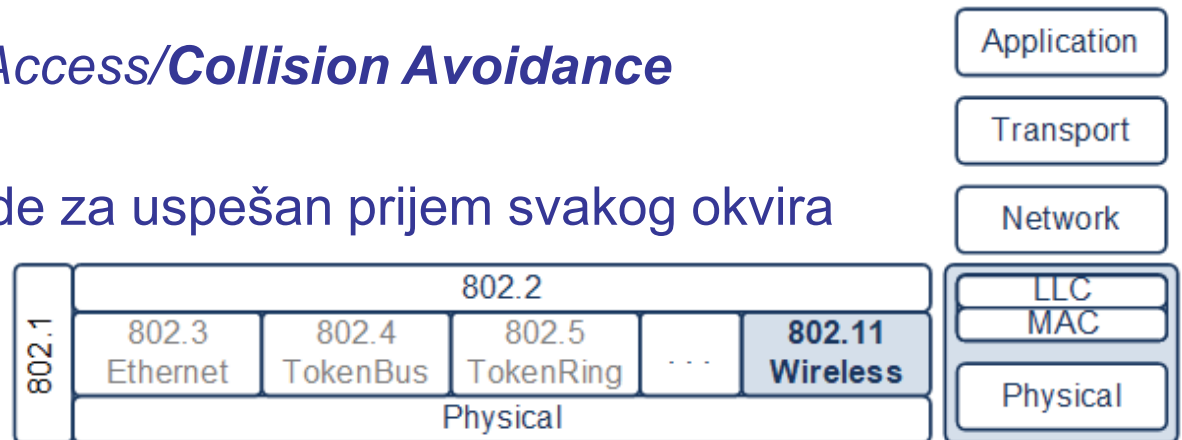


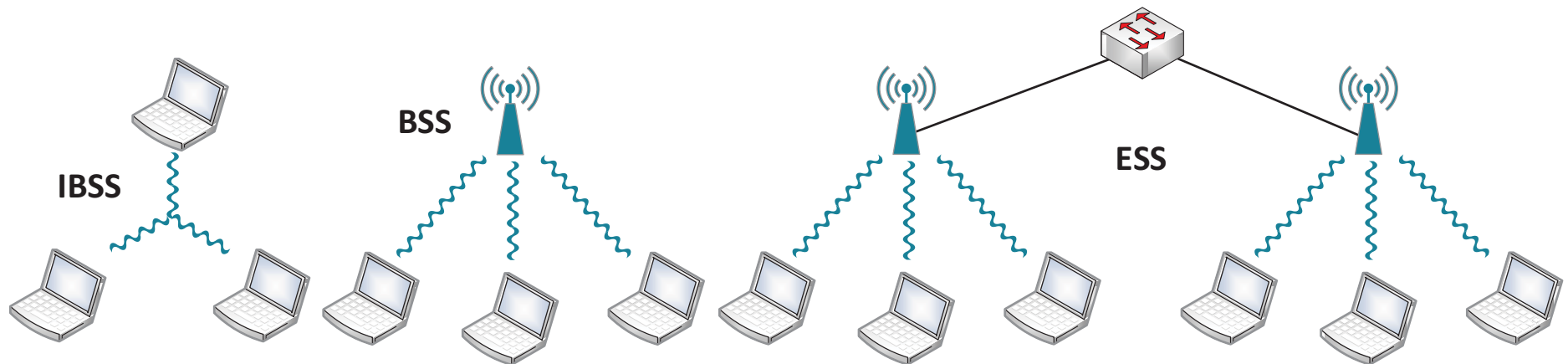
# WLAN – *Wireless* LAN

- WLAN (*Wireless LAN*) - Bežične lokalne računarske mreže
- WLAN standard - IEEE 802.11
  - Deljeni medijum – jedna frekvencija
  - *Half-duplex* – samo jedan uređaj može da šalje okvire u jednom trenutku
- Kolizija se ne može detektovati
  - Tokom slanja podataka, prijem podataka je isključen
    - kolizija se ne može detektovati kao kod “žičanog” Etherneta
  - Zbog slabljenja signala ne može se garantovati da će svi uređaji da detektuju koliziju - tzv. „*hidden station*“
- Izbegavanje kolizije
  - *Carrier-Sense Multiple Access/Collision Avoidance* (CSMA/CA)
  - Zahteva se slanje potvrde za uspešan prijem svakog okvira



# Podela WLAN mreža

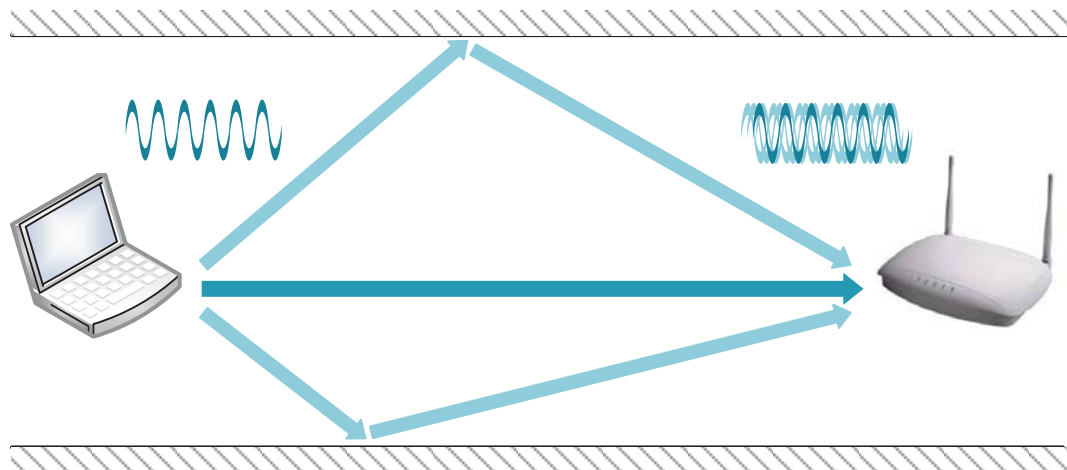
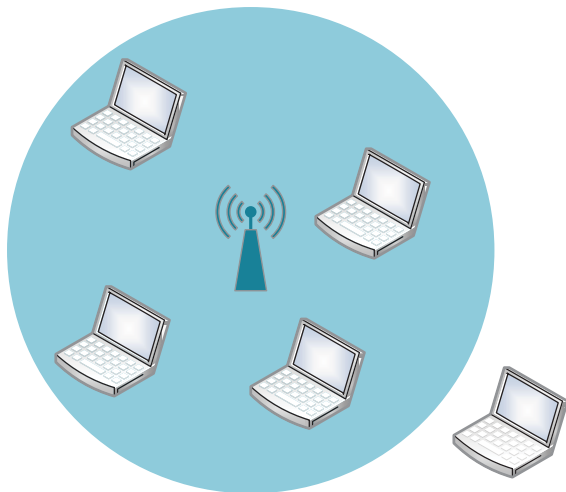
- *Ad-hoc* režim:
  - **IBSS – Independent Basic Service Set**
    - Svi učesnici su ravnopravni
- Infrastrukturni režim:
  - **BSS - Basic Service Set**
    - Centralni uređaj – *Access Point* (AP)
    - Sva komunikacije se obavlja posredno preko AP-a
  - **ESS – Extended Service Set**
    - Više AP povezanih preko sviča
- “*Service Set*” - grupa povezanih uređaja - WLAN mreža



