθητήρας συνδεδεμένος σε μια συσκευή επιτρέπει στο χρήστη να μετρά την τρέχουσα θερμοκρασία, θα μπορούσε επίσης να παρέχει ελέγχους για να ξεκινά, να σταματά ή να βαθμονομεί φυσικά το θερμόμετρο. Για το σκοπό αυτό, το Mobile Sensor API χωρίζεται σε δύο τμήματα:

- Το τμήμα αισθητήρα, που καλύπτεται από το πακέτο [javax.microedition.sensor](#)
- Το τμήμα ελέγχου, που καλύπτεται από το πακέτο [javax.microedition.sensor.control](#)

Το τμήμα αισθητήρα είναι αποκλειστικά υπεύθυνο για τη λήψη πληροφοριών από τον αισθητήρα (φυσικό ή εικονικό). Το τμήμα ελέγχου παρέχει τα interfaces για τους ελέγχους.

## 7.2 Καθορισμός Αισθητήρων

Οι αισθητήρες καθορίζονται από δύο παραμέτρους:

- Τη ποσότητα (Quantity)
- Και το γενικό πλαίσιο (Context)

Η ποσότητα είναι το αντικείμενο της μέτρησης μας, για παράδειγμα η μέτρηση της φόρτισης μιας μπαταρίας. Το γενικό πλαίσιο είναι το σημείο όπου λαμβάνει χώρα η μέτρηση ή η παρακολούθηση της ποσότητας, για παράδειγμα ένα κινητό τηλέφωνο. Με λίγα λόγια η ποσότητα μας δείχνει το «τι» μετράμε και το γενικό πλαίσιο το «που» γίνεται η μέτρηση αυτή.

---

Υπάρχουν τέσσερα είδη γενικών πλαισίων:

- Περιβάλλοντος
- Χρήστη
- Συσκευής
- Οχήματος

Όπως καταλαβαίνουμε μπορεί να υπάρξουν εκατοντάδες τύποι ποσοτήτων, πολλοί από αυτούς είναι τυποποιημένοι από το API και βρίσκονται στο πακέτο [javax.microedition.sensor.SensorInfo](#).

Το API καθορίζει ότι οι πληροφορίες σχετικά με τους αισθητήρες θα βρίσκονται στην διεπαφή [SensorInfo](#). Η διεπαφή αυτή παρέχει όλες τις πληροφορίες σχετικά με τον αισθητήρα, όπως: Την ποσότητα την οποία μετράει, τον τύπο του γενικού πλαισίου, τον τύπο της σύνδεσης με τον αισθητήρα (ενσωματωμένος, με καλώδιο ή μέσω ασύρματης σύνδεσης), το Url του αισθητήρα, το μοντέλο του αισθητήρα και την περιγραφή του. Όλες οι πληροφορίες αυτές είναι υποχρεωτικό να υπάρχουν και δεν μπορεί τα πεδία τους να είναι κενά. Εκτός από αυτές τις πληροφορίες, το API παρέχει κι άλλες οι οποίες είναι προαιρετικές

Τέλος, υπάρχει η διεπαφή [SensorConnection](#) η οποία μας δίνει τη δυνατότητα να συνδεθούμε με τον αισθητήρα και να συλλέξουμε δεδομένα από αυτόν. Η σύνδεση μπορεί να είναι είτε σύγχρονη είτε ασύγχρονη. Στην περίπτωση της ασύγχρονης σύνδεσης χρειάζεται να ενσωματώσουμε την διεπαφή [DataListener](#) στην κλάση που κάνει την λήψη των δεδομένων. Στην διεπαφή αυτή υπάρχουν δύο μέθοδοι [getData](#) οι οποίοι παρέχουν τον μηχανισμό για να συλλέξουμε τα δεδομένα από τον αισθητήρα.

