

5G sistemi mobilne telefonije

Razlozi za uvođenje novih tehnologija (Istraživanje „MTS“ Srbija):

- Nezadovoljavajući kvalitet mobilnih servisa (podaci)
- Nezadovoljavajući kapacitet i pokrivenost unutrašnjosti objekata mobilnim signalom
- Nedovoljno pokrivanje makro mreže
- Zagušenje makro mreže
- Posledice koje proizilaze iz nedovoljno kvalitetne mobilne mreže:
 - Reklamacije na kvalitet servisa
 - Nezadovoljavajuće korisničko iskustvo
 - Gubitak korisnika

Ciljevi uvođenja novih tehnologija:

- Povećanje kapaciteta mreže
- Povećanje kvaliteta mobilne mreže u unutrašnjosti objekata u urbanim zonama
- Unapredjenje zona pokrivanja
- Pridobijanje novih korisnika
- Nove aplikacije

Sistemi pete generacije (5G) zahtevi i ciljevi

- ☐ Bolja radio pokrivenost i veća brzina podataka reda 10 Gbit/s po ćeliji
- ☐ Poboljšana sigurnost komunikacije
- ☐ Manje dimenzije i duže trajanje baterije
- ☐ Ukupno povratno kašnjenje (latency) manje od 1 ms
- ☐ Mogućnost raspodele podataka prilikom slanja i primanja kroz dva različita komunikaciona kanala odnosno dve različite pristupne mreže
- ☐ Mreža malih ćelija (pico cell, femto cell)
- ☐ Korišćenje masivne MIMO tehnologije
- ☐ Fleksibilno korišćenje spektra u milimetarskom opsegu
- ☐ Primena veštačke inteligencije u mnogim aplikacijama u realnom vremenu
- Primena "Augmented reality" u realnom vremenu

Zahtevi i ciljevi

- Fleksibilnost korisničke opreme - softversko biranje modulacione šeme (FDD/TDD/OFDMA...) odnosno optimalne pristupne mreže (UMTS/LTE/LTE-A). To znači da će sam terminal moći softverski da bira pristupnu mrežu koju je najbolje koristiti u tom trenutku.
- Efikasnije upravljanje opterećenjima u mreži.
- primena principa cloud computing tehnologije u jezgru mreže kroz primenu virtualizacije mrežnih funkcija.
- Kontinualna i nesmetana interoperabilnost, odnosno „roaming“ između različitih tipova mobilnih pristupnih mreža kao i jezgra mreže.

5G standardizacija

- U početku zahtevi 5G mobilne mreže su definisani standardom IMT-2020 razvijen od strane ITU (Međunarodne unije za telekomunikacije), koji je zahtevao teoretsku maksimalnu brzinu u downlink - u od 20 gigabita u sekundi i brzinu od 10 gigabita u sekundi u uplink-u, zajedno sa drugim zahtevima.
- Grupa za industrijske standarde 3GPP izabrala 5G NR (Novi radio) standard zajedno sa LTE-om kao svoj predlog za implementaciju zahteva standarda IMT-2020.

➤ Prvi globalni 5G standard usvojen je decembra 2017. godine – to je **5G NR (New Radio) Release-15**.

➤ Ovaj standard odnosi se samo na neke određene aspekte 5G.

➤ Medjutim 3GPP nastavlja sa razvojem specifikacija da bi ih učinio spremnim za komercijalne primene.

