

Bežične tehnologije pregled



Kratka povijest teorijske osnove za razvoj bežičnih komunikacijskih tehnologija- samo mali dio teorije

- Početak modernih telekomunikacija je izum telegrafa (Samuel F.B. Morse (1830))
- James Clerk Maxwell (njegov rad „A Dynamic Theory of the Electromagnetic Field” 1865)
- Heinrich Rudolf Hertz (dokazao je postojanje elektromagnetskih valova koje je teoretizirao Maxwell. 1880)
- Guglielmo Marconi (prva demonstracija bežične komunikacije 1896. 1902. prva bežična komunikacija preko Atlantika)
- Nikola Tesla 1898. brodić na daljinsko upravljanje („teleautomaton”)
- Denis Gabor u radu iz 1946. postavlja osnove za variabilnu prostor-vremensku-frekvencijsku analizu
- Claude Shannon-”otac” informacijske teorije (osnova za prijenos informacija putem bežične komunikacije)
- Harry Nyquist teorija uzorkovanja signala (količina signala proporcionalno ovisi o bandwidthu-u) koju je 1949. Shannon i dokazao

Zašto koristimo bežične tehnologije za komunikaciju?

Prednosti

- Mobilnost korisnika i jednostavnija kolaboracija
- Fleksibilnost implementacije
- Povećana produktivnost i manji troškovi
- Brži odgovor na potrebe korisnika
- Očekivanja su sve veća (korisnici, tvrtke itd.)

„Nedostatci”

- Sigurnost
- Smetnje
- Zagušenost medija
- Ograničen frekvencijski spektar
- Regulative

Gdje se sve koriste WiFi mreže?

- Kućanstva
- Gradovi („pametni”)
- Javni prijevoz
- Hoteli
- Ugostiteljski objekti
- Trgovački centri
- Industrija
- Zabava (SLARP)
- Bolnice, škole itd..
- „off the grid” (npr. Vrh Velebita)
- Praćenje životinja
- Zabavni parkovi
- Vozila (automobili, dronovi itd.)
- ...

Vrste bežičnih komunikacijskih tehnologija

- Wireless Personal Area Network (WPAN)
- Wireless Local Area Network (WLAN)-WiFi
- Wireless Metropolitan Area Network (WMAN)-WiMax
- Bluetooth, Zigbee, LoRaWan,Z-wave...
- 2G, 3G, 4G, 5G



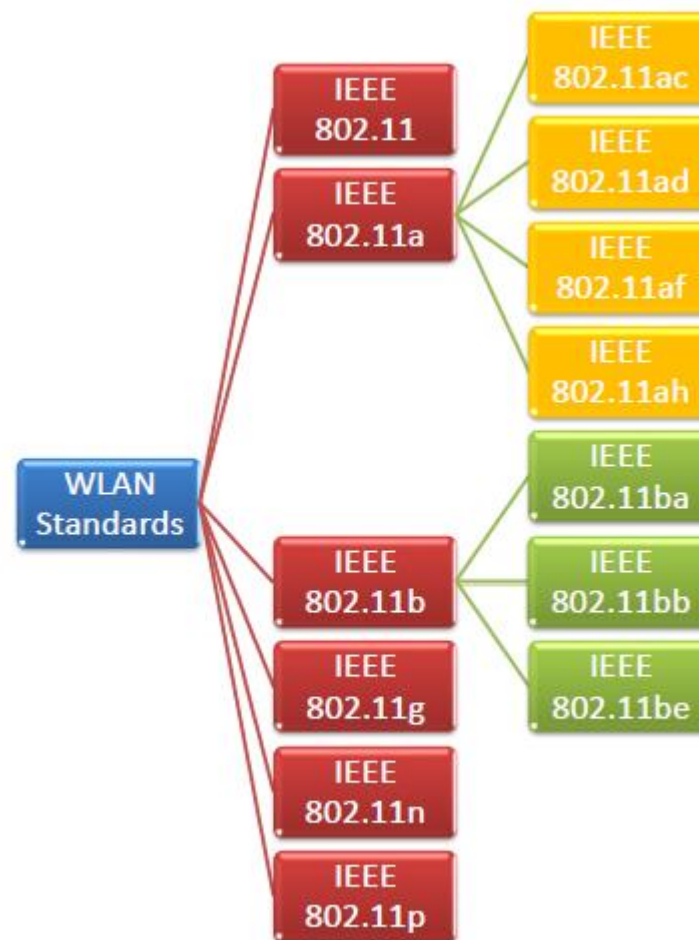
Wi-Fi je neprofitna internacionalna organizacija zadužena za certificiranje proizvoda koji odgovaraju standardima IEEE 802.11.

IEEE 802.11 standardi

IEEE – Međunarodna neprofitna zajednica inženjera elektrotehnike i elektronike, objavljuje norme iz različitih STEM područja

802 – označava radnu grupu zaduženu za razvoj standarda za LAN i MAN mreže

802.11 – skupina standarda za bežične lokalne mreže koji specificiraju metode bežične modulacije signala



<http://www.ieee.hr>
<https://www.ieee.org>

IEEE 802.11 standardi

prije

Technologies	Indoor/ Outdoor	Bitrate	Freq. bands	License	Bandwidth	Modulation	MIMO
IEEE 802.11	20m /100m	2 Mbps	2.4GHz	Unlicensed	20 MHz	FHSS and DSSS	—
IEEE 802.11b	35m/ 140m	11 Mbps	2.4GHz	Unlicensed	20 MHz	HR-DSSS	—
IEEE 802.11a	35m/ 119m	54 Mbps	5GHz	Unlicensed	20 MHz	OFDM	—
IEEE 802.11g	45m/ 90m	54 Mbps	2.4 GHz	Unlicensed	22 MHz	OFDM/ DSSS/	—

Danas
aktualno

						CCK	
IEEE 802.11n	70m/ 250m	600 Mbps	2.4 GHz/ 5 GHz	Unlicensed	20 MHz/ 40 MHz	OFDM	4 X 4
IEEE 802.11ac wave	70m/ 250m	7000 Mbps	5 GHz	Unlicensed	80 MHz	64-QAM	MU-MIMO
IEEE 802.11ad	10m/ n/a	7000 Mbps	60 GHz	Unlicensed	2.16 GHz	Single Carrier/ OFDM	10 X 10
IEEE 802.11ac wave 2	70m/ 250m	7000 Mbps	5 GHz	Unlicensed	80 MHz/ 160 MHz	256-QAM	MU_MIMO 8 X 8

Osnovni uređaji za WiFi komunikaciju

- Wifi adapter



- AP

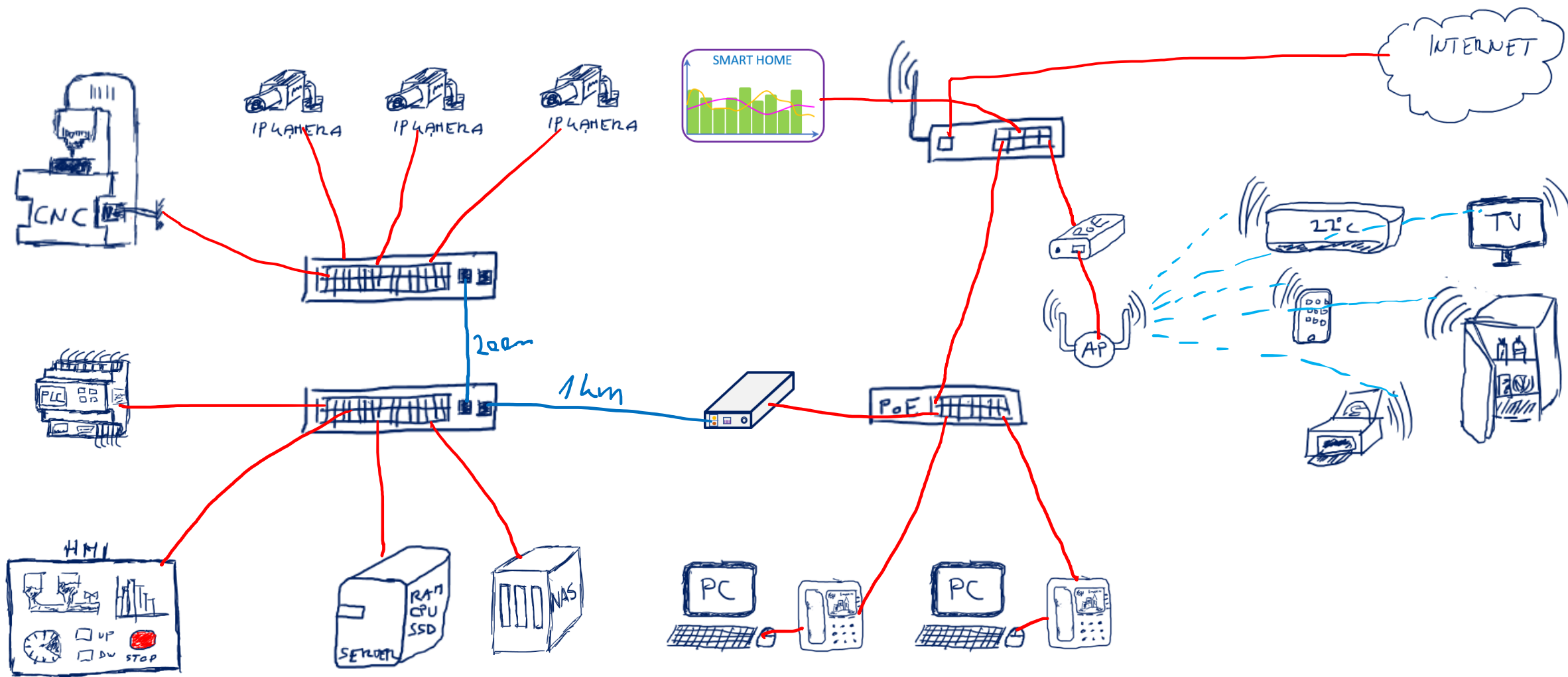
ili

- WLAN Router

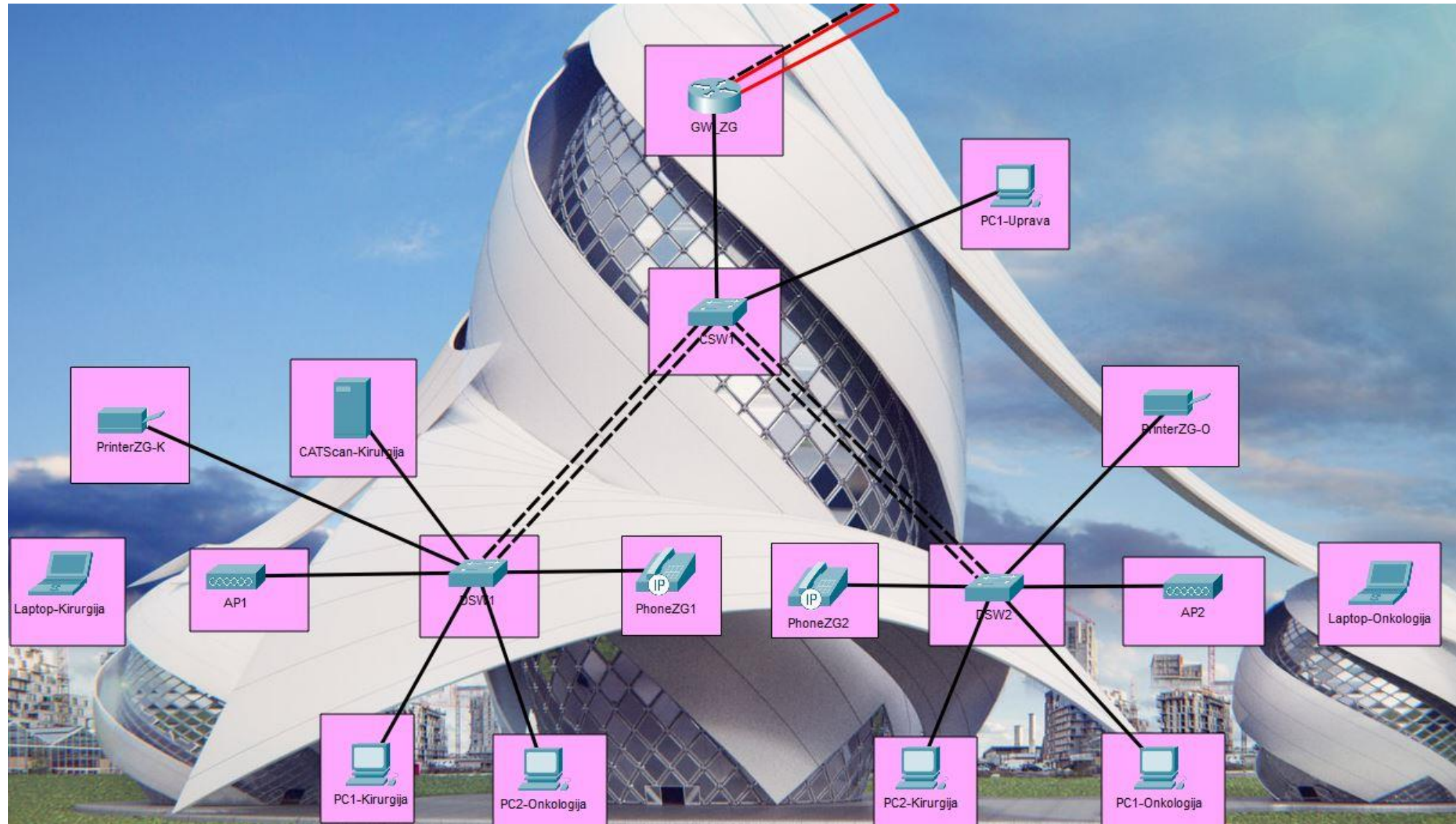


- Postoji naravno i mogućnost povezivanja uređaja direktno putem bežične mreže i tada nam ne treba Wireless AP (npr. „Wi-Fi direct”, „Hot Spot”, bluetooth veza, „Screen Mirror” „Crom Cast” „MiraCast” itd..)

WiFi je produžetak žične mreže



WiFi je produžetak žične mreže



Sve više se koristi za IoT i Smart Home

Realno, svaki uređaj koji je spojen na bilo kakvu mrežu može biti IoT uređaj (tako da je po toj definiciji i mobitel IoT uređaj), no za razvoje prototipova i novih aplikacija se pojavilo nekoliko (učestalih) platformi:

Raspberry Pi - <https://www.raspberrypi.org/>

Arduino - <https://www.arduino.cc/>

Intel Galileo – <http://www.intel.com/content/www/us/en/embedded/products/galileo/galileo-overview.html>

Waspote – <http://www.libelium.com/>

IoT-Lab - <https://www.iot-lab.info/hardware/>

Ovo je više za early-coding i na granici igre i programiranja, no također vrlo zgodno:

LEGO Mindstorms - <http://mindstorms.lego.com>

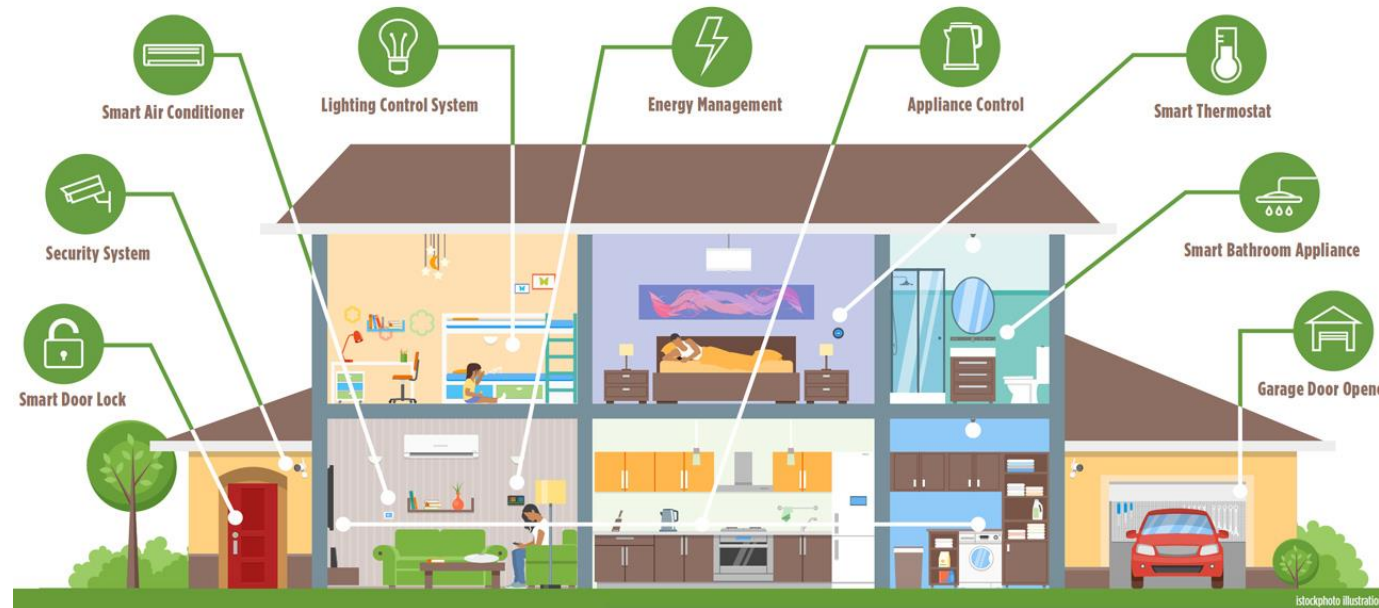
SAM Labs - <https://sam-labs.me/>

Sve više se koristi za IoT i Smart Home

- Smart homes intelligently give the users ultimate control of their environment by using automation.
- They wirelessly give us power over the lighting system, security systems, electrical appliances, dimming, blinds, heating, moisture levels and everything else that is detectable, measurable, and can be controlled.
- All devices in a smart home should communicate with each other and with the user

