



Računarske komunikacije

Prof. dr Enis Kočan (enisk@ucg.ac.me)

Saradnik: Dr Slavica Tomović (slavicat@ucg.ac.me)

SADRŽAJ KURSA

1. Uvod. Osnovni principi računarskih komunikacija
2. Signali. Vrste prenosa signala. Harmonijska analiza signala
3. Sistemi prenosa. Izobličenja pri prenosu signala
4. Obrada signala kodiranjem. Uticaj šuma na prenos signala
5. Obrada signala modulacijom. Osnovni tipovi digitalnih modulacija
6. Medijumi za prenos
7. Pravila strukturnog kabliranja
8. Tehnike multipleksiranja. Prenos višestrukim nosiocima
9. Detekcija i korekcija greške. Kontrolni protokoli na nivou linka
10. Tehnike za poboljšanje veze na bežičnom linku. Analiza kvaliteta prenosa (BER, PER, kapacitet sistema)
- 11. Osnovni parametri fizičkog sloja za IEEE 802.11 grupu standarda**
12. Komunikaciona rješenja za IoT mreže
13. Trendovi u računarskim komunikacijama

Termin 11 - Sadržaj

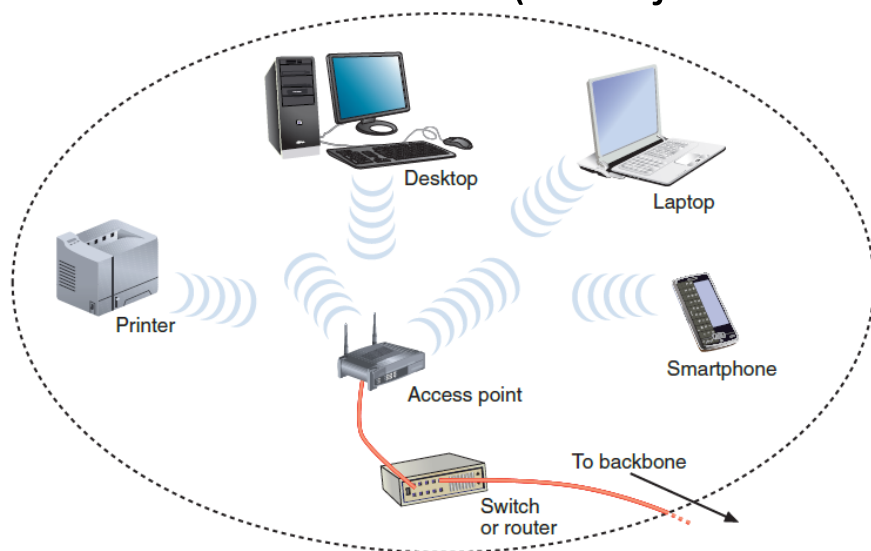
- **WLAN (WiFi)**
 - Uvod
 - Standardi
- **Karakteristike fizičkog sloja**
 - IEEE 802.11
 - IEEE 802.11b
 - IEEE 802.11g
 - IEEE 802.11a
 - IEEE 802.11n
 - IEEE 802.11ah
 - Primjer protokolske jedinice podataka na fizičkom sloju
- **Karakteristike MAC sloja**
 - DCF mehanizam
 - PCF mehanizam

WLAN - WiFi

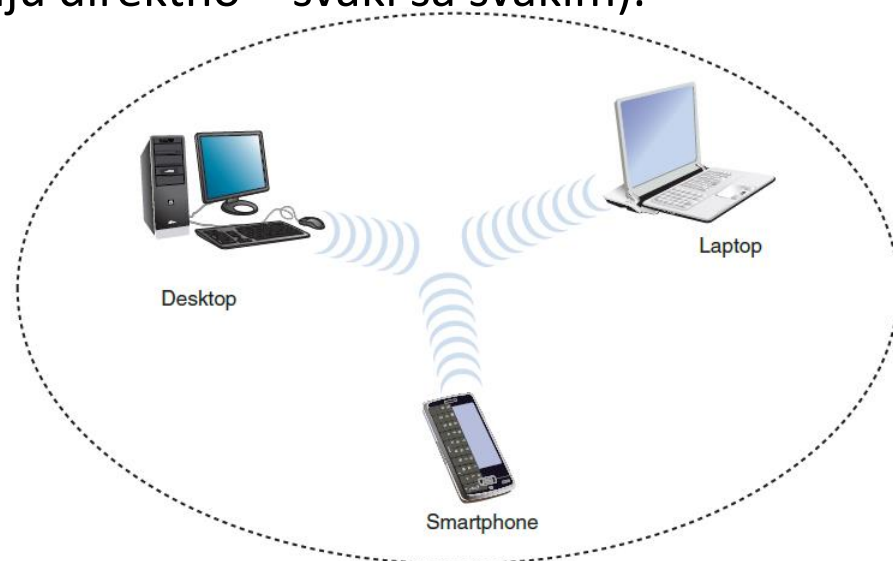
- WLAN (*Wireless Local Area Network*) – bežične lokalne mreže zasnovane danas dominantno na IEEE 802.11 grupi standarda
- 1990. godine IEEE je osnovao Radnu grupu sa zadatkom da specificira rješenja **na fizičkom sloju (PHY)** i na **MAC (Medium Access Control) sloju** za WLAN mreže
- IEEE nije imao mogućnost provjere interoperabilnosti opreme zasnovane na 802.11 grupi standarda, pa je osnovana **Wi-Fi Alliance** (*Wireless Fidelity*) kao organizacija koja promoviše WiFi tehnologiju i sertifikuje opremu koja je u skladu sa IEEE 802.11 grupom standarda
- WiFi se koristi kao sinonim za IEEE 802.11 tehnologiju
- WiFi tehnologija koristi nelicencirane ISM (*Industrial, Scientific and Medical*) frekvencijske opsege
 - **2400 – 2483 MHz**
 - **5150 – 5350 MHz**
 - **5735 – 5875 MHz**
 - **863-868 MHz**
 - **57 – 66 GHz**
- U nelicenciranim opsezima funkcionišu i bežični telefoni (iznad 900MHz), bluetooth, senzorske mreže (oko 2,4GHz), itd.

WLAN modovi

- WLAN mreže mogu funkcionisati u
 - **infrastrukturnom modu** (sve komunikacija se obavlja preko *access point-a* - AP) i
 - **ad-hoc modu** (uređaji komuniciraju direktno – svaki sa svakim).



Infrastrukturna WLAN mreža

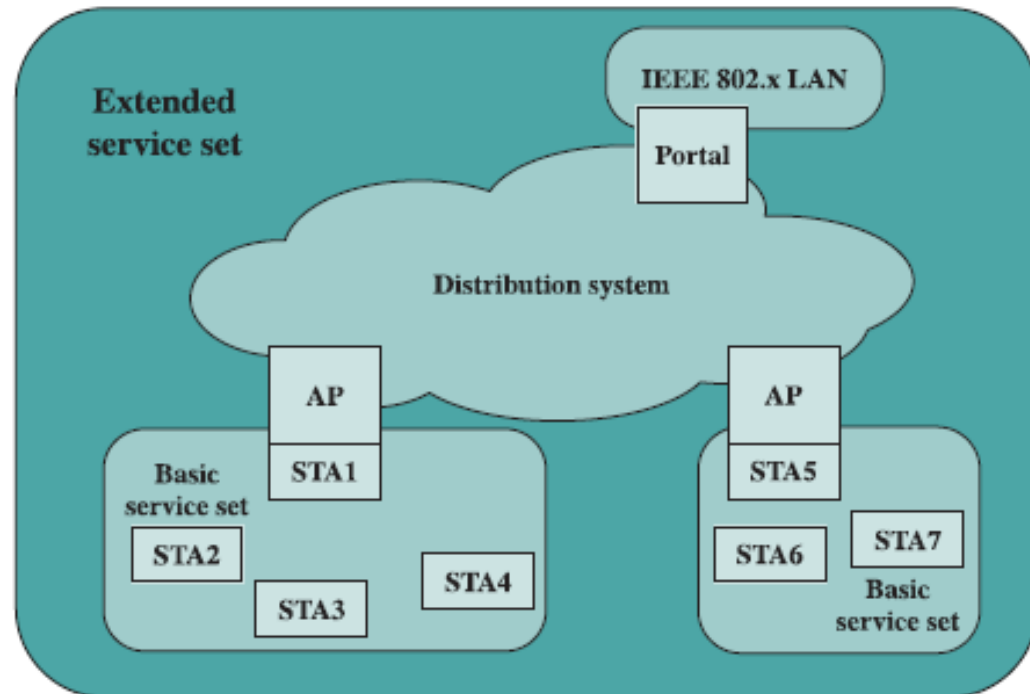


Ad-hoc WLAN mreža

- Osnovni blok WLAN mreža čini osnovni servisni skup (**BSS** – *Basic Service Set*), koga čini skup stanica koje se nadmeću za pristup zajedničkom medijumu za prenos.

WLAN arhitektura

- Nezavisni osnovni servisni skup (IBSS – *Independent Basic Service Set*) označava ad-hoc mrežu, kod koje je moguće uspostaviti komunikaciju direktno između bilo koje dvije stanice.
- Prošireni servisni skup (ESS – *Extended Service Set*) se sastoji od dva ili više BSS-ova, povezanih distributivnim sistemom.
- Obično je distributivni sistem žičana okosnica LAN mreže, ali može biti i neki drugi tip komunikacione mreže.
- ESS se ponaša kao jedna logička LAN mreža.