### 7.3 Εύρεση των αισθητήρων

Για να βρούμε και να δουλέψουμε με τους αισθητήρες, το API παρέχει την κλάση [SensorManager](#) η οποία έχει δύο μεθόδους για την εύρεση των αισθητήρων μέσα σε μια συσκευή:

- 
- `findSensors (String quantity, String contextType)` μας επιστρέφει μια λίστα με αντικείμενα από την διεπαφή `SensorInfo` που ταιριάζουν στους δοθέντες τύπους ποσότητας και γενικού πλαισίου
  - `findSensors (String url)` απαιτεί να γνωρίζουμε το url ενός υπάρχοντος αισθητήρα. Το Url ενός αισθητήρα είναι παρόμοιο με ένα HTTP Url, αν αντικαταστήσουμε το “http” με το “sensor”. Για παράδειγμα:  
`sensor:battery_charge;context_type=device` (ένα έγκυρο url)

Η μέθοδος αυτή επιστρέφει μια λίστα με πιθανά αντικείμενα από την διεπαφή `SensorInfo`.

## 7.4 Εύρεση όλων των αισθητήρων σε μια συσκευή

Για να βρούμε όλους τους αισθητήρες που είναι διαθέσιμοι σε μια συσκευή χρειάζεται να καλέσουμε τη μέθοδο `findSensors(String quantity, String contextType)` με μηδενικές τιμές και στις δύο παραμέτρους. Αυτό θα μας επιστρέψει όλους τους διαθέσιμους αισθητήρες. Το ακόλουθο κομμάτι κώδικα δείχνει ένα `MIDlet` που επιστρέφει τους διαθέσιμους αισθητήρες σε μια συσκευή:

```
public class MobileSensorFinder extends MIDlet implements CommandListener {  
  
    // η αρχική απεικόνιση  
    Display display;  
  
    // η οθόνη πάνω στην οποία θα δείξουμε τις πληροφορίες από τον αισθητήρα  
    Canvas canvas;  
  
    // η εντολή  
    Command exitCommand;  
  
    public MobileSensorFinder() {  
  
        display = Display.getDisplay(this);  
    }  
  
    public void startApp() {  
  
        // πρώτα βρίσκουμε την έκδοση του αισθητήρα που υποστηρίζεται από την συσκευή  
        // αν δεν μπορούμε να βρούμε αυτή την πληροφορία πιθανότατα ο αισθητήρας δεν  
        // υποστηρίζεται  
        String version = System.getProperty("microedition.sensor.version");  
        if(version != null) {
```

---

```

// δημιουργία του αισθητήρα
canvas = new SensorCanvas();

exitCommand = new Command("Exit", Command.EXIT, 1);

canvas.addCommand(exitCommand);
canvas.setCommandListener(this);

display.setCurrent(canvas);
} else {
    Alert alert =
        new Alert("Error",
            "No version info found. Sensors are probably not supported!",
            null, AlertType.ERROR);
    display.setCurrent(alert);
}
}

public void pauseApp() {
}

public void destroyApp(boolean unconditional) {
}

public void commandAction(Command c, Displayable d) {
    if (c == exitCommand) {
        destroyApp(true);
        notifyDestroyed();
        return;
    }
}
}

class SensorCanvas extends Canvas {

    // η παράταξη των αντικειμένων του SensorInfo
    SensorInfo foundSensors[] = null;

    public SensorCanvas() {
        searchSensors();
    }

    protected void paint(Graphics g) {

        // καθαρισμός οθόνης
        g.setGrayScale(255);
        g.fillRect(0, 0, getWidth(), getHeight());

        g.setColor(0x000000);

        g.drawString("Sensor Version: " +
            System.getProperty("microedition.sensor.version"), 0, 0, 0);

        if (foundSensors == null || foundSensors.length == 0) {
            g.drawString("No Sensors found", 0, 2, 0);
        } else {
            int noOfSensors = foundSensors.length;
            int ydraw = 15;
            for (int i = 0; i < noOfSensors; i++) {

