

DIGITALNI KOMUNIKACIONI SISTEMI

Vežba 3

Bežični komunikacioni sistemi

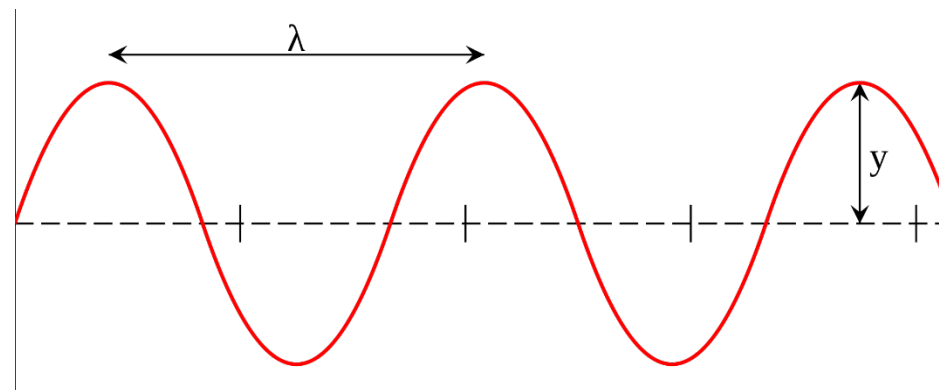
Uvod

- Savremeno društvo je nauci zadalo ozbiljan zadatak – pristup Internetu u svakom trenutku, sa svake lokacije. Koliko god da su komunikacije napredovale (prvenstveno prenos podataka optičkim vlaknima) ukazala se potreba za mobilnošću.
- Razvoj savremenih bežičnih komunikacija počeo je na Havajima; ostrva su razdvojena velikim vodenim površinama i jedini način za uspostavljanje telefonskog saobraćaja bio je bežični prenos signala.
- Novi svetski trend IoT (*Internet of things*) ima svetlu budućnost upravo zbog razvoja bežičnih sistema, i stručnjaci procenjuju da će do 2020. godine 30 biliona uređaja biti priključeno na mrežu, radi prikupljanja i razmene podataka sa senzora u najširem smislu reči.



Elektromagnetni spektar

- Kada se elektroni kreću, oni proizvode elektromagnetne talase koji se prostiru kroz okolinu (čak i kroz vakuum). Te talase je još 1865. teorijski predvideo britanski fizičar Džems Klerk Maksvel, a eksperimentalno ih dokazao 1887. nemački fizičar Hajnrih Herc.
- Broj oscilacija talasa u jednoj sekundi naziva se frekvencija i obeležava se f i meri se u hercima [Hz]
- Rastojanje između dva talasna maksimuma (ili minimuma) naziva se talasna dužina, obeležava se sa λ i meri se u metrima [m]



Elektromagnetni spektar

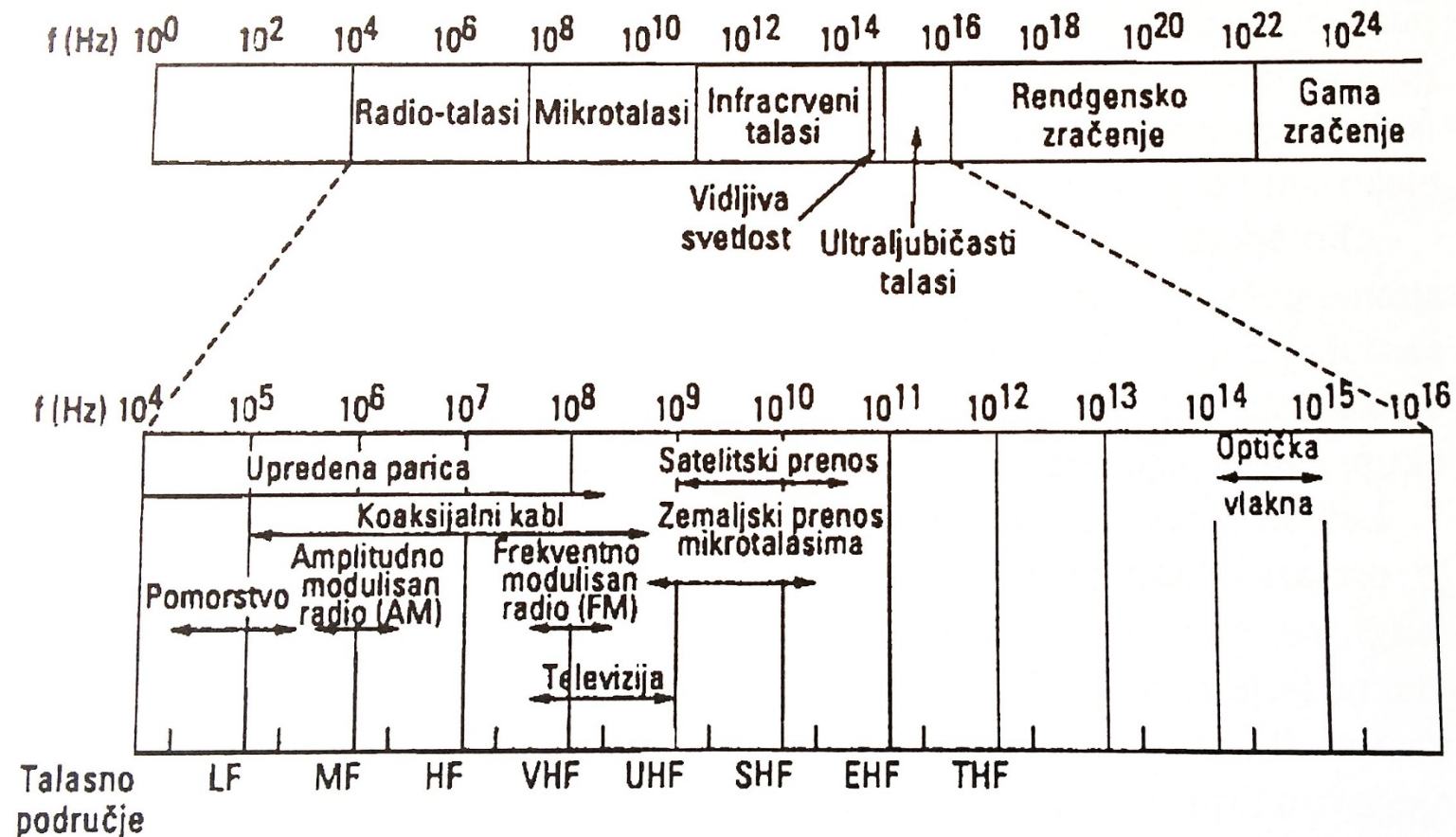
- Kada se električno kolo spoji sa antenom odgovarajuće veličine, elektromagnetni talase se mogu slati kroz prostor, gde ih na nekoj udaljenosti može primiti odgovarajući prijemnik. Sve bežične komunikacije se zasnivaju na ovom principu.
- Svi elektromagnetni talasi, bez obzira na frekvenciju, u vakuumu se kreću istom brzinom a to je brzina svetlosti, c , koja iznosi približno 3×10^8 [m/s]
- Osnovni odnos između f , λ i c je:

$$\lambda \cdot f = c$$



Elektromagnetni spektar

- Oznake oblasti elektromagnetnog spektra



Elektromagnetni spektar

- Sređivanjem osnovne jednačine dobijamo

$$\Delta f = -\frac{c\Delta\lambda}{\lambda^2}$$

što znači: što je šire frekventno područje brži je prenos

- Iz ovog slede dva principa:
 - skokovito frekventno širenje spektra (*frequency hopping spread spectrum*) (Hedi Lamar, 88 frekvencija), uglavnom se koristi u vojne svrhe
 - direktno sekvencijalno širenje spektra (*direct sequential spread spectrum*), princip gde se signal prostire kroz široko frekventno područje, koristi se u mobilnoj telefoniji



Prenos podataka radio talasima

- Radio talasi su u opsegu od 3 Hz do 3 THz

<i>Opseg</i>	<i>Naziv</i>	<i>Oznaka</i>
3–30 Hz	Extremely low frequency	ELF
30–300 Hz	Super low frequency	SLF
300–3000 Hz	Ultra low frequency	ULF
3–30 kHz	Very low frequency	VLF
30–300 kHz	Low frequency	LF
300 kHz – 3 MHz	Medium frequency	MF
3–30 MHz	High frequency	HF
30–300 MHz	Very high frequency	VHF
300 MHz – 3 GHz	Ultra high frequency	UHF
3–30 GHz	Super high frequency	SHF
30–300 GHz	Extremely high frequency	EHF
300 GHz – 3 THz	Tremendously high frequency	THF



Prenos podataka radio talasima

- Radio talase je lako generisati, oni mogu da prevazilaze velika rastojanja i lako prolaze kroz zgrade, i zbog toga se često koriste u komunikacijama. Radio talasi se prostiru na sve strane od izvora pa položaj predajnika i prijemnika nije od velikog značaja.
- Svojstvo radio-talasa zavisi od njihove frekvencije. Pri nižim frekvencijama, oni lako prolaze kroz prepreke, ali im snaga naglo opada s rastojanjem od izvora (približno sa kvadratom rastojanja). Pri višim frekvencijama, radio-talasi teže da se prostiru pravolinijski i da se odbijaju od prepreka.
- U području veoma niskih, niskih i srednjih frekvencija radio-talasi prate krivinu zemlje. Na niskim frekvencijama radio-talase je moguće detektovati i na rastojanjima preko 1.000 km. Problem sa ovim talasima je mali propusni opseg.



Prenos podataka radio talasima

- U području visokih (HF) i vrlo visokih (VHF) frekvencija, talase koji se prostiru površinom apsorbuje tlo. Međutim, talasi koji dostignu jonosferu (sloj naelektrisanih čestica koje okružuju Zemlju na visini od 100 do 500km) odbijaju se od nje i vraćaju na Zemlju.
- Pri pogodnim vremenskim uslovima signal se može odbiti i nekoliko puta. Ovaj princip koriste radio-amateri i koristi se u vojne svrhe.
- Ovaj opseg frekvencija je veoma dragocen, jer može da pokrije velike oblasti, i postoje rigorozna pravila za dodelu ovih frekvencija.



Prenos podataka mikrotalasima

- Iznad frekvencije od oko 100 MHz, talasi se prostiru skoro pravoliniski i zato se mogu fokusirati. Koncetrisanjem sve energije u uzak snop pomoću parabolične antene postiže se mnogo bolji odnos signal – šum, ali predajna i prijemna antena moraju biti strogo u liniji.
- Takođe, dobrim prostornim rasporedom grupe predajnika i grupe prijemnika, postiže se prenos bez međusobnog ometanja tj. interferencije.
- Talasi se prostiru pravolinijski pa mora biti obezbeđena direktna vidljivost između predajne i prijemne antene, to praktično znači da stubovi od 100 metara mogu biti udaljeni 80 km; ovde je ispoštovan samo uslov zakrivljenosti Zemlje.
- Danas se, uobičajeno, koriste linkovi sa frekvencijama do 10 GHz s tim da se na oko 4GHz javlja apsorpcija usled vode (kiše, magle...)



Pravila dodeljivanja frekventnih područja

- Frekventni spektar je odličan izbor prihoda i zato je veoma dragocen resurs.
- Na globalnom nivou raspodelom spektra rukovodi ITU-R (*International Telecommunication Union - Radiocommunication Sector*)
- Međusobna podela:
 - konkurs za izbor lepotice (beauty contest)
 - kocka
 - licitacija
- Spektar slobodan za sve
 - ograničena snaga predajnika; 2.4 GHz, 5.7 GHz...



Prenos podataka vidljivom svetlošću

- Infracrveni i milimetarski talasi se koriste za kratka rastojanja i za niske snage. U nekim slučajevima upravo to je traženi scenario – daljinski upravljač
- Zašto se teleskopi, po pravilu, postavljaju na vrhove planina?
- Prenos podataka laserskim snopovima: relativno jednostavno rešenje za komunikaciju jedan-na-jedan, nije potrebna dozvola ali nema neku važniju primenu



Komunikacioni sateliti

- Nakon bezuspešnih pokušaja američke mornarice da uspostavi komunikaciju pomoću balona od kojih se odbija signal, sredinom 20. veka uspeali su da ostvare komunikacioni link “hvatajući” signal koji se odbija od površine Meseca. To je bila polazna tačka za dalji razvoj komunikacionih satelita jer razlika između prirodnog i veštačkog satelita je što veštački satelit može da pojača primljeni signal pre slanja na Zemlju, ili na drugi satelit.
- Tehnologija komunikacionih satelita se koristi za:
 - vojne svrhe
 - *broadcast* tehnologije
 - GPS
 - satelitski internet
 - telefoniju
 - meteorologiju