# Access Point uređaj

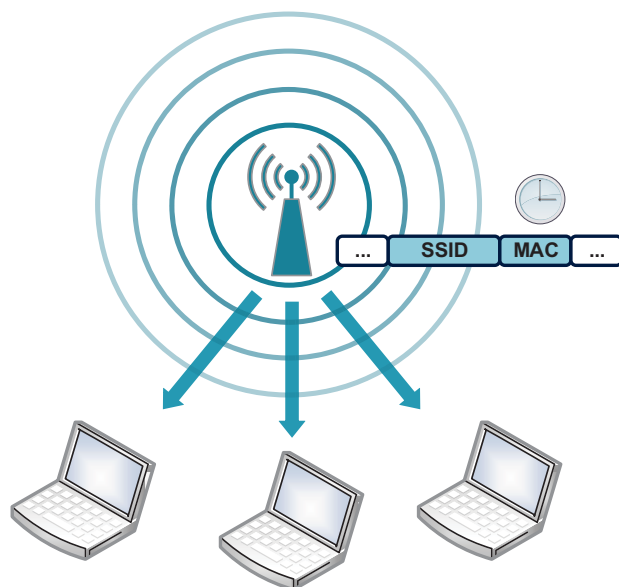
- **AP - Access Point**

- Centralni uređaj u WLAN mreži
- WLAN ćelija (cell)
  - Oblast dometa signala jednog AP
- Refleksija od objekata u okruženju stvara izobličavanje signala
  - Kompenzacija izobličenja –  
Dve antene na AP razmaknute za  $\frac{1}{2}$  talasne dužine



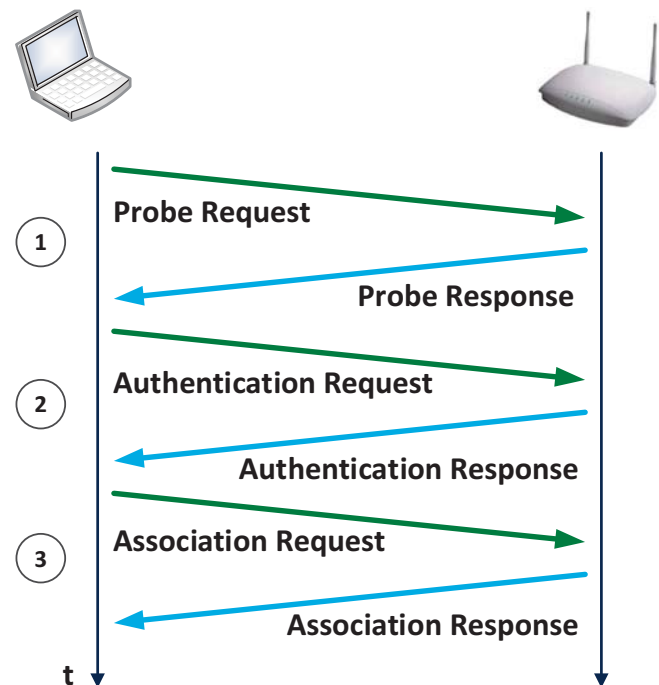
# SSID - *Service Set Identifier*

- SSID – Naziv WLAN mreže
  - Tekst do 32 karaktera
- *Beacon* okvir
  - Periodično ga oglašava AP
  - Sadrži SSID i MAC adresu AP
  - Mreža postaje vidljiva za ostale uređaje („mreže u dometu“)



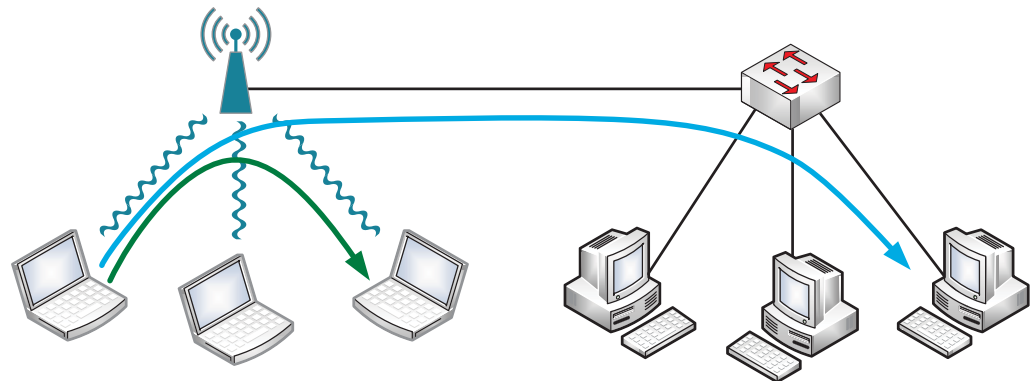
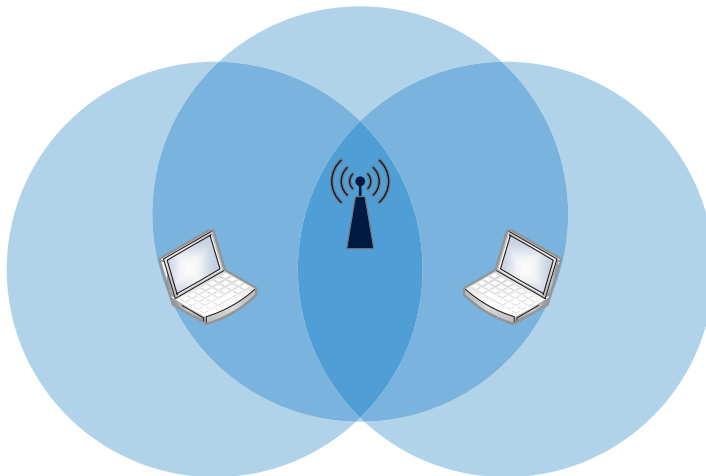
# Povezivanje na WLAN

- Povezivanje na WLAN u tri faze:
  1. Razmena parametara – usaglašavanje podržanih standarda, frekvencije, brzina prenosa itd.
    - *Probe Request, Probe Response*
  2. Autentifikacija
    - *Authentication Request, Authentication Response*
  3. Učlanjivanje (asocijacija)
    - *Association Request, Association Response*



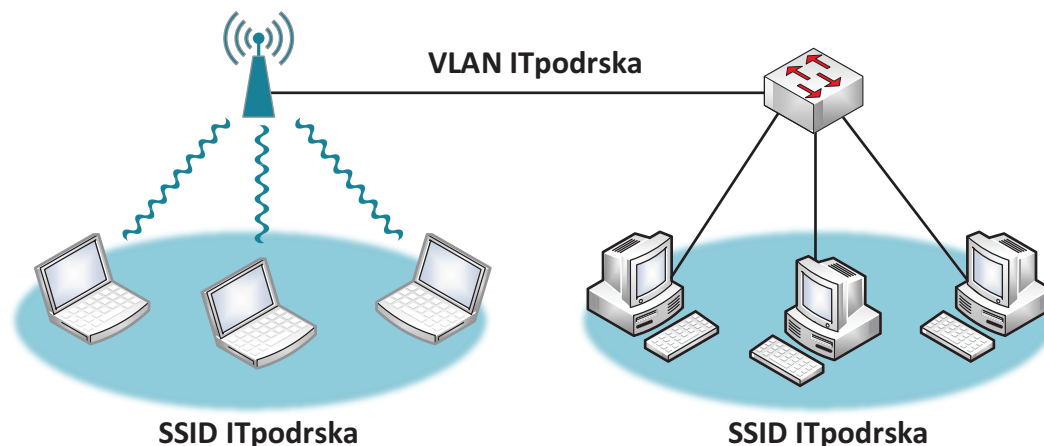
# Komunikacija

- Sva komunikacija sa drugim klijentima obavlja se preko AP
  - Svi uređaji mogu da detektuju okvire, ali se prihvataju samo okviri od AP
  - Preko AP se prenose i okviri sa podacima i potvrde
  - AP je rešenje i za „*hidden station*“
    - Dva uređaja međusobno van dometa za direktnu komunikaciju
- Komunikacija sa ostalim uređajima u LAN mreži
  - Veza AP i sviča – tzv. „bridž mod“, na L2 nivou

