WLAN

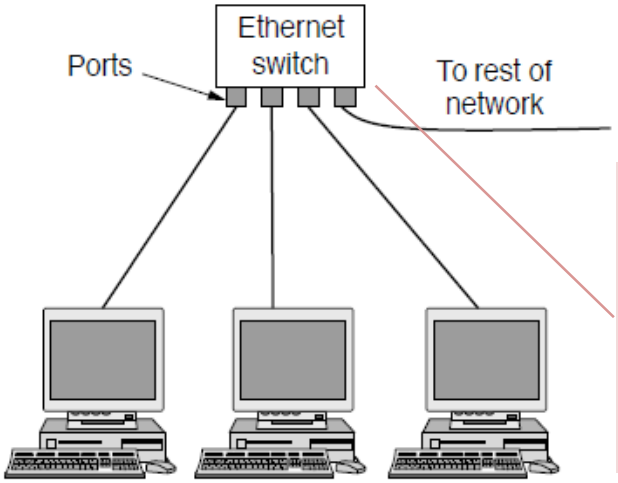
Wireless Local Area Networks

– 802.11 -

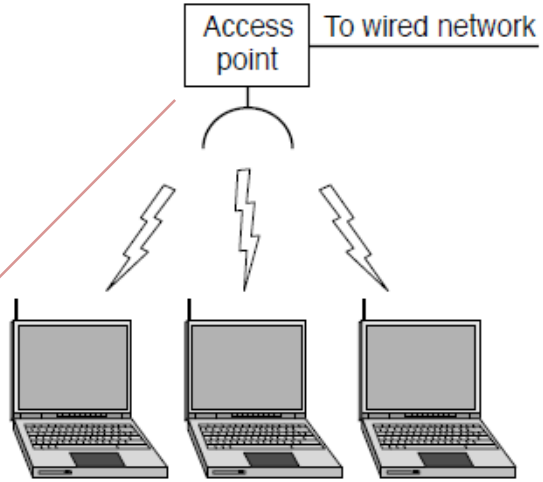
WLAN

- WLAN (*Wireless Local Area Network*): lokalna mreže koja omogućava bežičnu komunikaciju između uređaja unutar ograničenog geografskog područja
- Oblast pokrivanja je obično zatvoreni prostor (stan, kuća, zgrada, kancelarija ili fabrika (ili fakultet)).

Žičani (Ethernet) vs bežični (WiFi) LAN



Usmeravanje saobraća između lokalnih uređaja i veza sa ostatkom mreže



Mobilnost i povezivanje s Internetom bez fizičkog priključivanja na žičanu infrastrukturu

IEEE 802.11

- Najzastupljeniji WLAN standard, u nadležnosti međunarodne organizacije za standardizaciju IEEE
- WiFi (*Wireless Fidelity*): komercijalni (marketinški) naziv
- Pokriva dva najniža sloja OSI modela: Fizički sloj (*Physical Layer*) i Sloj veze (*Data Link Layer*)
- Neprekidno evoluira (1997 -): nove funkcionalnosti i prilagođenje tehnološkom napretku u oblasti bežičnih komunikacija. Veliki broj revizija:
  - **1997:** IEEE 802.11 - Originalni standard, 2.4 GHz.
  - **1999:** IEEE 802.11a - 5 GHz.
  - **1999:** IEEE 802.11b - Povećanje brzine prenosa podataka na 2.4 GHz.
  - **2003:** IEEE 802.11g - Kombinacija 802.11b i 802.11a
  - **2009:** IEEE 802.11n - MIMO i poboljšane performanse.
  - **2013:** IEEE 802.11ac - Poboljšane performanse na 5 GHz.
  - **2019:** IEEE 802.11ax - Fokus na efikasnost u gustim mrežama

IEEE 802.11

- Glavne verzije:

Oznaka	Godina	Max. brzina	Opis
802.11a	1999	54 Mbps	Definiše bežične mreže koje koriste frekvencije od 5 GHz. Pruža visoke brzine prenosa podataka, ali ima kraći domet u poređenju s nekim drugim standardima.
802.11b	1999	11 Mbps	Koristi frekvencije od 2.4 GHz i podržava niže brzine prenosa podataka u poređenju s 802.11a. Međutim, ima bolji domet.
802.11g	2003	54 Mbps	Funkcioniše na frekvencijama od 2.4 GHz i kombinuje elemente 802.11a i 802.11b. Pruža veće brzine od 802.11b.
802.11n	2009	od 72 od nekoliko stotina Mbps	Predstavlja unapređenje prethodnih standarda, podržava više antena i Multiple Input Multiple Output (MIMO) tehnologiju, obezbeđujući veće brzine i stabilniju vezu.
802.11ac	2013	nekoliko stotina Mbps do nekoliko Gbps	Radi na 5 GHz i donosi još veće brzine od 802.11n. Takođe podržava MIMO tehnologiju.
802.11ax	2021	nekoliko Gbps	Noviji standard koji donosi poboljšanja u efikasnosti mreže, upravljanju uređajima i povećava kapacitet WLAN-a.

IEEE 802.11
- fizički sloj -

- Nekoliko alternativnih fizičkih slojeva, koji se razlikuju, prema frekventnom opsegu i tipu modulacije koji se koristi.
- Prvobitni standard:
  - Frequency-hopping spread-spectrum (FHSS)
  - Direct-sequence spread-spectrum (DSSS)
  - Infrared light (IR) PHY
- Kroz naknadne revizije:
  - 802.11a: Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM)
  - 802.11b: High-Rate Direct Sequence (HR/DS or HR/DSSS)
  - 802.11g: Extended Rate PHY (ERP)
  - 802.11n: MIMO PHY (or the High-Throughput PHY)

IEEE 802.11
- fizički sloj -

- FHSS (kao primer)
  - Frekventni opseg širine $83.5\ MHz$ u bandu 2.4GHz podeljen je na 79 frekventnih kanala širine $1\ MHz$
  - Sporo frekventno skakanju, sa frekvencijom skakanja od samo $1Hz$
  - Sekvencu skakanja određuje AP i distribuira je svim uređajima, koji onda menjaju radnu frekvenciju u sinhronizmu sa AP.
  - CSMA/CA za kontrolu pristupa medijumu, pri čemu se sama procedura obavlja na trenutnom frekventnom kanalu

IEEE 802.11
- fizički sloj -

- OFDM (*Orthogonal Frequency Division Multiplexing*):
  - Frekventni opseg se deli na više užih podopsega i u svakom podopsegu se (istovremeno) emituje poseban noseći signal modulisan podacima
  - Tok podataka se deli na više pod-tokova, koji se paralelno (istovremeno) prenose, manjom brzinom, na različitim nosećim frekvencijama
  - Npr., umesto 11010010.. velikom brzinom na f_c, istovremeno se, manjom brzinom prenose dva toka:
    - 1001... na $f_c - \Delta f$ i (neparni bitovi)
    - 1100... na $f_c + \Delta f$ (parni bitovi)
  - Osnovne prednosti OFDM su:
    - Otpornost na interferencije, jer interferencija od drugih uređaja utiče samo na pojedinačne pod-nosioce, ali ne i na sve;
    - Veća ukupna propusnost
    - Manja osetljivost na feding (duže trajanje bit-intervala)
    - Omogućava brzinu prenosa od više stotina $Mbps$
    - Značajno složenija tehnika i veći utrošak energije u poređenju sa FHSS i DSSS

IEEE 802.11
- fizički sloj -

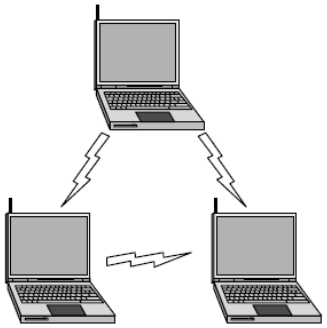
- MIMO (*Multiple-Input Multiple-Output*)
  - Tehnika za (bitno) poboljšanje performansi (brzina prenosa i otpornost na interferencije) fizičkog sloja savremenih 802.11 mreža.
  - Koristi više antena za slanje i prijem signala.
  - Različite konfiguracije, 2x2, 3x3, 4x4, itd., (broj antena za slanje i prijem)
  - Npr. u konfiguraciji 2x2, moguće je istovremeno prenositi dva toka podataka između predajnika i prijemnika - udvostručuje brzinu prenosa u odnosu na sistem sa jednom antenom.
  - Tokovi podataka se preko različitih antena šalju na **istoj** frekvenciji.
  - Tokovi ne stiži istim putanjama (zbog prostorne razdvojenosti antena) što omogućava njihovo razdvajanje na prijemu (primenom komplikovane matematike).
  - Efikasan u okruženjima sa velikom gustinom uređaja
  - U kombinaciji sa OFDM, omogućava veoma velike brzine prenosa podataka, koje dostižu $600\ Mbps$ (kod 802.11n), nešto preko $1\ Gbps$ (kod 802.11ac), do čak nekoliko $Gpbs$ (kod 802.11ax).