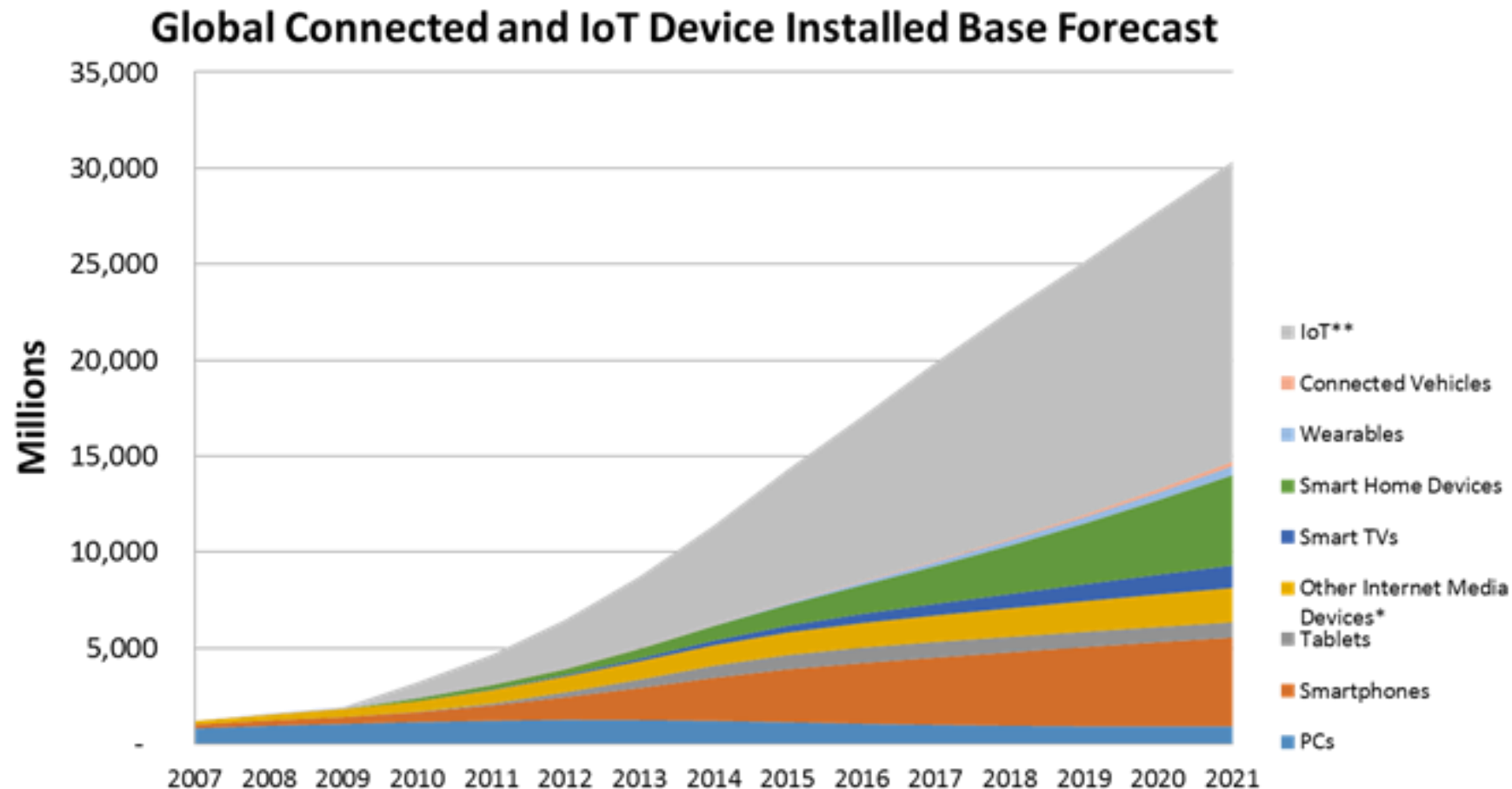
HOME, SMART HOME

Cool gadgets, practicality drive trend in residential lifestyle technology



Sve više se koristi za IoT i Smart Home

STRATEGYANALYTICS

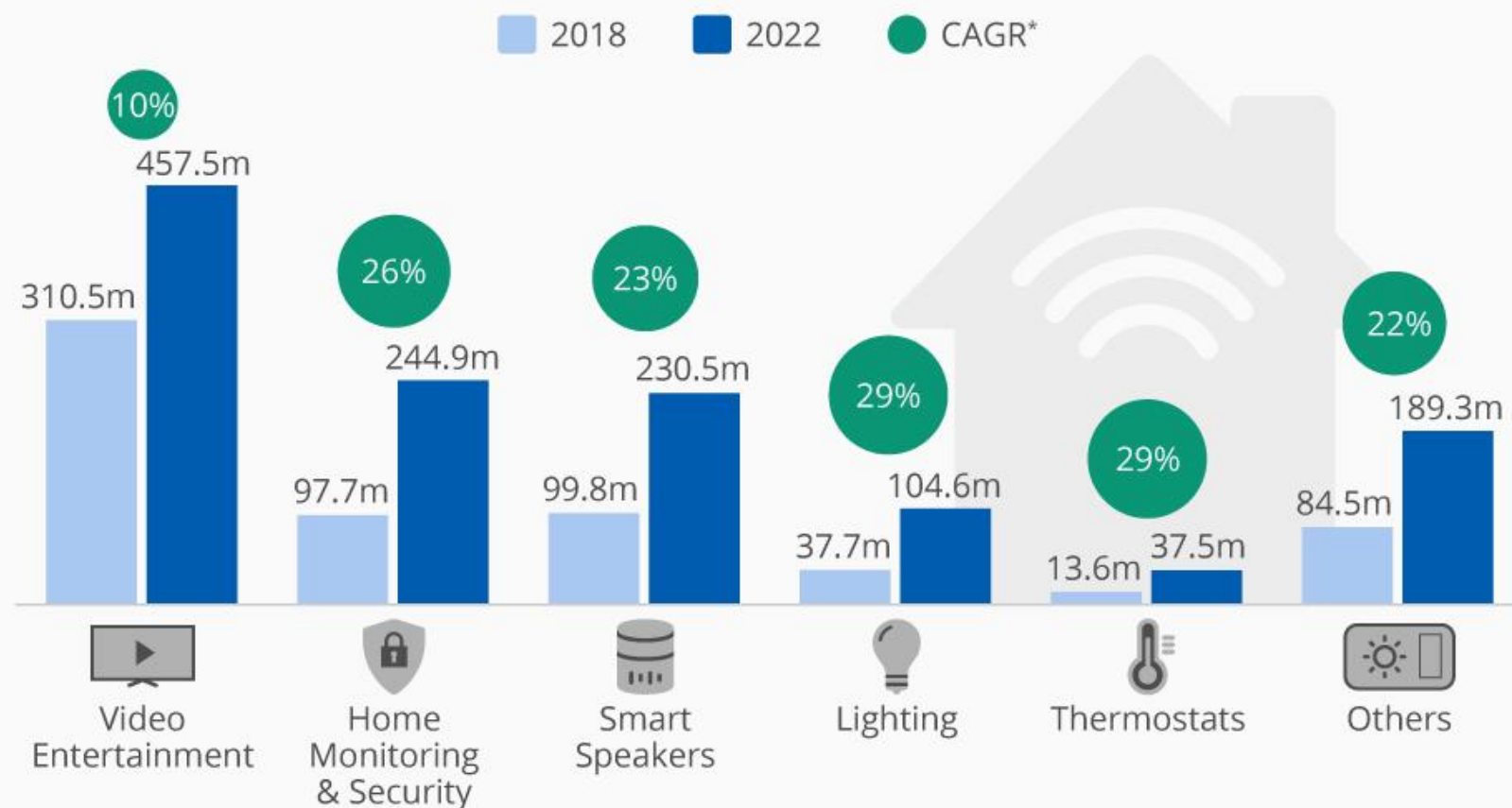


Source – Strategy Analytics research services ,October 2017:IoT Strategies , Connected Home Devices, Tablet and Touchscreen Strategies, Wireless Smartphone Strategies, Wearable Device Ecosystem, Smart Home Strategies

Sve više se koristi za IoT i Smart Home

Smart Home Technology Poised for Blockbuster Growth

Forecast of worldwide smart home device shipments, by category (in million units)



* Compound annual growth rate, i.e. the average annual growth rate for each category between 2018 and 2022



@StatistaCharts

Source: IDC

statista

WiFi Security

- Wired Equivalent Privacy (WEP)-first security protocol ever put in practice, least secure but is still used with older devices-preshared key that is easy to crack
- Wi-Fi Protected Access (WPA)- Temporal Key Integrity Protocol (TKIP) which was a dynamic 128-bit key that was harder to break into than WEP's static, unchanging key. It also introduced the Message Integrity Check, which scanned for any altered packets sent by hackers
- Wi-Fi Protected Access 2 (WPA 2)-WPA2 replaced TKIP with the Counter Mode Cipher Block Chaining Message Authentication Code Protocol (CCMP) which is a far superior encryption tool.
 - WPA2-PSK (Pre-Shared Key)-most often used for a residential or open Wi-Fi network.
 - WPA2-Enterprise (RADIUS server-802.1x)
- Wi-Fi Protected Access 3 (WPA 3)
 - WPA3-PSK-offer greater protection by improving the authentication process.
 - WPA3-Enterprise (RADIUS server-802.1x-requirement for server certificate validation)

<https://www.securew2.com/blog/complete-guide-wi-fi-security>



Bežične LAN topologije (WLAN)

BSS – Basic Service Set

Bežične WLAN mreže rade isključivo u **half-duplex** modu (CSMA/CA*), zato jer se slanje i primanje signala odvija po istoj frekvenciji u istom kanalu. **Samo jedan uređaj istovremeno može slati inače dolazi do kolizije!**

S obzirom da je WLAN dijeljeni medij gdje svatko ima jednako pravo pristupa, bilo je potrebno odrediti mehanizam koji će zahtjevati minimum parametara od uređaja koji žele pristupiti mediju: 802.11 modulaciju, širinu kanala, autentifikaciju,...

Zato je 802.11 standard razvio mehanizam basic service set koji od svakog uređaja koji želi pristupiti mediju traži njegove mogućnosti i autentifikaciju. U srcu svakog BSS-a se nalazi Access Point (pristupna točka).

Bežične LAN topologije (WLAN)

BSS – Basic Service Set

Svaki uređaj koji želi pristupiti i koristiti WLAN medij mora komunicirati s AP-om.

AP koristi jedinstveni BSS ID koji se temelji na njegovoj vlastitoj MAC adresi.

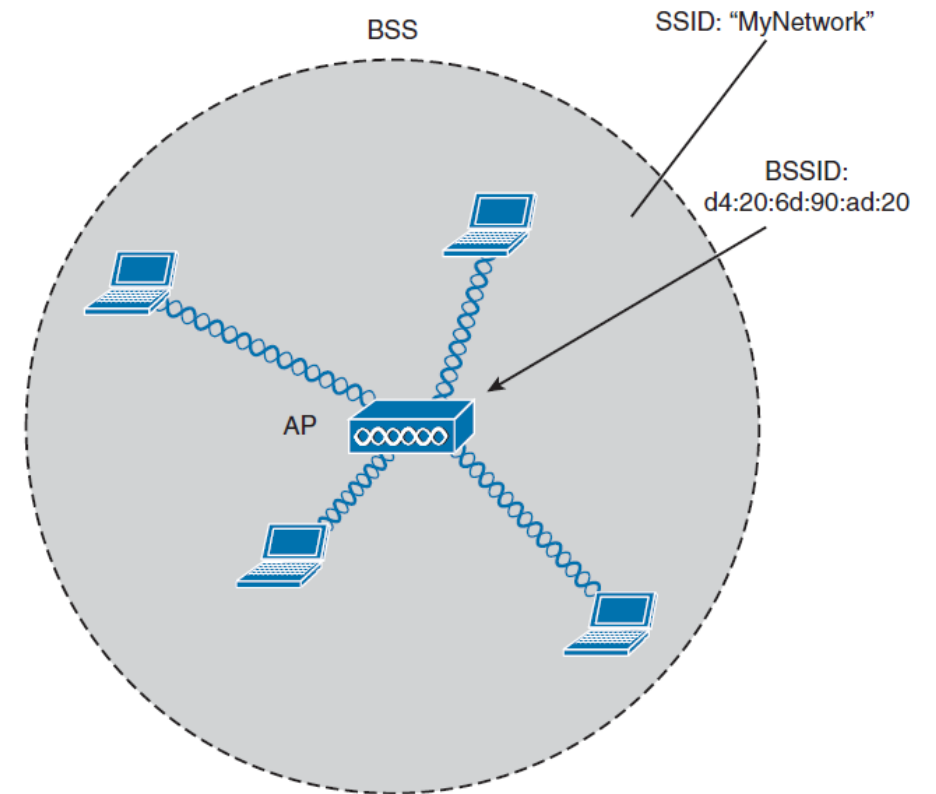
AP također koristi SSID kako bi objavio logičku mrežu.

BSS ID je identifikator čitljiv uređajima, a SSID ljudima.

Članstvo u BSA (basic service area) se zove asocijacija.

Svaki uređaj prvo mora poslati association request, a AP zatim dozvoljava ili odbija pristup*.

Jednom kada neki uređaj dobije pristup u BSA postaje klijent na AP-u.



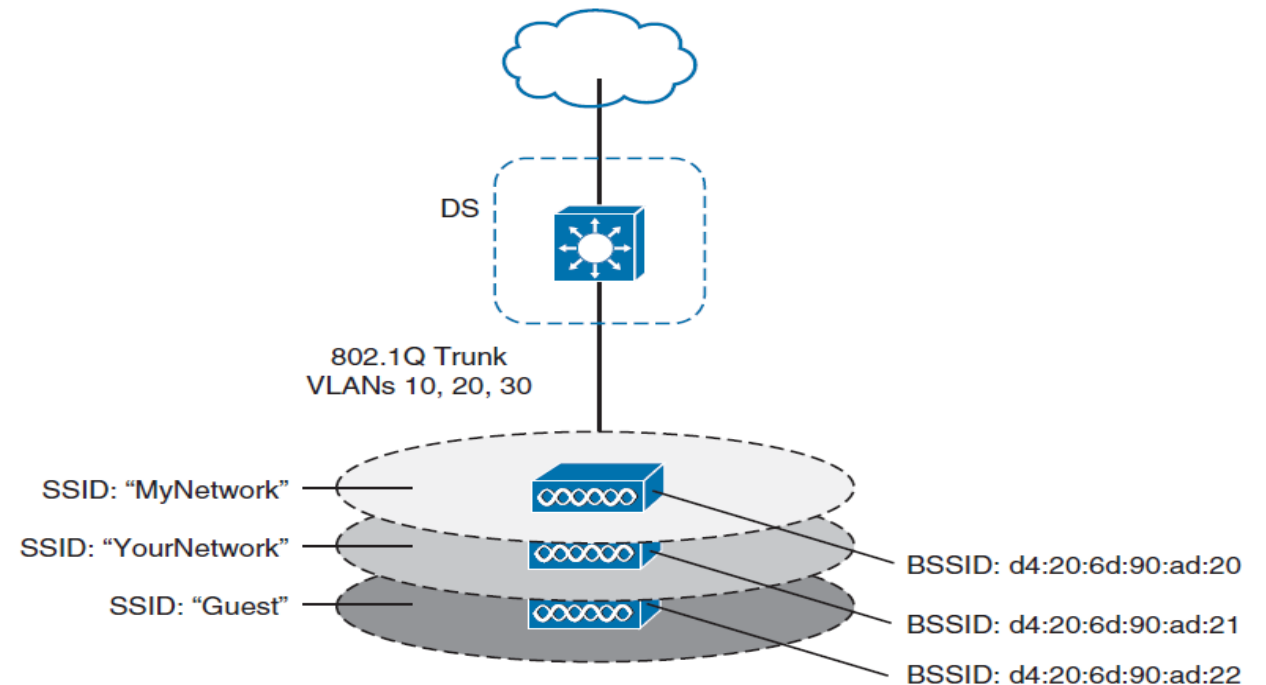
Bežične LAN topologije (WLAN)

Distribution system

AP i 802.11 WLAN trebamo razumijevati kao proširenje LAN žičane infrastrukture, **Samim time AP ne postoji kao zasebna mreža nego je njegova uloga pružiti dodatne mogućnosti kako bi wireless uređaji uspješno komunicirali sa žičanim uređajima (LAN).**

802.11 standard omogućuje AP-ovima da SSID-evima dodaju 802.1q tag te time podržavaju razmjenu VLAN-ova s LAN infrastrukturom.

