



Co-funded by the
Erasmus+ Programme
of the European Union

Digital Broadcasting and Broadband Technologies (Master Studies)
Erasmus+ Project No. 561688-EPP-1-2015-1-XK-EPPKA2-CBHE-JP

This project has been founded with support from the European Commission

This publication[communication] reflects the views only of the author, and
the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of
the information contained therein.

DBBT

**Digital Broadcasting &
Broadband Technologies**

Wireless Personal Area Networks (WPANs)

Sadržaj

- IEEE Project 802 i 802.15 Working Group
- Koegzistencija mreža (IEEE 802.15.2)
- LR-WPAN (Low Rate-WPAN): ZigBee i IEEE 802.15.4

IEEE Project 802 i 802.15 Working Group

IEEE Project 802

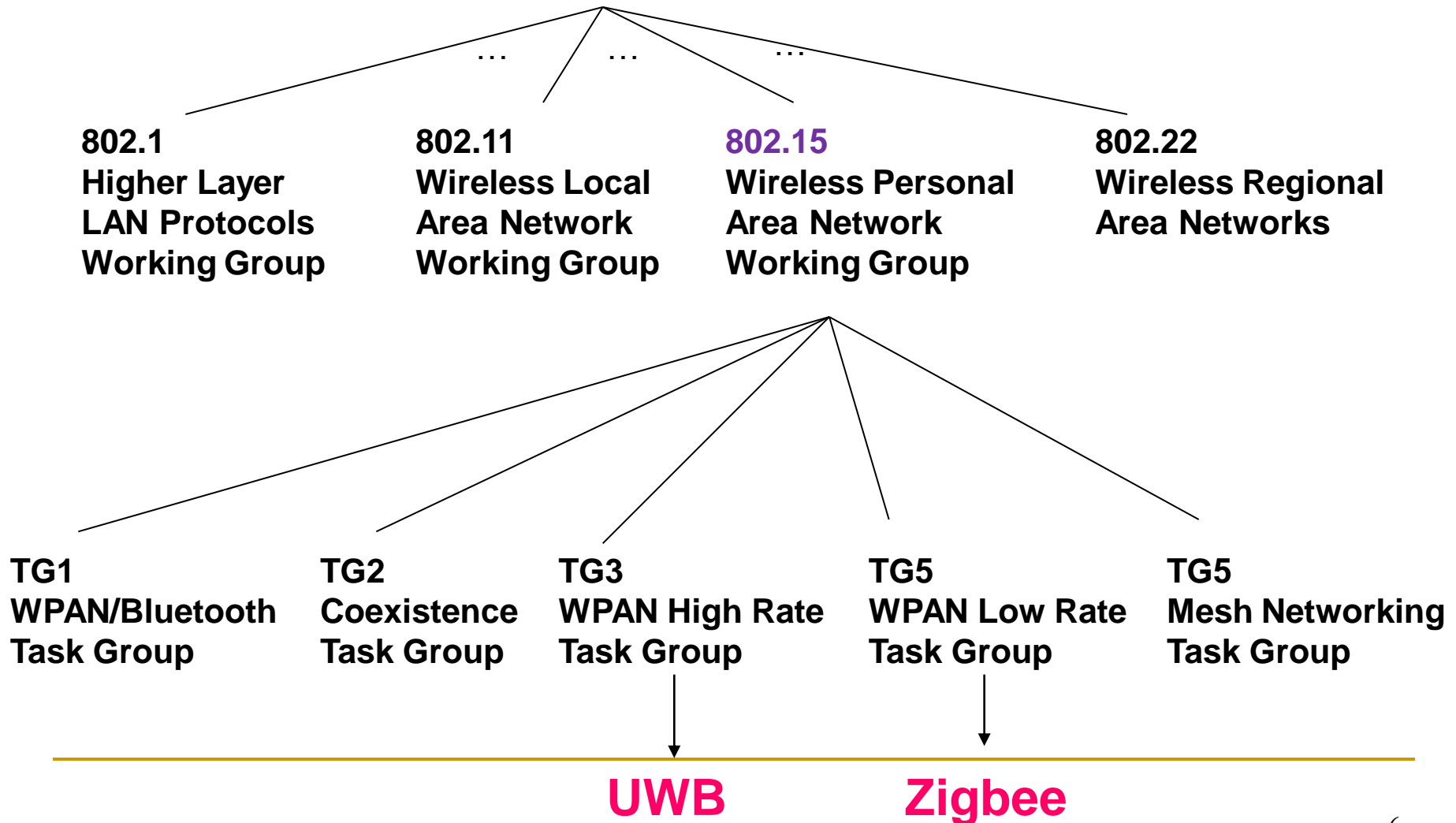
- IEEE 802 LAN/MAN Standards Committee (LMSC ili IEEE Project 802)
- Prvi sastanak IEEE Computer Society “Local Network Standards Committee” održan je u februaru 1980.g.
- Specifikacija najniža dva sloja OSI modela.
- Poznata Radna grupa koja je definisala standarde za:
 - 3: Ethernet
 - 11: WLAN
 - 15: WPAN

IEEE 802.15 Working Group

- **Wireless Personal Area Networks (WPAN)**
- TG1: bazirana na **Bluetooth** v1.1 Foundation specifikacijama
- TG2: **koegzistencija** WPAN (802.15) i WLAN (802.11) mreža
- TG3: WPAN **velikih brzina** (20Mbit/s ili veće)
- TG4: razvoj rješenja prenosa **malim brzinama, male složenosti realizacije i produženog životnog vijeka baterije**
- TG5: definisanje neophodnih mehanizama u okviru PHY i MAC slojeva WPAN mreža da bi se omogućilo **mesh** umrežavanje

IEEE 802.15 Working Group

IEEE 802 LAN/MAN Standards Committee



Poređenje WPAN tehnologija

standardi	brzina	domet	konfiguracija	ostale karakteristike
802.15.1 (Bluetooth)	721 kb/s	1 m (class3) 100 m (class1)	8 aktivnih uređaja Piconet/ Scatternet	autentifikacija, enkripcija, govor
802.15.3 velika brzina	22, 33, 44, 55 Mb/s	10 m	peer-to-peer	FCC part 15.249 QoS, brzo pridruživanje (fast join), multimedija
802.15.4 mala brzina	do 250 kb/s	10 m nominalno 1~100 m	Star peer-to-peer	baterija: nekoliko mjeseci do nekoliko godina

Adaptive Frequency Hopping (AFH)

- AFH se primjenjuje za poboljšanje performansi fizičkih linkova u prisustvu **interferencije** iz ostalih uređaja u ISM opsegu
- Osnovna ideja: maskiranje **loših** kanala

Master classification table at t_1							Slave _i classification table at t_1							
Freq	f_0	f_1		f_8		f_{77}	f_{78}	f_0	f_1		f_{14}		f_{77}	f_{78}
Good	×					×	×	×	×				×	
Bad		×		×							×			×

Adaptive Frequency Hopping (AFH)

- Samo master uređaj može omogućiti/onemogućiti AFH
- Master može zahtijevati informaciju o klasifikaciji kanala od pomoćnih uređaja
 - Na osnovu informacije master klasifikuje kanale u “used” i “unused”
 - Način donošenja odluke nije definisan specifikacijama
 - Used/unused kanale koriste svi uređaji u istom piconet-u.
- Kada se izabere “unused” frekvencija, Channel re-mapping function će re-mapirati “unused” kanal u “used” pseudoslučajni kanal

Koegzistencija

Pregled

- WLAN i WPAN funkcionišu u istom ISM opsegu
 - uzajamna interferencija između sistema
 - moguće su velike degradacije performansi
- Brojni faktori utiču na nivo interferencije
 - udaljenost između WLAN i WPAN uređaja
 - količina saobraćaja u obje mreže
 - nivoi snage različitih uređaja
 - brzina prenosa u WLAN
 - vrste informacija koje se prenose u bežičnim mrežama
- Smanjenje performansi utiče na opredjeljenje korisnika

Pregled

- Ukoliko se ne preduzme odgovarajuća aktivnost:
 - uređaji mogu emitovati sa relativno velikom snagom, ili protokoli otporniji na interferenciju obezbjeđuju prenos podataka
 - ostali uređaji tada ne mogu podržati željene performanse
 - Koegzistencija se definiše kao sposobnost sistema da funkcioniše u zajedničkom okruženju (na bazi dijeljenja resursa)
 - Dobro rješenje podrazumijeva da koegzistencija ne povećava interferenciju prema drugim sistemima koji koriste isti bežični kanal prenosa.
-

IEEE 802.15.2

- "IEEE 802.15.2 – Coexistence of Wireless Personal Area Networks with Other Wireless Devices Operating in Unlicensed Frequency Band" – 2003.g.
 - Definiše metode koegzistencije WPAN u prisustvu frekvencijski statičkih ili slow-hopping WLAN uređaja
 - Specificira se koegzistencija Bluetooth (IEEE 802.15.1) i IEEE 802.11b uređaja
 - procjena je da će uređaji bazirani na ovim standardima imati najbolju tržišnu poziciju
 - neke od predloženih metoda mogu se koristiti za ostale WPAN i WLAN standarde
-

Kategorije metoda koegzistencije

■ *Kolaborativne metode*

- Razmjena informacija između WPAN i WLAN mreža
- Potreban je žični link za komunikaciju između sistema
- Primjenjive su samo ako su WPAN master i WLAN stanica locirani u istoj fizičkoj opremi (npr. laptopu)
- Definisane su tri različite metode

