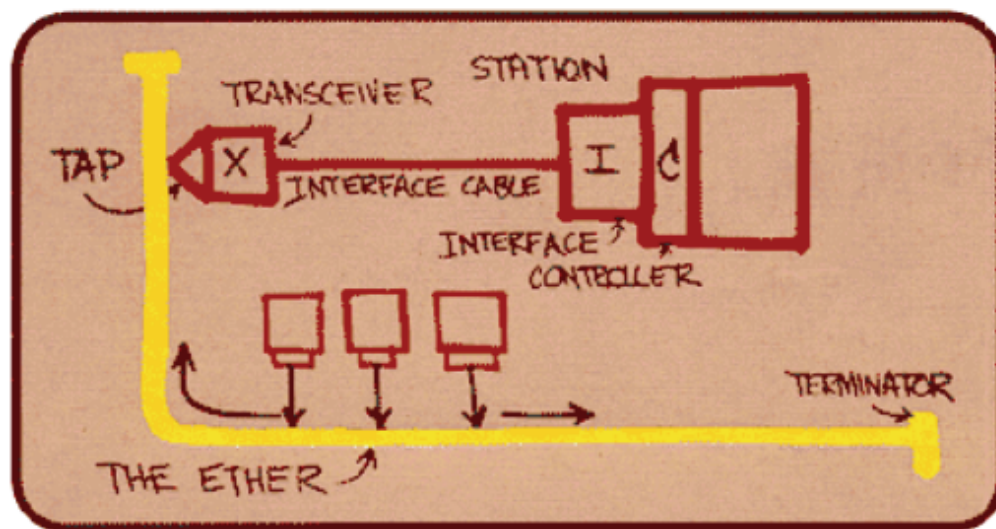


Ethernet

“dominantna” žična LAN tehnologija:

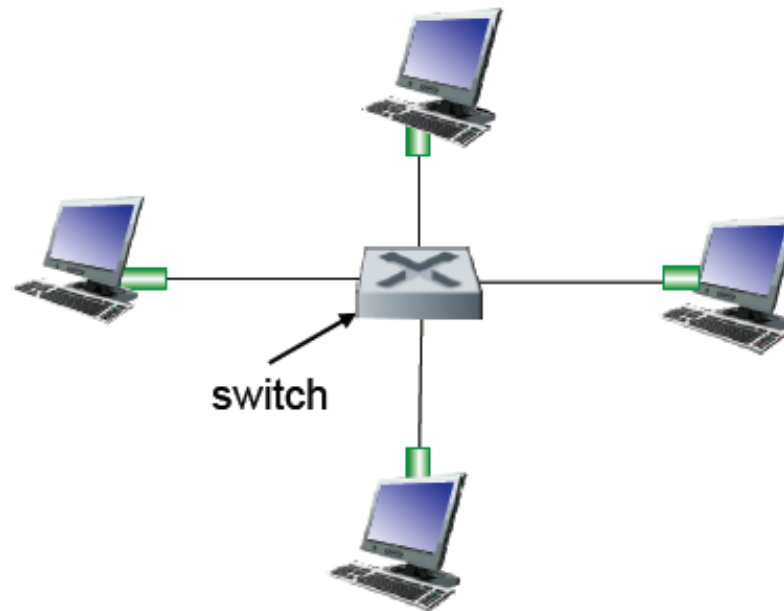
- ❑ nekoliko € za za više različiti brzina prenosa
- ❑ Prva široko korišćena LAN tehnologija
- ❑ Jednostavnija i jeftina
- ❑ Široki opseg brzina prenosa: 10 Mb/s - 100 Gb/s



Metcalfe-ova skica
Etherneta

Topologija zvijezda

- ❑ Topologija magistrala je bila popularna devedesetih
- ❑ Sada topologija zvijezda preovlađuje
- ❑ Izbor čvorišta: hub ili switch



Struktura Ethernet Frejma

Adapter pošiljaoca enkapsulira IP datagram (ili neki drugi paket nivoa mreže) u **Ethernet frejm**



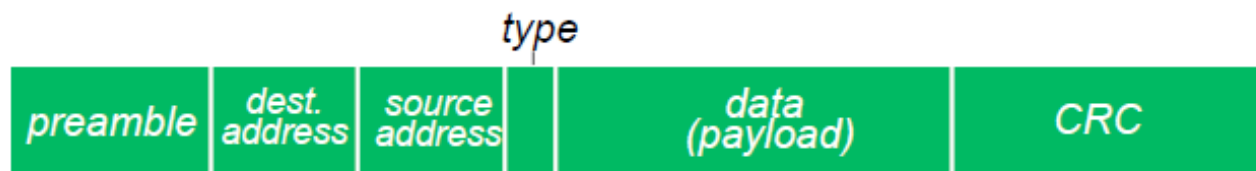
Preamble (8B):

- ❑ 7 B sa sadržajem 10101010 praćenim sa 1B sadržaja 10101011
- ❑ Služi za sinhronizaciju prijemnika i predajnika

Struktura Ethernet Frejma (više)

- ❑ **Adrese (6B):**
 - Ako adapter primi frejm sa odgovarajućom destinacionom ili broadcast adresom (npr ARP paket), prosleđuje podatke iz frejma protokolu mrežnog nivoa
 - U suprotnom, adapter odbacuje frejm
- ❑ **Type(2B):** ukazuje na protokol nivoa mreže (najčešće IPv4 (0800) i IPv6 (86DD), ali nekad i Novell IPX i AppleTalk)
- ❑ **CRC(4B):** provjera na prijemu, ako je detektovana greška, frejm se odbacuje (CCITT-32 CRC)

$$x^{32} + x^{26} + x^{23} + x^{22} + x^{16} + x^{12} + x^{11} + x^{10} + x^8 + x^7 + x^5 + x^4 + x^2 + x + 1$$



Nepouzdana, nekonektivni servis

- ❑ **Nekonektivni:** Nema *handshaking* procedure između predajnog i prijemnog adaptera.
- ❑ **Nepouzdan:** prijemni adapter ne šalje pozitivne ili negativne potvrde prijema predajnom adapteru
 - tok datagrama koji se prosleđuje nivou mreže može imati praznina
 - praznine popunjava TCP, ako se koristi
 - u suprotnom, aplikacija će vidjeti praznine

Ethernet koristi CSMA/CD

- ❑ nema slotova
- ❑ adapter ne prenosi ako osjeti da neki drugi adapter šalje, to je, *carrier sense*
- ❑ predajni adapter prekida slanje ako osjeti da i drugi adapter šalje, to je, *collision detection*
- ❑ prije pokušaja retransmisije, adapter čeka slučajno vrijeme, to je, *random access*

Ethernet CSMA/CD algoritam

1. Adapter prima datagram & kreira frejm
2. Ako adapter osjeti slobodan kanal (u trajanju od 96 bita), počinje da šalje frejm. Ako osjeti da je kanal zauzet, čeka dok kanal oslobodi i šalje
3. Ako adapter pošalje kompletan frejm bez detekcije drugog prenosa, smatra se da je prenos bio uspješan !
4. Ako adapter detektuje drugi prenos dok šalje, prekida i šalje *jam* signal
5. Poslije prekida, adapter ulazi u **eksponencijalni backoff**: poslije m-te kolizije, adapter bira K na slučajan način iz opsega $\{0,1,2,\dots,2^m-1\}$. Adapter čeka u trajanju $K \cdot 512$ bita i vraća se na korak 2.

Ethernet CSMA/CD (više)

Jam Signal: služi da svi interfejsi detektuju koliziju; 48b

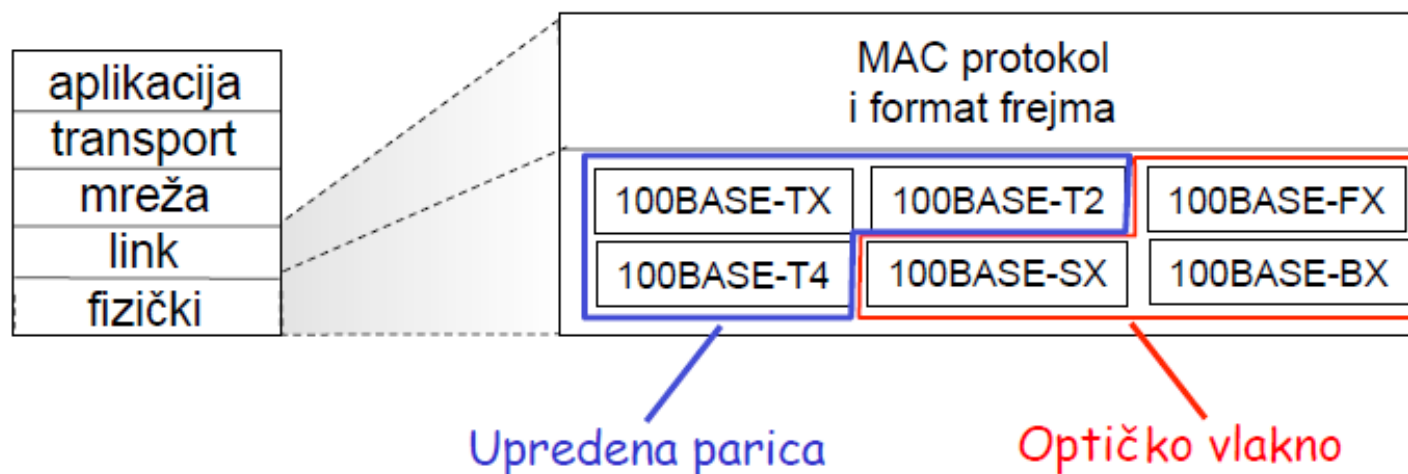
Trajanje bita: 0.1 μ s za 10Mb/s Ethernet ;
za K=1023, vrijeme čekanja je oko 50 ms

Eksponencijalni Backoff:

- ❑ *Cilj:* adaptirati pokušaje retransmisije kako bi se estimiralo trenutno opterećenje
 - Veliko opterećenje: slučajno kašnjenje će biti duže
- ❑ Prva kolizija: izaberi K iz {0,1}; kašnjenje je jednako 0 ili trajanju 512 bita
- ❑ Poslije druge kolizije: izaberi K iz {0,1,2,3}...
- ❑ Poslije deset kolizija, izaberi K iz {0,1,2,3,4,...,1023}
- ❑ Nakon 10 kolizija adapter odustaje!