IEEE 802.11
- fizički sloj -

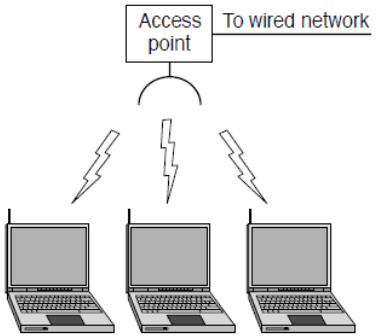
- Dva režima rada MIMO sistema: 1) prostorno multipleksiranje (*spatial multiplexing*) i prostorna raznovrsnost (*spatial diversity*)
- Prostorno multipleksiranje
  - Različiti i nezavisni tokovi podataka se prenose istovremeno preko različitih antena.
  - Koristi se kada su uslovi prostiranja dobri (jak signal, malo smetnji) i prioritet je postizanje maksimalne brzine prenosa.
- Prostorna raznovrsnost (*spatial diversity*)
  - Isti podaci se prenose preko više antena istovremeno.
  - Ako jedan signal stigne oslabljen zbog prepreka, drugi putevi mogu to da kompenzuju.
  - Koristi se kada su uslovi kanala loši (slab signal, puno smetnji) i prioritet je pouzdanost prenosa.
- WiFi sistemi ne koriste oba režima istovremeno na istim podacima, već adaptivno biraju koji pristup da koriste na osnovu trenutnih uslova kanala.

IEEE 802.11
- Arhitekture mreže -

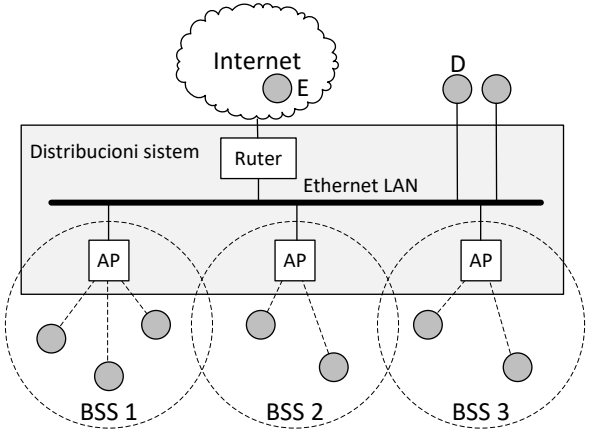
- IBSS (*Independent Basic Service Set*)
  - *Peer-to-peer Ad hoc* mreža



- BSS (*Independent Basic Service Set*)
  - Infrastrukturna mreža zvezdaste topologije

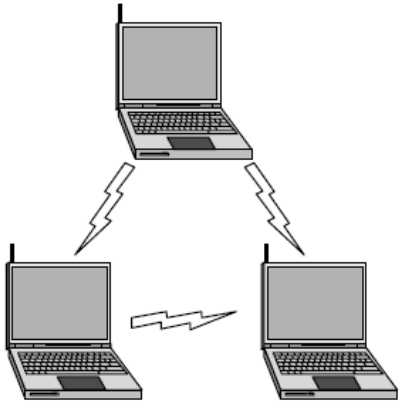


- ESS (*Extended Service Set*)
  - Infrastrukturna mreža – više povezanih BSS



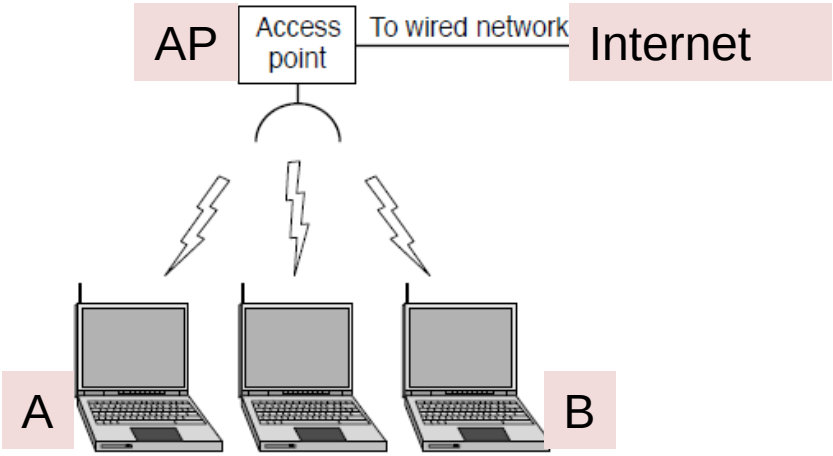
Arhitekture 802.11 mreža

- IBSS (*Independent Basic Service Set*)
  - Ad hoc mreža: spontano umrežavanje prostorno bliskih uređaja)
  - *Peer-to-peer* mreža: direktna (single-hop) komunikacija (svi umreženi uređaji moraju biti jedan drugom u radio dometu)
  - Korisno za brzo i lako uspostavljanje bežične mreže tamo gde mrežna infrastruktura nije dostupna ili nije praktična
  - Nedostatak: komunikacija je ograničena samo na povezane uređaje, odnosno ne postoji mogućnost pristupa npr. Internetu.



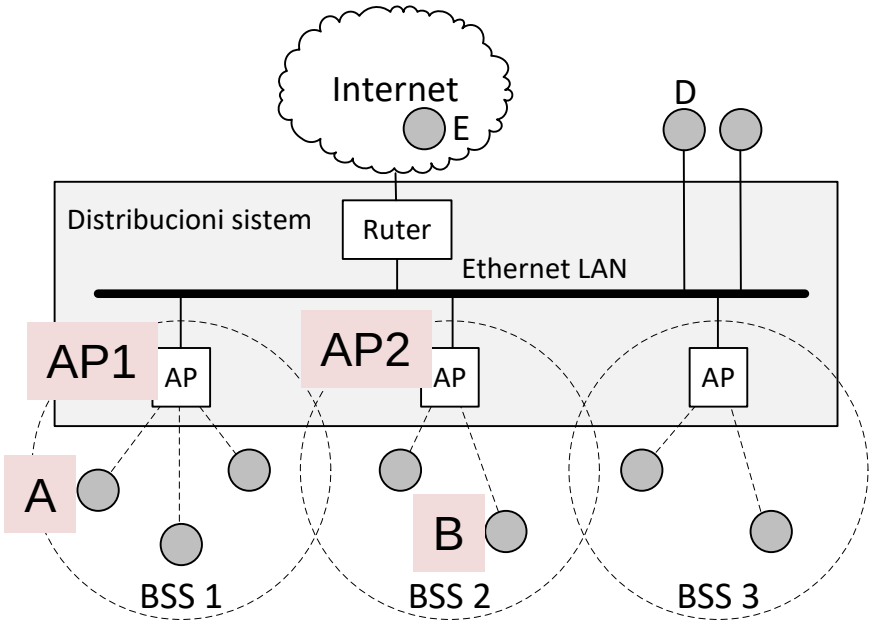
Arhitekture 802.11 mreža

- BSS (*Basic Service Set*)
- Infrastrukturna mreža zvezdaste topologije sa AP-om u centru
- Najčešće korišćena 802.11 konfiguracija
- Mreža može biti:
  - Izolovana (samo komunikacija između uređaja u okviru BSS), ili, mnogo češće
  - Povezana na pozadinsku mrežu (LAN) – distribucioni sistem (DS)
- Uređaji u okviru istog BSS ne komuniciraju direktno, već posredstvom AP.
  - Uređaj A -> AP -> Uređaj B
  - Uređaj A -> AP -> Internet
  - Internet -> AP -> Uređaj A



