

Διαδίκτυο των Πραγμάτων

Ασύρματα Δίκτυα Μικρής Κλίμακας και Χαμηλής
Ενεργειακής Κατανάλωσης

Κώστας Μαλιάτσος
Επίκουρος Καθηγητής

Ασύρματα Δίκτυα Μικρής Εμβέλειας

2

- Τα δίκτυα αυτά προσφέρουν περιορισμένη ραδιοκάλυψη και έχουν εμβέλεια από μερικά εκατοστά έως μερικά μέτρα
- Περιλαμβάνουν τα πρότυπα/πρωτόκολλα:
 - IrDA (Υπέρυθρες ακτινοβολίες)
 - 802.11 (802.11ah)
 - 802.15.1 (Bluetooth Smart)
 - 802.15.4 (ZigBee, WirelessHART, ISA100.11a, 6LoWPAN, Thread)
 - ITU-T G.9959 (Z-Wave)
 - ISO/IEC 13157 (NFC)

Απαιτήσεις Ασύρματων Δικτύων Μικρής Εμβέλειας

3

- Απόδοση
- Αριθμός κόμβων
- Σύνδεση με κεντρικό LAN ή WAN
- Εμβέλεια
- Κατανάλωση ισχύος και ένταση εκπομπής
- Ευρωστία και ασφάλεια
- Λειτουργία γειτονικών δικτύων και παρεμβολές
- Λειτουργία σε φάσμα χωρίς άδεια (unlicensed bands)
- Μεταπομπή/περιαγωγή
- Δυναμική ανάθεση και διαχείριση πόρων δικτύου

Ασύρματες Επικοινωνίες μέσω Υπέρυθρων Ακτινοβολιών

4

- Η **υπέρυθρη ακτινοβολία** (infrared) ή υπέρυθρες ακτίνες είναι τμήμα του φάσματος της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας
- Στο φάσμα τοποθετούνται ως μικρότερη συχνότητα στην προέκταση της κόκκινης ορατής ακτινοβολίας, εξ' ου και το όνομα «υπέρυθρες» (υπό του ερυθρού)
- Η ασύρματη επικοινωνία μέσω υπέρυθρων ακτινοβολιών αναφέρεται στην ελεύθερη διάδοση κυμάτων φωτός της χαμηλής ζώνης υπερύθρων ως ένα μέσο μετάδοσης πληροφοριών
- Το **φάσμα** είναι ουσιαστικά **απεριόριστο** και παγκοσμίως απελευθερωμένο (δεν απαιτείται άδεια), ενώ ο **εξοπλισμός** που απαιτείται είναι **απλός και φθηνός**

Ασύρματες Επικοινωνίες μέσω Υπέρυθρων Ακτινοβολιών

5

- Η υπέρυθρη ακτινοβολία ανακλάται διαχεόμενη από έγχρωμα αντικείμενα (όπως π.χ. από την οροφή) και δεν διαπερνά τοίχους. Έτσι, οι υπέρυθρες επικοινωνίες μπορούν να προστατευτούν από **υποκλοπές** και **παρεμβολές**
- Η επικοινωνία μπορεί να πραγματοποιείται μεταξύ δύο φορητών συσκευών επικοινωνίας ή μεταξύ μιας φορητής και μιας σταθερής συσκευής (σημείο πρόσβασης ή σταθμός βάσεων)
- Οι δύο πιο συνηθισμένες διατάξεις, οι οποίες περιγράφουν την τυπική ή την απαιτούμενη θέση του πομπού και του δέκτη, είναι:
 - Σημείο-με-Σημείο (point-to-point)
 - Διάχυσης (diffuse)

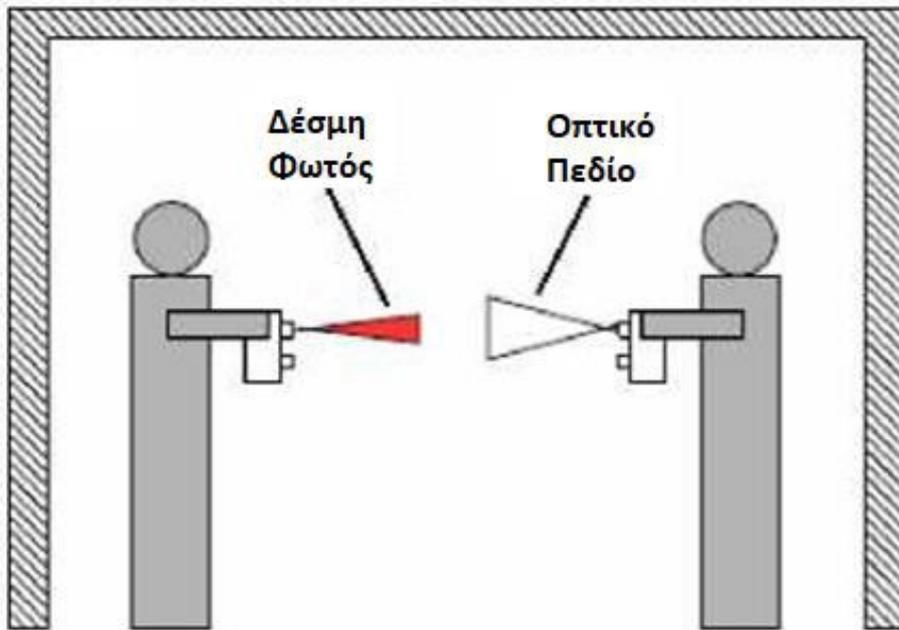
Ασύρματες Επικοινωνίες μέσω Υπέρυθρων Ακτινοβολιών

6

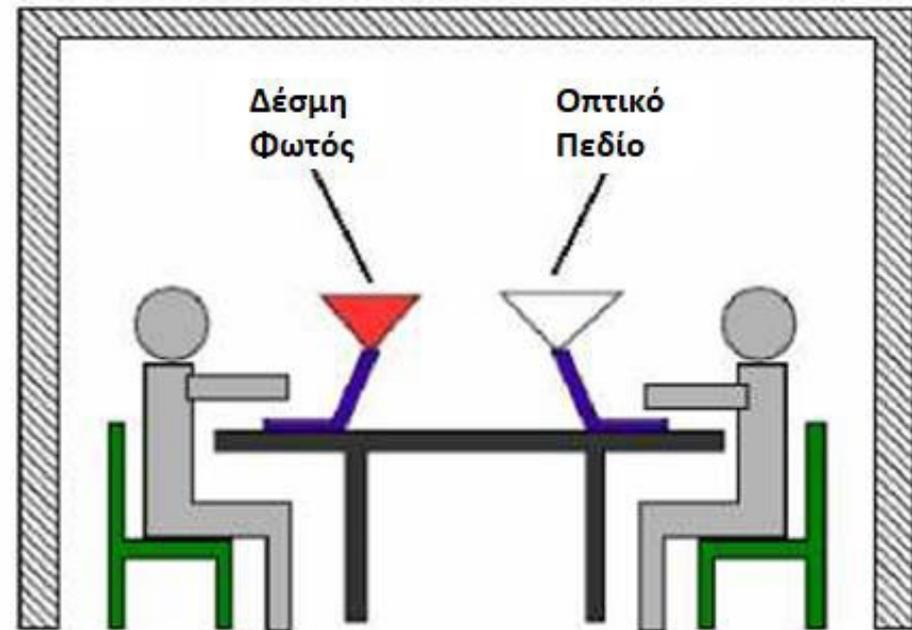
- Στη διάταξη **σημείο-προς-σημείο**, ο πομπός και ο δέκτης πρέπει να είναι στραμμένοι ο ένας προς τον άλλον, ώστε να επιτευχθεί διασύνδεση
- Στη ζεύξη με οπτική επαφή (LoS), η εκπεμπόμενη ακτινοβολία κατευθύνεται άμεσα από τον πομπό στον δέκτη και επομένως δεν πρέπει να παρεμβαίνουν εμπόδια ανάμεσα τους
- Στη διάταξη **διάχυσης**, η διασύνδεση είναι πάντα ενεργή ανάμεσα στον κάθε πομπό και τον κάθε δέκτη του ίδιου χώρου, ανακλώντας τα εκπεμπόμενα σήματα στις διάφορες επιφάνειες, όπως την οροφή, τους τοίχους, τα έπιπλα κ.λπ.
- Ο πομπός και ο δέκτης δεν επικοινωνούν άμεσα, ενώ δεν απαιτείται ζεύξη με οπτική επαφή
- Ο πομπός στέλνει ένα ευρύ φάσμα ακτίνων και ο δέκτης έχει ένα ευρύ οπτικό πεδίο

Ασύρματες Επικοινωνίες μέσω Υπέρυθρων Ακτινοβολιών

7



Διάταξη Σημείο-με-Σημείο



Διάταξη Διάχυσης

Ασύρματες Επικοινωνίες μέσω Υπέρυθρων Ακτινοβολιών

8

- **Infrared Data Association (IrDA)**: Καθορίζει τις προδιαγραφές για τηλεπικοινωνιακά πρωτόκολλα που αφορούν την ασύρματη μετάδοση μικρής εμβέλειας με υπέρυθρες ακτινοβολίες
- Βασικά χαρακτηριστικά του φυσικού επιπέδου:
 - Εμβέλεια 0.2-0.3 m
 - Μήκος κύματος 875 ± 30 nm
 - Ταχύτητα 2.4 kbps - 16 Mbps
 - Half-duplex

IEEE 802.11

- Το IEEE 802.11, γνωστό ως «Wi-Fi» (Wireless Fidelity), αποτελεί μια οικογένεια πρωτοκόλλων που περιγράφουν τη λειτουργία ασύρματων τοπικών δικτύων (Wireless Local Area Networks – WLANs) και έχουν ως στόχο την επέκταση του ενσύρματου πρωτοκόλλου IEEE 802.3 (Ethernet)
- Η Wi-Fi Alliance, ένας οργανισμός ανεξάρτητος από την IEEE, παρέχει την πιστοποίηση για τα προϊόντα που τηρούν τις προδιαγραφές του 802.11
- Το πρωτόκολλο 802.11 χρησιμοποιεί κυρίως τη συχνότητα ISM των 2.4 GHz, καθώς και συχνότητες της περιοχής των 5.8 GHz

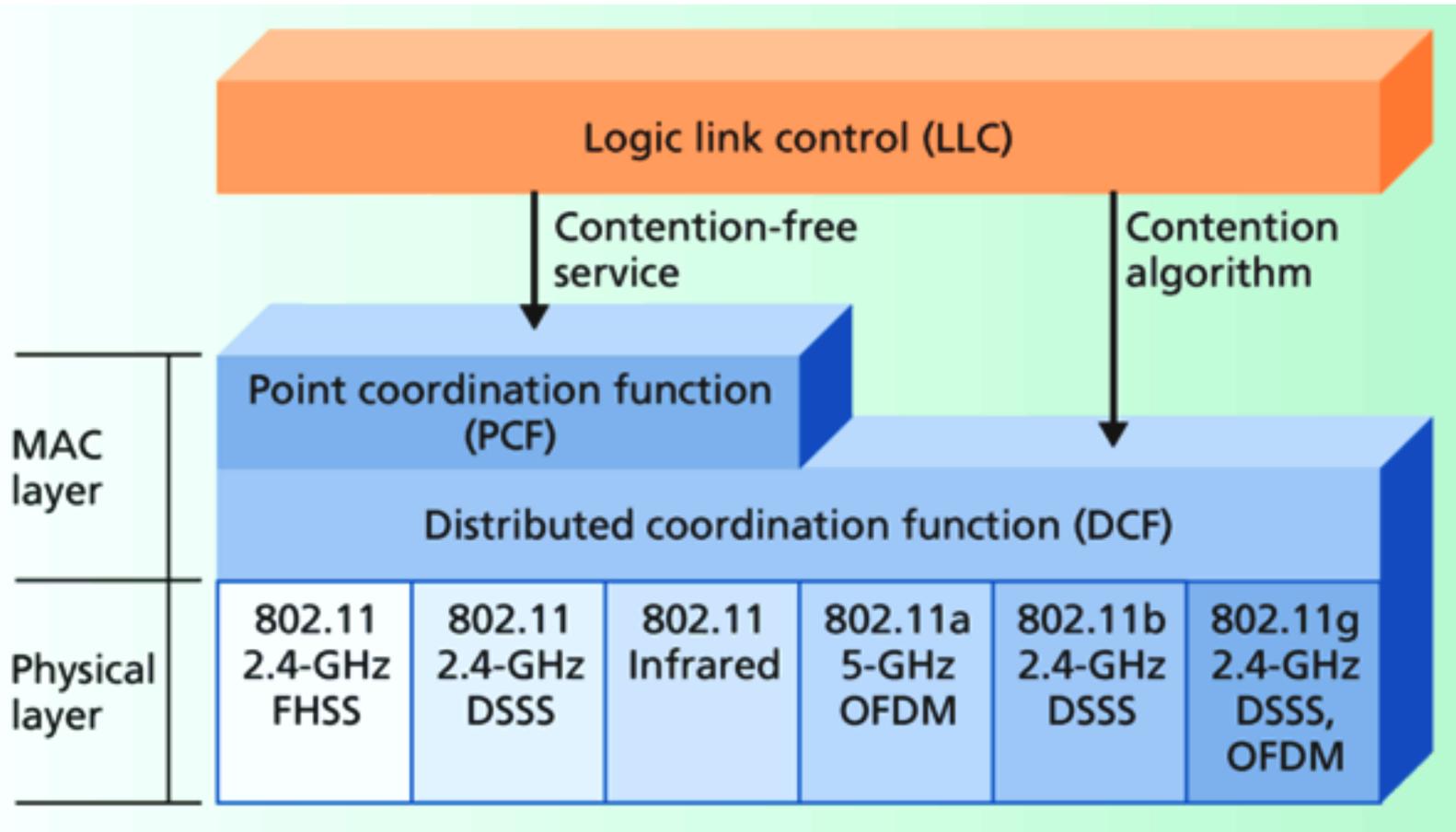
IEEE 802.11

10

- Οι λειτουργίες και οι υπηρεσίες που καθορίζονται από το 802.11 αφορούν τα επίπεδα **PHY** και **MAC**
- Στο φυσικό επίπεδο, το 802.11 υποστηρίζει τρία διαφορετικά στρώματα
- Δύο που χρησιμοποιούν ραδιοσυχνότητες ως μέσο μετάδοσης με τεχνικές εξάπλωσης φάσματος (εναλλαγής συχνότητας και ευθείας ακολουθίας) και ένα που χρησιμοποιεί υπέρυθη ακτινοβολία