802.3 Ethernet Standardi: fizički nivo i nivo linka

- *mnogo* različitih Ethernet standarda
 - zajednički MAC protokol i format frejma
 - Različite brzine: 2 Mb/s, 10 Mb/s, 100 Mb/s, 1Gb/s, 10Gb/s, 40Gb/s
 - Različiti medijumi za prenos: optičko vlakno, upredena parica



Fast Ethernet

Tabela IEEE 802.3 100 Mb/s Ethernet medium alternative

	100baseT4	100baseT	100baseFX
Medium	Upredena parica kategorije 3 UTP 4 parice	Upredena parica kategorije 5 UTP 2 parice	Optičko multimode vlakno Dva vlakna
Maksimalna veličina segmenta	100 m	100 m	2 km
Topologija	Zvijezda	Zvijezda	Zvijezda

Da bi se postigla kompatibilnost sa 10 Mb/s Ethernet-om:

- ❑ Isti format frejma, isti interfejs, isti protokoli
- ❑ Hub topologija samo sa upredenom paricom ili vlaknom
- ❑ Magistrala topologija & koaksijalac se ne koriste
- ❑ Kategorija 3 upredena parica (telefonski) zahtijeva 4 parice
- ❑ Kategorija 5 upredena parica zahtijeva 2 parice (najpopularnija)
- ❑ Najčešće korišćeni LAN danas

Gigabit Ethernet

Tabela IEEE 802.3 1 Gb/s Gigabit Ethernet medium alternative

	1000baseSX	1000baseLX	1000baseCX	1000baseT
Medium	Optičko multimodno vlakno Dva vlakna	Optičko monomodno vlakno Dva vlakna	Oklopljena bakarna parica	Upredna parica kategorije 5 UTP
Maksimalna veličina segmenta	550 m	5 km	25 m	100 m
Topologija	Zvijezda	Zvijezda	Zvijezda	Zvijezda

- ❑ Vrijeme slota povećano na *512 B*
- ❑ Mali frejmovi moraju biti povećani na *512 B*
- ❑ Grupisanje frejmova kako bi se dozvolilo stanicama da prenose grupe kratkih frejmova
- ❑ Struktura frejma je zadržana ali je CSMA-CD izbjegnuto
- ❑ Intenzivno se primjenjuje na kičmama mreža i za povezivanje servera

10 Gigabit Ethernet

Tabela IEEE 802.3 10 Gb/s Ethernet medium alternative

	10GbaseSR	10GBaseLR	10GbaseEW	10GbaseLX4
Medium	Dva optička vlakna Multimodna na 850 nm 64B66B kod	Dva optička vlakna Monomodna na 1310 nm 64B66B	Dva optička vlakna Monomodna na 1550 nm SONET kompatibilna	Dva optička vlakna multimodna/monomodna sa četiri talasne dužine na 1310 nm opsegu 8B10B kod
Maksimalna veličina segmenta	300 m	10 km	40 km	300 m - 10 km

- ❑ Zadržana struktura frejma
- ❑ CSMA-CD protokol zvanično napušten
- ❑ LAN fizički nivo za primjenu u lokalnim mrežama
- ❑ W- WAN fizički nivo za primjenu korišćenjem SONET OC-192c
- ❑ Intenzivna primjena u gradskim mrežama

40GEthernet i 100GEthernet

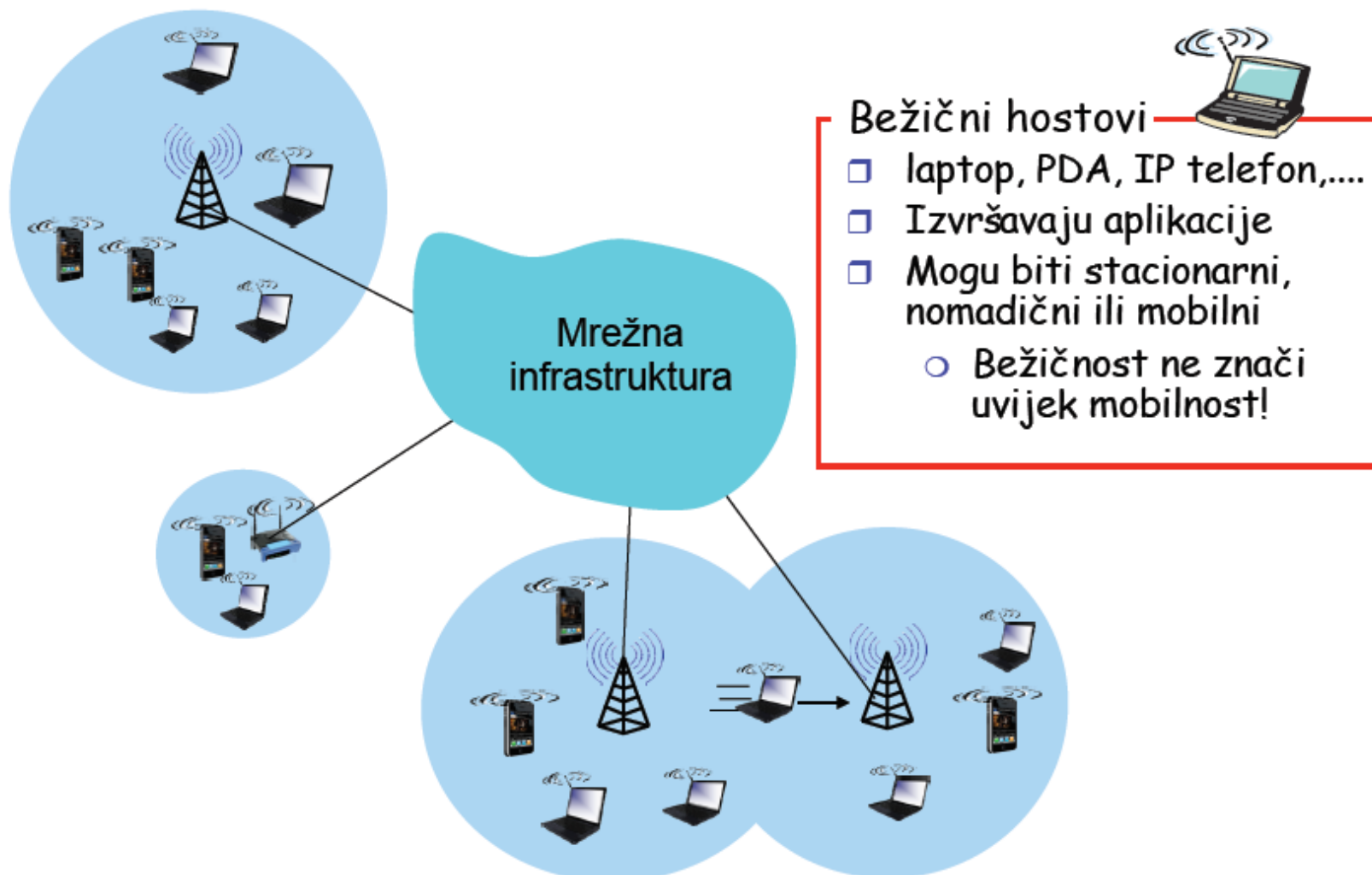
- ❑ IEEE 802.3ba 40Gb/s i 100Gb/s Ethernet Task Force
- ❑ Ratifikovani u junu 2010
- ❑ Identičan format Ethernet frame kao kod prethodnih verzija
- ❑ Identična minimalna i maksimalna veličina Ethernet frejma
- ❑ BER na MAC podnivou manji od 10^{-12}
- ❑ Podrška za OTN (optičke transportne mreže)
- ❑ Brzine prenosa na MAC podnivou od 40 i 100 Gb/s
- ❑ Monomodno vlakno, multimodno vlakno,...