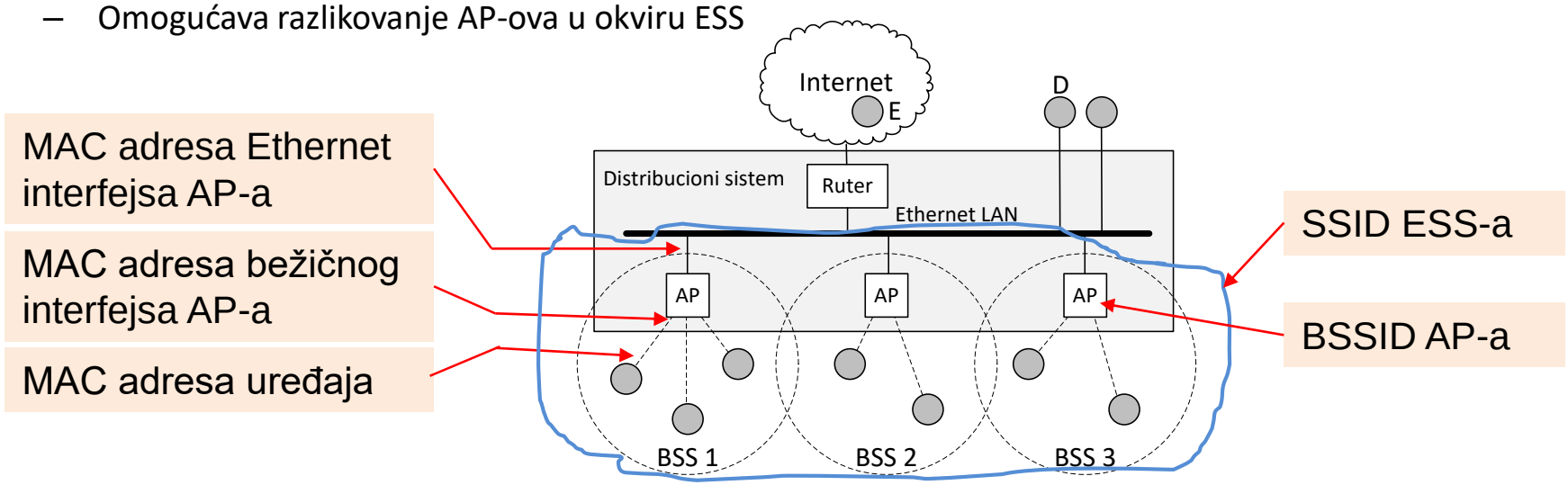
Arhitekture 802.11 mreža

- ESS (*Extended Service Set*)
  - Proširena 802.11 mreža
  - Objedinjuje više BSS posredstvom distribucionog sistema (npr. Ethernet LAN)
  - Omogućava komunikaciju između uređaja iz različitih BSS:
    - A -> AP1 -> AP2 -> B



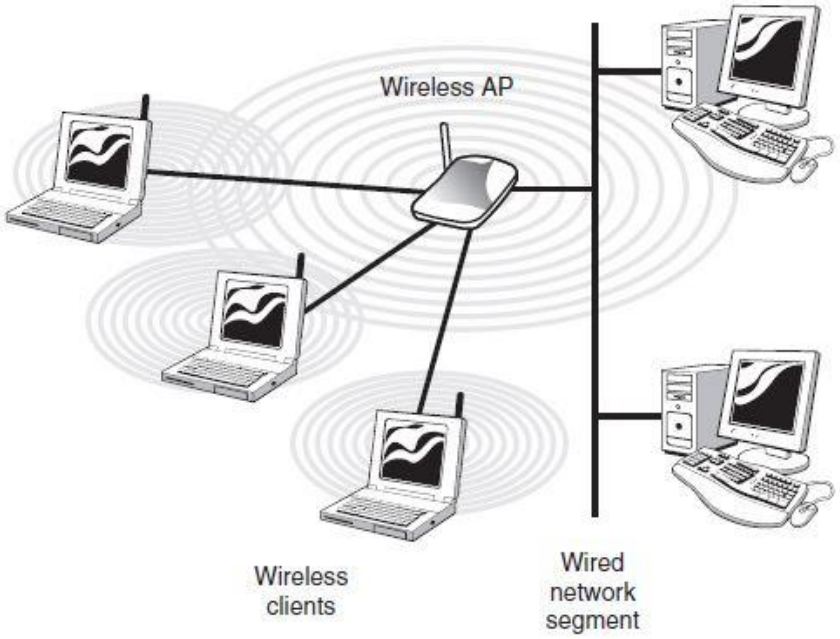
Adresiranje

- Svaki mrežni interfejs ima jedinstvenu MAC adresu – 48 bita (kao kod Ethernet-a) – npr. 01:23:45:67:89:AB
- Uređaj u mreži ima jedan (bežični) interfejs => jedna MAC adresa
- AP ima dve interfejsa (jedan za bežičnu komunikaciju i jedan za Ethernet LAN) => dve MAC adrese,
- SSID (*Service Set Identifier*) – ime mreže (tekst - niz alfa-numeričkih znakova) – npr. *MyNetwork*
  - Omogućava uređajima da se povežu sa odgovarajućom mrežom.
  - AP u BSS ima svoj SSID
  - U ESS mreži, svi AP-ovi imaju isti SSID.
- BSSID (*Basic Service Set Identifier*) – jedinstveni identifikator AP-a
  - Formira se kao kombinacija MAC adrese bežičnog interfejsa i SSID, npr. 01:23:45:67:89:AB_MyNetwork
  - Omogućava razlikovanje AP-ova u okviru ESS



Access Point

- Ključna za funkcionisanje 802.11 mreže
- Brojne funkcije:
  - „Most“ između bežične i žičane mreže
  - Organizuje komunikaciju i upravlja protokom podataka
  - Upravlja pridruživanjem uređaja mreži
  - Sprovodi bezbednosne mera radi zaštite od neovlašćenog pristupa mreži, kao i zaštite samih podataka koji se prenose u mreži
  - Itd.