```

---

```

        g.drawString(
            "Sensor [" + (i + 1) + "]:\r\n " +
            foundSensors[i].getDescription(), 0, ydraw , 0);
        ydraw = ydraw + 30;
    }
}

private void searchSensors() {
    foundSensors = SensorManager.findSensors(null, null);
}
}

```

Η διεπαφή `SensorCanvas` ψάχνει για τους αισθητήρες στην μέθοδο `searchSensors` και χρησιμοποιεί την μέθοδο `paint` για να σχηματίσει τις πληροφορίες σχετικά με τους αισθητήρες στην οθόνη. Πριν δημιουργήσει την διεπαφή `SensorCanvas`, το `MIDlet` ελέγχει το `microedition.sensor.version` για να δει αν η συγκεκριμένη συσκευή υποστηρίζει το `Mobile Sensor API`. Αν η τιμή που θα πάρει ως αποτέλεσμα είναι μηδενική τότε το `MIDlet` δεν συνεχίζει.

## 7.5 Χειρισμός των πληροφοριών του αισθητήρα

Όπως είπαμε και σε προηγούμενη παράγραφο, όταν βρούμε έναν αισθητήρα από τον οποίο θέλουμε να συλλέξουμε δεδομένα, χρησιμοποιούμε το `SensorInfo` σε αυτόν τον αισθητήρα και μετά την διεπαφή `SensorConnection` για να συλλέξουμε τα δεδομένα.

Τα δεδομένα ενθυλακώνονται στην διεπαφή `Data`. Επειδή τα δεδομένα που στέλνει ο αισθητήρες μπορεί να μην είναι ένα απλό αποτέλεσμα μέτρησης, έρχονται σε κανάλια. Για παράδειγμα, μπορεί να το αποτέλεσμα ενός αισθητήρα που μετράει θερμοκρασία να είναι ένα απλά νούμερο, αλλά το αποτέλεσμα ενός αισθητήρα κίνησης θα έχει τουλάχιστον τρία κανάλια (τους άξονες X, Y και Z) που μαζί συγκροτούν την πλήρη πληροφορία που στέλνει ο αισθητήρας. Έτσι, η πληροφορία που ανακτάται είναι μία παράταξη από αντικείμενα της διεπαφής `Data`, κάθε ένα στο δικό του κανάλι. Η διεπαφή `ChannellInfo` παρέχει μέθοδος για να κάνουμε αναζήτηση πληροφοριών σχετικά με το κανάλι όπως το όνομα, ο τύπος δεδομένων, η ακρίβεια κ.α.

Η διεπαφή `Data` παρέχει τρεις μεθόδους ανάκτησης των τιμών των δεδομένων:

- 
- `getIntValues`
  - `getDoubleValues`
  - `getObjectValues`

Χρησιμοποιώντας τις πληροφορίες που έχουμε μέχρι στιγμής, είναι εύκολο να δημιουργήσουμε ένα απλό MIDlet που να μας δείχνει την κλίση μιας συσκευής καθώς αυτή κινείται. Το ακόλουθο κομμάτι κώδικα μας δείχνει την κλάση `TiltCanvas` που αιχμαλωτίζει και μας απεικονίζει την πληροφορία.

```
class TiltCanvas extends Canvas implements DataListener {

    // ο αισθητήρας
    SensorInfo tiltSensor = null;

    // η σύνδεση σε αυτόν
    SensorConnection connection = null;

    // οι τρεις συντεταγμένες
    double axisX, axisY, axisZ;

    public TiltCanvas() {

        // βρίσκουμε τον συγκεκριμένο αισθητήρα
        SensorInfo sensors[] =
            SensorManager.findSensors(
                "acceleration", SensorInfo.CONTEXT_TYPE_DEVICE);

        if (sensors == null || sensors.length == 0) {
            System.err.println("Nothing found!");
        } else if (sensors.length > 1) {
            System.err.println("Too many sensors found!");
        } else {
            tiltSensor = sensors[0];
            try {
                connection = (SensorConnection) Connector.open(tiltSensor.getUrl());
                connection.setDataListener(this, 10);
            } catch (IOException ex) {
                ex.printStackTrace();
            }
        }
    }

    protected void paint(Graphics g) {

        // καθαρισμός της οθόνης
        g.setGrayScale(255);
        g.fillRect(0, 0, getWidth(), getHeight());

        g.setColor(0x000000);
    }
}
```



```

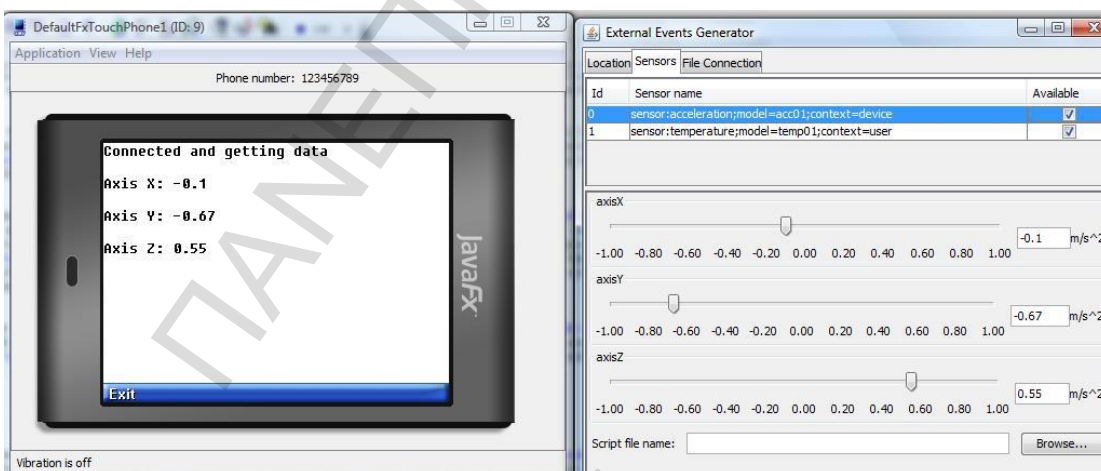
if (tiltSensor == null) { // ο αισθητήρας δεν βρέθηκε
    g.drawString("No valid Tilt Sensor found!", 0, 0, 0);
    return;
} else if (connection == null) { // ο αισθητήρας βρέθηκε αλλά δεν συνδέθηκε
    g.drawString("Can't connect to the Sensor!", 0, 0, 0);
    return;
} else { // ο αισθητήρας βρέθηκε και συνδέθηκε
    g.drawString("Connected and getting data", 0, 0, 0);
    g.drawString("Axis X: " + axisX, 0, 30, 0);
    g.drawString("Axis Y: " + axisY, 0, 60, 0);
    g.drawString("Axis Z: " + axisZ, 0, 90, 0);

}
}

public void dataReceived(SensorConnection conn, Data[] data, boolean lost) {
    axisX = data[0].getDoubleValues()[0];
    axisY = data[1].getDoubleValues()[0];
    axisZ = data[2].getDoubleValues()[0];
    repaint();
}
}

```

Όπως βλέπουμε, η κλάση `tiltCanvas` πρέπει να ψάξει για τον αισθητήρα κίνησης χρησιμοποιώντας την λέξη κλειδί `acceleration` για την ποσότητα και το `SensorInfo.CONTEXT_TYPE_DEVICE` για τον τύπο του γενικού πλαισίου. Αυτός είναι ο μόνος συνδυασμός που λειτουργεί με την Java ME SDK 3.0, και αν χρειαστεί να τρέξουμε το MIDlet αυτό σε άλλη συσκευή ή εξομοιωτή, θα πρέπει να βρούμε τις σωστές τιμές. Η κλάση εκτελεί την μέθοδο `dataReceiver` για να αιχμαλωτίσει δεδομένα που στέλνονται από τον αισθητήρα επιτάχυνσης.