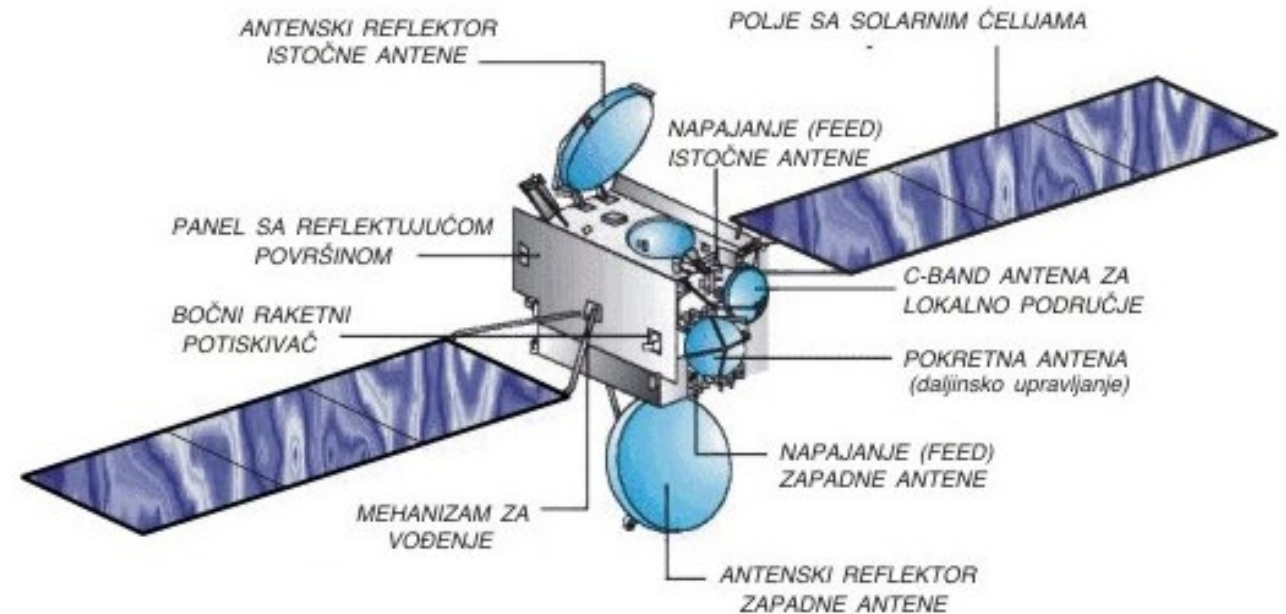
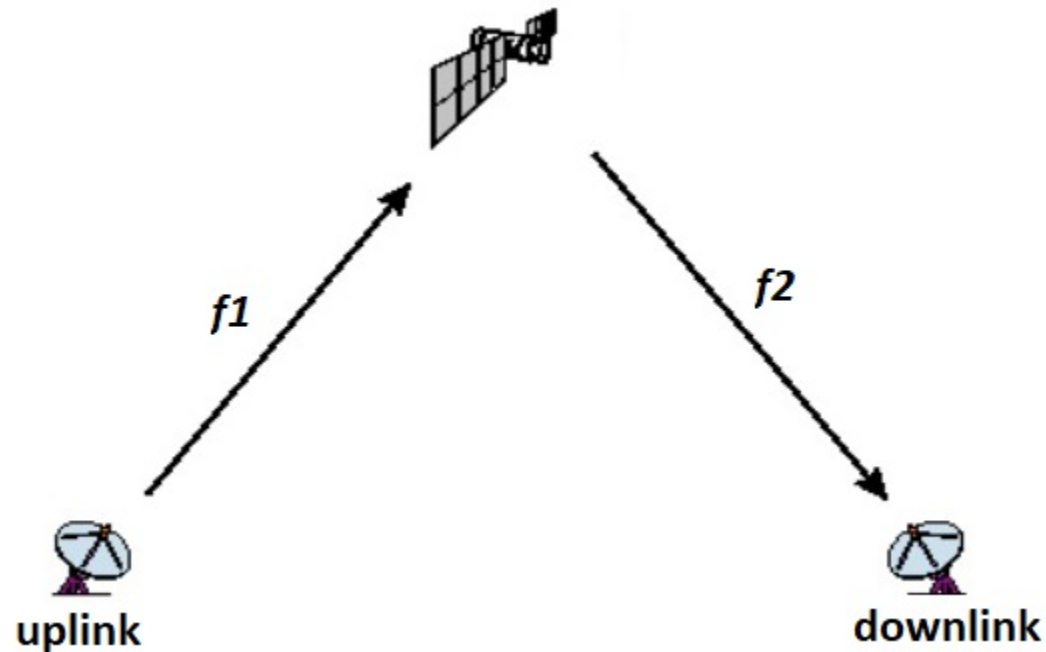
Komunikacioni sateliti

- Prema poziciji u odnosu na Zemlju, zone satelita se dele na:
- GEO (*Geostationary earth orbit*) zona: sateliti se nalaze na udaljenost od 35.786 km od ekvatora. Napajaju se solarnom energijom i njihova brzina je ista kao i brzina okretanja Zemlje, pa možemo reći da su nepokretni u odnosu na Zemlju
- MEO (*Medium earth orbit*) zona: udaljenost je između 5.000km i 15.000km od Zemlje. Zbog manje udaljenosti potrebno je mnogo više satelita za pokrivanje
- LEO (*Low earth orbit*) zona: udaljenost je oko 2.000km od Zemlje. Zbog blizine jeftiniji su u odnosu na ostale satelitske tehnologije, signal ima najmanje gubitke ali pokrivaju malu oblast.



Komunikacioni sateliti

- Transponder: prijem signala na frekvenciji f_1 , pojačavanje i slanje signala na f_2 . Kapacitet transpondera je oko 100 Mbps



GEO sateliti

- Koliko vremena je potrebno da signal dođe do satelita i da se vrati na Zemlju, u idealnom slučaju?
- Koliko najviše GEO satelita može biti u orbiti?
- Kako GEO satelit uvek održava određenu poziciju?
- Šta se desi sa GEO satelitom kada mu prođe “radni vek”?
- GEO sateliti uobičajeno imaju dva načina rada:
 - pokrivanje što šire oblasti (1/3 površine Zemlje)
 - pokrivanje što uže oblasti (100)km²)



GEO sateliti

- Frekvencijski opsezi GEO satelita

<i>frekvencijski opseg</i>	<i>uplink frekvencija [GHz]</i>	<i>downlink frekvencija [GHz]</i>	<i>problemi</i>
S/L	2,4 (2,483 – 2,500)	1,6 (1,610 – 1,625)	interferencija sa ISM (Industrial, Scientific & Medical) opsegom
C	6 (5,925 – 6,425)	4 (3,7 – 4,2)	interferencija sa zemaljskim vezama
Ku	14 (14,0 – 14,5)	11 (11,7 – 12,2)	slabljenje zbog kiše
Ka	30 (27,5 – 30,5)	20 (17,7 – 21,7)	visoka cena opreme