Karakteristike 5G mreže

Karakteristike 5G mreže:

- ☐ Kašnjenje manje od 1 ms
- ☐ 99,999% dostupnost
- ☐ 100% pokrivenost
- ☐ 90% smanjenja utrošene energije u mreži u odnosu na 2010. godinu
- ☐ 20 Gbps download; 10 Gbps upload
- ☐ 1,000,000 konektovanih uređaja po km² u urbanim sredinama
- ☐ Mobilnost do 500 km/h

5G tehnologija ima unapredjenu arhitekturu mreže:

- 5G Novi radio (NR), globalni standard za 5G bežični vazdušni interfejs, pokriva nove spektre koji se ne koriste u 4G.
- Ali 5G tehnologija nije ograničena na novi radio spektar. Dizajniran je da podrži konvergentnu, heterogenu mrežu koja kombinuje licencirane i nelicencirane bežične tehnologije. Ovo će dodati propusni opseg dostupan korisnicima.
- Nove antene će sadržati tehnologiju poznatu kao masivni MIMO (višestruki ulaz, više izlaza), koja omogućava da više predajnika i prijemnika prenesu više podataka u isto vreme.
- 5G arhitekture će biti softverski definisane platforme, u kojima se mrežnom funkcionalnošću upravlja preko softvera, a ne hardvera. Napredak u virtuelizaciji, tehnologijama zasnovanim na oblaku (cloud computing) i automatizaciji IT i poslovnih procesa omogućavaju 5G arhitekturi da bude agilna i fleksibilna i da obezbedi pristup korisnicima bilo kada i bilo gde.
- 5G mreže mogu kreirati softverski definisane mrežne podkonstrukcije poznate kao mrežne isečke (network slices). "Network slicing" 5G mreže je mrežna arhitektura koja omogućava kombinovanje virtuelizovanih i nezavisnih logičkih mreža na istoj fizičkoj mrežnoj infrastrukturi. Svaki mrežni isečak (network slice) je izolovana mreža od kraja do kraja prilagođena da ispuni različite zahteve koje zahteva određena aplikacija. Ovo omogućava administratorima mreže da diktiraju mrežnu funkcionalnost na osnovu korisnika i uređaja sto omogućava tzv. Arhitekturu baziranu na servisu.

Generalna arhitektura 5G mreže

- 5G mrežna infrastruktura se sastoji od baznih stanica za makro ćelije i male ćelije sa mogućnostima edge computing -a.
- Makroćelije su tradicionalne ćelije koje opslužuju širu oblast dok male ćelije (pico, femto) opslužuju male oblasti ugl. unutar objekata).
- U 5G mreži, mrežne funkcije koje obično rade na hardveru postaju virtuelizovane i rade kao softver.
- Edge computing se isporučuje pomoću računarskih servisa koji su bliži krajnjem korisniku. Ovim se smanjuje kašnjenje, zagušenje saobraćaja i može se poboljšati dostupnost usluge.
- Pre nego što 5G mreže dostignu svoj puni potencijal i postanu samostalne, većina operatera će koristiti postojeće 4G LTE radio pristupne mreže (RAN) proširene novim antenama i nekim tehnologijama. Ovo omogućava operaterima da pređu sa 4G na 5G nudeći poboljšane usluge dok se gradi nova fizička infrastruktura.