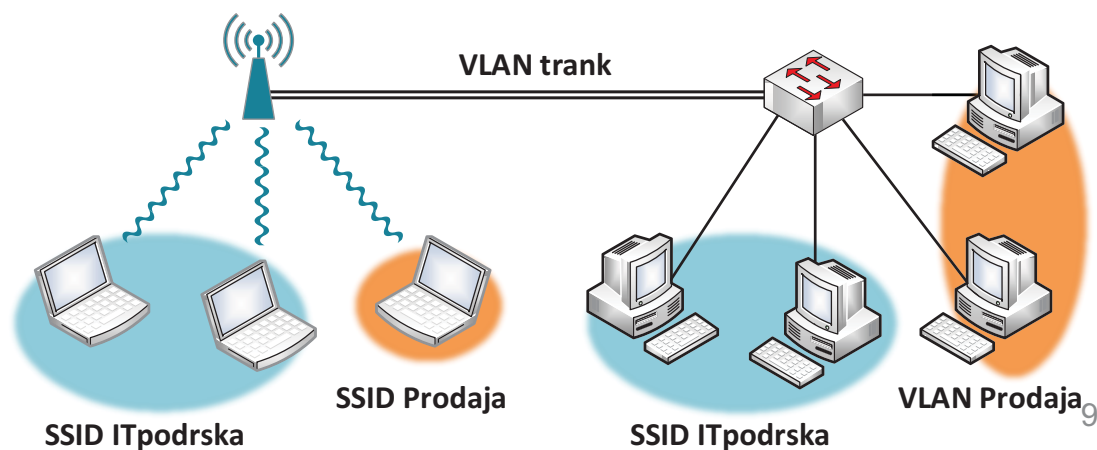


# Integracija sa LAN/VLAN mrežama

- Integracija sa VLAN mrežom
  - Mapiranje SSID-a u VLAN

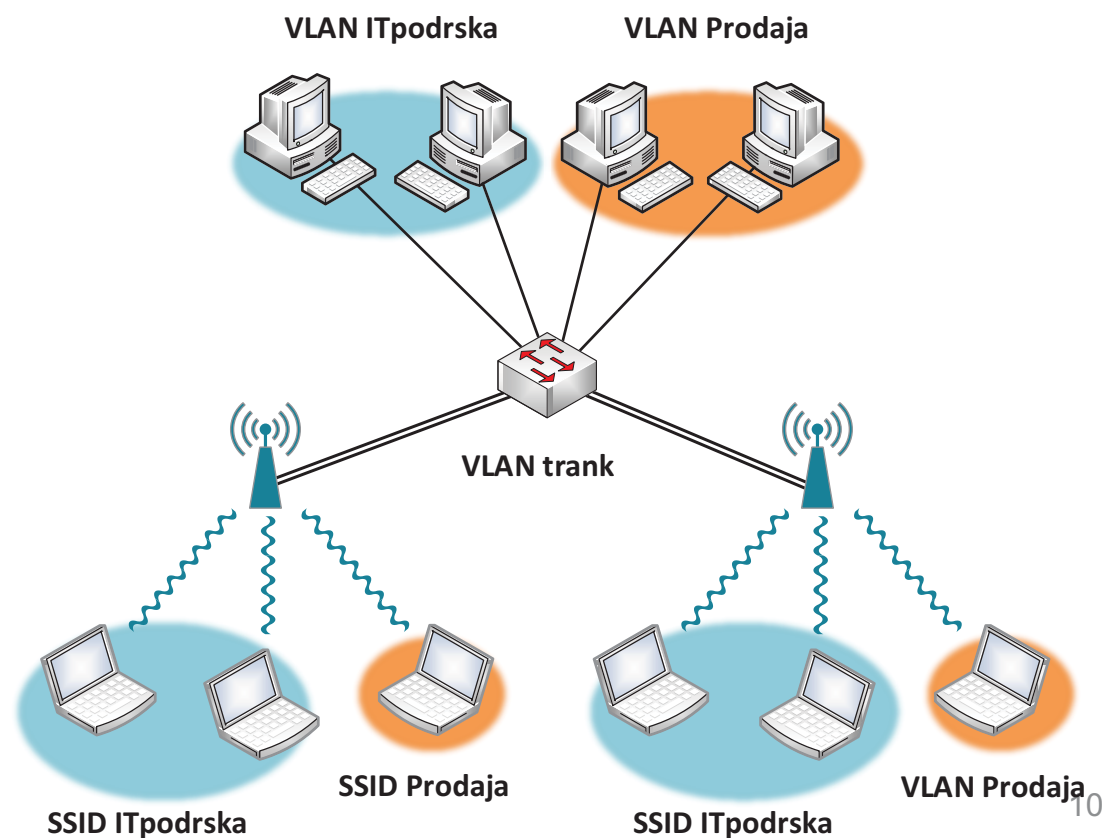


- Više SSID-a na jednom AP uređaju mapirano u odvojene VLAN-ove
  - Trunk link sa svičem



# Integracija sa LAN mrežom

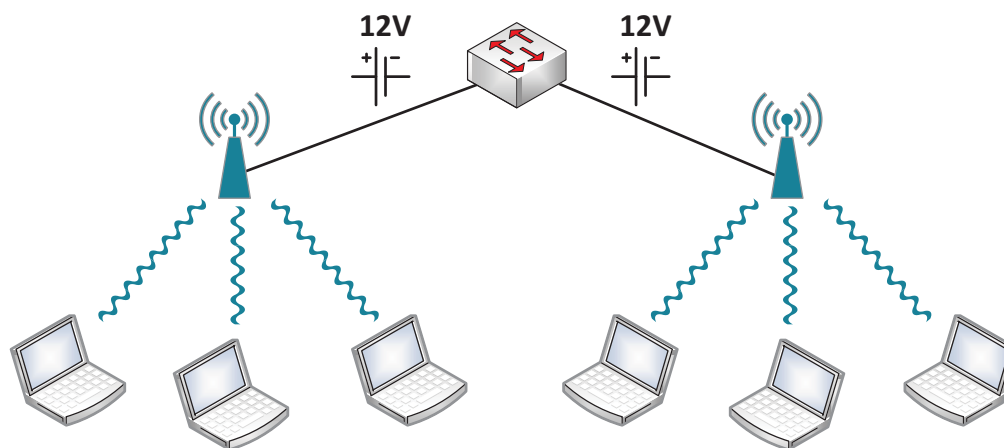
- Proširivanje SSID na više AP uređaja preko LAN mreže
  - Svaki SSID mapiran u jedan VLAN
  - Trank između AP i sviča