Access Point
- Alokacija kanala -

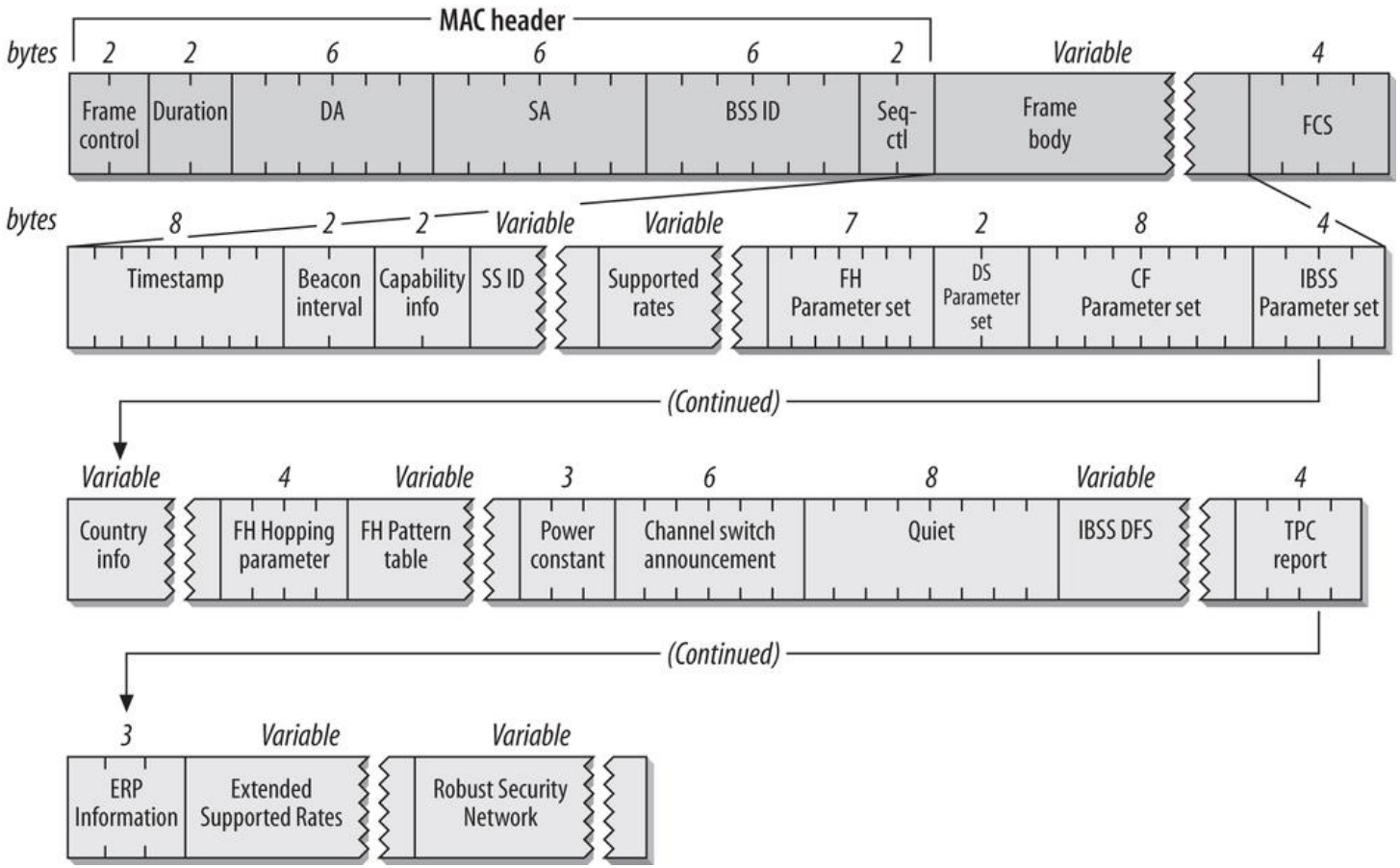
- 802.11 mreže rade u dva frekventna opsega, $2.4\ GHz$ i $5\ GHz$.
  - $2.4\ GHz$: 14 frekventnih kanala (najčešće se koriste samo tri: 1, 6 i 11), i
  - $5\ GHz$: 20 frekventnih kanala
- Alokacija kanala: izbor frekventnog kanala na kome će mreža raditi
  - U nadležnosti AP-a
  - Kanal može biti podešen manuelno ili se bira automatski tokom inicijalizacije AP-a.
  - U automatskom režimu izbora:
    - AP analizira bežični medijum,
    - Detektuje prisustvo drugih 802.11 mreža i
    - Bira najmanje opterećeni kanal, kako bi se minimizovala potencijalna interferencija.
  - Dinamička alokacije kanala: AP periodično, tokom rada, analizira bežični medijum i eventualno menja frekventni kanal.

Access Point
- Emitovanje bikona-

- Bikon (*beacon*): paketa koji AP periodično emituje (npr. svakih $100\ ms$) kako bi okolnim uređajima oglasilo svoje prisustvo i preneo im podatke o sebi i mreži.
- Bikoni omogućavaju uređajima da otkriju prisustvo AP-a u svojoj okolini i pridruže se bežičnoj mreži.
- Sadrži sledeće podatke (skraćeni spisak):
  - *Timestamp*: vreme kada je bikon emitovan.
  - *Bikon-interval*: perioda emitovanja bikona.
  - *Karakteristike mreže*: podržani standardi (npr. 802.11.ac), sigurnosne mere, podrška za kvalitet servisa (korisno uređaju kada treba da izabere optimalnu mrežu)
  - *SSID*: identifikator bežične mreže.
  - *BSSID*: identifikator AP-a
  - *Frekventni kanal i vremenski parametri*: Kanalu na kojem radi AP, i vremenskim parametrima za koordinaciju pristupa medijumu
  - *Bežična sigurnost*: podržani tipovi enkripcije i autentifikacije
  - *Energetska efikasnost*: podržane metode energetske efikasnosti

Access Point
- Emitovanje bikona-

- Format bikon-a (informativno)



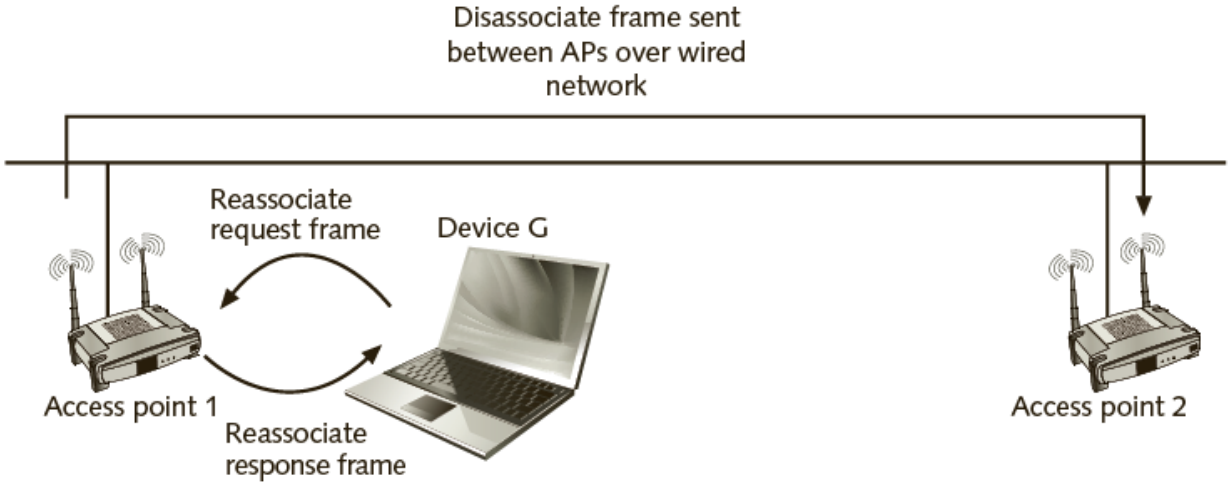
Access Point
- Asocijacija, reasocijacija, deasocijacija -

- *Asocijacija*, ili *pridruživanja* (*association*): Povezivanje uređaja sa AP-om
  - Uređaj koji nije povezan na mrežu, neprekidno skenira 802.11 frekventne kanale radi prijema bikona
  - Tokom skeniranja, uređaj povremeno menja frekventni kanal koji osluškuje
  - Iz bikona, uređaj saznaje identitet i mogućnosti AP-a, a nakon toga šalje zahtev za pridruživanje AP-u, koji ovaj može da prihvati ili odboje
- *Reasocijacija*, ili ponovno pridruživanje: Omogućava uređaju da promeni AP
  - Korisno za mobilne uređaje i funkcioniše poput *handover* servisa u celularnim mrežama
  - Uređaj koji je pridružen nekom AP-u, neprekidno prati nivo (jačinu) signala koji AP emituje.
  - Kada nivo signala padne ispod određenog praga, uređaj počinje proces skeniranja, kako bi otkrio da li u okolini postoje drugi dostupni AP-ovi
  - Na osnovu rezultata skeniranja, uređaj bira novi AP kome će se pridružiti.
  - Uređaj šalje zahtev za reasocijaciju (*reassociate request frame*) izabranom AP, koji nakon toga odgovara potvrdom pridruživanja (*reassociate response frame*)
  - Reasocijacija je transparentna za mobilni uređaj (obavlja se u pozadini)