■ *Nekolaborativne metode*

- Nema razmjene informacija između dvije mreže
- WPAN i WLAN uređaji ne moraju biti unutar iste opreme
- Definisano je pet različitih metoda

Kolaborativne metode

Ime	Sloj protokola	Potrebne operacije od strane WPAN uređaja	Potrebne operacije od strane WLAN uređaja
Alternating Wireless Medium Access (AWMA)	MAC	X	X
Packet Traffic Arbitration (PTA)	MAC	X	X
Deterministic Interference Suppression (DIS)	PHY	-	X

Alternating Wireless Medium Access (AWMA)

- AWMA je kolaborativni metod na bazi vremenske raspodjele
- IEEE 802.11b stanica periodično šalje *beacon*
 - Dio svakog beacon perioda se dodjeljuje WLAN saobraćaju, a ostatak WPAN saobraćaju
- Dužine ovih perioda su sadržane u beacon-u.
- Neophodna je sinhronizacija između WPAN i WLAN uređaja:
 - Jedna WLAN stanica i WPAN master zahtijevaju žičnu konekciju
 - WLAN stanica šalje sinhronizacioni signal WPAN masteru preko ove konekcije

Alternating Wireless Medium Access (AWMA)

- Samo za ACL (Asynchronous Connection-Less Link) konekcije
 - Može spriječiti interferenciju između WPAN uređaja u jednom piconet-u i svih WLAN uređaja povezanih na isti AP (Access Point)
 - Interferencija između WLAN uređaja koji su povezani na neki drugi AP može se eliminisati samo ako su AP sinhronizovane
 - Mala efikasnost
 - prenos jednog sistema nije dozvoljen u toku “empty” vremenskih prozora rezervisanih za drugi sistem
-

Packet Traffic Arbitration (PTA)

- Koristi se u slučaju koegzistencije WLAN i WPAN uređaja u istoj opremi
 - Oba uređaja su povezana na **packet traffic arbitrator (PTA-block)**
 - Prije nego što uređaj pošalje paket, mora zahtijevati odobrenje prenosa od PTA-bloka:
 - Ukoliko nema kolizija, PTA-blok daje odobrenje
 - Ako oba uređaja istovremeno pošalju zahtjev, onaj sa veći prioritetom realizuje prenos, dok drugi čeka
-

Packet Traffic Arbitration (PTA)

- Prioriteti se mogu selektovati deterministički
 - IEEE 802.11b ACK paket (najveći prioritet)
 - IEEE 802.15.1 SCO paket
 - IEEE 802.11b data paket
 - IEEE 802.15.1 ACL paket (najniži prioritet)
 - na slučajan način ili primjenom drugih kriterijuma
 - Može se koristiti sa SCO (Synchronous Connection-Oriented) linkovima
 - Efikasniji u odnosu na prethodne metode (nema čekanja da se jave kolizije)
-

Deterministic Interference Suppression (DIS)

- Frequency hopping propusni opseg je 1 MHz
 - Može se posmatrati kao uskopojasna interferencija u odnosu na ostale frekvencijski statične ili SH WLAN uređaje
- WLAN prijemnik može izbjeći uticaj ove interferencije korišćenjem programabilnog notch filtera
 - stop band od ~1 MHz u skladu sa hopping procesom WPAN uređaja
- WLAN uređaj mora imati integrisanu WPAN jedinicu koja obezbjeđuje FH informaciju o interferirajućem WPAN prenosu
- Ovaj metod se primjenjuje na PHY sloju, a eliminiše se samo interferencija kojom WPAN uređaji utiču na rad WLAN uređaja

Nekolaborativne metode

Ime	Sloj protokola	Potrebne operacije od strane WPAN uređaja	Potrebne operacije od strane WLAN uređaja
Adaptivno potiskivanje interferencije	PHY	-	X
Adaptivna selekcija paketa	MAC	X	-
Raspoređivanje paketa za ACL linkove	MAC	X	-
Raspoređivanje paketa za SCO linkove	MAC	X	-
Adaptivno frekvencijsko skakanje (AFH)	MAC	X	-

Adaptive Interference Suppression

- Slična determinističkom potiskivanju interferencije
 - WLAN uređaj nema informaciju o FH nizu niti o FH WPAN interferirajućem uređaju
 - WLAN predajnik koristi adaptivne metode obrade signala za estimaciju lokacije uspokopojasne interferencije uzrokovane WPAN i za filtriranje tih frekvencija
-

Adaptive Interference Suppression

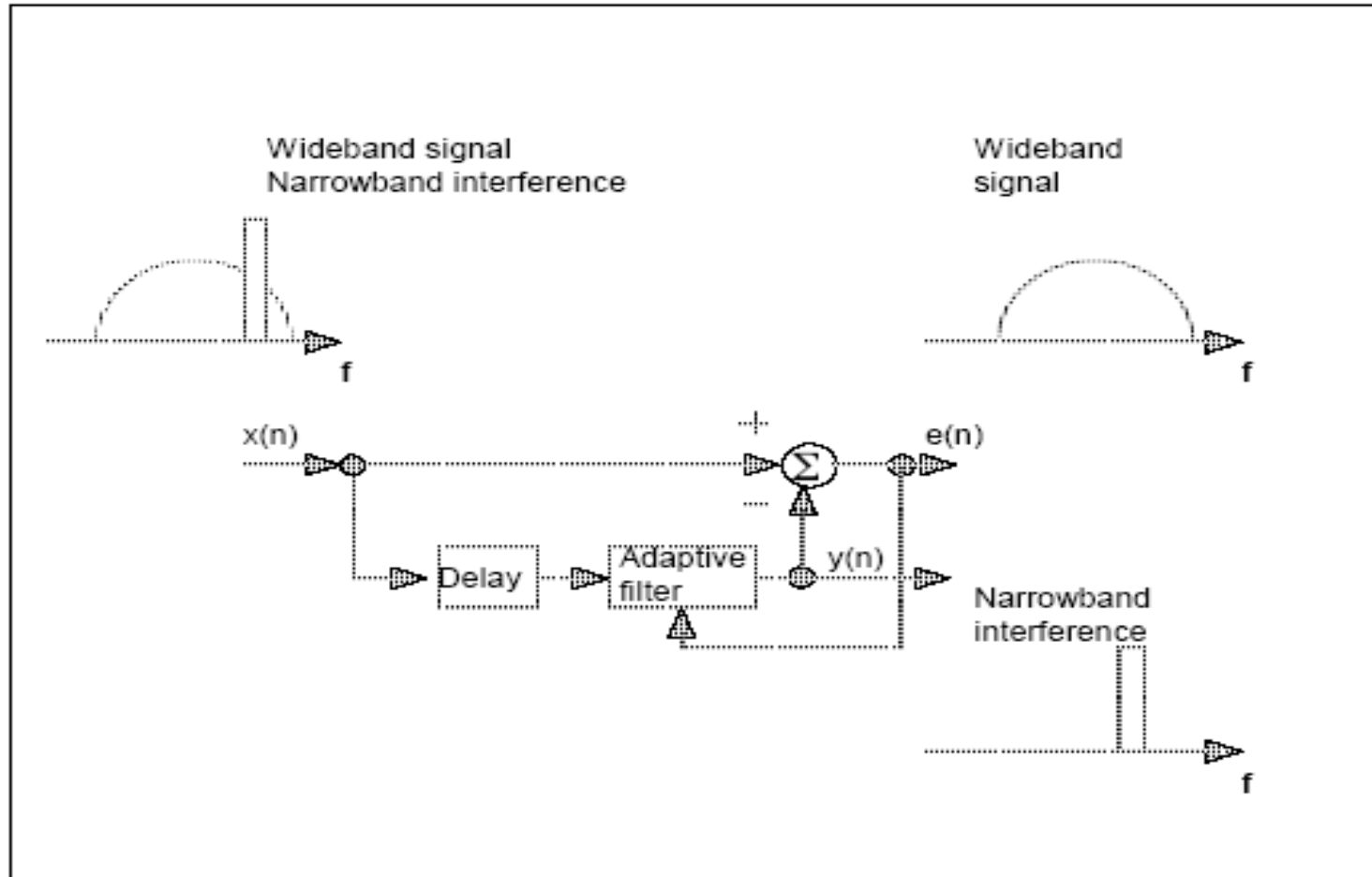


Figure 12—An adaptive notch filter or whitening filter

Adaptive frequency hopping (AFH)

- Ovaj metod je definisan u IEEE 802.15.1
 - Dinamička promjena FH sekvence Bluetooth/802.15.1 sistema sa ciljem da se izbjegne interferencija.
 - Potrebna je **globalna klasifikacija** kanala.
 - Originalni FH niz se mapira na podskup kanala klasifikovanih kao 'dobri' kanali
 - Mapiranje je takvo da novi FH niz postaje pseudoslučajni.
-

Klasifikacija kanala

- Većina nekolaborativnih metoda zahtijeva informaciju o klasifikaciji kanala
 - Svaki Bluetooth/IEEE 802.15.1 uređaj klasifikuje FH kanale kao 'dobre' ili 'loše'
 - Osnovni problem je interferencija od nekog dugog sistema
 - IEEE 802.15.2 ne definiše tačan način klasifikacije, ali on može biti zasnovan na RSSI (Received Signal Strength Indicator), PER (Packet Error Rate) ili carrier sensing
-