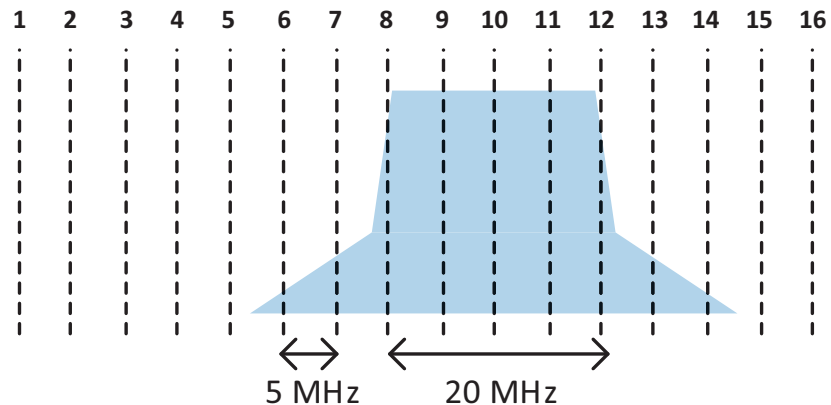
# Integracija sa LAN mrežom

- AP zahteva napajanje, a obično lociran u prostoriji pri plafonu
  - Često je nezgodno dovesti napajanje
- AP ima i Ethernet priključak
  - Povezuje se na svič – bridge mod između WLAN i LAN
- *Power Over Ethernet* (PoE)
  - Posebni svičevi koji prenose DC napajanje od 12V preko UTP kablova
  - AP se može napajati preko PoE



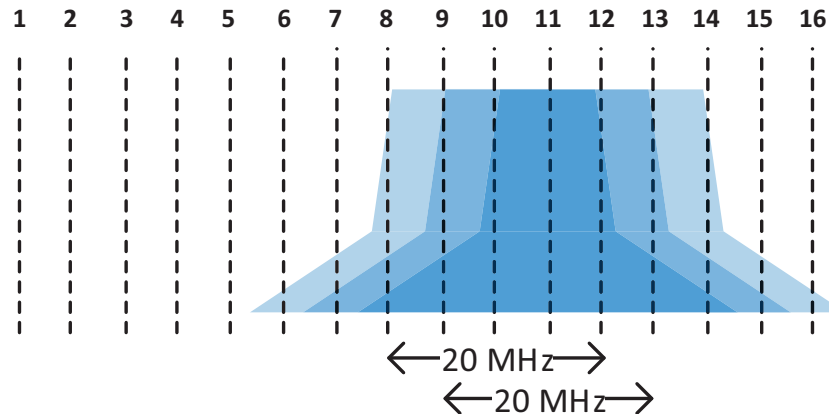
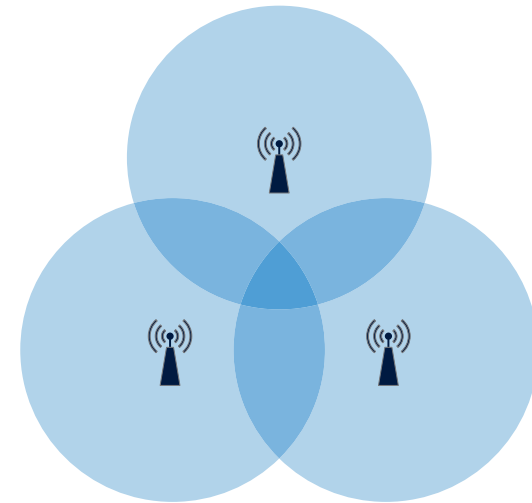
# WLAN kanali

- Kanal
  - Frekvencijski domen fiksne širine (20MHz, 40MHz)
  - Prenos jednog signala
- Susedni kanali
  - Razdvojeni za 5 MHz
  - Međusobno su preklopljeni
- AP
  - Podržava više kanala
  - Radi samo na jednom kanalu



# WLAN kanali

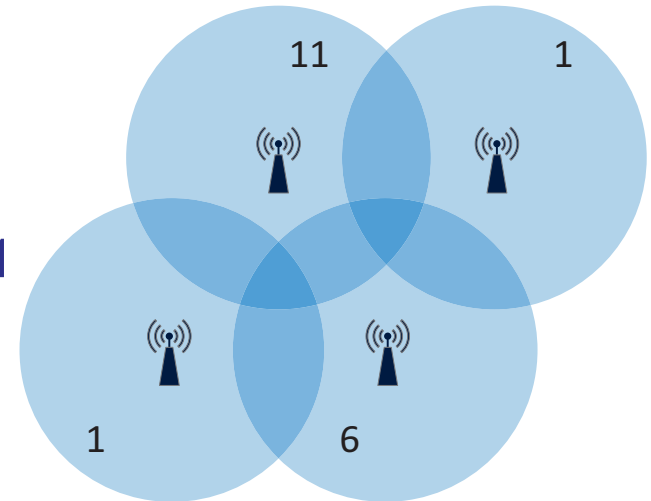
- Pokrivanje većeg prostora
  - Više AP uređaja
  - Čelije moraju da se preklape da bi se obezbedio kontinuitet WLAN mreže
- Problem:
  - Ako preklopljene ćelije rade na susednim kanalima, doći će do preklapanja frekvencijskog domena, interferencije signala i grešaka



# WLAN kanali

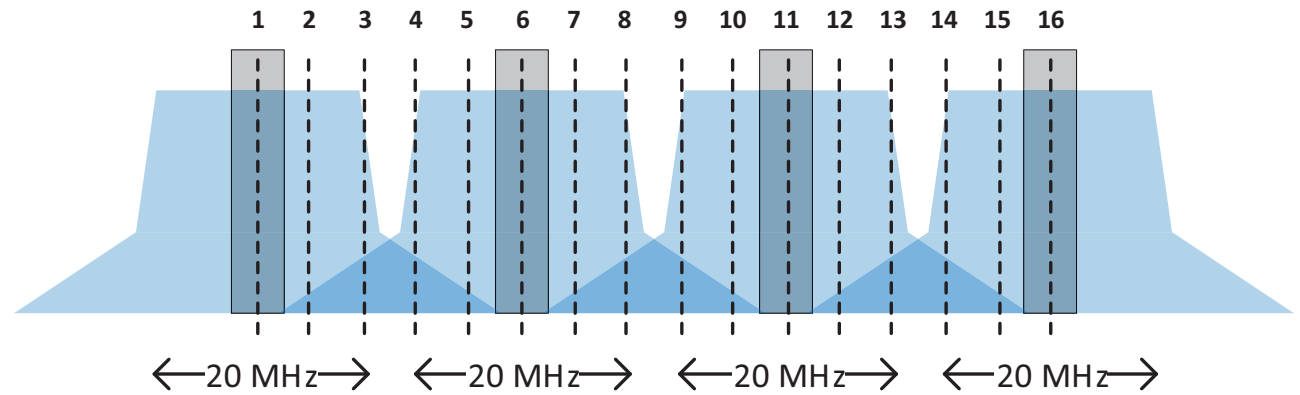
- Rešenje

- Susedni AP moraju da koriste različite i međusobno udaljene kanale, odvojene za najmanje 5 kanala, npr. 1, 6, 11



