

# WLAN tehnologije i standardi

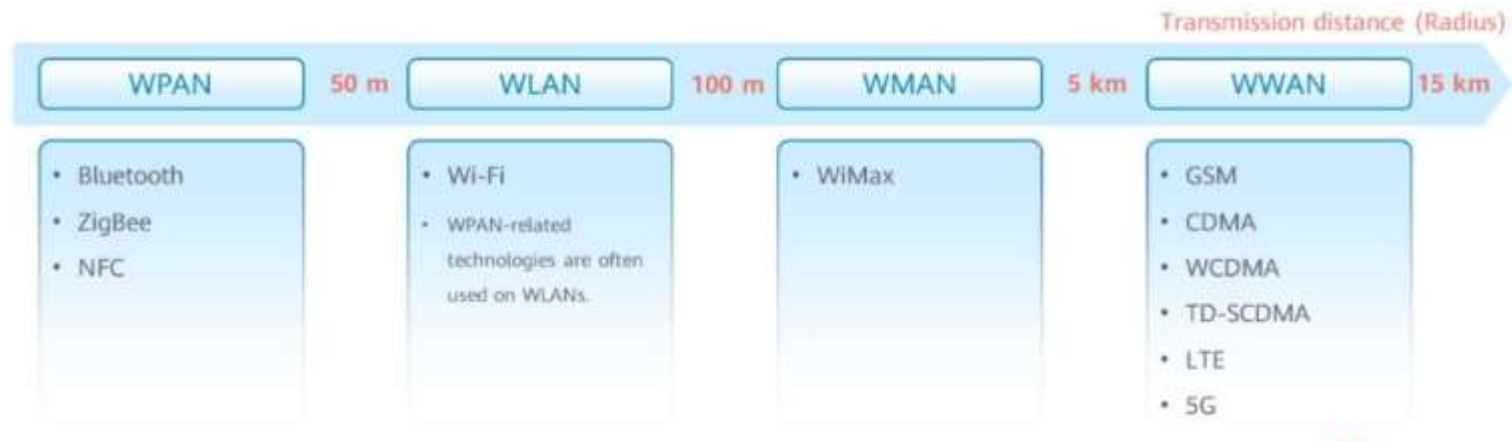
---

# Sadržaj

- \* Definicija
- \* Osnovni koncepti
- \* Standardi
- \* Modeli umrežavanja
- \* Povezivanje klijenta

# **WLAN: DEFINICIJA**

# Podela mreža po veličini oblasti pokrivanja

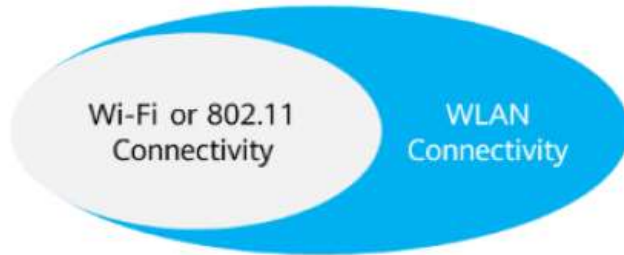


- Wireless Local Area Network (WLAN) je lokalna mreža koja koristi bežične tehnologije.
- Bežične tehnologije, pored Wi-Fi tehnologija mogu uključivati Bluetooth, ZigBee i sl.
- WPAN (Wireless Personal Area Network) - blisko okruženje oko korisnika (personal area), uglavnom point-to-point tipa, pogodno za umrežavanja malih razmera
  - Glavne tehnologije: Bluetooth, ZigBee, Near Field Communication – NFC, 2.4GHz frekventni opseg
- WLAN (Wireless Local Area Network) – koristi 2.4GHz i 5GHz frekventni opseg
  - Fleksibilan dizajn, mogućnost povezivanja više korisnika
  - Glavne tehnologije: 802.11n/ac/ax (trenutno) i 802.11a/b/g (ranije)
- WMAN (Wireless Metropolitan Area Network) – Uglavnom se koriste za kreiranje okosnice (backbone) mreže na većem području (grada)
  - Neophodno je dobiti dozvolu za javno korišćenje frekventnog opsega na području
  - Glavna tehnologija: 802.16
- WWAN (Wireless Wide Area Network) – Uglavnom se koriste kao okosnice mreže za povezivanje udaljenih tačaka
  - Glavne tehnologije: 2G/3G/4G/5G, satelitska komunikacija, itd.

# Šta su WLAN mreže?

## WLAN vs. Wi-Fi

### WLAN



**WLAN** (bežična mreža) je kombinacija računarske mreže i tehnologija za bežičnu komunikaciju. WLAN je ekstenzija žičane mreže. Bežična mreža omogućava da su korisnici povezani na mrežu dok dozvoljava promenu položaja korisnika.

### Wi-Fi



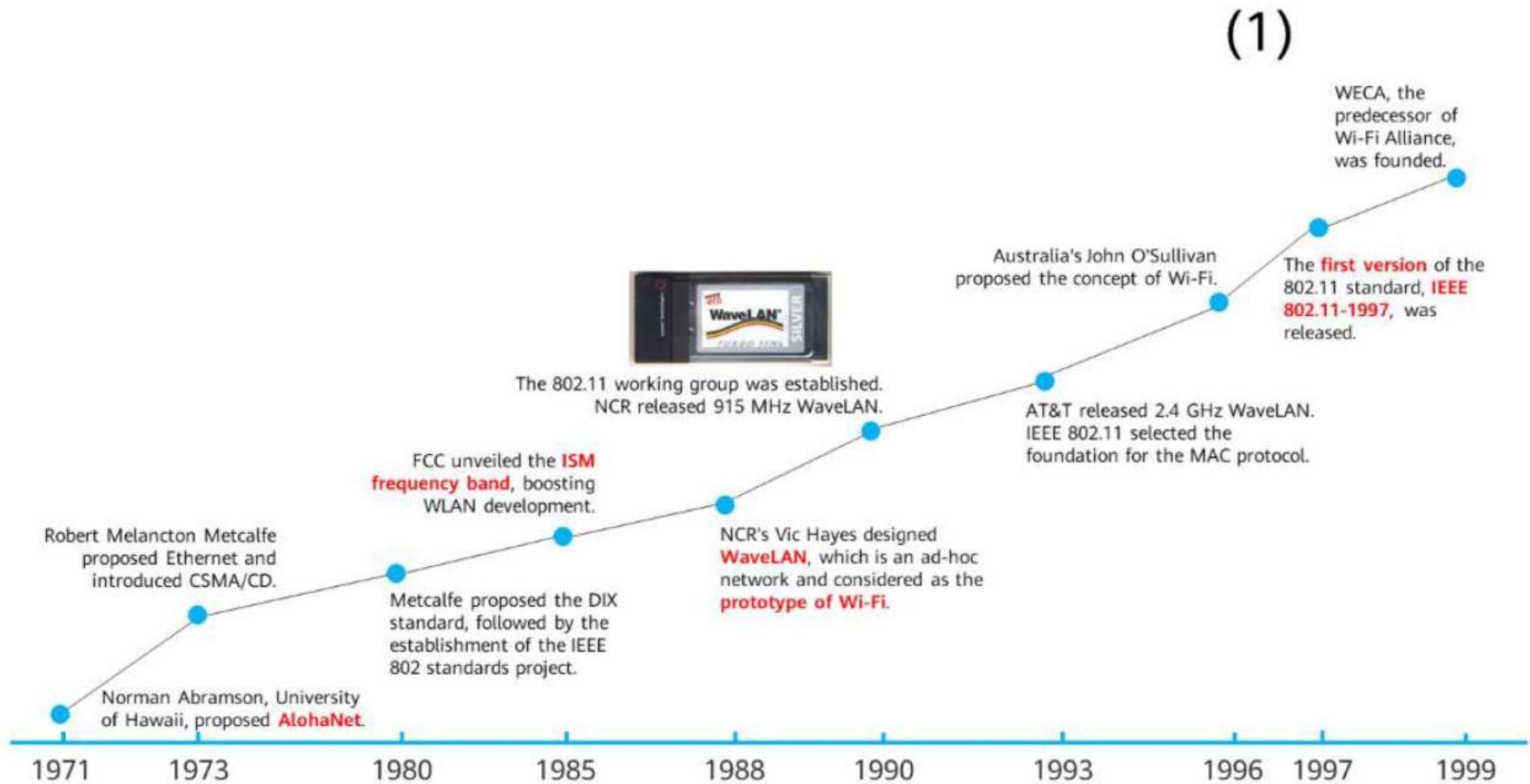
**Wi-Fi** je brend Wi-Fi alijanse.

Razlika između Wi-Fi i WLAN je u tome da je IEEE 802.11 WLAN standard, dok je Wi-Fi implementacija IEEE 802.11 standarda.

- Termin Wi-Fi je skraćenica od **Wireless Fidelity**, što aludira na termin Hi-Fi (High-Fidelity) kojim se označava „visoka vernost reprodukcije“ audio signala još od 1930. godine. Termin Hi-Fi je u upotrebi za klasifikaciju (kvalitetne) audio opreme u opotrebi još od 1950. godine.
- Veliki broj ljudi greškom 802.11 bežične mreže i Wi-Fi meša kao sinonime.
- 1999. godine je nekoliko vodećih kompanija oformilo **Wireless Ethernet Compatibility Alliance (WECA)**, globalnu neprofitabilnu organizaciju čiji je glavni cilj bio „best user experience“, bez obzira na brend uređaja koji se koristi. Do tada je bilo puno problema sa ne-interoperabilnošću bežičnih uređaja različitih proizvođača.
- 2000. je WECA usvojila termin Wi-Fi kao zaštićeno ime za njihov tehnički rad na interoperabilnosti i zvanično promenila ime u **Wi-Fi Alijansa**
- **Wi-Fi** uređaji se rigorozno testiraju od strane nezavisnih laboratorija da bi dobili Wi-Fi sertifikat za interoperabilnost.