WiFi

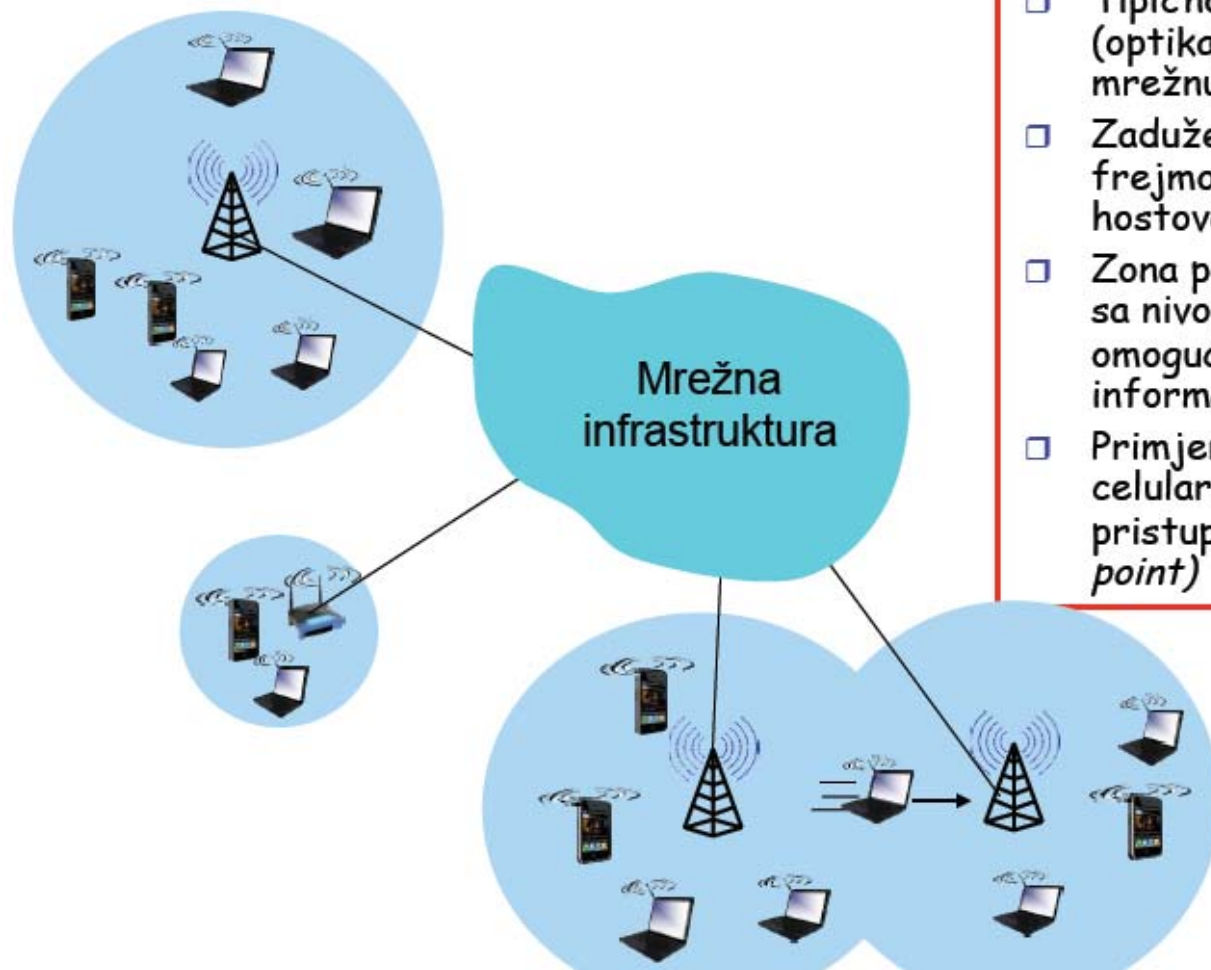
Motivacija:

- ❑ Zainteresovanost korisnika za pristup Internetu bilo gdje i bilo kada!
- ❑ Postići približne brzine prenosa i nivoa kašnjenja u bežičnom pristupu kao kod žičnog pristupa
- ❑ Podržati što je veću moguću mobilnost uz veliku brzinu prenosa.
- ❑ Obzirom na veliku zainteresovanost tržišta primijeniti trenutno najmodernija i najbolja tehnološka rješenja.

Elementi bežične računarske mreže



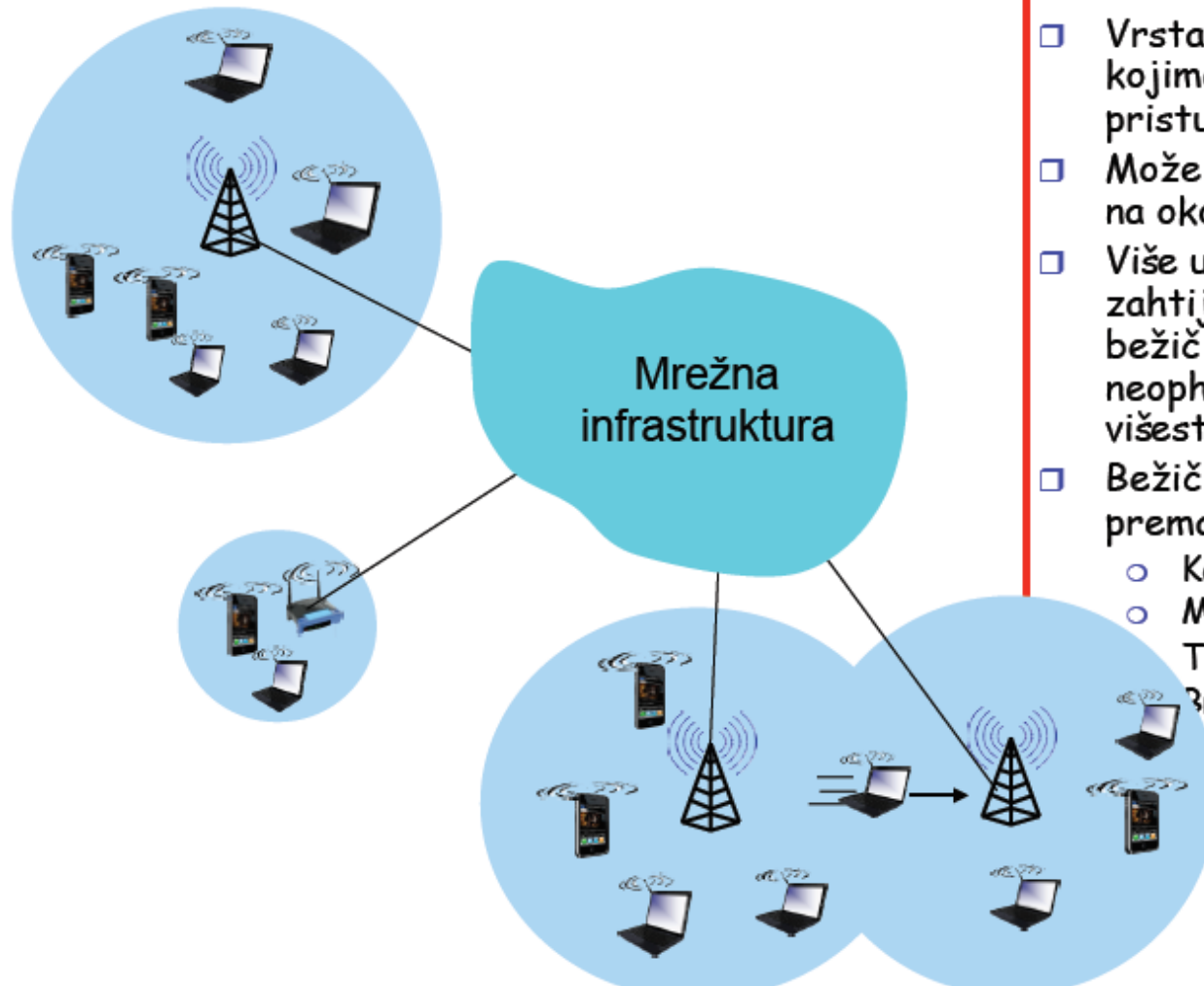
Elementi bežične mreže



bazna stanica

- Tipično se povezuje na žičnu (optika) ili bežičnu (WiMAX) mrežnu okosnicu
- Zadužena za slanje i prijem frejmova ka i od bežičnih hostova
- Zona pokrivanja je prostor sa nivoom signala koji omogućava uspješan prijem informacije
- Primjeri: bazne stanice celularnih mreža, 802.11 pristupna tačka (*access point*)