LR-WPAN

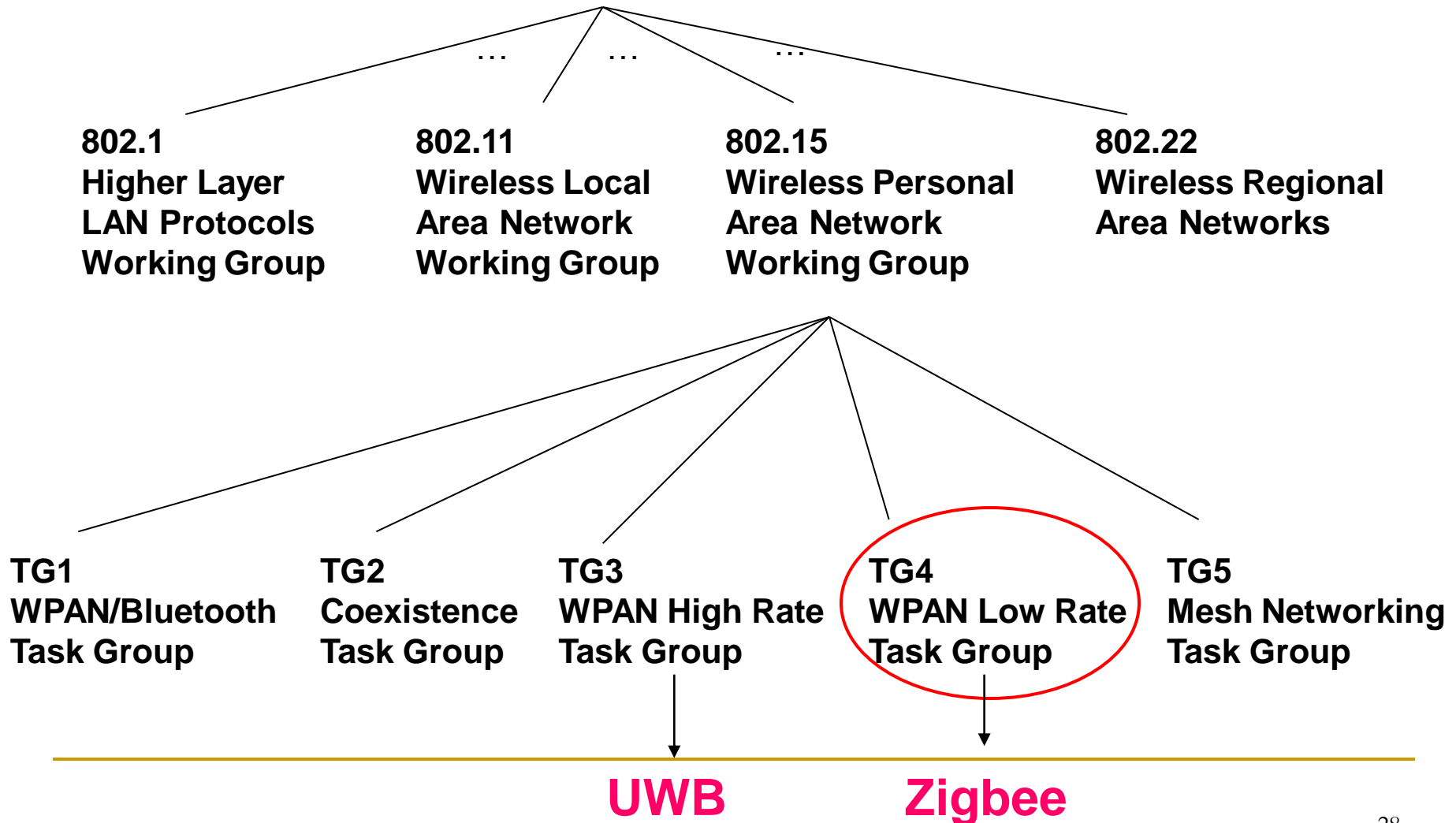
(ZigBee i IEEE 802.15.4)

Novi trendovi u bežičnim telekomunikacijama

- Industrija u oblasti bežičnih telekomunikacija se uglavnom fokusira na povećanje **brzine prenosa podataka** i korisnog protoka
 - Primjer je razvoj IEEE 802.11 standarda: 802.11b → 802.11a/g
- Međutim, brojne aplikacije zahtijevaju relativno skromnu bežičnu konektivnost, **vrlo malu snagu, malu udaljenost i niske troškove realizacije:**
 - industrijske aplikacije
 - primjene u poljoprivredi
 - saobraćaj
 - medicinske primjene,
 - itd.

IEEE 802.15 Working Group

IEEE 802 LAN/MAN Standards Committee



Poređenje WPAN tehnologija

Project	Data Rate	Range	Configuration	Other Features
802.15.1 (Bluetooth)	721 kbps	1 M (class3) 100 M (class1)	8 active device Piconet/ Scatternet	Authentication, Encryption, Voice
802.15.3 High Rate	22, 33, 44, 55 Mbps	10 M	peer-to-peer	FCC part 15.249 QoS, Fast Join, Multi-media
802.15.4 Low Rate	Up to 250 kbps	10 M nominal 1~100 M (based on settings)	Star peer-to-peer	Battery life: multi-month to multi-year

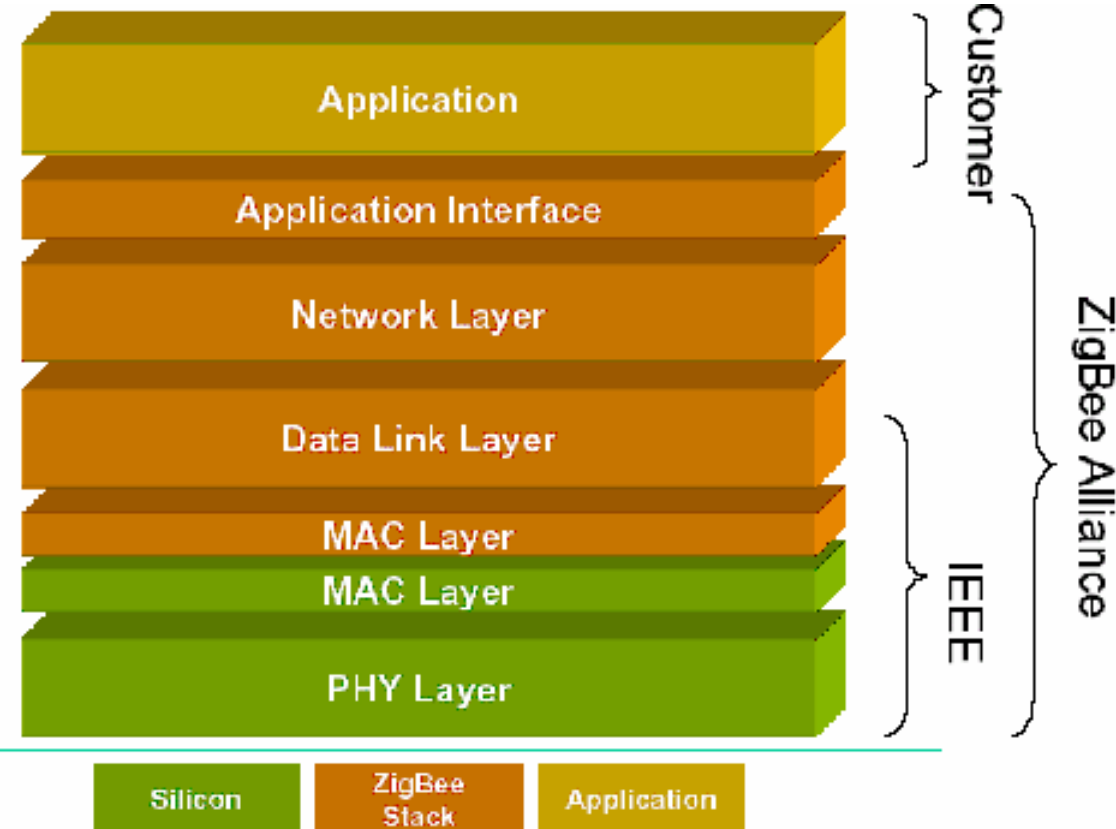
ZigBee Alliance

- Organizacija koja za cilj ima definisanje proizvoda koji su pouzdani, male potrošnje, efikasnog bežičnog umrežavanja, sa mogućnostima nadzora i upravljanja.
- Alijansa obezbjeđuje i interoperabilnost, izdavanje sertifikata itd.
- Više od 50 kompanija udruženih u alijansu.
- Definiše **više slojeve protokol-steka**: od mrežnog do aplikacionog sloja, uključujući i tzv. *profile* aplikacija.
- Prvi profili su specificirani sredinom 2003.g.