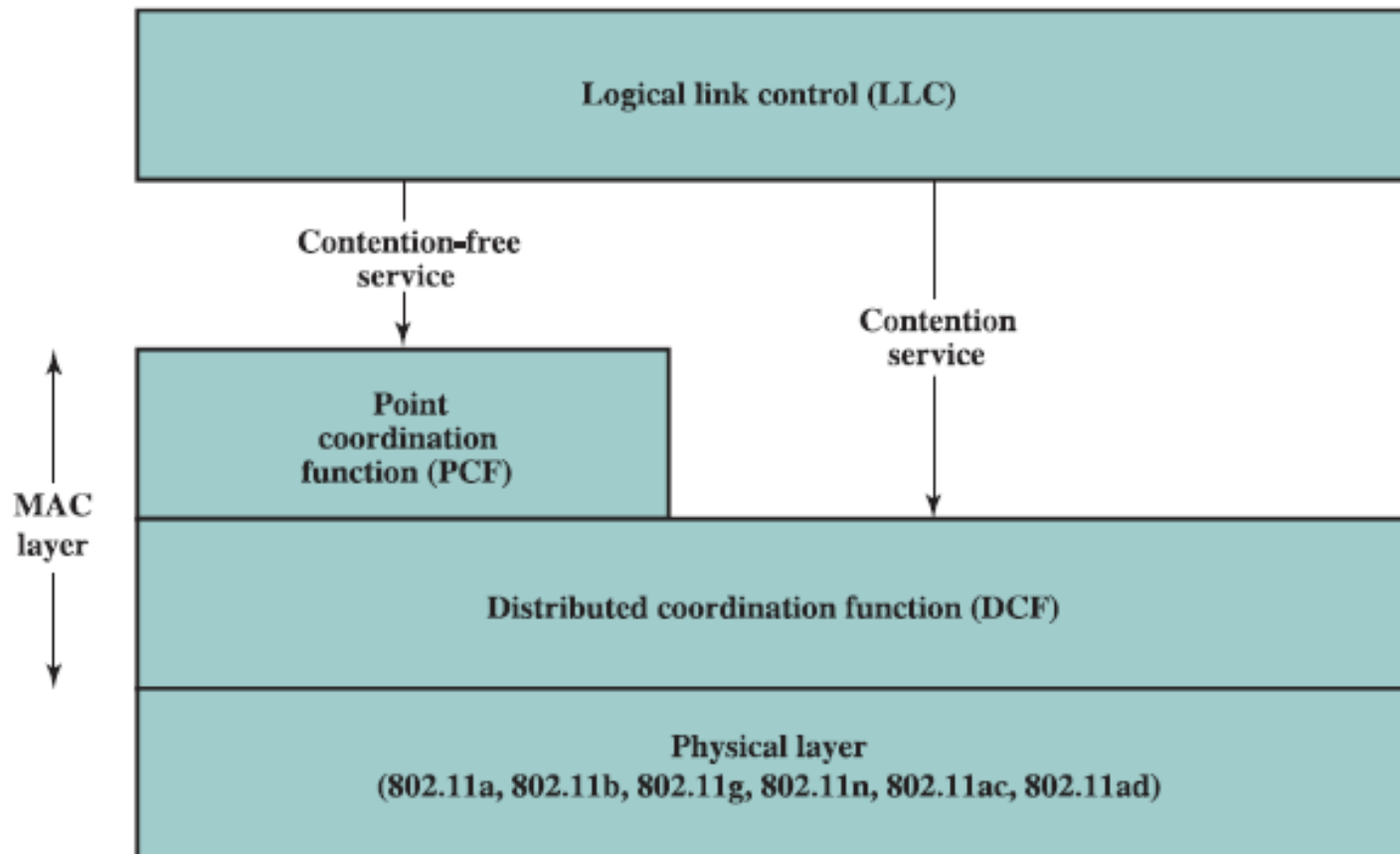
STA = station
AP = access point

Pristupna tačka - AP

- **Pristupna tačka (AP – Access Point)** je uređaj koji ostale uređaje za bežičnu komunikaciju povezuje u lokalnu mrežu.
- Najčešće je Ethernet kablom povezana sa LAN mrežom i služi za prenos podataka između žičnih i bežičnih uređaja.
- AP obično podržava povezivanje oko 30 klijenata smještenih na udaljenostima 30-70m u zatvorenim prostorima, odnosno oko 100-250m na otvorenom (ah standard do 1km), a sve u zavisnosti od WLAN standarda.
- Kvalitet signala na prijemu zavisi od :
 - Pozicije uređaja
 - Emisione snage
 - Mogućih smetnji od drugih uređaja koji emituju na istoj frekvenciji



IEEE 802.11 arhitektura protokola



- **DCF** – Distribuirana koordinaciona funkcija
- **PCF** – Centralizovana koordinaciona funkcija

Razvoj standarda

Standard	Oblast koju definiše
IEEE 802.11a	Fizički sloj: na 5GHz OFDM sa brzinama od 6 do 54 Mb/s
IEEE 802.11b	Fizički sloj: na 2,4GHz OFDM sa brzinama od 5,5 do 11 Mb/s
IEEE 802.11e	MAC: Poboljšanje kvaliteta servisa i bezbjedonosnih mehanizama
IEEE 802.11g	Fizički sloj: Proširenje 802.11b do brzina većih od 20Mb/s
IEEE 802.11i	MAC: Poboljšana bezbijednost i mehanizam autentifikacije
IEEE 802.11n	Fizički/MAC sloj: Poboljšanja za ostvarenje većih brzina prenosa
IEEE 802.11ac	Fizički/MAC sloj: Poboljšanja za podršku 0,5 – 1 Gb/s na opsegu 5GHz
IEEE 802.11ad	Fizički/MAC sloj: Poboljšanja za brzine veće od 1 Gb/s na opsegu 60GHz

Termin 11 - Sadržaj

- WLAN (WiFi)
 - Uvod
 - Standardi
- **Karakteristike fizičkog sloja**
 - IEEE 802.11
 - IEEE 802.11b
 - IEEE 802.11g
 - IEEE 802.11a
 - IEEE 802.11n
 - IEEE 802.11ah
 - Primjer protokolske jedinice podataka na fizičkom sloju
- **Karakteristike MAC sloja**
 - DCF mehanizam
 - PCF mehanizam

Karakteristike fizičkog sloja

Standard	802.11a	802.11b	802.11g	802.11n	802.11ac	802.11ad
Year introduced	1999	1999	2003	2000	2012	2014
Maximum data transfer speed	54 Mbps	11 Mbps	54 Mbps	65 to 600 Mbps	78 Mbps to 3.2 Gbps	6.76 Gbps
Frequency band	5 GHz	2.4 GHz	2.4 GHz	2.4 or 5 GHz	5 GHz	60 GHz
Channel bandwidth	20 MHz	20 MHz	20 MHz	20, 40 MHz	40, 80, 160 MHz	2160 MHz
Highest order modulation	64 QAM	11 CCK	64 QAM	64 QAM	256 QAM	64 QAM
Transmission technique	OFDM	DSSS	DSSS, OFDM	OFDM	SC-OFDM	SC, OFDM
Antenna configuration	1×1 SISO	1×1 SISO	1×1 SISO	Up to 4×4 MIMO	Up to 8×8 MIMO, MU-MIMO	1×1 SISO

- CCK – *Complementary Code Keying (single carrier modulation)*
- DSSS-OFDM – Hybrid modulation (DSSS preamble and header, OFDM payload)

IEEE 802.11

- Prva verzija standarda IEEE 802.11 je objavljena **1997.** god.
- Korišćen je opseg na **2.4 GHz**
- Maksimalne brzine prenosa podatak su iznosile **1 do 2 Mb/s**
- Koristile su se **FHSS i DSSS** tehnike za širenje spektra
- Zbog relativno malih brzina prenosa i nezaštićenosti brzo su se pojavile nove verzije standarda

IEEE 802.11 - fizički sloj

- Frekvencijski opseg se dijeli na kanale i definišu se frekvencijski skokovi unutar spektra.
- Niz preskakanja dešava se pseudo-slučajno i prije nego što se ponovi emitovanje na nekoj frekvenciji, ono se mora izvršiti na svim ostalim frekvencijama, odnosno, postoji ravnomjerno korišćenje opsega
- Način na koji se mijenja frekvencija je poznat i predajniku i prijemniku kako bi bili sinhronizovani
- Stalnim mijenjanjem frekvencije smanjuje se mogućnost interferencije i postiže veća sigurnost pri prenosu podataka
- Neefikasno korišćenje frekvencijskog opsega ograničava brzinu prenosa na 1 ili 2 Mb/s
- Signal se moduliše nekim od **FSK** modulacionih postupaka