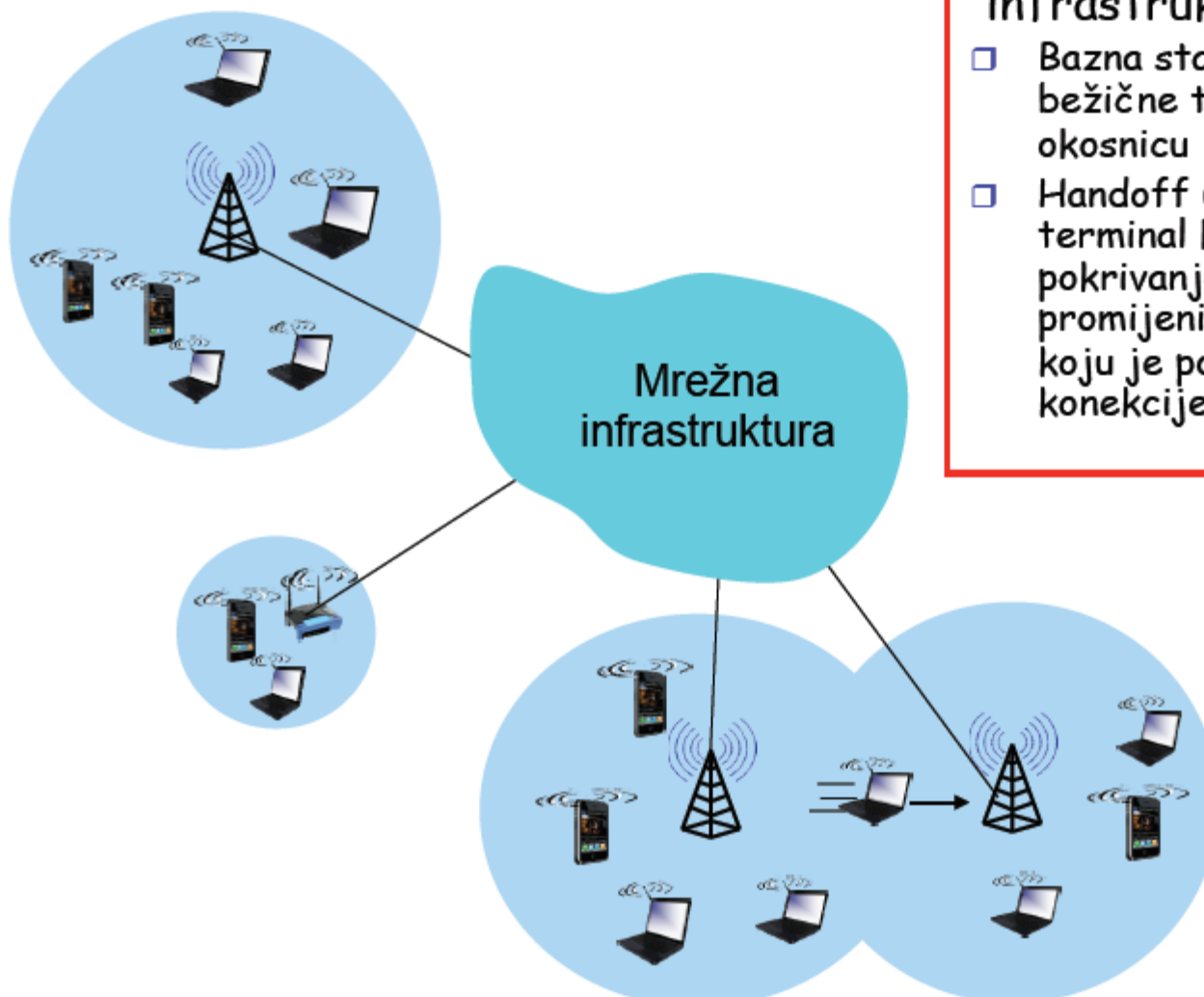
Elementi bežične računarske mreže



bežični link

- ❑ Vrsta prenosnog medijuma kojima se hostovi povezuju na pristupnu tačku
- ❑ Može se koristiti i za linkove na okosnici
- ❑ Više uređaja može istovremno zahtijevati zauzimanje bežičnog linka tako da je neophodan protokol kontrole višestrukog pristupa
- ❑ Bežični linkovi se razlikuju prema:
 - Korišćenim opsezima
 - Modulacijama
 - Tehnikama kodiranja
 - Brzinama prenosa
 - Ometom...

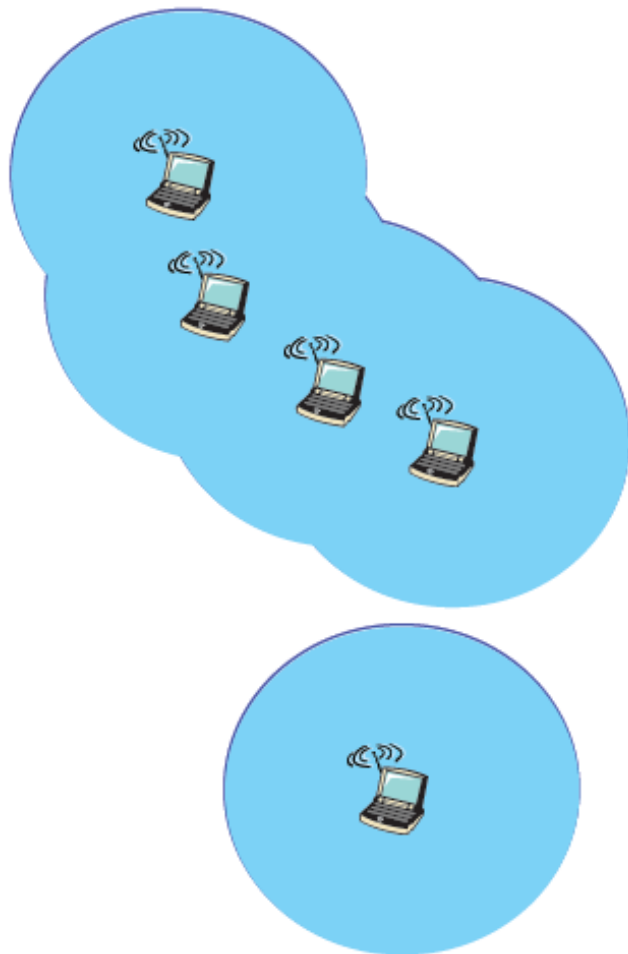
Elementi bežične mreže



infrastrukturni mod

- Bazna stanica povezuje bežične terminale na mrežnu okosnicu
- Handoff (handover): mobilni terminal koji napušta zonu pokrivanja bazne stanice mora promijeniti baznu stanicu na koju je povezan bez prekida konekcije

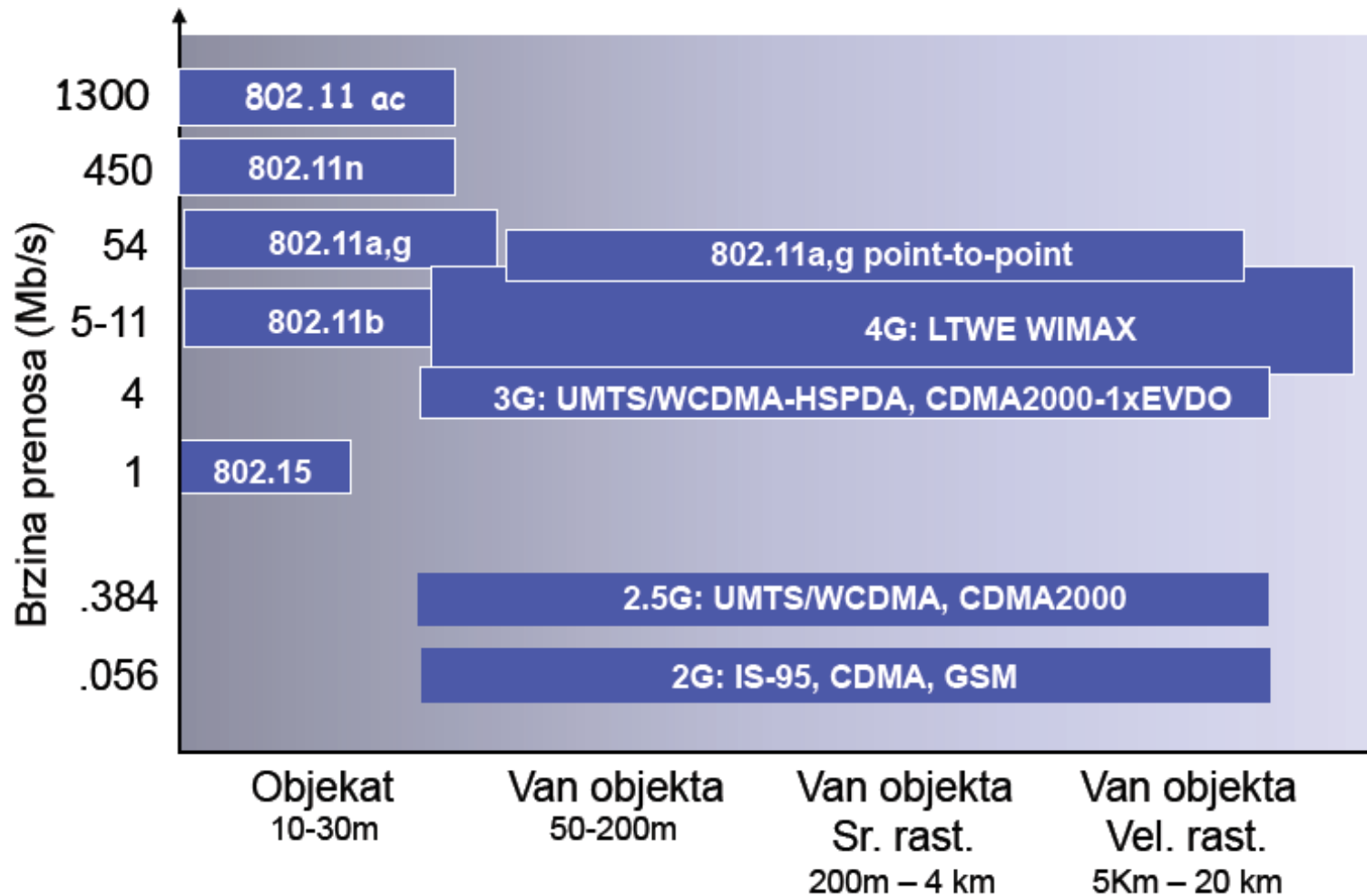
Elementi bežične mreže



ad hoc mod

- ❑ Nema baznih stanica
- ❑ Čvorišta mogu prenositi frejmove samo do drugih čvorišta koji su u zoni pokrivanja
- ❑ Čvorišta se samoorganizuju u mrežu

Characteristics of selected wireless links



Elementi bežične mreže

	jedan hop	multiple hop-ovi
infrastrukturne (npr, AP)	host se povezuje na baznu stanicu (WiFi, WiMAX, celularnu) koja ga povezuje na mrežnu okosnicu	Host se često mora preko više čvorišta povezati na okosnicu: <i>mesh mreža</i>
bez infrastrukture	nema bazne stanice, nema konekcije na mrežnu okosnicu (Bluetooth, ad hoc mreže)	Nekada mora da se poveže preko više čvorišta da bi dosegao željeni čvor. MANET, VANET

Karakteristike bežičnog linka (1)

Razlikuje se od žičnog linka

- **Slabljenje nivoa signala:** radio signal više slabi tokom prostiranja (gubitak uslijed propagacije)
- **Interferencija sa drugim izvorima:** frekvencije dijele bežični terminali između sebe ili sa drugim uređajima
- **Multipath propagacija:** radio signal se reflektuje od zemlje i objekata tako da u istu tačku dolazi u različitim trenucima

Projektovanje bežičnih linkova i zona pokrivanja je izuzetno komplikovano!!