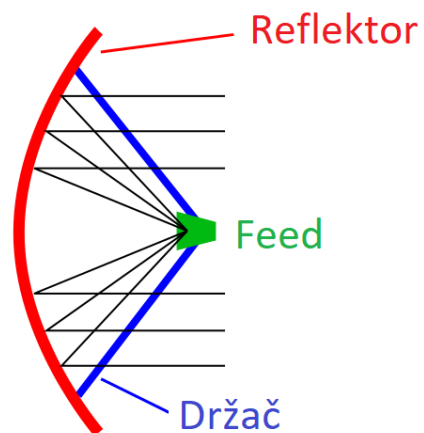
GEO sateliti

- S obzirom da je pozicija satelita stacionarna, relativno u odnosu na Zemlju, ne postoje problemi sa Doppler-ovim efektom
- Na visini od oko 36.000 km satelit može da komunicira sa četvrtinom zemaljske kugle, a sa tri satelita, razdvojenih za 120° moguće je komunicirati sa celom Zemljom, isključujući severni i južni pol
- Snaga signala na prijemu je mala, pa se mora pojačati – LNB (*Low-noise block downconverter*)
- Ukupno kašnjenje signala (Zemlja – satelit – Zemlja) je oko 0,24 sekunde, sto je mnogo za neke situacije (npr. telefonija)

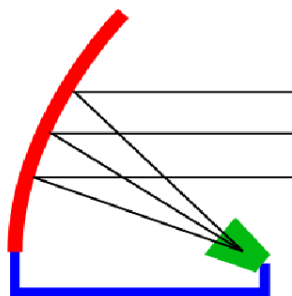


GEO sateliti

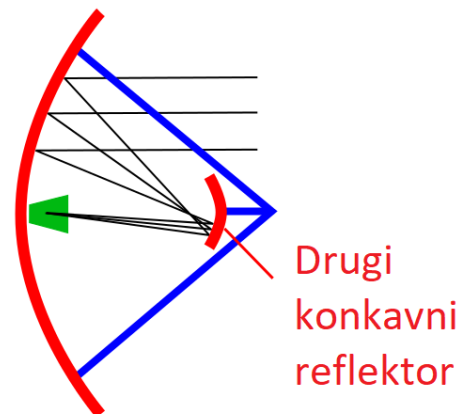
- Primeri najčešće korišćenih satelitskih antena



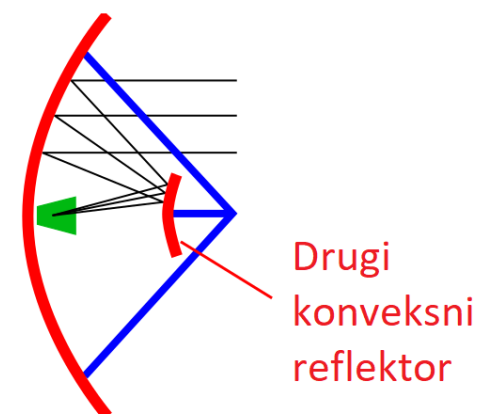
PARABOLA
FRONT FEED



OFFSET



GREGORIAN



CASSEGRAIN

MEO sateliti

- Period rotacije MEO satelita je od 6 do 8 sati
- GPS (*Global Positioning System*) sateliti su primer MEO satelita. GPS mreža se sastoji od 24 satelita raspoređenih oko Zemlje
- GPS prijemnici u svakom trenutku moraju “videti” najmanje 4 satelita, a pozicija se određuje proračunom kašnjenja svake putanje prijemnik – satelit
- Propagaciono kašnjenje je 50ms
- Antene su projektovane da nije potrebna vidljivost “u liniju”



LEO sateliti

- LEO sateliti su na visini do 2.000km i period rotacije je od 90 do 120 minuta. Brzina satelita je od 20.000 do 25.000 km/h
- LEO sateliti obrazuju konstelaciju (sazvežđe) i organizovani su u mrežu. Komuniciraju međusobno i sa zemaljskim stanicama.
- Propagaciono kašnjenje je 20ms što je prihvatljivo za audio komunikaciju
- Satelitski internet, pokrivena svaka tačka na Zemlji ali “ping” je i do 1 sekunde (uobičajeno je 40ms)



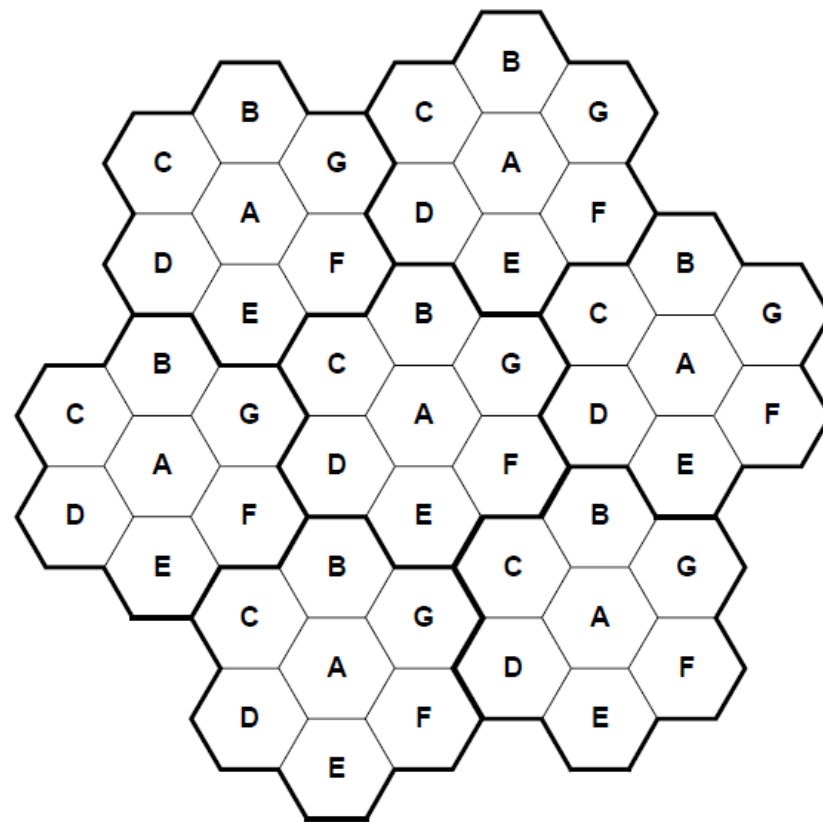
Mobilni telekomunikacioni sistemi

- Mobilni telekomunikacioni sistemi su sistemi gde barem jedan od članova telekomunikacionog sistema ima mogućnost pokretnosti tj. mobilnosti.
- Pored sistema mobilne telefonije postoje još neki standardi u oblasti mobilnih komunikacionih sistema:
- **TETRA** (*Terrestrial Trunked Radio*) razvijen od strane ETSI (*European Telecommunications Standardisation Institute*) i ovo je standard razvijen prvenstveno za javne bezbednosne grupe (vlade, vojska, policija, vatrogasci...)
- **DMR** (*Digital mobile radio*) – otvoreni standard baziran na vlasničkim vokoderima i principu dvosmerne komunikacije