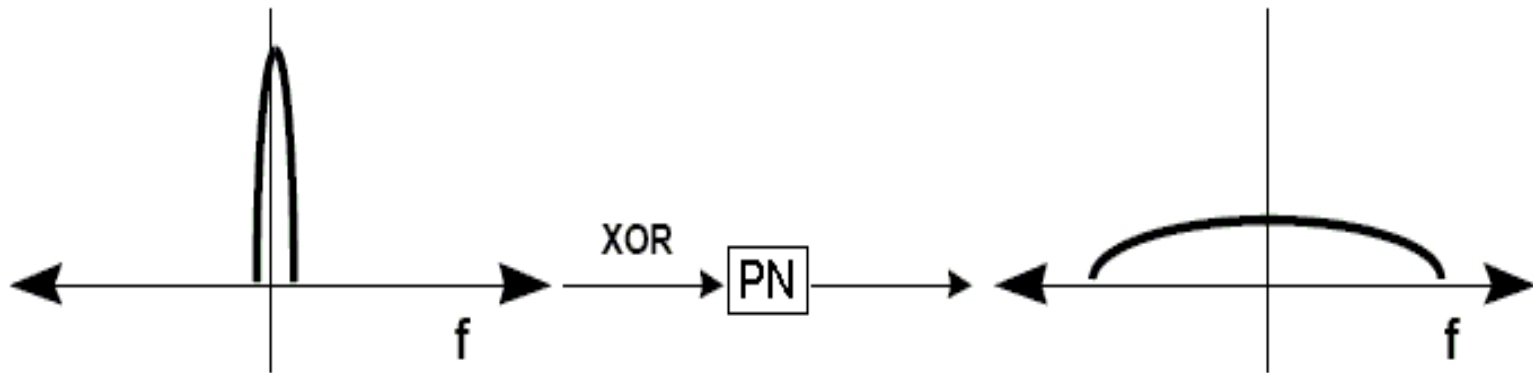
IEEE 802.11b - fizički sloj

- Nastao 1999. godine
- Opseg na 2.4 GHz, pri čemu je maksimalna brzina prenosa podataka povećana na 11Mb/s
- Efektivna brzina prenosa podataka 4-6 Mb/s
- Upotreba DSSS
- Može doći do smanjenja brzine prenosa zbog interferencije sa drugim uređajima (mobilni telefoni, bluetooth)

IEEE 802.11b - fizički sloj

- Signal koji se prenosi prvo se množi sa pseudo-slučajnom sekvencom i na taj način se širi po frekvencijskom opsegu
- Nakon širenja signal se moduliše nekom od standardnih modulacionih tehnika (**BPSK, FSK, GFSK**) i prenosi
- Na prijemnoj strani obavlja se demodulacija i prošireni signal se množi sa lokalno generisanom pseudo-slučajnom sekvencom poslije čega se dobija originalni signal
- Brzina prenosa do 11 Mb/s

IEEE 802.11b - fizički sloj



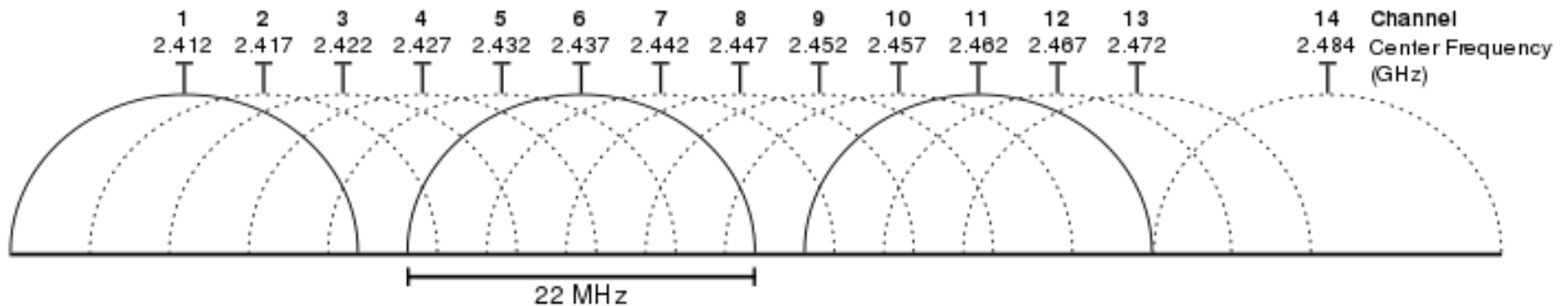
Efekat PN sekvence na spektar



Regenerisanje originalnog signala

IEEE 802.11b - fizički sloj

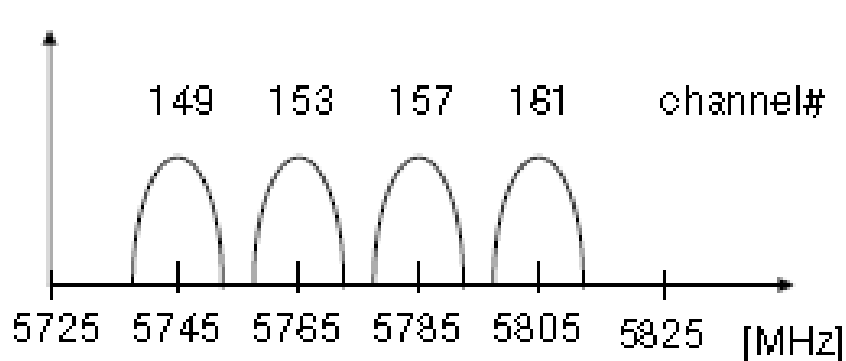
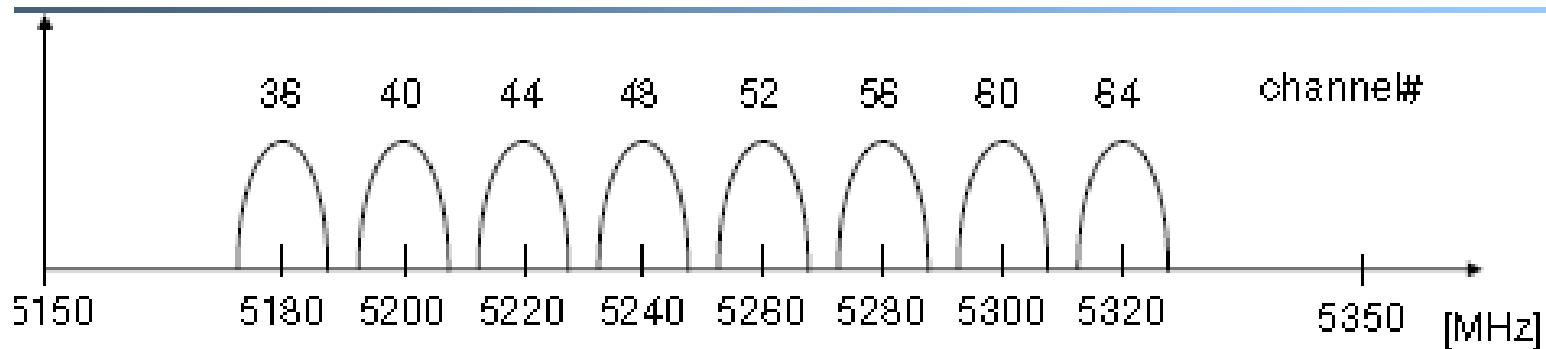
- Kod IEEE 802.11 standarda opseg se dijeli na 14 kanala, od kojih se u Evropi koristi prvih **13 kanala**
- Jedan AP koristi svaki peti kanal, jer kanali moraju biti **međusobno udaljeni 25 MHz kako se ne bi preklapali**



IEEE 802.11a

- Predstavljen u oktobru 1999. godine
- Koristi opseg na 5 GHz i ima maksimalnu brzinu prenosa od 54 Mb/s.
- Efektivna brzina prenosa podataka 20 - 25 Mb/s
- Koristi OFDM modulacionu tehniku
- Maksimalni domet do 100 metara
- Smanjen uticaj interferencije
- Nije kompatibilan sa 802.11b

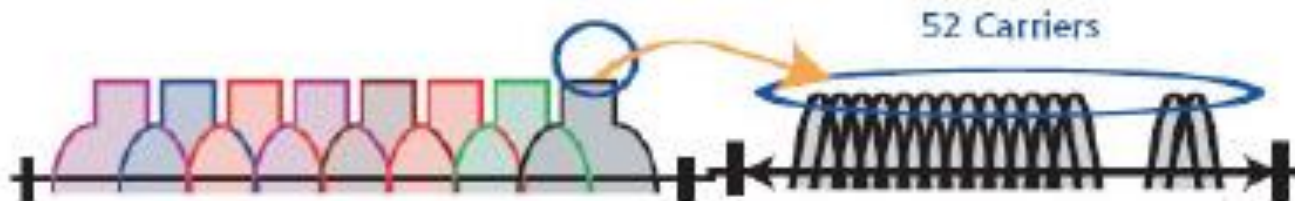
IEEE 802.11a - fizički sloj



center frequency =
 $5000 + 5 \cdot \text{channel number}$ [MHz]

IEEE 802.11a fizički sloj

- Koristi OFDM da podijeli svaki od kanala (20MHz) na **52 podnosioca** ($20\text{MHz}/64=312.5\text{KHz}$ svaki podnosilac)
 - **48** podnosilaca prenose podatke
 - **4** podnosioca služe za pilot simbole
 - Trajanje efektivnog dijela OFDM simbola – $3.2\mu\text{s}$
 - Trajanje preambule – $0.8\mu\text{s}$



- Adaptivna modulacija:
 - BPSK: 6 – 9 Mbps
 - QPSK: 12 – 18 Mbps
 - 16 QAM: 24 – 36 Mbps
 - 64 QAM: 48 – 54 Mbps

IEEE 802.11g

- Nastao 2003. godine
- Radi na opsegu od 2.4GHz, a maksimalna brzina prenosa podataka iznosi 54 Mb/s
- Koristi OFDM i DSSS
- Kompatibilan hardverski sa 802.11b standardom
- Maksimalni domet signala do 130 metara

IEEE 802.11g – fizički sloj

Data rate (Mbps)	Mandatory Modulation	Optional Modulation
1	DSSS	
2	DSSS	
5,5	CCK	FBCC
6	OFDM	DSSS- OFDM
9		OFDM , DSSS- OFDM
11	CCK	FBCC
12	OFDM	DSSS- OFDM
18		OFDM , DSSS- OFDM
22		FBCC
24	OFDM	DSSS- OFDM
33		FBCC
36		OFDM , DSSS- OFDM
48		OFDM , DSSS- OFDM
54		OFDM , DSSS- OFDM