Access Point
- Asocijacija, reasocijacija, deasocijacija -

- *Deasocijacija*, ili razdruživanja: uređaj raskida vezu sa AP-om.
  - Uređaj inicira deasocijaciju pre nego što započne proces sopstvenog gašenja (*shutdown*), ili na zahtev korisnika koji želi da prekine mrežnu konekciju
  - AP deasocira sve pridružene uređaje pre svog isključenja
  - Deasocijacija se dešava i pri svakoj reasocijaciji, kada uređaj iz domena jednog prelazi u domen drugog AP u okviru istog ESS.
  - U vezi s prethodnim, zahtev za deasocijacju ne šalje sam uređaj, već AP s kojim se uređaj upravo asocirao i to preko distribucionog sistema

Reasocijacija u ESS

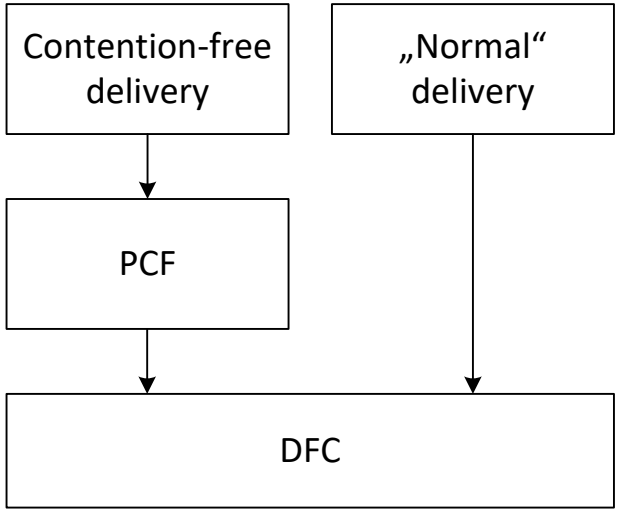


Access Point
- Sigurnost i privatnost -

- Autentifikacija: Mrežni uređaj, prilikom pridruživanja mreži, mora da dokaže svoj identitet AP-u, prolazeći kroz proces autentifikacije.
- Procedura autentifikacije nije jedinstvena - zavisi od sigurnosne šeme koja se koristi u konkretnom sistemu
- Standard 802.11 dopušta preskakanje ovog koraka, što mrežu čini otvorenom za sve zainteresovane korisnike (uređaje)
- Ako je autentifikacija uključena, tada uređaj (korisnik) mora da dostavi AP-u svoje podatke za pristup da njegov zahtev za pridruživanje ne bi bio odbijen
- Poseban deo standarda 801.11, WPA2 (*Wi-Fi Protected Access* 2), posvećen je sigurnosti bežične mreže
- WPA2 obuhvata ne samo autentifikacija korisnika, već i zaštita od mrežnih napada i sigurnost u vezi integriteta podataka (enkripcija)
- Ovde se nećemo dalje baviti ovom širokom i kompleksnom problematikom

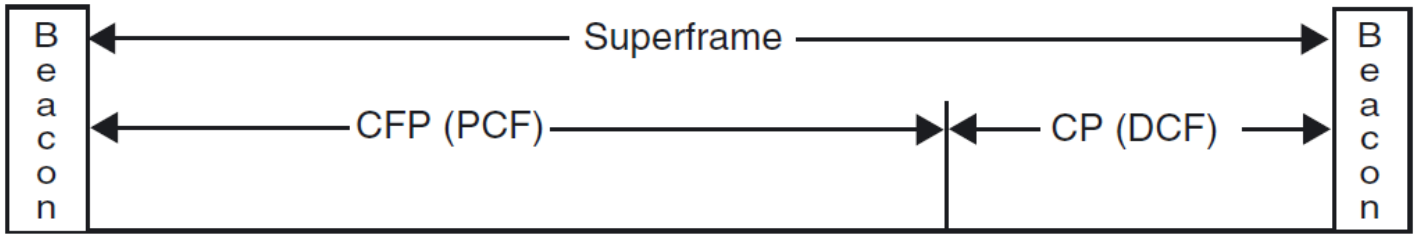
MAC

- DCF (*Distributed Coordination Function*): mehanizam kontrole pristupa medijumu u standardu 802.11:
  - Zasnovan na klasičnom CSMA/CA protokolu sa podrškom za RTS/CTS proceduru i NAV, plus
  - Proširenja koja su doprinose većoj pouzdanosti prenosa podataka, manjoj potrošnji energije i obezbeđivanju zahtevanog kvaliteta servisa.
  - Omogućava uređajima da deluju nezavisno, tj. da kroz nadmetanje stiču pravo pristupa medijumu
  - Podrazumevani režim rada 802.11 mreže
- PCF (*Point Coordination Function*):
  - Opcioni režim rada
  - AP, upravlja svim aktivnostima u svom BSS, poput bazne stanice u celularnoj mreži.
  - PCF se oslanja na DFC i obezbeđuje beskonfliktnu komunikaciju



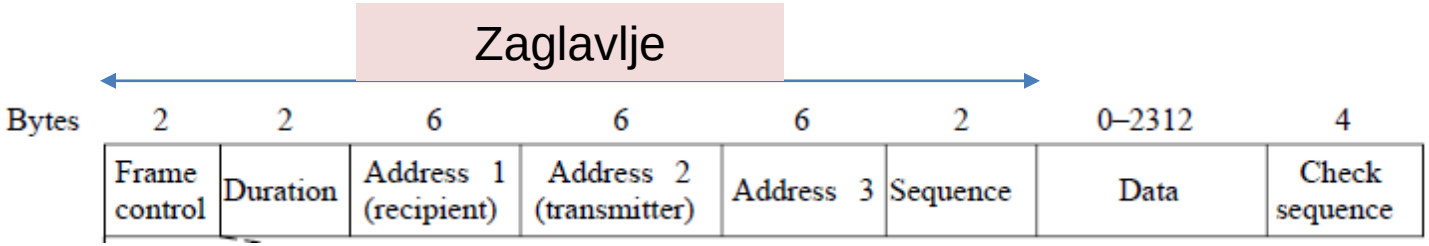
MAC
- Superfrejm -

- Koegzistencija DCF i PCF
- AP uspostavlja tzv. superfrejm (*superframe*) – deli vreme na superfrejmove
- Superfrejm počinje bikon porukom, koju šalje AP, i sadrži dva vremenska intervala:
  - (*CFP - contention-free period*) - period bez nadmetanja – u kome se koristi PCF
  - (*CP - contention period*) - period za nadmetanje, u kome se koristi DCF (CSMA/CA)
- PCF:
  - AP određuje redosled pristupa i vreme slanja za sve umrežene bežične uređaje.
  - AP se sukcesivno obraća svim uređajima, tako što svakom uređaju:
  - Šalje poruku podataka (ako ima takvu poruku) ili
  - Poruku prozivke (kojom pita uređaj da li ima poruku za slanje).
  - Ako uređaj ima poruku za slanje, šalje tu poruku nakon primljene prozivke
  - Omogućava pouzdaniji i deterministički pristup mreži za aplikacije koje zahtevaju nisku latenciju i stabilnost.
  - Nije u širokoj upotrebi i nije uključen u sve bežične mreže. (Složenost implementacije i ograničenja u smislu skalabilnosti i prilagodljivosti)