Mobilni telekomunikacioni sistemi

- Osnova sistema mobilne telefonije je ćelijska raspodela teritorije
- Korišćenjem većeg broja manjih ćelija, manje snage predajnika i boljom raspodelom frekvencija povećava se ukupna propusna moć sistema
- Koriste se tehnike višestrukog pristupa:
 - FDMA (*frequency division multiple access*)
 - TDMA (*time-division multiple access*)
 - CDMA (*code-division multiple access*)



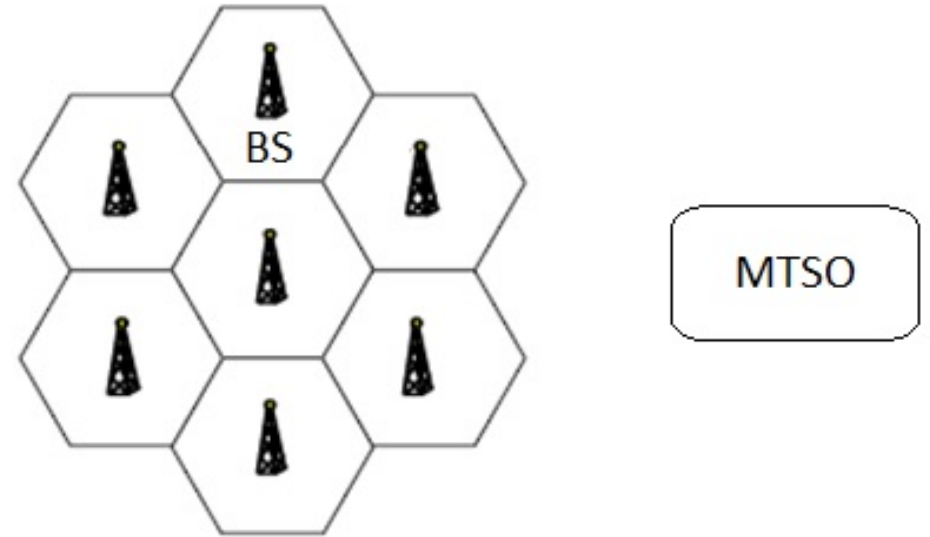
Mobilni telekomunikacioni sistemi

- Po potrebi, kapacitet ćelije se može povećati na sledeće načine:
 1. Dodavanje novih kanala - obično kada se za dati region uvodi sistem ne iskorišćavaju se svi kanali. Prema tome, sa porastom i proširenjem sistema uvode se oni kanali koji prvobitno nisu bili iskorišćeni
 2. Pozajmljivanje frekvencija - moguće je pozajmiti frekvencije od susednih ćelija, kontrola vrši izbor frekvencije vodeći računa da ne dodje do sudara
 3. Deobom ćelije – u okviru jedne ćelije formira se sistem mikroćelija. Zavisno od oblasti naseljenosti (urbano, suburbano, ruralno) veličina ćelije je od 1 do 20 km dok je veličina mikroćelije od 0.1 do 1 km



Mobilni telekomunikacioni sistemi

- Princip rada ćelijskih sistema
- BS – bazna stanica, obično se nalazi u sredini ćelije ili na tromedi ćelija
- MTSO (*Mobile Telecommunications Switching Office*) – komutatorski centar, obično jedan MTSO opslužuje nekoliko baznih stanica sa kojima je povezan žično ili radio linkom



Mobilni telekomunikacioni sistemi

- Veza između mobilne jedinice i bazne stanice se uspostavlja po sledeća dva tipa kanala:
 - Kontrolni kanali - koriste se za razmenu informacija koja se odnosi na uspostavljanje i održavanje veze kao i određivanje odnosa između mobilne jedinice i najbliže bazne stanice
 - Kanal za saobraćaj - koristi se za prenos govora i podataka između korisnika



Mobilni telekomunikacioni sistemi

- Princip rada se zasniva na nekoliko ustaljenih koraka:
- **Inicijalizacija mobilne jedinice** - kada se mobilna jedinica uključi ona analizira i bira najjači upravljački kanal za potrebe uspostavljanja veze (*setup* kanal), ćelije na različitim frekventnim opsezima emituju svima informaciju o različitim kanalima preko kojih se može uspostaviti veza. Prijemnik bira najjači kanal i nadgleda taj kanal. Efekat ove procedure je taj da mobilna jedinica automatski bira baznu stanicu preko koje će raditi. Nakon ovoga sledi *handshake* procedura između mobilne jedinice i MTSO-a, koja se ostvaruje preko bazne stanice u ćeliji. *Handshake* procedurom se identifikuje korisnik i registruje njegova lokacija. Sve dok je mobilna jedinica uključena, procedura analize periodično se ponavlja. Ako mobilna jedinica pređe u novu ćeliju ona selektuje novu baznu stanicu.



Mobilni telekomunikacioni sistemi

- **Poziv iniciran od strane mobilne jedinice** - mobilna jedinica inicira poziv slanjem broja jedinice koju poziva preko unapred selektovanog setup kanala. Prijemnik u mobilnoj jedinici prvo proverava da li je *setup* kanal u *idle* (neaktivan) stanju ispitivanjem informacije u *forward* kanalu (kanal od BS ka mobilnoj jedinici). Kada detektuje *idle* stanje mobilna jedinica može da predaje preko odgovarajućeg *reverse* kanala (kanal od mobilne jedinice ka BS). BS nakon ovoga šalje zahtev ka MTSO-u.
- **Paging** - MTSO nakon prethodnih aktivnosti pokušava da ostvari vezu ka pozvanoj jedinici. MTSO predaje *paging* poruku ka određenim BS-ovima u zavisnosti od pozvanog mobilnog broja. Svaka BS predaje *paging* signal po sopstvenom setup kanalu.