# Šta su WLAN mreže?

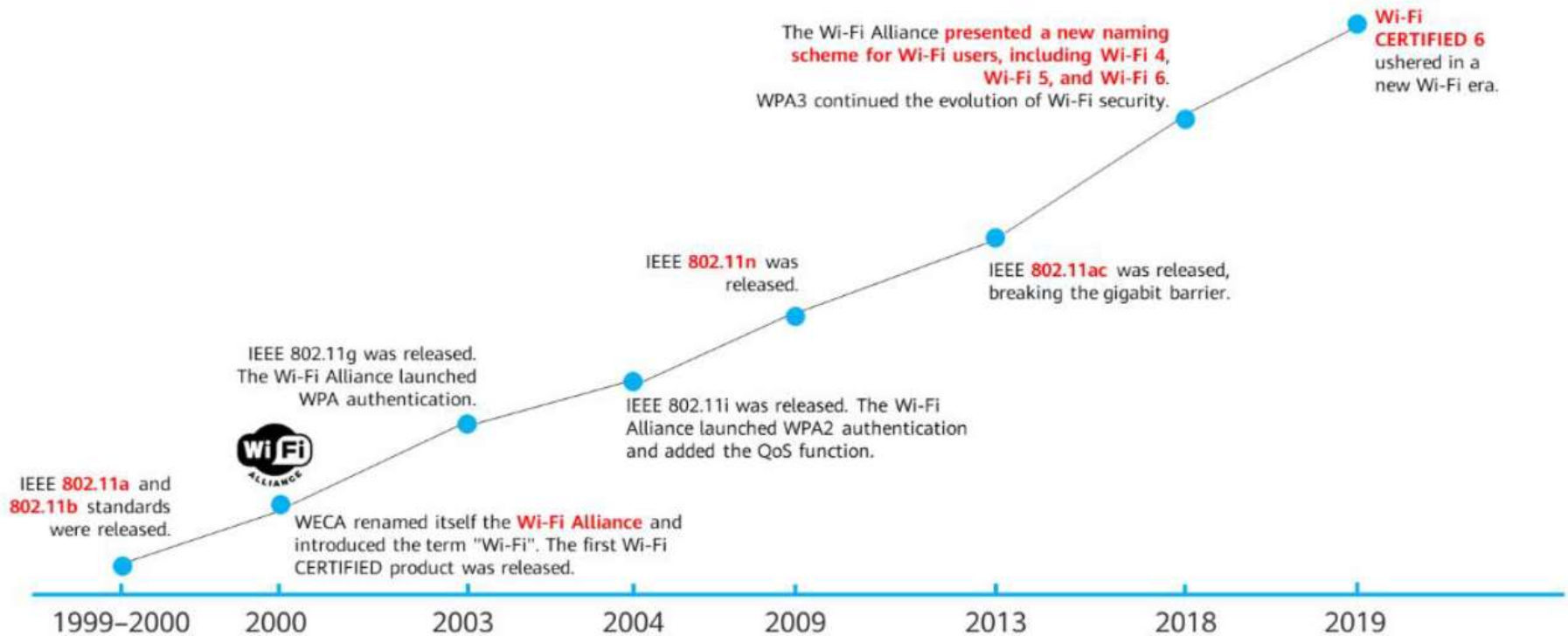
## Razvoj bežičnih mreža



# Šta su WLAN mreže?

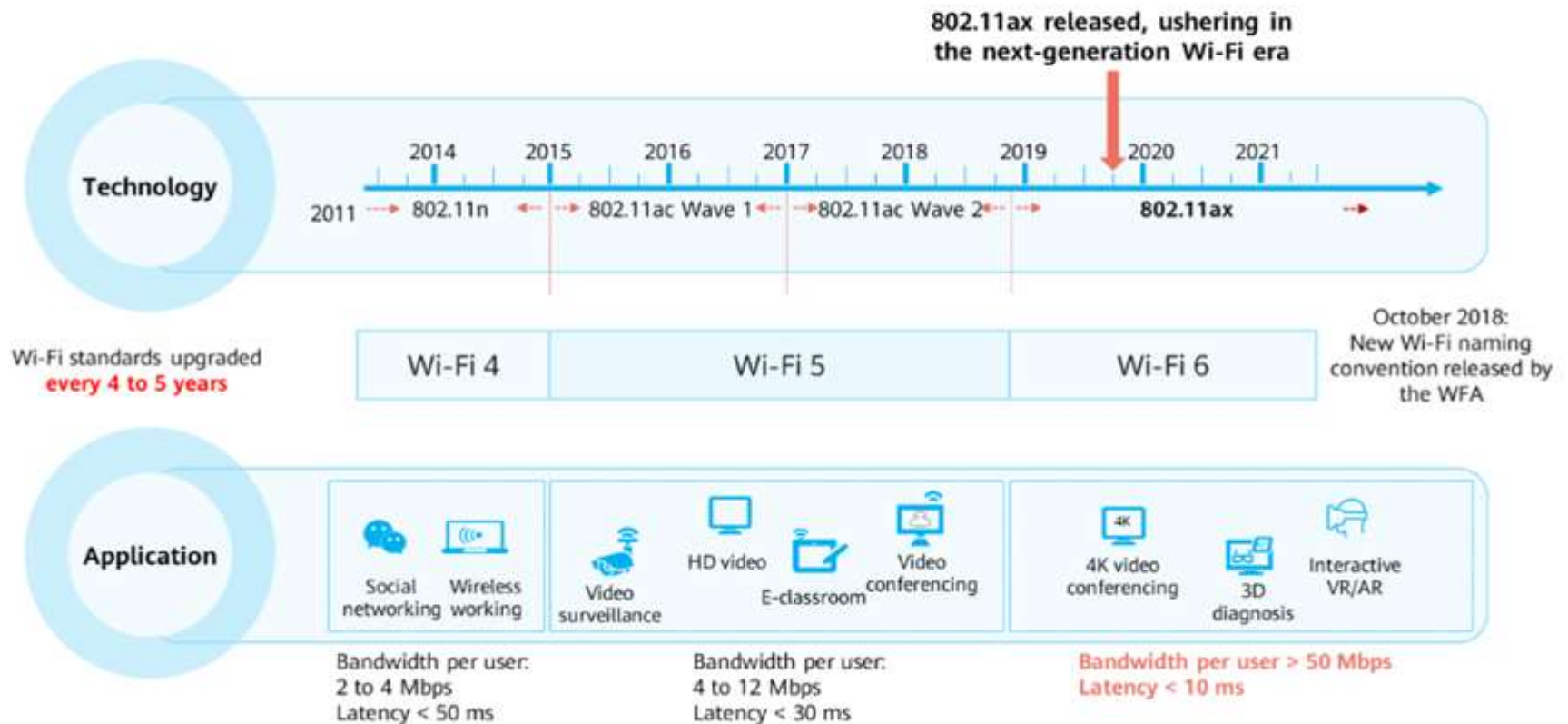
## Razvoj bežičnih mreža (nast.)

(2)



# Šta su WLAN mreže?

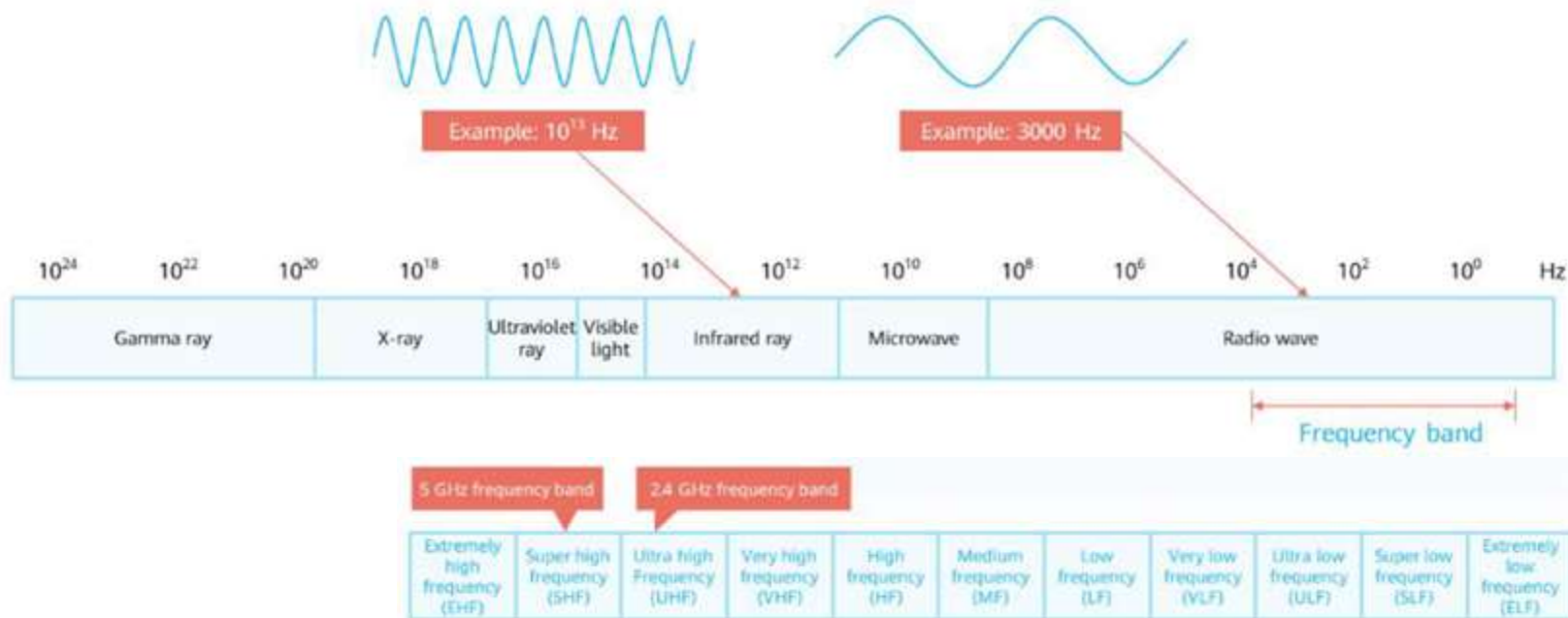
## Bežične tehnologije i primene





# **WLAN: OSNOVNI KONCEPTI**

## Frekvenca i frekventni opseg



- Radio-frekventni opseg je od 3kHz do 300GHz (talasna dužina od 10km do 0.1mm)
- ELF** (3 Hz do 30 Hz) - sonari, **SLF** (30 Hz do 300 Hz) - govor, **ULF** (300 Hz do 3 kHz) – bliske komunikacije, **VLF** (3 kHz do 30 kHz) - ultrazvuk, **LF** (30 kHz do 300 kHz) – međunarodni brotkast, **MF** (300 kHz do 3 MHz) – AM radio, **HF** (3 MHz do 30 MHz) – lične radio stanice, **VHF** (30 MHz do 300 MHz) – FM radio i TV, **UHF** (300 MHz do 3 GHz) – TV broadcast, bežične mreže, mikrotalasne peći, **SHF** (3 GHz do 30 GHz) – bežične mreže, radari, sateliti, **EHF** (30 GHz do 300 GHz) – radio astronomija, medicinski skeneri,..., preko 300GHz – infracrvena svetlost, vidljiva svetlost, ...
- WLAN** koriste:
  - 2.4 GHz opseg (2.4000 – 2.4835 GHz) i
  - 5 GHz opseg (5.15 -5.35 GHz i 5.725 do 5.850 GHz)

# Osnovni koncepti

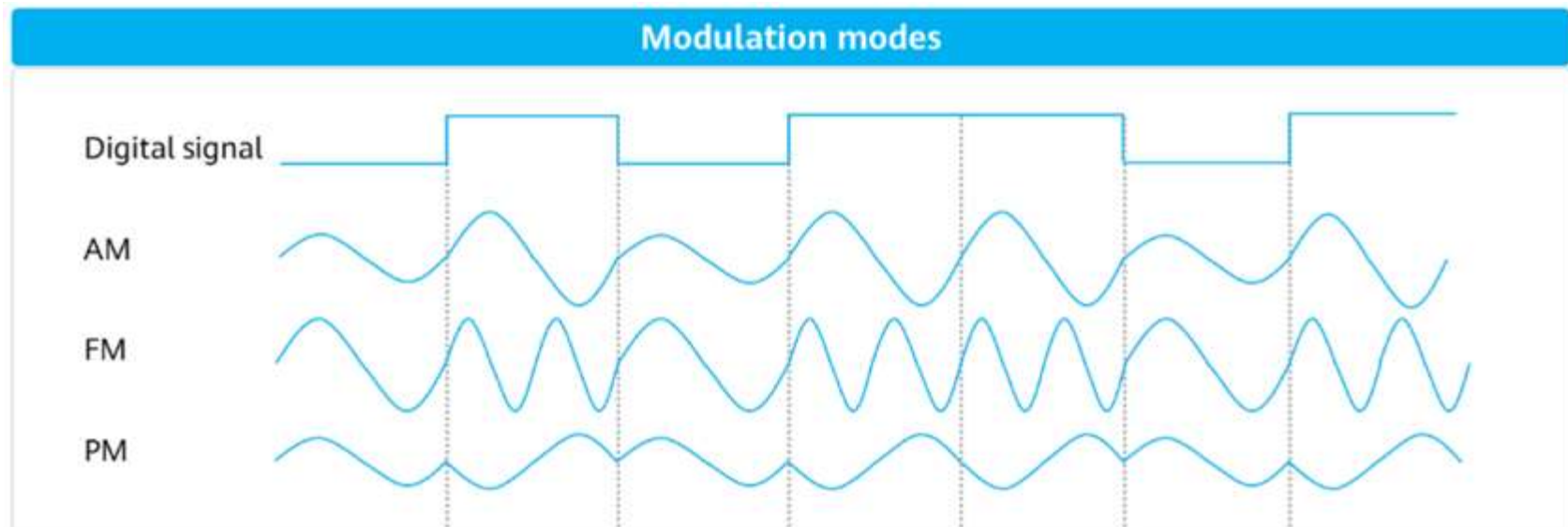
## Bežični komunikacioni sistem



- Bežični komunikacioni sistem čine transmitter i receiver (prijemnik i predajnik). Svaki učesnik u komunikaciji mora da ima i predajnik i prijemnik da bi imao dvosmernu komunikaciju – primopredajnik (*eng.* transceiver).
- Predajnik vrši kodiranje (coding) i modulaciju signala (modulation), a prijemnik inverzne funkcije: demodulaciju i dekodiranje.
- Kodiranje čine od dve podfaze:
  - Source coding
    - predstavlja proces konverzije „raw“ signala u digitalni signal (digitalizaciju signala) korišćenjem neke kodne šeme. Npr. AC3 ili MP3 audio kodiranje, ili H.264 video kodiranje.
  - Channel coding
    - Dodaje redundantne informacije originalnom signalu tako da je signal otporniji na smetnje. Npr. WLAN koriste Binary Convolutional Code (BCC) i Low Density Parity Check (LDPC)

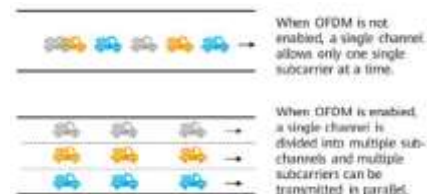
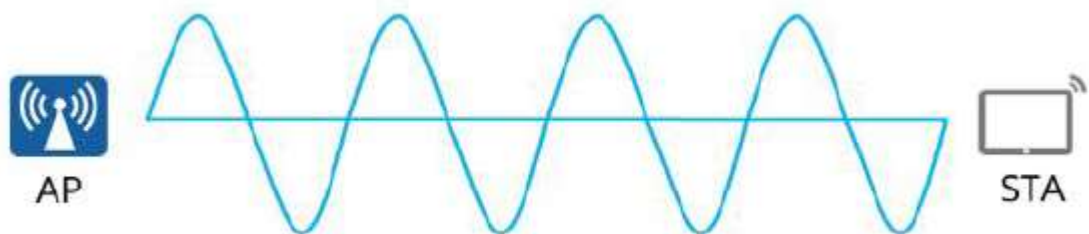
# Modulacija i demodulacija

- Dužina antene za emitovanje signala je direktno proporcionalna talasnoj dužini ([link](#)). Npr. za signal od 1MHz (bez modulacije, direktno), potrebna je antena dužine oko 142 metra!
- Modulacija je tehnika kojom se korisni signal osnovne frekvencije (baseband signal) integriše u signal više frekvencije koji je pogodan za prenos preko radio talasa.