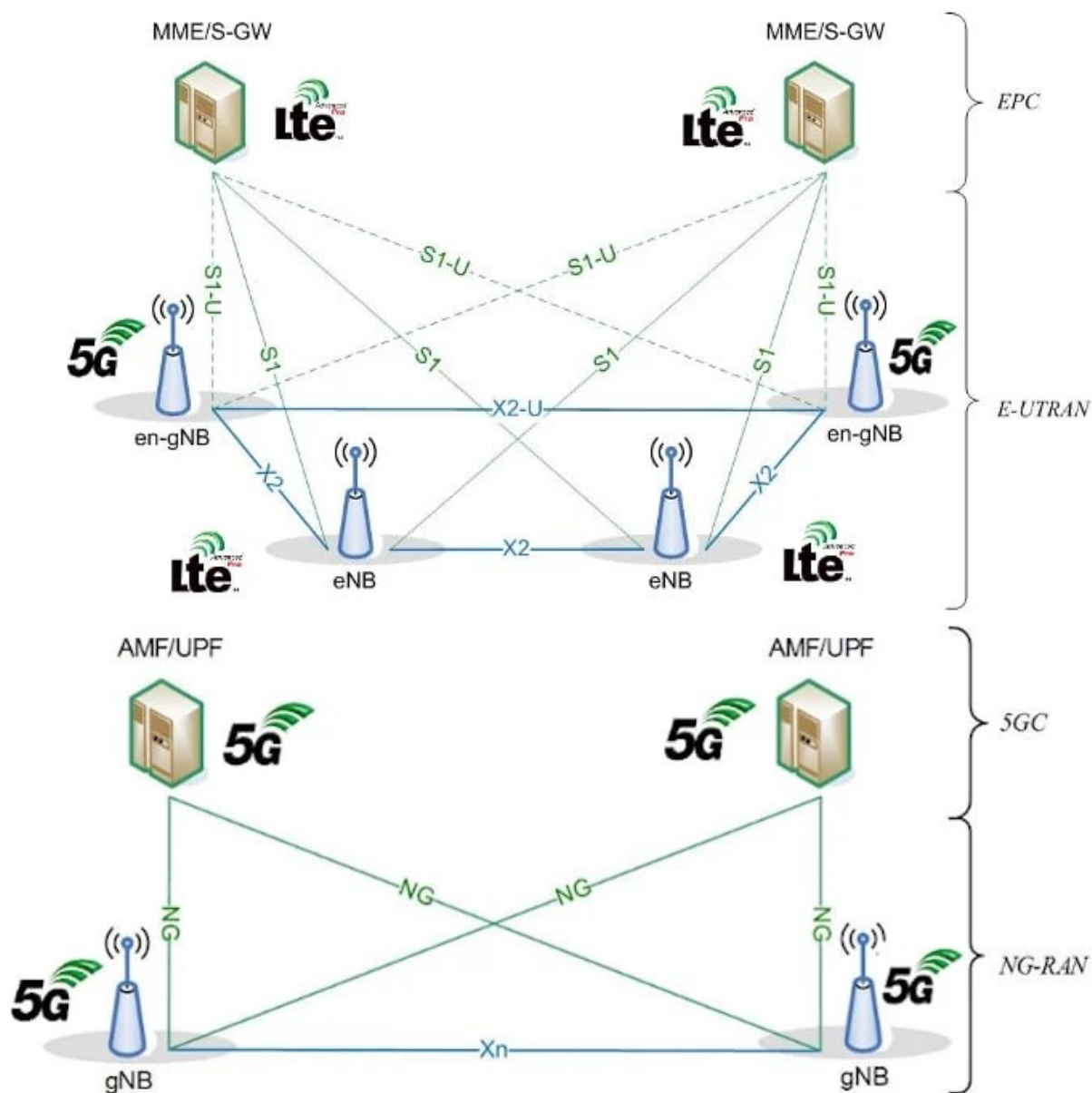
Generalna arhitektura 5G mreže

Samostalna i nesamostalna 5G mrežna infrastruktura

- Postoje dve infrastrukturne opcije za 5G mrežu:
 - nesamostalna (NSA) i
 - samostalna infrastruktura (SA).
- Nesamostalna infrastruktura se delimično oslanja na postojeću 4G LTE infrastrukturu i jezgro mreže i donosi novu tehnologiju kao što je 5G novi radio (NR) - tj. novi radio interfejs (OFDMA tehnika za pristup medijumu). To znači da iako su podržane samo LTE usluge, mreža ima mogućnosti koje nudi 5G NR, poput manjeg kašnjenja i koriscenja novih delova spektra.
- Samostalna infrastruktura se odnosi na 5G mrežu koja se ne oslanja na LTE mreže i ima sopstveno mrežno jezgro koje je u osnovi bazirano na racunarstvu u oblaku i virtuelizaciji i koje se povezuje na NR.
- Očekuje se da će mrežni operateri implementirati samostalnu infrastrukturu nakon prolaska kroz NSA infrastrukturu . Korišćenje NSA pristupa omogućava operaterima da ponude iskustva slična 5G dok grade potrebnu fizičku infrastrukturu 5G mreže.