Mobilni telekomunikacioni sistemi

- **Prihvaćen poziv** - pozvana mobilna jedinica prepoznaje svoj broj nadgledanjem setup kanala i odaziva se toj BS-i, koja zatim predaje odziv ka MTSO-u. MTSO zatim uspostavlja vezu između pozvane i pozivne BS. Istovremeno, MTSO bira raspoloživi kanal za prenos govora u okviru svake BS ćelije i obaveštava svaku BS koja nakon toga obaveštava mobilnu jedinicu. Obe mobilne jedinice se zatim podešavaju na odgovarajuće dodeljene kanale.
- **Ongoing call** - dok postoji veza mobilne jedinice razmenjuju govorne signale ili podatke preko odgovarajućih BS-ova i MTSO-a
- **Handoff** - kada mobilna jedinica u toku održavanja veze predje iz jedne ćelije u drugu kanalni saobraćaj mora da se promeni tako da se sada realizuje preko druge BS koja pripada novoj ćeliji. Sistem izvodi ove promene bez prekidanja poziva ili promene korisnika (postoje *soft* i *hard handoff*)



Mobilni telekomunikacioni sistemi

- Dodatne akcije:

Call blocking - ako su u toku poziva svi kanali predviđeni za saobraćaj prema najbližoj BS zauzeti mobilna jedinica pokušava da uspostavi ponovo vezu, i nakon određenog broja neuspešnih poziva vraća se ton o zauzetosti veze.

Call termination - kada jedan od korisnika prekine vezu MTSO se obaveštava o tome i oba kanala kod BS-ova se oslobadjaju

Call drop - u toku razgovora zbog interferencije ili slabog signala može doći do prekida veze. Ako BS ne može da održi minimalni nivo signala za određeni vremenski period kanal prema korisniku se prekida i o tome obaveštava MTSO.

Calls to/from fixed and remote mobile subscriber - MTSO obezbeđuje vezu prema telefonskoj mreži sa javnom komutacijom. To znači da MTSO može da uspostavi vezu između pretplatnika povezanih na fiksnoj i mobilnoj mreži.



Mobilni telekomunikacioni sistemi

- Elementi mobilne stanice:
 - IMEI (*International Mobile Equipment Identity*) je hardverska identifikacija MS
 - SIM (*Subscriber Identity Module*) - modul za identifikaciju korisnika
 - SIM sadrži IMSI (*International Mobile Subscriber Identity*) modul
- MSC (*Mobile Switching Centar*) - Mobilna centrala obavlja funkciju standardnog komutacionog centra (kao u fiksnoj mreži) i pruža dodatne funkcionalnosti potrebne za opsluživanje mobilnih korisnika (registracija korisnika na mrežu, autorizacija, ažuriranje pozicije korisnika (misli se na to unutar koje se bazne stanice nalazi korisnik), proveru i rutiranje poziva ka korisnicima u romingu). Ako obavlja funkciju prolaza ka drugim mrežama onda se naziva *gateway* (GMSC) - prolazna centrala.



Mobilni telekomunikacioni sistemi

- Funkcionalni delovi centrale:
- HLR (*Home Location Register*) - baza podataka koja se koristi za menandžment mobilnih korisnika. U HLR-u su podaci o IMSI broju i adresa u VLR-u. Lokacije u HLR tiču se lokacije mobilnih terminala, da bi znao HLR kako da rutira pozive ka njemu. U HLR-u se nalaze podaci o servisima koji su pristupni korisniku. HLR može biti priključen na nekoliko centrala tj. da opslužuje nekoliko centrala.
- VLR (*Visit Location Register*) - registar gostujućih korisnika. VLR sadrži podatak o lokaciji mobilne stanice i prepisane podatke iz HLR-a. VLR se povezuje na jednu mobilnu centralu. To je neka baza podataka u centrali.



Mobilni telekomunikacioni sistemi

- AUC – Centar za autentifikaciju i autorizaciju. To je zaštićena baza podataka koja sadrži kopiju tajnog ključa sa SIM modula. Korisnički podaci se preko radio kanala prenose kriptovane (kodirane i zaštićene). Da bi preneseni govor bio razumljiv našem sagovorniku, kopija ključa mora da se nalazi u AUC tj. mreža samo zna ključ.
- EIR (*Equipment ID Registrar*) – registar opreme. Sadrži 3 baze podataka u koje su upisane IMEI brojevi. Te baze se zovu bela, crna i siva lista. Na beloj listi su brojevi kojima se dozvoljava pristup mreži. Na crnoj listi su ukradeni ili nepoželjni brojevi kojima se ne dozvoljava pristup. Sivi su problematični- sumnjivi. U slučaju krađe, operatoru javimo IMEI broj, pa ga oni stave na crnu listu i njemu se ne dozvoljava pristup mreži.
- OMC (*Operation & Maintenance Center*) upravlja radom blokova sistema, kontroliše rad mobilne stanice, kontrolera i primopredajnika. U mreži može biti jedan ili više OMC-ova.



Mobilni telekomunikacioni sistemi

- Evolucija sistema mobilne telefonije:
- 0G – nastala sredinom veka, u početku bila simpleks komunikacija a kasnije postala dupleks. Jedan predajnik pokriva veliku oblast
- 1G – analogni prenos glasa i *paging* (pejdžeri); 70-ih i 90-ih godina 20 veka
- 2G – 90-ih godina 20. veka, GSM (*Global System for Mobile Communications*) standard (Finska, za Evropu). SMS (*Short Message Service*), GSM-900 – *uplink* 890-915 MHz, *downlink* 935-960 MHz; GSM-1800 – *uplink* 1710-1785 MHz, *downlink* 1805-1880 MHz.

<i>Generacija</i>	<i>Naziv</i>	<i>Brzina prenosa</i>
2G	CSD (Circuit Switched Data)	9,6 kbit/s
2G	HSCSD (High-Speed CSD)	14,4 kbit/s i 57,6 kbit/s
2.5G	GPRS (General Packet Radio Service)	50 - 114 kbit/s
2.75G	EDGE (Enhanced Data rates for GSM Evolution)	135 kbit/s 473 kbit/s



Mobilni telekomunikacioni sistemi

- 3G - bazirana na skupu standarda IMT-2000 (*International Mobile Telecommunication-2000*) koje je usvojila ITU. 3G podražava: telefoniju, pristup Internetu, video pozive, mobilnu televiziju.