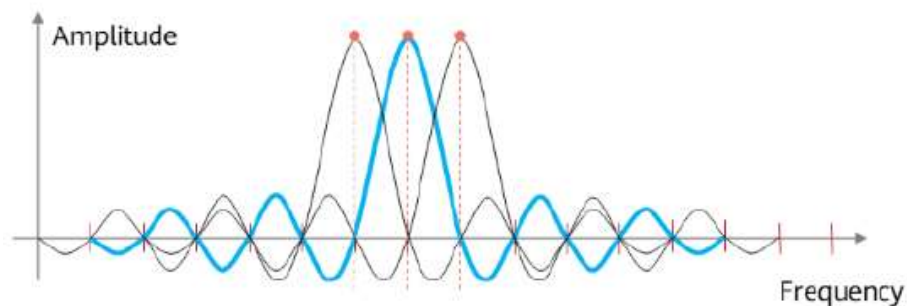
- AM – amplitudna modulacija – amplituda visokofrekventnog signala se menja sa promenom amplitude baseband (korisnog) signala
- FM – frekventna modulacija – frekvencija visokofrekventnog signala se menja sa promenom amplitude baseband signala
- PM – fazna modulacija - faza visokofrekventnog signala se menja sa promenom amplitude baseband signala. Npr. za digitalni signal 1 odgovara faznom pomeraju od 180 stepeni, dok 0 odgovara faznom pomeraju od 0 stepeni (slika)

## Noseći signal (*carrier*) i OFDM multipleksiranje kanala



- Carrier je noseći signal sa modulisanom korisnom informacijom. Tipično je sinusoidalnog oblika.
- Podaci koji se šalju preko nosećeg signala su male frekvencije.
- Kanal je radio talas specifične frekvencije. Svaki korisnik koristi „kanal“ za prenos informacija.
- Subcarrier je podkanal u multi-kanal komunikaciji.
- Npr. kod OFDM (Orthogonal frequency-division multiplexing) tehnike vrši se modulacija nekoliko kanala istovremeno na jedan opseg. To se postiže tako što su podkanali međusobno ortogonalni i njihovi spektri se ne preklapaju.

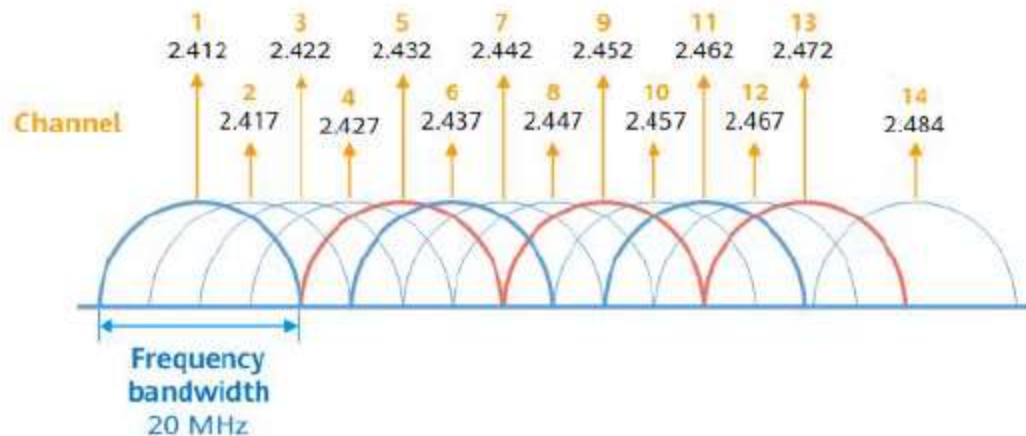
- OFDM enables orthogonal subcarriers. When one subcarrier reaches its wave peak and another is at the zero-crossing point, they do not interfere with each other.



- Subcarriers in an OFDM system overlap but do not interfere with each other because they are orthogonal to each other.
- In the figure on the left, a signal is transmitted via three subcarriers. The individual wave peak of each subcarrier is used for data coding, as indicated by the red points. When the subcarrier marked in blue reaches its wave peak and lines up with zero amplitudes of the other two subcarriers, they are orthogonal to each other.

# Osnovni koncepti

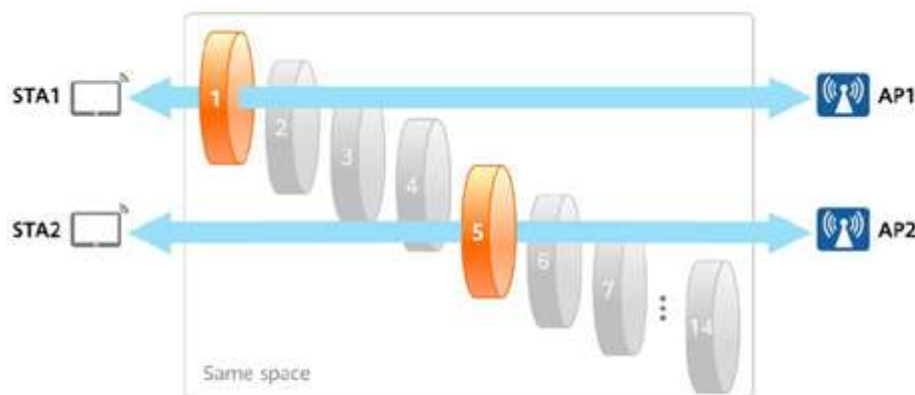
## Kanali



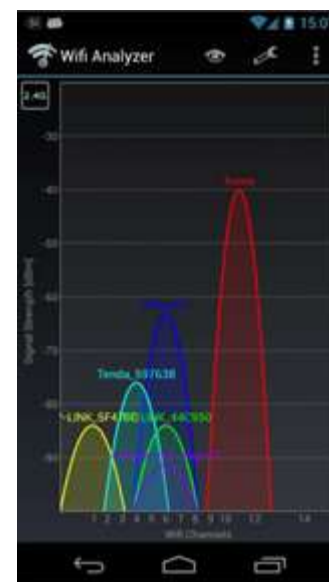
- Kanal se koristi za prenos informacija. Radio-kanal se odnosi na kanal koji koriste radio talasi za prenos informacija.
- Nekontrolisano korišćenje radio-spektra bi dovelo do haotičnog stanja, velikih smetnji i interferencija i praktično neupotrebljivosti same tehnologije.
- Zbog toga je neophodno precizno definisati frekventne opsege pojedinih kanala.
- Postoje preklapajući i nepreklapajući kanali.
  - Preklapajući su na primer kanali 1 i 2 na slici: širina svakog kanala je 20 MHz, a kanali su međusobno pomereni za 5 MHz.
  - Nepreklapajućim kanalima se frekventni opsezi ne preklapaju.
- Tradicionalno, kanali **1, 6 i 11** su nepreklapajući, jer je standard 802.11b koristio kanale širine 22 MHz. Kako se 802.11b retko koristi, a ostali standardi imaju širinu kanala 20 MHz, nepreklapajući su **kanali 1, 5, 9 i 13**.

# Osnovni koncepti

## Preklapanje kanala



- Ukoliko određena tehnologija ima mogućnost prenosa 54 Mbps po kanalu (npr. IEEE 802.11g standard), i dva AP-a na istom prostoru koriste isti kanal:
  - kada su oba max. opterećena moći će da prenose po  $54/2=27$  Mbps po access pointu.
- Ako se koriste nepreklapajući kanali može se postići maksimalna brzina po kanalu.
- Procenat preklapanja kanala određuje proporcionalno koji deo kanala se može koristiti i proporcionalno uslovljava maksimalnu brzinu na kanalu.

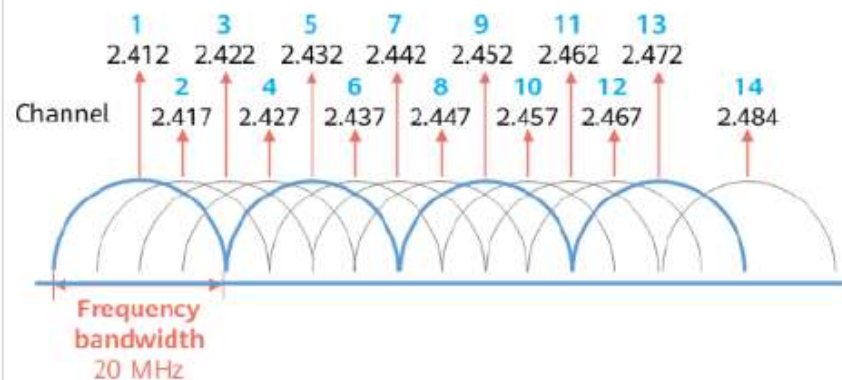




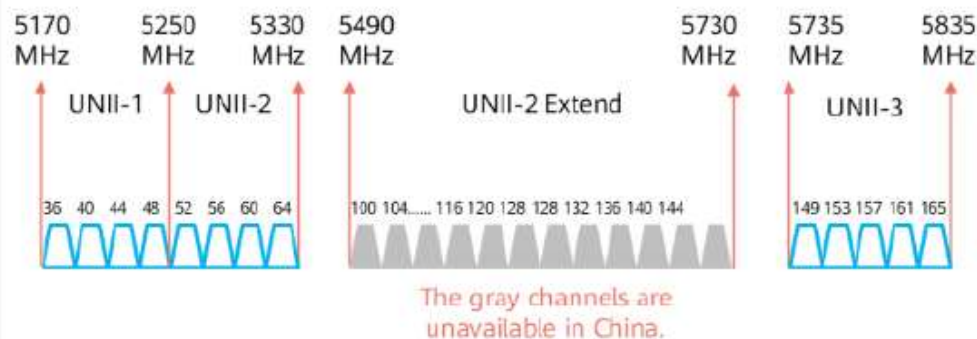
# Osnovni koncepti

## 2.4 GHz i 5 GHz kanali

Channels on the 2.4 GHz frequency band



Channels (non-overlapping) on the 5 GHz frequency band



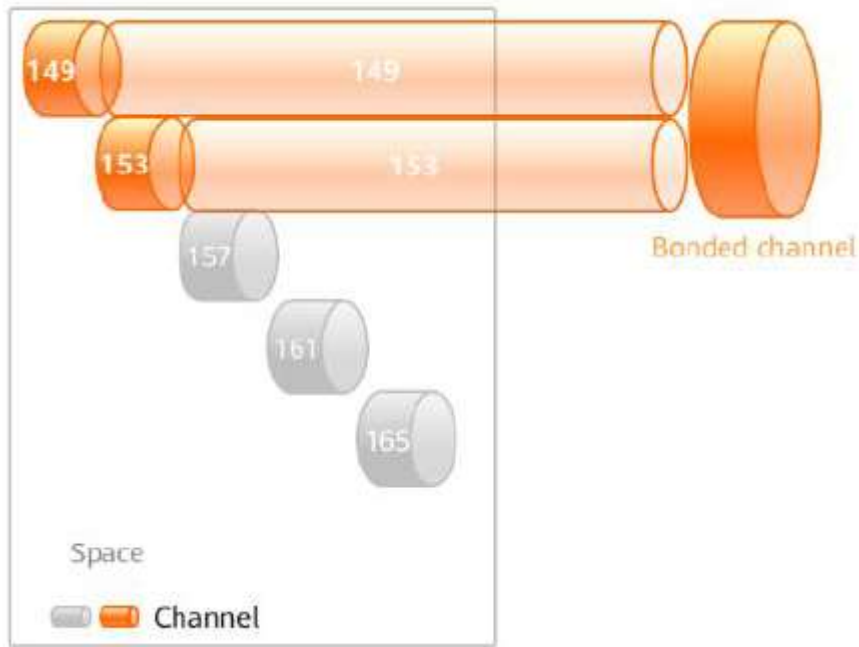
- 2.4 GHz opseg je podeljen na 14 preklapajućih kanala, svaki širine 20 MHz (sem 802.11b standarda koji ima 22 MHz).
- Centralna frekvencija od 1 do 13 kanala se računa na sl. način:  
$$2412 + (n-1) \times 5 \text{ MHz}$$
- Kanal 14 se kao dodatni kanal koristi samo u nekoliko zemalja (npr. u Japanu)
- Kanali od 1 do 13 se koriste u većini sveta
- Kanali od 1 do 11 se koriste u Severnoj Americi (kanali 12 i 13 nisu dozvoljeni)

- 5 GHz opseg je bolji od 2.4 GHz po pitanju frekvencije, brzine prenosa podataka i otpornosti na spoljašnje interferencije
- UNII – Unlicensed National Information Infrastructure.
- Kanali su takođe 20 MHz
- U Kini se koristi 13 nepreklapajućih kanala, a u ostatku sveta  $13+12=25$  nepreklapajućih kanala