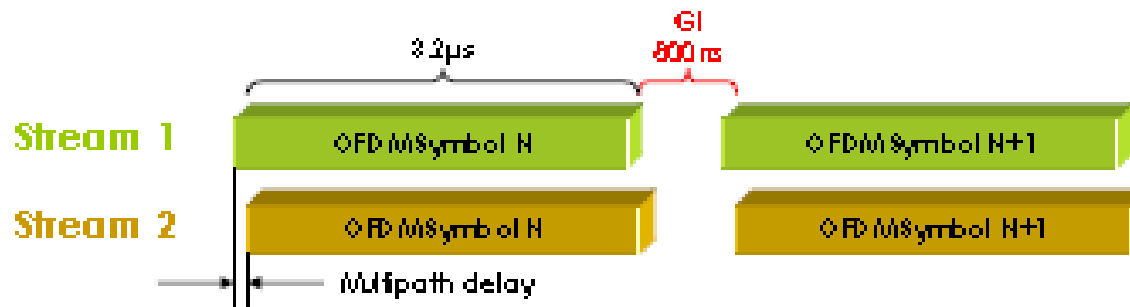
- CCK – *Complementary Code Keying* (single carrier modulation)
- FBCC – *Packet Binary Convolutional Code* (single carrier modulation)
- DSSS-OFDM – Hybrid modulation (DSSS preamble and header, OFDM payload)

IEEE 802.11n

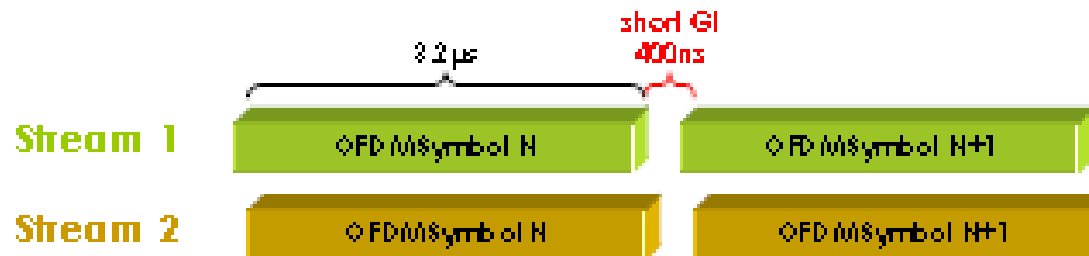
- Predstavljen 2009. godine
- Maksimalni domet do 250 metara
- Koristi opseg i od 2.4 i od 5 GHz i kompatibilan je hardverski sa 802.11a/g i 802.11b standardima
- Maksimalne brzine prenosa podataka do **600 Mb/s**
 - **Modifikovani OFDM** (52 podnosioca za prenos podataka, što povećava brzinu prenosa sa 54Mb/s na 58.5Mb/s)
 - **Poboljšani FEC** (5/6 umjesto ranijih 3/4, tj. 58.5Mb/s postaje 65Mb/s)
 - **Kraći GI** (sa 800ns na 400ns, što donosi prelaz sa 65 na 72.2Mb/s)
 - Zduživanje **2 kanala po 20MHz** više nego udvostručuje brzinu prenosa, tj umjesto 72.2Mb/s, ostvaruje se 150Mb/s
 - **MIMO** tehnologija (prostorno multiplekisanje **do 4 stream-a** po 150Mb/s)

IEEE 802.11n – Guard interval

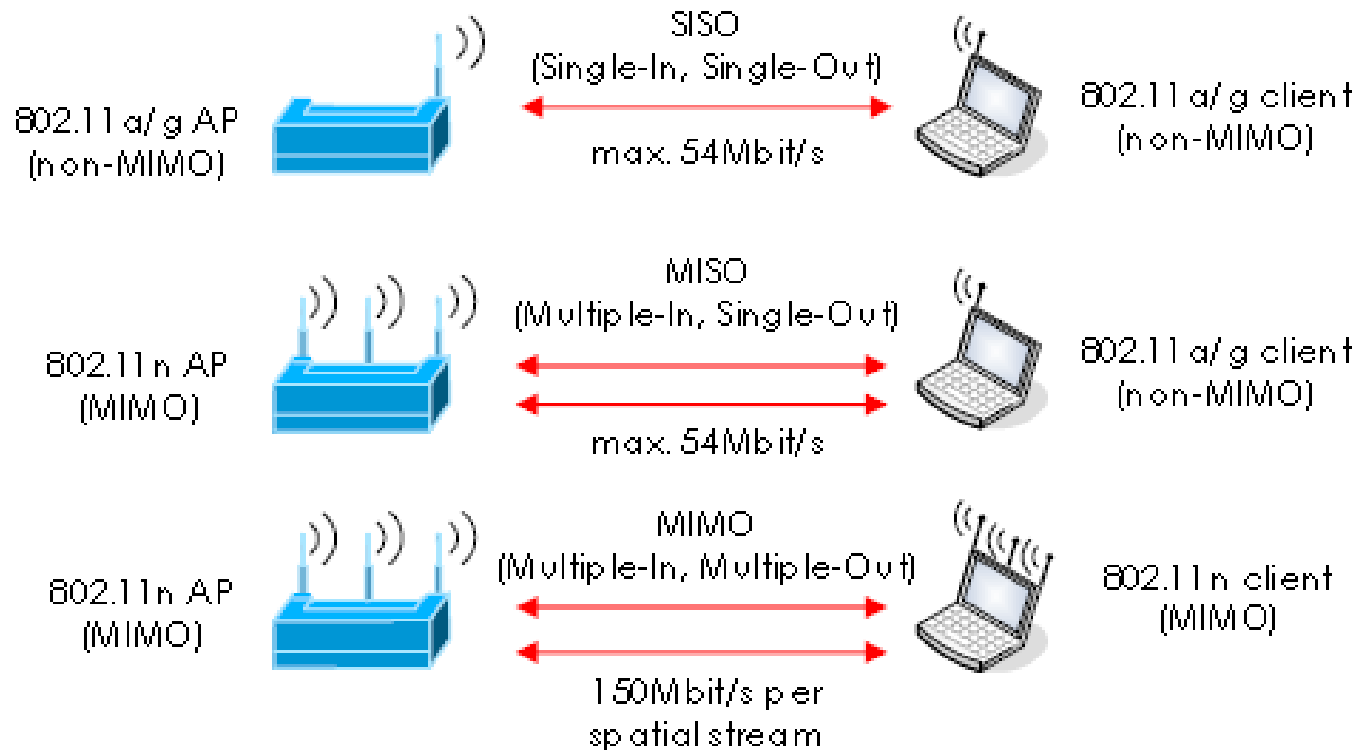
- Radi zaštite od *multipath* efekta i mogućnosti pojave ISI, koristi se GI



- U slučaju kada *multipath* efekat nije izražen, može se koristiti kraći GI



IEEE 802.11n - MIMO



MIMO uslovljava uvođenje odgovarajućih modulacionih i koding šema (**MCS** – *Modulation and Coding Schemes*)

IEEE 802.11n - MCS

MCS Index	Modulation	Code Rate	Spatial Streams	FEC Coders	PHY Rate	
					20 MHz	40 MHz
0	BPSK	1/2	1	1	6.5	13.5
1	QPSK	1/2	1	1	13	27
7	64-QAM	5/6	1	1	65	135
8	BPSK	1/2	2	1	13	27
14	64-QAM	3/4	2	1	117	243
21	64-QAM	2/3	2	2	156	324
28	16-QAM	3/4	4	2	156	324
31	64-QAM	5/6	4	2	260	540
31*	64-QAM	5/6	4	2	288.89	600