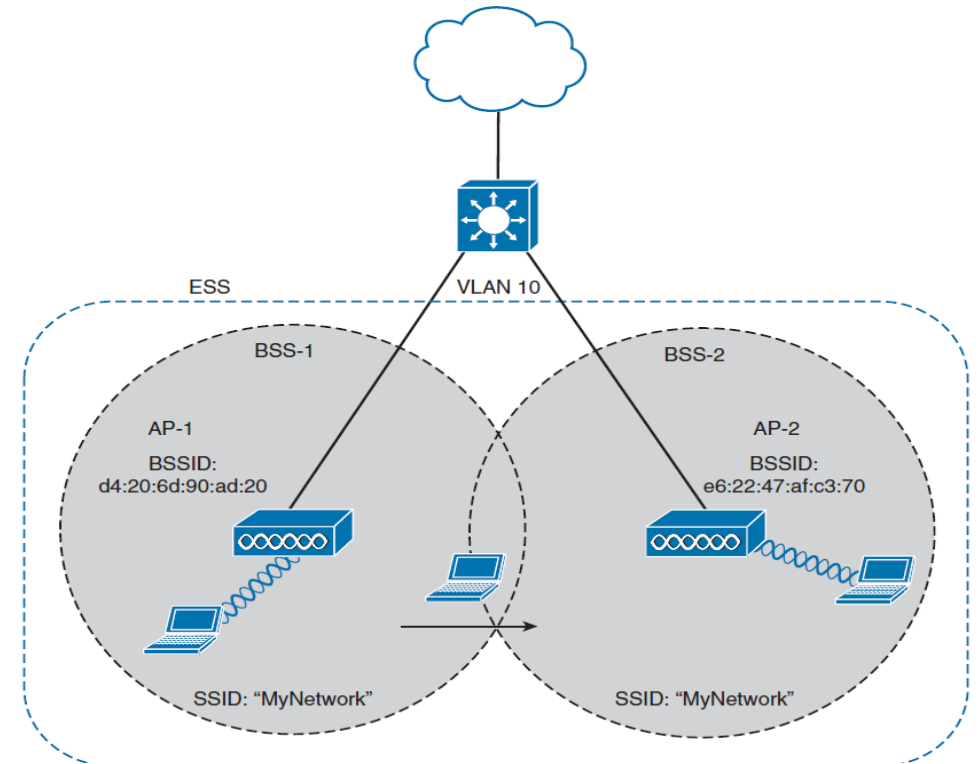
Ako AP ima više SSID-eva, svaki od njih oglašava putem beacon-a!
Svaki SSID je vezan uz BSSID te ima jedinstvenu MAC adresu (dodjeljuju se virtualne Mac adrese iz unaprijed definiranog pool-a)!



Bežične LAN topologije (WLAN)

Extended Service Set

- Jedna od ključnih stvari u bežičnim mrežama je mobilnost uređaja i korisnika.
- S obzirom da jedan BSS pokriva signalom ograničeni dio prostora (ovisno o dometu signala jednog AP-a), ukoliko želimo pokriti sa signalom veću površinu trebamo postaviti u prostor više AP-ova, čime dobivamo više BSS-ova. S toga je 802.11 standard razvio ESS kako bi objedinio više BSS-ova u svrhu mobilnosti uređaja.
- Ključnu ulogu u toj mobilnosti ima DS (distribucijski sustav).
- Svi AP-ovi koji su dio zajedničkog ESS-a moraju međusobno dijeliti informacije o svim mobilnim uređajima s kojima imaju asocijaciju.
- Kada mobilni uređaj želi promijeniti asocijaciju s AP1 na AP2 on mora poslati zahtjev za reasocijaciju prema novom AP2. U tom zahtjevu nalazit će se informacija na kojem AP-u je prethodno imao asocijaciju.
- To je bitno novom AP-u (u ovom primjeru AP2) kako bi obavijestio AP1 da mobilni uređaj sada ima asocijaciju s njim i da mu pošalje sve zaostale frame-ove. Cijela ova komunikacija između AP-ova se odvija kroz backbone mrežu (ethernet preklopnik).



Bežične LAN topologije (WLAN)

Extended Service Set - Roaming

Proces mobilnosti klijenata, odnosno reasocijacija s jednog AP-a na drugi unutar istog ESS-a, zove se **Roaming**.

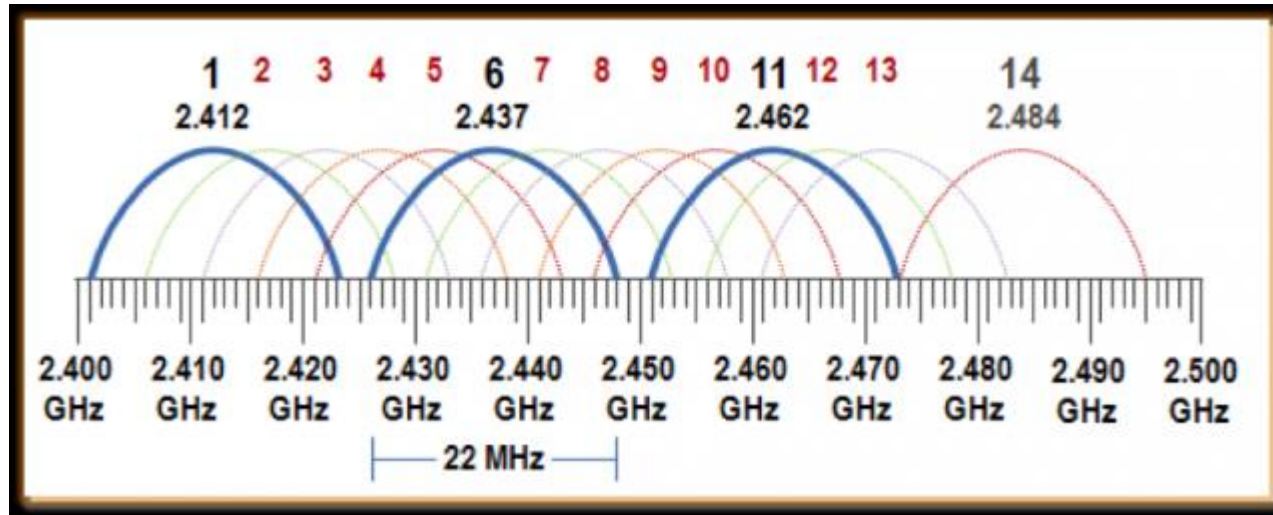
Glavni preduvjeti za tehničku realizaciju Roaming-a u bežičnim lokalnim mrežama su:

- AP mora podržavati ESS/roaming funkcionalnosti
- Svi AP-ovi moraju biti spojeni na backbone mrežu (switch)
- Svi AP-ovi (BSS-ovi) moraju oglašavati isti SSID
- Svi AP-ovi (BSS-ovi) moraju raditi na istoj frekvenciji ali različitom **nepreklapajućem** kanalu, npr. frekvencija 2.4 GHz, AP1 kanal 1, AP2 kanal 6
- Svi AP-ovi moraju dijeliti iste sigurnosne postavke
- BSS-ovi se moraju preklapati sa rasprostiranjem signala (barem 15-20%)

Oprema koju koristimo na fakultetu (Cisco WAP321 standalone, kao i cijela serija WLC + Aironet AP) podržavaju roaming!

Razlika je u tome što WAP321 AP-ovi moraju biti u istome VLAN-u a kod WLC-a (WLAN Controller) mogu biti u različitim VLAN-ovima.

Kanali na 2.4 GHz



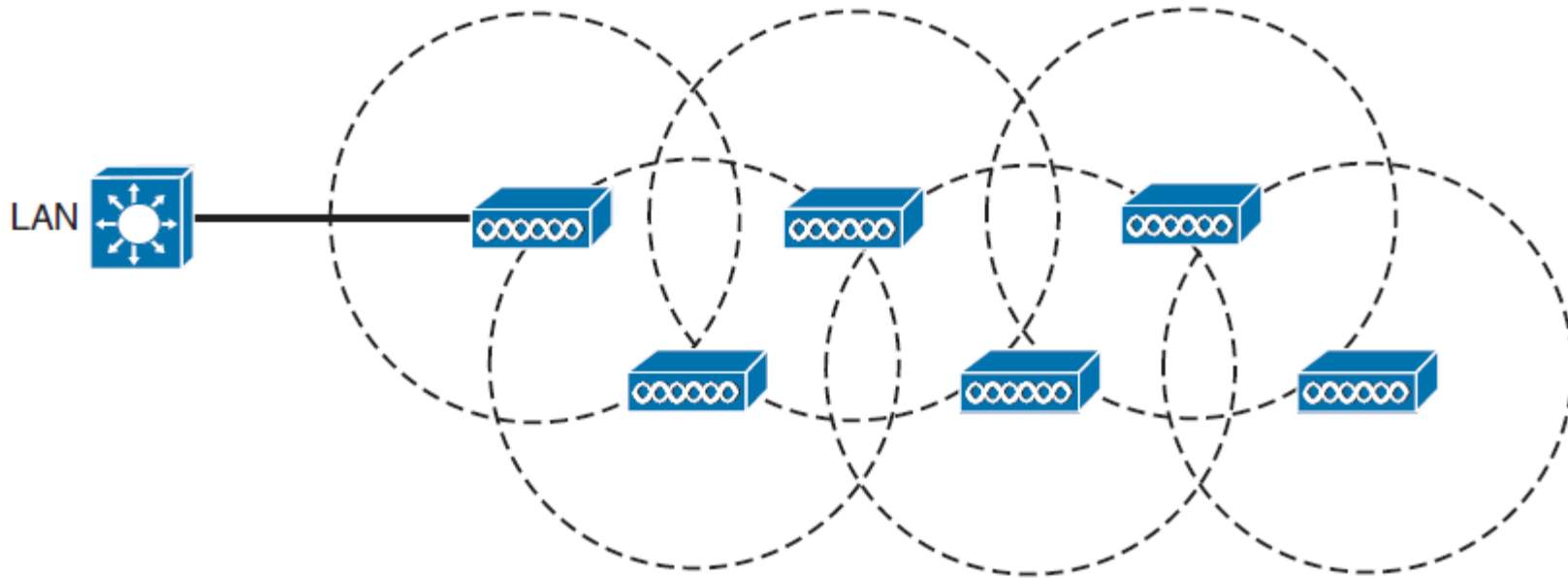
Nepreklapajući su 1, 6 i 11

Postoje mehanizmi koje uređaji koriste da automatski pronađu „slobodan” kanal

Bežične LAN topologije (WLAN)

Mesh network

Kada trebamo osigurati bežičnu vezu na većim udaljenostima, obično outdoor implementacija gdje nije moguće AP-ove spajati na žičanu infrastrukturu, moramo osigurati više AP-ova i postaviti ih tako da im se područja pokrivenosti signala preklapaju oko 25 %

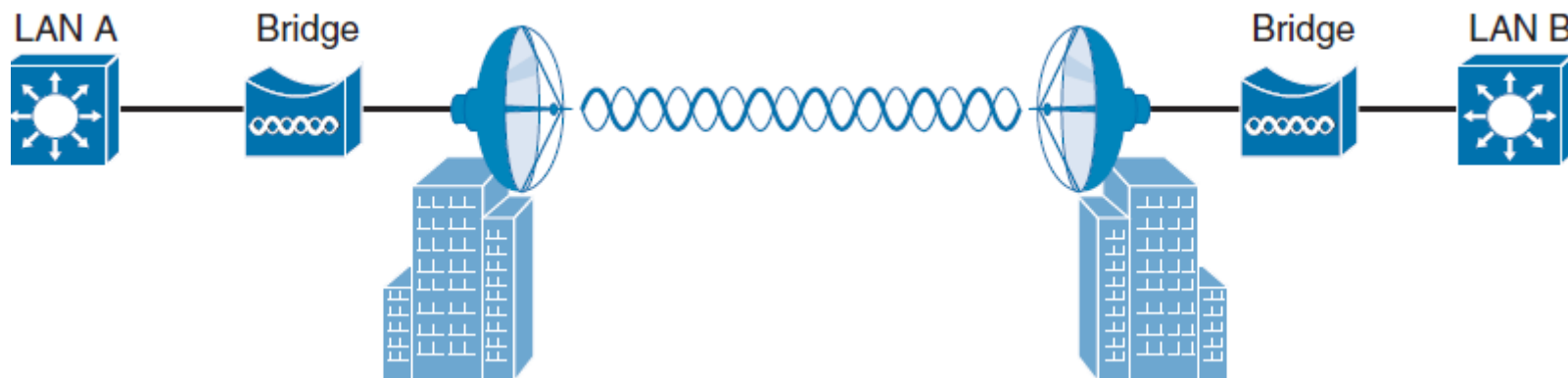


Bežične LAN topologije (WLAN)

Outdoor bridge

- Povezivanje dvije međusobno udaljene lokacije.
- Cisco WAP321 uređaji podržavaju ovu mogućnost koristeći WDS (wireless distribution system) bridge feature. Ovo znači da informacije o klijentima razmjenjuju bežično!
- AP-ovi u ovoj konfiguraciji obavljaju ulogu wireless bridge-a između dvije LAN lokacije zadržavajući sve funkcionalnosti AP-a za mobilne uređaje u svakom LAN-u. Na taj način je osigurana komunikacija žičnim i bežičnim uređajima unutar LAN-a i između dva LAN-a!
- Konfiguracija: AP-ovi moraju biti na istoj frekvenciji i istom kanalu, dijeliti iste sigurnosne mehanizme, ali svaki AP može oglašavati različite SSID-eve!

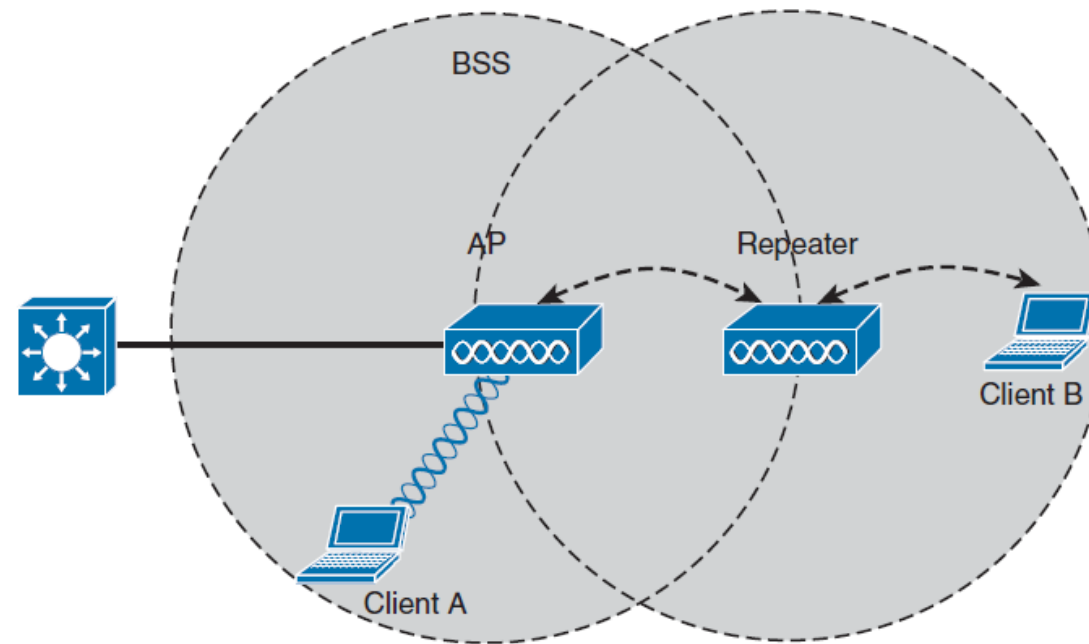
Link: <https://www.cisco.com/c/en/us/support/docs/smb/wireless/cisco-small-business-100-series-wireless-access-points/smb2871-configure-work-group-bridge-on-wap121-and-wap321-access-poin.html>



Bežične LAN topologije (WLAN)

Repeater

- AP možemo postaviti u repeater mod (layer 1 uređaj) kada imamo potrebu proširiti dostupnost signala a ne želimo imati novi SSID odnosno novu BSA (Basic Service Area).
- Repeateri nisu poželjni u **poslovnom** bežičnom okruženju jer značajno doprinose zagušenju mreže i retransmisiji paketa. Repeateri nemaju L2 mogućnost autentifikacije i asocijacije mobilnih uređaja te sve pakete prosljeđuju AP-u.
- Koristite AP kad god je to moguće umjesto repeater-a!