# Osnovni koncepti

## Grupisanje kanala

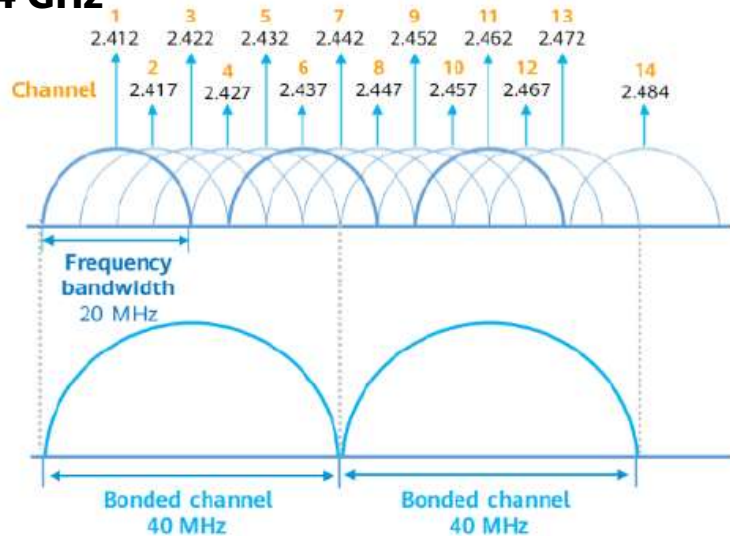


- Grupisanjem kanala (**Channel Bonding**), moguće je dva ili više nepreklapajuća kanala iskoristiti kao jedan kanal i multipleksirati prenos.
- Na ovaj način se proporcionalno ubrzava prenos.
- Grupisanjem dva 20 MHz kanala u jedan 40 MHz brzina prenosa se duplira!
- Kod 802.11ac i novijih standarda moguće je grupisati do 8 kanala u kanale od po 160 MHz i postići brzine koje prevazilaze 1Gbps (idu i do 10 Gbps za „obične“ Wi-Fi korisnike)

# Osnovni koncepti

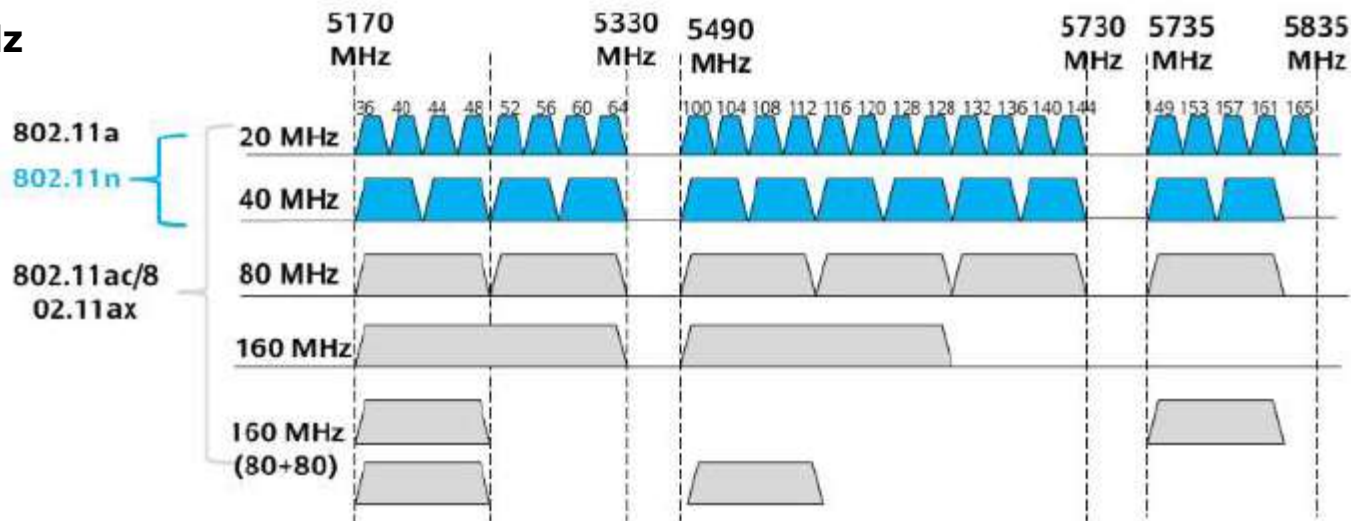
## Grupisanje kanala

### 2.4 GHz



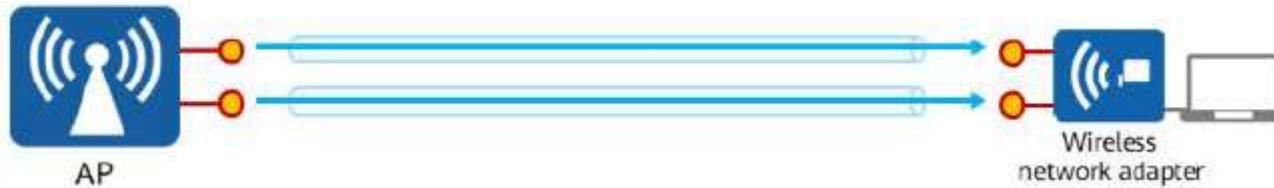
- Na 2.4 GHz moguće je grupisanje najviše 2 kanala i to:
  - Kanali 1 i 5
  - Kanali 9 i 13
- Na 5 GHz moguće je grupisanje 2, 4, ili 8 kanala
  - Kombinacije su na slici

### 5 GHz



# Osnovni koncepti

## Spatial Stream



- Ukoliko radio-sistem (može da) šalje više signala istovremeno, svaki signal se naziva **Spatial Stream** (prostorni prenos).
- Broj antena je jednak broju prostornih prenosa
- Npr. ako AP ima 4 spatial strima i STA ima 4 strima, moguće je uspostaviti istovremena 4 strima između njih. S druge strane, ako AP ima 4, a STA 1, AP može istovrem. komunicirati sa 4 STA.
- 802.11n je prvi standard koji je uveo spatial strimove i definiše do 4 strima max.
- Npr. jedan strim može preneti do 150 Mbps. Sva četiri paralelno daju maksimalnu brzinu prenosa od  $4 \times 150 = 600$  Mbps
- Ovo se označava kao 4x4 MIMO sistem (multiple input multiple output)
- To znači da 802.11n Access Point sa jednom antenom ne može da prenese podatke većom brzinom od 150 Mbps, iako sam standard definiše do 600 Mbps (ali za 4x4 veze)

# Single-Radio, Dual-Radio i Three Radio APs

Single-radio AP



Radi ili na 2.4 ili na 5GHz, ne može na oba istovremeno.

Tipično: 20-25 STA po AP-u.

Dual-radio AP



Radi ili i na 2.4 i na 5GHz istovremeno. Npr. jedan klijent može pristupiti preko 2.4 GHz, a drugi istovremeno preko 5 GHz.

Tipično: 40-50 STA po AP-u.

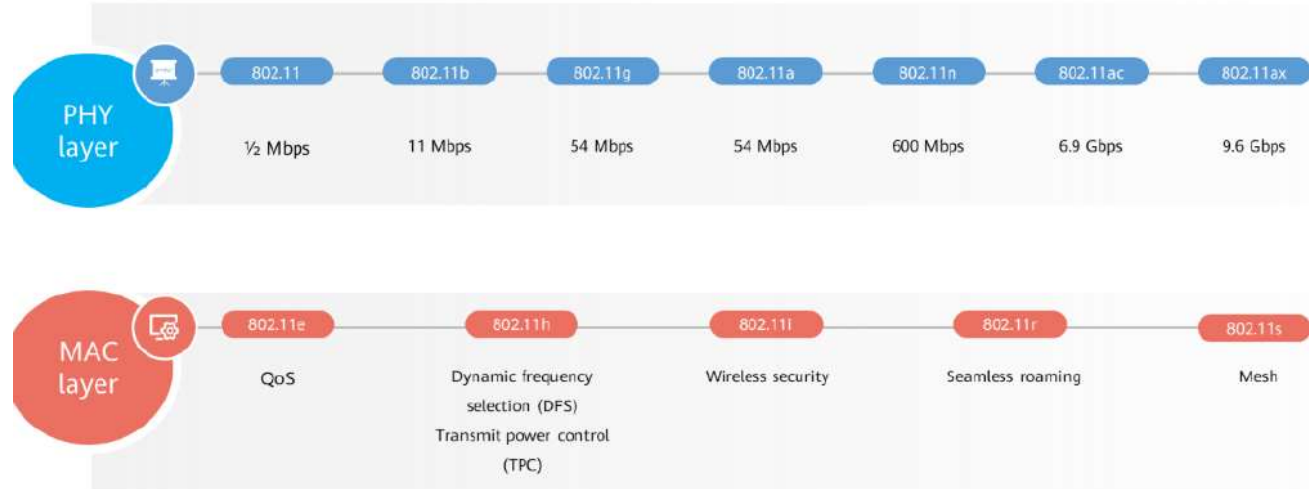
Three-radio AP



Dva su na 5 GHz i jedan na 2.4 GHz. AP-ovi sa ovakvom konfiguracijom su pogodni za prostorije sa puno korisnika, jer mogu da opsluže veći broj korisnika istovremeno.

Tipično: ~70 STA po AP-u.

# Osnovni koncepti 802.11 standardi i Wi-Fi generacije



## IEEE 802.11 Standards and Wi-Fi Generations

Standard		Released In	Frequency Band	PHY Technologies	Modulation Scheme	Number of Spatial Streams	Channel Bandwidth (MHz)	Theoretical Rate
-	802.11	1997	2.4 GHz	IR, FHSS, DSSS	-	-	20	2 Mbps
-	802.11b	1999	2.4 GHz	DSSS/CCK	-	-	22	11 Mbps
-	802.11a	1999	5 GHz	OFDM	-	-	20	54 Mbps
-	802.11g	2003	2.4 GHz	OFDM	64-QAM	-	20	54 Mbps
Wi-Fi 4	802.11n	2009	2.4 GHz, 5 GHz	OFDM DSSS/CCK	64-QAM	4	20, 40	2.4 GHz: 450 Mbps 5 GHz: 600 Mbps
Wi-Fi 5	802.11ac Wave 1	2013	5 GHz	OFDM SU-MIMO	64-QAM	4+4	20, 40	3.74 Gbps
	802.11ac Wave 2	2015	5 GHz	OFDM DL MU-MIMO	256-QAM	8	20, 40, 80, 160, 80+80	6.9 Gbps
Wi-Fi 6	802.11ax	2019	2.4 GHz, 5 GHz	OFDMA DL MU-MIMO UL MU-MIMO	1024-QAM	4+8	20, 40, 80, 160, 80+80	2.4 GHz: 1.15 Gbps 5 GHz: 9.6 Gbps

## 802.11a/b/g

- 802.11a (5 GHz)
  - OFDM
  - Data rates: 6, 9, 12, 18, 24, 36, 48, 54, in Mbps
  - Working on the license-free 5 GHz frequency band; 23 non-overlapping channels available
- 802.11b (2.4 GHz)
  - Direct sequence spread spectrum (DSSS)
  - Data rates: 1, 2, 5.5, 11, in Mbps
  - Channel bandwidth: 22 MHz
- 802.11g (2.4 GHz)
  - OFDM
  - Data rates: 6, 9, 12, 18, 24, 36, 48, 54, in Mbps, and rates in 802.11b
  - Compatible with 802.11b STAs

## 802.11n

The IEEE 802.11 Working Group established a high throughput (HT) research group in 2002 on the next-generation standard, and officially released IEEE 802.11n that is based on **MIMO-OFDM** in 2009. 802.11n improves network throughput over the two previous standards — 802.11a and 802.11g — with a significant increase in the maximum data rate.