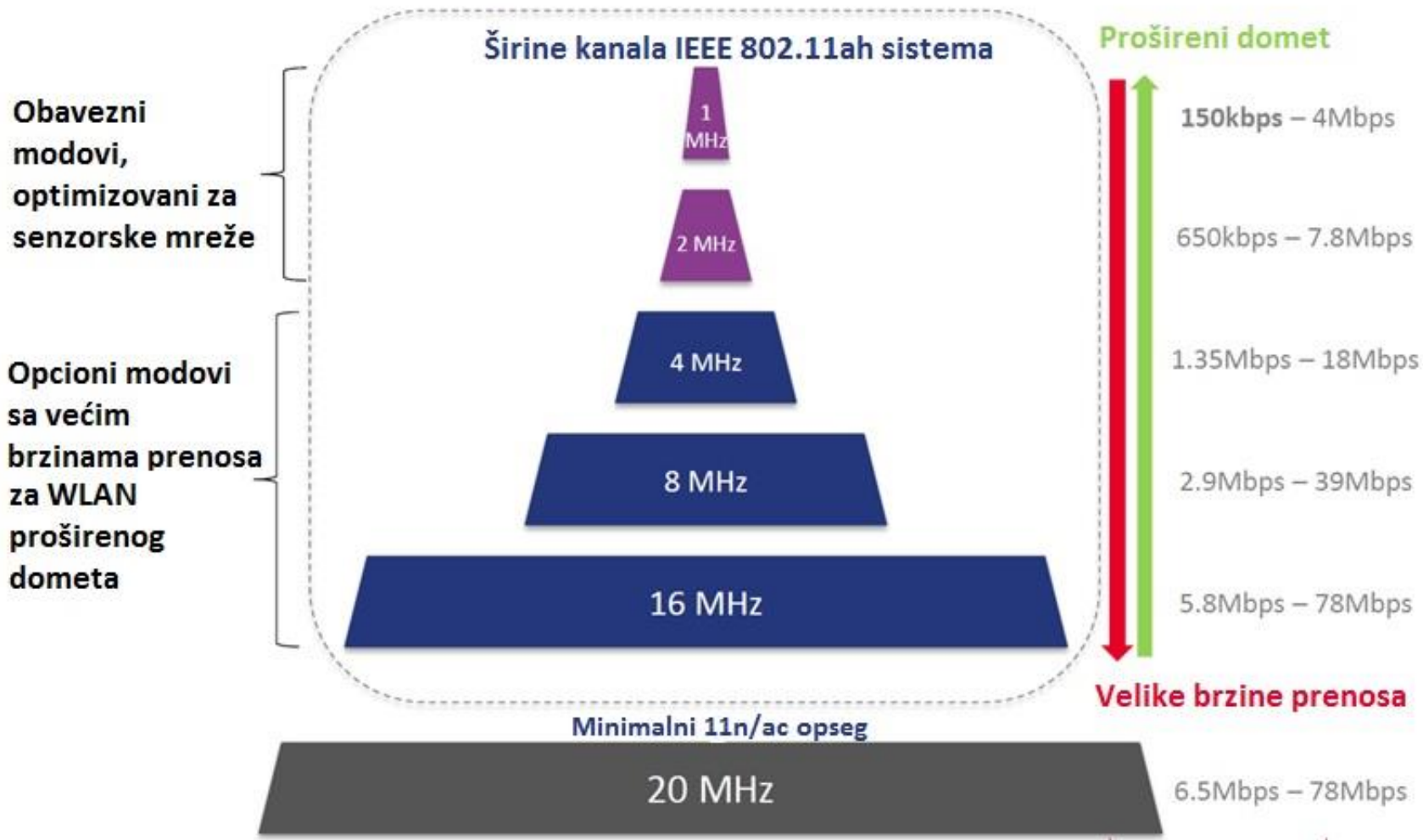
Dalji razvoj standarda

- **IEEE 802.11d**
Modifikacija ranijih 802.11 standarda zbog kompatibilnosti sa propisima u drugim zemljama
- **IEEE 802.11i**
Poboljšanje bezbijednosti bežičnih mreža
- **IEEE 802.11p**
Pristup bežičnoj mreži u jako pokretljivom okruženju
- **IEEE 802.11s**
Definiše stvaranje mesh topologije između bežičnih uređaja
- **IEEE 802.11v**
Upravljanje bežičnom mrežom
- **IEEE 802.11ac**
Povećanje brzine do 1Gb/s koristeći opseg od 6GHz
- **IEEE 802.11ad**
Povećanje brzine prenosa preko 1Gb/s koristeći opseg od 60 GHz
- **IEEE 802.11af**
Standard zasnovan na kognitivnom radiju, koji bi koristio TV-White Space opsege ispod 1GHz (tj. opsege od 54MHz do 790MHz)
- **IEEE 802.11ah**
Standard koji bi funkcionise u nelicenciranim opsezima ispod 1GHz, radi povećanja dometa, smanjena potrošnje energije, i omogućavanja IoT koncepta.

IEEE 802.11ah – WiFi-HaLow

- ✓ Prvi IEEE 802.11 standard u sub-GHz opsegu – WiFi proširenog dometa, usvojen **februara 2017. god.**
- ✓ Dizajniran da omogući IoT zasnovane aplikacije
- ✓ Zasnovan na IEEE 802.11ac standardu, uz izmjene na fizičkom i MAC sloju
- ✓ OFDM zasnovana tehnologija, sa fleksibilnom širinom kanala, od **1MHz do 16MHz**
- ✓ Robustne modulacione i koding šeme (MCS0 i MCS10) primjenjuju **BPSK** modulaciju na kanalu širine 1MHz
 - ✓ Domet do **1km**
 - ✓ Primjenom **relejnih stanica**, domet može premašiti 1km
- ✓ Omogućava povezivanje **do 8000 stanica** na jedan access point
- ✓ Napredne tehnike uštede snage omogućuju baterijski napajane uređaje, sa životnim vijekom baterije **do 10 god.**

IEEE 802.11ah – WiFi-HaLow

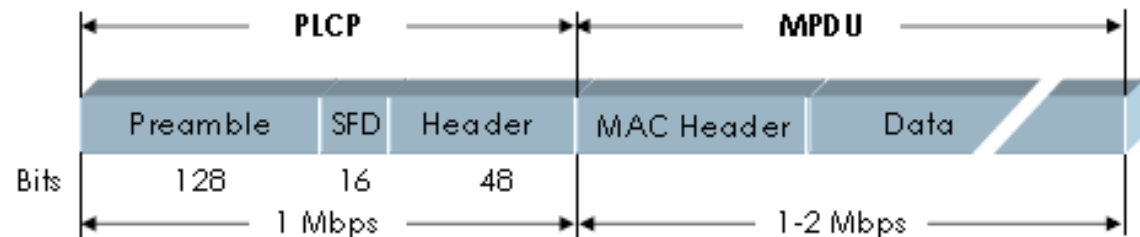


IEEE 802.11ah – WiFi-HaLow

- ✓ U Evropi će se koristiti opseg 863-868MHz, uz ograničenje maksimalne emisije snage AP od **10mW** (10dBm)
 - ✓ Krajnji uređaji tipa senzora, će obično emitovati snagom **0dBm**
- ✓ Predviđena su tri različita modela primjene
 - 1. Senzori i pametna očitavanja**
 - Pametna EE mreža, praćenje životne sredine, poljoprivreda, senzori u industrijskim procesima, u zdravstvu, pametne kuće,...
 - 2. Backhaul za senzore i pametna očitavanja**
 - *Backhaul* za 802.15.4g mreže, za senzore i aktuatoru u industrijskim procesima
 - 3. Wi-Fi proširenog dometa**
 - Šoping molovi, pokrivanje kampusa, *offloading* celularnih sistema

IEEE 802.11 frejmovi - PHY

802.11 DSSS with
'Long Preamble'
Barker Code



802.11b HR/DSSS with
'Short Preamble'
Barker / CCK



802.11g (ERP)
Extended Rate PHY
OFDM

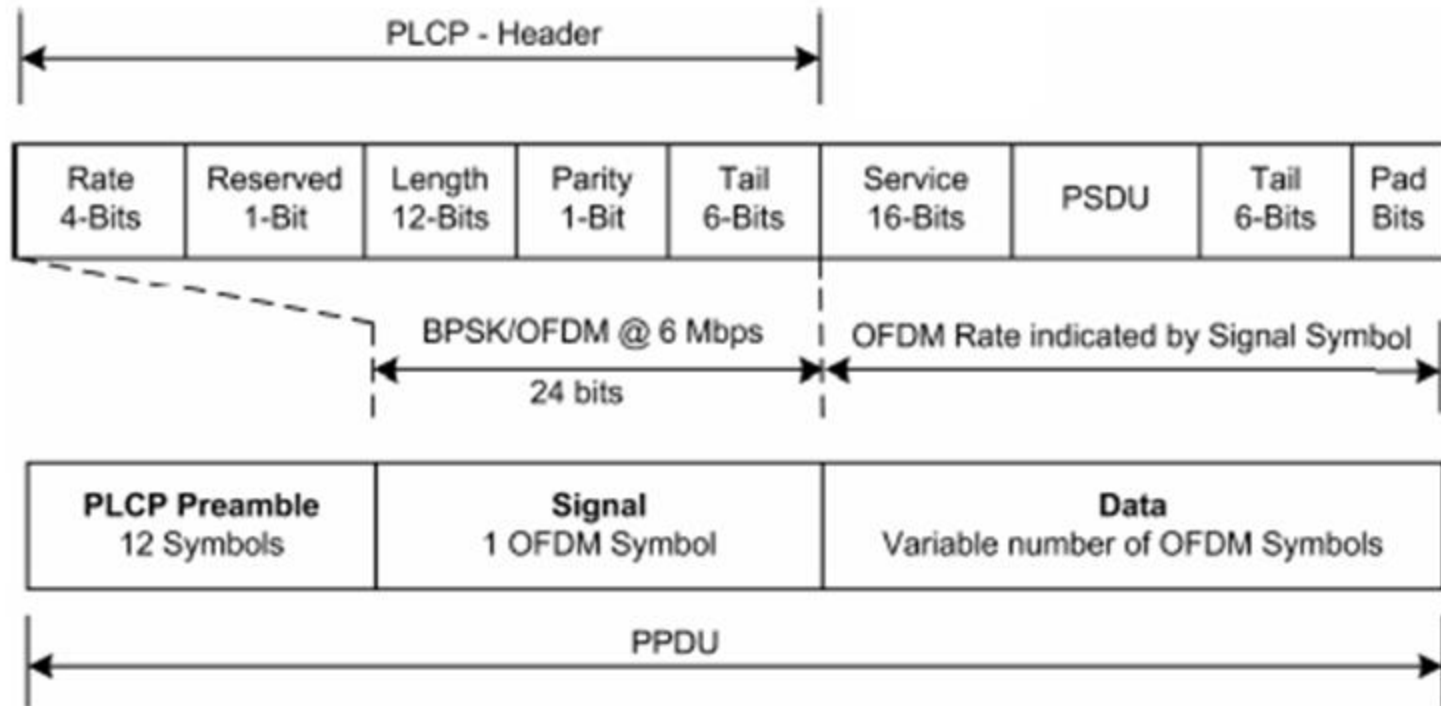


802.11n (HT)
High Throughput
extended OFDM



PLCP = Physical Layer Convergence Protocol
MPDU = MAC Layer Protocol Data Unit (decodiert by Wireshark)