Generalna arhitektura 5G mreže

- gNB – Next Generation Node B
- eNB – Evolved Node B
- NG – Interface to core
- Xn – Inter-base station interface



Glavne oblasti primene 5G

- ITU-R je definisao tri glavne oblasti primene za 5G. To su:
 - Unapređeni širokopojasni mobilni prenos (eMBB - enhanced Mobile Broadband),
 - Ultra pouzdane komunikacije sa malim kašnjenjem (URLLC - Ultra Reliable Low Latency Communications) i
 - Massive Machine -Type Communications (mMTC).

- Samo eMBB se trenutno primenjuje; URLLC i mMTC implementacija se predviđa tek kroz nekoliko godina.

- Unapređeni mobilni širokopojasni pristup (eMBB) koristi 5G kao evoluciju koja sledi nakon 4G LTE mobilnih širokopojasnih mreža, sa bržim brzinama prenosa podataka, većom propusnošću i većim kapacitetom. Ovo će se koristiti u oblastima sa većim zahtevom za saobraćajem kao što su stadioni, gradski centri, koncertna mesta...

Glavne oblasti primene 5G

Neke od primena 5G eMBB su:

- Hot spots: eMBB može poboljšati širokopojasni pristup u gusto naseljenim područjima, povećavajući pokrivenost u zatvorenom i na otvorenom u visokim zgradama i prepunim gradskim centrima.
- Širokopojasni pristup svuda: Tehnologije poput FWA (fixed wireless access) mogu obezbediti pokrivenost širom sveta sa minimalnim brzinama od 50 Mbps.
- Javni prevoz: Širokopojasni pristup u brzim vozovima i drugim vidovima javnog prevoza su primeri.
- Pametne kancelarije: eMBB može da isporuči konekcije visokog propusnog opsega stotinama korisnika u okruženjima sa velikim prometom podataka.
- Događaji velikih razmera: eMBB može da opslužuje koncerte i sportske događaje, omogućavajući visoke brzine prenosa podataka na događajima gde se okupljaju desetine ili stotine hiljada ljudi.
- Unapređena multimedija: eMBB može da obezbedi video strimovanje visoke definicije, mobilnu TV i sadržaj u realnom vremenu u širokim oblastima pokrivenosti za veliki broj korisnika.

Glavne oblasti primene 5G

- „Ultra-pouzdana komunikacije sa malim kašnjenjem“ (URLLC) se odnosi na korišćenje mreže za kritične aplikacije koje zahtevaju neprekidnu i robusnu razmenu podataka.
- Polja primene su:
 - Industrijska automatizacija
 - Inteligentan transport
 - Pametna električna mreža
 - Dijagnoza i operacija na daljinu
- 5G komunikacione mreze treba da ispune zahteve za visokim nivoom pouzdanosti i niskim kašnjenjem kako bi ova polja primene bila moguca.