Frequency Band	802.11 Standards and Maximum Theoretical Rates	
2.4 GHz	802.11g: 54 Mbps	802.11n: <b>450 Mbps</b>
5 GHz	802.11a: 54 Mbps	802.11n: <b>600 Mbps</b>



Huawei 802.11n-compliant AP  
(with external antennas)

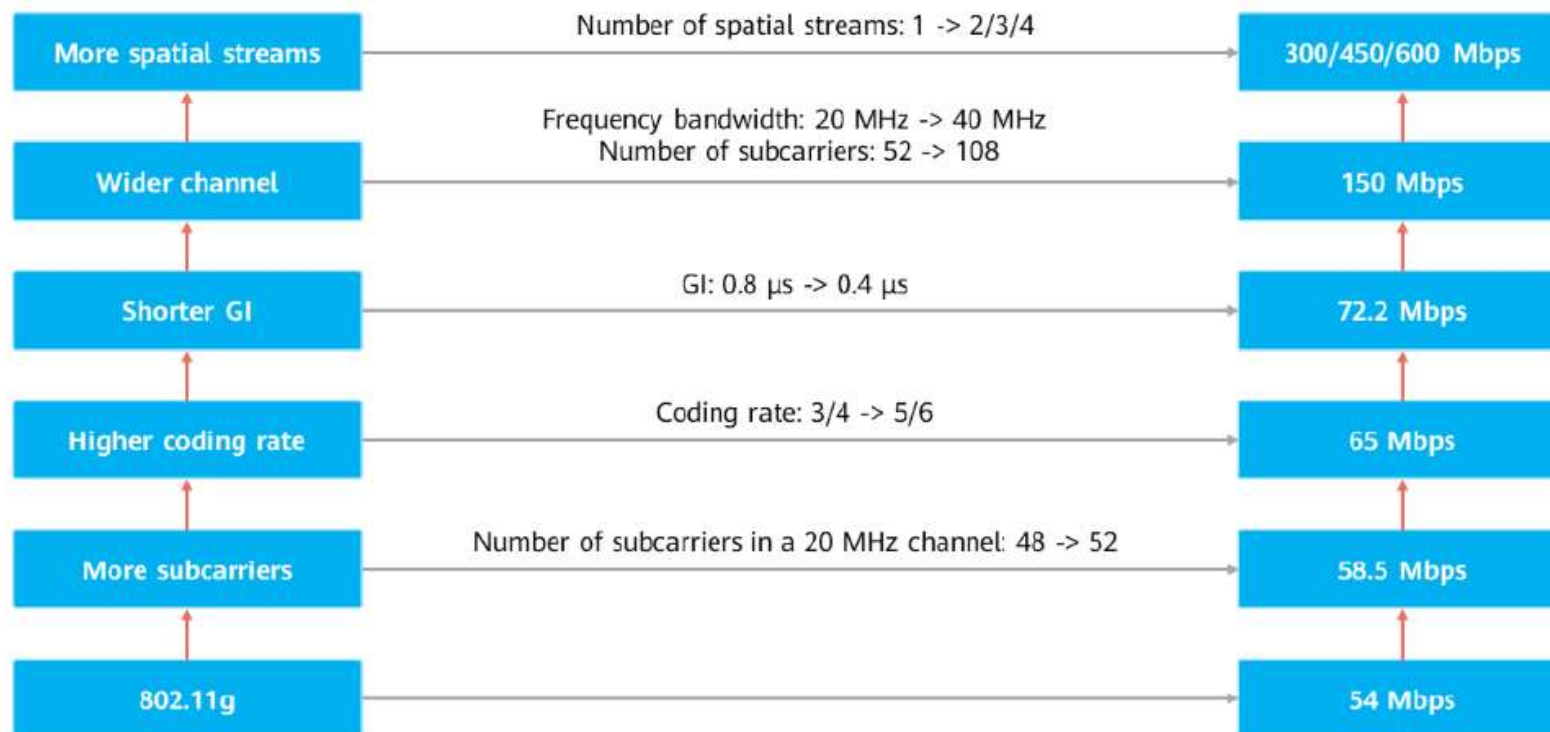
802.11n introduces many new technologies, which bring brand-new user experience, greatly promote the development of the WLAN industry, and make Wi-Fi popular. Up to now, a large number of 802.11n STAs are still used on the live network.

### Brand-new technologies





## 802.11n Key Technologies



- GI (Guard Interval) – pauza između prenosa dva simbola, da ne bi došlo do interferencije između signala i eventualne refleksije signala koja ide drugačijim putem



## 802.11ac



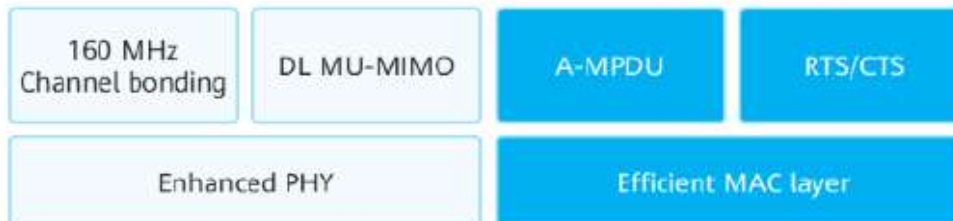
Huawei 802.11ac-compliant AP

The IEEE 802.11 Working Group officially released the 802.11ac standard in 2014, which is also known as the Very High Throughput (VHT) standard. This standard signifies that the data rate of WLANs reaches the gigabit level. Note that 802.11ac supports **only the 5 GHz frequency band**.

Frequency Band	802.11 Standards and Maximum Theoretical Rates	
2.4 GHz	802.11n: 450 Mbps	802.11ac: Not supported
5 GHz	802.11n: 600 Mbps	802.11ac Wave 2: <b>6.9 Gbps</b>

High throughput has always been the goal of Wi-Fi standards. To achieve higher bandwidth, 802.11ac has made new breakthroughs based on the original technologies. Compared with 802.11n, 802.11ac increases the maximum number of supported spatial streams from four to eight, and increases the channel bandwidth from 40 MHz to 160 MHz. In addition, 802.11ac introduces MU-MIMO technology to support downlink concurrent multi-user transmission.

**Brand-new technologies**



## 802.11ax



**Huawei 802.11ax-compliant AP**

IEEE 802.11ax, marketed as Wi-Fi 6 by the Wi-Fi Alliance, is also known as the High-Efficiency Wireless (HEW) standard. 802.11ax supports both the 2.4 GHz and 5 GHz frequency bands, and is backward compatible with 802.11a/b/g/n/ac.

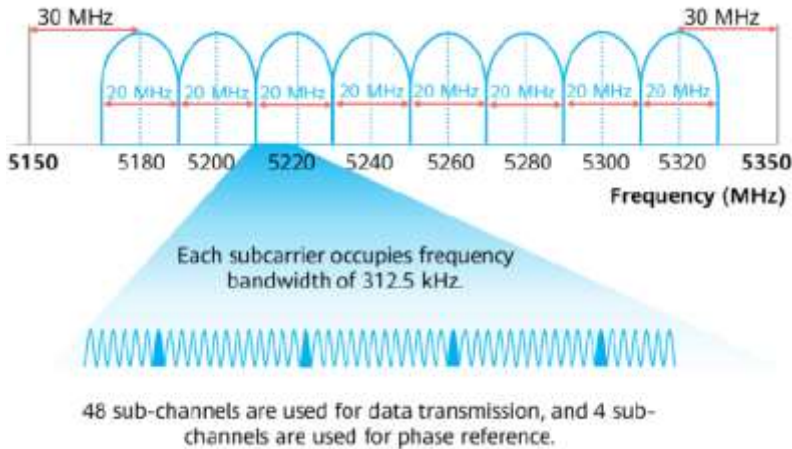
Frequency Band	802.11 Standards and Maximum Theoretical Rates	
2.4 GHz	802.11n: 450 Mbps	802.11ax: <b>1.15 Gbps</b>
5 GHz	802.11ac Wave 2: 6.9 Gbps	802.11ax: <b>9.6 Gbps</b>

To achieve higher bandwidth, 802.11ax adopts most technologies of 802.11ac and redefines Orthogonal frequency division multiple access (OFDMA) technology. It supports a narrower subcarrier spacing, and uses the 1024-QAM modulation and coding scheme (MCS). In addition, 802.11ax introduces UL MU-MIMO technology, which enables the theoretical rate of Wi-Fi 6 APs to exceed 10 Gbps and improves the throughput and quality of service (QoS) in high-density scenarios.

**Brand-new technologies**

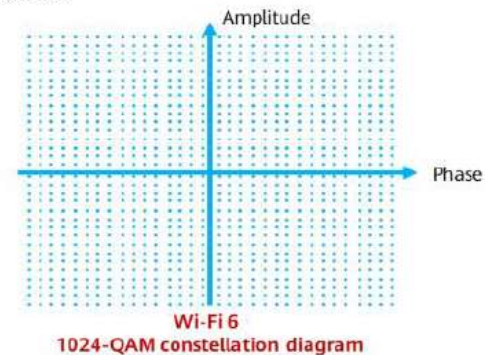
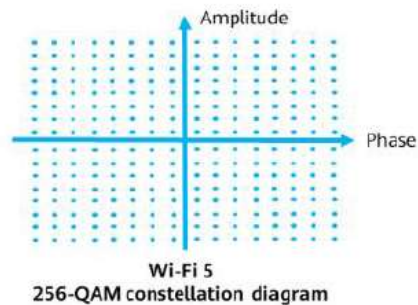


# OFDM primer kanala i sub-channel modulacija



## OFDM Sub-Channel Modulation Technology

- Available OFDM modulation schemes:
  - Binary phase shift keying (BPSK)
  - Quadrature phase shift keying (QPSK)
  - **Quadrature amplitude modulation (QAM)**
- QAM uses carrier amplitude and phase to transmit information.



1024-QAM increases the rate of each spatial stream by 25% compared with 256-QAM.

# Osnovni koncepti

## Teoretska brzina Wi-Fi 6

Device rate =  $\frac{\text{Number of spatial streams} \times \text{Number of code bits per subcarrier} \times \text{Coding rate} \times \text{Number of valid subcarriers}}{\text{Symbol} + GI}$

$$\text{Rate at 2.4 GHz} = \frac{4 \times 10 \text{ bits} \times 5/6 \times 468}{(12.8 + 0.8) \times 10^{-6} \text{ s}} = 1147 \times 10^6 \text{ bps} = 1147 \text{ Mbps}$$

$$\text{Rate at 5 GHz} = \frac{8 \times 10 \text{ bits} \times 5/6 \times 1960}{(12.8 + 0.8) \times 10^{-6} \text{ s}} = 9607 \times 10^6 \text{ bps} = 9607 \text{ Mbps}$$

### Link setup rate over the air interface

1. 802.11ax
2. 8x8 MIMO
3. GI
4. 1024-QAM
5. Coding rate of channels: 5/6
6. 160 MHz, 1960 valid subcarriers (5 GHz)
7. 40 MHz, 468 valid subcarriers (2.4 GHz)

### Symbol and GI

	802.11ac and Earlier	802.11ax
Fast Fourier transform (FFT)	64-point	256-point
Subcarrier spacing	312.5 kHz	78.125 kHz
Symbol duration	3.2 $\mu$ s	12.8 $\mu$ s
Short GI	0.4 $\mu$ s	/
GI	0.8 $\mu$ s	0.8 $\mu$ s
2 x GI	/	1.6 $\mu$ s
4 x GI	/	3.2 $\mu$ s

### MCS and coding rate

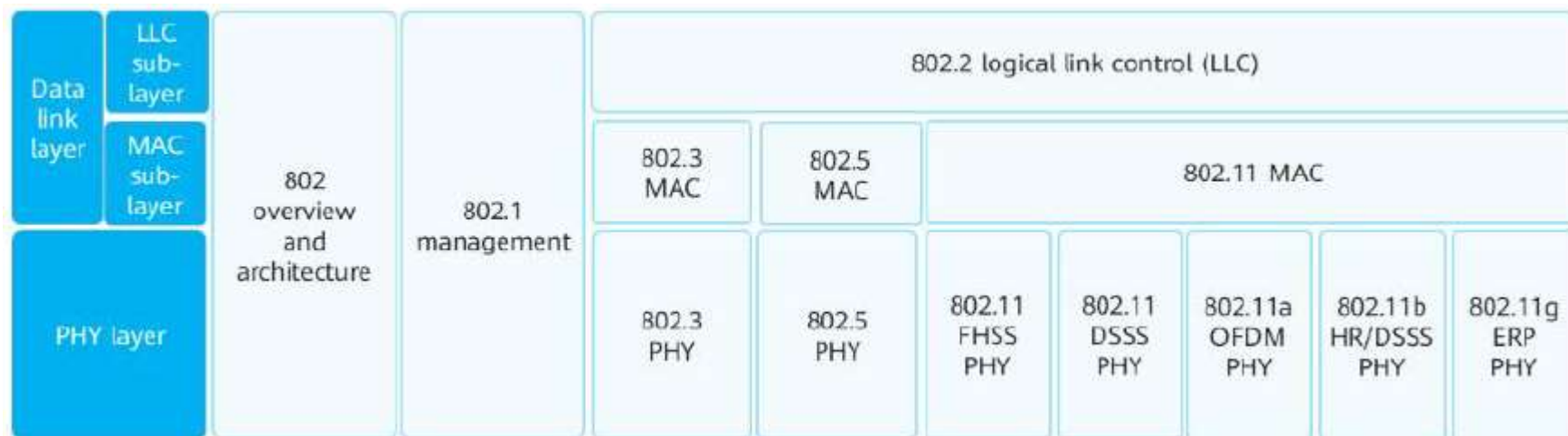
Rate	MCS	Number of Subcarriers	Coding Rate
VMCS8	256-QAM	8	3/4
VMCS9	256-QAM	8	5/6
VMCS10	1024-QAM	10	3/4
VMCS11	1024-QAM	10	5/6