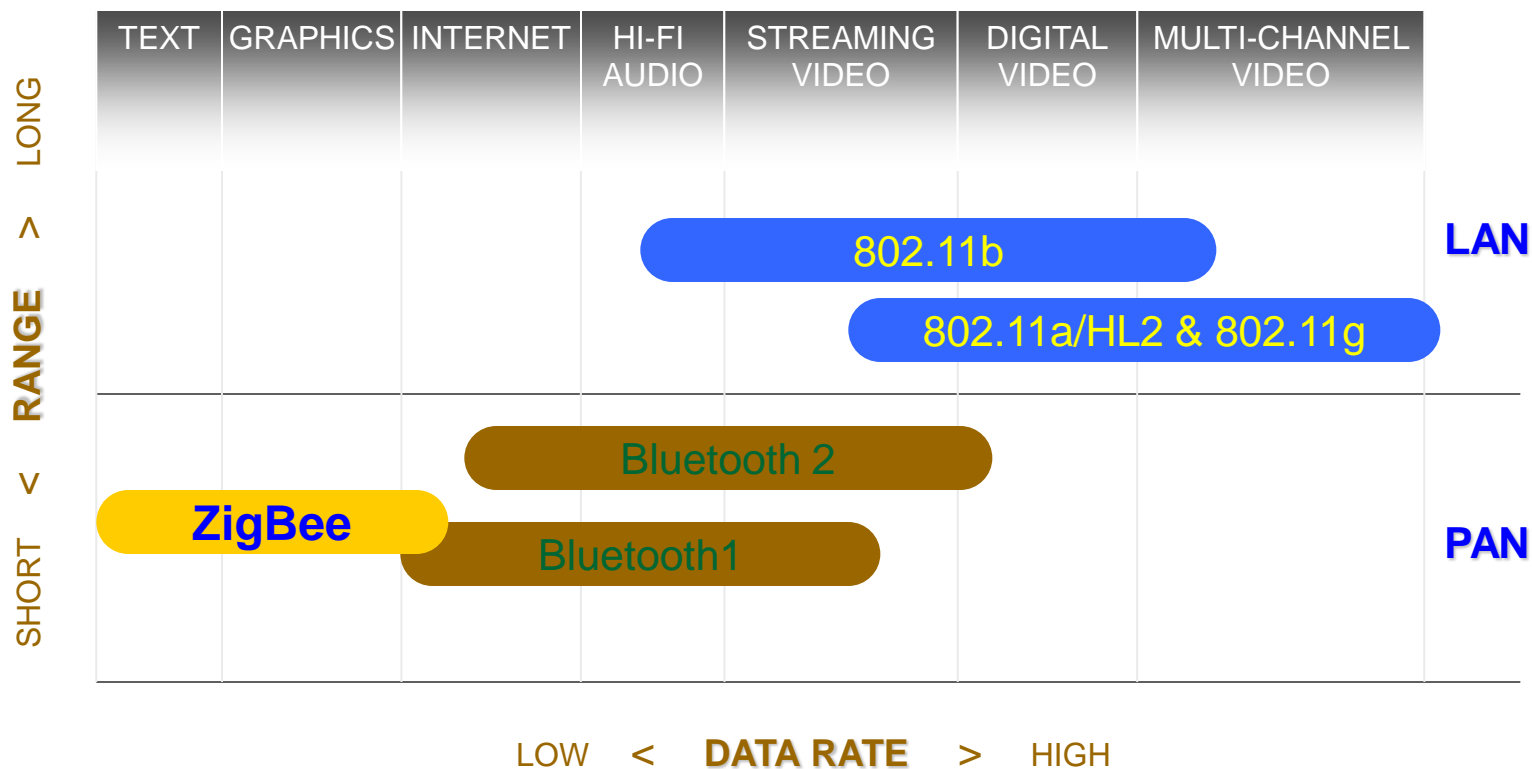
ZigBee™ Alliance
Wireless Control That Simply Works

Zigbee/IEEE 802.15.4 protokol-stek



- Niži slojevi (MAC/PHY) definisani su IEEE 802.15.4 standardom
- Gornji slojevi - Zigbee Alliance
- Može se koristiti IEEE 802 kompatibilan sa LLC protokol

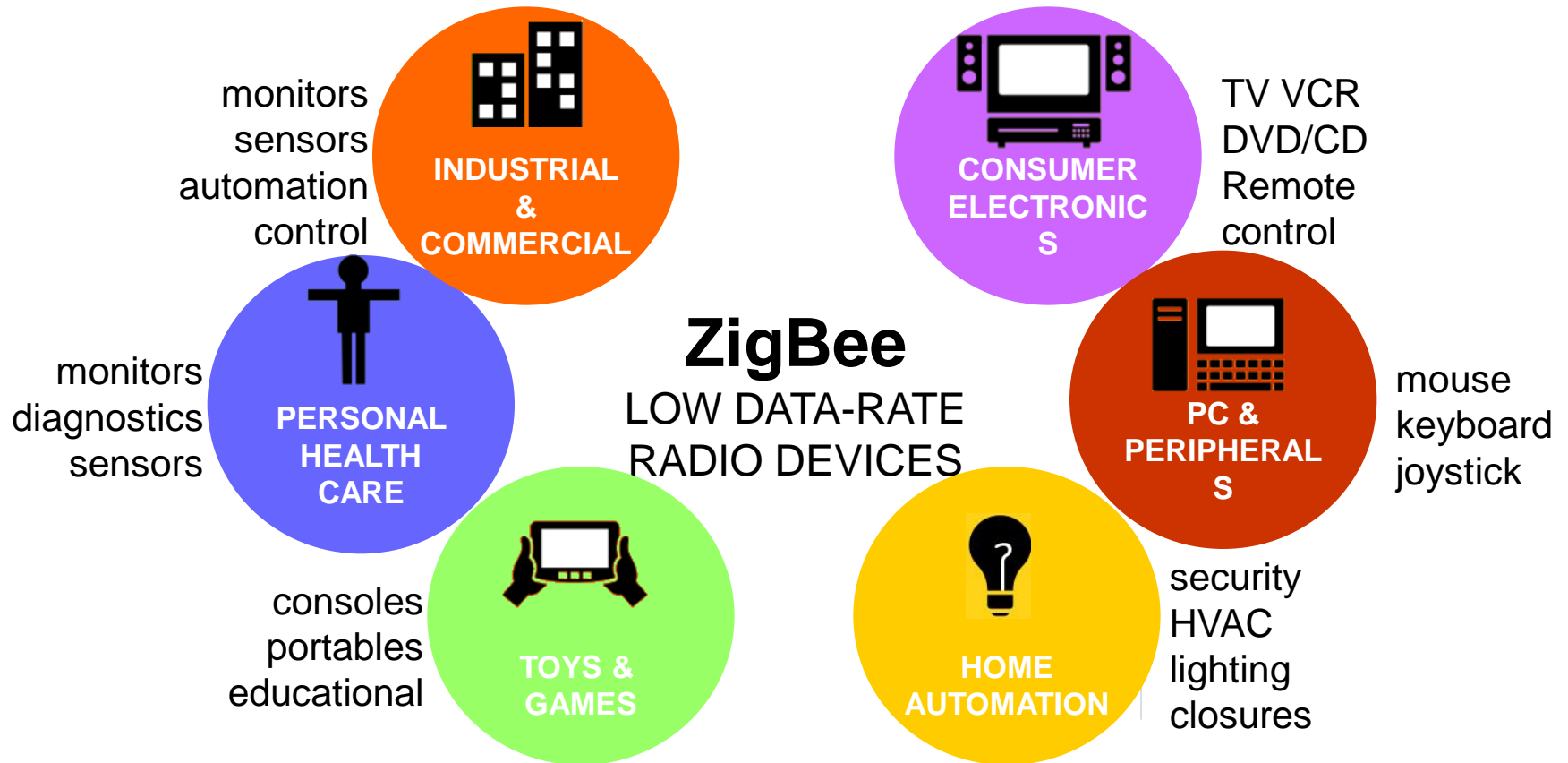
Tržište u bežičnim telekomunikacijama



ZigBee/IEEE 802.15.4 - tržište

- Mala potrošnja
- Niska cijena
- Mali korisni protok
- Podrška mrežama sa različitim brojem čvorova
- Nizak stepen QoS garancija
- Fleksibilan dizajn protokola pogodan za mnoge aplikacije

ZigBee mrežne aplikacije



ZigBee i IEEE 802.15.4

- ZigBee je iskoristila sve prednosti karakteristika **fizičkog radija** definisanog IEEE 802.15.4 standardom
- ZigBee definiše **logičku mrežu, sigurnost i aplikacioni softver**
- ZigBee nastavlja rad u kontinuitetu sa IEEE da bi obezbijedila integrisano i kompletno rješenje za tržište

802.15.4 tehnologija: opšte karakteristike

- Brzine prenosa 250 kb/s, 40 kb/s i 20 kb/s
- Star ili peer-to-peer operacije (topologije)
- 16 bit short ili 64 bit extended adrese
- Alokacija *guaranteed time slots* (GTSs)
- CSMA-CA pristup kanalu
- Protokol sa punom potvrdom za pouzdan prenos
- Mala potrošnja
- Energy detection (ED)
- Link quality indication (LQI)
- 16 kanala u 2450 MHz opsegu, 10 kanala u 915 MHz opsegu i 1 kanal u 868 MHz opsegu (evropski)
- Izuzetno mali duty-cycle (<0.1%)

IEEE 802.15.4 - osnove

- 802.15.4 je jednostavan protokol paketskog prenosa za bežične mreže:
 - Pristup kanalu na bazi **Carrier Sense Multiple Access with collision avoidance** i **opcionalnog time slotting-a**
 - **Message acknowledgement** i **opciona beacon struktura**
 - Višenivovska sigurnost
 - Dobro rješenje za
 - **duži životni vijek baterije**, selekciju kašnjenja za kontrolere, senzore, daljinski nadzor i dr.