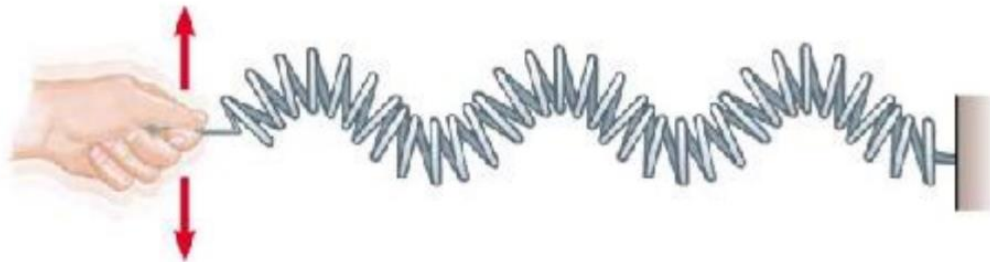




VALOVI

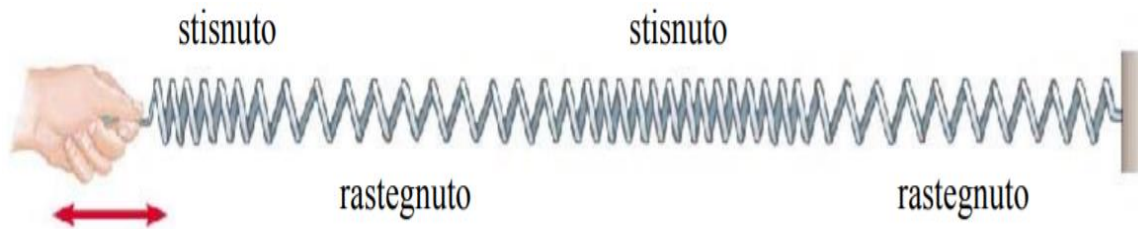
Valovi su titranje čestica koje se širi prostorom i time prenosi energiju

- Mehanički: potrebno im je elastično sredstvo za širenje (valovi na vodi, na opruzi, zvuk). Mehanički val je poremećaj koji putuje kroz neko sredstvo.
- Elektromagnetski: šire se i kroz vakuum; ne trebaju nikakvo sredstvo (sav spektar elektromagnetskog zračenja od radio valova do x-zraka)



Transverzalni val

- čestice sredstva titraju okomito na smjer širenja vala (val na konopcu, elektromagnetski val koji se širi brzinom od $3 \cdot 10^8$ m/s)

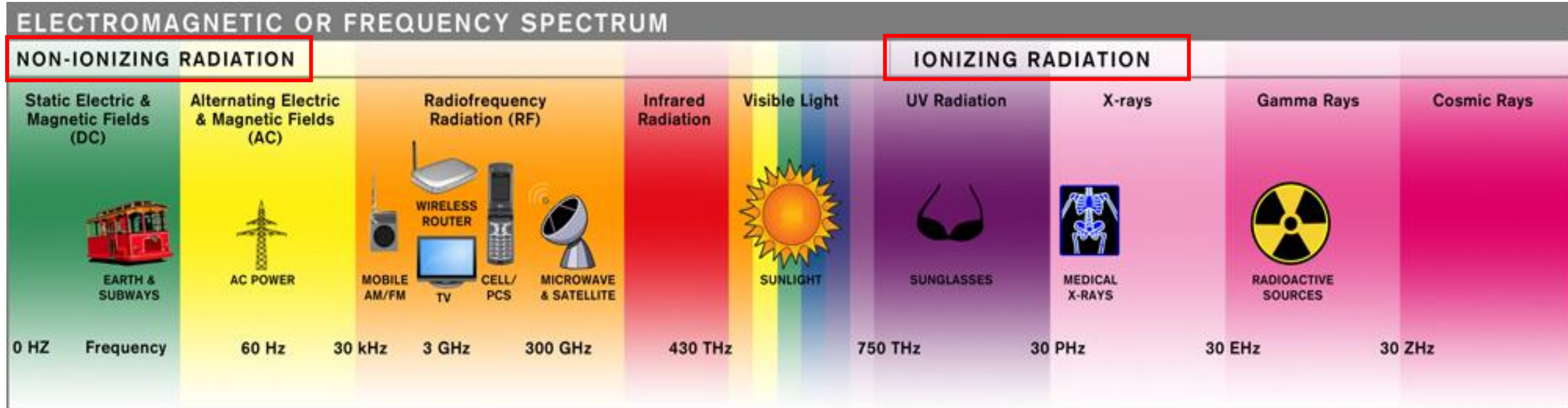


Longitudinalni val

- čestice sredstva titraju u smjeru širenja vala (titranje opruge, zvučni valovi koji se u zraku šire brzinom od 340 m/s)-ovisno o uvjetima atmosfere

Radio valovi

Vrsta elektromagnetnog zračenja u frekvencijskom opsegu od 3KHz do 300 GHz,
(Narančasti stupac na slici!)



Radio valovi

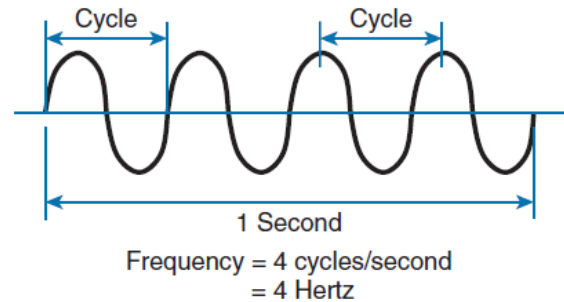
Radio valove možemo mjeriti i prikazati na više načina:

- Frekvencija vala
- Faza vala
- Valna duljina vala
- Amplituda ili snaga vala

Radio valove možemo mjeriti i prikazati na više načina:

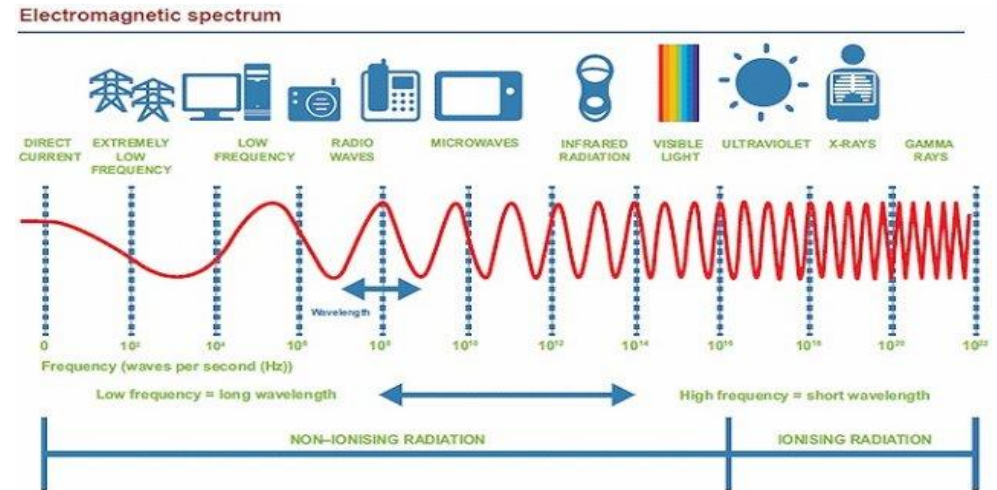
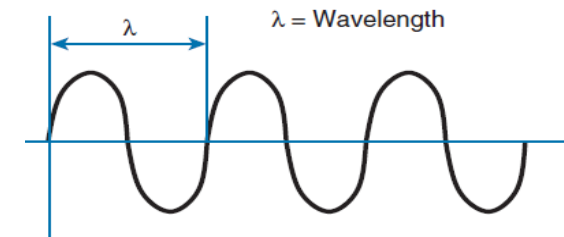
- Frekvencija vala

Broj titraja u određenom vremenskom intervalu
Mjerna jedinica Hertz (Hz)



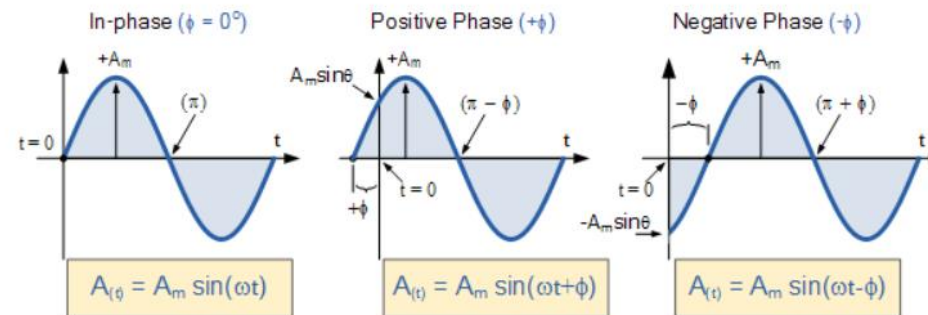
- Valna duljina vala

Udaljenost najbližih točaka dva susjedna „brijega” ili „dola”
Mjerna jedinica metar (m)



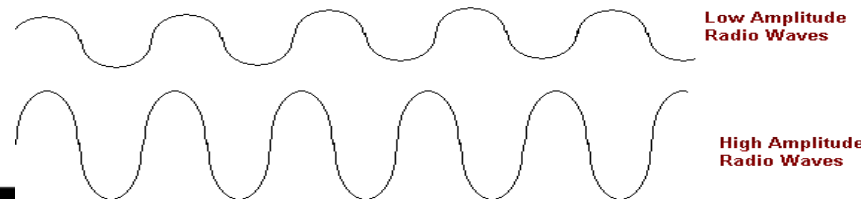
- Faza vala

Položaj i brzina vala u određenom vremenskom intervalu
Mjerna jedinica stupnjevi 0-360)



- Amplituda ili snaga vala

Maksimalna udaljenost čestice od ravnotežnog položaja



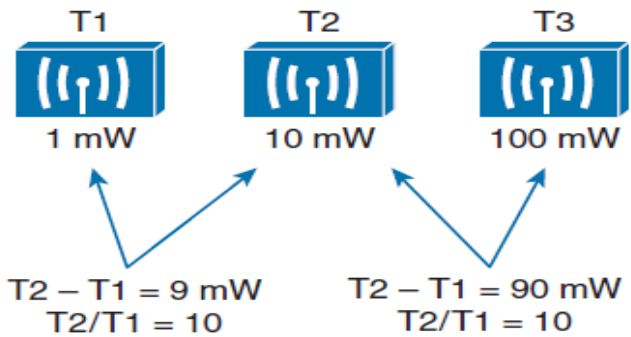
RF Power - Math

FM radio stanica emitira signal snagom 16000 W ili 16 KW

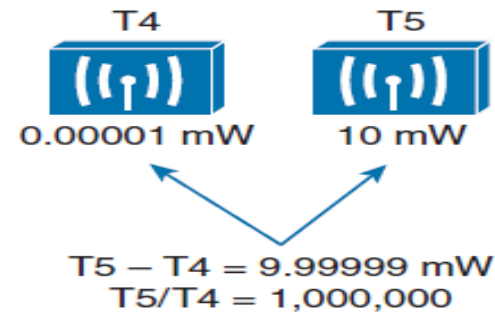
WLAN odašiljač emitira snagom između 0.1 W (100 mW) i 0.001 W (1mW)

10^{-3} W	mW	milliwatt		10^3 W	kW	kilowatt
10^{-6} W	μ W	microwatt		10^6 W	MW	megawatt
10^{-9} W	nW	nanowatt		10^9 W	GW	gigawatt
10^{-12} W	pW	picowatt		10^{12} W	TW	terawatt

Kada snagu signala mjerimo u W (Watt) iskazujemo ju u apsolutnoj mjernoj jedinici



- T2 10 puta snažnije emitira signal u odnosu na T1
- T3 100 puta snažnije u odnosu na T1



- T5 čak milijun puta snažnije emitira signal u odnosu na T4

RF Power - Math

- S obzirom da iskazivanje snage vala u apsolutnoj jedinici snage u W ima veliki raspon kojeg je teško obuhvatiti i prikazivati na grafikonima potrebno je taj eksponencijalni raspon svesti u logaritamski
- To radimo pomoću inverzne (obrnute) funkcije koristeći logaritme i iskazujući referentne vrijednosti u Decibelima (dB)
- dB (decibel) logaritamska jedinica koja nam služi za prikaz omjera dvije apsolutne vrijednosti
- dBm je apsolutna mjerna jedinica snage izražena u decibelima u odnosu na 1 mW
- Koristi se za iskaz snage predajnika i osjetljivost prijemnika

dBm - Volts - Watts Power Conversion Chart (into 50 ohms)

$$\text{dBm} = 10 \log (P \text{ in mW})$$

$$P = V_{\text{RMS}}^2 / R$$

$$P = (V_{\text{PP}} \times .3535)^2 / R$$

dBm	V _{RMS}	V _{PP}	Watts	dBm	V _{RMS}	V _{PP}	Watts
+40 dBm	22.5 V	63.6 V	10.1 W	-30 dBm	7.1 mV	20 mV	1 μW
+38 dBm	18.0 V	50.9 V	6.4 W	-35 dBm	4.0 mV	11 mV	0.3 μW
+37 dBm	16.0 V	45.3 V	5.0 W	-40 dBm	2.25 mV	6.36 mV	
+36 dBm	14.1 V	39.9 V	4.0 W	-45 dBm	1.25 mV	3.54 mV	
+34 dBm	11.5 V	32.5 V	2.5 W	-50 dBm	.71 mV	2.0 mV	
+32 dBm	9.0 V	25.5 V	1.6 W	-55 dBm	.40 mV	1.1 mV	
+30 dBm	7.1 V	20.1 V	1.0 W	-60 dBm	.22 mV	.62 mV	
+28 dBm	5.8 V	16.4 V	640 mW	-65 dBm	128 μV	362 μV	
+26 dBm	4.4 V	12.4 V	400 mW	-70 dBm	71 μV	201 μV	
+24 dBm	3.6 V	10.2 V	250 mW	-75 dBm	40 μV	113 μV	
+22 dBm	2.8 V	7.9 V	160 mW	-80 dBm	22 μV	62 μV	
+20 dBm	2.2 V	6.2 V	100 mW	-85 dBm	13 μV	37 μV	
+18 dBm	1.8 V	5.1 V	64 mW	-90 dBm	7 μV	20 μV	
+16 dBm	1.4 V	4.0 V	40 mW	-95 dBm	4 μV	11 μV	
+14 dBm	1.1 V	3.1 V	25 mW	-100 dBm	2.25 μV	6.36 μV	
+12 dBm	0.9 V	2.5 V	16 mW	-102 dBm	1.80 μV	5.09 μV	
+10 dBm	0.7 V	2.0 V	10 mW	-104 dBm	1.41 μV	4.0 μV	
+8 dBm	580 mV	1.6 V	6.4 mW	-106 dBm	1.18 μV	3.33 μV	
+6 dBm	445 mV	1.3 V	4.0 mW	-108 dBm	0.90 μV	2.5 μV	
+4 dBm	355 mV	1.0 V	2.5 mW	-110 dBm	0.71 μV	2.0 μV	
+2 dBm	280 mV	0.8 V	1.6 mW	-112 dBm	0.58 μV	1.6 μV	
0 dBm	225 mV	640 mV	1.0 mW	-114 dBm	0.45 μV	1.3 μV	
-2 dBm	180 mV	510 mV	648 μW	-116 dBm	0.36 μV	1.0 μV	
-4 dBm	141 mV	399 mV	398 μW	-118 dBm	0.29 μV	.82 μV	
-6 dBm	115 mV	325 mV	265 μW	-120 dBm	0.23 μV	.65 μV	
-8 dBm	90 mV	255 mV	162 μW	-122 dBm	0.18 μV	.51 μV	
-10 dBm	71 mV	201 mV	100 μW	-124 dBm	0.14 μV	.40 μV	
-15 dBm	40 mV	113 mV	30 μW	-126 dBm	0.12 μV	.34 μV	
-20 dBm	22 mV	62 mV	10 μW	-128 dBm	0.09 μV	.25 μV	
-25 dBm	13 mV	37 mV	3 μW	-130 dBm	0.07 μV	.20 μV	

RF Power – Math dBm



Signal Strength:

Excellent

> -50 dBm



Signal Strength:

Good

-50 to -60 dBm



Signal Strength:

Fair

-60 to -70 dBm



Signal Strength:

Poor

< -70 dBm

RF Power – Math dBm

$$dB = 10 \log \frac{P}{P(ref)}$$

dB – omjer dvije apsolutne vrijednosti u mW

dB je puno lakše grafički prikazati nego snagu zbog reda veličina 1 W vs 0.00003 W

$$P(dBm) = 10 \log \frac{P(mW)}{1mW}$$

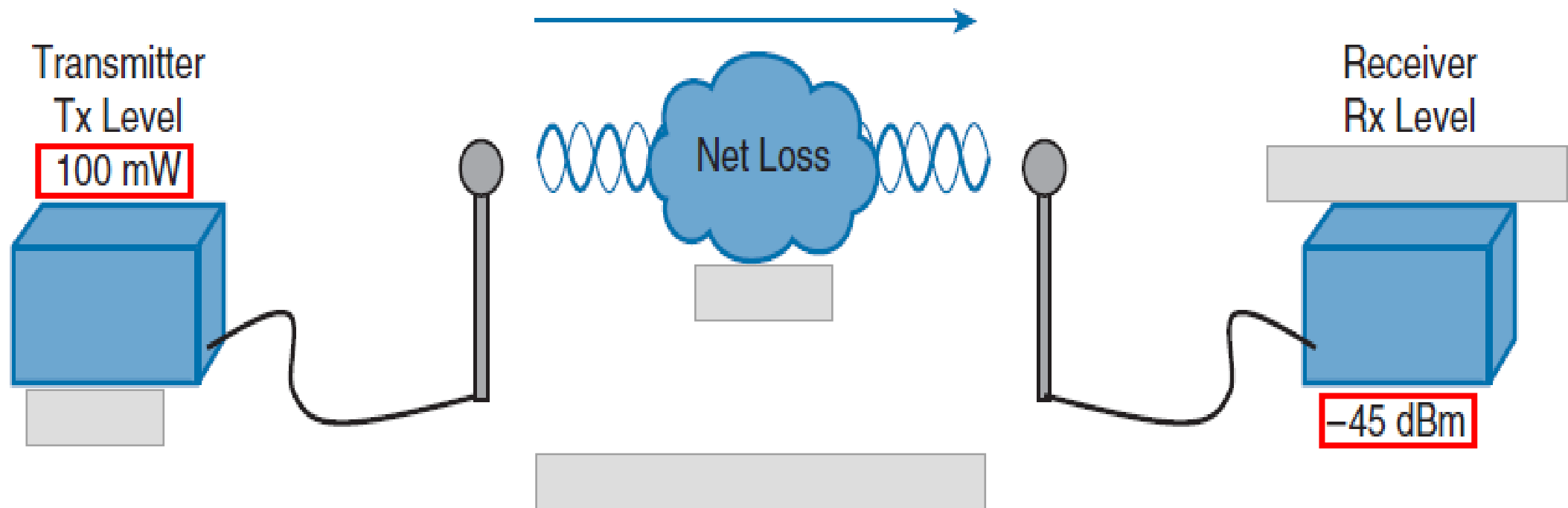
Pretvaranje mW u dBm

$$P(mW) = 10^{\frac{P(dBm)}{10}}$$

Pretvaranje dBm u mW

<https://www.youtube.com/watch?v=Vs8id1RxB0>

RF Power – Math izračun



RF Power – Math dBm

$$dB = 10 \log \frac{P}{P(\text{ref})}$$

$$P(\text{dBm}) = 10 \log \frac{P(\text{mW})}{1\text{mW}}$$

$$P(\text{mW}) = 10^{\frac{P(\text{dBm})}{10}}$$

Pretvaranje mW u dBm (za primjer gore dobijemo 20mW)