### Number of valid subcarriers

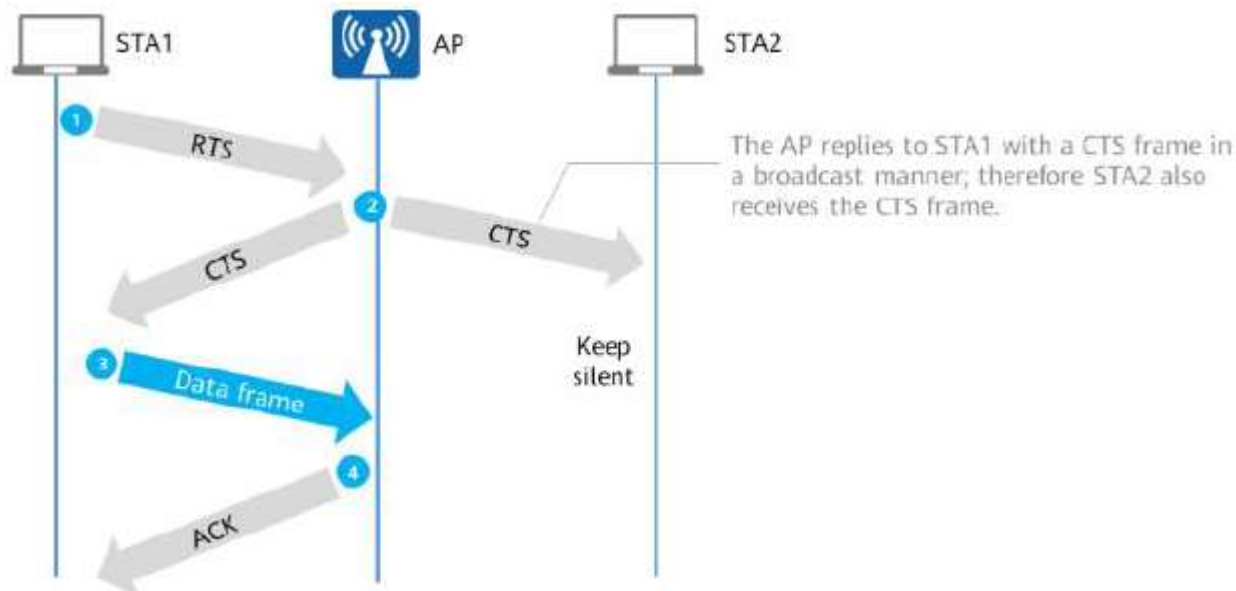
		802.11ac and Earlier	802.11ax
	FFT	64-point	256-point
	Subcarrier spacing	312.5 kHz	78.125 kHz
Number of valid subcarriers	20 MHz	52	234
	40 MHz	108	468
	80 MHz	234	980
	160 MHz	468	1960



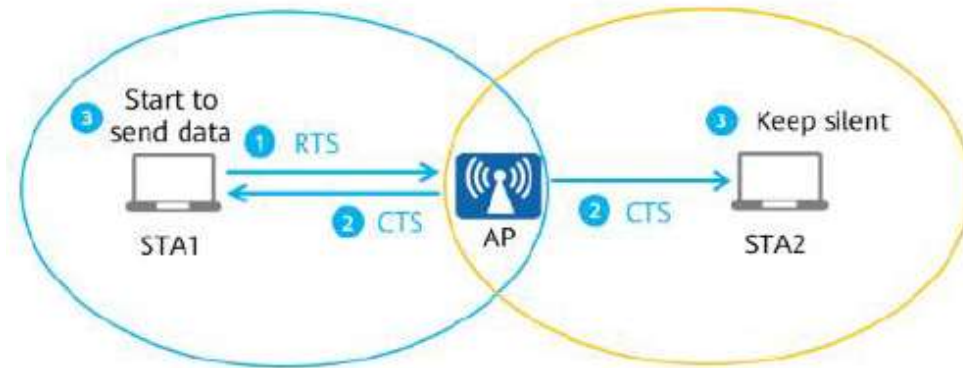
## Pozicija 802.11 standarda u OSI modelu



- Za razliku od CSMA/CD koji imamo kod žičanih Ethernet mreža kao algoritam za pristup medijumu (Media Access Control – MAC algoritam), kod bežičnih mreža imamo **CSMA/CA**
- CS – Pre slanja podataka STA proverava da li je kanal slobodan da bi smanjila šanse za koliziju
- MA – Podaci koji se šalju mogu biti primljeni na više odredišta
- CA – (Collision Avoidance) dizajniran za minimizira mogućnost pojave kolizije
- „CA“ se postiže **RTS/CTS protokolom**, koji rešava problem postojanja „**skrivenih čvorova**“ (hidden node problem)

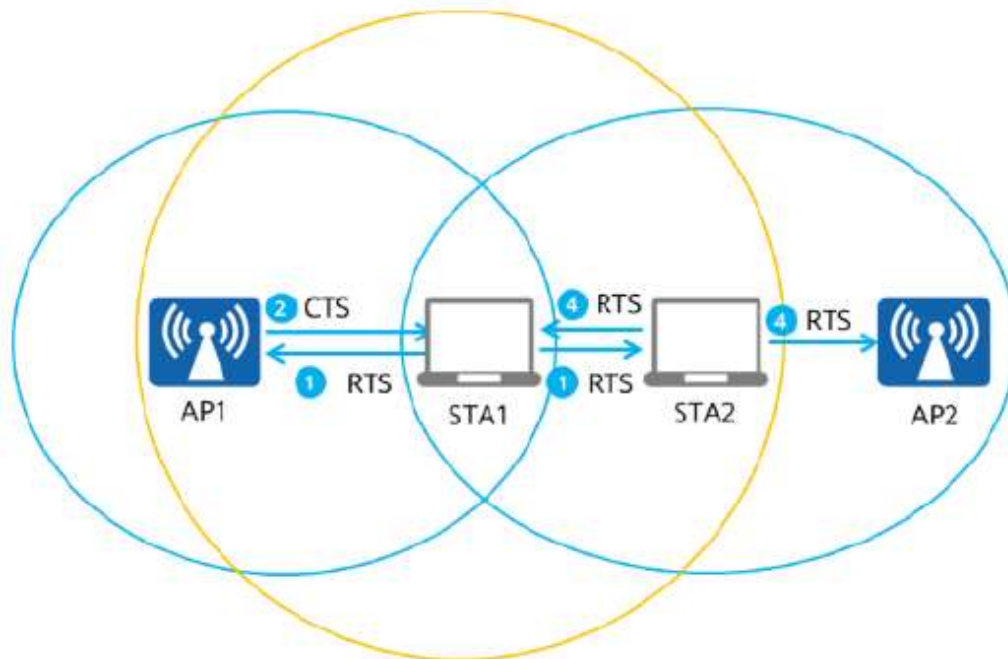


# Problem „hidden” i „exposed” noda



**STA1 and STA2 are hidden nodes to each other.**

- 1 STA1 sends an RTS frame to reserve access to the channel.
- 2 After receiving the RTS frame, the AP broadcasts a CTS frame as a response.
- 3 After receiving the CTS frame from the AP, STA1 is ready to send data.
- 4 STA2 receives the CTS frame sent by the AP and learns that the current channel is busy. Therefore, STA2 keeps silent and cannot send data.



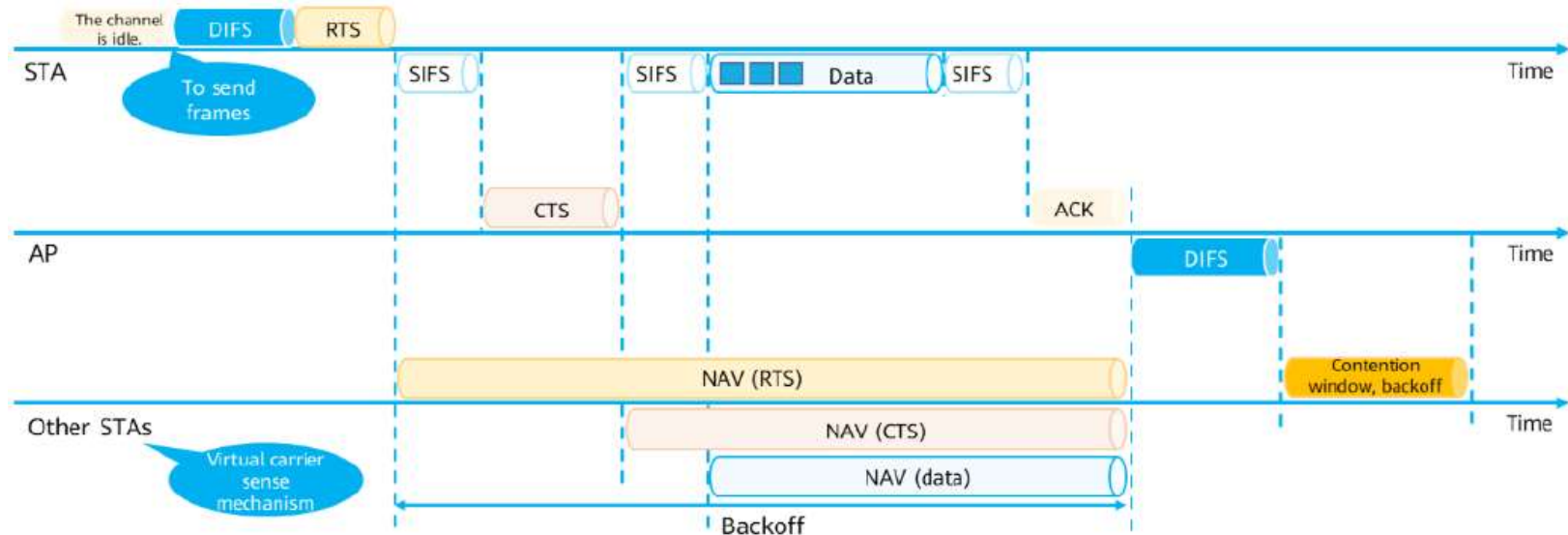
**STA1 and STA2 are exposed nodes to each other.**

- 1 STA1 broadcasts an RTS frame to reserve access to the channel.
- 2 After receiving the RTS frame, the AP broadcasts a CTS frame as a response.
- 3 STA2 receives the RTS frame from STA1 but not the CTS frame from AP1.
- 4 STA2 broadcasts an RTS frame to reserve access to the channel.

# IEEE 802 MAC

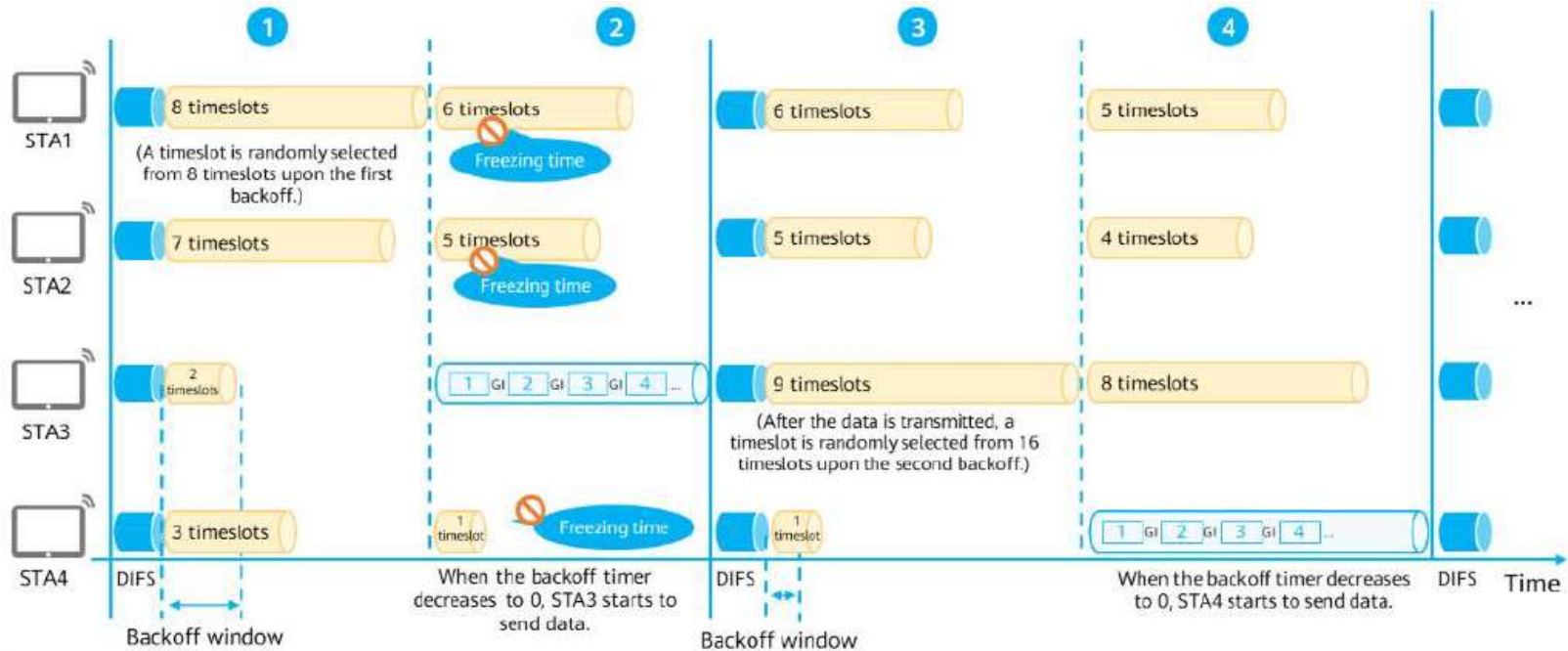
## SIFS i DIFS

- IFS (Interframe Spacing)
  - je vreme koje je potrebno sačekati između slanja dva frejma
- SIFS (Short IFS)
  - je vreme koje je potrebno jednoj stanici (STA) da prebaci režim rada iz slanja u prijem i obrnuto. Koristi se između sukcesivnih frejmova kada jedna STA komunicira
- DIFS (Distributed coordination function IFS)
  - Najkraće vreme za koje medijum treba da bude slobodan da bi STA podrazumevala da niko ne prenosi ništa preko kanala i započne slanje svog frejma