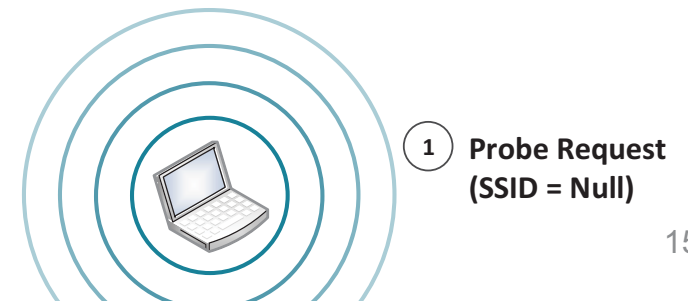
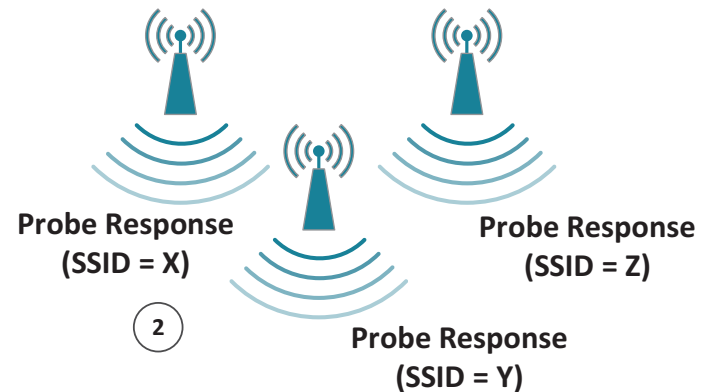
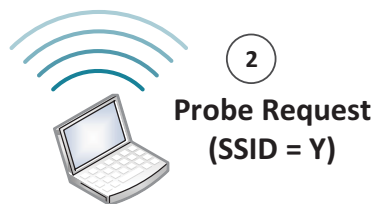
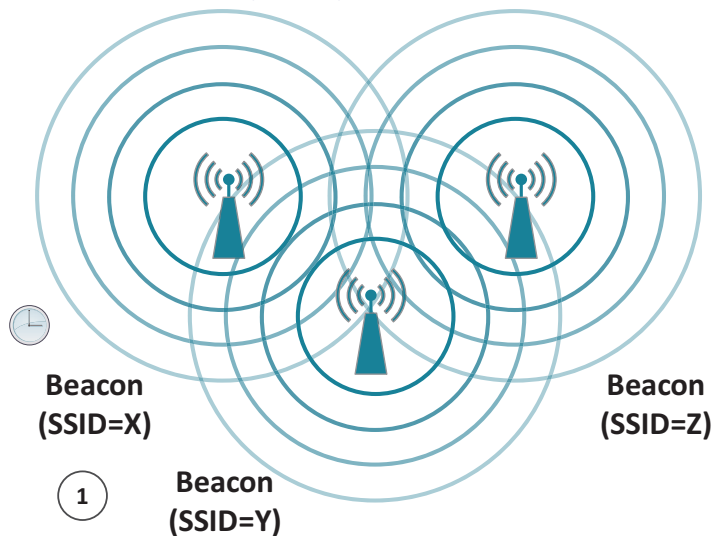
- Mobilnost korisnika bez gubitka veze

- Ako signal sa jednog AP oslabi, automatski se prelazi na drugi AP sa jačim signalom



# WLAN kanali

- Skeniranje kanala – traži se kanal na kom je signal najjači
  - Pasivno skeniranje
    - Uređaj čeka da AP oglasi *beacon* okvir, koji sadrži kanal na kome radi AP
  - Aktivno skeniranje
    - Uređaj šalje poseban upit za raspoložive kanale – *Request Probe* paket



# Format okvira



- *Frame Control* – različiti flegovi
- FCS (*Frame Check Sequence*) – kontrola greške (CRC)
- Zbog prenosa okvira preko AP, postoji više vrsta adresa:
  - *Source Address (SA)* – izvorišni uređaj
  - *Transmitter Address (TA)* - izvorišni uređaj ili AP
  - *Receiver Address (RA)* – odredišni uređaj ili AP
  - *Destination Address (DA)* – odredišni uređaj
- Korišćenje adresnih polja zavisi od konkretnog slučaja
  - Određeno sa dva flega u kontrolnom polju: „To DS“, „From DS“ (DS - *Distribution System*)

To DS	From DS	Adr1	Adr2	Adr3	Adr4
0	0	RA=DA	TA=SA	BSSID	-
0	1	RA=DA	TA=BSSID	SA	-
1	0	RA=BSSID	TA=SA	DA	-
1	1	RA	TA	DA	SA

# Vreme zauzeća medijuma



- *Duration* - Procena vremena zauzeća medijuma  
**Network Allocation Vector (NAV)**
  - Zavisi od veličine okvira i brzine prenosa okvira
  - Ostali uređaji znaju kada će se medijum osloboditi
- Osluškivanje medijuma (*Carrier Sense*)
  - Fizičko – sluša se da li je medijum slobodan ili zauzet
  - Virtuelno
    - Tokom trajanja NAV vremena
    - Ostali uređaji znaju koliko vremena će medijum da bude zauzet i ne moraju stalno da ga proveravaju
    - Smanjenja aktivnost uređaja i potrošnja baterije

# CSMA/CA

Dva pristupa za izbegavanje kolizije na MAC nivou:

- Centralizovana koordinacija  
(*PCF – Point Coordination Function*)
  - Jedan centralni uređaj (AP) „proziva“ ostale uređaje i daje im dozvolu za slanje
  - Samo Infrastrukturne mreže
- Distribuirana koordinacija  
(*DCF – Distributed Coordination Function*)
  - Svi uređaji su jednaki (uključujući i AP) i „nadmeću“ se za zauzimanje medijuma
  - Infrastrukturne i *ad-hoc* mreže





# Koji je dominantan pristup za izbegavanje kolizije u savremenim WLAN mrežama sa AP uređajima?

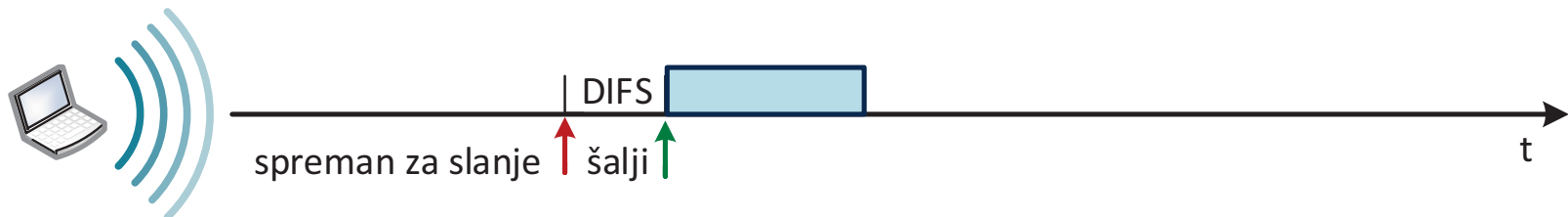
Centralizovana  
koordinacija

Distribuirana  
koordinacija

Nešto treće

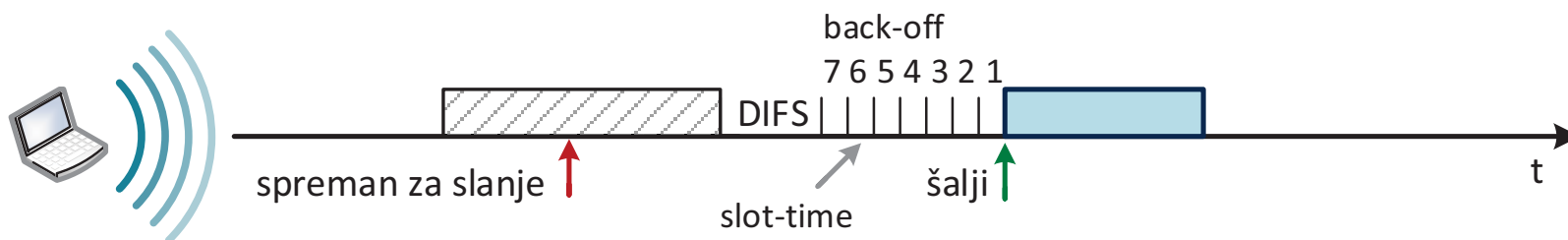
# DCF – Distribuirana koordinacija

- Dominantno se koristi u WLAN mrežama
- Kada uređaj želi da šalje okvir, prvo “osluškuje” medijum:
- Ako je medijum slobodan
  - Čeka se fiksni vremenski interval  
***DIFS (Distributed Inter Frame Space)***  
 $DIFS = 50\mu s$
  - Nakon toga se okvir šalje