Zatim 20 - (-45) = 65dBm (razlika)

Izračun snage na prijemniku

$$= 10^{[P(\text{dBm})/10]}$$

$$= 10^{[-45/10]}$$

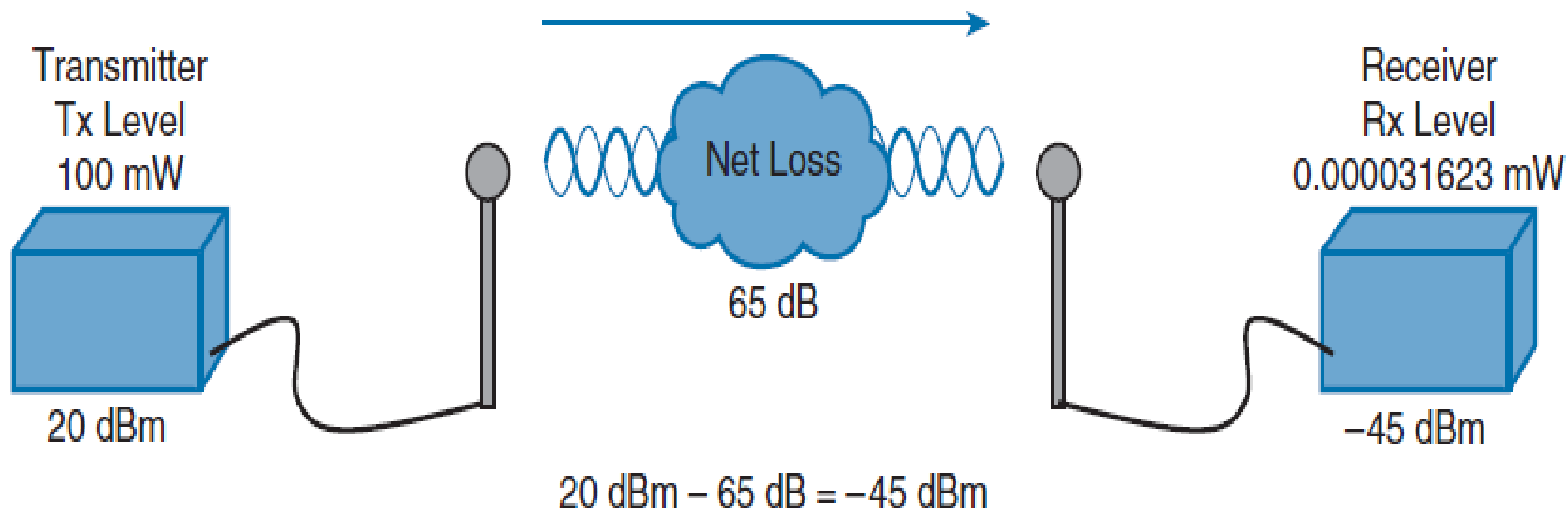
$$= 10^{-4.5}$$

$$= 3.1623 \cdot 10^{-4.5}$$

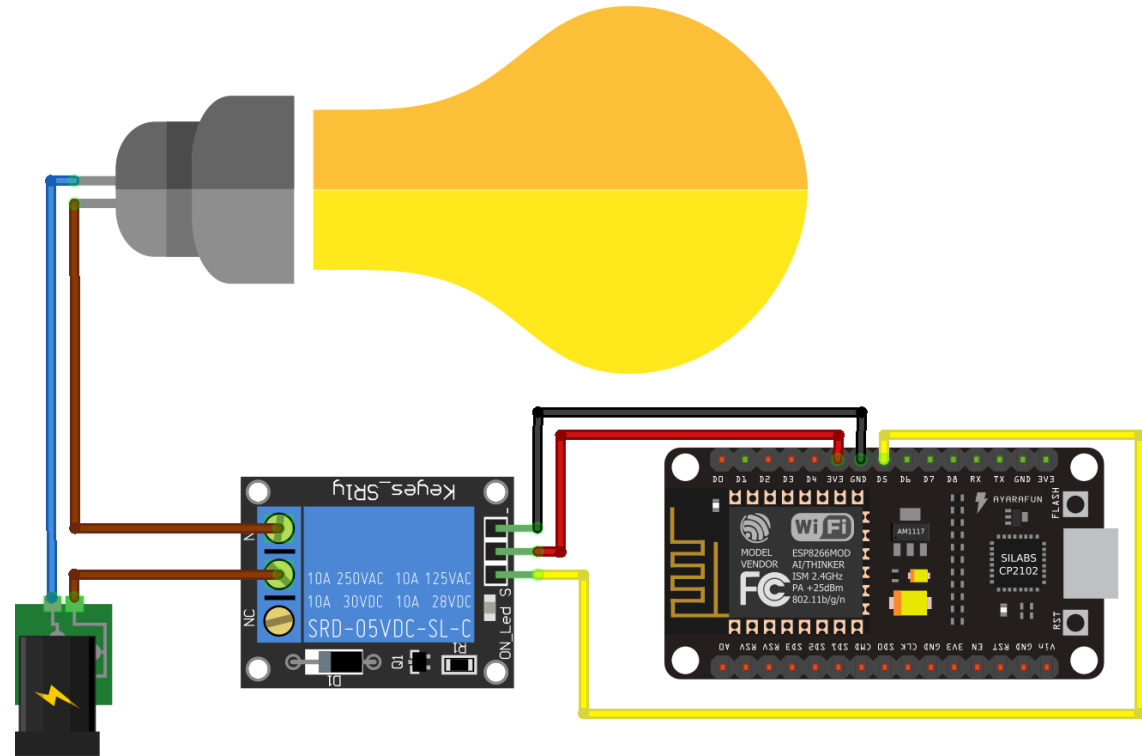
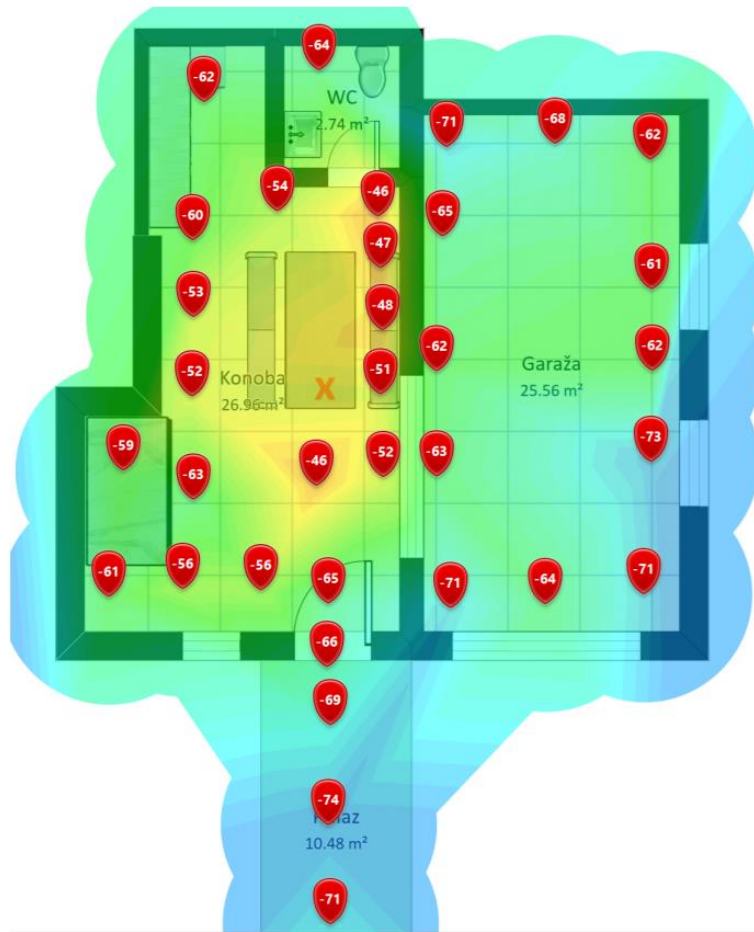
$$= 0.000031623 \text{ mW}$$

<https://www.youtube.com/watch?v=Vs8id1RxB0>

RF Power – Math rješenje



WalkLight solution

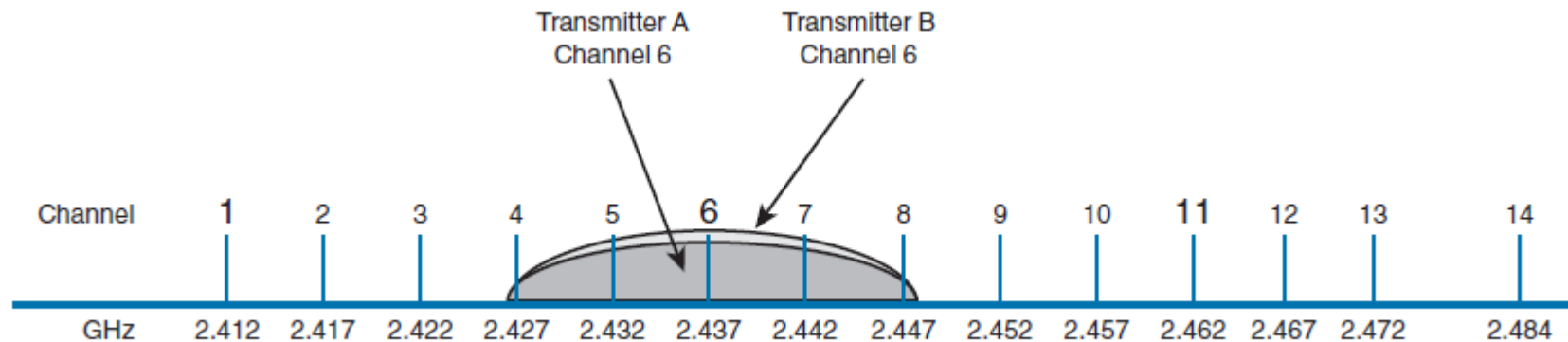




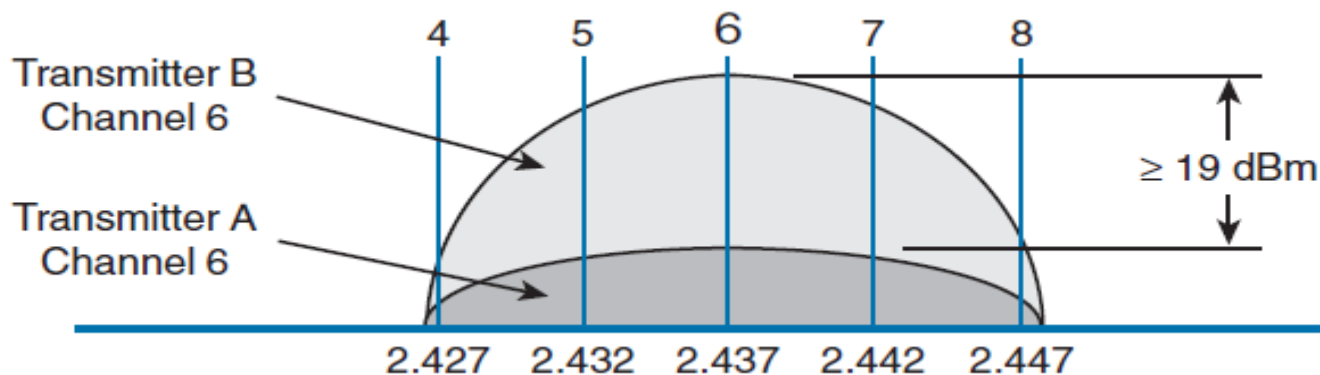
INTERFERENCIJA

Co-Channel interferencija – interferencija kanala

Kada dva ili više primopredajnika (transmitters) koriste isti kanal u istom vremenskom intervalu dolazi do interferencije kanala.



Najbolja praksa: min razlika u jačini signala mora biti 19dBm da interferencija dva transmitera na istim kanalima ne uzrokuje probleme u slanju i primanju signala – zdravi SNR (signal to noise ratio)!

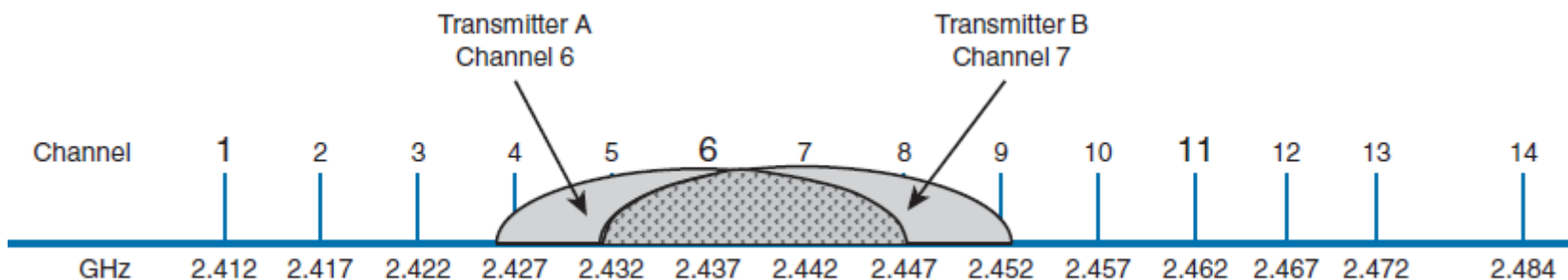


INTERFERENCIJA

Neighboring Channel Interference

Dva transmittera koriste različite ali preklapajuće kanale

Iako su različiti kanali njihovo preklapanje je toliko da ometa rad oba transmittera

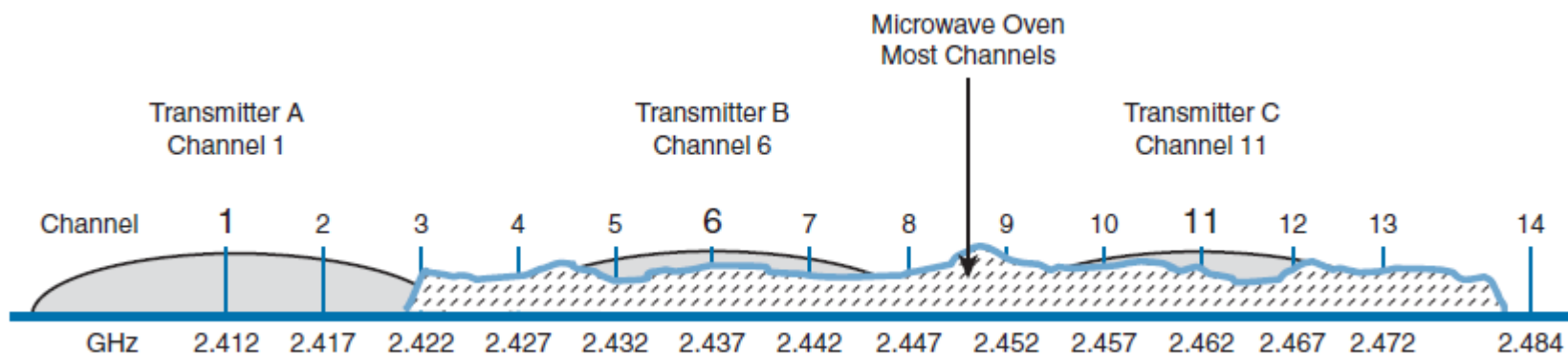


INTERFERENCIJA

Interferencija sa drugim uređajima – non 802.11

Mikrovalne pećnice, bežični telefoni, bežične kamere

Potrebno je navedene non 802.11 uređaje maknuti što dalje od našeg AP-a



Utjecaj na WiFi signal

Device	Max. Latency (ms)	Max (dBm)	Network Data rate (Mb/s)	Data loss (%)
Bluetooth earphones standard 1.1	3061	-42	1	32.8
Microwave oven at 3 m	3016	-32	3.5	19.7
Game console	130	-54	3.5	9
Cordless phone	No effect	N/A	No effect	0
Wireless camera	>10000	-42	1	100
802.11 b device	1627	-62	3.5	29