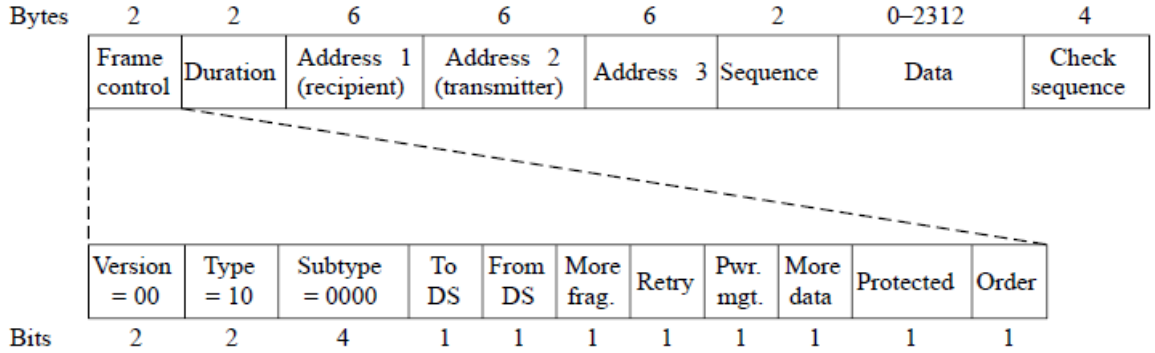
MAC
- format paketa -

- MAC paket sadrži:
  - Zaglavlje (*header*) - šest polja ukupne dužine 24 bajta.
  - Podaci („Data“) - najviše 2312 bajta.
  - Polje za proveru (CRC) – 4 bajta

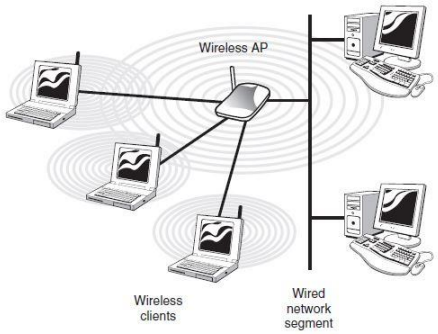


MAC
- format paketa -

- „*Version*“: oznaka verzije formata („00“)
- „*Type*“: tipa paketa (da li je to paket podataka, upravljanja ili menadžmenta),
- „*Subtype*“pod-tipa u okviru izabranog tipa. Paket podataka: *Type*=10*, Subtype*= 0000.
- „*To DS*“: 1 - paket je namenjen odredištu van BSS
- „*From DS*“: 1 - potiče od uređaja koji je van BSS-a, odnosno dolazi preko distribucionog sistema
- „*More fragments*“:
  - 1 - paket nije poslednji fragment u nizu fragmentiranih paketa.
  - 0 - paket ili poslednji fragment u nizu, ili da je reč o nefragmentiranom paketu.
- „*Retry*“: 1 – paket je ponovno poslat (retransmitovan)
- „*Power management*“: 1 - pošiljalac paketa ulazi u režim smanjene potrošnje.
- „*More data*“: 1 - ukazuje na to da pošiljalac paketa ima još paketa za slanje istom primaocu.
- „*Protected Frame*“: 1 - sadržaj paketa je šifrovan
- „*Order*“: 1 - ukazuju primaocu paketa da višim nivoima treba isporučiti niza paketa koji sledi u striktnom redosledu kako su poslati.



MAC
- format paketa -



- MAC paket podataka sadrži tri (nekada i četiri) adresna polja, svako dužine 6 bajta:
  - *„Address 1“* sadrži adresu prijemnika paketa (RA), odnosno MAC adresu uređaja koji bežičnim putem treba da primi paket
  - *„Address 2“* nosi adresu predajnika (TA), odnosno bežičnog uređaja ili AP-a koji emituje paket.
  - *„Address 3“* sadrži adresu krajnjeg odredišta paketa
- Tumačenja adresa zavisi od konteksta, tj. od tipa paketa i vrednosti bit-polja „To DS“ i „From DS“ u polju *„Frame control“*, prema tabeli:

Bits: 2	2	4	1	1	1	1	1	1	1	1
Protocol Version	Type	Subtype	To DS	From DS	More Frag	Retry	Power Mgmt	More Data	Prot. Frame	Order

Frame Control field

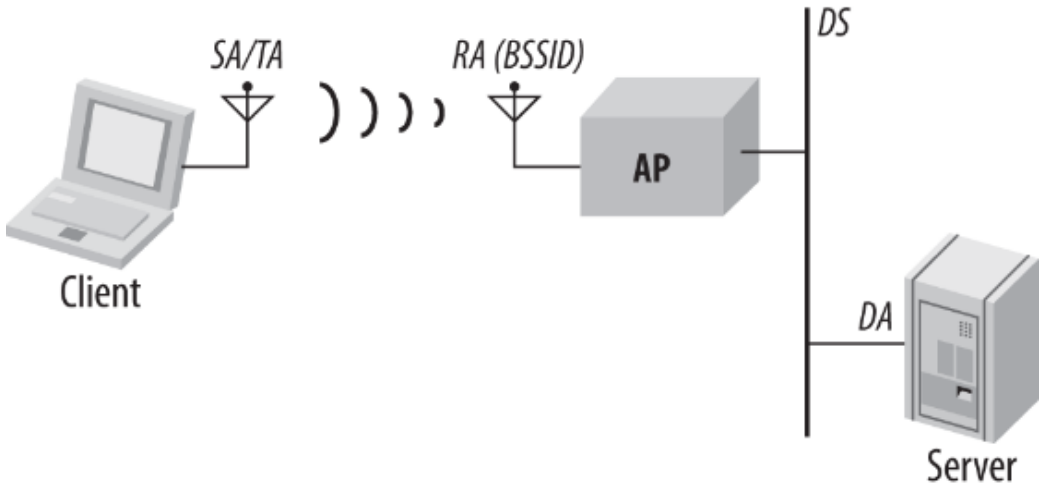
To DS	From DS	Address 1	Address 2	Address 3	Address 4
0	0	RA = DA	TA = SA	BSSID	N/A
0	1	RA = DA	TA = BSSID	SA	N/A
1	0	RA = BSSID	TA = SA	DA	N/A
1	1	RA	TA	DA	SA

Za ad hoc mreže (jedan uređaj direktno šalje paket drugom (bez AP)

MAC
- Adrese -

- Mrežni uređaj (klijent) šalje paket serveru (preko AP i distribucionog sistema)

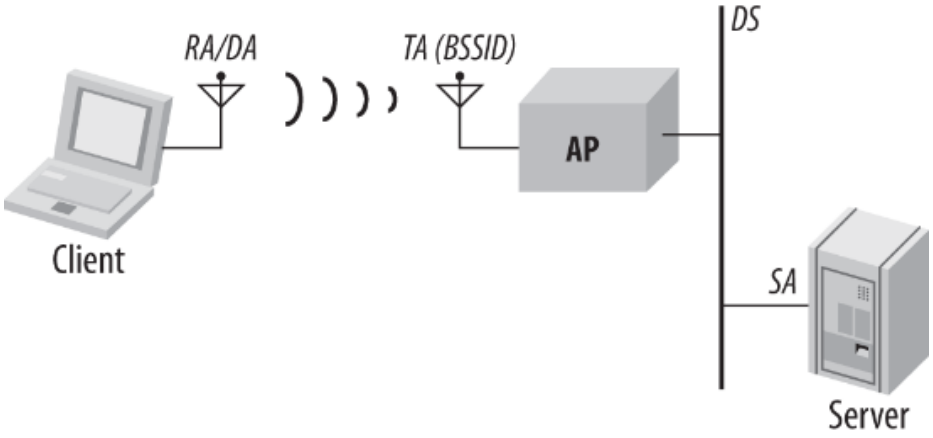
To DS	From DS	Address 1	Address 2	Address 3	Address 4
0	0	RA = DA	TA = SA	BSSID	N/A
0	1	RA = DA	TA = BSSID	SA	N/A
1	0	RA = BSSID	TA = SA	DA	N/A
1	1	RA	TA	DA	SA



MAC
- Adrese -

- Server šalje paket uređaju (klijentu)