# DCF – Distribuirana koordinacija

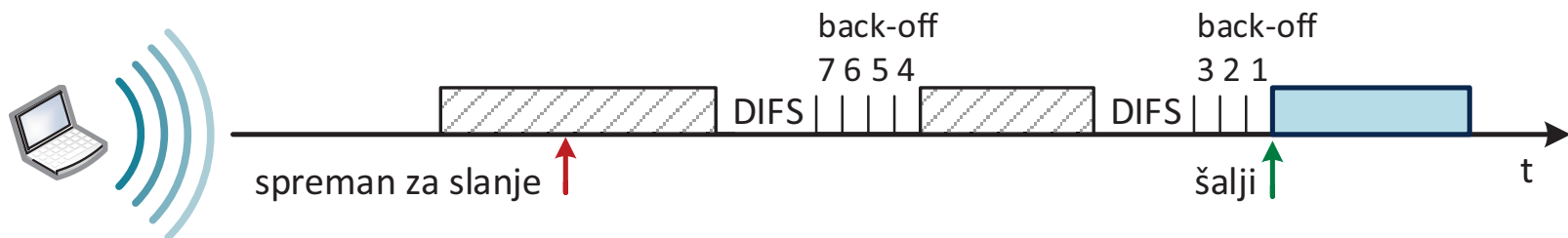
- Ako je medijum zauzet
  - Čeka se da se medijum oslobodi
  - Čeka se fiksni vremenski interval - **DIFS**
  - Dodatno se čeka i slučajan vremenski interval – **back-off**
- **Back-off**
  - Vreme čekanja, izraženo u broju *slot-time* vremena (ST)  
 $ST=20\mu s$
  - Bira se slučajan broj  $R$  (od 0 do  $CW$  - *Contention Window*)
  - *Back-off* vreme čekanja:  $T = R \times ST$
  - Sa brojem neuspešnih pokušaja eksponencijalno se povećava  $CW$  (npr. do 255)



# DCF – Distribuirana koordinacija

Ako medijum postane zauzet tokom čekanja *back-off* vremena

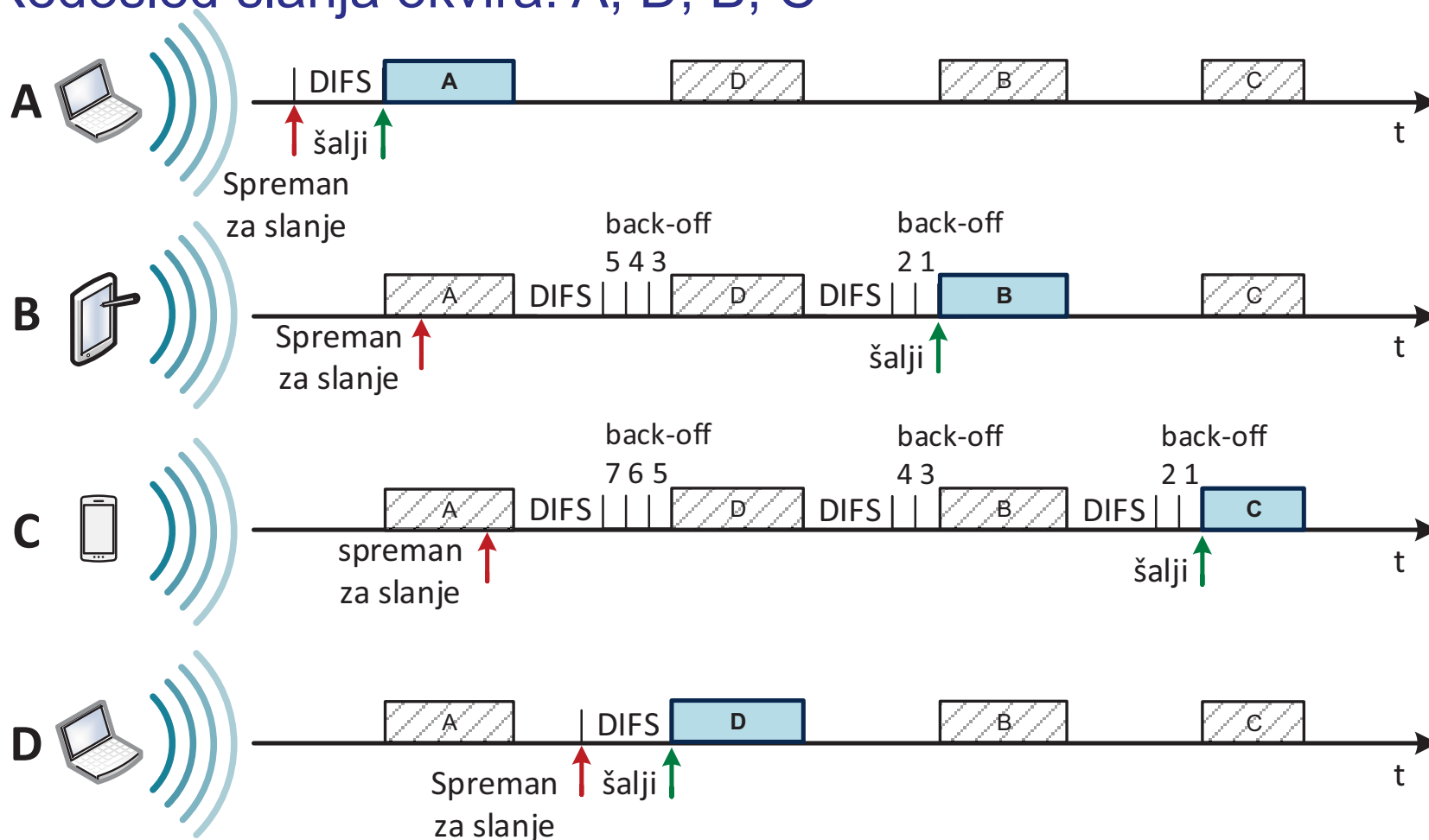
- *Back-off* vreme se privremeno zaustavlja (pauzira)
- Kada se medijum ponovo oslobodi
  - Čeka se fiksni vremenski interval - **DIFS**
  - Preostalo *back-off* vreme nastavlja da teče



# DCF – Distribuirana koordinacija

## Primer:

- Redosled pristizanja okvirna za slanje: A, B, C, D
- Redosled slanja okvira: A, D, B, C