IEEE 802.11a/g frejm - PHY

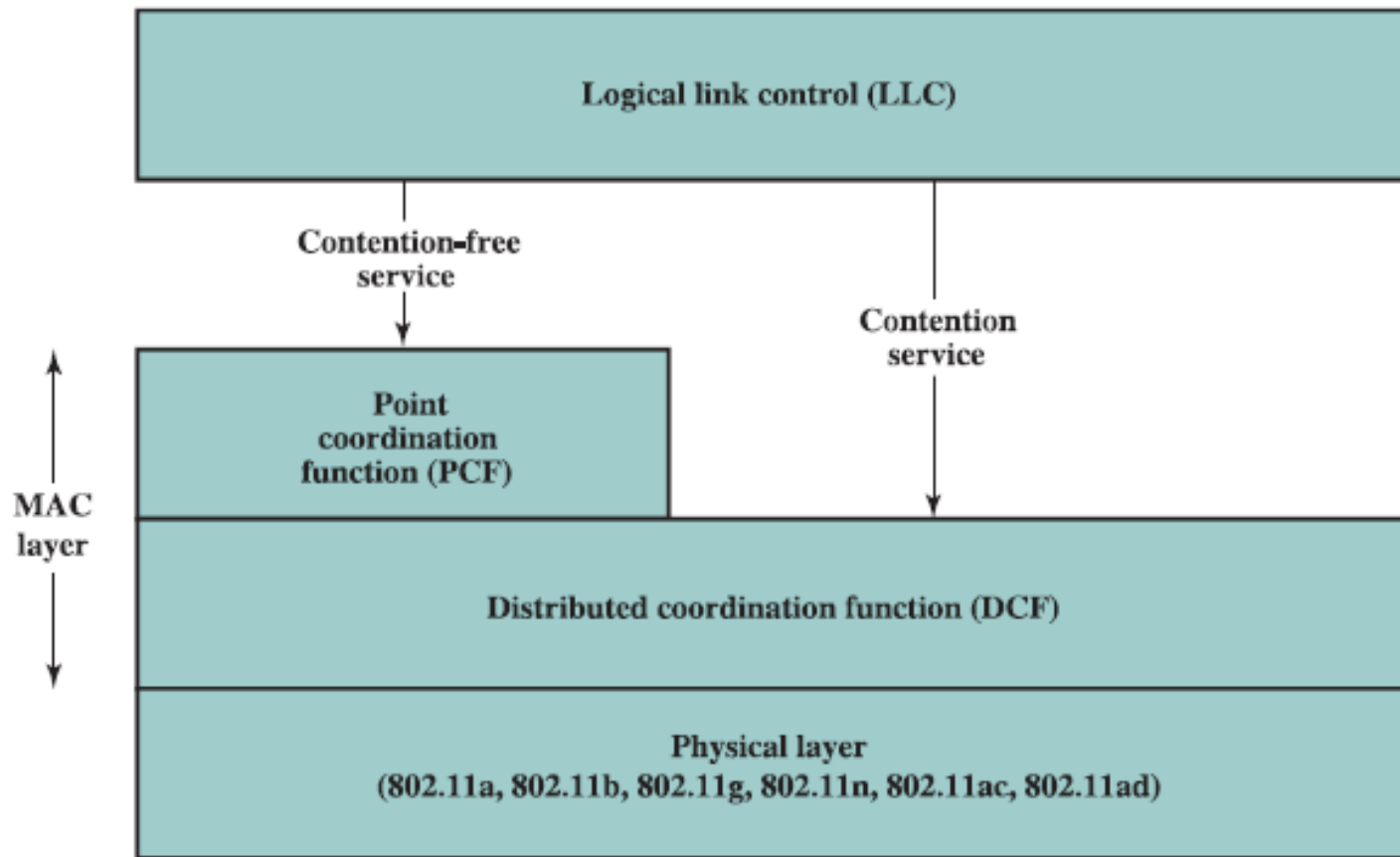


- Ovaj tip frejma predstavlja jedini frejm definisan za IEEE 802.11a standard, ali samo jedan od definisanih frejmova za IEEE 802.11g standard. Međutim, ovo je ujedno najčešće upotrebljavan IEEE 802.11g frejm, koji mu omogućava brzine prenosa podataka od 6, 9, 12, 18, 24, 36, 48 i 54 Mb/s.

Termin 11 - Sadržaj

- **WLAN (WiFi)**
 - Uvod
 - Standardi
- **Karakteristike fizičkog sloja**
 - IEEE 802.11
 - IEEE 802.11b
 - IEEE 802.11g
 - IEEE 802.11a
 - IEEE 802.11n
 - IEEE 802.11ah
 - Primjer protokolske jedinice podataka na fizičkom sloju
- **Karakteristike MAC sloja**
 - DCF mehanizam
 - PCF mehanizam

IEEE 802.11 arhitektura protokola



- **DCF** – Distribuirana koordinaciona funkcija
- **PCF** – Centralizovana koordinaciona funkcija

MAC mehanizam

- Osnovni MAC mehanizam za IEEE 802.11 mreže je distribuirana kontrola pristupa medijumu za prenos, sa opcionom centralizovanom kontrolom koja se koristi povrh toga.
- Niži podnivo MAC sloja je **distribuirana koordinaciona funkcija (DCF)**.
- DCF koristi alogiritam nadmetanja da bi obezbijedio pristup za sve korisnike.
 - Asinhroni saobraćaj se obično opslužuje korišćenjem DCF mehanizma
 - DCF se koristi u svim ad-hoc WLAN mrežama i u infrastrukturnim mrežama sa asinhronim saobraćajem
- **PCF je centralizovana kontrola pristupa** koja obezbjeđuje servis bez nadmetanja u pristupu medijumu za prenos
 - PCF je nadgrađen na DCF i koristi njegove karakteristike

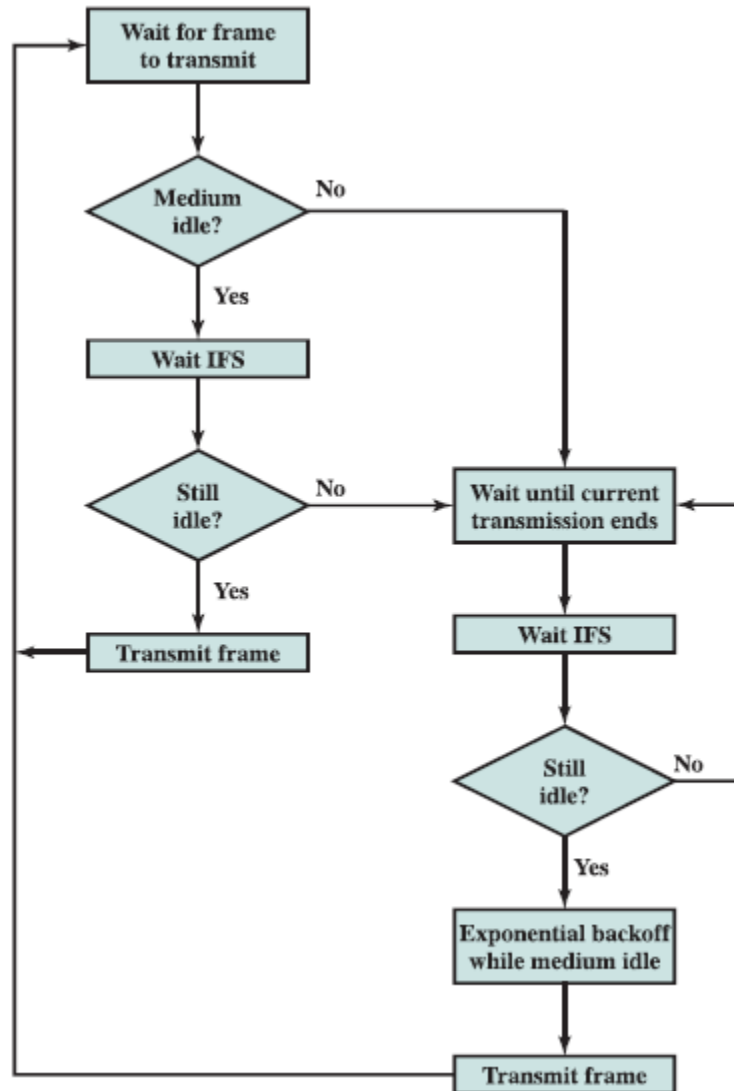
DCF MAC mehanizam

- DCF podsloj koristi osnovni MAC mehanizam za IEEE 802.11 mreže, **CSMA-CA (Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance)**
 - Signal se šalje tek kada nijedan drugi uređaj ne vrši komunikaciju po principu *Listen before you talk* (oslušivanje medijuma za prenos)
 - Kada je medijum zauzet, predajnik se povlači za proizvoljno vrijeme (***back off interval***)
- DCF ne uključuje detekciju kolizija, jer to ne bi bilo praktično rješenje u bežičnim mrežama, gdje postoji velika dinamika primljenih signala, odnosno moguće su vrlo male vrijednosti signala na prijemu, koje se ne bi razlikovale od nivoa šuma.
- Da bi se osiguralo efikasno i fer funkcionisanje DCF algoritma, uključen je skup različitih kašnjenja koji dozvoljavaju davanje različitih prioriteta korisnicima (tipovima saobraćaja)

DCF MAC mehanizam

- Počnimo razmatranje podrazumijevajući samo jedno kašnjenje, koje se označava kao rastojanje između frejmova (**IFS** – *Interframe Space*)
 - U praksi postoje 3 različite vrijednosti IFS-a
- Uvođenjem pojma IFS, CSMA algoritam se može objasniti na sledeći način:
 1. Stanica koja ima podatke koje treba emitovati osluškuje medijum za prenos. Ako je medijum slobodan, ona čeka IFS interval. Ako je medijum i dalje slobodan, stanica odmah emituje.
 2. Ako je medijum za prenos zauzet, stanica odlaže emitovanje podataka i nastavlja da osluškuje medijum dok se ne završi postojeća emisija
 3. Kada se završi postojeća emisija, stanica čeka IFS interval. Ako medijum za prenos ostane slobodan i nakon toga, onda stanica bira nasumičan **back off interval** i nakon toga opet provjerava da li je medijum slobodan. Ako je u međuvremenu neka stanica zauzela medijum za prenos, back off interval se pauzira i nastavlja se sa odbrojanjem kada medijum za prenos postane slobodan.
 4. Ako je prenos bio neuspješan, što se određuje na osnovu nepostojanja potvrde (ACK) o uspješnom prijemu, onda se podrazumijeva da se javila kolizija.