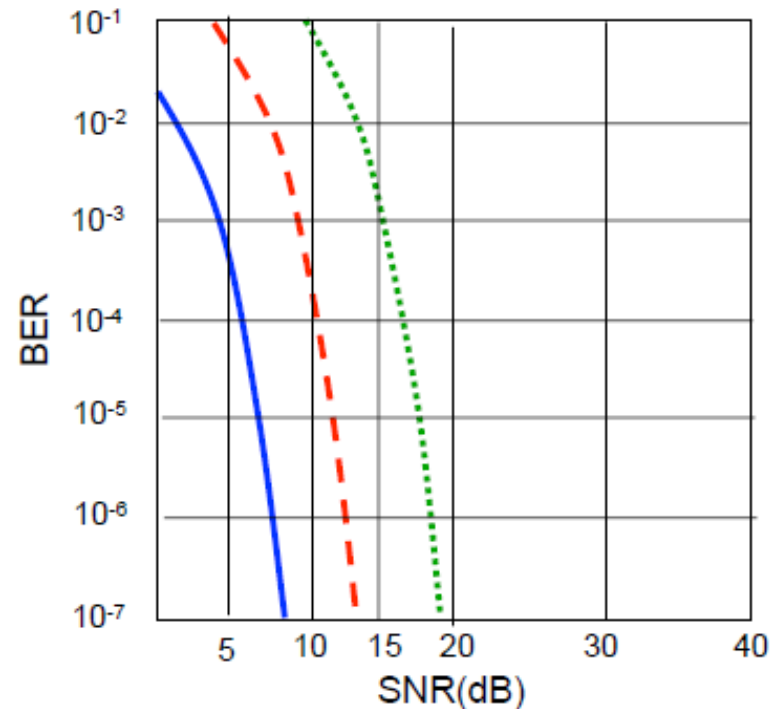
Karakteristike bežičnog linka (2)

Ključne karakteristike

- Odnos signal šum (SNR: signal-to-noise ratio)
 - Odnos snage signala i snage šuma izražen u decibelima (dB)
 - veći SNR - lakše odvojiti poruku od šuma
- Vjerovatnoća greške po bitu (BER: Bit Error Rate)
 - manji BER - efikasniji prenos

Kompromisi između SNR i BER !!!!

- *Za datu modulaciju:* povećanje snage - > povećanje SNR->smanjenje BER
- *Za dati SNR:* izabrati modulacioni postupak koji zadovoljava zahtijevani BER, a koji daje najveću propusnost
- SNR se može mijenjati zbog mobilnosti: dinamička adaptacija fizičkog nivoa (modulacione tehnike, brzina prenosa)



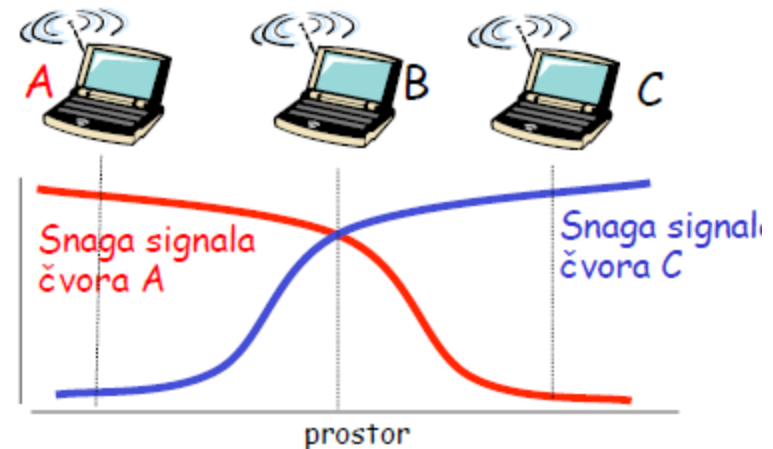
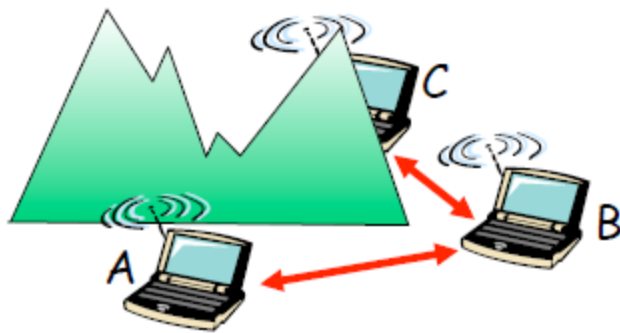
..... QAM256 (8 Mb/s)

- - - QAM16 (4 Mb/s)

— BPSK (1 Mb/s)

Karakteristike bežičnog linka (3)

I pored primjene višestrukog pristupa, više bežičnih predajnika i prijemnika može izazivati dodatne probleme:



1. Problem sakrivenog terminala

- B, A detektuju jedan drugog
- B, C detektuju jedan drugog
- A, C se ne detektuju što znači da A, C ne vode računa o interferenciji na mjestu B

Slabljenje signala:

- B, A se detektuju
- B, C se detektuju
- A, C se ne detektuju i izazivaju interferenciju na mjestu B

IEEE 802.11 Wireless LAN (WLAN, WiFi) standardi

□ 802.11b

- Ratifikovan 1999
- 2.4-2.5 GHz nelicencirani opseg
- Širina kanala 20MHz
- Kapacitet do 11 Mb/s (dijeljeno između korisnika)
- Domet 38m (unutar objekta) - 140m (van objekta)
- Domet 5000m (van objekta) ako se koristi licencirani opseg 3.7GHz (SAD)
- Stvarni kapacitet 6.5Mb/s
- DSSS (*direct sequence spread spectrum*) na fizičkom nivou

□ 802.11a

- Ratifikovan 1999
- Nelicencirani opseg 5.75-5.875 GHz
- Širina kanala 20MHz
- Domet 35m (unutar objekta) - 120m (van objekta)
- Dijeljeni kapacitet do 54 Mb/s (stvarni kapacitet do 25Mb/s)
- OFDM (*Orthogonal frequency-division multiplexing*)

□ 802.11g

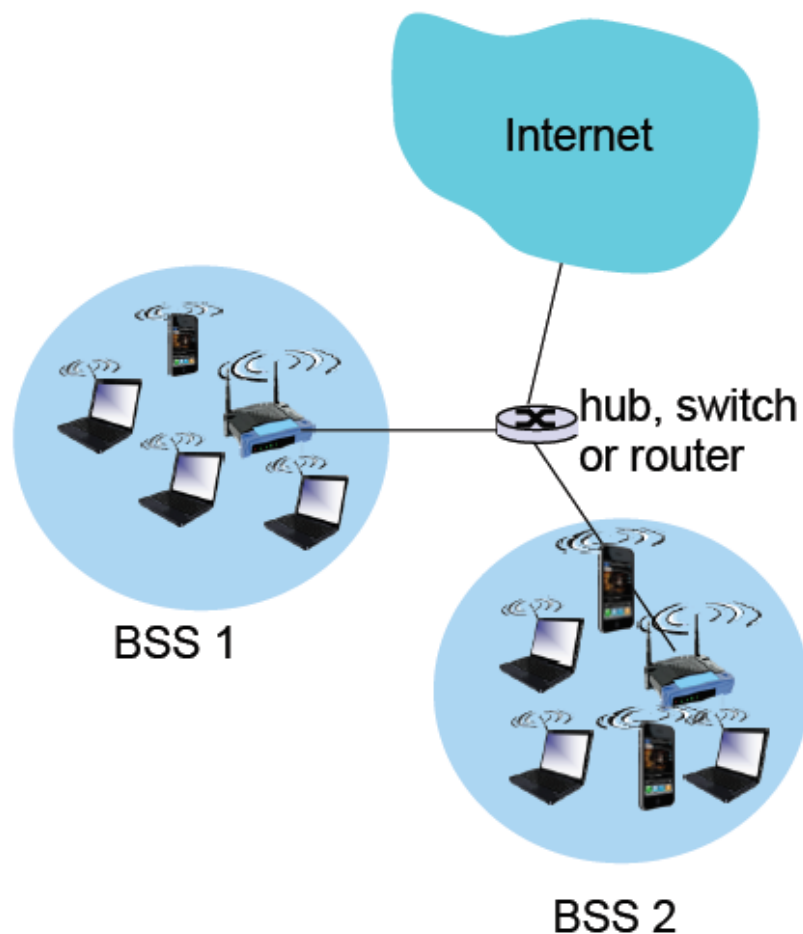
- Ratifikovan 2003
- 2.4-2.5 GHz nelicencirani opseg
- Širina kanala 20MHz
- Dijeljeni kapacitet do 54 Mb/s (stvarni kapacitet do 25Mb/s)
- Domet 35m (unutar objekta) - 120m (van objekta)
- OFDM ili DSSS

802.11n

- Ratifikovan 2009
- 2.4-2.5 GHz i/ili 5.75-5.875 GHz nelicencirani opsezi
- Širina kanala 20 ili 40 Mhz
- Dijeljeni kapacitet do 600Mb/s (stvarni ispod 200Mb/s)
- Domet 70m (unutar objekta) - 250m (van objekta)
- OFDM
- MIMO (multiple input multiple out)
- 4 toka podataka istovremeno

- Svi koriste CSMA/CA tehniku za kontrolu višestrukog pristupa
- Infrastrukturni ili ad-hoc mod