# DCF – Distribuirana koordinacija

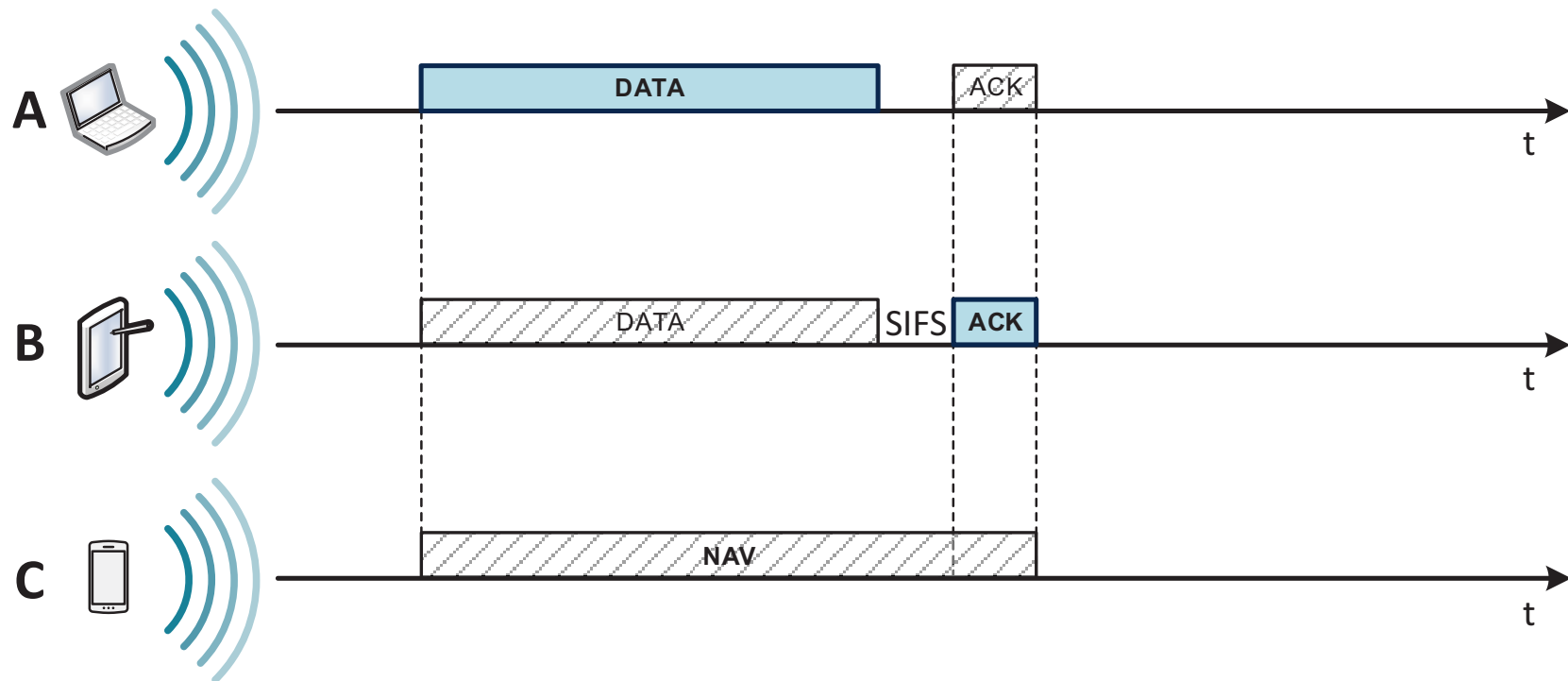
- Izbegavanje kolizije se sprovodi, ali se ne garantuje
  - Svaki okvir koji se uspešno primi bez kolizije, mora da se potvrdi ***Positive Acknowledgement (ACK)***
  - Ako nastane kolizija, uređaj koji je poslao okvir neće dobiti potvrdu, pa se okvir ponovo šalje
  - Potvrda se takođe posredno prenosi preko AP uređaja

## Dva režima prenosa okvira (od A do B)

- Prenos u dva koraka (*Two-Way Handshake, Positive Acknowledgement*)
  1. (A -> B) okvir sa podacima
  2. (B -> A) potvrda (*Acknowledgement*)
- Prenos u četiri koraka (*Four-Way Handshake, RTS/CTS*)
  1. (A -> B) zahtev za prenos (RTS – *Request To Send*)
  2. (B -> A) odobravanje prenosa (CTS – *Clear To Send*)
  3. (A -> B) okvir sa podacima
  4. (B -> A) potvrda (*Acknowledgement*)

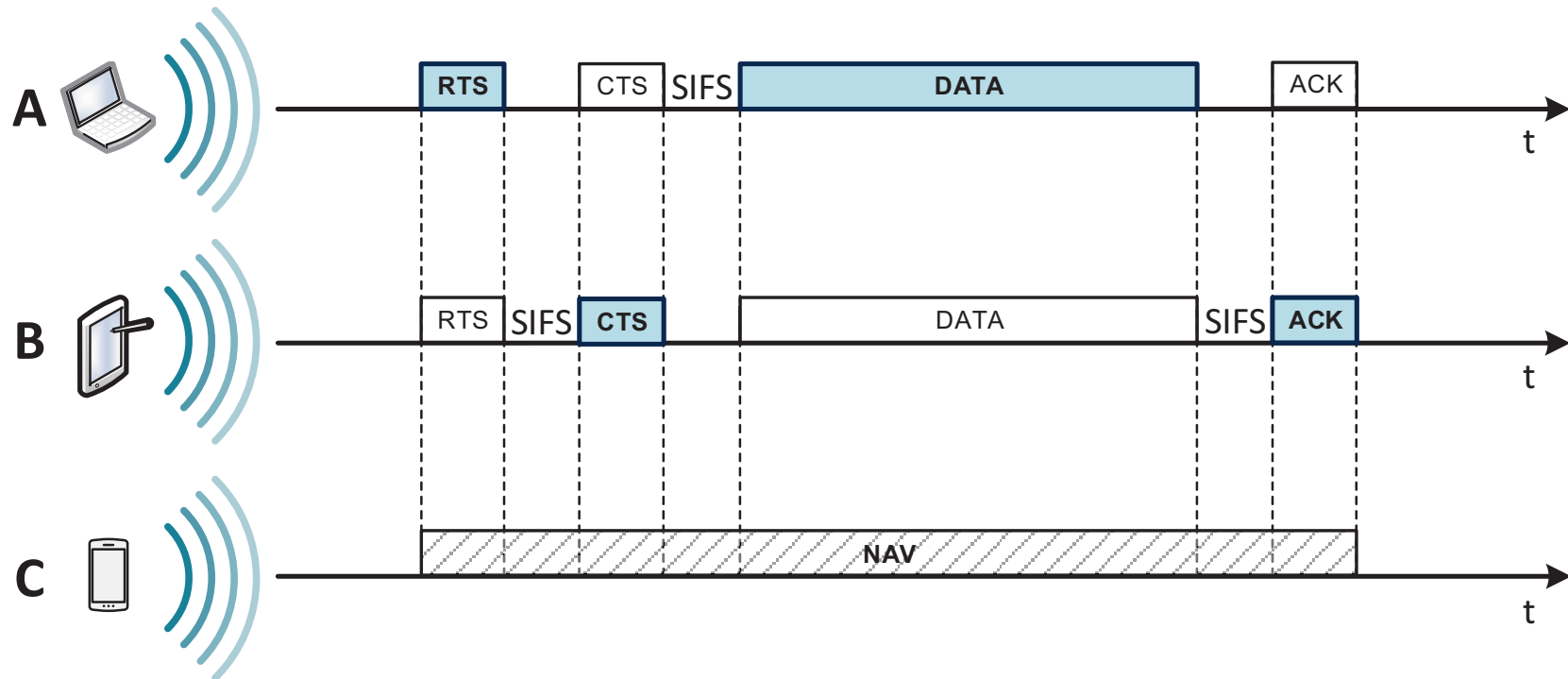
# DCF – Prenos u dva koraka

- Prenos u dva koraka (*Two-Way Handshake*)
  1. (A -> B) okvir sa podacima
  2. (B -> A) potvrda (*Acknowledgement*)
- *SIFS* – *Short Inter Frame Space*
  - Kratko vreme čekanja da pristigne ACK okvir -  $SIFS = 10\mu s$



# DCF – Prenos u četiri koraka

- Prenos u četiri koraka (*Four-Way Handshake, RTS/CTS*)
  1. (A -> B) zahtev za prenos (RTS – *Request To Send*)
  2. (B -> A) odobravanje prenosa (CTS – *Clear To Send*)
  3. (A -> B) okvir sa podacima
  4. (B -> A) potvrda (*Acknowledgement*)
- Obično se koristi kod slanja velikih okvira
- NAV - Rezerviše se vreme za slanje okvira, na osnovu *Duration* polja