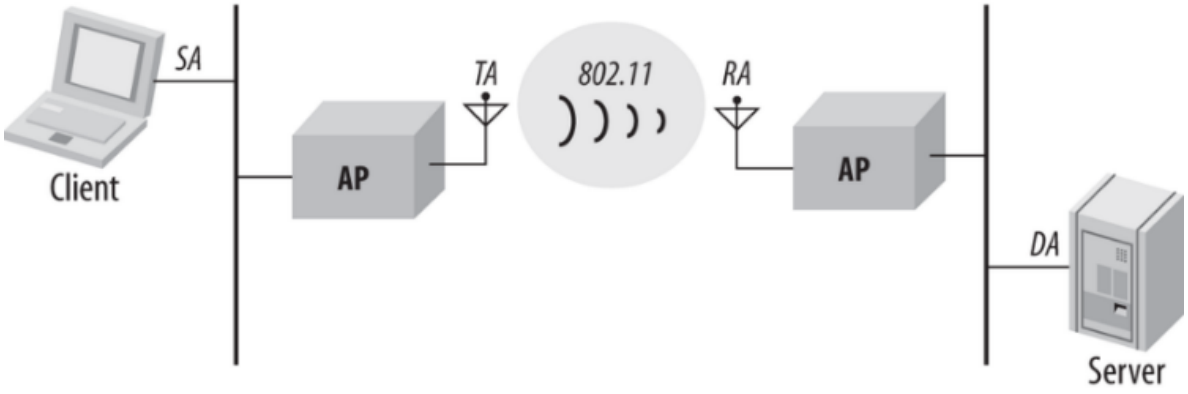
To DS	From DS	Address 1	Address 2	Address 3	Address 4
0	0	RA = DA	TA = SA	BSSID	N/A
0	1	RA = DA	TA = BSSID	SA	N/A
1	0	RA = BSSID	TA = SA	DA	N/A
1	1	RA	TA	DA	SA



MAC
- Adrese -

- Specifičan slučaju kada 802.11 mreža igra ulogu mosta između dva distribuciona sistema

To DS	From DS	Address 1	Address 2	Address 3	Address 4
0	0	RA = DA	TA = SA	BSSID	N/A
0	1	RA = DA	TA = BSSID	SA	N/A
1	0	RA = BSSID	TA = SA	DA	N/A
1	1	RA	TA	DA	SA



MAC
- format paketa -

- „*Sequence*“: dužine dva bajta, koristi za brojanje, odnosno numeraciju paketa, kako bi se izbegli duplikati i omogućila rekonstrukcija fragmentiranih paketa na prijemnoj strani.
  - 4 prva bita (*Fragment number*) identifikuju fragment, odnosno sadrže redni broj fragmenta podeljenog paketa
  - 12 preostalih bita nose ceo broj (*Sequence number*) koji se inkrementira za 1 sa svakim prenosom novog paketa.
- Primer:
  - Ako je duži paket podeljen na četiri kraća fragmenta, onda će u pod-poljima „*Fragment number*“ fragmentiranih paketa biti redom upisane vrednosti: 0,1,2, i 3,
  - Pod-polje „*Sequence number*“ svih fragmenata će imati istu vrednost, npr. 2345.
  - Sadržaj pod-polja „*Sequence number*“ narednog paketa koji će emitovati taj isti uređaj imaće vrednost 2346. U slučaju retransmisije, sadržaj polja „*Sequence*“ ostaje isti kao u originalnom paketu.

Bytes	2	2	6	6	6	2	0–2312	4
	Frame control	Duration	Address 1 (recipient)	Address 2 (transmitter)	Address 3	Sequence	Data	Check sequence

MAC
- format paketa -

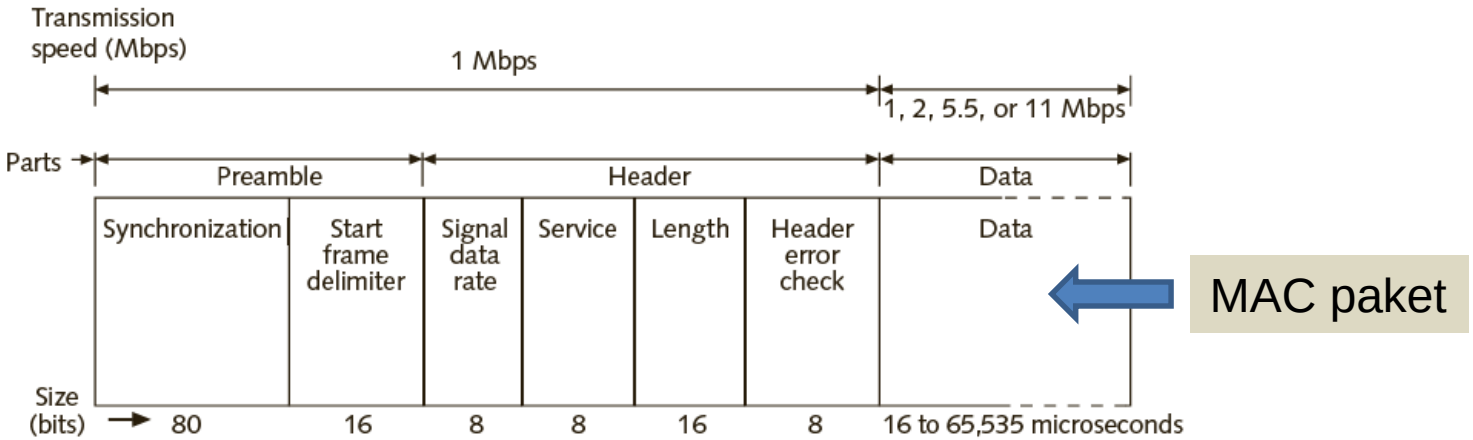
- „*Duration*“ - sadrži informaciju trajanju transmisija paketa i njegove potvrde (ACK), (u milisekundama). Koristi se za implementaciju NAV mehanizma.
- „*Data*“: sadrži korisne podatke (*payload*) - paket protokola višeg nivoa. Prva 4 bajta sadrže identifikaciju protokola višeg nivoa kome su podaci namenjeni.
- „*Check sequence*“: 32-bitni CRC.
  - Nakon ispravno primljenog paketa, prijemnik ima obavezu da pošalje predajniku ACK paket kao potvrdu uspešnog prijema.
  - Prijemnik uništava paket sa neispravnim CRC
  - Izostanak ACK-a inicira ponovno slanje paketa podataka

Bytes	2	2	6	6	6	2	0–2312	4
	Frame control	Duration	Address 1 (recipient)	Address 2 (transmitter)	Address 3	Sequence	Data	Check sequence

MAC
- inkapsulacija u paket fizičkog sloja -

- *„Synchronization“* + *„Start frame delimiter“* = preambula.
  - *„Synchronization“* = naizmenični niz 0 i 1 (omogućava sinhronizaciju prijemnika)
  - *„Start frame delimiter“* = „1111001110100000“ (označava početak paketa)
- *„Signal data rate“*: brzini prenosa „Data“ polja paketa
- *„Length“*: trajanje transmisije „Data“ polja (u mikrosekundama)
- *„Header error check“*: polje za proveru koje obuhvata samo zaglavlja

- Zaglavlje fizičkog paketa uvek prenosi brzinom od 1 $Mbps$,
- Deo za podatke se može prenositi i višom brzinom (*„Signal data rate“*)
- Nedostatak: uređaji koji podržavaju veće brzine prenosa moraju stalno da menjaju radnu frekvenciju



Pouzdanost prenosa

- Bežični prenos je u mnogo većoj meri podložan greškama u prenosu od žičanog prenosa (šumovi i interferencije)
- Pogrešan bar jedan bit u paketu => paket se odbacuje na prijemu
- Kako poboljšati pouzdanost prenosa: **smanjiti brzinu prenosa:**
  - Manja brzina prenosa => Veća energija po simbolu => manji BER
  - Strategija: mrežni uređaj (prijemnik) prati stopu odbacivanja paketa i i smanjuje brzinu prenosa ako se ova stopa poveća
  - Ako je stopa odbacivanja paketa mala, uređaj, povremeno, testira prenos pri većim brzinama i poveća brzinu ukoliko se test pokaže uspešnim.