802.11 LAN arhitektura

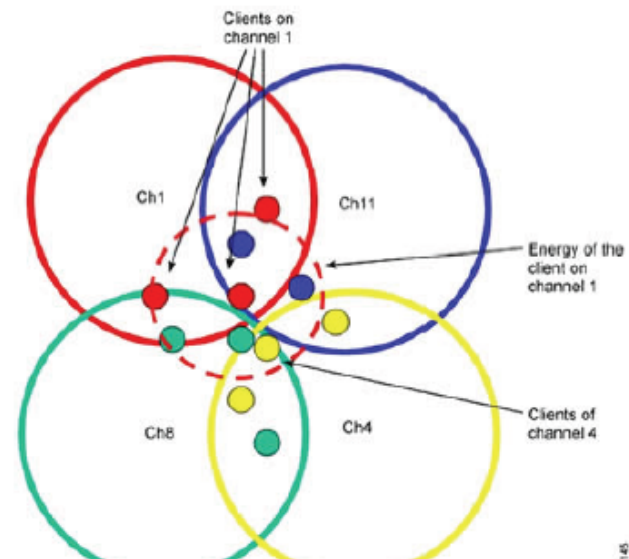
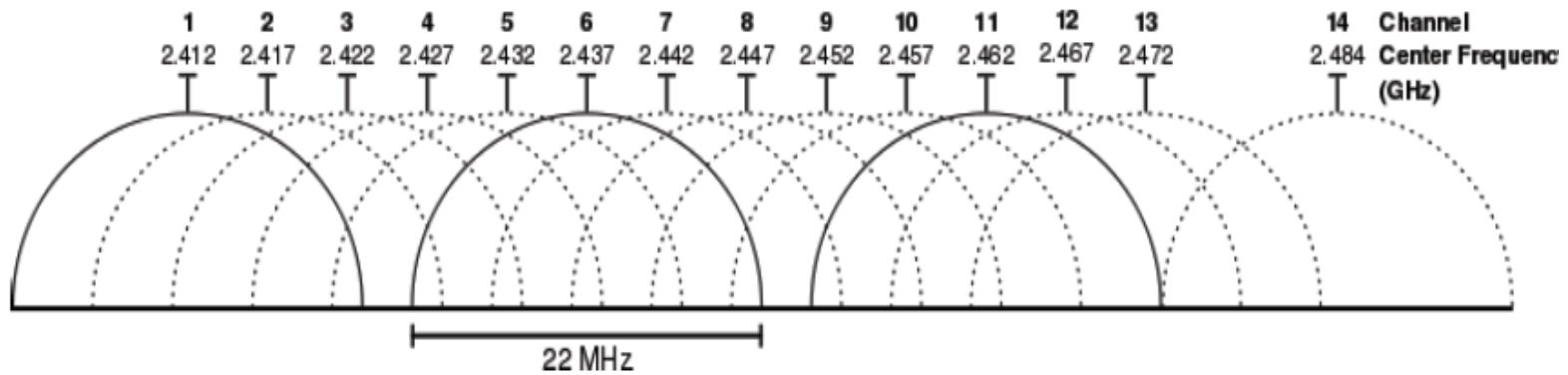


- ❑ Bežični host komunicira sa baznom stanicom
 - Bazna stanica = access point (AP)
- ❑ Basic Service Set (BSS) (ili "cell") u infrastrukturnom modu sadrži:
 - Bežične hostove
 - access point (AP)
- ❑ ad hoc mod sadrži samo hostove

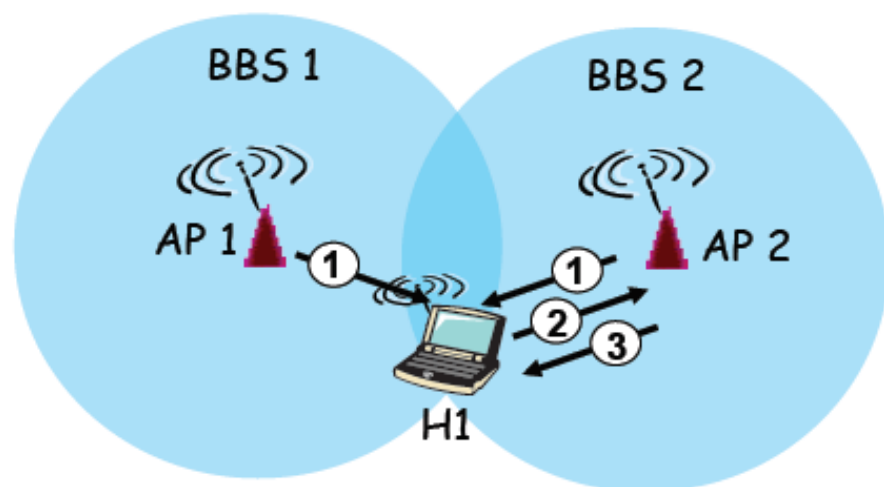
802.11: kanali, dodjela kanala

- ❑ 802.11b: 2.4GHz-2.485GHz opseg je podijeljen na 11 kanala različitih frekvencija
 - AP administrator bira frekvenciju za AP
 - Moguća interferencija: može biti izabran identičan kanal na susjednoj AP!
- ❑ host: mora se pridružiti AP
 - Skenira kanale, osluškuje *beacon* frejmove koji sadrže ime AP (SSID) i MAC adrese AP
 - bira AP kojemu će se pridružiti
 - obavlja autentifikaciju
 - šalje DHCP zahtjev kako bi dobio IP adresu iz AP mreže

Opseg 2.4 - 2.5GHz

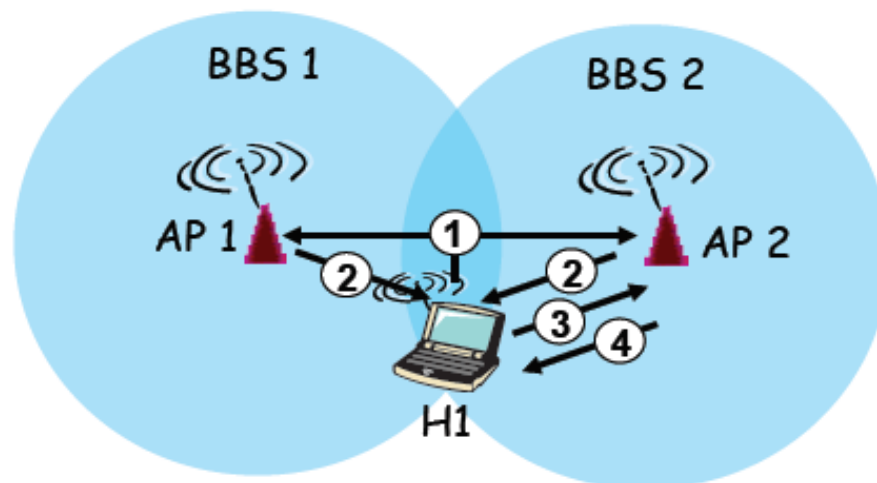


802.11: pasivno/aktivno skeniranje



Pasivno skeniranje:

- (1) AP šalje *beacon* frejmove
- (2) Host šalje *Association Request* frejm izabranom AP
- (3) AP šalje *Association Response* frejm odgovarajućem hostu

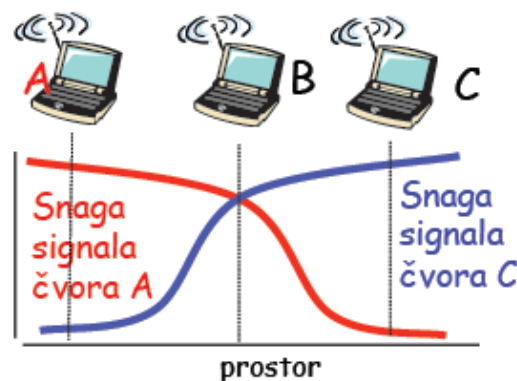
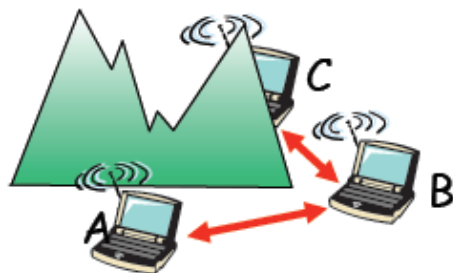


Aktivno skeniranje:

- (1) Host šalje *Probe Request* frejm svim prisutnim AP
- (2) AP šalju *Probes response* frejm
- (3) Host šalje izabranom AP *Association Request* frejm
- (4) Izabrani AP šalje *Association Response* frejm hostu

IEEE 802.11: višestruki pristup

- ❑ *avoid collisions* - izbjegavanje kolizije koja nastaje kada 2 i više čvorišta emituju
- ❑ 802.11: CSMA - oslušivanje prije slanja
 - Nema kolizije sa komunikacijom koja je u toku
- ❑ 802.11: *nema detekcije kolizije!*
 - Teško je detektovati koliziju prilikom emitovanja zbog
 - niskog nivoa prijemnog signala
 - sakrivenog terminala
 - Cilj je pokušati izbjeći koliziju (*avoid collisions*) CSMA/C(ollision)A(voidance)



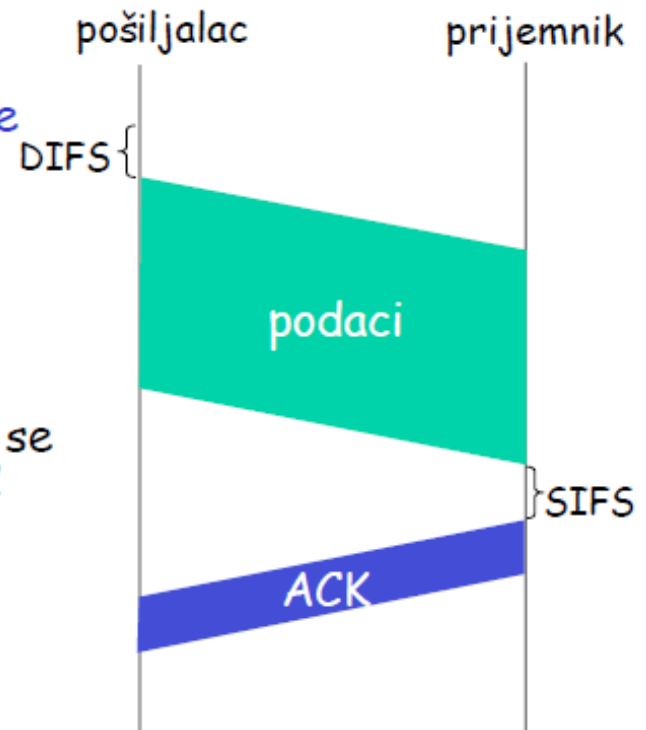
IEEE 802.11 MAC Protokol: CSMA/CA

802.11 pošiljalac

1. ako pošiljalac detektuje slobodan kanal tokom trajanja intervala **DIFS** (Distributed Interframe Space) tada se šalje cijeli frejm (nema detekcije kolizije)
2. ako se tokom DIFS detektuje zauzeti kanal tada se
 - Izračunava slučajno *backoff* vrijeme tajmera
 - Dok je kanal zauzet tajmer se zaustavlja
 - Nakon oslobađanja kanala timer odbrojava
 - Kada istekne tajmer, ako je kanal slobodan počinje slanje frejma
 - Ako nakon slanja nema potvrde ACK, povećava se slučajni backoff interval, i ponavlja se korak 2