DCF MAC mehanizam

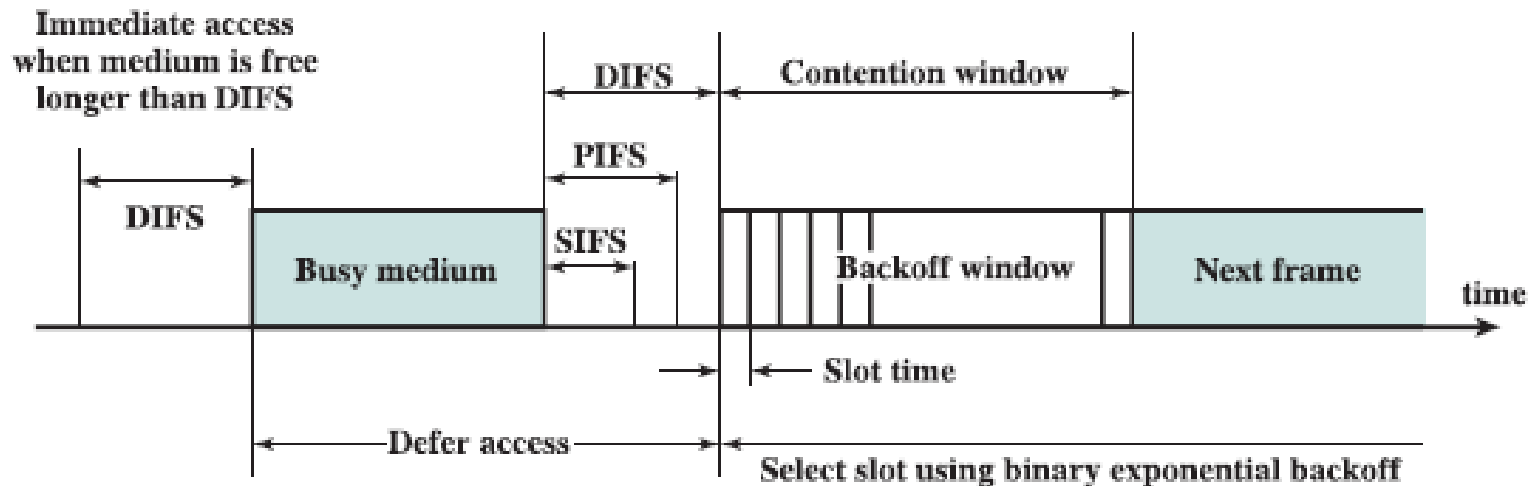


DCF MAC mehanizam

- Prethodno opisani DCF mehanizam je modifikovan uvođenjem 3 različite vrijednosti za IFS kašnjenje, da bi se obezbijedio pristup sa prioritetom.
 1. Kratki IFS (**SIFS** - *Short IFS*): Najkraći IFS koji se koristi za akcije sa najvećim prioritetom
 2. IFS za centralizovanu koordinacionu funkciju (**PIFS** – *Point Coordination function IFS*): IFS srednjeg trajanja, koji koristi centralizovani kontroler (AP) u PCF šemi, kada vrši prozivanje stanica
 3. IFS za distribuiranu koordinacionu funkciju (**DIFS** – *Distributed Coordination Function IFS*): IFS najdužeg trajanja, koji se koristi kao minimalno čekanje (kašnjenje) u DCF šemi, kada se stanice nadmeću za pristup medijumu za prenos

DCF MAC mehanizam

- Na slici je prikazan način korišćenja ove 3 različite IFS vrijednosti u osnovnom načinu pristupa medijumu za prenos.



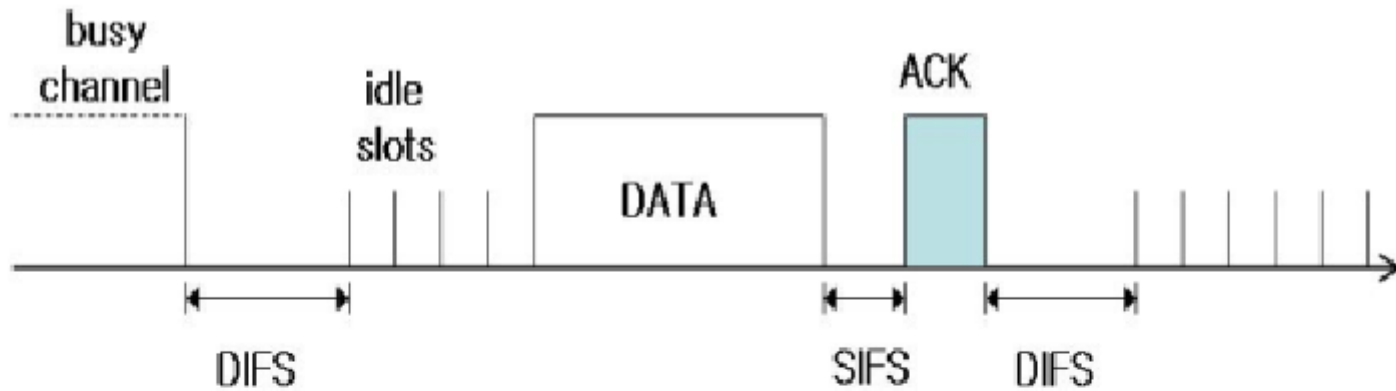
- Svaka stanica koja koristi SIFS da odredi mogućnost emitovanja, ima najviši prioritet, jer će uvijek prije dobiti pristup medijumu za prenos u odnosu na stanice koje koriste PIFS ili DIFS.

DCF MAC mehanizam

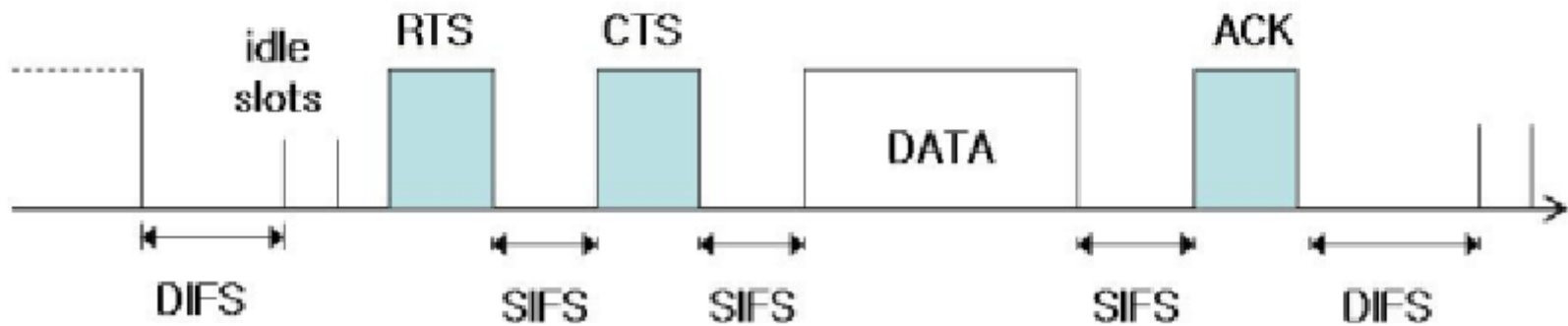
SIFS se koristi u sledećim slučajevima:

- **Potvrda prijema paketa (ACK)**
 - Kada stanica primi paket koji je namijenjen samo njoj (ne radi se o broadcast ili multicast paketu), ona odgovara sa potvrdom ACK, nakon što sačeka SIFS interval.
- **Potvrda o slobodnom medijumu za prenos (CTS – *Clear to Send*)**
 - Stanica može osigurati da će njen poslati frejm biti poslat ako najprije pošalje zahtjev za emitovanjem podataka, tj. slanjem RTS (*Request to Send*) frejma. Stanica kojoj je namijenjen ovaj frejm će odgovoriti sa CTS frejmom, ako je spremna da primi podatke. Sve ostale stanice koje čuju RTS zahtjev će se uzdržati od pristupa medijumu za prenos. Ovaj mehanizam se koristi za smanjenje broja kolizija u WLAN mrežama sa velikim brojem stanica i velikim saobraćajem.
- **Odgovor na prozivku od strane kontrolne stanice**