<i>Generacija</i>	<i>Naziv</i>	<i>Brzina prenosa</i>
3G	HSDPA (High Speed Downlink Packet Access)	14 Mbit/s
3G	HSUPA (High Speed Uplink Packet Access)	5,76 Mbit/s
3,5G	HSPA+ (Evolved High Speed Packet Access)	42.2 Mbit/s

- 4G – od 2008. godine; ultra-broadband brzine pristupa Internetu, IP telefonija, mrežne igre, *real-time* multimedija, QoS, HDTV. U Americi WiMAX (*Worldwide Interoperability for Microwave Access*) u Evropi LTE (*Long Term Evolution*). Brzine prenosa 100Mbps kad se korisnik kreće a 1Gbps kada je relativno miran u odnosu na baznu stanicu. Paketski komutirana mreža.
- 5G – predviđa se od 2019, brzine prenosa 40 puta brže od 4G



Mobilni telekomunikacioni sistemi

- Pregled frekvencijskih opsega

<i>MREŽA/STANDARD</i>	<i>OPSEZI</i>
GSM	890-915 / 935-960MHz
GSM1800	1710-1785 / 1805-1880MHz
UMTS/IMT-2000	1885-1920 / 1920-1980 / 2110-2170MHz

- Snaga na kojoj emituje mobilna stanica se menja, zavisno od udaljenosti od bazne stanice



Wi-Fi

- Standard za bežični prenos podataka (skraćenica od *Wireless Fidelity*, ili ipak ne?)
- Fil Belanger, osnivač Wi-Fi alijanse; 1997 IEEE (*Institute of Electrical and Electronics Engineers*) objavio specifikaciju standarda 802.11 (Wireless LAN ili WLAN)
- Infrastrukturna mreža, radi u nelicenciranom opsegu frekvencija (2.4 ili 5 GHz). Ovaj opseg još se naziva i ISM frekvencijski opseg (*Industrial, Scientific and Medical*)
- Infrastrukturna mreža (mada može da radi i u *peer-to-peer / ad-hoc* režimu)
 - Pristupna tačka: WAP (*Wireless Access Points*) ili AP
 - Wireless mrežne kartice (dodatni uređaji ili integrisani čipovi)
- Funkcionalni delovi?



Wi-Fi standardi

- Postoji nekoliko standarda pod nazivom 802.11 a različitog sufiksa. Neki od njih definišu sve delove standarda (frekvenciju signala nosioca, maksimalne brzine prenosa...) a neki od njih definišu pojedinačne elemente; npr. 802.11f koji definiše *handover* (preuzimanje)
- „kompletni“ standardi:

WiFi standardi	802.11b	802.11a	802.11g	802.11n
Brzina prenosa (Mb/s)	11	54	54	600
Nominalni domet (m)	50	25	50	70
Frekvencija (GHz)	2,4	5	2,4	2.4 ili 5
Širina kanala (MHz)	20	20	20	20 ili 40



Wi-Fi standardi

- 802.11e – QoS (*Quality of service*) i prioriteti korisnika
- 802.11f - Preuzimanje korisnika koji prelazi iz jedne zone pokrivanja u drugu zonu pokrivanja (*handover*)
- 802.11h - kontrola emitovane snage
- 802.11i – autentifikacije i enkripcija
- 802.11k – izveštaji o merenju pojedinačnih parametara signala
- 802.11s – ukrštanje više različitih mreža



Wi-Fi standardi

- 802.11ac – frekvencija nosioca je 5,8 GHz i ovo je standard predviđen za velike bitske brzine. Teoretski, brzina prenosa je do 7 Gbps (za visoko kvalitetne video konferencije, video igre...). Širina kanala je 20, 40, 80 ili 160 MHz.
- 802.11ad – još se naziva mikrotalasni Wi – Fi ili Wi- Gig. Radi na frekvenciji od 60 GHz, obezbeđuje velike brzine prenosa i pokriva udaljenosti od 1 do 10 metara. Na ovoj frekvenciji antene su veoma male pa to može biti korisno za uređaje specifične namene.
- 802.11ah – je standard koji, zavisno od regiona, radi na frekvencijama ispod 1GHz i tako se postiže veća oblast pokrivanja. Za Evropu 802.11ah radi u opsegu 863MHz – 868MHz. Još jedna važna karakteristika ovog standarda je niska snaga na kojoj rade uređaju.



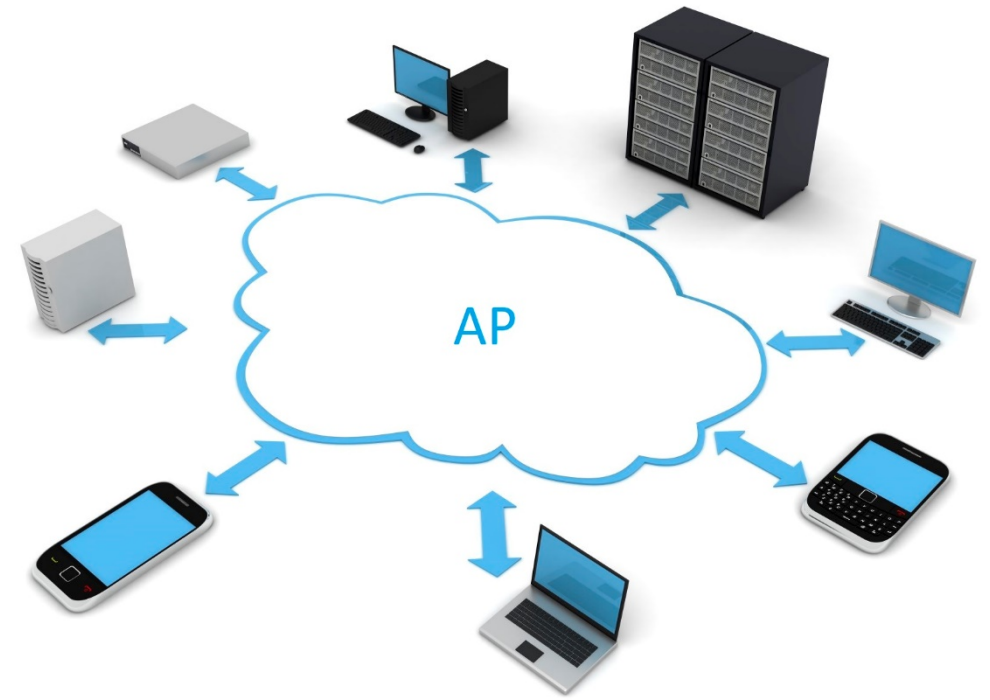
Wi-Fi standardi

- 802.11af – standard predviđen za rad u opsegu terestrialne televizije; još se naziva i *White-Fi*. Osnovni zahtev ovog standarda je da ne ometa primarne televizijske korisnike a sa novim tehnologijama obrade signala to postaje sve jednostavnije, ali za sada *White-Fi* radi u „rupama“ u zonama pokrivanja televizijskim signalom.
- Prednosti: veća oblast pokrivanja, koristi neiskorišćen spektar i to zahvaljujući principima **kognitivnog** radija (u zavisnosti od zauzetosti spektra predajnik sam traži slobodnu frekvenciju na kojoj će da emituje).
- Oblast rada je u opsegu od 470MHz do 710MHz i širina kanala je 6MHz.