IEEE 802.11

11



IEEE 802.11

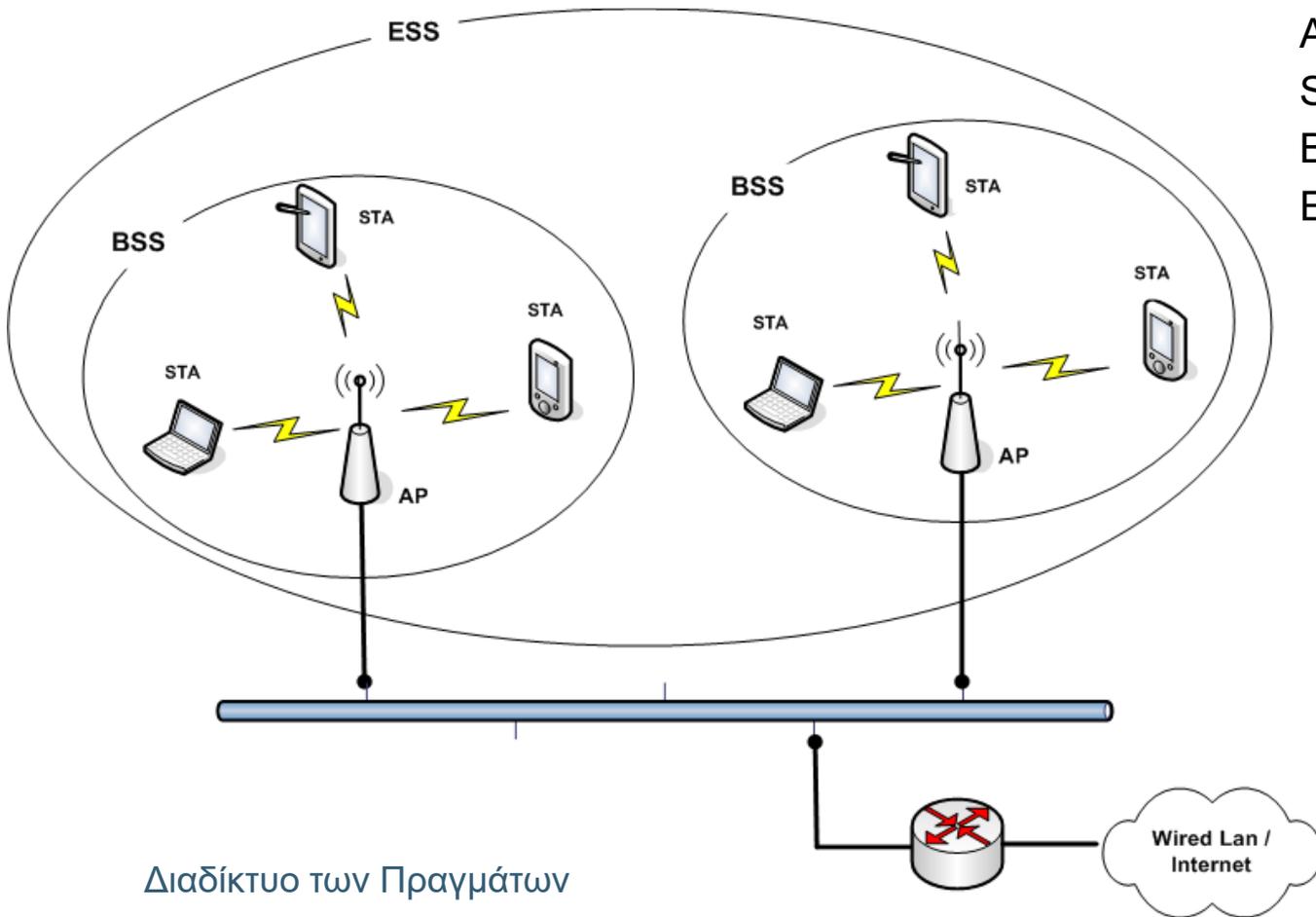
12

- Το 802.11 ορίζει δύο τύπους λειτουργίας:
 - ▣ **Λειτουργία υποδομής (infrastructure mode)**: Το δίκτυο έχει ένα σταθερό κεντρικό στοιχείο (base station, access point) που διαχειρίζεται το υπόλοιπο δίκτυο και μέσω του οποίου υλοποιείται η σύνδεση
 - ▣ **Λειτουργία ad-hoc**: Το ασύρματο δίκτυο δεν διαθέτει κεντρικό σημείο ελέγχου (ούτε σταθερό, ούτε δυναμικά καθορισμένο) και η τοπολογία του δικτύου μπορεί να μεταβάλλεται με το χρόνο. Ένα τέτοιο δίκτυο είναι ευέλικτο, αλλά και πιο δύσκολο στη διαχείριση του

IEEE 802.11

13

□ Infrastructure mode



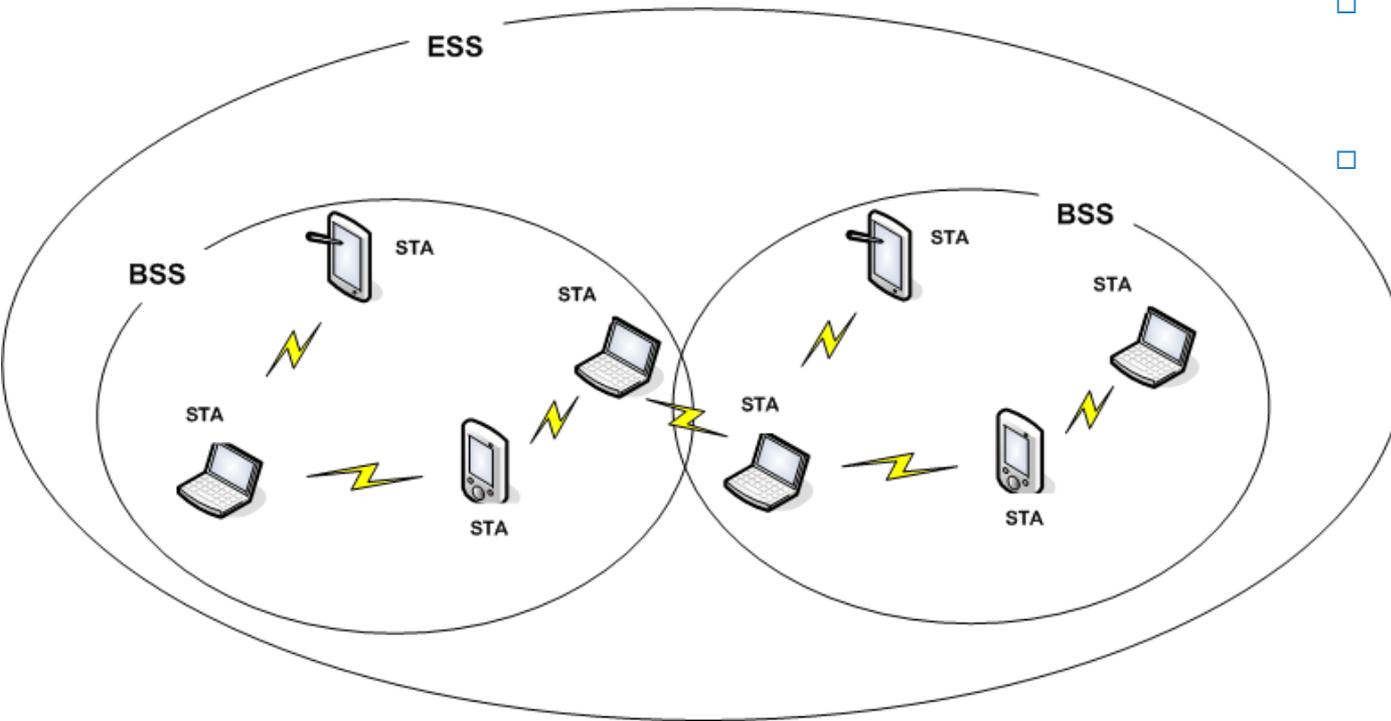
Διαδίκτυο των Πραγμάτων

IEEE 802.11

14

□ Ad-hoc mode

- Δεν περιλαμβάνονται APs
- Τα τερματικά επικοινωνούν μεταξύ τους απευθείας (peer-to-peer)
- Κάθε τερματικό επικοινωνεί με τα υπόλοιπα μέσω ενός μονοπατιού που συντίθεται από τα τερματικά ενός ή περισσότερων BSS



IEEE 802.11 – Εκδόσεις Πρωτοκόλλου

15

- Αρχικά, δημιουργήθηκαν τα πρότυπα IEEE 802.11a και IEEE 802.11b
- Στη συνέχεια, δημιουργήθηκαν τα πρότυπα IEEE 802.11g και IEEE 802.11n, για καλύτερη μετάδοση (transmission), κατανάλωση ενέργειας (power consumption), ταχύτητα (speed) και αξιοπιστία (reliability)
- Το τελευταίο αγγίζει ταχύτητες μεταφοράς δεδομένων της τάξεως των 600 Mbps, μέσω της τεχνολογίας πολλαπλών κεραιών

IEEE 802.11 – Εκδόσεις Πρωτοκόλλου

16

- IEEE 802.11p: WAVE—Wireless Access for the Vehicular Environment (such as ambulances and passenger cars)
- IEEE 802.11ac: Very High Throughput <6 GHz; potential improvements over 802.11n: better modulation scheme (expected ~10% throughput increase); wider channels (80 or even 160MHz), multi user MIMO; (September 2008 – December 2012)
- IEEE 802.11ad: Very High Throughput 60 GHz (December 2008 – December 2012)
- [IEEE 802.11af](#): TV Whitespace
- [IEEE 802.11ah](#): Defines a WLAN system operating at sub-1 GHz license-exempt bands
- IEEE 802.11ai: An amendment to the 802.11 standard that will add new mechanisms for a faster initial link setup time
- IEEE 802.11aj: A rebanding of 802.11ad for use in the 45 GHz unlicensed spectrum available in some regions of the world (specifically China)
- IEEE 802.11aq: An amendment to the 802.11 standard that will enable pre-association discovery of services
- IEEE 802.11ax: The successor to 802.11ac, and will increase the efficiency of WLAN networks
- IEEE 802.11ay: An amendment that defines a new physical layer for 802.11 networks to operate in the 60 GHz millimeter wave spectrum. It will be an extension of the existing 11ad, aimed to extend the throughput, range and use-cases

IEEE 802.11 – Εκδόσεις Πρωτοκόλλου

17

Standard	Frequency Band	Bandwidth	Modulation Scheme	Channel Arch.	Maximum Data Rate	Range	Max Transmit Power
802.11	2.4 GHz	20 MHz	BPSK to 256-QAM	DSSS, FHSS	2 Mbps	20 m	100 mW
b	2.4 GHz	21 MHz	BPSK to 256-QAM	CCK, DSSS	11 Mbps	35 m	100 mW
a	5 GHz	22 MHz	BPSK to 256-QAM	OFDM	54 Mbps	35 m	100 mW
g	2.4 GHz	23 MHz	BPSK to 256-QAM	DSSS, OFDM	54 Mbps	70 m	100 mW
n	2.4 GHz, 5 GHz	24 MHz and 40 MHz	BPSK to 256-QAM	OFDM	600 Mbps	70 m	100 mW
ac	5 GHz	20, 40, 80, 80+80=160 MHz	BPSK to 256-QAM	OFDM	6.93 Gbps	35 m	160 mW
ad	60 GHz	2.16 GHz	BPSK to 64-QAM	SC, OFDM	6.76 Gbps	10 m	10 mW
af	54-790 MHz	6, 7, and 8 MHz	BPSK to 256-QAM	SC, OFDM	26.7 Mbps	>1km ?	100 mW
ah	900 MHz	1, 2, 4, 8, and 16 MHz	BPSK to 256-QAM	SC, OFDM	40 Mbps	1 km	100 mW

IEEE 802.11ah

18

- Το πρότυπο αυτό (γνωστό και ως HaLow) προορίζεται για χρήση από τις ευφυείς οικιακές συσκευές και το IoT
- Λειτουργεί στα 900 MHz και θεωρητικά μπορεί να καλύψει διπλάσιο χώρο συγκριτικά με το δίκτυο των 2.4 GHz που συνήθως χρησιμοποιείται στα σπίτια, διαπερνώντας με μεγαλύτερη ευκολία τοίχους και εμπόδια, ενώ καταναλώνει σημαντικά λιγότερη ενέργεια
- Οι μικρές ενεργειακές απαιτήσεις οφείλονται στον τρόπο λειτουργίας του WiFi 802.11ah, καθώς η αποστολή της πληροφορίας γίνεται περιοδικά σε μικρά, συγκεντρωμένα πακέτα

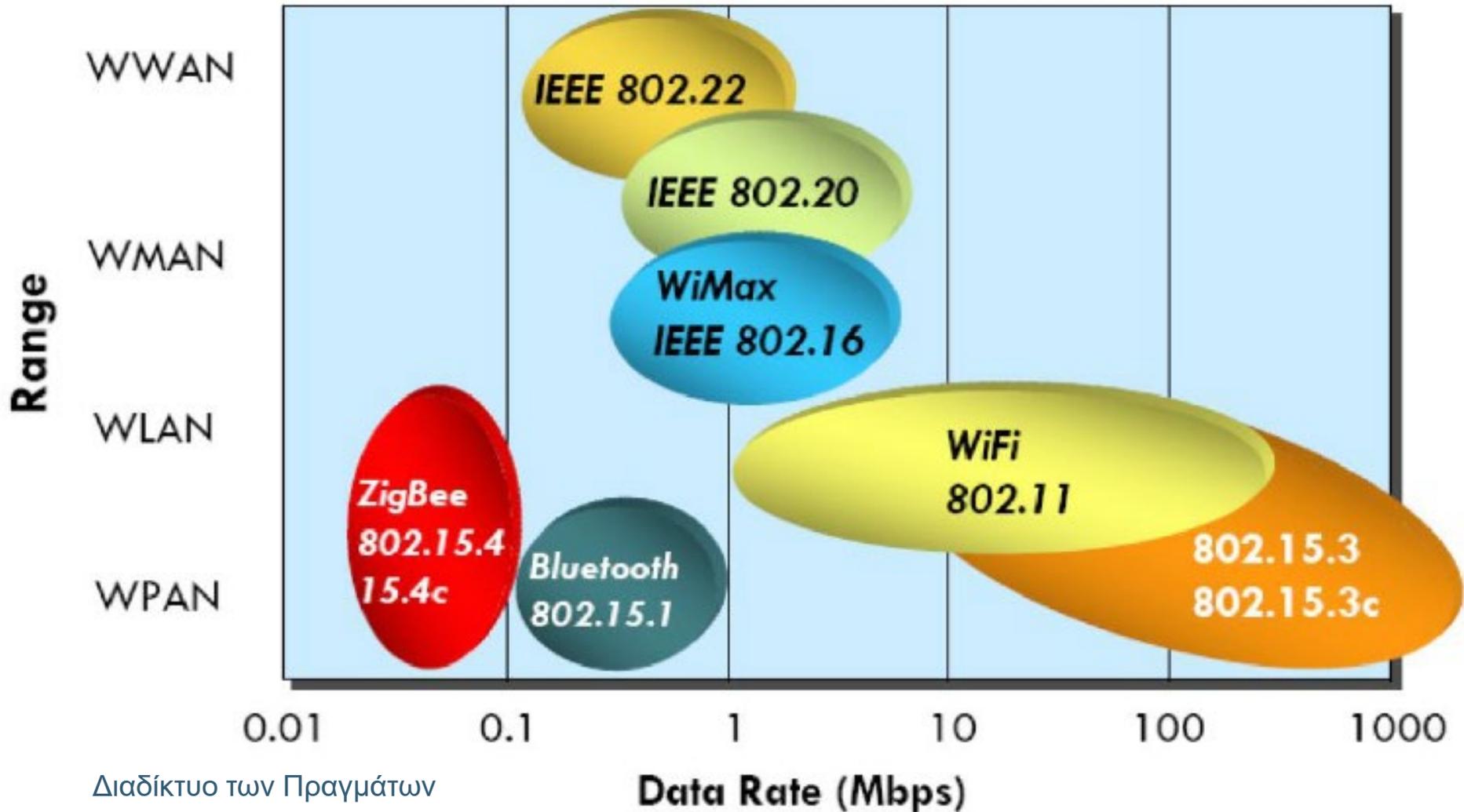
IEEE 802.15

19

- Επικεντρώνεται στα ασύρματα προσωπικά δίκτυα (WPANs) με περιοχή κάλυψης μικρότερη των 10 μέτρων
- Περιλαμβάνει πολλές διαφορετικές ομάδες διεργασιών:
 - 802.15.1 για το Bluetooth
 - 802.15.2 για τη συνύπαρξη του WPAN με άλλες ασύρματες συσκευές που λειτουργούν χωρίς άδεια
 - 802.15.3 για υψηλού ρυθμού WPAN
 - 802.15.4 για χαμηλού ρυθμού WPAN

IEEE 802.15

20



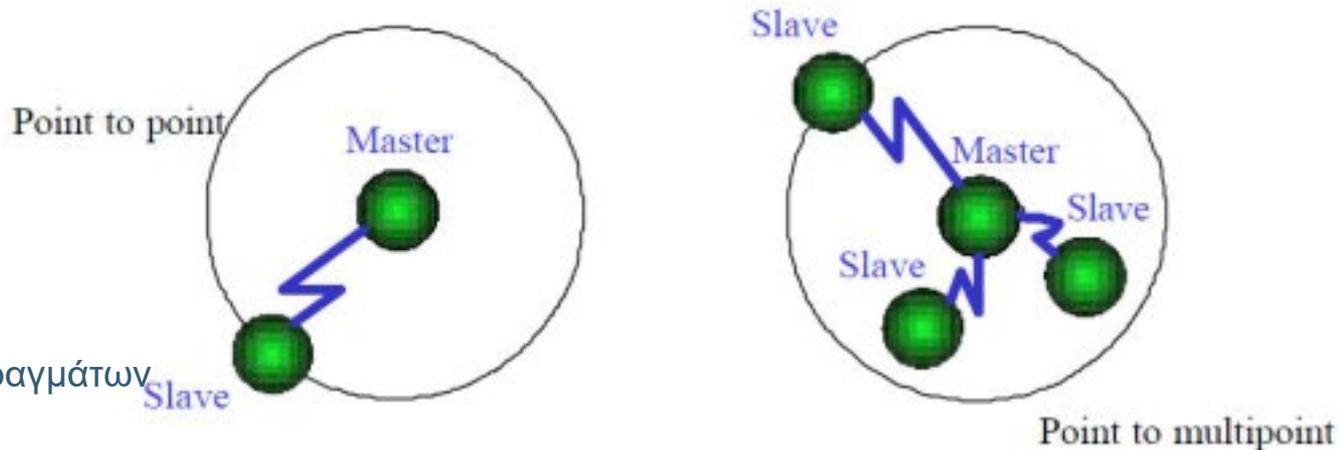
IEEE 802.15.1

- Το πρότυπο IEEE 802.15.1 (γνωστό ως Bluetooth), είναι ένα βιομηχανικό πρότυπο για ασύρματα δίκτυα WPAN και αναπτύχθηκε από το Bluetooth Special Interest Group (SIG)
- Αποτελεί μια ασφαλή, μικρής εμβέλειας, οικονομική και παγκοσμίως διαθέσιμη τεχνολογία που λειτουργεί στην ζώνη ISM των 2.4 GHz
- Παρέχει γρήγορες και ασφαλείς μεταδόσεις φωνής και δεδομένων. Η εμβέλεια φτάνει μέχρι τα 10 m και δεν απαιτείται ελεύθερο οπτικό πεδίο (LoS)
- Η τεχνολογία Bluetooth υποστηρίζει δύο ειδών ζεύξεις: **Σύγχρονες** (Synchronous Connection Oriented) και **Ασύγχρονες** (Asynchronous Connectionless Links)
- Οι σύγχρονες ζεύξεις χρησιμοποιούνται κυρίως για φωνητικές επικοινωνίες, ενώ οι ασύγχρονες για δεδομένα