Refleksija

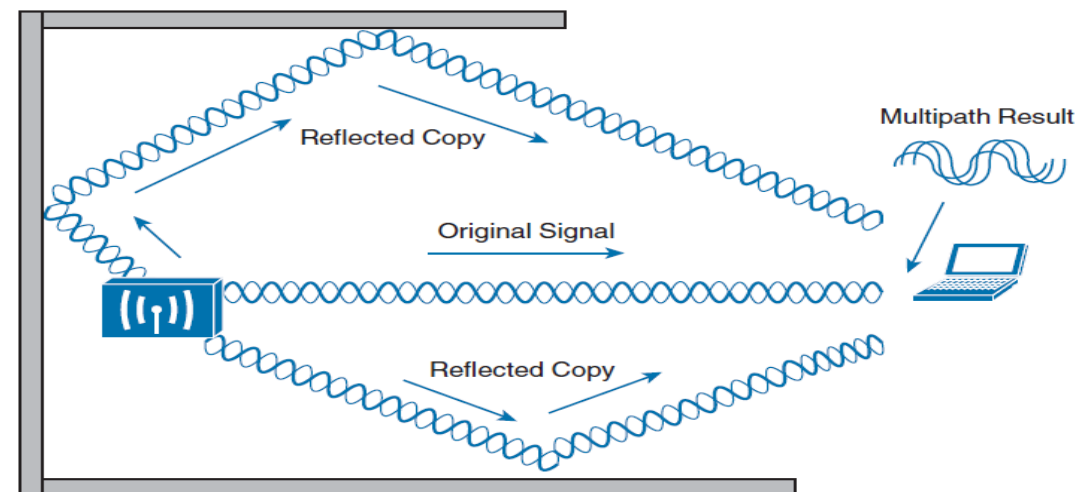
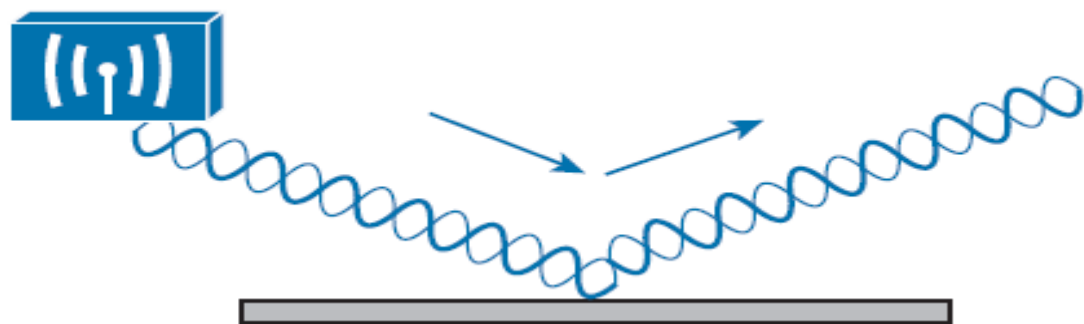
Indoor – metalna vrata, metalni namještaj

Outdoor – voda, stakla na zgradama ili površina Zemlje

Refleksija stvara kopiju signala što ne mora nužno biti loše

Ovisi o našem uređaju da li ima podršku za MIMO (multiple-input – multiple-output)

Ako imamo samo jednu antenu refleksija će rezultirati slabim signalom, ako imamo podršku za MIMO moguće je primiti originalni i reflektirani signal na dvije antene kao dva različita stream-a što može rezultirati i čak boljim performansama

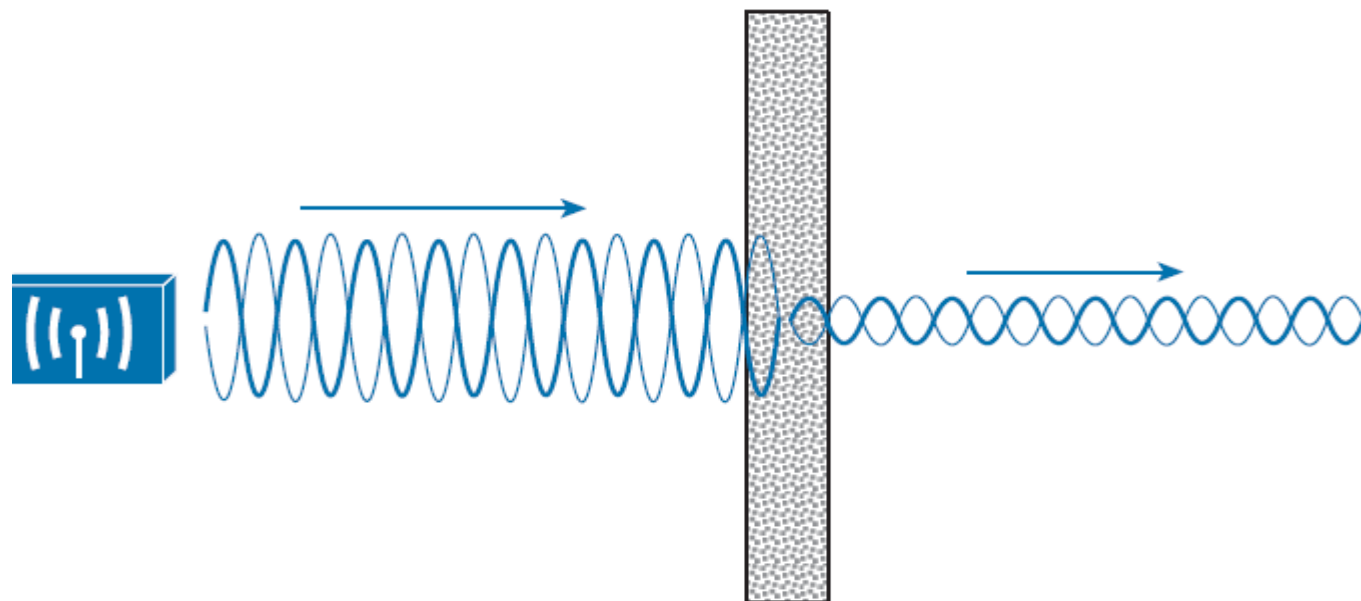


Apsorpcija

Indoor – pregradni zid od gipsa (siporeks, knauf) apsorbiraju tj. oslabljuju signal za -4 dBm, nosivi armirani zid za -12 dBm, još deblji zidovi mogu i više

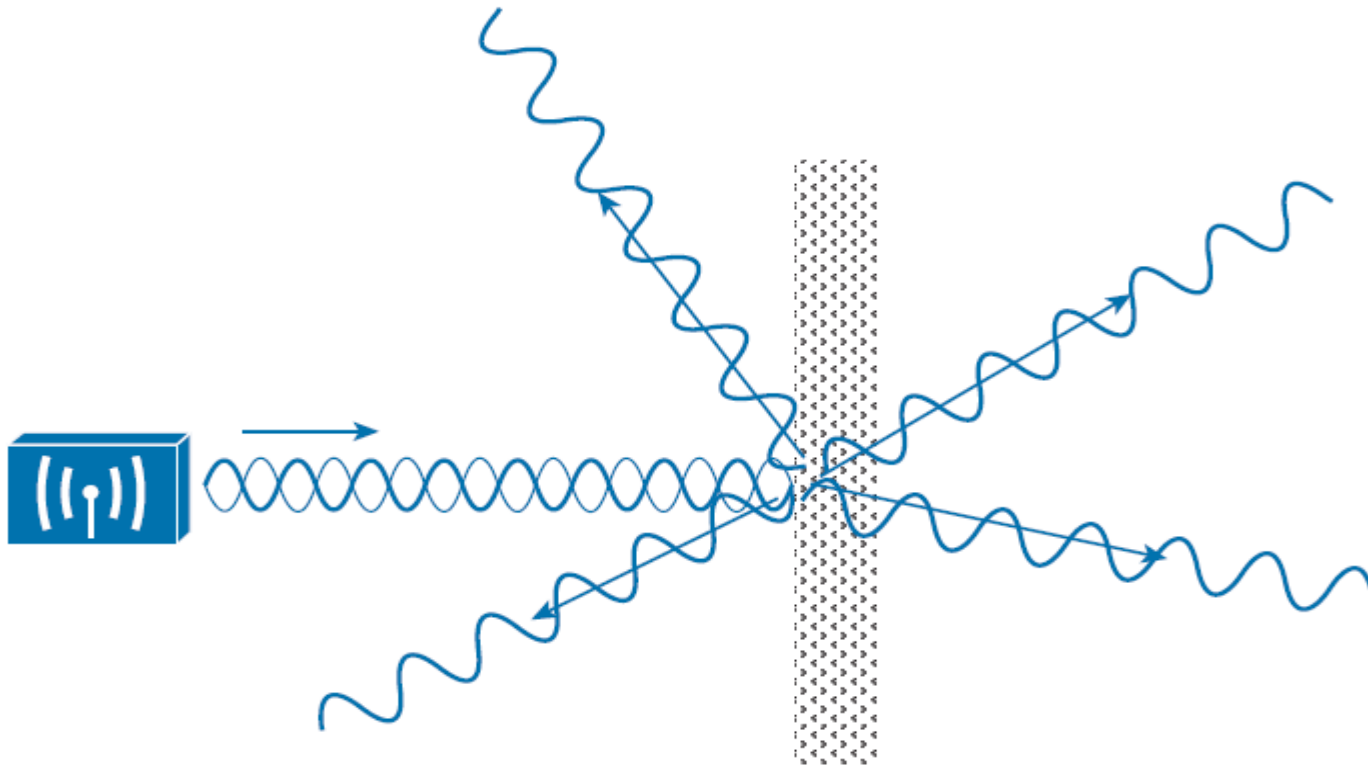
Outdoor – magla, kiša i snijeg također utječu na jačinu signala

Ljudsko tijelo također može apsorbirati dio signala -5 dBm



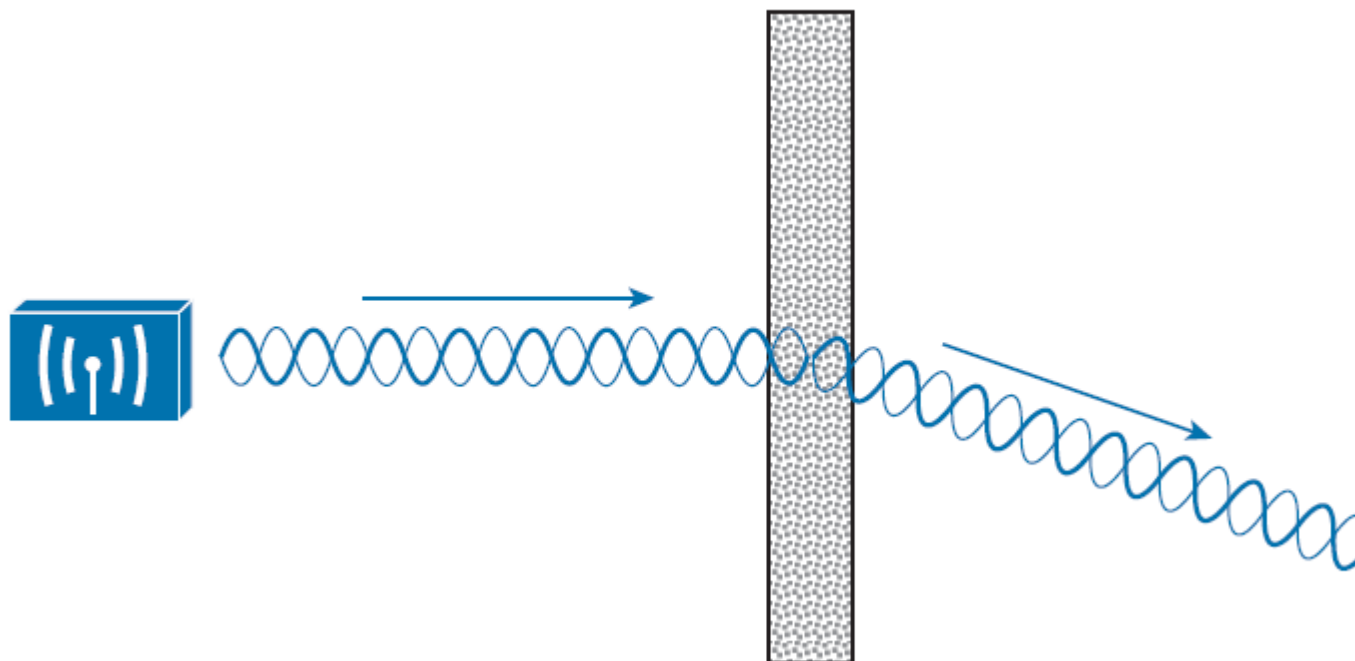
Scattering – raspršivanje signala

Kada signal dođe do medija koji je neujednačen ili sitne nepravilne površine dolazi do raspršivanja signala u raznim smjerovima – npr. pijesak, prašina



Refraction – prelamanje signala

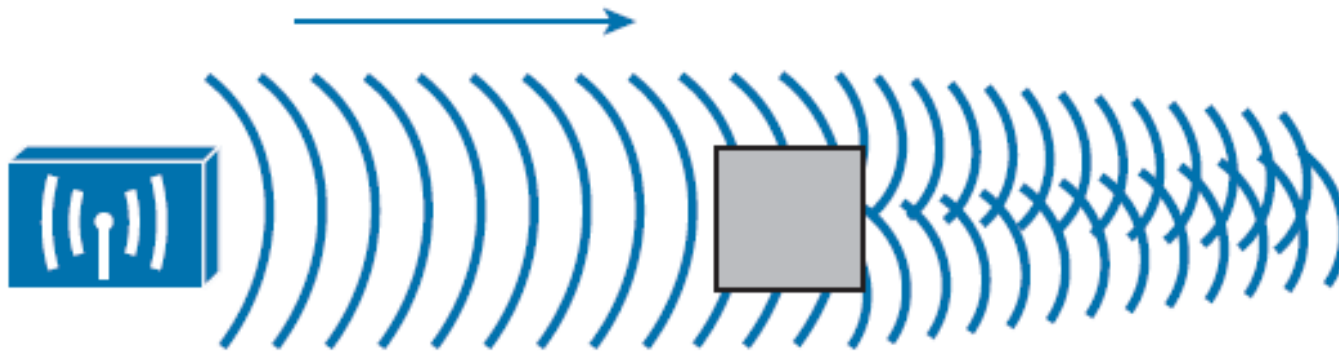
Prelamanje signala se događa kada signal prolazi kroz medij različite gustoće npr. kroz različite slojeve atmosfere ili zidove različite gustoće



Diffraction – ogib vala

fizikalna pojava koja nastaje zbog skretanja valova iza ruba zapreke na koju valovi naiđu

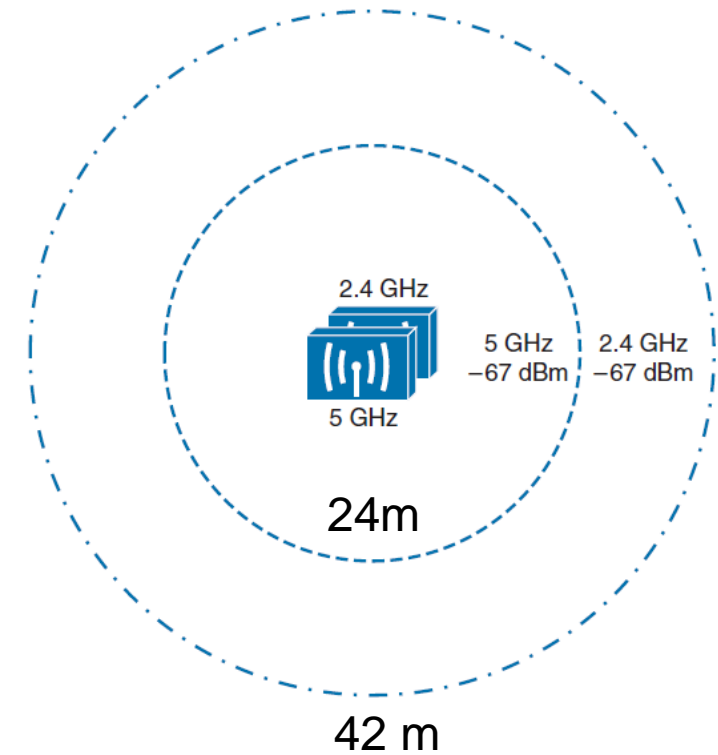
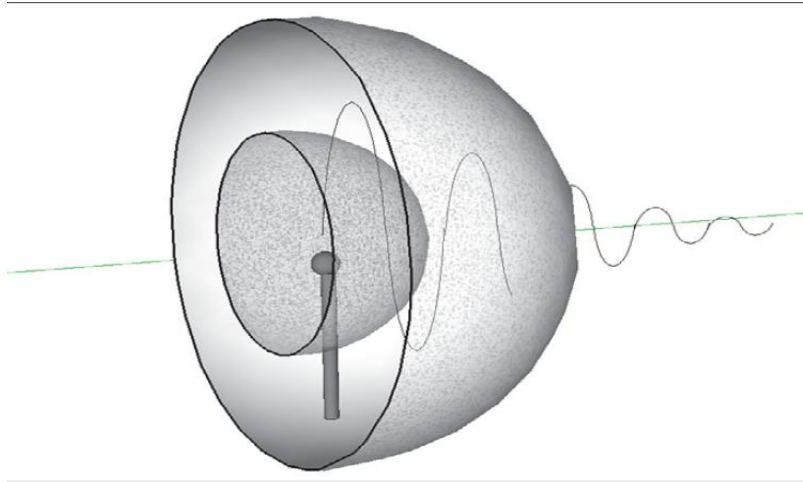
Difrakcija signala čini mogućim primiti signal iza prepreke koja stoji na putu kretanja signala od transmitera do recievera (npr. zgrada). To će rezultirati uništenim ili degradiranim signalom u odnosu na originalni.