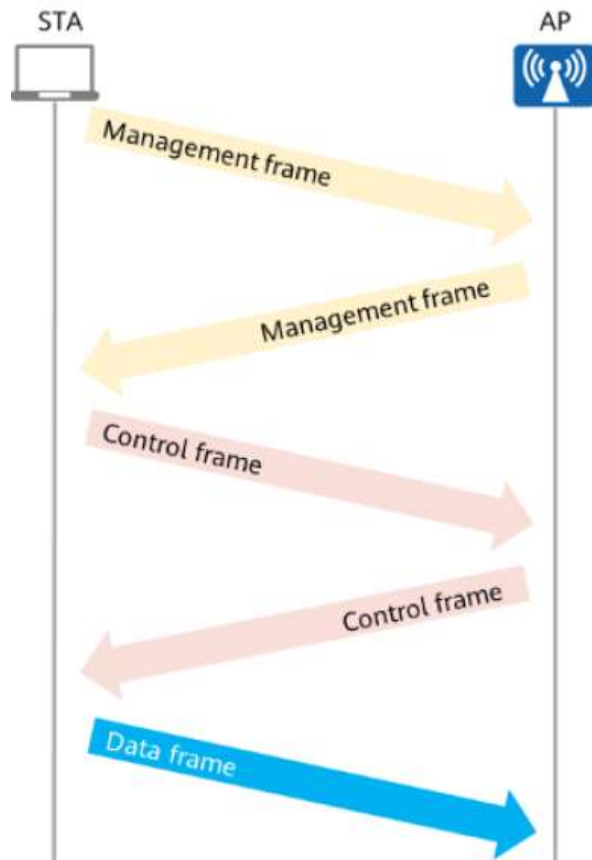
# Random Backoff algoritam kod 802.11



- 802.11 standardi koriste **binarni eksponencijalni backoff algoritam**.
- Za  $i$ -ti „backoff“ STA bira slučajan broj u opsegu  $1 - 2^{2+i}$ , t.j. za 1 slot bira od 1 do 8 vremenskih slotova
- Kada broj slotova poraste do 255 (6 backoff-ova) vreme se više ne povećava
- Na primeru sa slike: STA1 do 4 biraju random vreme za prvi slot (1 do 8). Nakon izbora vreme kreće da teče. Pošto je STA3 sa najmanjim brojem prvo će joj istaći vreme, pa počinje da prenosi. Za to vreme i ostalim stanicama je vreme skraćeno za po 2 slota. Dok STA3 prenosi, ostale stanice ne odbrojavaju. Nakon završetka prenosa, STA3 bira random vreme za sledeći prenos, i sve nastavljaju da odbrojavaju vreme dok prvoj ne istekne vreme (STA4 u ovom slučaju)...

# **POVEZIVANJE KLIJENTA NA ACCESS POINT**

# Tipovi frejmova definisani u 802.11



- Management frejmovi
  - Imaju supervizorsku ulogu.
  - Koriste se kada se STA povezuje na AP ili ga napušta, ili kada se vrši reasocijacija na drugi AP
- Control frejmovi
  - Carrier-sensing funkcije
  - Acknowledgment
  - Funkcije kontrole kanala
- Data frejmovi
  - Frejmovi koji prenose korisničke podatke

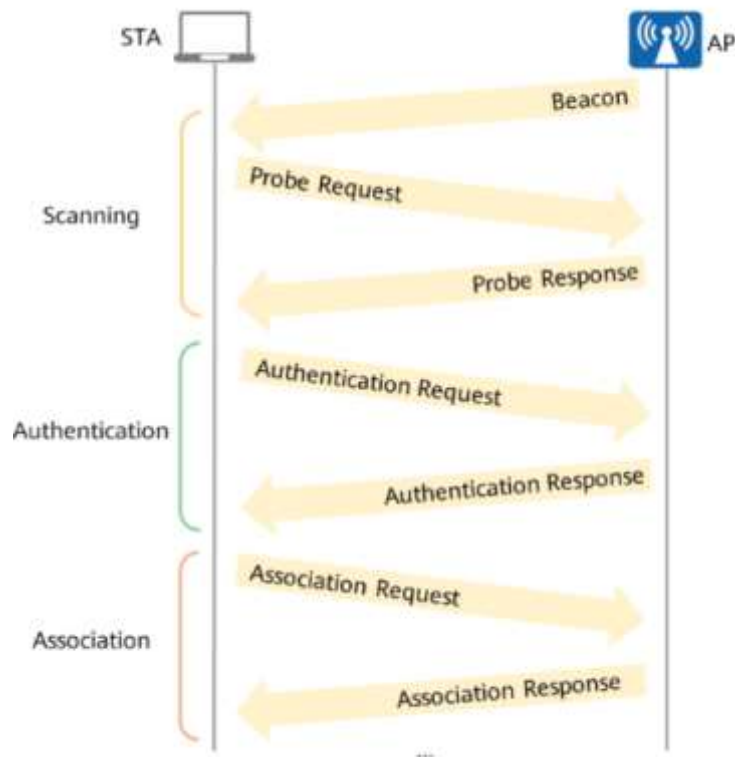
# Management frejmovi

No.	Management Frame Type	Function
1	Beacon frame	Beacon frames are sent periodically by an AP to notify STAs of a WLAN. An AP sends Beacon frames within the basic service area.
2	Probe Request frame	A STA sends Probe Request frames to scan surrounding 802.11 networks.
3	Probe Response frame	If the network scanned by a STA meets the connection requirement, the AP replies with a Probe Response frame to the STA. The AP responds to a received Probe Request frame only after it sends a Beacon frame and before it sends the next Beacon frame.
4	Authentication frame Deauthentication frame	An AP uses shared keys and Authentication frames to authenticate STA identities, and uses Deauthentication frames for deauthentication.
5	Association Request frame Reassociation Request frame	After a STA passes identity authentication, it sends an Association Request frame to request to join the network. When a STA needs to roam on a WLAN, it sends a Reassociation Request frame to reassociate with the WLAN.
6	Association Response frame	After receiving an Association Request from a STA, an AP replies with an Association Response frame.

# Control frejmovi

No.	Control Frame Type	Function
1	Request to send (RTS) frame	When a STA needs to send data to an AP, the STA sends an RTS frame to the AP.
2	Clear to send (CTS) frame	After an AP receives an RTS frame from a STA, it broadcasts CTS frames. After receiving the CTS frames, the other STAs within the AP's coverage area will not send data within a specified period.
3	Acknowledgment (ACK) frame	The receiver sends an ACK frame to confirm the receiving of a unicast packet from the sender.
4	PS-Poll frame	When a STA wakes up from the power save (PS) mode, it sends a PS-Poll frame to the associated AP to retrieve the frames buffered while it was in PS mode.

# Proces povezivanja STA na AP



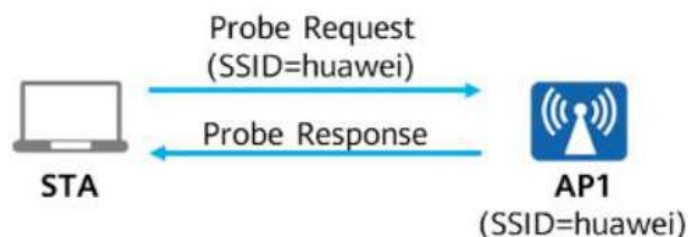
- Proces povezivanja je podeljen u faze:
  - Skeniranje
    - STA periodično pretražuje okolne mreže
  - Autentifikacija
    - Pre pristupanja AP-u STA se autentifikuje, što je poznato kao proces **link autentifikacije**. Ovo je početna tačka procesa povezivanja.
  - Asocijacija
    - Nakon link autentifikacije, STA inicira pregovaranje o servisima.

## Povezivanje STA na AP

# Aktivno skeniranje

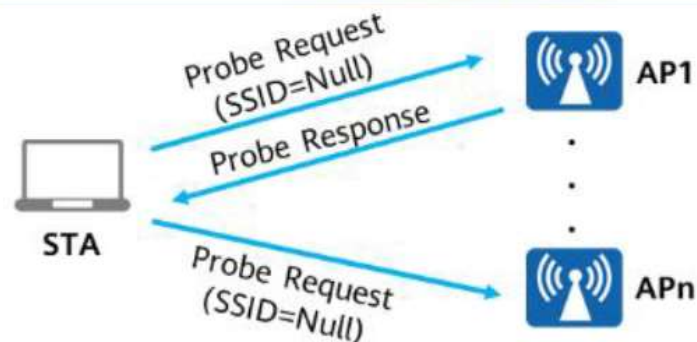
- Kod aktivnog skeniranja STA periodično pretražuje okolne bežične mreže.
- STA može da pošalje dva tipa Probe Request frejma: sa ili bez postavljene vrednosti za SSID.

### Active scanning by sending a Probe Request frame containing an SSID



- STA šalje **Probe request** frejm koji sadrži SSID na svim kanalima (na svakom kanalu po jedan), kako bi „našao“ gde je AP.
- Odgovoriće samo AP koji prepozna svoj SSID.

### Active scanning by sending a Probe Request frame containing no SSID

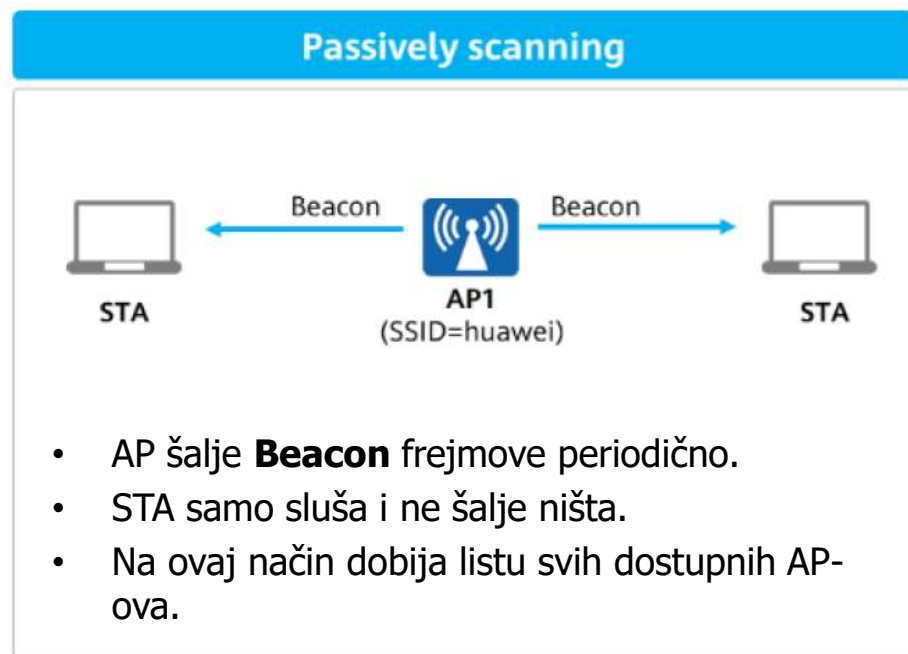


- STA periodično šalje **Probe request** frejm koji ne sadrži SSID (null) na svim kanalima.
- Odgovoriće svaki AP koji ima uključenu opciju **SSID broadcast**.