802.11 prijemnik

- Ako je primljeni frejm ispravan
 - šalje ACK poslije isteka **SIFS** (Short Interframe Space)
 - ACK je potreban zbog problema skriveni terminal
- Ako primljeni frejm nije ispravan prijemnik odbacuje frejm

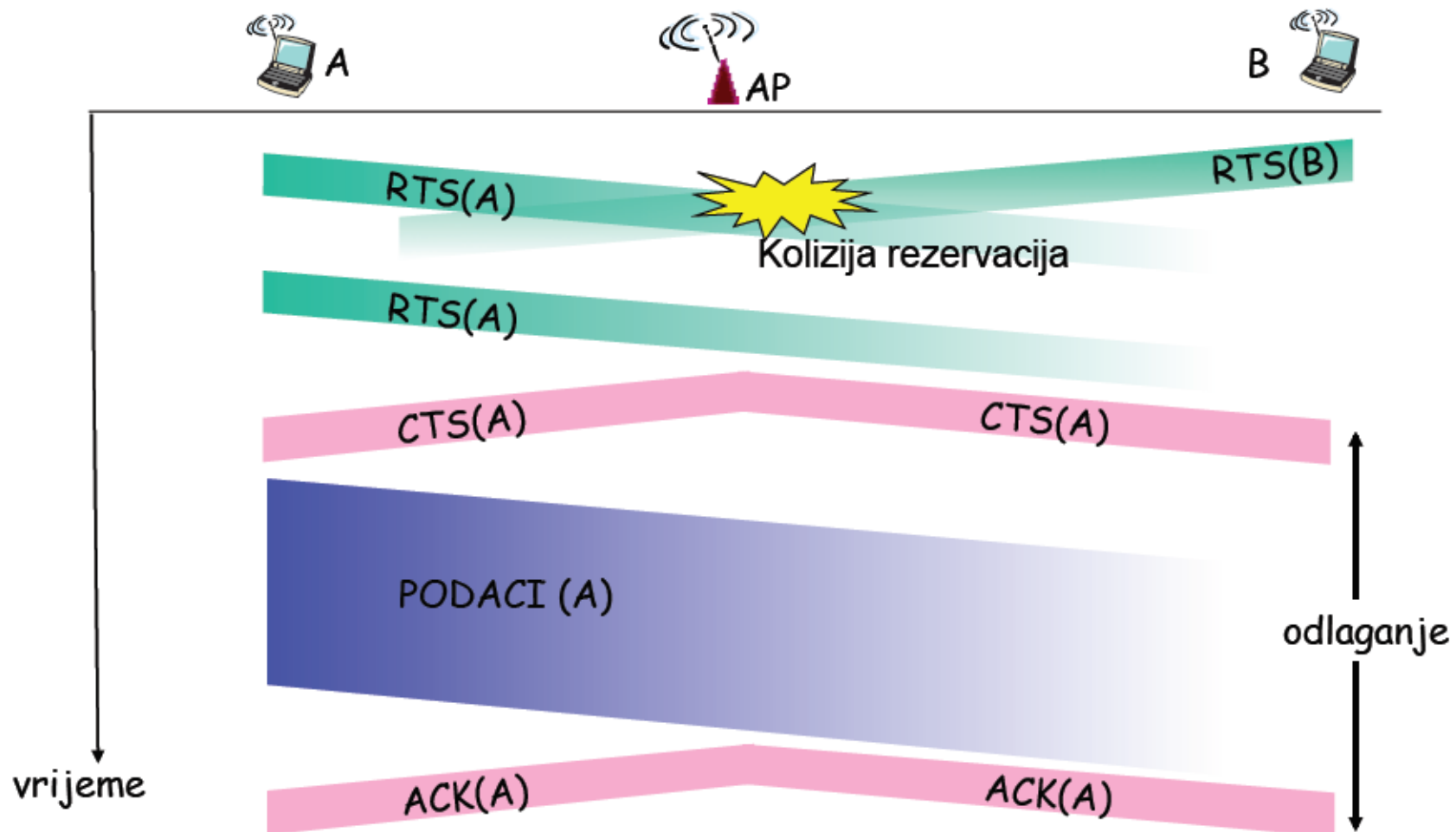


Izbjegavanje kolizije (više)

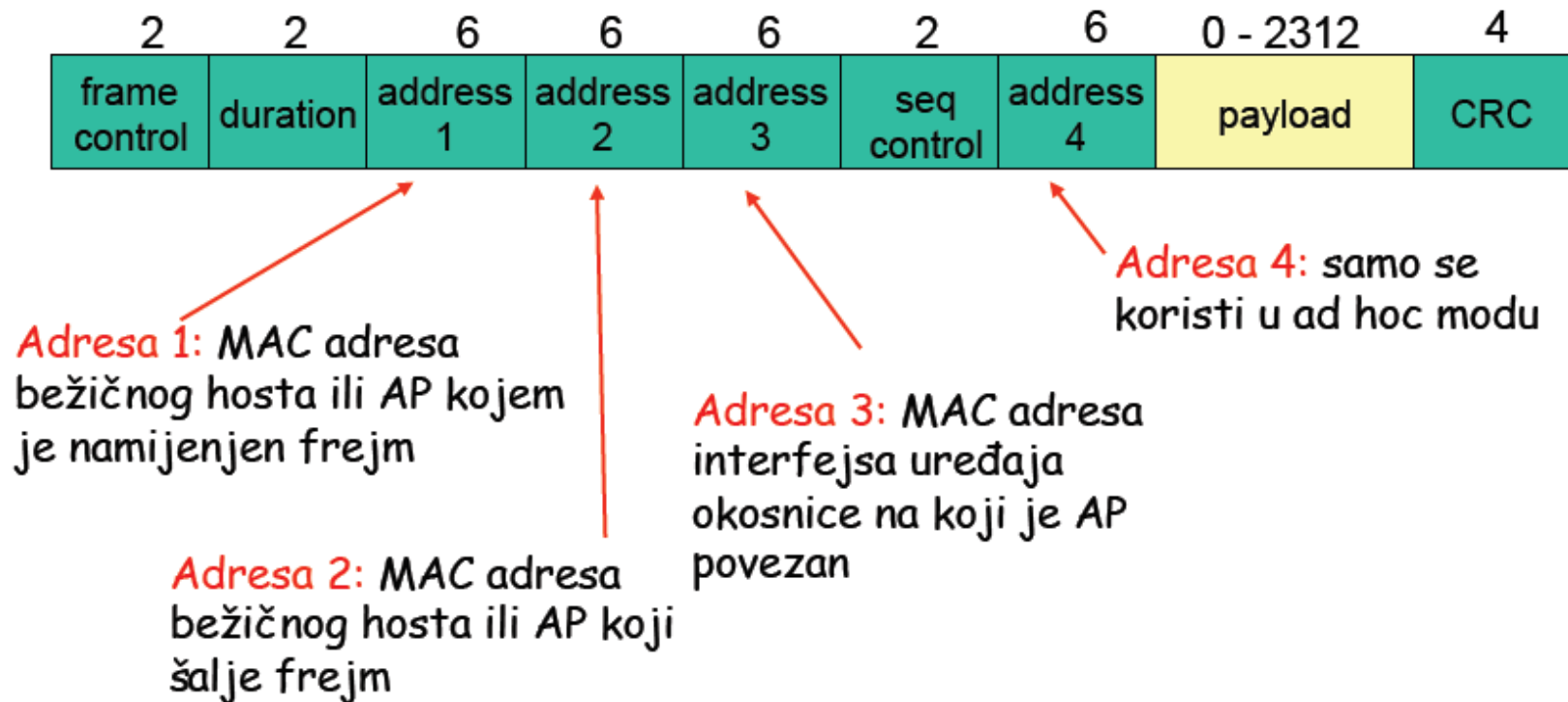
- IDEJA!* dozvoliti korisniku da “rezerviše” kanal duže nego što mu je potrebno za slanje jednog frejma: izbjeći kolizije za velike frejmove
- ❑ Pošiljalac prvo šalje mali request-to-send (RTS) frejm pristupnoj tački korišćenjem CSMA
 - RTS frejmovi mogu zapasti u koliziju sa drugim frejmovima (što nije veliki problem jer su kratki)
 - ❑ Pristupna tačka šalje svima clear-to-send CTS frejm kao odgovor na RTS frejmove
 - ❑ CTS frejm primaju sva čvorišta ali ga korsiće samo onaj pošiljalac kojemu je namijenjen
 - Pošiljalac počinje slanje frejma sa podacima
 - Druge stanice ne šalju

Korišćenjem malih rezervacionih frejmova izbjegava se kolizija velikih frejmova!