IEEE 802.15.4 – vrste uređaja

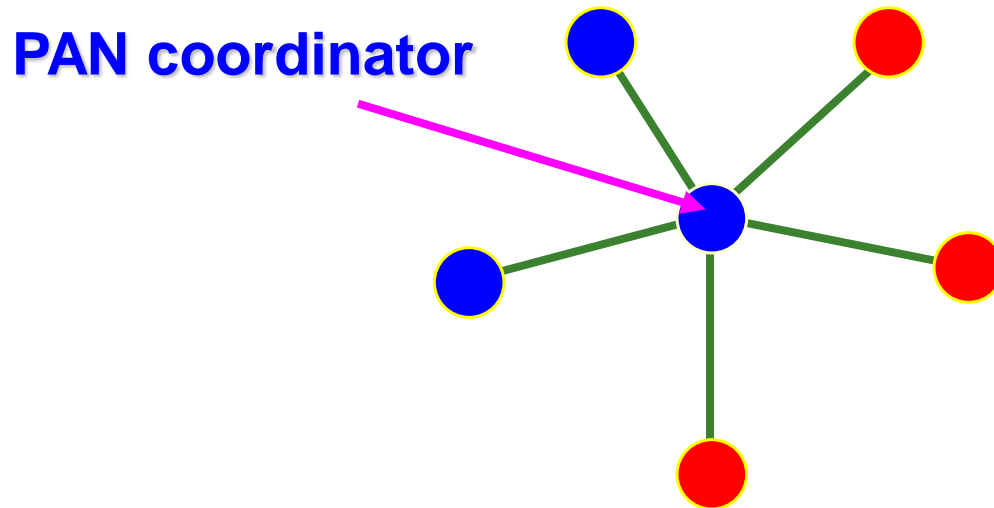
- Dva različita tipa uređaja:
 - A full function device (**FFD**)
 - A reduced function device (**RFD**)
- FFD može raditi kao:
 - uređaj
 - **koordinator** (PAN koordinator)
- RFD može raditi samo kao
 - uređaj

FFD i RFD

- Full function device (FFD)
 - Funkcije koordinatora mreže
 - Može komunicirati sa svim ostalim uređajima
- Reduced function device (RFD)
 - Ne može postati mrežni koordinator
 - Komunicira samo sa FFD
 - Vrlo jednostavna implementacija

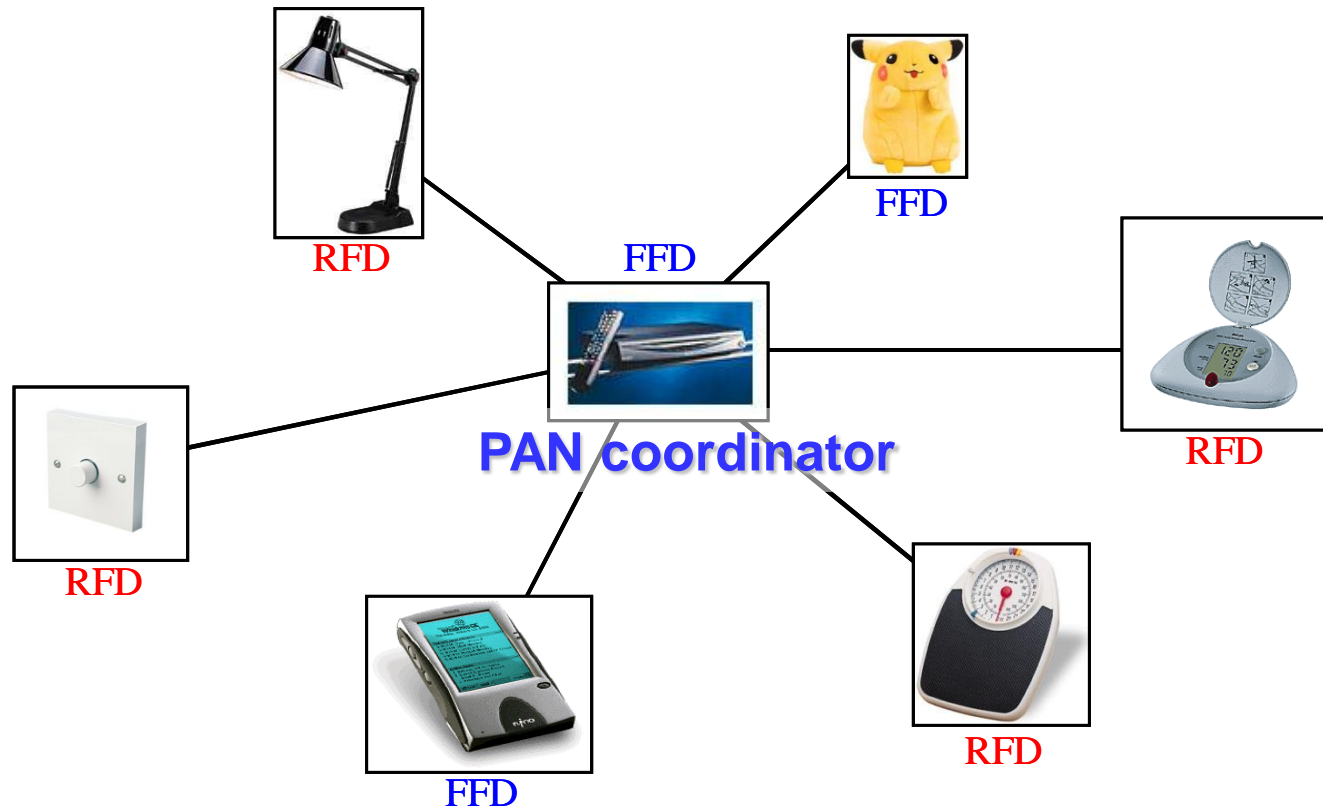


Star topologija

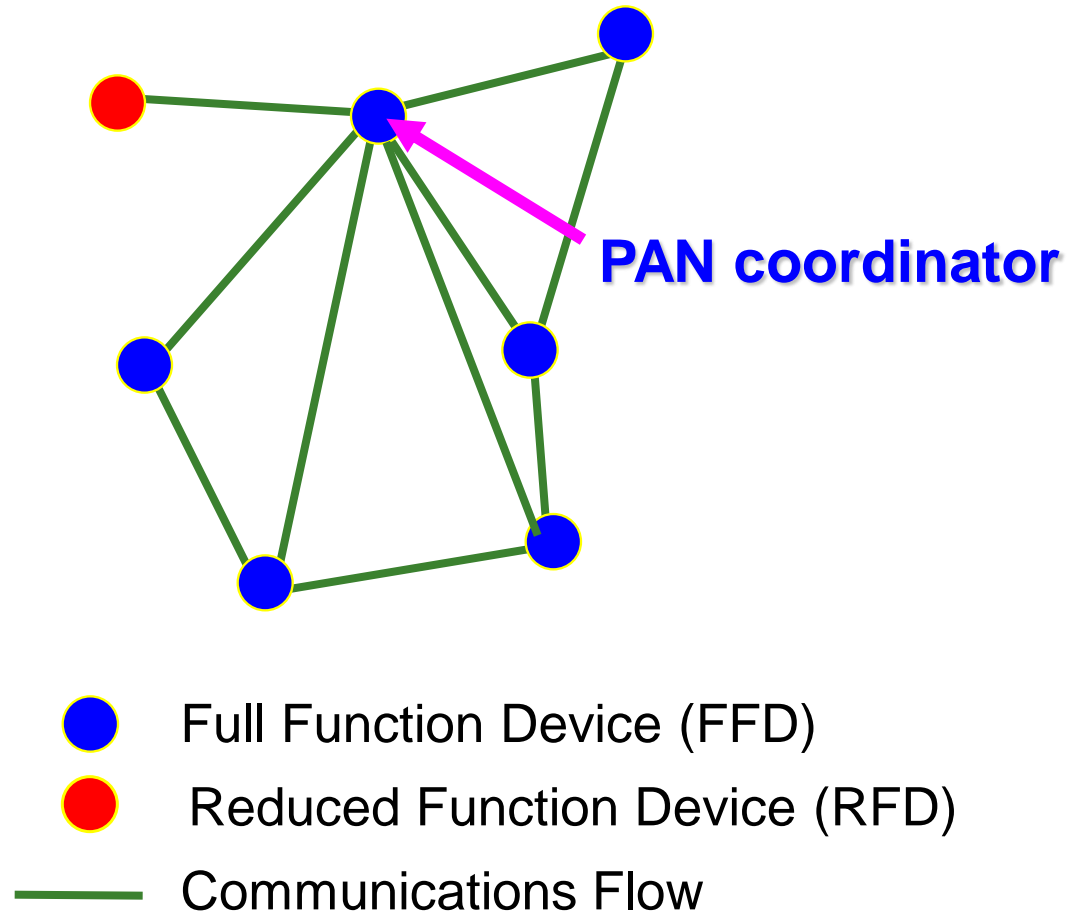


-  Full Function Device (FFD)
-  Reduced Function Device (RFD)
-  Communications Flow