IEEE 802.15.1

22

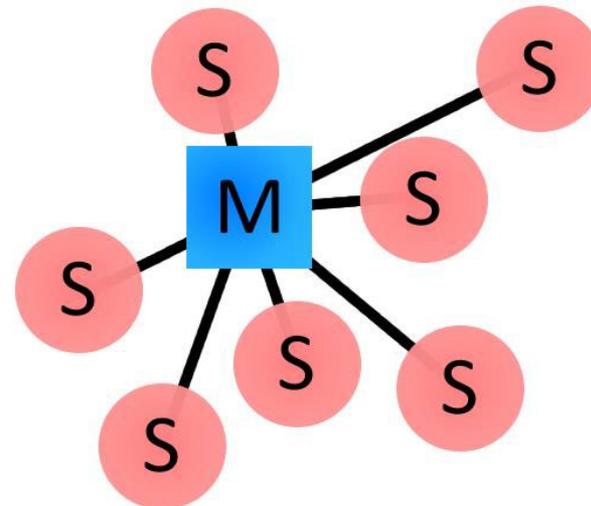
- Η πιο απλή μορφή επικοινωνίας ανάμεσα σε δύο συσκευές Bluetooth είναι η **point-to-point**, όπου η μια συσκευή λειτουργεί ως **master** και η άλλη ως **slave**
- Η συσκευή master καθορίζει την εναλλαγή συχνοτήτων, ενώ η συσκευή slave συγχρονίζεται με την συσκευή master, ακολουθώντας την εναλλαγή αυτή
- Μπορεί βεβαίως να υπάρχει και point-to-multipoint σενάριο, στην περίπτωση όπου πολλές συσκευές slaves συνδέονται σε μία συσκευή master



IEEE 802.15.1

23

- Οι συσκευές Bluetooth συνδέονται και επικοινωνούν μεταξύ τους σε ασύρματα ad hoc δίκτυα μικρής εμβέλειας γνωστά ως piconets
- Τα piconets δημιουργούνται δυναμικά και αυτόματα, καθώς οι συσκευές Bluetooth εισέρχονται και απομακρύνονται από τον περιβάλλοντα χώρο
- Μέχρι 8 συσκευές υποστηρίζονται σε ένα piconet: 1 συσκευή master και 7 συσκευές slave



Bluetooth Smart

24

- Για εφαρμογές φορετών συσκευών (wearables) και για το IoT, έχει προταθεί το πρότυπο **Bluetooth Low Energy (BLE)** ή **Bluetooth Smart**
- Αν και το Bluetooth Smart δανείζεται το brand name της τεχνολογίας Bluetooth και πολλά τεχνολογικά στοιχεία από αυτήν, αποτελεί μια διαφορετική τεχνολογία με διαφορετικούς στόχους και εφαρμογές
- Αυτό το πρότυπο χρησιμοποιείται σε περιπτώσεις επικοινωνίας κόμβων με μικρό μέγεθος, κόστος και εμβέλεια, όταν είναι απαραίτητη η μειωμένη κατανάλωση ενέργειας
- Η σύνδεση με άλλες συσκευές πραγματοποιείται για μικρό χρονικό διάστημα και η αποστολή δεδομένων γίνεται μόνο όταν χρειάζεται, με αποτέλεσμα οι συσκευές να είναι ενεργές μόνο όταν τους ζητείται να στείλουν δεδομένα

**Location
Beacon**



**Location
UWB
Beacon**

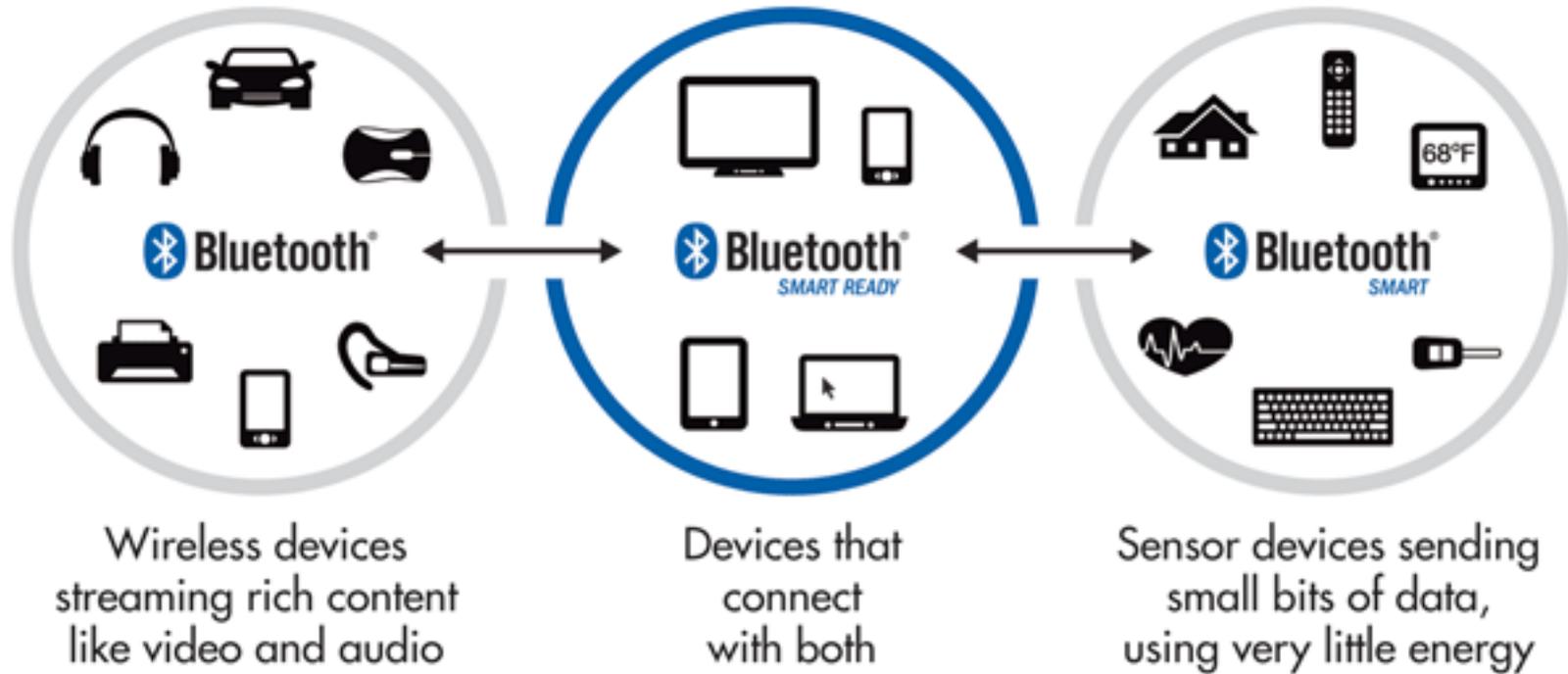
Bluetooth Smart

25

- Χρησιμοποιείται η ISM ζώνη συχνοτήτων των 2.4 GHz
- Η πρόσβαση στο κανάλι γίνεται με πολλαπλή πρόσβαση διαίρεσης συχνότητας (FDMA) ή χρόνου (TDMA)
- Ο ρυθμός μετάδοσης είναι 1 Mbps με χρήση διαμόρφωσης GFSK (Gaussian Frequency Shift Modulation)
- Η εμβέλεια φτάνει έως τα 100 m (όπως και στο απλό Bluetooth)
- Η μέγιστη ισχύς μετάδοσης είναι 10 mW

Bluetooth Smart

26



IEEE 802.15.4

27

- Το πρότυπο αυτό αναφέρεται σε ασύρματη επικοινωνία:
 - ▣ Χαμηλού ρυθμού μετάδοσης δεδομένων (low data rate)
 - ▣ Περιορισμένης εμβέλειας
 - ▣ Ελάχιστης κατανάλωσης ενέργειας
 - ▣ Μεταξύ σχετικά απλών και φθηνών συσκευών
 - ▣ Σε ένα προσωπικό χώρο λειτουργίας
- Είναι σχεδιασμένο για Low Rate Wireless Personal Area Networks (**LR-WPAN**) πλεονέκτημα των οποίων είναι η ευκολία στην εγκατάσταση, η αξιόπιστη μετάδοση δεδομένων, η λειτουργία περιορισμένης έκτασης, το χαμηλό κόστος και η λογική διάρκεια ζωής της μπαταρίας

IEEE 802.15.4

- Το IEEE 802.15.4 ορίζει το φυσικό επίπεδο και τον έλεγχο πρόσβασης μέσου (MAC) για LR-WPANs, τα οποία αποτελούνται από σταθερές ή κινητές συσκευές τροφοδοτούμενες από μπαταρία ή κάποια άλλη πηγή περιορισμένης ενέργειας
- Το IEEE 802.15.4 είναι η βάση για άλλα πρότυπα, όπως το ZigBee. Κάθε ένα από αυτά τα πρότυπα επεκτείνει το IEEE 802.15.4 υλοποιώντας τα ανώτερα επίπεδα λειτουργίας του δικτύου, τα οποία δεν καθορίζονται σε αυτό
- Αρχικά, τα LR-WPANs επέτρεπαν κοντινές ζεύξεις με εμβέλεια έως και 75 m
- Πλέον, υπάρχει η δυνατότητα αύξησης της εμβέλειας της επικοινωνίας εις βάρος του ρυθμού μετάδοσης δεδομένων

IEEE 802.15.4

29

- Χρησιμοποιούνται σε τρεις ζώνες συχνοτήτων ISM:
 - ▣ 2.4 GHz με ρυθμό μετάδοσης δεδομένων 250 kbps και κωδικοποίηση O-QPSK
 - ▣ 915 MHz με ρυθμό μετάδοσης δεδομένων 40 kbps και κωδικοποίηση BPSK
 - ▣ 868 MHz με ρυθμό μετάδοσης δεδομένων 20 kbps και κωδικοποίηση BPSK
- Η ζώνη των 2.4 GHz αποτελεί την πιο διαδεδομένη ζώνη συχνοτήτων

IEEE 802.15.4

- Το βασικό συστατικό των δικτύων που χρησιμοποιούν το πρότυπο 802.15.4 είναι η συσκευή ή κόμβος (node)
- Υπάρχουν δύο είδη κόμβων:
 - Συσκευή πλήρους λειτουργίας (Full-Function Device – FFD)
 - Συσκευή μειωμένης λειτουργίας (Reduced-Function Device – RFD)
- Ένα δίκτυο περιέχει τουλάχιστον έναν κόμβο FFD, ο οποίος λειτουργεί ως κεντρικός συντονιστής του δικτύου (Personal Area Network – PAN coordinator), ως τοπικός συντονιστής σε οποιαδήποτε περιοχή του δικτύου ή ως απλή συσκευή

IEEE 802.15.4

31

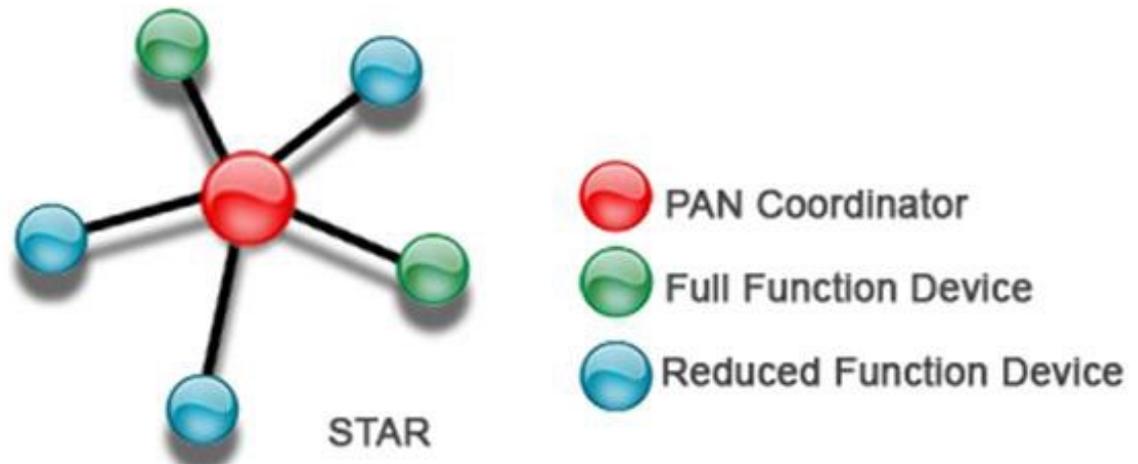
- Οι κόμβοι FFD έχουν τη δυνατότητα να επικοινωνούν με οποιονδήποτε κόμβο που βρίσκεται εντός της εμβέλειάς τους
- Οι κόμβοι RFD επικοινωνούν μόνο με τον πλησιέστερο κόμβο FFD ή τον έναν κεντρικό κόμβο FFD συντονιστή, ο οποίος είναι συνήθως συνδεδεμένος με έναν υπολογιστή ή κάποιο άλλο δίκτυο
- Οι κόμβοι RFD προορίζονται για απλές εργασίες, ενώ οι κόμβοι FFD αποτελούν το βασικό κορμό του δικτύου
- Οι κόμβοι ορίζονται είτε με μία 64-bit IEEE διεύθυνση είτε μία 16-bit «μικρή» διεύθυνση. Συνεπώς, ένα δίκτυο μπορεί να υποστηρίξει μέχρι $2^{16} - 1 = 65536 - 1 = 65535$ κόμβους με την διεύθυνση 0xFFFF να αποτελεί τη διεύθυνση ευρυεκπομπής (broadcast address)

IEEE 802.15.4

32

□ Τοπολογία Αστέρα (Star)

- Η συσκευή FFD, μετά την πρώτη ενεργοποίησή της, μπορεί να εγκαθιδρύσει το δίκτυο της και να λειτουργεί ως PAN coordinator
- Κάθε συσκευή στο δίκτυο μπορεί να επικοινωνεί μόνο με τον συντονιστή PAN
- Με την επιλογή ενός PAN Identifier, που είναι μοναδικό για κάθε δίκτυο εντός της περιοχής εκπομπής, όλα τα δίκτυα αστέρα λειτουργούν ανεξάρτητα από τα υπόλοιπα δίκτυα αστέρα

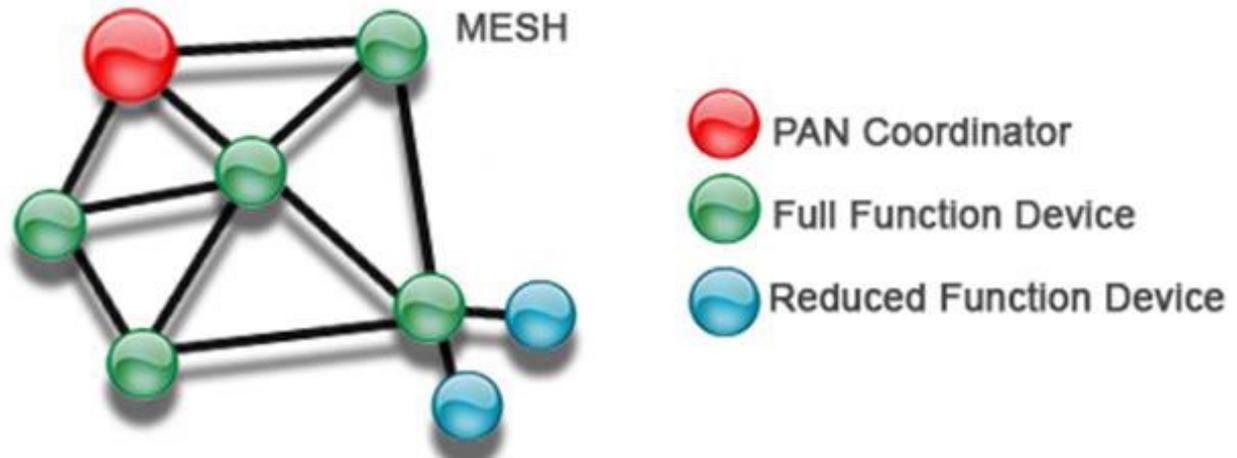


IEEE 802.15.4

33

□ Τοπολογία Πλέγματος (Mesh)