**Εικόνα 63:** Το MIDlet τρέχει στον εξομοιωτή

---

## 7.6 Συμπεράσματα

Στο κεφάλαιο αυτό είδαμε την εφαρμογή Mobile Sensor API, που μας δίνει τη δυνατότητα να βρίσκουμε τους αισθητήρες που υπάρχουν σε μια συσκευή, να επικοινωνούμε μαζί τους και να επικοινωνούμε μαζί τους. Μελετήσαμε τις λεπτομέρειες του API και των διεπαφών του και μάθαμε πώς να χειριζόμαστε τα δεδομένα που παίρνουμε από έναν αισθητήρα, μέσα από ένα παράδειγμα που μας δείχνει την κλίση μιας συσκευής παίρνοντας δεδομένα από έναν αισθητήρα επιτάχυνσης.

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΙΡΑΙΩΣ

---

## BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Lewis, F. (2004) Wireless Sensor Networks. New York

Culler, D. Estrin, D. Srivastava, M. (2004) Overview of Sensor Networks. IEEE

Kwon, H. et al. (2005) Interfacing Java-DSP with Sensor Motes. IEEE

Sinem, C. (2004) ZigBee/IEEE 802.15.4 Summary

Craig, W. Zigbee: "Wireless Control that simply works". ZMD America, Inc.

Salem, M.B. Hamam, H. A graphical user interface simulator for WSN lifetime estimation

Brenner, P. (1997) A Technical Tutorial on the IEEE 802.11 Protocol

Mark, J. Hufnagel, P. The IEEE 1451.4 Standard for Smart Transducers. IEEE

IEEE 802.15.4 MAC. Available from: <http://www.radio-electronics.com/info/wireless/ieee-802-15-4/mac-protocol.php>

Goyal, V. (2010) Working with the Mobile Sensor API. ORACLE. Available from: <http://www.oracle.com>

Ghosh, S. (2002) The MIDlets class. IBM. Available from: <http://www.ibm.com/developerworks/library/wi-midlet2/>

Microsoft. Wireless networking overview. Available from: [http://www.microsoft.com/resources/documentation/windows/xp/all/proddocs/en-us/wireless\\_networking\\_overview.msp?mfr=true](http://www.microsoft.com/resources/documentation/windows/xp/all/proddocs/en-us/wireless_networking_overview.msp?mfr=true)

---

Gunasekaran, V. Harmantzis, C. (2007) Emerging wireless technologies for developing countries. *Technology in Society*. 29. 23–42.

Cisco Systems Inc. (2000) Introduction to Wireless Technology Session 2307.

Kuran, M. Tugcu, T. (2007) A survey on emerging broadband wireless access technologies. *Computer Networks*. 51. 3013–3046.

Williams, R. (2011) Wireless Community Networks. Texas State Library and Archives Commission. Available from: <https://www.tsl.state.tx.us/ld/pubs/wireless/chapter8.html>

Maupin, M. (2005) ZigBee™: Wireless Control Made Simple. Freescale Semiconductor Inc.: Canada.

Yen, D. Chou, D. (2001) Wireless communication: the next wave of Internet technology. *Technology in Society*. 23. 217–226.

Prentice Hall PTR. (2001) Principles of Wireless Networks. Chapter 1: Overview of Wireless Networks.

Grossetete, P. (2008) Planning Site Surveys for 6LoWPAN deployments. Arch Rock Corporation: San Francisco

Danielyan, E. IEEE 802.11. The Internet Protocol Journal. 5(1). Cisco. Available from: [http://www.cisco.com/web/about/ac123/ac147/archived\\_issues/ipj\\_5-1/ieee.html](http://www.cisco.com/web/about/ac123/ac147/archived_issues/ipj_5-1/ieee.html)