DCF MAC mehanizam



(a) basic access scheme



(b) RTS/CTS scheme

PCF MAC mehanizam

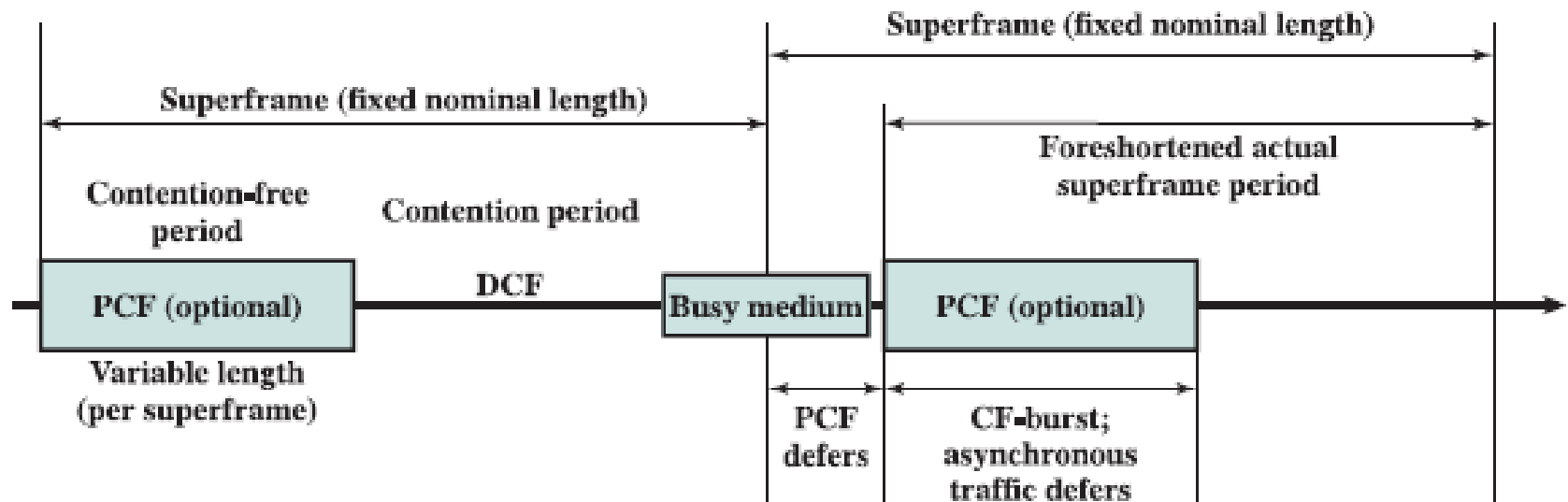
- PCF kontrola pristupa medijumu je alternativa DCF mehanizmu, koja se primjenjuje iznad DCF-a
- Podrazumijeva postojanje **centralne koordinatorske (master) stanice**, koja proziva ostale stanice, u smislu da li imaju informacije koje treba da emituju
 - Ova stanica koristi **PIFS kašnjenje** kada izdaje dozvolu za emitovanje
 - Pošto PIFS traje kraće od DIFS, master stanica može okupirati medijum za prenos i onemogućiti prenos asinhronog tipa saobraćaja dok god ona izdaje dozvole za emitovanje i dobija odgovore od stanica koje proziva

PCF MAC mehanizam

- Posmatrajmo scenario gdje u WLAN mreži postoji neki broj stanica sa saobraćajem osjetljivim na kašnjenje, koje kontroliše centralni koordinator (master), dok ostale stanice se nadmeću za medijum za prenos korišćenjem CSMA algoritma
 - Master stanica može izdavati dozvole za emitovanje koristeći “round-robin” pristup
 - Kada je neka stanica prozvana, ona može odgovoriti koristeći SIFS interval čekanja
 - Master stanica vrši prozivku sve dok dobija odgovore od stanica, a interval između prijema odgovora i naredne prozivke je PIFS
 - Kada više ne bude dobijala odgovore, master stanica prestaje sa prozivkom, i onda se mogu ostale stanice nadmetati za medijum za prenos
- Na ovaj način bi master stanica mogla potpuno okupirati medijum za prenos, blokirajući asinhroni tip saobraćaja
 - Da bi se to spriječilo, definise se vremenski interval poznat kao **superokvir (*superframe*)**

PCF MAC mehanizam

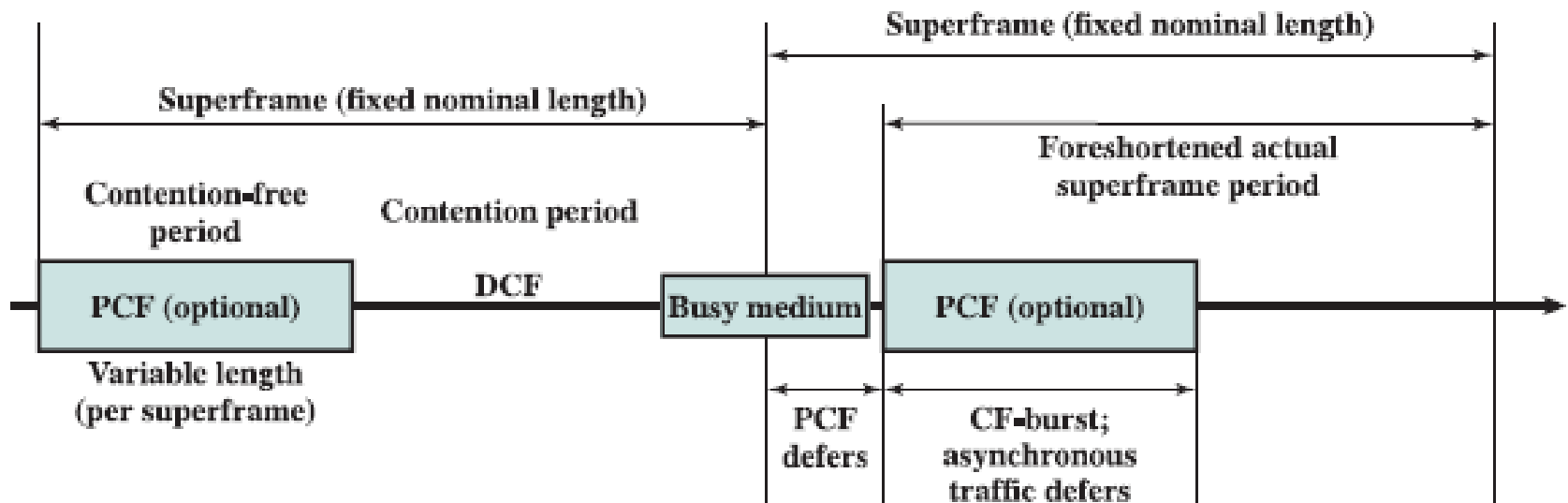
- Na početku superfrejmskog intervala, master stanica može opcionalno preuzeti kontrolu nad medijumom za prenos za određeni period vremena
 - Ovaj interval može varirati, u zavisnosti od veličine podataka (frejmova) koje šalje prozvana stanica, koja je dobila pristup medijumu za prenos
 - Preostali dio superfrejmskog intervala je dostupan za pristup na bazi nadmetanja



PCF kreiranje superfrejma

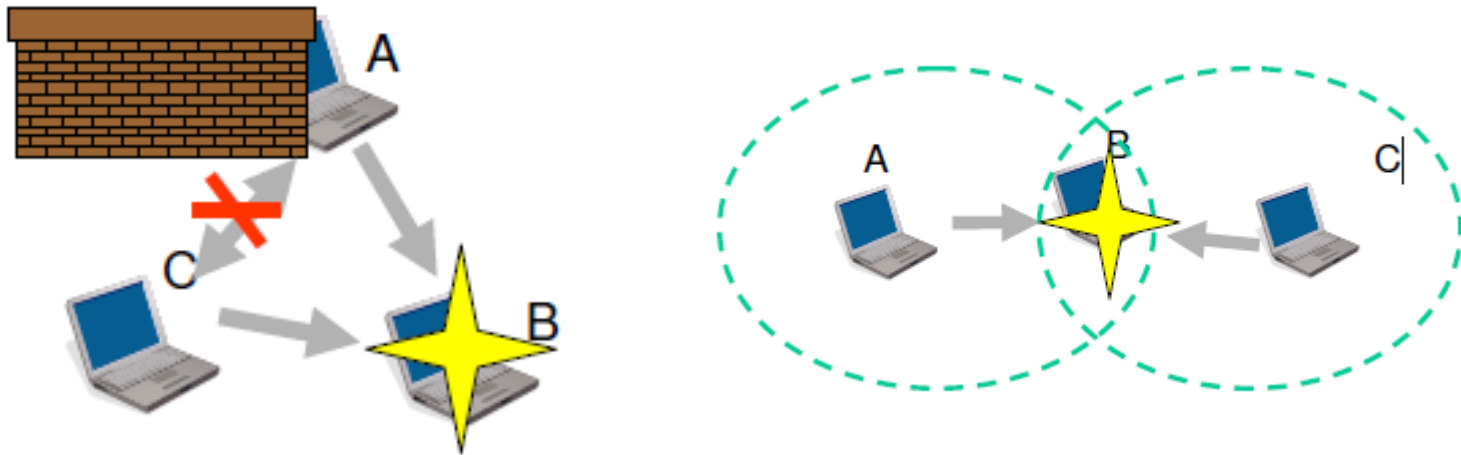
PCF MAC mehanizam

- Na kraju superfrejma, master stanica se nadmeće za pristup medijumu za prenos, koristeći PIFS kao interval čekanja
- Ako je medijum slobodan, master stanica će dobiti pristup i nakon toga slijedi trajanje kompletnog superfrejma
- Međutim, ako je medijum za prenos zauzet, master stanica mora čekati dok ne postane slobodan i tek tada će dobiti pristup
- Kao rezultat toga, dobija se nešto kraći interval superfrejma u narednom ciklusu



PCF kreiranje superfrejma

Problem sa skrivenom stanicom



- A i C ne mogu da detektuju koliziju
- Samo prijemnik (B) može da pomogne da se izbjegne kolizija