- Στη συνδεσμολογία mesh (ή peer-to-peer), κάθε συσκευή μπορεί να επικοινωνεί απευθείας με κάθε άλλη συσκευή αν οι συσκευές τοποθετούνται αρκετά κοντά μεταξύ τους, ώστε να διεκπεραιώνουν ένα επιτυχές δίκτυο επικοινωνίας
- Κάθε FFD συσκευή σε ένα peer-to-peer δίκτυο μπορεί να παίξει το ρόλο ενός PAN συντονιστή



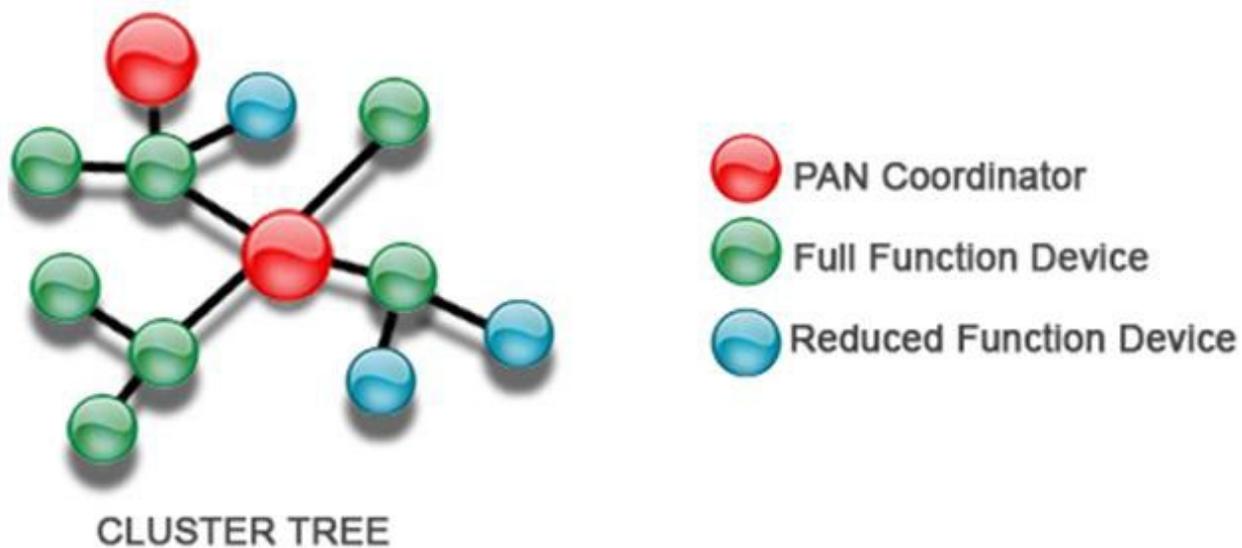
IEEE 802.15.4

- Τοπολογία Συμπλέγματος-Δέντρου (Cluster–Tree)
 - Αποτελεί μία ειδική περίπτωση της τοπολογίας peer-to-peer
 - Οι περισσότερες συσκευές αυτής της τοπολογίας είναι συσκευές FFD, ενώ μία συσκευή RFD μπορεί να συνδεθεί μόνο όταν είναι στο τέλος της διακλάδωσης του cluster, αφού έχει τη δυνατότητα να επικοινωνήσει μόνο με μια συσκευή FFD κάθε φορά
 - Η κάθε συσκευή FFD έχει τη δυνατότητα να λειτουργήσει σαν συντονιστής και να παρέχει συγχρονισμό σε άλλες συσκευές, καθώς και σε άλλους συντονιστές
 - Ως καθολικός PAN coordinator του δικτύου, ο οποίος καταναλώνει τους περισσότερους υπολογιστικούς πόρους από κάθε άλλη συσκευή, μπορεί να λειτουργήσει μόνο ένας συντονιστής

IEEE 802.15.4

35

- Τοπολογία Συμπλέγματος-Δέντρου (Cluster-Tree)



IEEE 802.15.4

36

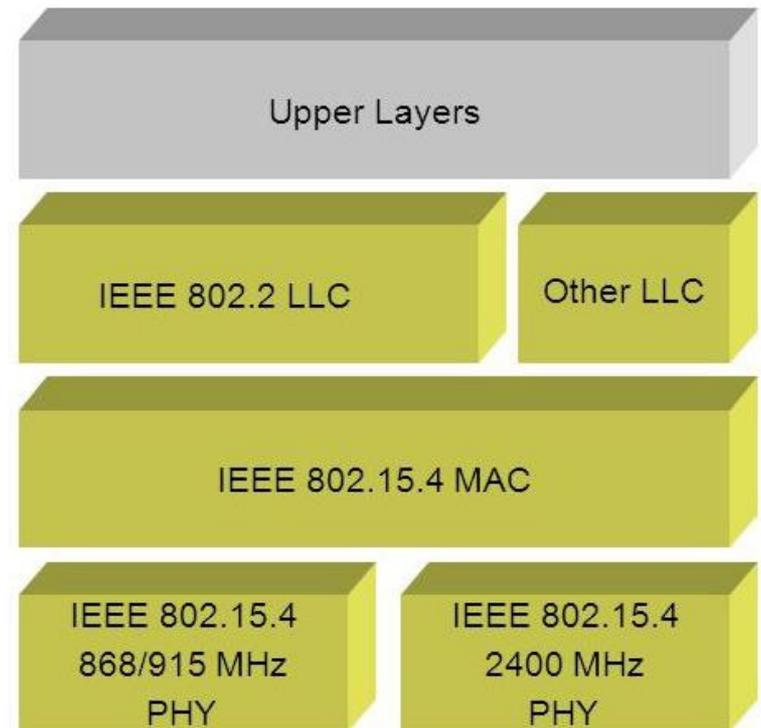
□ Αρχιτεκτονική

- Τα επίπεδα λειτουργίας διευκολύνουν τη μελέτη και το σχεδιασμό του δικτύου και προτυποποιούνται από μία σειρά πρωτοκόλλων
- **Φυσικό επίπεδο:** Περιλαμβάνει έναν πομποδέκτη για τις ραδιοσυχνότητες μαζί με κάποιους μηχανισμούς ελέγχου χαμηλού επιπέδου
- **Επίπεδο MAC:** Παρέχει μηχανισμούς πρόσβασης στο φυσικό κανάλι, όπως το CSMA/CA (Carrier Sense Multiple Access/Collision Avoidance) για πρόσβαση στο κανάλι, μέσω του φυσικού μέσου

IEEE 802.15.4

37

- Αρχιτεκτονική
 - Η πρόσβαση στο υπο-επίπεδο MAC γίνεται μέσω του Logical Link Control (LLC) και του υποστρώματος σύγκλισης πεδίου ως προς την υπηρεσία (Specific Convergence Sublayer-SSCS)
 - Κάθε επίπεδο επιτελεί συγκεκριμένες λειτουργίες και παρέχει υπηρεσίες μόνο στο υπερκείμενο επίπεδό του



ZigBee

39

- Τα βασικά χαρακτηριστικά του είναι ο χαμηλός ρυθμός μετάδοσης δεδομένων και η δυνατότητα να υποστηρίξει μέχρι 254 συσκευές σε τοπολογία αστέρα
- Το δίκτυο ZigBee είναι πολλαπλής πρόσβασης, αφού όλες οι συσκευές έχουν ισότιμη πρόσβαση στο μέσο επικοινωνίας
- Υποστηρίζονται δύο τύποι μηχανισμών πολλαπλής πρόσβασης:
 - Ο πρώτος μηχανισμός αφορά τη λειτουργία **beacon**, όπου οι συσκευές επιτρέπεται να εκπέμπουν μόνο σε προκαθορισμένες χρονοσχισμές (timeslots)
 - Ο δεύτερος μηχανισμός αφορά τη λειτουργία **non-beacon**, στην οποία όλες οι συσκευές μπορούν να εκπέμπουν οποιαδήποτε χρονική στιγμή, εφόσον το κανάλι είναι ελεύθερο

ZigBee

40

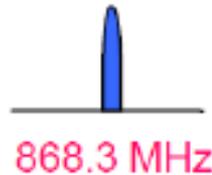
- Κάθε συσκευή συμβατή με το ZigBee είναι συμβατή και με το πρότυπο IEEE 802.15.4
- Οι ασύρματες συσκευές βασισμένες στο πρότυπο του ZigBee λειτουργούν στις ζώνες συχνοτήτων 868 MHz, 915 MHz και 2.4 GHz
- Ο μέγιστος ρυθμός μετάδοσης δεδομένων είναι 250 kbps.
- Οι συμβατές συσκευές βρίσκονται το μεγαλύτερο διάστημα της λειτουργίας τους σε κατάσταση αδράνειας (powersaving mode), γνωστή ως “sleep mode” και παρουσιάζουν πολύ μικρή κατανάλωση ενέργειας

ZigBee

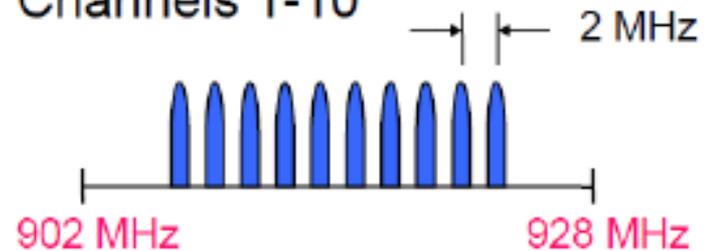
41

**868MHz / 915MHz
PHY**

Channel 0

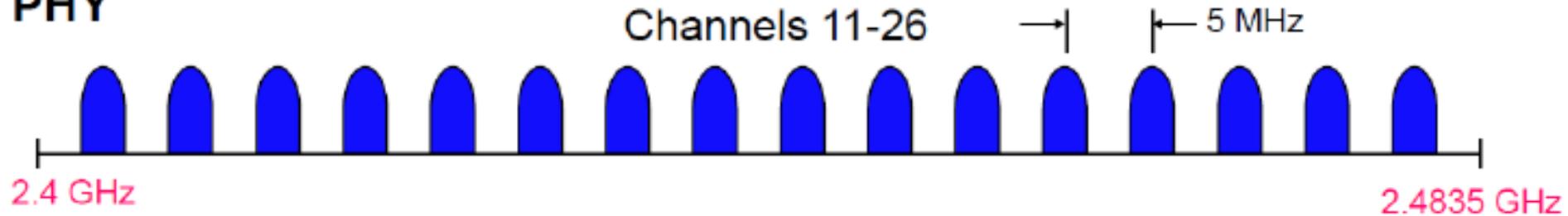


Channels 1-10



**2.4 GHz
PHY**

Channels 11-26



ZigBee

42

- Ο “κύκλος λειτουργίας” (duty cycle) μιας συσκευής είναι ο λόγος του χρόνου που μια συσκευή είναι ενεργή στο δίκτυο, προς το συνολικό χρόνο που αυτή λειτουργεί, είτε αυτή είναι ενεργή είτε σε “sleep mode”
- Για παράδειγμα, αν μια συσκευή ενεργοποιείται κάθε λεπτό και μένει ενεργή για 60 ms, τότε το duty cycle της συγκεκριμένης συσκευής είναι 0.001, ή 0.1%.
- Στις περισσότερες εφαρμογές τύπου ZigBee, οι συσκευές έχουν duty cycle μικρότερους από 1%, ώστε να εξασφαλίσουν πολύ μικρή κατανάλωση ενέργειας

Πότε επιλέγουμε το ZigBee;

- Ο χαμηλός ρυθμός μετάδοσης δεδομένων του ZigBee σημαίνει ότι δεν είναι η βέλτιστη επιλογή για την υλοποίηση μιας ασύρματης σύνδεσης στο διαδίκτυο ή ενός ασύρματου “hands-free” με ποιότητα φωνής αντίστοιχη αυτής του CD, όπου ταχύτητες μεγαλύτερες από 1Mbps απαιτούνται
- Ωστόσο, αν ο στόχος της ασύρματης επικοινωνίας είναι να στέλνονται και να λαμβάνονται απλές εντολές ή συγκέντρωση πληροφοριών από αισθητήρες όπως θερμοκρασίας, υγρασίας, κ.λπ., τότε το ZigBee είναι αυτό που προσφέρει την πιο αποδοτική λύση συγκριτικά με το Bluetooth και το IEEE 802.11

Πότε επιλέγουμε το ZigBee;

44

- Οι περιοχές εφαρμογών περιλαμβάνουν:
 - **Οικιακή ψυχαγωγία και έλεγχος:** Έξυπνος φωτισμός, προηγμένος έλεγχος της θερμοκρασίας, ασφάλεια, ταινίες και μουσική
 - **Οικιακή ενημέρωση:** Αισθητήρες νερού, αισθητήρες ενέργειας, ανιχνευτές καπνού και πυρκαγιάς και αισθητήρες πρόσβασης
 - **Κινητές υπηρεσίες:** Πληρωμή, έλεγχος, ασφάλεια και έλεγχος πρόσβασης, φροντίδα της υγείας
 - **Εμπορικά κτήρια:** Έλεγχος της ενέργειας, φωτισμός και έλεγχος πρόσβασης
 - **Βιομηχανικές εγκαταστάσεις:** Έλεγχος διαδικασίας, διαχείριση περιβάλλοντος, διαχείριση της ενέργειας και έλεγχος βιομηχανικών συσκευών

ZigBee – Στοιβά Πρωτοκόλλων

45

- Αποτελείται από 4 επίπεδα
- Κάθε επίπεδο εκτελεί ένα συγκεκριμένο σύνολο λειτουργιών και παρέχει τις υπηρεσίες του στο ανώτερο επίπεδο μέσω μιας διεπαφής που ονομάζεται σημείο πρόσβασης υπηρεσιών (service access point – SAP)
- Το πρότυπο IEEE 802.15.4 καθορίζει μόνο τα πρώτα δύο επίπεδα
- **Το φυσικό επίπεδο (Physical layer – PHY):** Είναι υπεύθυνο για την ενεργοποίηση και απενεργοποίηση του πομποδέκτη, την μετάδοση και λήψη δεδομένων, την ανίχνευση ενέργειας στο κανάλι, την εκτίμηση της κατάστασης των καναλιών και την μέτρηση της ποιότητας των λαμβανόμενων πακέτων

ZigBee – Στοιβά Πρωτοκόλλων

46

- **Το επίπεδο MAC:** Παρέχει υπηρεσίες μεταφοράς δεδομένων και διαχείρισης. Είναι υπεύθυνο για την πρόσβαση στο κανάλι, για τη διαχείριση των χρονοσχισμών και για την παροχή μιας αξιόπιστης σύνδεσης μεταξύ δύο επιπέδων MAC. Επιπρόσθετα, παρέχει τα μέσα για την εφαρμογή διαφόρων μηχανισμών ασφάλειας
- **Το επίπεδο δικτύου (Network layer):** Είναι υπεύθυνο για τη δημιουργία του δικτύου, για την είσοδο και την έξοδο μιας συσκευής από ένα δίκτυο, για την ασφάλεια και για τη δρομολόγηση των μεταδιδόμενων πακέτων