## Povezivanje STA na AP

# Pasivno skeniranje

- U pasivnom modu STA dobija **Beacon** frejmove koje AP šalje periodično i dobija informacije o dostupnim AP-ovima parsiranjem informacija iz frejma.
- Informacije koje dobija su:
  - SSID
  - Način zaštite mreže
  - Podržani standardi i brzine pristupa, i sl.
- STA konstantno prebacuje svoj *receiver* sa kanala na kanal da „čuje“ Beacon frejmove sa svih kanala.
- Podrazumevano, period na koji AP-ovi šalju Beacon frejmove je 100 TU (1 TU = 1024 us)

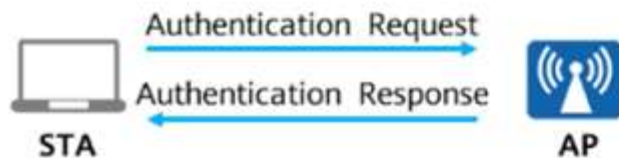




# Link authentication

- Da bi obezbedio bezbednost prenosa podataka AP zahteva da se STA autentifikuje.
- IEEE 802.11 definiše dva modela link autentifikacije:
  - **Open** system authentication, i
  - **Shared** system authentication

### Open system authentication



- Ne zahteva specifičnu autentifikaciju, ali bez obzira, STA mora proći kroz ovu fazu.
- STA zahteva auth, ne šalje nikakve specifične podatke, a AP dozvoljava

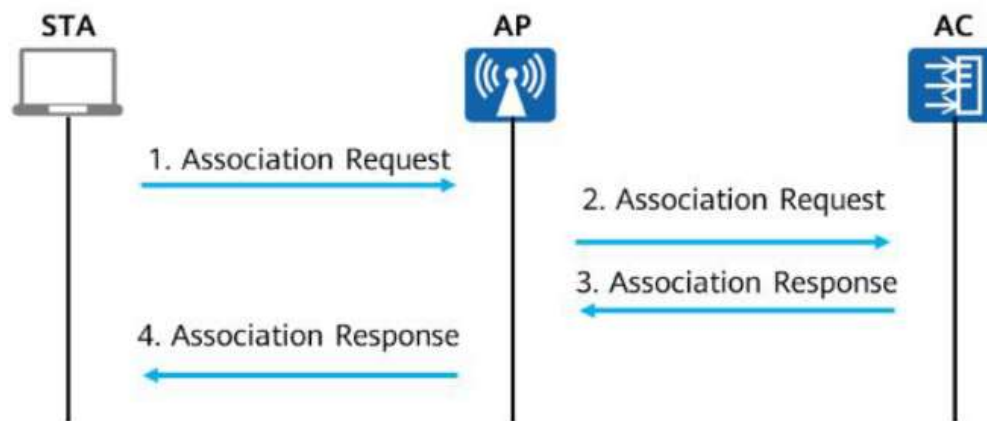
### Shared key authentication



- Zahteva da i STA i AP imaju prethodno upisan isti ključ (šifru).
- AP proverava da li STA ima isti ključ. Ako da, dozvoliće mu pristup.

# Association

- Nakon faze autentifikacije, STA inicira pregovaranje o servisima na linku korišćenjem **association** poruka (frejmova)
- U toku ove faze se pregovara o:
  - podržanim standardima
  - podržanim brzinama prenosa
  - kanalu
- Nakon ove faze STA dobija „virtuelni broj porta“ na AP-u i AP formira strukturu sličnu MAC adres tabeli na sviču u kojoj mapira STA na dodeljeni port, kako bi znao „gde“ da prosleđuje frejmove (ključevi se u nekim varijantama mogu razlikovati po korisniku)

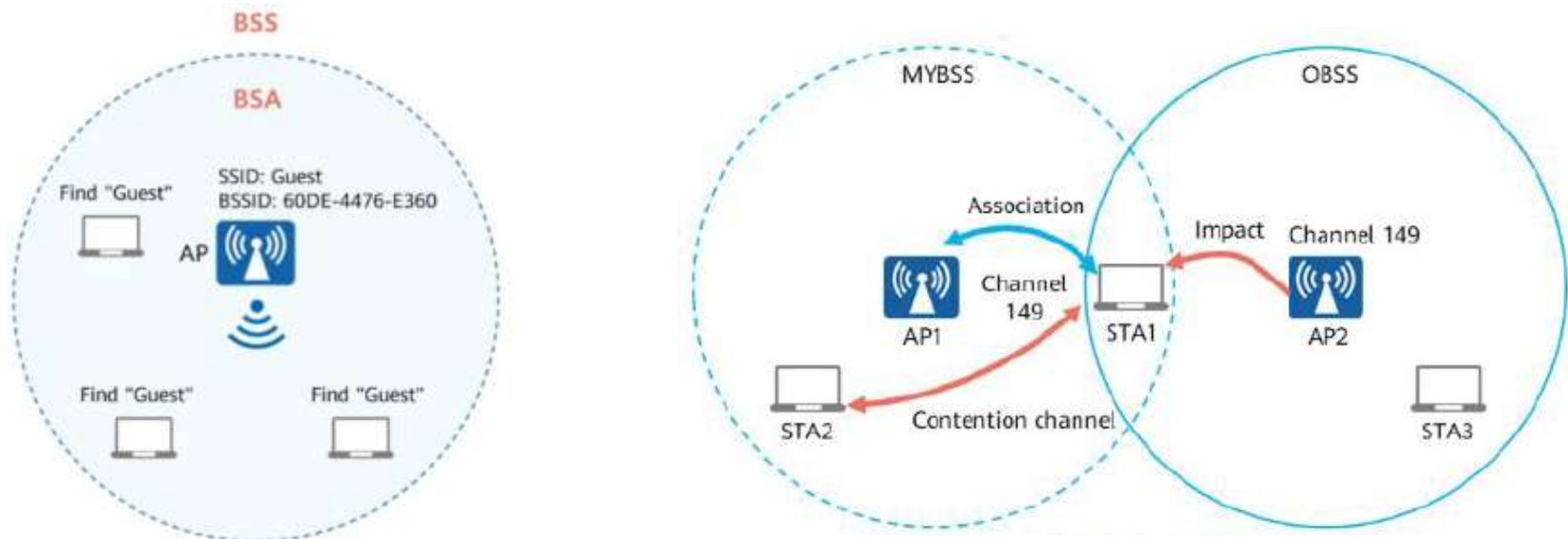


# **WLAN: NETWORKING MODEL I ARHITEKTURE**

# WLAN networking modeli

## BSS, BSA, OBSS, SSID, BSSID

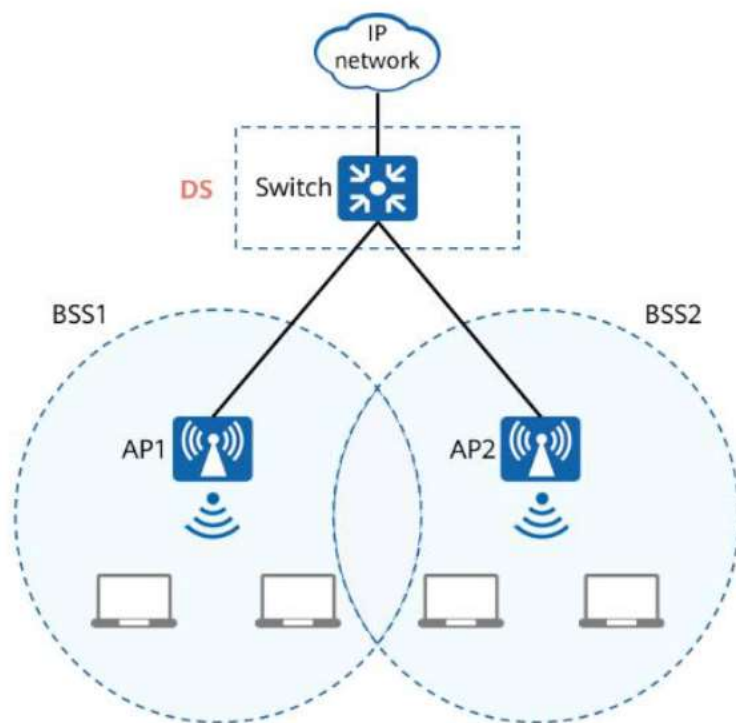
- Bežična komunikacija po 802.11 standardu moguća je u dva režima:
  - Ad hoc
  - Infrastrukturni
- Ad hoc je komunikacija između dva uređaja bez posredstva AP-a (npr. dva telefona direktno slanje fajla sa jednog na drugi bez AP-a korišćenjem nekog od 802.11 standarda)
- Infrastrukturni mod zahteva postojanje Access Pointa koji ima **centralnu koordinatorsku ulogu** na kanalu.
- Jedan AP formira jedan **Basic Service Set** na prostoru **Basic Service Area**
- BSS-ovi se mogu prostorno preklapati, bez obzira da li AP-ovi radi na istom kanalu ili ne (Overlapping BSS- OBSS).
- **SSID** je alfanumeričko ime (može se podešavati) i više AP-a mogu imati isto ime. BSSID je jedinstven za AP i koristi se od strane STA kako bi znala sa kojim AP-om je uspostavljena veza.



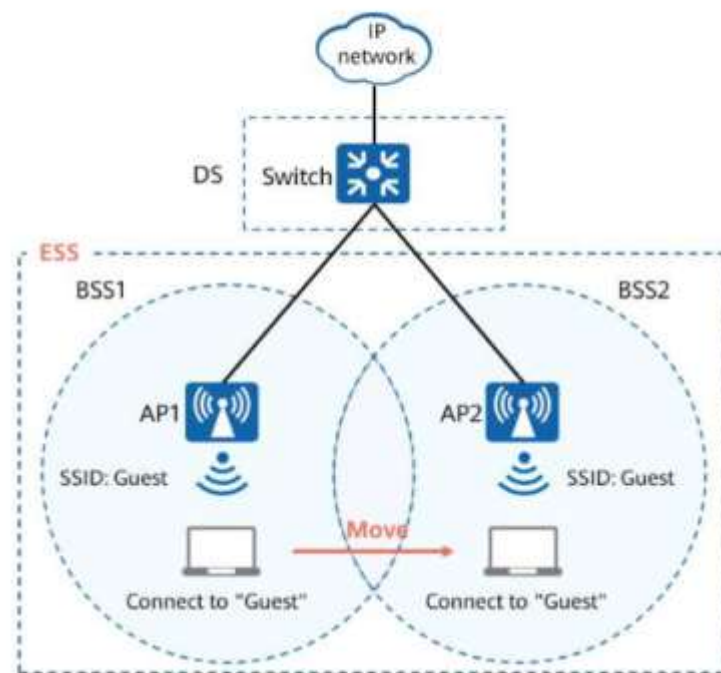
## DS i ESS

- Distribution System (DS) je mreža preko koje BSS može da komunicira sa ostatkom „sveta“.
- Domet jednog AP-a je efektivno par desetina metara. Da bi se pokrilo veće područje obično se koristi više BSS-ova.
- Kako korisnici ne „bi bili svesni“ promene BSS-a, BSS-ovi mogu **imati isti SSID**. Ovo se naziva ESS – Extended Service Set, a SSID u tom slučaju ESSID. Prelazak korisnika iz jednog BSS-a u drugi se naziva **roaming**.

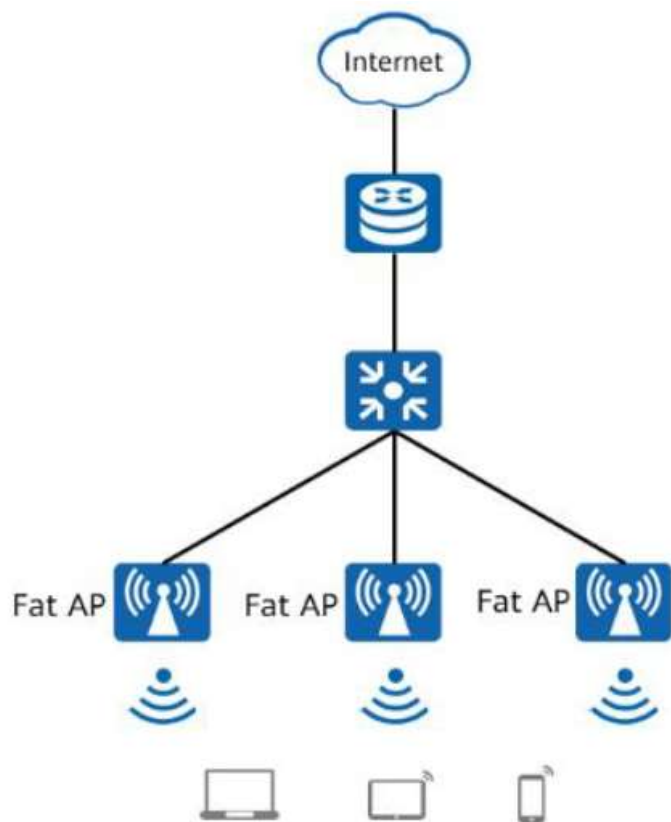
### DS



### ESS



## Fat AP arhitektura



- Fat AP arhitektura se naziva i „autonomna“ mrežna arhitektura (*autonomous network architecture*)
- Fat AP je nezavistan u smislu podešavanja:
  - podešava se sam za sebe i ne zahteva postojanje posebnog centralnog uređaja koji bi omogućavao centralizovano upravljanje AP-ovima
- Na Fat AP-u se podešava:
  - Mrežni parametri
    - IP adrese, odgovarajuće subnet maske
    - (opciono) DHCP server
  - WLAN parametri
    - Single/Dual/Three radio mod
    - SSID
    - Standard
    - Kanal
    - Grupisanje kanala/širina kanala
  - Autentifikacija

## Interna struktura WLAN rutera



- Kućni WLAN ruteri obično u sebi imaju ruter i ethernet svič
- U većini slučajeva je dostupno 5 portova organizovanih oko rutera sa 2 interfejsa:
  - 1 port je na „spoljašnjoj“ strani rutera ka provajderu (WAN)
  - 4 porta su na unutrašnjoj strani ka lokalnoj mreži (LAN)
  - Bežični korisnici su na istom broadcast domenu kao i korisnici povezani na 4-portni svič