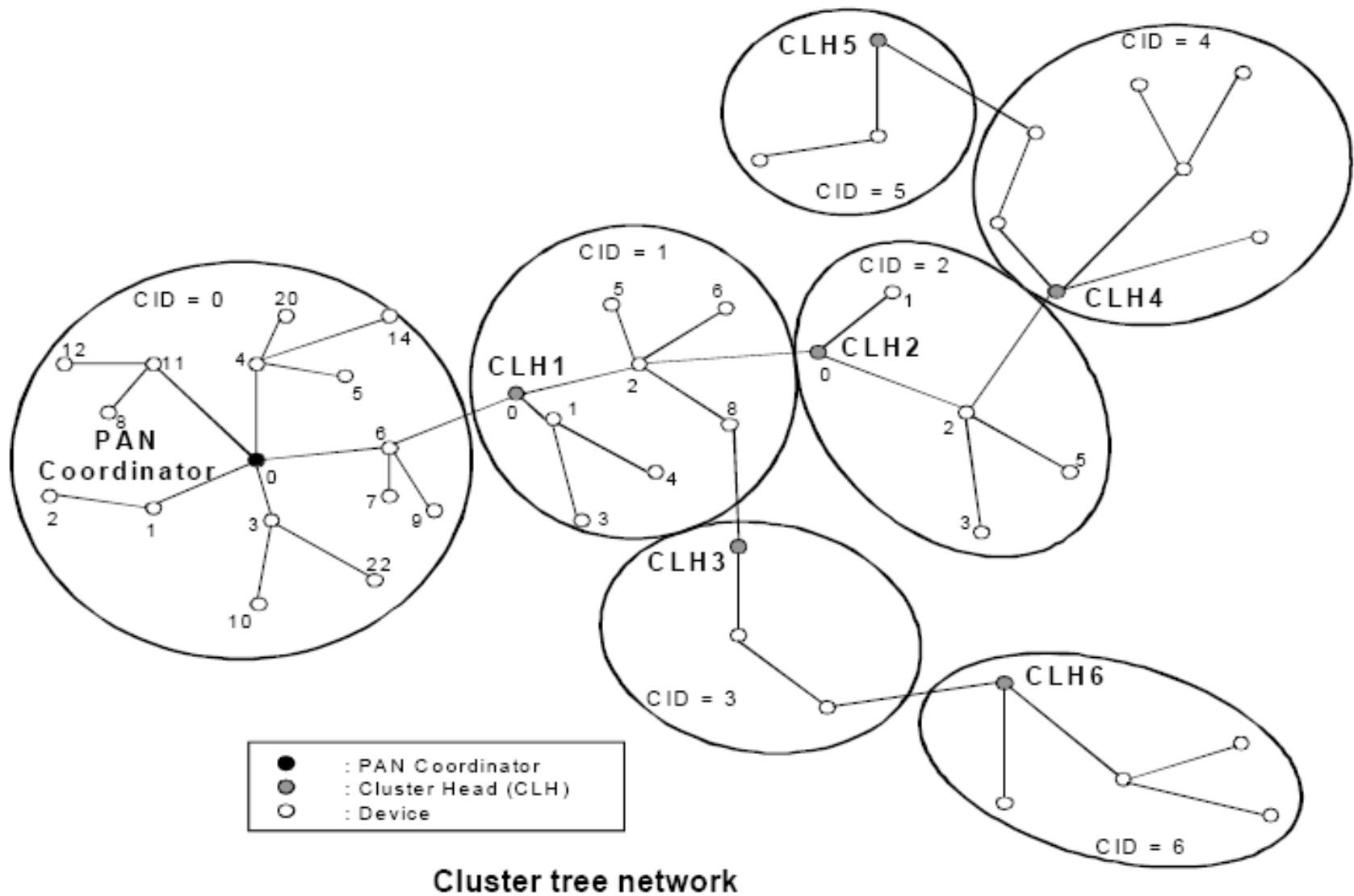
Primjer



Peer-to-Peer topologija



Primjer



Adresiranje

- Svaki nezavisni PAN će selektovati **PAN identifikator**
- Svi uređaji u mreži imaju jedinstvenu **64-bitnu proširenu adresu**. Ova adresa se može koristiti za direktnu komunikaciju unutar PAN
 - Ili se može koristiti 16-bitna kratka adresa, koju dodjeljuje PAN koordinator kada se pridružuje određeni uređaj

IEEE 802.15.4 – fizički sloj

IEEE 802.15.4 – fizički sloj

- PHY funkcionalnost:
 - Aktivacija i deaktivacija fizičkog primopredajnika
 - Detekcija energije unutar posmatranog kanala
 - Indikator kvaliteta linka (LQI) za primljene pakete
 - CCA (Clear channel assessment) za CSMA-CA
 - Selekcija frekvencije kanala
 - Prenos i prijem podataka

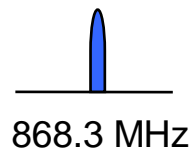
- PHY obezbeđuje 2 usluge
 - PHY data service
 - PHY management service

IEEE 802.15.4 – fizički sloj

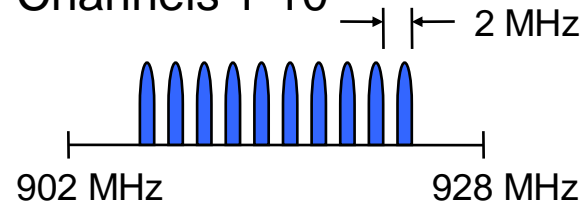
- Opsezi radnih frekvencija

**868MHz/
915MHz
PHY**

Channel 0

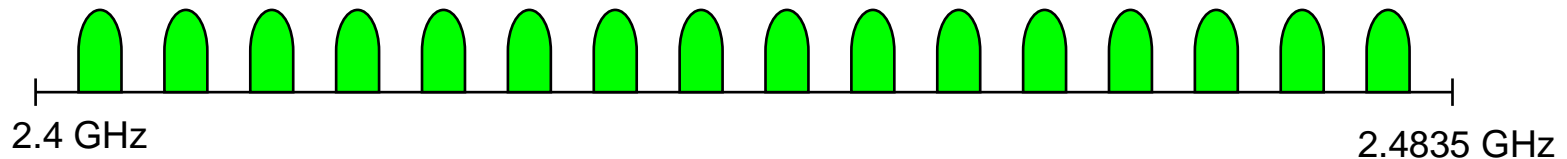


Channels 1-10



**2.4 GHz
PHY**

Channels 11-26



Frekvencijski opsezi i brzine prenosa

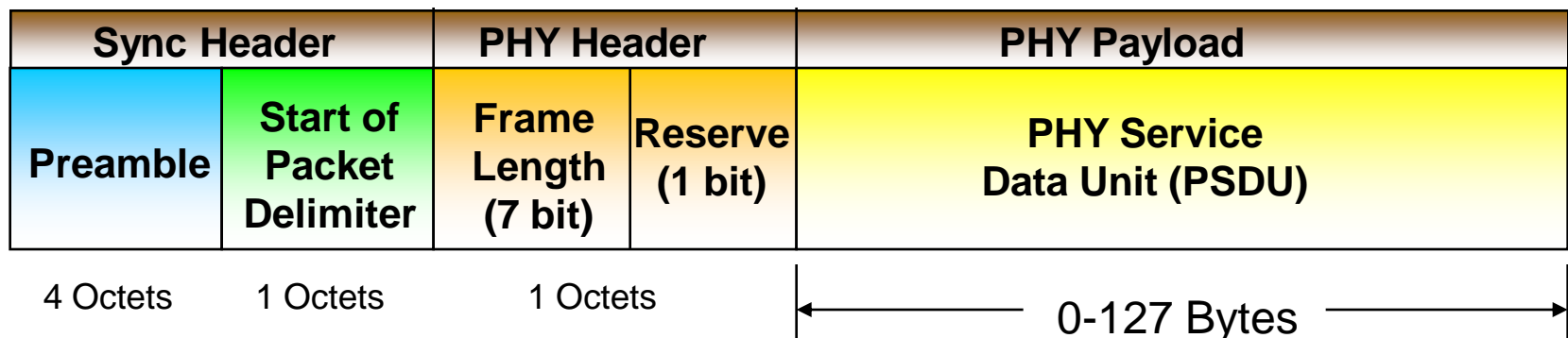
- Standard specificira dva fizička sloja:
 - 868 MHz/915 MHz direct sequence spread spectrum (DSSS) PHY (11 kanala)
 - 1 kanal (20kb/s) u evropskom 868 MHz opsegu
 - 10 kanala (40kb/s) u 915 (902-928) MHz ISM band
 - 2450 MHz direct sequence spread spectrum (DSSS) PHY (16 kanala)
 - 16 kanala (250kb/s) u 2.4GHz opsegu

Frekvencijski opsezi i brzine prenosa

Band	Bit rate	Symbol mapping	Symbol rate	Chip modulation	Chip rate
868-868.6 MHz (Europe, 1 ch)	20 kb/s	Binary	20 ksym/s	BPSK	300 kchip/s
902-928 MHz (U.S., 10 ch)	40 kb/s	Binary	40 ksym/s	BPSK	600 kchip/s
2400-2483.5 GHz (worldwide, 16 ch)	250 kb/s	16-ary quasi – orthogonal	62.5 ksym/s	O-QPSK	2 Mchip/s

PHY struktura rama

- PHY packet fields
 - preambula (32 bita) – sinhronizacija
 - početak delimitera paketa(8 bits) – formatiran kao “11100101”
 - PHY header (8 bita) – PSDU length
 - PSDU (0 to **127 bytes**) – data field