Free Space Path Loss

Gubitak snage signala prolaskom kroz slobodan prostora – zrak ili vakum

Slabljenje signala zbog rasprostiranja signala u svim smjerovima – što je udaljenost veća to je signal slabiji



Gubitak signala ovisi samo o frekvenciji i udaljenosti od transmitera

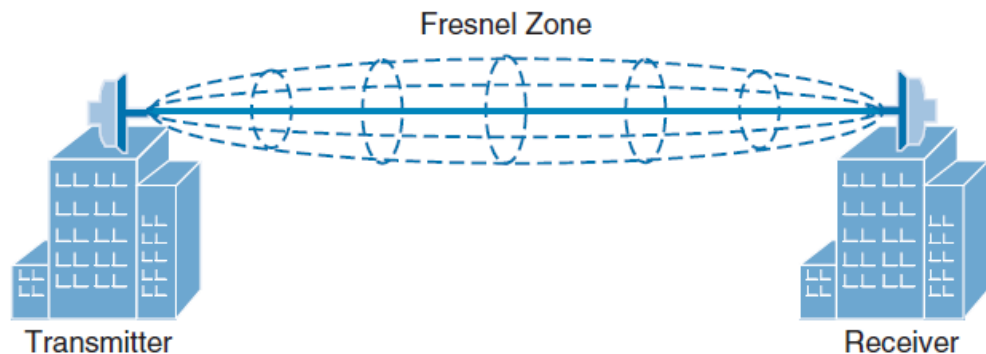
Što je veća frekvencija to je propagacija signala manja

Kako izbjeći/umanjiti FSPL?

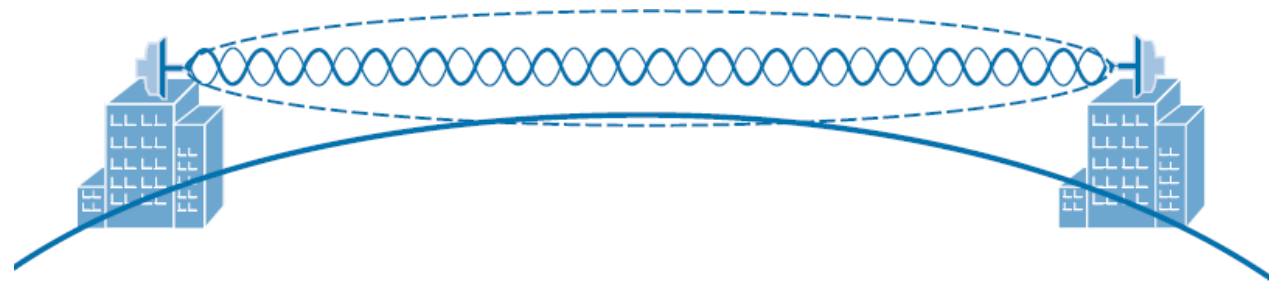
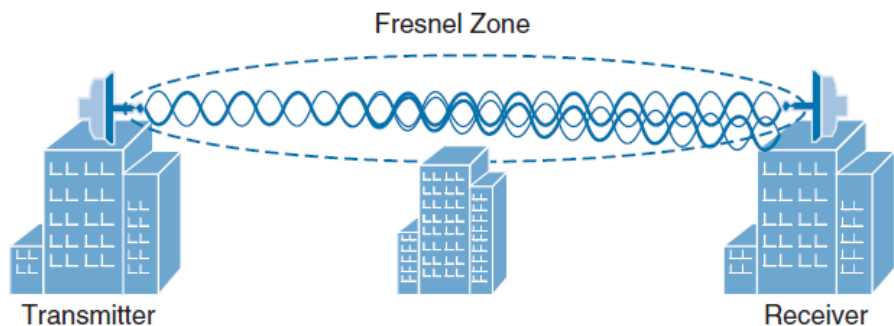
- Pojačati snagu signala na transmiteru/AP-u
- Ili približiti uređaj/reciever transmiteru/AP-u

Fresnelova zona

Zona je eliptičnog oblika te označava zonu u kojoj ne smije biti prepreka kako ne bi došlo do interferencije signala. Važno kod point-to-point i point-to-multipoint outdoor povezivanja!



I niži objekti na putu signala ne smiju biti u Fresneloj zoni jer mogu uzrokovati interferenciju
Kod velikih udaljenosti i zakrivljenost Zemlje može uzrokovati interferenciju





Kako radi WiFi mreža

Upravljački okviri (Management frames)

Koriste se za oglašavanje BSS-a (basic service set), te za upravljanje klijentima, za njihovo pridruživanje i napuštanje BSS-a (tj. AP-a)

Ovo su najbitniji upravljački okvira (management frames):

1. Beacon
2. Probe
3. Authentication i deauthentication
4. Association, disassociation i reassociation

- IEEE 802.11 protokol ima u MAC frame-u 4 adresna polja: Receiver, Transmitter, Destination i Source Address (za razliku od IEEE 802.3 Etherneta gdje postoje samo source i destination).

5.313070	192.168.10.3	17.253.55.201	HTTP	-40 dBm
<				
Receiver address: Cisco_47:eb:28 (e8:65:49:47:eb:28)				
Transmitter address: Apple_9f:bb:88 (48:4b:aa:9f:bb:88)				
Destination address: Cisco_f5:ad:c4 (00:1d:70:f5:ad:c4)				
Source address: Apple_9f:bb:88 (48:4b:aa:9f:bb:88)				
BSS Id: Cisco_47:eb:28 (e8:65:49:47:eb:28)				
STA address: Apple_9f:bb:88 (48:4b:aa:9f:bb:88)				

Kako radi WiFi mreža

Management frames - beacon

- Beacon je vrsta frame-a koju broadcasta AP kako bi oglasio BSS (basic service set) **koristeći SSID**.
- Beacon se šalje svim uređajima u BSA (basic service area) znači u dometu signala AP-a, svakih 100 ms (milisekundi).
- Ukoliko imamo na jednom AP-u više definiranih SSID-eva broadcastaju se različiti beacons za svaki SSID.
- Klijent može saznati za SSID slušajući beacons, to zovemo pasivnim skeniranjem

Management frames - beacon

```

RX flags: 0x0000
..... = Bad PLCP: False
IEEE 802.11 Beacon frame, Flags: .....C
Type/Subtype: Beacon frame (0x08)
Frame Control Field: 0x8000
.... ..00 = Version: 0
.... 00.. = Type: Management frame (0)
1000 .... = Subtype: 8
Flags: 0x00
.... ..00 = DS status: Not leaving DS or network is operating in AD-HOC mode (To DS: 0 From DS: 0) (0x00)
.... .0.. = More Fragments: This is the last fragment
.... 0... = Retry: Frame is not being retransmitted
...0 .... = PWR MGT: STA will stay up
..0. .... = More Data: No data buffered
.0.. .... = Protected flag: Data is not protected
0... .... = Order flag: Not strictly ordered
.000 0000 0000 0000 = Duration: 0 microseconds
Receiver address: Broadcast (ff:ff:ff:ff:ff:ff)
Destination address: Broadcast (ff:ff:ff:ff:ff:ff)
Transmitter address: Cisco-Li_a0:5b:16 (58:6d:8f:a0:5b:16)
Source address: Cisco-Li_a0:5b:16 (58:6d:8f:a0:5b:16)
BSS Id: Cisco-Li_a0:5b:16 (58:6d:8f:a0:5b:16)
Fragment number: 0
Sequence number: 625
Frame check sequence: 0xc1d5e16e [correct]

```

Handwritten red annotations:

- A circle around 'RA' and 'DA' with arrows pointing to the broadcast addresses.
- 'TA' and 'SA' are underlined.
- 'AP' is written on the right.

Management frames - beacon

The image shows a Wireshark packet capture window. The top pane displays a list of packets. Packet 7 is a Management frame (Beacon frame) from Cisco-Li_a0:5b to Broadcast. The bottom pane shows the details of this frame, including flags and channel information. Handwritten red annotations highlight 'FCS at end: True' and '2412 [BG 1]' in the details pane, with red arcs and numbers 1, 6, and 11 pointing to these elements.

No.	Source	Destination	Protocol	Type	Info
1	Alfa_65:f7:ca	Broadcast	802.11	Management frame	Probe Request, SN=106, FN=0, Flags=....., SSID=Broadcast
2	Cisco-Li_a0:5b	Alfa_65:f7:ca	802.11	Management frame	Probe Response, SN=3121, FN=0, Flags=....R...C, BI=100, SSID=c4200-2..
3	Alfa_65:f7:ca	Cisco_ee:d4:d8	802.11	Data frame	Data, SN=111, FN=0, Flags=.p....T
4	Apple_08:4c:ef	Cisco-Li_a0:5b:16 (RA)	802.11	Control frame	Request-to-send, Flags=.....C
5	Apple_08:4c:ef (RA)	Apple_08:4c:ef (RA)	802.11	Control frame	Clear-to-send, Flags=.....C
6	Cisco-Li_a0:5b	Apple_08:4c:ef (RA)	802.11	Control frame	802.11 Block Ack, Flags=.....C
7	Cisco-Li_a0:5b	Broadcast	802.11	Management frame	Beacon frame, SN=625, FN=0, Flags=.....C, BI=100, SSID=c4200-2.4

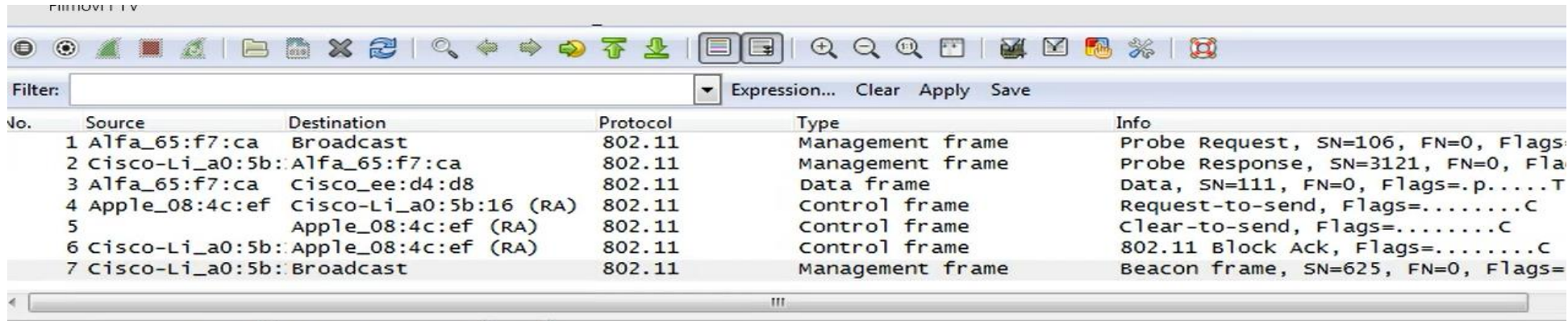
Flags: 0x10
.... ..0 = CFP: False
.... ..0. = Preamble: Long
.... .0.. = WEP: False
.... 0... = Fragmentation: False
...1 = **FCS at end: True**
..0. = Data Pad: False
.0. = Bad FCS: False
0... = Short GI: False
Data Rate: 1.0 Mb/s
Channel frequency: **2412 [BG 1]**
channel type: 802.11b (0x00a0)

1 6 11

Management frames - beacon

- 0... .. = Immediate Block Ack: Not Implemented
- ▣ Tagged parameters (194 bytes)
 - ▣ Tag: SSID parameter set: c4200-2.4
Tag Number: SSID parameter set (0)
Tag length: 9
SSID: c4200-2.4
 - ▣ Tag: Supported Rates 1(B), 2(B), 5.5(B), 11(B), 18, 24, 36, 54, [Mbit/sec]
Tag Number: Supported Rates (1)
Tag length: 8
Supported Rates: 1(B) (0x82)
Supported Rates: 2(B) (0x84)
Supported Rates: 5.5(B) (0x8b)
Supported Rates: 11(B) (0x96)
Supported Rates: 18 (0x24)
Supported Rates: 24 (0x30)
Supported Rates: 36 (0x48)
Supported Rates: 54 (0x6c)
 - ▣ Tag: DS Parameter set: Current Channel: 1
Tag Number: DS Parameter set (3)
Tag length: 1
Current Channel: 1
 - ▣ Tag: Traffic Indication Map (TIM): DTIM 0 of 0 bitmap
Tag Number: Traffic Indication Map (TIM) (5)
Tag length: 4
DTIM count: 0
DTIM period: 1
 - ▣ Bitmap control: 0x00
.... ...0 = Multicast: False

Management frames - beacon



No.	Source	Destination	Protocol	Type	Info
1	Alfa_65:f7:ca	Broadcast	802.11	Management frame	Probe Request, SN=106, FN=0, Flags=
2	Cisco-Li_a0:5b:	Alfa_65:f7:ca	802.11	Management frame	Probe Response, SN=3121, FN=0, Fla
3	Alfa_65:f7:ca	Cisco_ee:d4:d8	802.11	Data frame	Data, SN=111, FN=0, Flags=.p....T
4	Apple_08:4c:ef	Cisco-Li_a0:5b:16 (RA)	802.11	Control frame	Request-to-send, Flags=.....C
5		Apple_08:4c:ef (RA)	802.11	Control frame	Clear-to-send, Flags=.....C
6	Cisco-Li_a0:5b:	Apple_08:4c:ef (RA)	802.11	Control frame	802.11 Block Ack, Flags=.....C
7	Cisco-Li_a0:5b:	Broadcast	802.11	Management frame	Beacon frame, SN=625, FN=0, Flags=

```
Extended Supported Rates: 12 (0x18)
Extended Supported Rates: 48 (0x60)
Tag: HT Capabilities (802.11n D1.10)
  Tag Number: HT Capabilities (802.11n D1.10) (45)
  Tag length: 26
  HT Capabilities Info: 0x18fc
    .... 0 = HT LDPC coding capability: Transmitter does not support receiving LDPC coded packets
    .... 00. = HT Support channel width: Transmitter only supports 20MHz operation
    .... 11.. = HT SM Power Save: SM Power Save disabled (0x0003)
    .... 1... = HT Green Field: Transmitter is able to receive PPDUs with Green Field (GF) preamble
    .... .1. .... = HT Short GI for 20MHz: supported
    .... .1.. .... = HT Short GI for 40MHz: supported
    .... 1... .... = HT Tx STBC: supported
    .... ..00 .... = HT Rx STBC: No Rx STBC support (0x0000)
    .... .0.. .... = HT Delayed Block ACK: Transmitter does not support HT-Delayed BlockAck
    .... 1... .... = HT Max A-MSDU length: 7935 bytes
    .... .1 .... = HT DSSS/CCK mode in 40MHz: will/can use DSSS/CCK in 40 MHz
    .... .0. .... = HT PSMP Support: won't/can't support PSMP operation
    .... .0.. .... = HT Forty MHz Intolerant: Use of 40 MHz transmissions unrestricted/allowed
    .... 0... .... = HT L-SIG TXOP Protection support: Not supported
  A-MPDU Parameters: 0x1b
    .... ..11 = Maximum Rx A-MPDU Length: 0x03 (65535[Bytes])
    .... .1 10.. = MPDU Density: 8 [usec] (0x06)
    .... 000. .... = Reserved: 0x00
  Rx Supported Modulation and Coding Scheme Set: MCS Set
    Rx Modulation and Coding Scheme (One bit per modulation)
      .... 1111 1111 = Rx Bitmask Bits 0-7: 0x000000ff
      .... 1111 1111 = Rx Bitmask Bits 8-15: 0x000000ff
```

Management frames - probe request i probe response

Druga vrsta management frame-ova su probe frame-ovi (**probe request**) koje aktivno šalju wireless uređaji kako bi:

1. pronašli BSS s kojim su već imali asocijaciju – šalju „**direct probe**” frame.
2. pronašli novi BSS na određenom kanalu – šalju „**null probe**” frame.