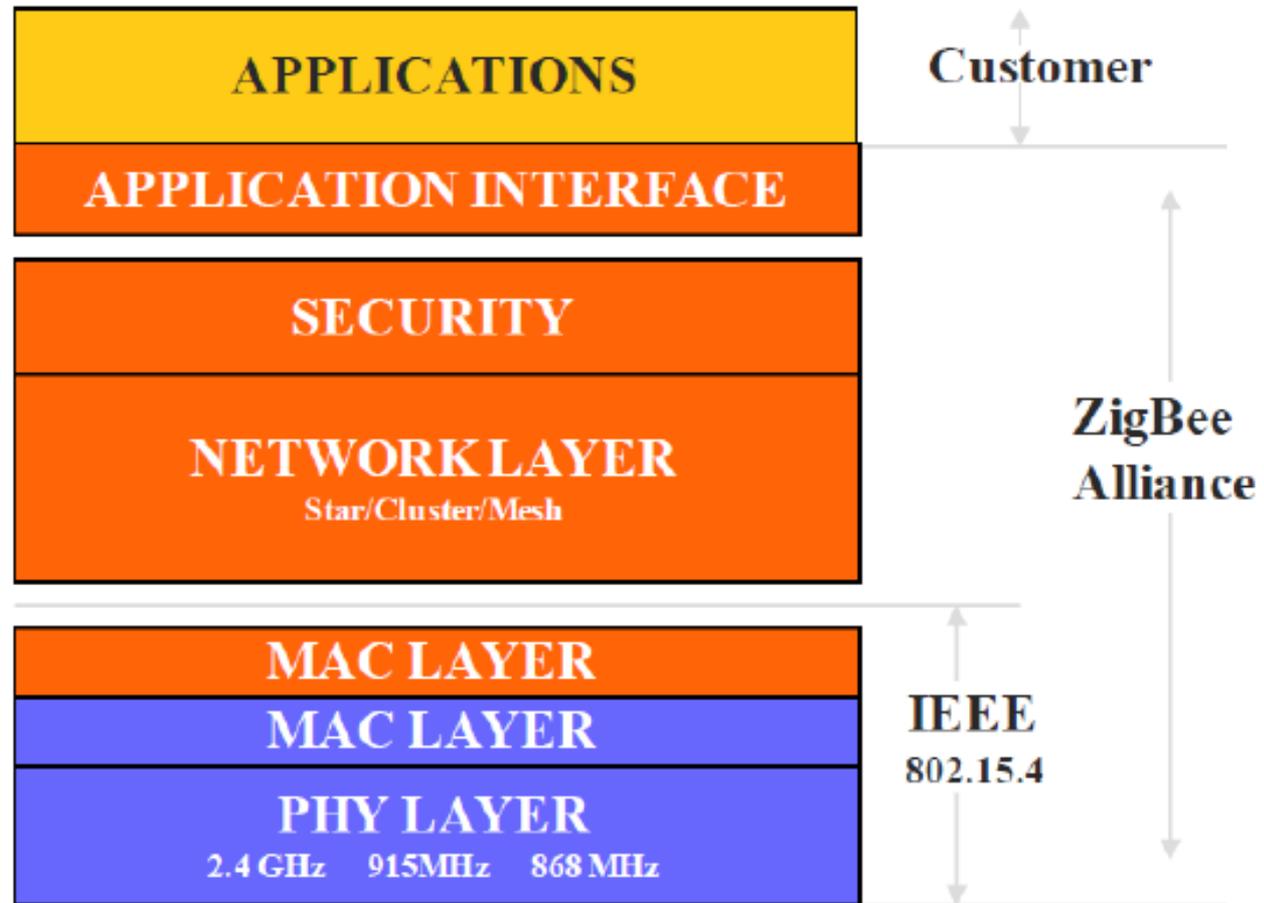
ZigBee – Στοιβά Πρωτοκόλλων

47

- **Το επίπεδο εφαρμογών (Application layer):** Περιλαμβάνει το υποεπίπεδο υποστήριξης εφαρμογών (Application support sublayer – APS), το πλαίσιο εφαρμογών (Application framework – AF), τα αντικείμενα συσκευής ZigBee (ZigBee Device Objects – ZDO) και τις καθορισμένες από τον κατασκευαστή εφαρμογές
- Το υποεπίπεδο APS είναι υπεύθυνο για τη σύνδεση δύο συσκευών βάσει των αναγκών και των υπηρεσιών τους και για την αποστολή δεδομένων μεταξύ τους
- Τα ZDO καθορίζουν τον ρόλο της κάθε συσκευής στο δίκτυο και το επίπεδο ασφάλειας και συμβάλλουν στην ανίχνευση των συσκευών σε ένα δίκτυο και στον προσδιορισμό των υπηρεσιών που αυτές παρέχουν
- Το πλαίσιο εφαρμογών είναι το περιβάλλον, στο οποίο φιλοξενούνται οι εφαρμογές μέσα σε μία συσκευή ZigBee

ZigBee – Στοιβά Πρωτοκόλλων

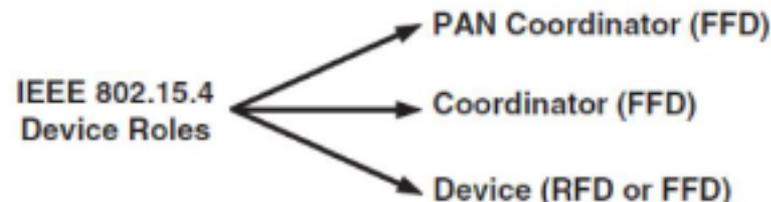
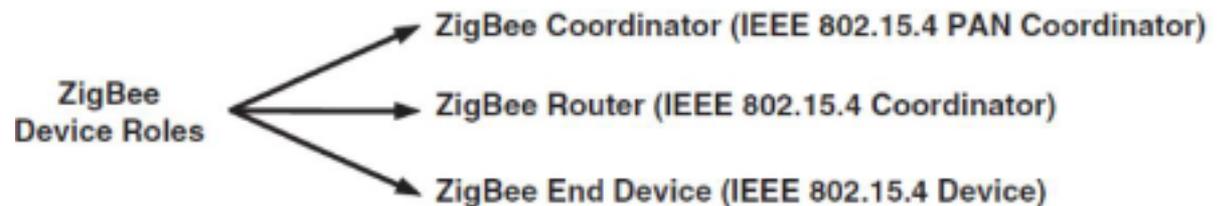
48



ZigBee – Τύποι και ρόλοι συσκευών

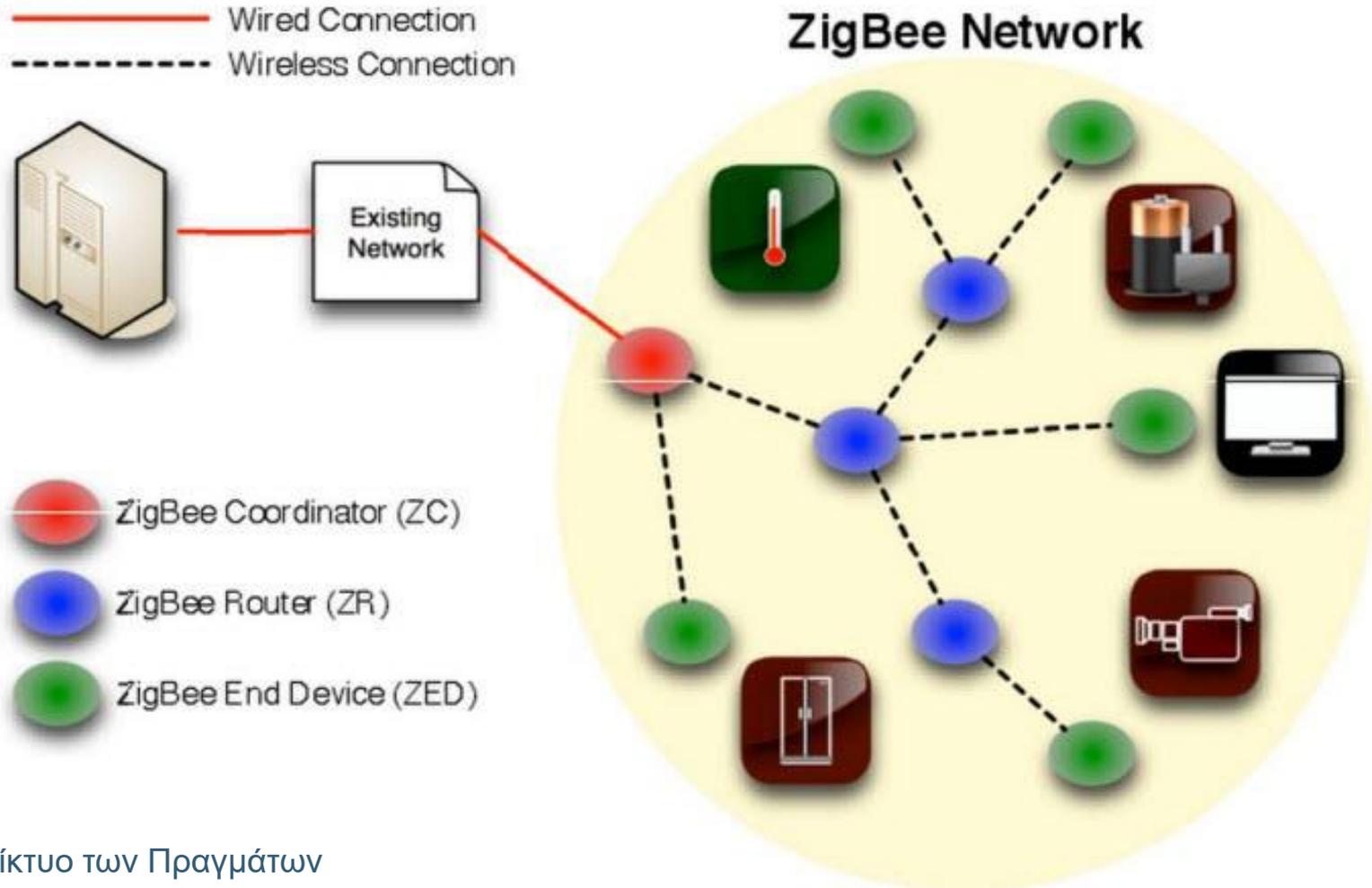
49

- Το πρότυπο ZigBee χρησιμοποιεί παρόμοια ορολογία για τους τύπους συσκευών με το 802.15.4.
- Ένας συντονιστής ZigBee είναι ο αντίστοιχος IEEE 802.15.4 PAN coordinator
- Ένας δρομολογητής ZigBee (ZigBee router) είναι μια συσκευή που μπορεί να λειτουργήσει ως ένας IEEE 802.15.4 συντονιστής, ενώ μία τερματική συσκευή ZigBee (ZigBee end device), είναι μια συσκευή που δεν είναι ούτε συντονιστής ούτε δρομολογητής



ZigBee – Τύποι και ρόλοι συσκευών

50



ZigBee – Μηχανισμός Διευθυνσιοδότησης

51

- Θεωρούμε τοπολογία συμπλέγματος-δέντρου (clustertree), όπου ένας συντονιστής (coordinator) ZigBee βρίσκεται στη ρίζα του δέντρου και δημιουργεί το αρχικό δίκτυο
- Οι δρομολογητές (routers) ZigBee σχηματίζουν τις διακλαδώσεις και αναμεταδίδουν τα μηνύματα.
- Οι τερματικές συσκευές (end devices) ZigBee δρουν ως φύλλα του δένδρου και δεν συμμετέχουν στη δρομολόγηση των μηνυμάτων

ZigBee – Μηχανισμός Διευθυνσιοδότησης

52

- Για τη μετάδοση δεδομένων σε ένα δίκτυο, οι συσκευές χρησιμοποιούν μία διεύθυνση με μήκος **16 bits**
- Οι διευθύνσεις αυτές είναι μοναδικές μέσα σε ένα συγκεκριμένο δίκτυο και δίνονται από τον **γονέα** (συντονιστής, δρομολογητής) στα **παιδιά** του (άλλος δρομολογητής ή τερματική συσκευή)
- Κατά τη δημιουργία ενός δικτύου, ο συντονιστής του έχει την διεύθυνση 0
- Σε κάθε γονέα εκχωρείται ένα εύρος διευθύνσεων από τον συντονιστή (coordinator)

ZigBee – Μηχανισμός Διευθυνσιοδότησης

53

- Κατά την εγκαθίδρυση του δικτύου, ο συντονιστής καθορίζει τον μέγιστο αριθμό δρομολογητών (R_m) και τον μέγιστο αριθμό συσκευών (D_m), οι οποίες θα είναι παιδιά των δρομολογητών
- Για κάθε συσκευή ενός δικτύου ορίζεται μία παράμετρος, το βάθος (depth), η οποία δείχνει τον ελάχιστο αριθμό των βημάτων προς τον συντονιστή του δικτύου, χρησιμοποιώντας μόνο συνδέσεις μεταξύ γονέα-παιδιού
- Ο συντονιστής καθορίζει το μέγιστο βάθος (L_m) του δέντρου
- Ο συντονιστής έχει βάθος 0, ενώ τα παιδιά του έχουν βάθος 1

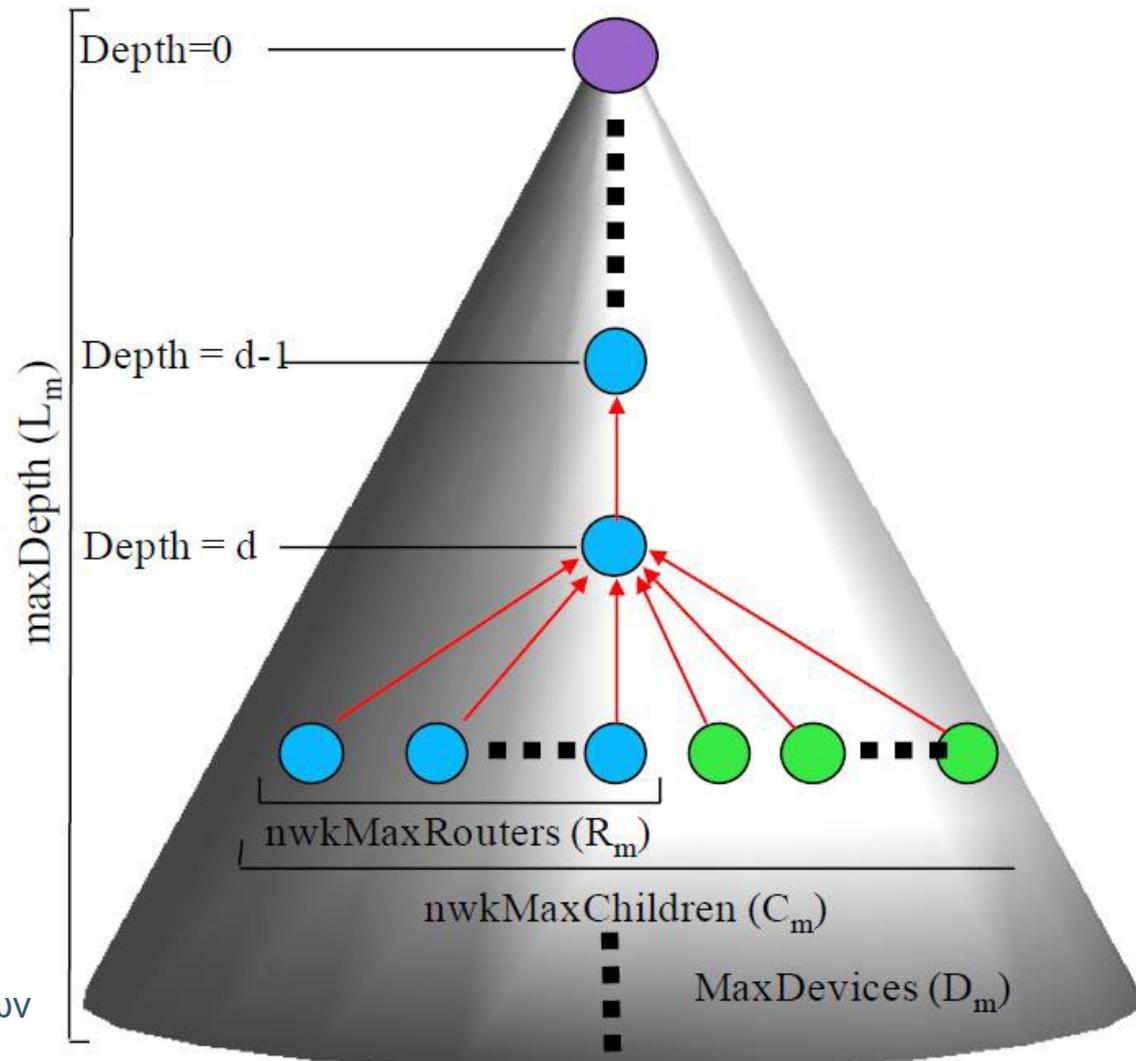
ZigBee – Μηχανισμός Διευθυνσιοδότησης

54

- Κάθε γονέας που βρίσκεται σε βάθος d , εκχωρεί στα παιδιά-δρομολογητές ένα σύνολο N συνεχόμενων διευθύνσεων
- Από αυτό το σύνολο, κάθε παιδί κρατάει την πρώτη διεύθυνση για δική του και τις υπόλοιπες τις εκχωρεί στα δικά του παιδιά, με τον ίδιο τρόπο

ZigBee – Μηχανισμός Διευθυνσιοδότησης

55



ZigBee – Μηχανισμός Διευθυνσιοδότησης

56

- Ο αριθμός $A(d)$ των διευθύνσεων που μπορούν να εκχωρηθούν από έναν δρομολογητή σε βάθος $d < L_m$ σε άλλους δρομολογητές ή συσκευές ορίζεται ως εξής:

$$A(d) = \begin{cases} 1 + D_m + R_m, & d = L_m - 1 \\ 1 + D_m + R_m A(d+1), & 0 \leq d < L_m - 1 \end{cases}$$