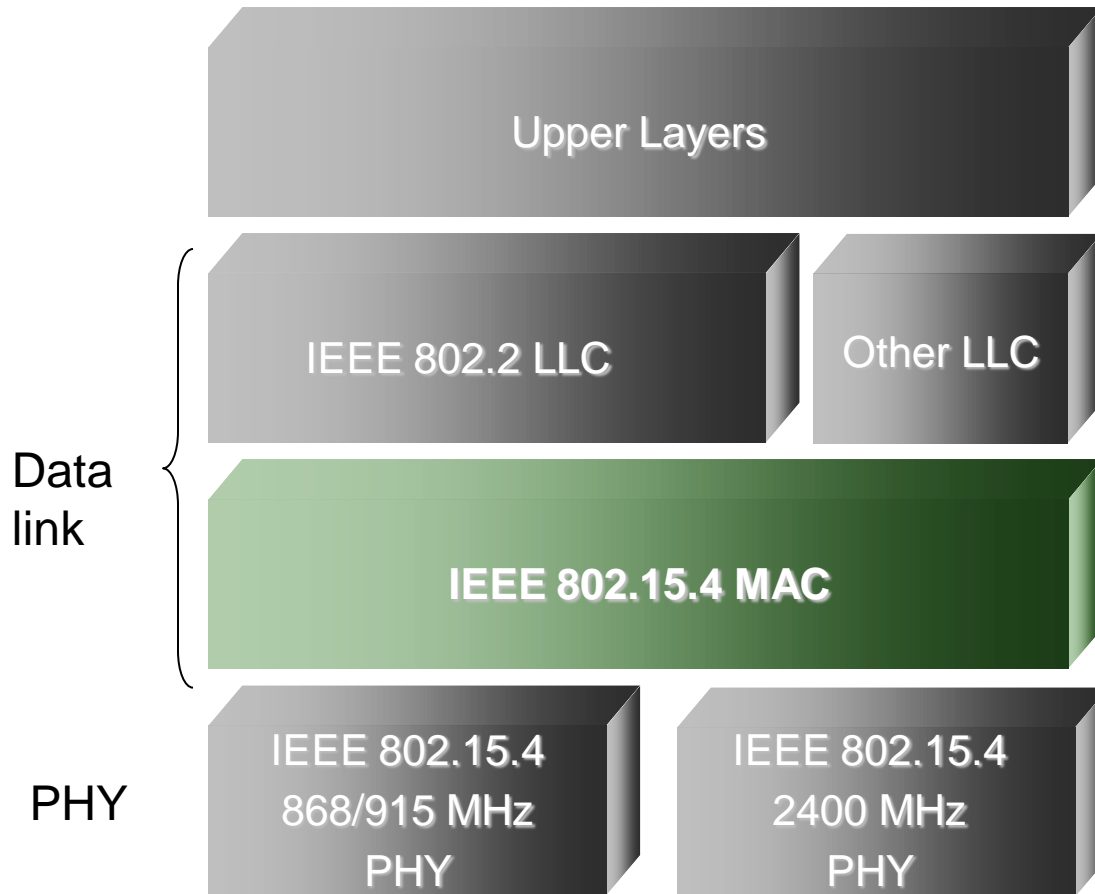


Opšte radio-specifikacije

- Predajna snaga
 - Minimalno -3dBm
- Osjetljivost prijemnika
 - -85 dBm (2.4GHz) / -91dBm (868/915MHz)
- Link quality indication
 - Opis jačine i/ili kvaliteta primljenog paketa
 - Mjerenje se realizuje primjenom:
 - Detekcije prijemne energije
 - Signal to noise ratio estimacije

IEEE 802.15.4 MAC

MAC funkcionalnosti



- Upravljanje beacon-om
- Mehanizam pristupa kanalu
- Dinamička selekcija kanala (GTS management)
- Prijem rama i potvrde
- Asocijacija
- Sigurnost (AES-128)

Upravljanje beacon-om

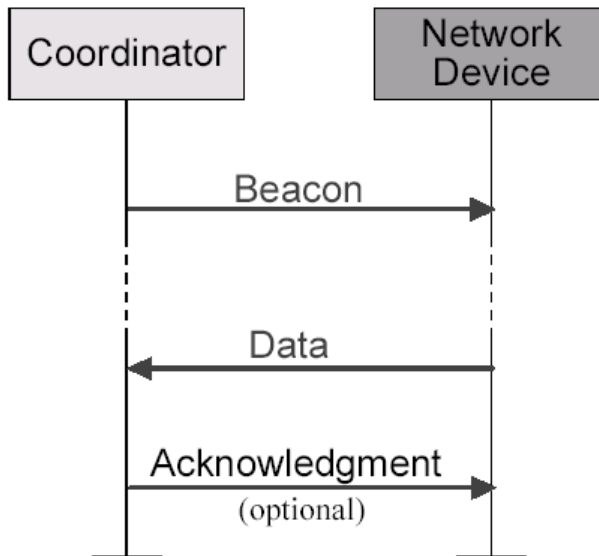
- Beacon enabled mode i Beacon disabled mode
 - *Slotted CSMA/CA* (superframe struktura) i *Unslotted CSMA/CA*
- Koordinator generiše beacone
 - broadcasting ili unicasting beacon-a
- Sinhronizacija se realizuje na osnovu beacona

Channel Access Mechanism

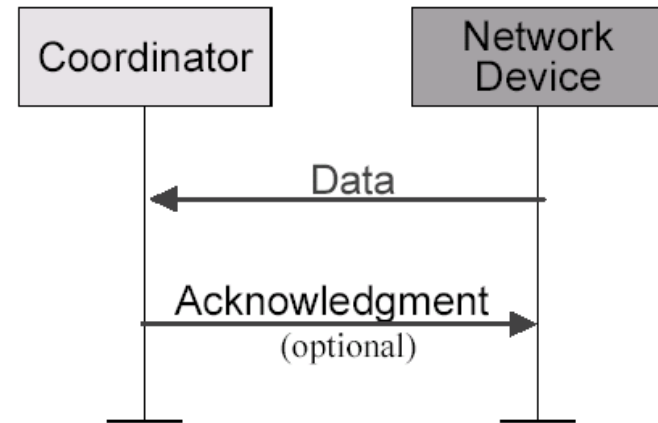
- Koriste se dva mehanizma pristupa kanalu, u zavisnosti od konfiguracije mreže:
 - U *non-beacon-enabled* mrežama → koristi se tzv. *unslotted CSMA/CA* mehanizam pristupa kanalu
 - U *beacon-enabled* mrežama → koristi se tzv. *slotted CSMA/CA* mehanizam pristupa kanalu
 - Primjenjuje se struktura superrama (superframe)

Model prenosa podataka – od uređaja do koordinatora

- U beacon-enabled mreži, uređaj čeka na beacon za sinhronizaciju sa strukturom superrama. Potom se koristi **slotted CSMA/CA** (sa GTS) za prenos podataka.
- U non beacon-enabled mreži, uređaj prenosi podatak primjenom **unslotted CSMA/CA**



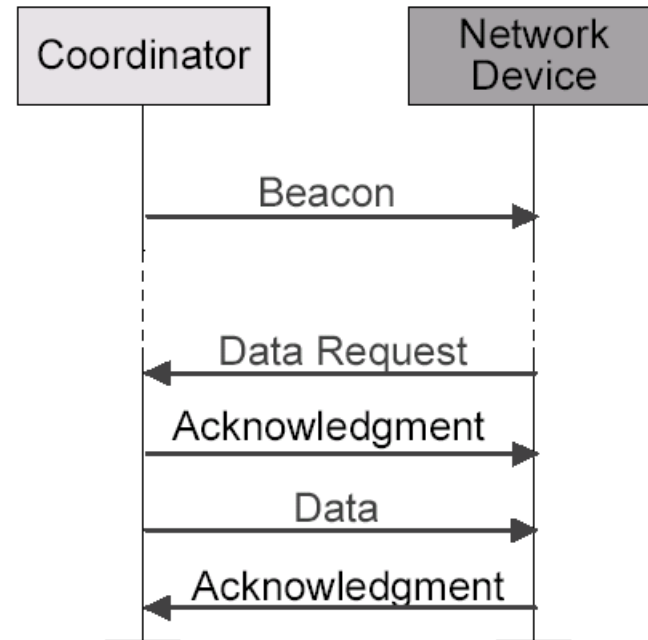
Komunikacija sa koordinatorom u **beacon-enabled** mreži



Komunikacija sa koordinatorom u **non beacon-enabled** mreži

Model prenosa podataka – od koordinatora do uređaja

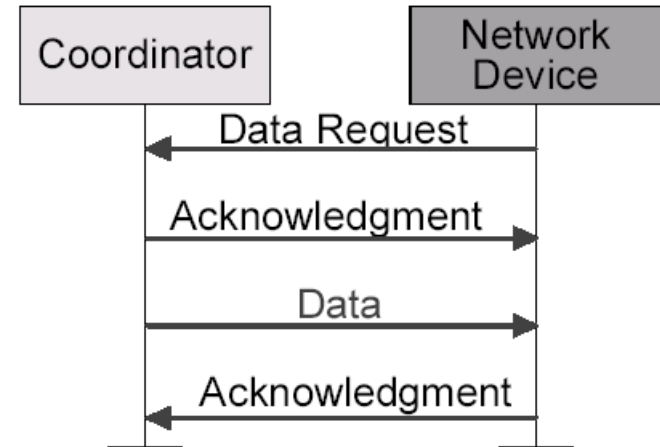
- U beacon-enabled mreži, koordinator ukazuje primjenom beacon-a: “**data is pending**”
 - Uređaj periodično osluškuje beacon i prenosi **MAC command request** primjenom slotted CSMA/CA