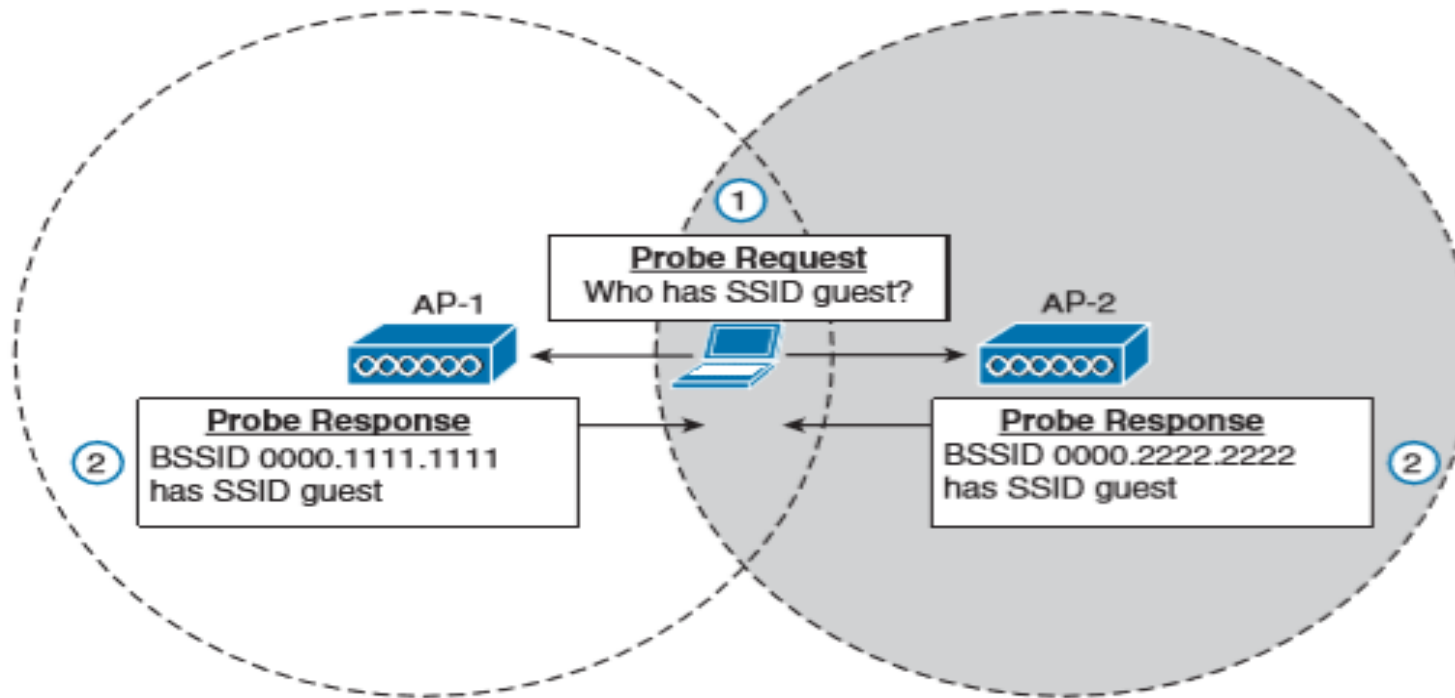
AP odgovara slanjem **probe responsa** koji sadrži informacije iste kao i beacon.

Ovaj postupak zovemo **aktivno skeniranje**, i krajnji uređaji u većini koriste aktivno skeniranje za pronalazak BSS-a.

Management frames - probe request i probe response

Management frames - probe

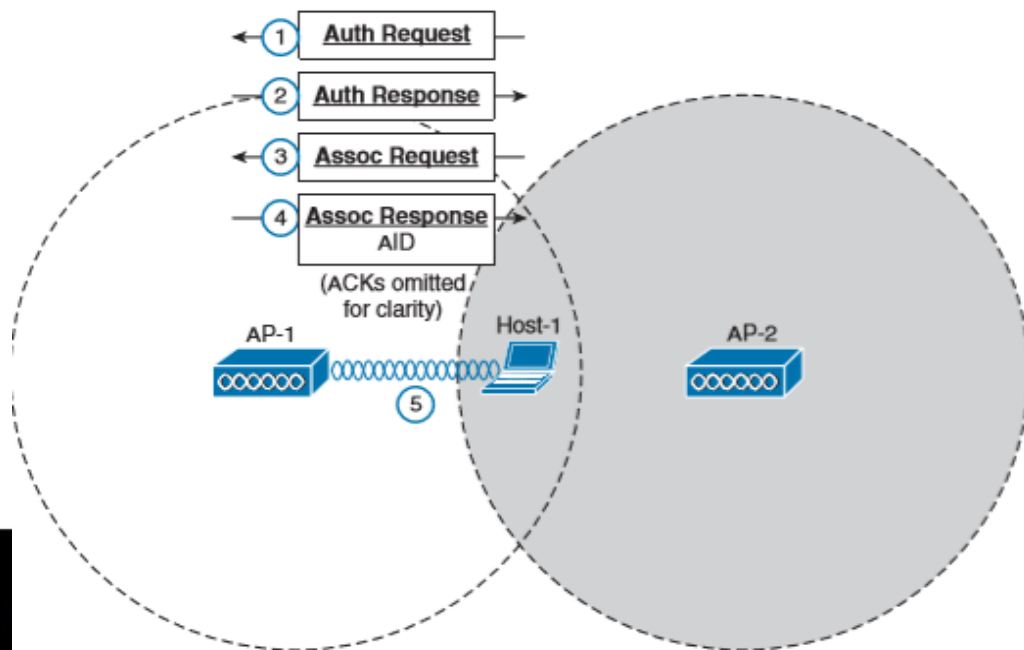
Primjer aktivnog skeniranja gdje klijent šalje probe request AP-u



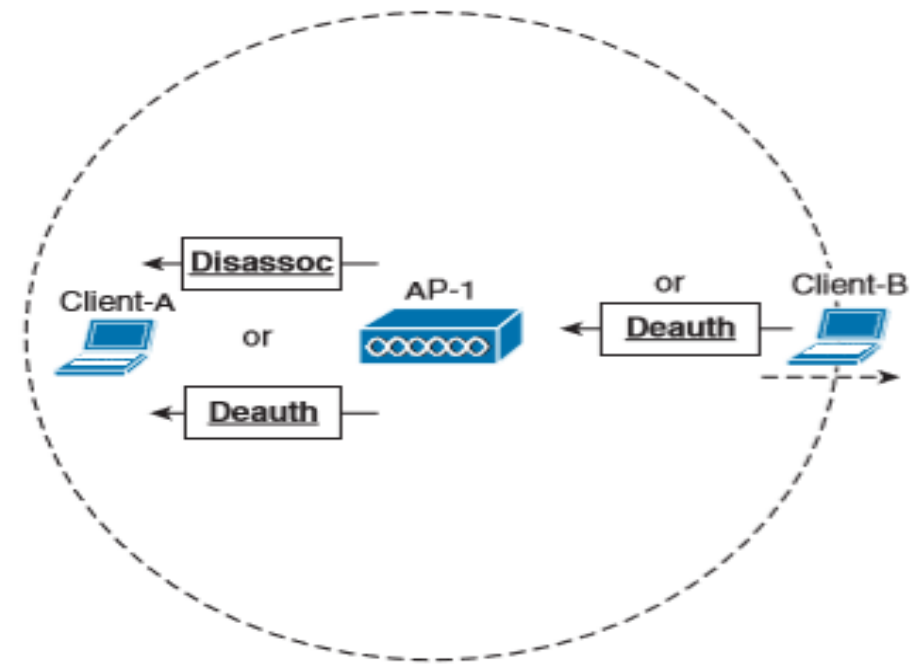
Management frames - Association, disassociation i reassociation

- Kada je klijent autentificiran može poslati association request frame AP-u kako bi zatražio dozvolu za pridruživanje BSS-u.
- Ako je klijent kompatibilan sa parametrima AP-a (misli se na 802.11 standarde) AP će odgovoriti sa association response frame-om dodjeljujući klijentu AID (association Identifier).
- Ako klijent želi napustiti AP šalje disassociation frame, a također i sam AP može odbaciti klijenta šaljući mu disassociation frame. Primjer gdje klijent napušta BSS
- Ukoliko naš klijent želi ostati unutar istog SSID-a ali se prijaviti na drugi AP (situacija kod Roaminga) šalje reassociation request novom AP-u. Novi AP odgovara sa reassociation Response frame-om.

Primjer gdje se klijent pridružuje BSS-u



Primjer gdje klijent napušta BSS



Control frames

Control frame (Kontrolni okviri) -ovi okviri se koriste za kontrolu pristupa frekvencijskom kanalu i kao pomoć u dostavi payload (korisnih podataka) kroz kanal (channel).

Control frame-ovi sadrže samo informacije u header-u, ne prenose korisne podatke.

Ovo su 4 najvažnija kontrolna okvira:

1. ACK – acknowledgment
2. Block ACK
3. PS-Poll – Power Save Poll
4. RTS/CTS

Control frames – ACK

Za svaki poslani frame prema AP-u klijent očekuje potvrdu od AP-a da je primljen.

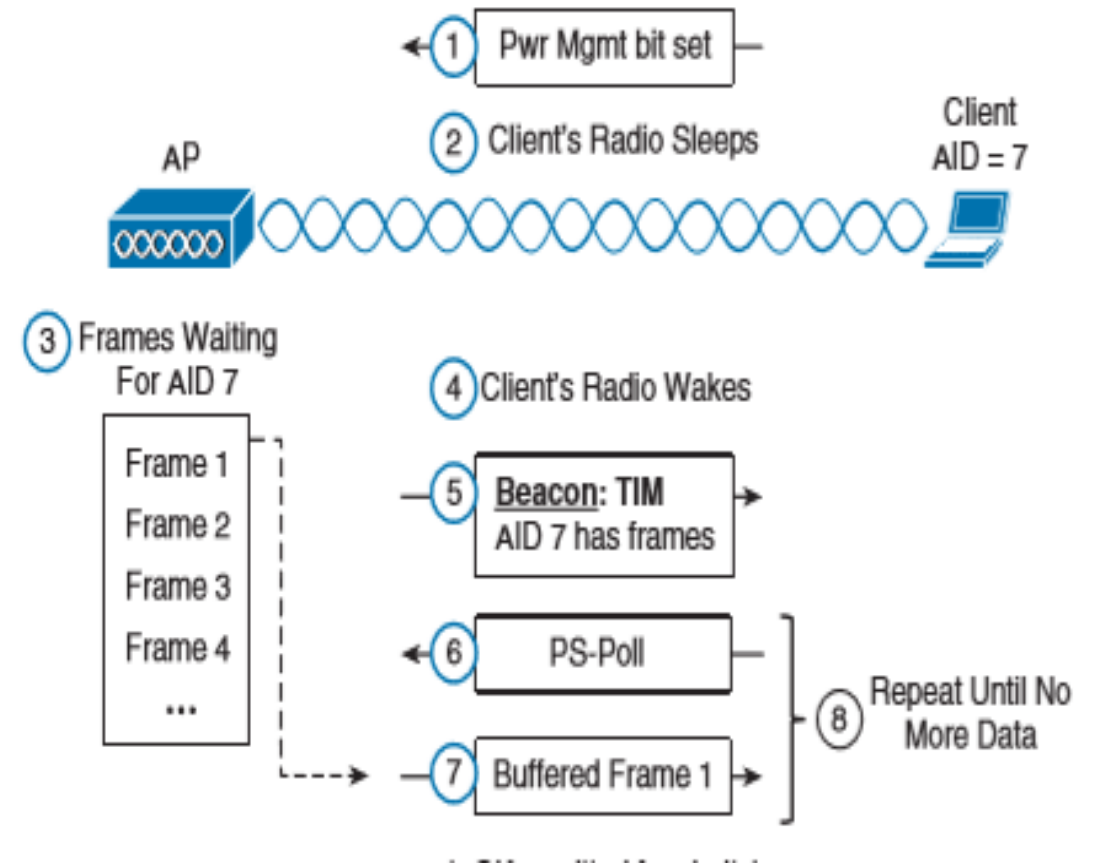
Control frames - Block ACK

Posebna vrsta ACK-a koji je uveden sa standardom 802.11n a predstavlja potvrdu za cijeli blok poslanih podataka, za razliku od starijih standarda koji su slali ACK za svaki poslani unicast frame.

Control frames

Control frames – štednja baterije kod klijenata PS-Poll

1. Klijent obavještava AP da koristi power save mode
2. Klijent postavlja svoj radio u sleep mode
3. AP pohranjuje (buffering) sve unicast frameove za klijenta u sleep modu
4. Klijent se s vremenom budi kako bi provjerio da li ima frameova za njega
5. Klijent saznaje da ga čeka nekoliko framea
6. Klijent želi dohvatiti bufferirane frame-ove i šalje PS-Poll frame AP-u da ga obavijesti
7. AP šalje frame po frame dok se svi ne isprazne iz buffera

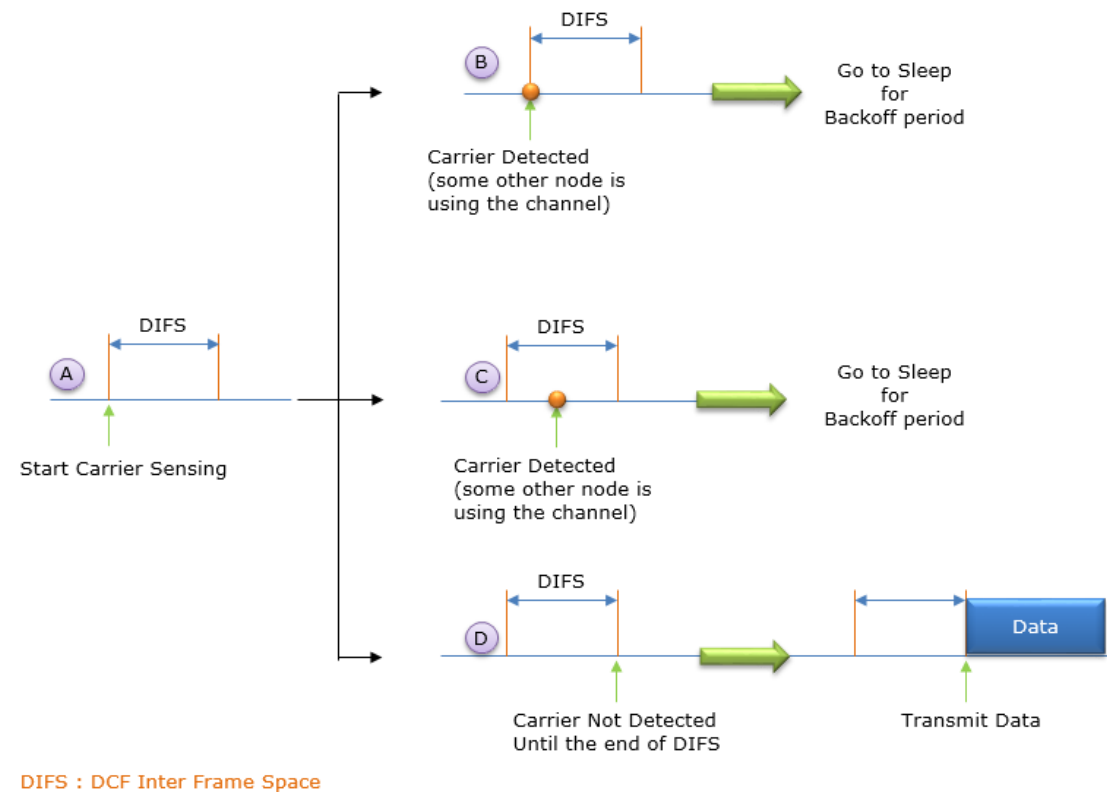


CSMA/CA?

- S obzirom da je WLAN (802.11) share-ani medij kao i Ethernet (802.3) to znači da svaki uređaj ima pravo pristupa i jednakosti u pristupu.
- Ethernet je već odavno postao full-duplex (istovremeno može primiti i slati podatke), a u vremenima kada je radio kao half-duplex koristio je mehanizme za otkrivanje i sprječavanje kolizija CSMA/CD.
- **WLAN bežične** mreže još uvijek rade na principu **half-duplexa** (možda će novi standard i to promijeniti)! To znači da moraju koristiti mehanizam kojim će zaštititi i osigurati da istovremeno samo jedan uređaj može slati frame-ove.
- Za tu svrhu koristi se mehanizam **Carrier Sense Multi access/ Collision avoidance**

CSMA/CA?

- Kada neki klijent šalje frame mora u taj frame postaviti Duration time – vrijeme koje je potrebno kako bi poslao cijeli frame – to se još zove NAV (network allocation vector).
- Clear Channel Assessment – 802.11 uređaji osluškiju zauzetost kanala tj. da li drugi uređaji šalju ili primaju frame-ove.
- Prije nego uopće neki klijent počne slati frame-ove u medij prvo mora
- postaviti **backoff timer** (random vrijednost u mikrosekundama). Kada istekne to vrijeme,
- klijent započinje s osluškivanjem kanala i ako je kanal slobodan započinje sa slanjem frame-a, a ukoliko nije slobodan odlazi u sleep mode i
- ponovno pokreće backoff timer koji ima random trajanje, svaki puta drugačije, kako bi se izbjegle kolizije. To vrijeme skeniranja zove se DIFS (Distributed coordination function)..



RTS/CTS- „4 way handshake”

- Ready to send / Clear to send – je dodatni mehanizam za izbjegavanje kolizija u složenim bežičnim okruženjima s puno klijenata ili se može primjeniti i u jednostavnim bežičnim mrežama za rješavanje problema „hidden node”.
- Ukoliko je ovaj mehanizam omogućen, klijent mora poslati RTS request AP-u i dobiti odgovor Clear to send prije nego započne slanje frame-a.

- Uzima više „air-time” vremena.
- Na AP-u se može podesiti RTS threshold kojim se ovaj feature uključuje ili isključuje.
- Ako je threshold manji od veličine MAC frame-a onda je ovaj mehanizam isključen i obrnuto.
- Veličina MAC frame-a je 1488 bytes.
- Default vrijednost je 2346 byta što praktički isključuje RTS..da je manja vrijednost od framea onda bi se mehanizam koristio