ZigBee – Μηχανισμός Διευθυνσιοδότησης

57

- Ένας δρομολογητής σε βάθος d μπορεί να εκχωρήσει διευθύνσεις στην περιοχή:

$$[x, x + A(d) - 1]$$

- Μπορεί να εκχωρήσει στο i -στό παιδί-δρομολογητή διευθύνσεις στην περιοχή:

$$[x + (i - 1)A(d + 1) + 1, x + iA(d + 1)], 1 \leq i \leq R_m$$

- Μπορεί να εκχωρήσει στο j -στό παιδί-συσσκευή την διεύθυνση:

$$x + R_m A(d + 1) + j, 1 \leq j \leq D_m$$

ZigBee – Μηχανισμός Διευθυνσιοδότησης

58

□ Παράδειγμα 1

- Θεωρούμε: $R_m = 2, D_m = 2, L_m = 3$

$$A(0) = 1 + D_m + R_m A(d+1) = 1 + 2 + 2A(1) = 29$$

$$A(1) = 1 + D_m + R_m A(d+1) = 1 + 2 + 2A(2) = 13$$

$$A(2) = 1 + D_m + R_m = 1 + 2 + 2 = 5$$

ZigBee – Μηχανισμός Διευθυνσιοδότησης

59

□ Παράδειγμα 1 (συνέχεια)

- Ο συντονιστής (βάθος 0) μπορεί να εκχωρήσει διευθύνσεις στην περιοχή:

$$[0, 0 + A(0) - 1] = [0, 28]$$

- Μπορεί να εκχωρήσει στο 1ο παιδί-δρομολογητή διευθύνσεις στην περιοχή:

$$[0 + (1 - 1)A(0 + 1) + 1, 0 + 1A(0 + 1)] = [1, 13]$$

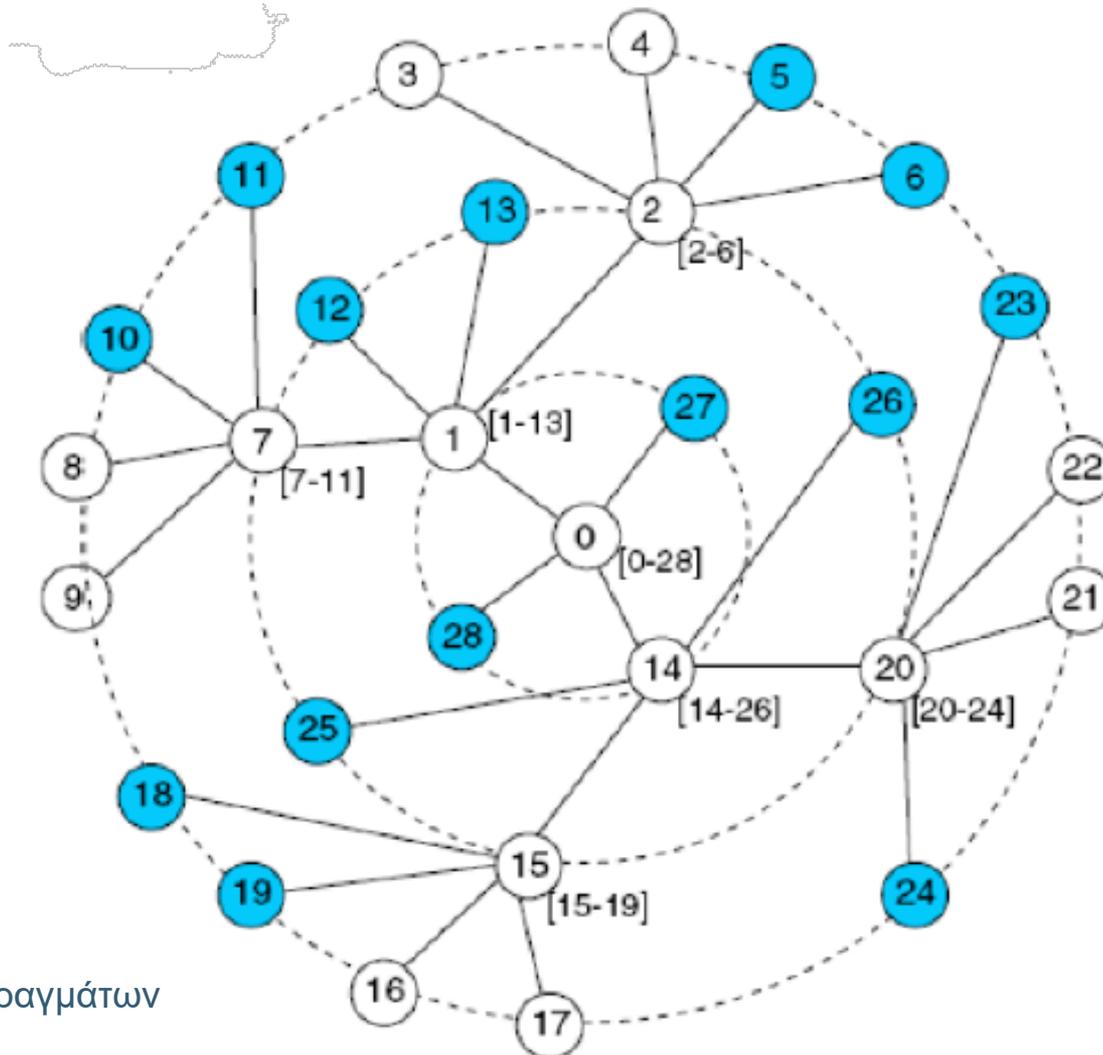
- Μπορεί να εκχωρήσει στην 1η και στην 2η συσκευή-παιδί τις διευθύνσεις:

$$0 + 2A(0 + 1) + 1 = 27$$

$$0 + 2A(0 + 1) + 2 = 28$$

ZigBee – Μηχανισμός Διευθυνσιοδότησης

60



ZigBee – Μηχανισμός Διευθυνσιοδότησης

61

□ Παράδειγμα 2

- Θεωρούμε: $R_m = 3, D_m = 2, L_m = 3$
- Βρείτε την περιοχή διευθύνσεων, τις οποίες μπορεί να εκχωρήσει ο συντονιστής σε δρομολογητές και τερματικές συσκευές

$$A(0) = 1 + D_m + R_m A(d+1) = 1 + 2 + 3A(1) = 66$$

$$A(1) = 1 + D_m + R_m A(d+1) = 1 + 2 + 3A(2) = \boxed{21}$$

$$A(2) = 1 + D_m + R_m = 1 + 2 + 3 = \boxed{6}$$

Ο συντονιστής (βάθος 0) μπορεί να εκχωρήσει διευθύνσεις στην περιοχή [0, 65]

WirelessHART

62

- Το πρότυπο WirelessHART παρέχει ένα πρωτόκολλο ασύρματης επικοινωνίας για **μετρήσεις διεργασιών** και **εφαρμογές ελέγχου** σε βιομηχανικά περιβάλλοντα
- Είναι η ασύρματη εκδοχή του βιομηχανικού πρωτοκόλλου HART (Highway Addressable Remote Transducer) για εφαρμογές αυτοματισμού
- Χρησιμοποιεί συνήθως τοπολογία πλέγματος και τεχνική πολλαπλής πρόσβασης TDMA
- Στηρίζεται στο πρότυπο IEEE 802.15.4 (PHY και MAC) για λειτουργία χαμηλής ισχύος στα 2.4 GHz και είναι συμβατό με όλες τις συσκευές, εργαλεία και συστήματα, προσφέροντας αξιοπιστία, ασφάλεια και ενεργειακή απόδοση

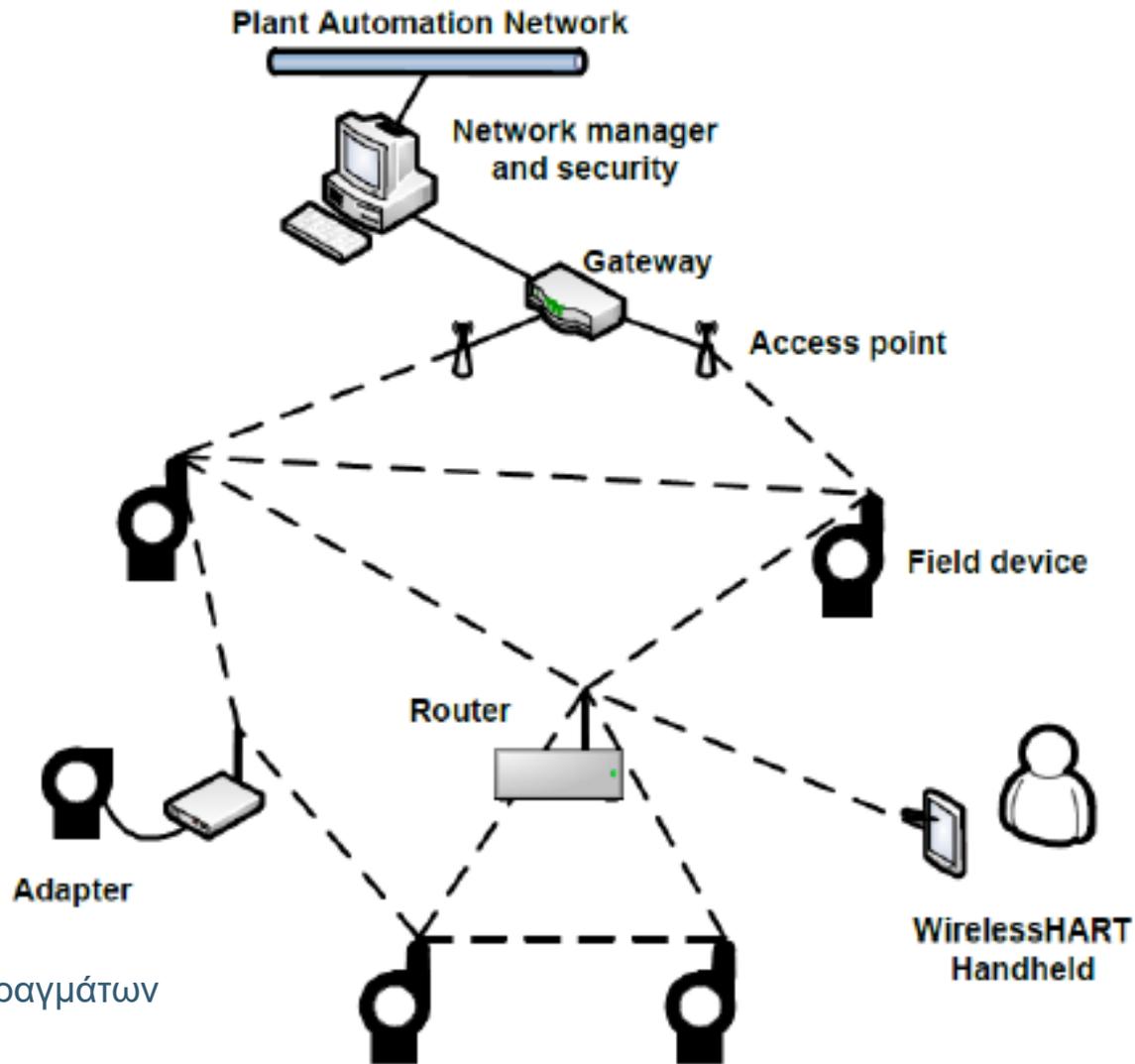
WirelessHART

63

- Τα τέσσερα βασικά στοιχεία ενός δικτύου είναι ο Διαχειριστής Δικτύου (Network Manager), ο Διαχειριστής Ασφαλείας (Security Manager), η Πύλη/Σημείο Πρόσβασης (Gateway/Access Point) και οι συσκευές του δικτύου (Field Devices)
- Περιλαμβάνει πέντε επίπεδα του μοντέλου OSI: το φυσικό επίπεδο, το επίπεδο ζεύξης δεδομένων, το επίπεδο δικτύου, το επίπεδο μεταφοράς και το επίπεδο εφαρμογής

WirelessHART – Αρχιτεκτονική

64



Διαδίκτυο των Πραγμάτων

ISA100.11a

65

- Είναι ένα ανοιχτό πρότυπο και αναπτύχθηκε από την διεθνή κοινότητα αυτοματισμού (International Society of Automation – ISA) για χρήση σε **βιομηχανικά δίκτυα** και για εφαρμογές ασύρματης επίβλεψης
- Έχει τη δυνατότητα να γεφυρώνει διαφορετικές τεχνολογίες ασύρματων και ενσύρματων δικτύων
- Εξυπηρετεί έως 250 αισθητήρες, εξασφαλίζει μικρή κατανάλωση ενέργειας και παρέχει εμβέλεια έως 100 μέτρα
- Χρησιμοποιεί την ελεύθερη ζώνη συχνοτήτων ISM των 2.4 GHz και υποστηρίζει ρυθμό μετάδοσης δεδομένων 250 kbps, σε τοπολογίες πλέγματος και δέντρου
- Υποστηρίζει πολλαπλή πρόσβαση με διαίρεση χρόνου (TDMA) και με ανίχνευση φέροντος (Carrier Sense Multiple Access – CSMA), καθώς και ένα υβριδικό συνδυασμό των δύο

ISA100.11a

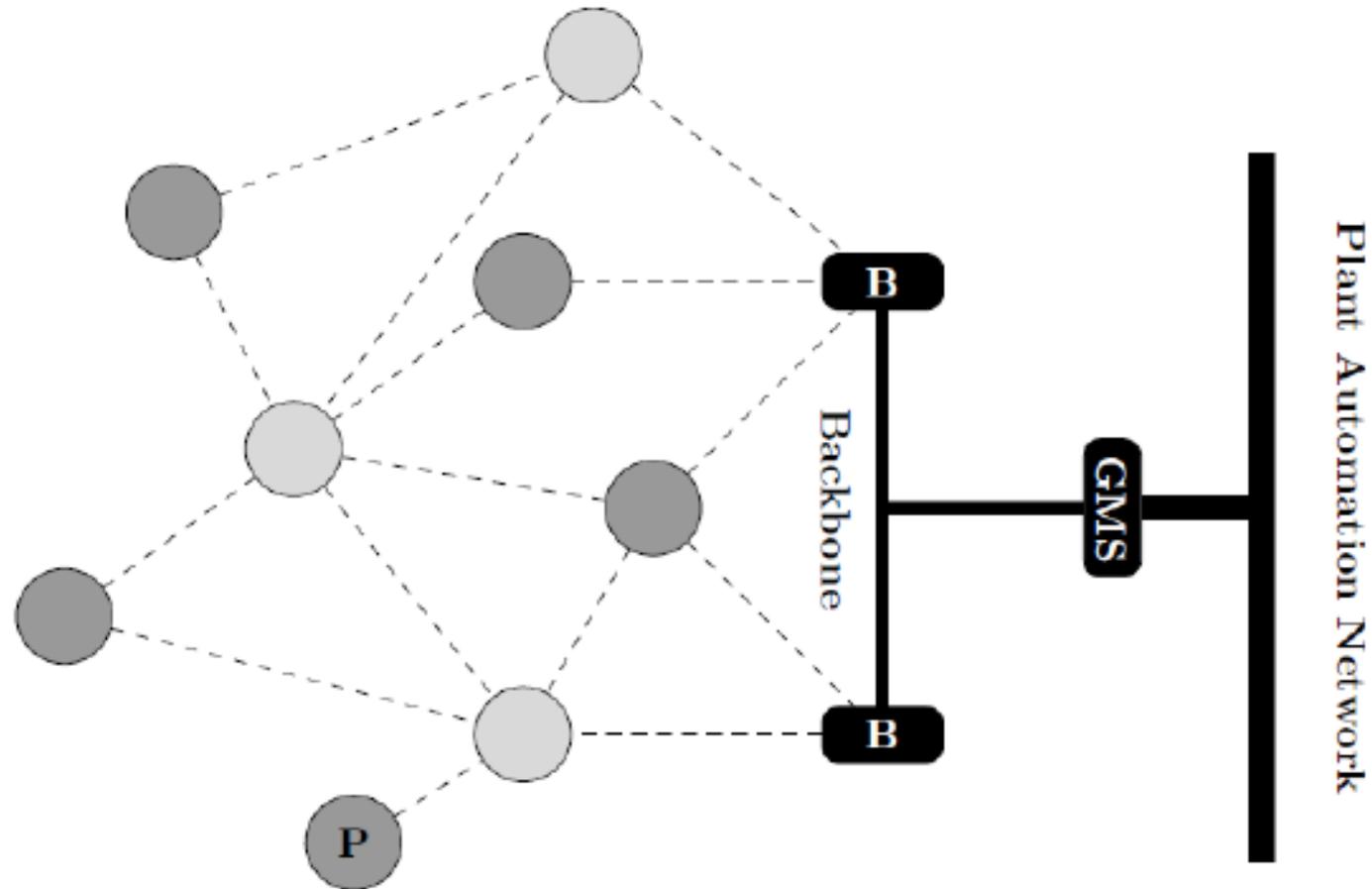
66

- Είναι ανθεκτικό στον θόρυβο των βιομηχανικών περιοχών και υποστηρίζει κρυπτογράφηση AES 128-bit
- Αξιοποιεί την IPv6 διευθυνσιοδότηση για την απ' άκρη εις άκρη δρομολόγηση
- Καθορίζει τα επίπεδα εφαρμογής, μεταφοράς, δικτύου, σύνδεσης δεδομένων, ενώ τα επίπεδα ελέγχου πρόσβασης μέσου (MAC) και το φυσικό επίπεδο (PHY) ορίζονται από το πρότυπο 802.15.4
- Χρησιμοποιεί επτά τύπους συσκευών: πύλη (gateway), διαχειριστή του συστήματος (system manager), διαχειριστή ασφάλειας (security manager), δρομολογητή (router), δρομολογητή κορμού (backbone router), συσκευές εισόδου/εξόδου (IO devices) και φορητές συσκευές (portable devices)