Komunikacija od koordinatora u **beacon-enabled** mreži

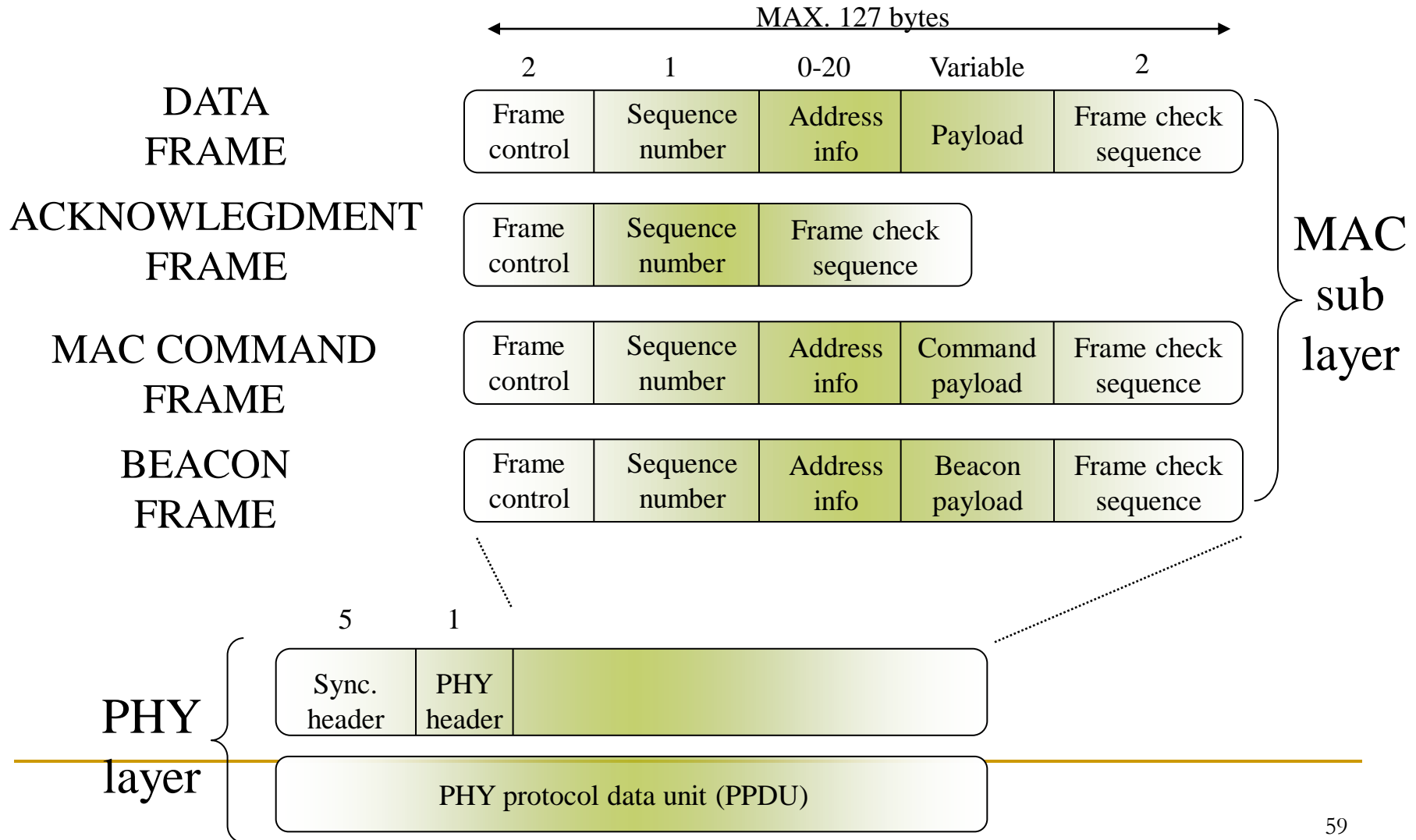
Model prenosa podataka – od koordinatora do uređaja

- U beacon-enabled mreži, uređaj prenosi **MAC command request** primjenom **unslotted CSMA/CA**
 - Ako koordinators ima podatak na čekanju, on prenosi ram podatka primjenom unslotted CSMA/CA
 - Inače, koordinators prenosi ram podatka sa zero length payload-om



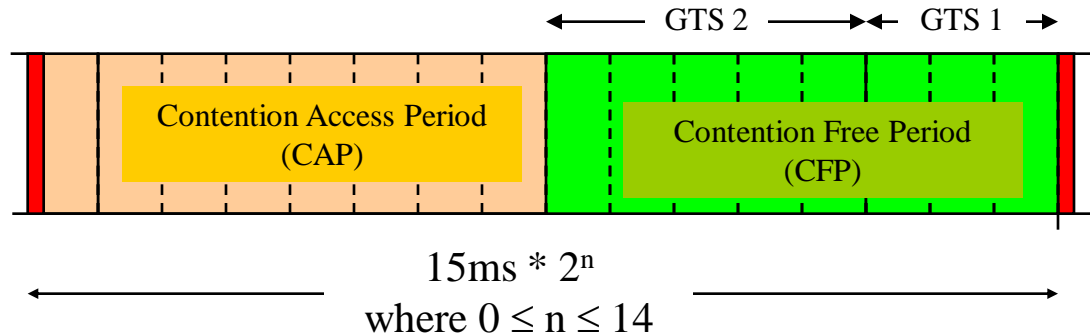
Komunikacija od koordinatora u mreži

MAC ram - formati



Struktura superframe-a

Total 16 slots



Network beacon



Transmitted by network coordinator. Contains network information, frame structure and notification of pending device messages

Contention period



Access by any device using slotted CSMA-CA

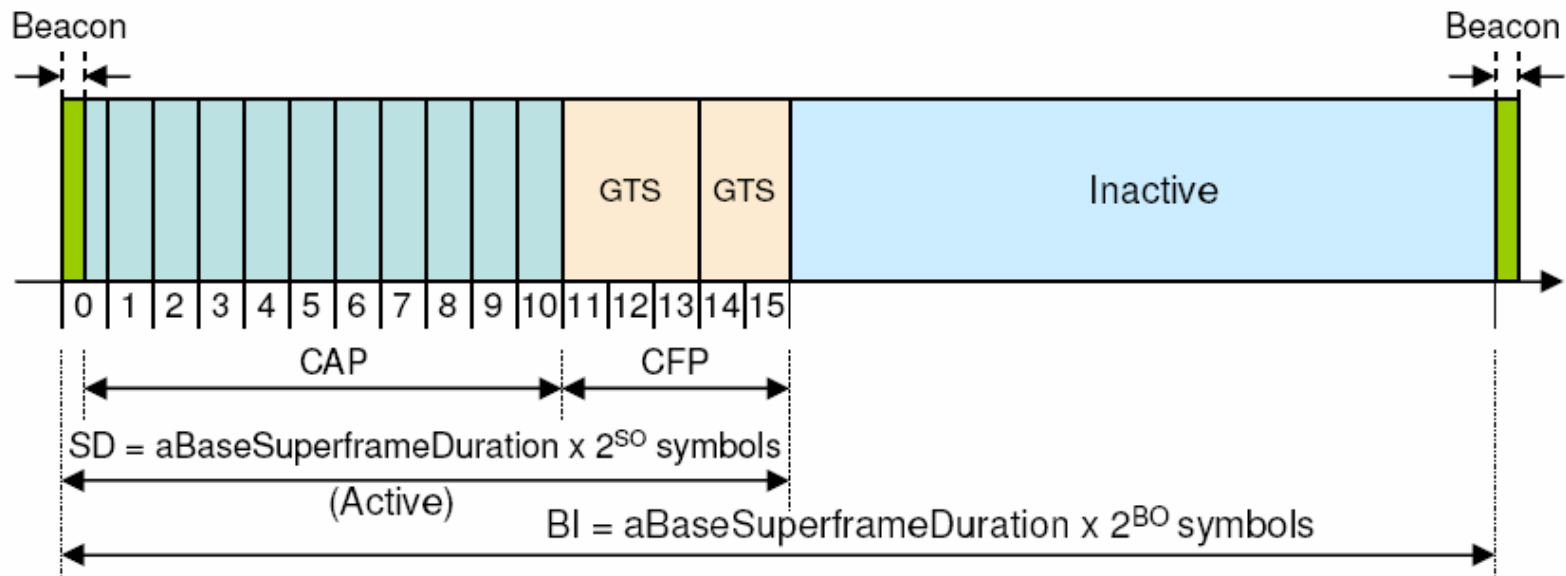
Guaranteed Time Slot



Reserved for devices requiring guaranteed bandwidth

up to 7 GTSs

Superframe with Inactive Part





Co-funded by the
Erasmus+ Programme
of the European Union

Digital Broadcasting and Broadband Technologies (Master Studies)
Erasmus+ Project No. 561688-EPP-1-2015-1-XK-EPPKA2-CBHE-JP

This project has been founded with support from the European Commission

This publication[communication] reflects the views only of the author, and
the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of
the information contained therein.

DBBT

**Digital Broadcasting &
Broadband Technologies**