# Koji vremenski interval se multiplicira sa slučajnim brojem pri čekanja u back-off stanju?

Distributed Inter  
Frame Space **A**

Back-off Inter  
Frame Space **B**

Slot-time **C**

Short Inter  
Frame Space **D**

# Sigurnost

- Sigurnosni problemi
  - Deljeni medijum – svi članovi mreže mogu da čitaju pakete
  - Kontrola pristupa – povezivanje i bez fizičkog prisustva objektu
- Rešenja
  - WEP – *Wired Equivalent Privacy*
  - WPA – *Wi-Fi Protected Access*
  - *IEEE 802.1i (WPA2 - WiFi Protected Access 2)*

# Sigurnost

- **WEP – *Wired Equivalent Privacy***

- Uvodi se šifrovanje paketa statičkim simetričnim ključem
- Problemi:
  - Statičko definisanje ključa – svaki korisnik mora ručno da podešava ključ (komplikovano, nepromenljivo)
- Ključ je nedovoljne dužine
  - Ukupna dužina 64 bita, ali se za šifrovanje koristi samo 40 bita
  - Slaba zaštita, relativno se lako „provali“ automatizovanim variranjem svih vrednosti (*brute force attack*)
- Ad-hoc rešenja proizvođača
  - Sakrivanje SSID naziva – AP ne oglašava SSID
  - Filtriranje po MAC adresama – ručno se dozvoljava pristup samo za određene MAC adrese

# Sigurnost

- **WPA – *Wi-Fi Protected Access***
- Wi-Fi – udruženje proizvođača wireless opreme
  - Sinonim za WLAN standarde
  - Industrijski *de facto* standard
- Prednosti:
  - Dinamička razmena ključeva – mogućnost česte promene ključa
  - Autentifikacija korisnika
  - Pristupni ključ
  - Username/password (802.1x)
- Posledice:
  - Velika podrška proizvođača
  - Sertifikacija od strane Wi-Fi alijanse
  - Nastavljen proces formalne standardizacije



# Sigurnost

- **IEEE 802.1i**  
**(WPA2 - *WiFi Protected Access 2*)**
  - Formalni standard (2005)
  - WPA2 – neformalni, ali uobičajeni naziv
- Unapređena sigurnost
  - Algoritam šifrovanja – AES (*Advanced Encryption Standard*)
    - Sigurniji algoritam šifrovanja
    - Ključ veće dužine
- Nekompatibilan sa WEP i WAP
- Preporuka za korišćenje u današnjim WLAN mrežama

# Wireless standardi

- **IEEE 802.11a** (1999)
  - 5GHz, od 6 Mbps do 54 Mbps
  - Skup, manja pokrivenost
- **IEEE 802.11b** (2000)
  - 2.4 GHz, max protok 11Mbps (*Dynamic data rate scaling*: 1, 2, 5.5 i 11Mbps)
  - Jeftiniji, mala brzina
- **IEEE 802.11g** (2003)
  - 2.4 GHz, max protok 54 Mbps (6, 9, 12, 18, 36, 48 i 54 Mbps)
  - Kompatibilan sa 802.11b – „najmanji“ zajednički standard
    - Ako je jedan uređaj povezan preko 802.11b, AP će automatski da pređe na 802.11b – maksimalna brzina limitirana na 11 Mbps !
- **IEEE 802.11n** (2007)
  - 2.4 i 5 GHz, do 450Mbps (u realnosti max oko 240Mbps)
  - Kompatibilan sa 802.11b i 802.11g
- **IEEE 802.11ac** (2013)
  - Teorijska max protok 1300Mbps, u realnosti oko 700Mbps

# Preporuke korišćenja

- Podešavanje AP uređaja
  - Veb pristup na adresi koja je *default-gateway* za povezani uređaj

**technicolor CGA2121 DOCSIS 3.0 Wireless Gateway**⚡ Setup Wizard🏠 Basic⌵ Advanced🚪 Log Out

📶 Wireless

- Radio Settings
- Primary Network
- Guest Network
- Access Control
- Advanced Settings
- Wifi Insight
- Band Steering Exclusion List

🏠 Home Network

🕒 Parental Controls

⚙️ Administration

📞 Voice

🕒 Status

## Radio Settings

### 2.4 GHz Radio

Enable Radio

ON

OFF

Network Mode

Auto (b/g/n) ▼

Channel Width

20 MHz ▼

Current: 20MHz

Control Channel

13 ▼

Current: 13

Interference: Acceptable

### 5 GHz Radio

Enable Radio

ON

OFF

Network Mode

Auto (a/n/ac) ▼

Channel Width

20 or 40 MHz ▼

Current: 40MHz

#### 2.4 GHz Radio Summary

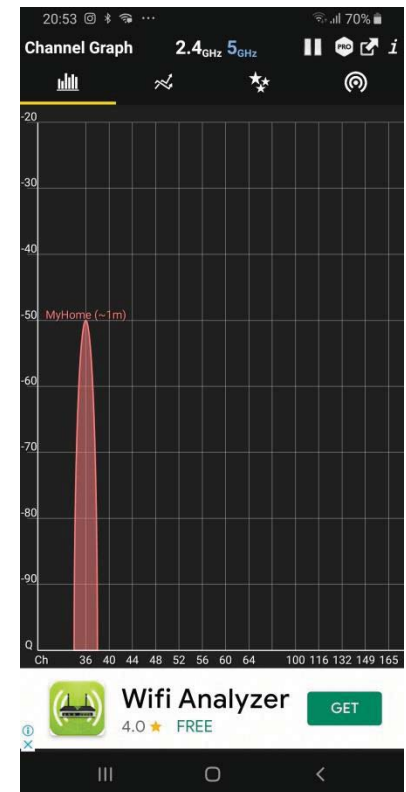
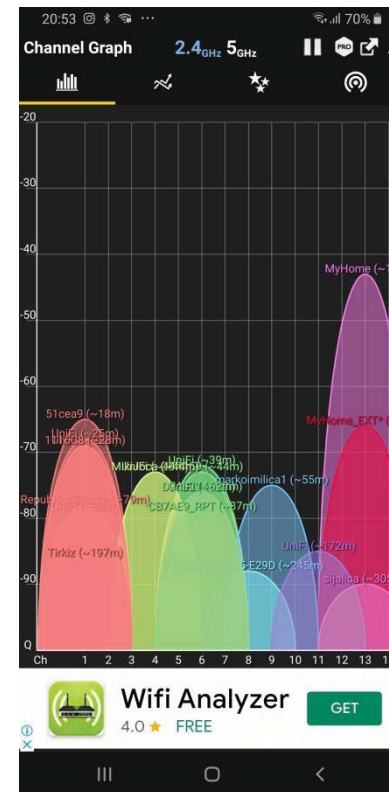
PHY Rate Support: Up to 144 Mbps.  
Allow connections from all device types.

#### 5 GHz Radio Summary

PHY Rate Support: Up to 600 Mbps.  
Allow connections from all device types.

# Preporuke korišćenja

- WiFi bez ključa su nebezbedne
  - Svako može da pristupi
  - Nema šifrovanja podataka
- Podešavanje WiFi uređaja
  - Izabrati kanal koji je najmanje zauzet
    - *WiFi Analyzer*
      - Besplatna mobilna aplikacije
      - Prikaz zauzetosti kanala na 2.4 i 5GHz
  - Birati nepersonalizovani SSID
  - Postaviti WPA2 i „jak“ ključ (lozinka)





# Literatura

- Wendell Odom  
„CCNA - Cisco official exam certification guide“  
Cisco Press
- James Kurose, Keith Ross  
„Computer Network - A Top-Down Approach“
- James Kurose, Keith Ross  
„Umrežavanje računara: Od vrha ka dnu“  
prevod 7. izdanja  
CET