ISA100.11a – Αρχιτεκτονική

67

- Router device
- IO device
- B - Backbone router
- G - Gateway
- M - System manager
- S - Security manager
- P - Portable device



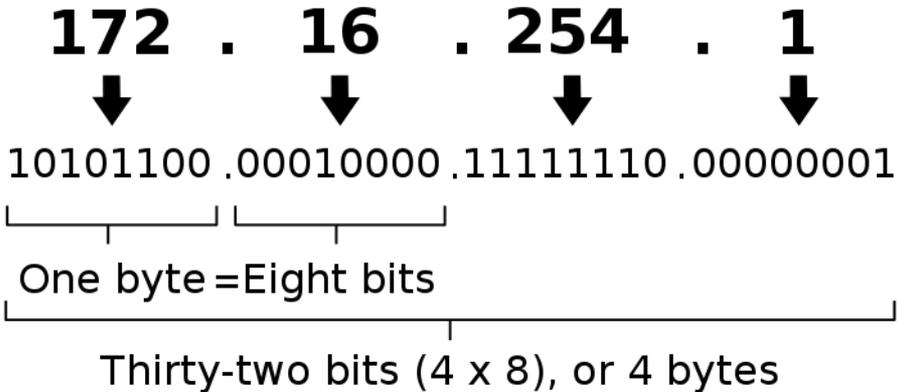
6LoWPAN

68

- Σκοπός του IoT είναι η ολοκλήρωση διαφόρων τεχνολογιών και επικοινωνιακών πρωτοκόλλων σε ένα παγκόσμιο και ενιαίο δίκτυο
- Στο δίκτυο αυτό θα ανήκουν και συσκευές οι οποίες θα πρέπει να υποστηρίζουν το **IP πρωτόκολλο**
- Ο αριθμός, όμως, των συσκευών θα είναι πολύ μεγάλος και σε κάθε μία από τις συσκευές θα πρέπει να ανατεθεί μία μοναδική IP διεύθυνση, η οποία και θα αποτελεί την ταυτότητα της συσκευής
- Για να λύσουμε το παραπάνω πρόβλημα, αρκεί να αξιοποιήσουμε το πρωτόκολλο **IPv6**, το οποίο χρησιμοποιεί διευθύνσεις 128-bit, σε αντίθεση με το IPv4, το οποίο χρησιμοποιεί διευθύνσεις 32-bit

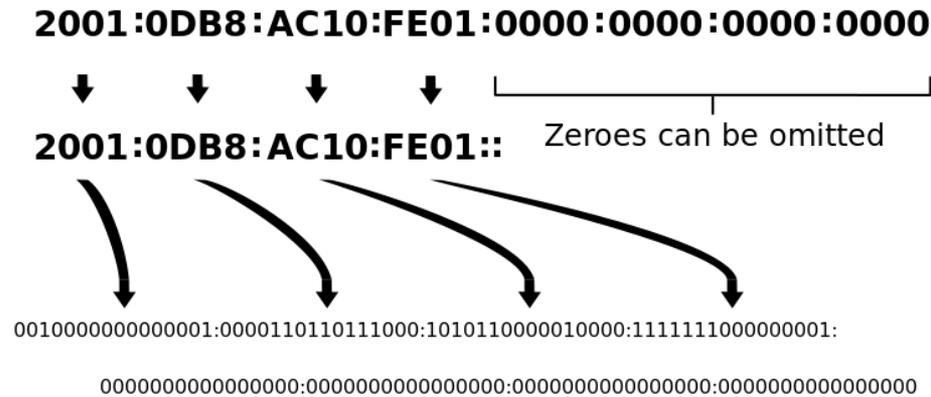
6LoWPAN

An IPv4 address (dotted-decimal notation)



IPv4: 7×10^{-6} addresses/m²

An IPv6 address (in hexadecimal)



IPv6: 6.7×10^{23} addresses/m²

6LoWPAN

70

- Το IPv6 επιτρέπει τη δημιουργία 2^{128} διευθύνσεων, οι οποίες θεωρούνται αρκετές για το όραμα του IoT
- Η ομάδα εργασίας Internet Engineering Task Force (IETF) πρότεινε το ανοικτό πρότυπο ασύρματης επικοινωνίας 6LoWPAN και καθόρισε τα κριτήρια για την αποδοτική προσαρμογή του πρωτοκόλλου IPv6 πάνω στο πρότυπο IEEE 802.15.4
- Το όνομα του 6LoWPAN προέρχεται από τα αρχικά των λέξεων IPv6 over Low power Wireless Personal Area Networks
- Το 6LoWPAN μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε συνδυασμό με άλλες τεχνολογίες δικτύωσης (π.χ., Ethernet, Wi-Fi, 802.15.4)

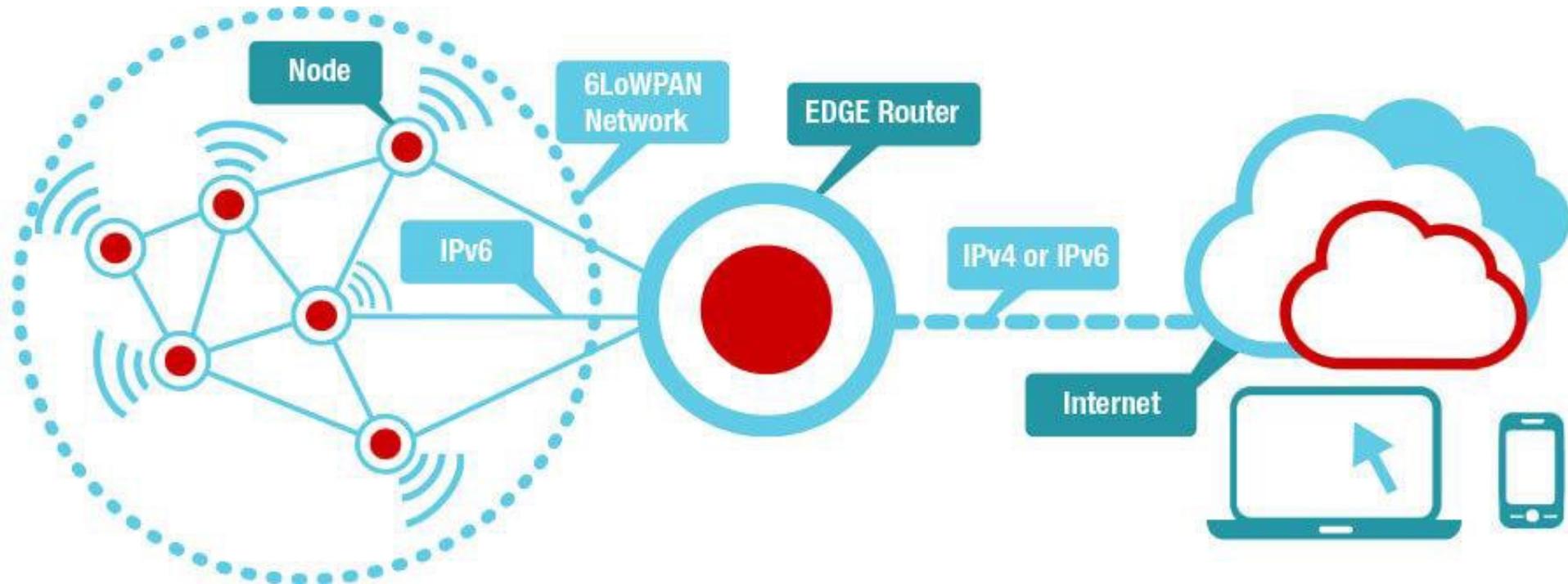
6LoWPAN

71

- Το 6LoWPAN υποστηρίζει τοπολογία αστέρα, πλέγματος και συνδυασμό των δύο
- Η αποστολή δεδομένων γίνεται με μικρά πακέτα των 128 bytes, με ρυθμό μετάδοσης δεδομένων 20-250 kbps σε απόσταση 10-30 μέτρων, ανάλογα με την επιλεγμένη συχνότητα λειτουργίας και τη διαμόρφωση

6LoWPAN – Αρχιτεκτονική

72



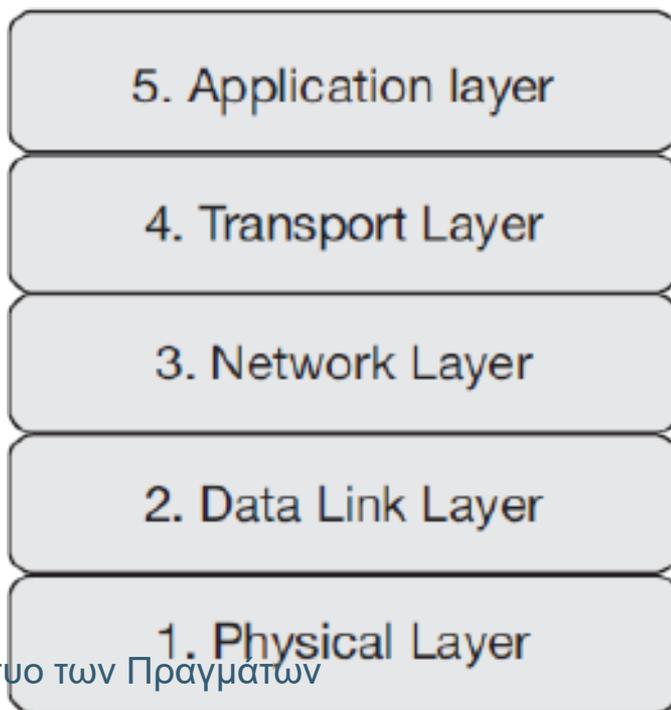
Τα πρωτόκολλα IPv4 και IPv6 αναλαμβάνουν την παράδοση των δεδομένων για τα τοπικά, τα μητροπολιτικά και τα δίκτυα ευρείας περιοχής, όπως το Internet

6LoWPAN – Επίπεδα Δικτύου

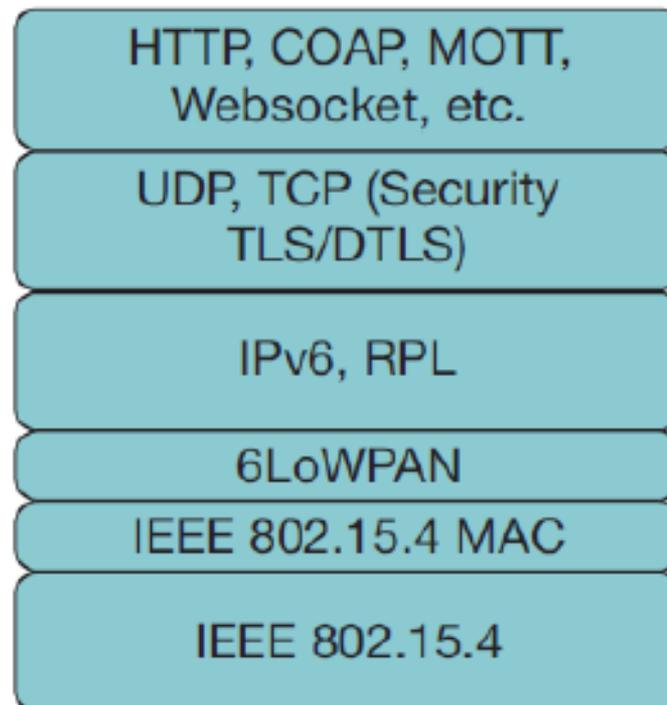
73

- Το 6LoWPAN ορίζει τα ανώτερα επίπεδα του δικτύου, ενώ τα κατώτερα (PHY και MAC) ορίζονται από το πρότυπο IEEE 802.15.4

Simplified OSI model



6LoWPAN stack example



6LoWPAN – Συμπύεση Επικεφαλίδας

74

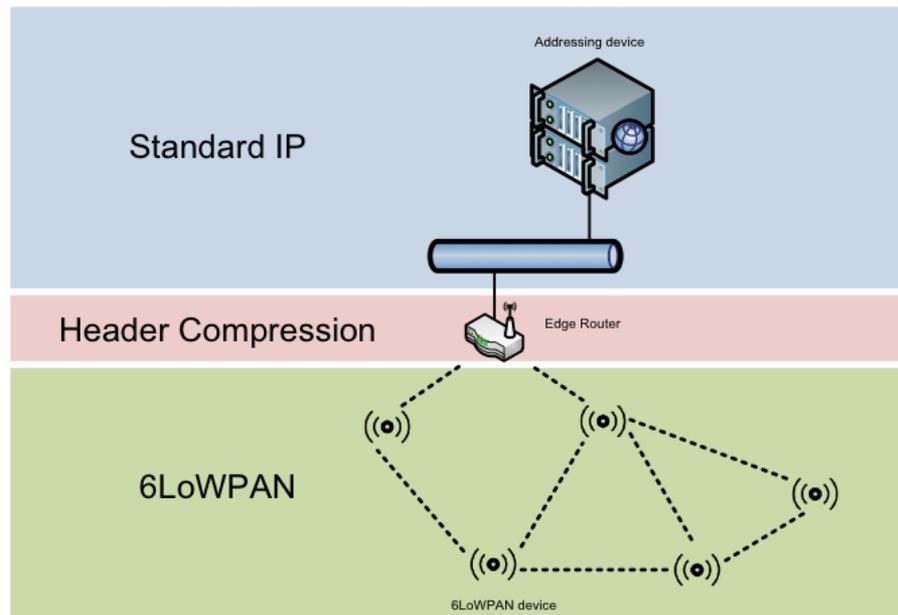
- Ένα πακέτο IPv6 αποτελείται από 2 μέρη: Την επικεφαλίδα και τα δεδομένα
- Η επικεφαλίδα αποτελείται από ένα σταθερό τμήμα με την ελάχιστη λειτουργικότητα που είναι απαραίτητη για όλα τα πακέτα και μπορεί να ακολουθείται από προαιρετικές επεκτάσεις που υλοποιούν ειδικά χαρακτηριστικά
- Το σταθερό μέρος της επικεφαλίδας καταλαμβάνει **40 bytes**



6LoWPAN – Συμπίεση Επικεφαλίδας

75

- Στο 6LoWPAN καθορίζεται η δομή και οι μηχανισμοί ενθυλάκωσης και συμπίεσης των κεφαλίδων, ώστε να επιτρέπεται σε πακέτα IPv6 να κυκλοφορούν σε δίκτυα περιορισμένων ενεργειακών πόρων βασισμένα στο πρωτόκολλο IEEE 802.15.4
- Στο 6LoWPAN προτείνεται η εισαγωγή ενός επιπέδου προσαρμογής πάνω από το επίπεδο ζεύξης δεδομένων του IEEE 802.15.4 για τη συμπίεση της επικεφαλίδας (header compression)