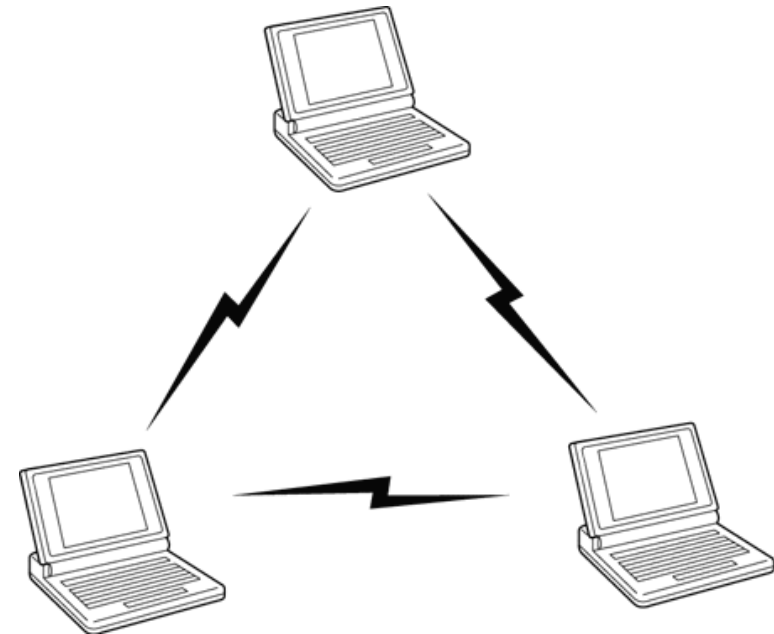
Wi-Fi – infrastrukturna mreža

- Jedan od principa rada je infrastrukturna mreža, korisnici se povezuju na WAP (*Wireless Access Points*) ili AP
- Ovakav princip rada je odlična zamena za žično povezivanje, AP je istovremeno kontroler svake ćelije.



Wi-Fi – *ad-hoc* režim

- Drugi način rada Wi – Fi mreže je u *ad-hoc* režimu. Korisnici su međusobno povezani bez pristupne tačke.
- Posebnim protokolom jedan korisnik postaje *master* dok drugi korisnici dobijaju ulogu *slave*-a.
- *Ad-hoc* režim se koristi kada je potrebno da nekoliko korisnika brzo razmeni fajlove ili kada nekoliko korisnika koristi jedan zajednički štampač.



Wi-Fi sigurnost

- Tema sigurnosti je od velikog značaja za Wi-Fi; neophodno je sprečiti neovlašćen pristup sistemu kao i zaštititi podatke koji se prenose radio kanalima – čak i da dozvolimo pristup sistemu potrebno je zaštititi razmenu podataka od „hakovanja“
- Wi-Fi koji emituje SSID (*service set identifier*) postaje meta korisnika koji žele da se povežu. Obično je potrebno uneti ključ, i nakon unošenja ključa kreće proces autentifikacije.
- Najčešće se koriste ove tri vrste ključeva:
 - WEP
 - WPA
 - WPA2



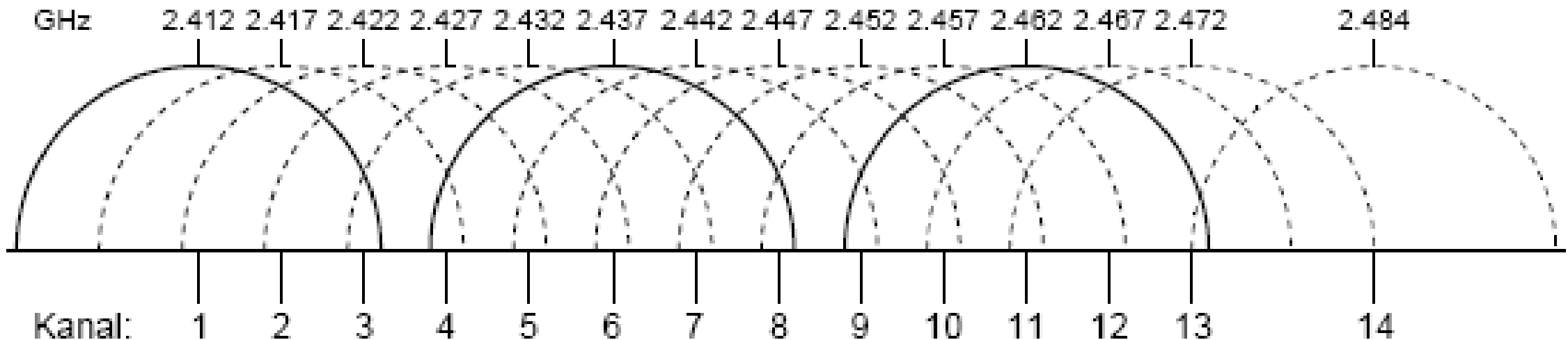
Wi-Fi sigurnost

- WEP (*wired equivalent privacy*) je najranjivija tehnika enkripcije (jedino je učinkovitiji od potpuno isključene enkripcije). WEP nema sistem za upravljanje ključevima i svi korisnici na istom AP imaju isti ključ – „slušanjem“ dovoljnog broja paketa može se odrediti ključ i tako kompromitovati sve korisnike
- WPA (*Wi-Fi Protected Access*) ima prednost u odnosu na WEP je što koristi „mešanje“ ključeva po paketima. Ovo je znatno učinkovitija metoda zaštite, naročito zbog korišćenja TKIP (Temporal Key Integrity Protocol)
- WPA2 (*Wi-Fi Protected Access version 2*) – najsigurniji metod enkripcije, bazira se na jakim AES algoritimima i obaveza svih uređaja koji imaju Wi-Fi znak je da imaju mogućnost primene WPA2 enkripcije



Wi-Fi frekvencijska raspodela

- U opsegu od 2,4GHz spektar je podeljen na 14 kanala (ne koriste se u svim zemljama svi kanali), i razmak između kanala je 5 MHz, osim poslednja dva koji su razmaknuti za 12 MHz. Preklopljeni kanali će se međusobno ometati pa je potrebno koristiti mehanizam za izbegavanje smetnji (smetnje se manifestuju smanjenjem bitskih brzina)



Wi-Fi frekvencijska raspodela

- Zbog velike „gužve“ u opsegu od 2,4 GHz (jedna od smetnji je mikrotalasna rerna) dosta korisnika se opredeljuje za rad u opsegu 5 GHz.
- Ovde je na raspolaganju 24 kanala pa je izbor međusobno neometajućih kanala mnogo veći, ali ovaj opseg zalazi u granicu licenciranog opsega pa važe brojna ograničenja. Opseg frekvencija je od 5,18 GHz do 5,825 GHz.
- OFDM (*orthogonal frequency division multiplex*) i DSSS (*direct-sequence spread spectrum*) su tehnike koje obezbeđuju istovremeni rad više korisnika u istom frekventnom području
- MIMO (*multiple-input multiple-output*) – tehnika koja koristi *multipath* propagaciju signala i tako se povećava brzina prenosa



Pitanja