Izbjegavanje kolizije: razmjena RTS-CTS

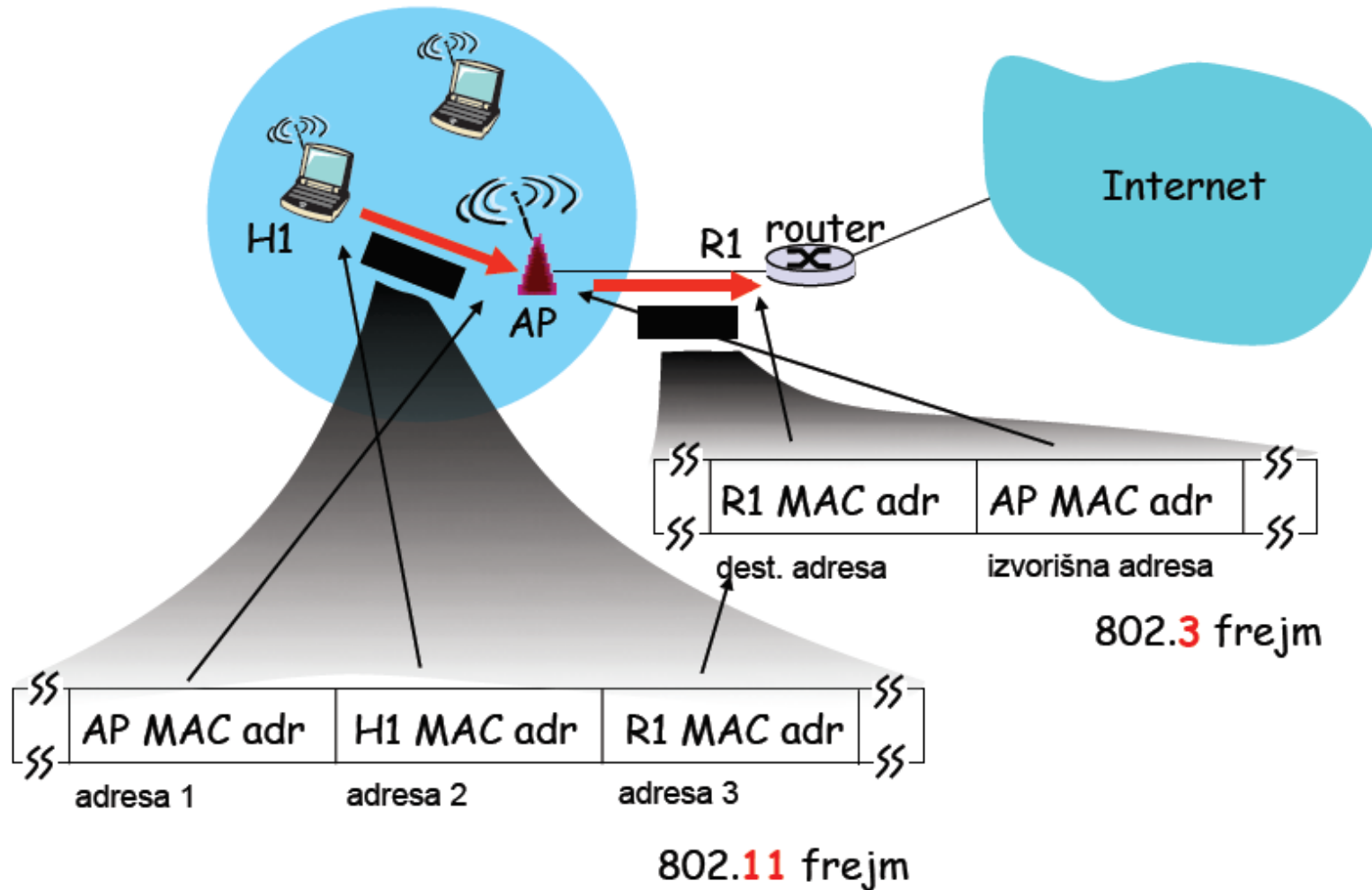


802.11 frejm: adresiranje

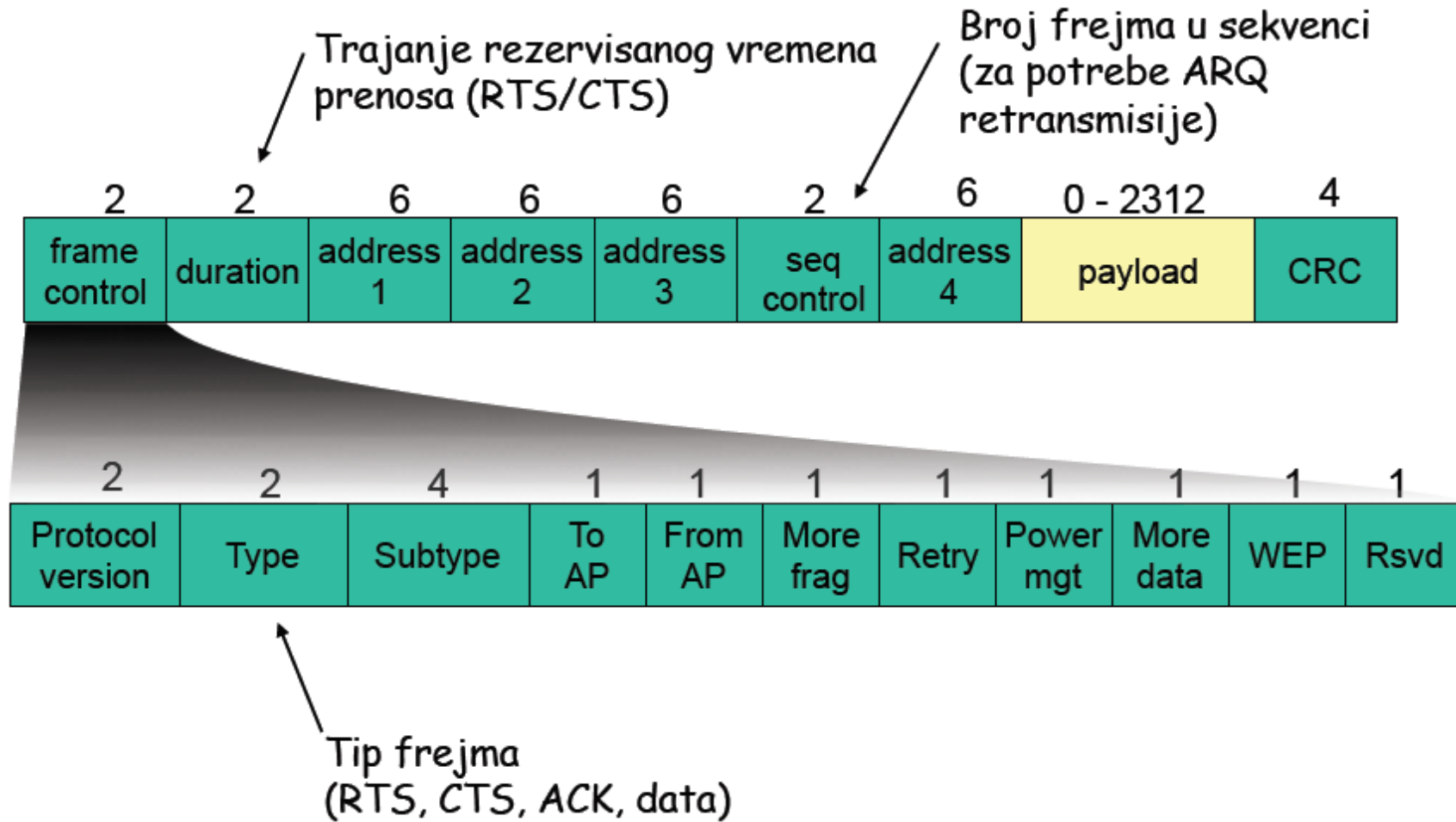


Payload je najčešće 1500B koji nosi IP datagram ili ARP paket.

802.11 frejm: adresiranje



802.11 frejm



802.11: mobilnost unutar iste mreže

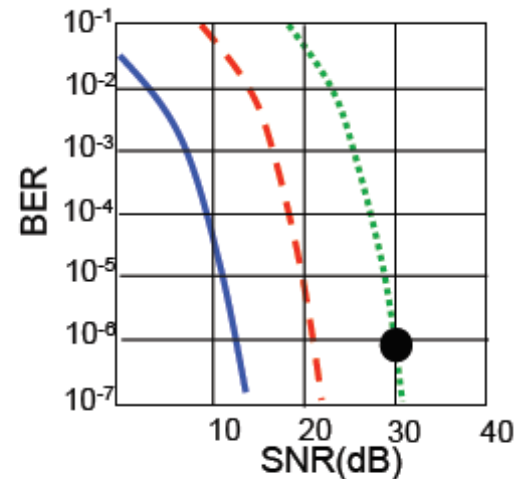
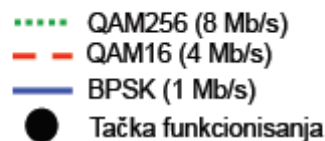
- Ukoliko H1 prelaskom iz zone pokrivanja jedne AP u zonu drugog AP ostaje u istoj IP mreži: IP adresa može ostati ista
- U suprotnom H1 mora dobiti novu IP adresu
- LAN switch metodom self-learning otkriva prelazak H1 na novi AP i ažurira svoju tabelu prosleđivanja na nivou linka



802.11: napredne mogućnosti

Adaptacija brzina

- AP i host dinamički mijenjanju brzine prenosa (promjenom vrste modulacije na fizičkom nivou)
- Kako se host pomjera, SNR se mijenja



1. SNR opada, BER raste dok se host udaljava od AP
2. Kada BER postane previsok, odnosno SNR nedovoljan, stanice prelaze na novu modulacionu tehniku što znači nižu brzinu prenosa ali i na niži BER

802.11: napredne mogućnosti

Power Management

- ❑ Host obavještava AP: “Idem da spavam do sledećeg beacon frejma”
 - AP zna da ne treba da šalje frejmove ovom hostu
 - Host se “budi” prije sledećeg *beacon* frejma (100ms sna) pri čemu buđenje traje 250 μ s
- ❑ *beacon* frejm: sadrži listu hostova za koje AP posjeduje frejmove
 - Host ostaje “budan” ako u *beacon* frejmu uoči svoju MAC adresu; u suprotnom ponovo ide na spavanje do narednog *beacon* frejma