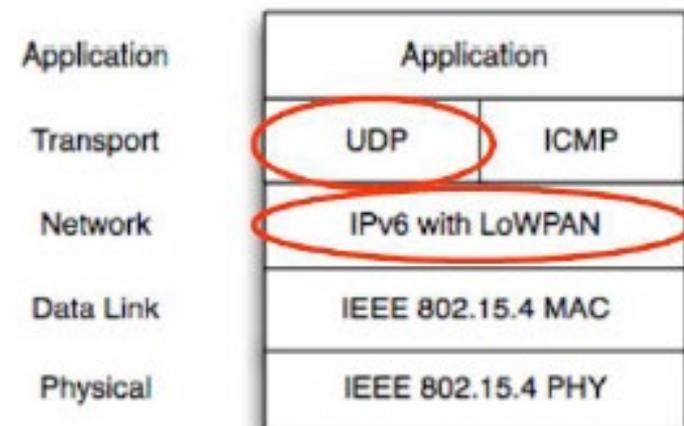


6LoWPAN – Συμπίεση Επικεφαλίδας

76

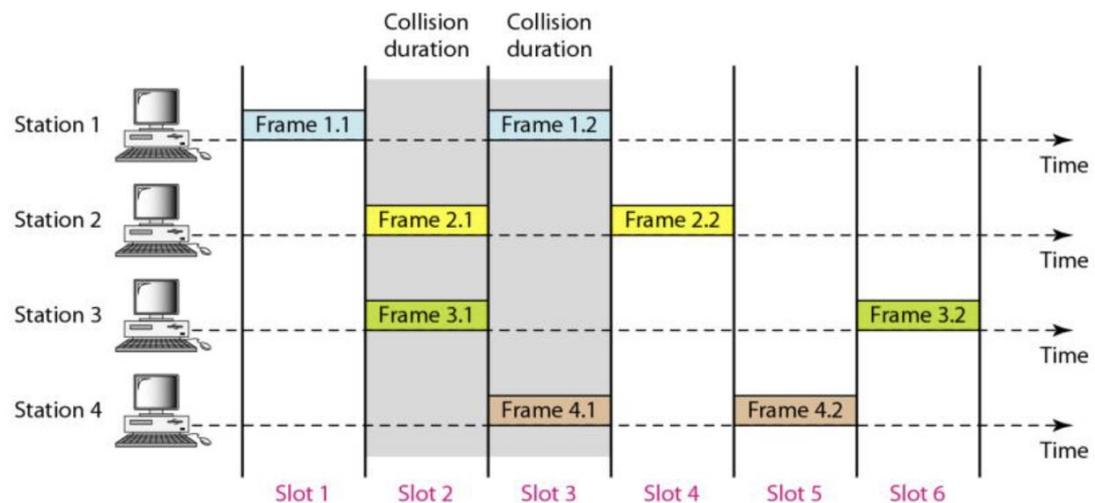
- Στο επίπεδο αυτό, μέσω ειδικών τεχνικών συμπίεσης, εξαλείφονται περιττές (μη απαραίτητες) πληροφορίες του επιπέδου του δικτύου και επιτυγχάνεται η συμπίεση του πεδίου της επικεφαλίδας από 40 bytes σε **4 bytes**, μέγεθος κατάλληλο για εφαρμογές IoT
- Επιπλέον, εφαρμόζεται συμπίεση της επικεφαλίδας (header compression) και για το πρωτόκολλο του επιπέδου μεταφοράς **UDP**

6LoWPAN Protocol Stack



Slotted ALOHA – Ορισμός

- Πρωτόκολλο τυχαίας πρόσβασης (Random Access MAC)
- Ο χρόνος χωρίζεται σε ισομήκη χρονικά slots
- Μετάδοση επιτρέπεται μόνο στην αρχή κάθε slot
- 1 μετάδοση → επιτυχία
- ≥ 2 μεταδόσεις → σύγκρουση
- 0 μεταδόσεις → αδρανές slot



Slotted ALOHA – Λειτουργία σε IoT / LoRa

- Κατάλληλο για sporadic IoT traffic
- Χαμηλή πολυπλοκότητα – χωρίς carrier sensing
- Μετά από σύγκρουση εφαρμόζεται τυχαίο backoff
- Δηλαδή κάθε κόμβος περιμένει τυχαίο αριθμό χρονοσχισμές πριν προσπαθήσει ξανά να στείλει.
- Ιδανικό για battery-powered nodes
- Μέγιστη απόδοση: $S_{max} = 1/e \approx 36.8\%$

Slotted ALOHA – Λειτουργία σε IoT / LoRa

- Έστω ένα πρωτόκολλο IoT που διαμοιράζει τον δίαυλο στους χρήστες με πρωτόκολλο Slotted Aloha. Έστω ότι N sensor units προσπαθούν να μεταδώσουν δεδομένα.
- Κάθε sensor unit δοκιμάζει μετάδοση σε μια χρονοσχισμή ανεξάρτητα με πιθανότητα p .

Πιθανότητα σύγκρουσης:

$$P(K \geq 2)$$

Όπου K ο αριθμός των χρηστών που δοκιμάζουν μετάδοση σε μια χρονοσχισμή

Χρησιμοποιούμε την συμπληρωματική πιθανότητα:

$$P(K \geq 2) = 1 - P(K = 0) - P(K = 1)$$

Slotted ALOHA – Λειτουργία σε IoT / LoRa

Πιθανότητα να μην εκπέμπει κανένας:

$$P(K = 0) = \underbrace{(1-p)(1-p) \dots (1-p)}_{N \text{ χρήστες με } (1-p) \text{ ο καθένας}} = (1-p)^N$$

Πιθανότητα να εκπέμπει ακριβώς ένας:

Η πιθανότητα να εκπέμπει ο k-οστός χρήστης και μόνο αυτός είναι p για τον χρήστη και (1-p) για όλους του άλλους (N-1). Άρα: $(1-p)^{N-1}p$

Όμως αυτό υπολογίζεται για όλους του N χρήστες ξεχωριστά $(1-p)^{N-1}p$ ο καθένας. Άρα ένας ακριβώς (ανεξαρτήτως ποιος) είναι N φορές το παραπάνω:

$$P(K = 1) = Np(1-p)^{N-1}$$

Πιθανότητα σύγκρουσης:

$$P(K \geq 2) = 1 - P(K = 0) - P(K = 1) = 1 - (1-p)^N - Np(1-p)^{N-1}$$

Slotted ALOHA – Λειτουργία σε IoT / LoRa

Μη μηδενική διέλευση δεδομένων έχω μόνον για $P(K = 1)$. Διαφορετικά είτε δεν έχω κανέναν να εκπέμπει είτε έχω σύγκρουση.

Άρα αν το μέσο μετάδοσης υποστηρίζει ρυθμό R bps, τότε ο ρυθμός διέλευσης είναι:

$$\text{Throughput} = P(K = 1)R = RNp(1 - p)^{N-1}$$

LoRaWAN Class A & Slotted ALOHA

- Τα uplink πακέτα ακολουθούν ALOHA-like πρόσβαση
- Οι συσκευές μεταδίδουν όταν έχουν δεδομένα
- Οι συγκρούσεις συμβαίνουν στο uplink
- Μετά από uplink ανοίγουν 2 RX windows
- Ο συγχρονισμός μπορεί να βελτιώσει την απόδοση (Slotted ALOHA)

Thread

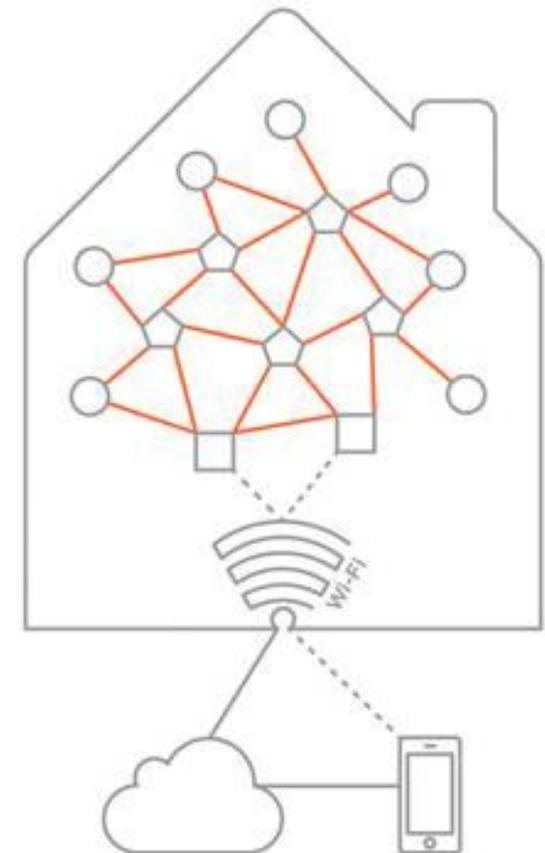
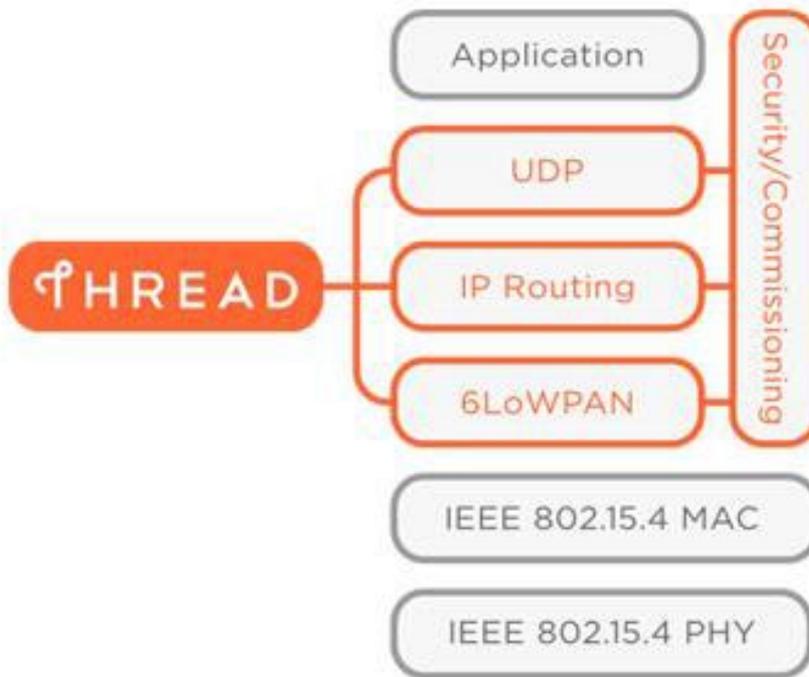
83

- Είναι ένα πρότυπο βασισμένο στο IEEE 802.15.4 (PHY/MAC) και το 6LowPAN
- Χρησιμοποιεί συχνότητες 2.4 GHz (ISM) και τοπολογία πλέγματος
- Αποτελεί μια καινούργια λύση βασισμένη στο IPv6 που στοχεύει σε χρήση σε εφαρμογές αυτοματισμού σπιτιών
- Αρχικά είχε σχεδιαστεί ως συμπληρωματικό στο Wi-Fi, αλλά προσφέρει σημαντικά χαμηλότερη ενεργειακή κατανάλωση
- Μπορεί να υποστηρίξει μέχρι και 250 κόμβους με υψηλά επίπεδα επικύρωσης χρήστη και χρησιμοποιεί το Προηγμένο Πρότυπο Κρυπτογράφησης (Advanced Encryption Standard - AES)

Thread

84

Thread Networking Protocol Stack and Home Network



THREAD

○ Host ⬠ Router □ Border Router

— Thread Network Connection

Z-Wave

85

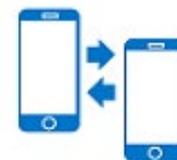
- Είναι ένα πρότυπο σχεδιασμένο για χρήση σε αυτοματισμούς σπιτιών (π.χ. έλεγχο φωτισμού, συναγερμού και παραθύρων)
- Τις προδιαγραφές του καθορίζει η Z-Wave Alliance και κατασκευαστής είναι η Sigma Designs
- Χρησιμοποιεί συχνότητες 868.42 MHz (Ευρώπη), 908.42 MHz (Β. Αμερική), καθώς και άλλες συχνότητες σε άλλες χώρες. Άρα, δεν υπάρχουν παρεμβολές με το WiFi
- Η εμβέλεια του φτάνει τα 30 m, ενώ οι ρυθμοί μετάδοσης δεδομένων φτάνουν τα 100 kbps
- Παρέχει αξιόπιστη επικοινωνία μικρής καθυστέρησης
- Χρησιμοποιείται τοπολογία πλέγματος

- Η Ασύρματη Επικοινωνία Κοντινού Εύρους (Near Field Communication – NFC) είναι μία τεχνολογία ασύρματης επικοινωνίας που βασίζεται στο πρότυπο ISO/IEC 13157
- Οι συμβατές συσκευών βρίσκονται σε πολύ μικρή απόσταση μεταξύ τους (10 cm)
- Χρησιμοποιείται, κυρίως, σε κινητά τηλέφωνα και γενικά σε φορητές συσκευές, ενώ μπορεί να συνεισφέρει στις χρηματικές ανέπαφες συναλλαγές (contactless)
- Η τεχνολογία αυτή είναι στην ουσία μία διαφοροποίηση της τεχνολογίας RFID, η οποία συνδυάζει στην ίδια συσκευή τις δυνατότητες αποθήκευσης δεδομένων και διαβάσματος
- Στηρίζεται στο φαινόμενο της επαγωγής, μέσω του μαγνητικού πεδίου, ανάμεσα στις κεραίες των συσκευών

NFC

88

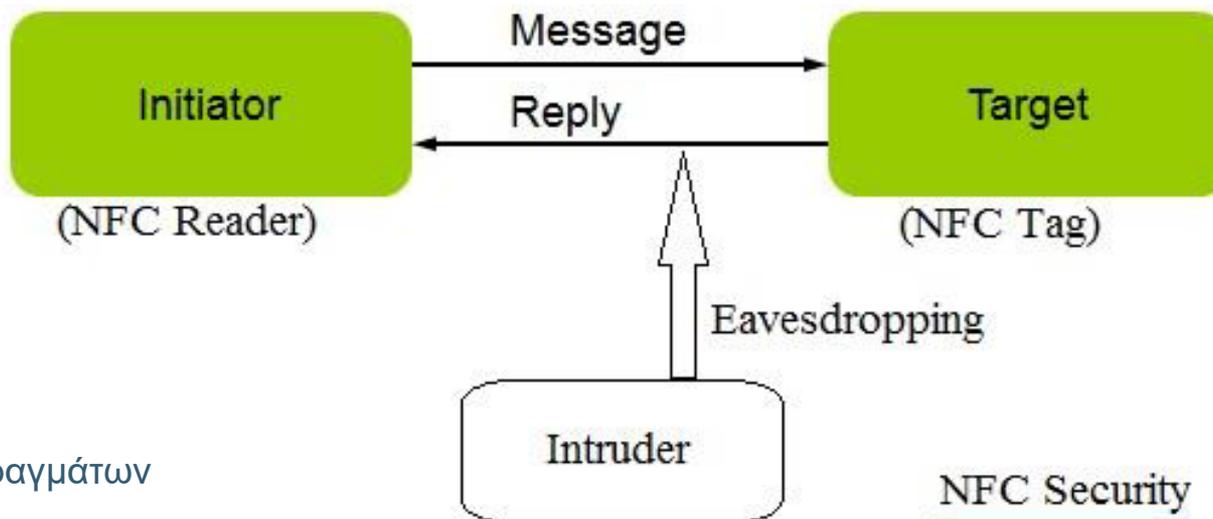
- Η συχνότητα διαμόρφωσης των σημάτων που εκπέμπονται είναι τα 13.56 MHz (ISM)
- Οι ρυθμοί μεταφοράς των δεδομένων φτάνουν τα 420 kbps
- Το NFC μπορεί να βρίσκεται σε 3 διαφορετικές καταστάσεις λειτουργίας
 - **Read/Write:** Η μια συσκευή είναι ενεργή (active) και η άλλη παθητική (passive) και επιτρέπει τη μετάδοση και λήψη δεδομένων
 - **Card emulation:** Επιτρέπει στις NFC συσκευές να συμπεριφέρονται σαν έξυπνη κάρτα
 - **Peer-to-peer:** Επιτρέπει την ανταλλαγή δεδομένων με τρόπο adhoc



NFC

89

- Κατά την ανταλλαγή των δεδομένων δεν χρησιμοποιείται κάποια μέθοδος κρυπτογράφησης και το κανάλι μετάδοσης είναι διαθέσιμο στο ευρύτερο περιβάλλον
- Ο κακόβουλος χρήστης, ο οποίος επιχειρεί να υποκλέψει δεδομένα, ονομάζεται ωτακουστής (eavesdropper).
- Ένας ακόμη τρόπος επίθεσης είναι η αλλαγή των μεταδιδόμενων δεδομένων



Σύγκριση Τεχνολογιών Μικρής Εμβέλειας και Χαμηλής Κατανάλωσης

90

Τεχνολογία	Συχνότητα	Ρυθμός Μετάδοσης Δεδομένων	Εμβέλεια
Infrared	~300 GHz	2.4 kbps – 16 Mbps	0.2-0.3 m
802.11ah	900 MHz	έως 40 Mbps	1000 m
Bluetooth Smart	2.4 GHz	1 Mbps	5-100 m
ZigBee	2.4 GHz	250 kbps	10-100 m
WirelessHART	2.4 GHz	έως 10 Mbps	50 m
ISA100.11a	2.4 GHz	250 kbps	100 m
6LoWPAN	2.4 GHz	250 kbps	10-30 m
Thread	2.4 GHz	250 kbps	40 m
Z-Wave	868 MHz (Ευρώπη)	100 kbps	30 m
NFC	13.56 MHz	420 kbps	0.1 m