Pouzdanost prenosa

- Kako poboljšati pouzdanost prenosa: **smanjiti dužinu paketa:**
  - Pri istom BER (bit error rate), stopa odbacivanja paketa je veća što je paket duži
  - Strategija:
  - Standard 802.11 omogućava fragmentaciju paketa (podelu dužeg na više manjih paketa - fragmenata)
  - Fragmenti se prenose sukcesivno, jedan za drugim, kao posebni paketi
  - Fragmenti se numerišu i nezavisno potvrđuju (ACK).
  - U slučaju greške u prenosu, ponovo se prenosi samo fragment pogođen greškom.

Pouzdanost prenosa

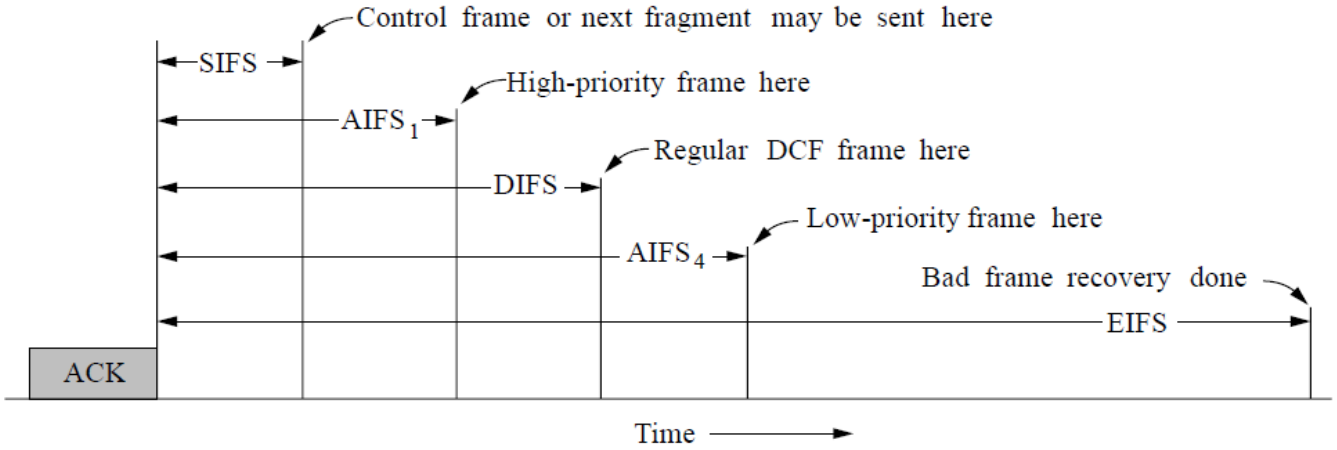
- Pretpostavimo da je verovatnoća da bit informacije bude prenet sa greškom jednaka p=10^{-4} (BER). (U proseku, svaki 10.000-ti bit je pogrešan)
  - Neka se prenosi paket maksimalne dužine $N_{max} = 2384$
    - $(1-p)^{N_{max}} = 0.15$ - verovatnoća da se ni na jednom bitu paketa ne pojavi greška jednaka je (samo **15%** paketa će se preneti bez greške)
  - Neka paket podeli na 4 fragmenta dužine 596 bajta ($N_{max}/4$)
    - $(1-10^{-4})^{2384/4} = 0.94$ – verovatnoća ispravnog prenosa fragmenta (**94%** svih fragmenat će biti ispravno preneto)

Upravljanje potrošnjom energije

- Uvođenje RF primopredajnika u režim smanjene potrošnje (spavanje) jedini način kako se značajno može smanjiti njegova potrošnja energije.
- Međutim, u režimu spavanja, primopredajnik može da propusti pakete koji mu se šalju.
- Neophodan mehanizam za upravljanje potrošnjom (*power management*) koji će omogućiti uređaju da smanjuju utrošak energije povremenim isključivanjem primopredajnika, ali na način da to ne dovede do propuštanja transmisija koje su njemu namenjene.
- Kako je to rešeno u standardu 802.11?
  - Uređaj obaveštava AP o svom statusu putem bita "*Power Management*" iz polja "*Frame Control*" (da li se nalazi u režimu smanjene potrošnje ili ne)
  - AP vodi evidenciju o tome koji uređaji su u stanju smanjene potrošnje i za sve takve uređaje privremeno baferuje pakete koji im stižu preko distribucionog sistema
  - AP utiskuje u bikone mapu saobraćaja (*TIM - traffic indication map*) koja sadrži identifikatore (MAC adrese) svih uređaja za koje čuva pristigle pakete.
  - S druge strane, uređaj, iako je u režimu smanjene potrošnje, budi se na kratko za prijem bikona i proverava mapu saobraćaja.
  - Ako u mapi saobraćaja pronađe svoju adresu, uređaj šalje AP-u zahtev za isporuku baferovanih paketa.
  - Nakon što primi pakete, uređaj ponovo uspavljuje svoj primopredajnik
- APSD (*Automatic Power Save Delivery*) – mala modifikacija prethodnog
  - AP isporučuje baferovane podatke uređaju odmah nakon što od uređaja primi bilo koji paket.
  - Podrazumeva se da uređaj, nakon slanja paketa, ostane još neko kraće vreme na prijemu kako bi primio paket koji će mu AP, eventualno, poslati.
  - Efikasnu u primenama kada postoji učestali saobraćaj u oba smera.

Upravljanje kvalitetom servisa

- *QoS - Quality of Service:*
  - Kvalitet servisa - generalni pojam koji se odnosi na skup tehnika koji se koriste za pružanje određenog nivoa usluge ili kvaliteta u komunikacionim mrežama.
  - Garantovanje i poboljšanje karakteristika prenosa podataka: propusnost, kašnjenje, pouzdanost i druge, kako bi se ispunile specifični zahtevi aplikacija ili korisničkih usluga.
  - QoS je posebno bitan u primenama koje uključuju reprodukciju multimedijalnog sadržaja tokom preuzimanja (*streaming*)
  - U standardu 802.11, podrška za QoS dolazi kroz mogućnost davanja višeg prioriteta u nadmetanju za pristup bežičnom medijumu paketima koji prenose kritične podatke.
  - Mehanizam se oslanja se na kašnjenja predviđena protokolom CSMA/CA nakon detekcije slobodnog kanala, tzv. IFS (*InterFrame Spacing Intervals*)
    - DIFS: nakon što detektuje slobodan medijum, uređaj nastavlja s osluškivanjem medijuma tokom fiksnog vremena DIFS.
    - SIFS: prijemni uređaj ima obavezu da nakon prijema paketa podataka čeka obavezno fiksno vreme, odnosno SIFS, pre nego što pošiljaocu paketa pošalje ACK potvrdu
  - Za QoS uvedena su još jedan IFS

Upravljanje kvalitetom servisa

- AIFS (*Arbitration InterFrame Spacing*): koristi se za regulisanje prioriteta u nadmetanju.
- Mrežni uređaji mogu da koriste AIFS različitog trajanja, koje ne bi trebalo da bude kraće od SIFS.
- Što je AIFS kraće, to će i prioritet uređaja u nadmetanju biti viši.
- Primer:
  - AIFS1 je duži od SIFS-a, ali kraći od DIFS-a. Mrežni uređaj koji umesto DIFS koristi AIFS1 imaće veće šanse da dobije pravo pristupa medijumu od uređaja koji prenose redovni saobraćaj koristeći DIFS interval.
  - AIFS4 interval je duži od DIFS-a: namenjeni su uređajima koji prenose pozadinski saobraćaj niskog prioriteta. Uređaji koji koriste DIFS imaće veću šansu da prvi pošalju svoje podatke u odnosu na uređaje koji koriste AIFS4.