Glavne oblasti primene 5G

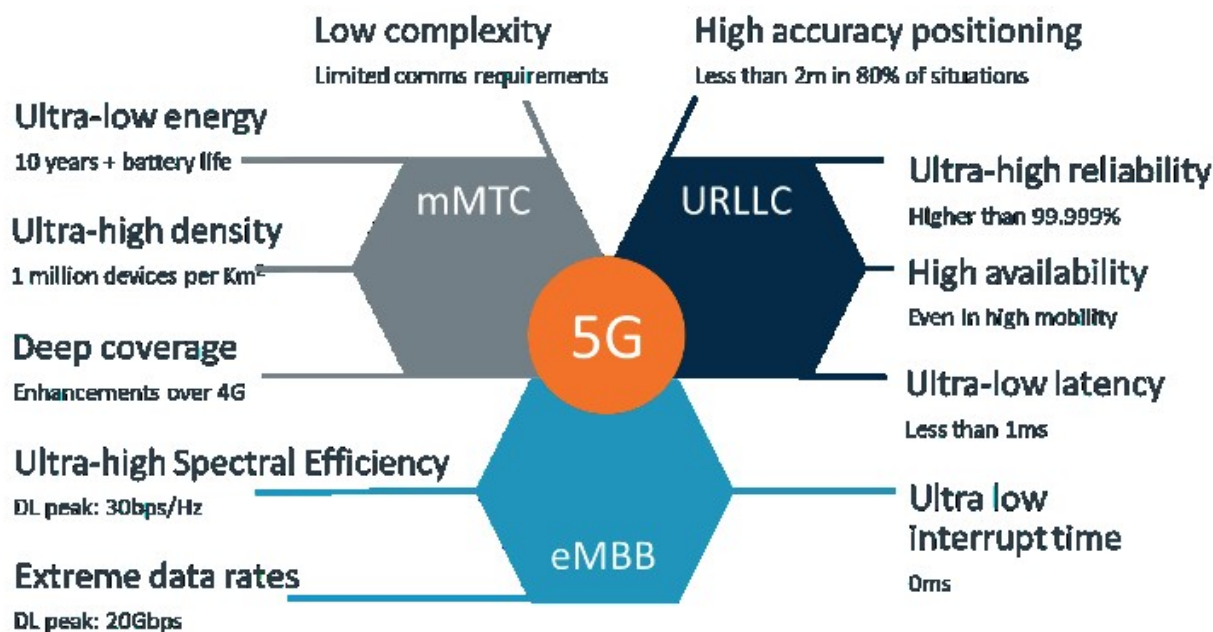
- Massive Machine-Type Communications (mMTC) bi se koristile za povezivanje sa velikim brojem uređaja. 5G tehnologija će povezivati neke od 50 milijardi povezanih IoT uređaja. Većina će koristiti jeftiniji Wi-Fi.
- Neke od primena:
 - Industrija 4.0
 - Pametni gradovi (smart cities)
 - Pобољшanje raznih servisa. Npr. dronovi, koji emituju preko 4G ili 5G, pomoći će u da se koriste u situacijama za oporavak od katastrofe, pružajući podatke u realnom vremenu za hitne službe.
 - medjusobna komunikacija vozila. Većina automobila će imati 4G ili 5G mobilnu vezu za mnoge usluge. Autonomnim automobilima za funkcionisanje nije potreban 5G, jer moraju da budu u stanju da rade u situacijama gde nemaju mrežnu vezu. Međutim, većina autonomnih vozila takođe ima teleoperacije za postizanje misije, a one mogu imati velike koristi od 5G tehnologije.

Tehničke karakteristike 5G

Machine-to-Machine (M2M) komunikacija

- Osnovni element IoT-a je samostalna komunikacija između mašina - bežična ili žičana.
- Daljinski nadzor, daljinsko upravljanje i daljinsko održavanje mašine, opreme i sistema, koji se tradicionalno naziva telemetrija, može biti deo M2M Machine-to-Machine komunikacije.
- Osnovne karakteristike M2M komunikacije su ogroman broj uređaja različitih kompleksnosti; različitih zahteva na kašnjenje, sigurnosti, trajanja i pouzdanosti; različitost aplikacija i slučajeva upotrebe; vrlo osetljive optimizacije sistema, energetske efikasnosti i upravljanje uređajima; male cene i potrošnje; retke ili ograničene mobilnosti.

Glavne oblasti primene 5G



mMTC	eMBB	URLLC
+ Lighting & road sign control + Smart waste management + Asset tracking + Structure and environmental monitoring	+ Immersive AR/VR + Advanced gaming 8k video streaming + Enterprise broadband connectivity + Connected transportation infotainment	+ Industrial automation + Intelligent transportation + Remote healthcare

Tehničke karakteristike 5G

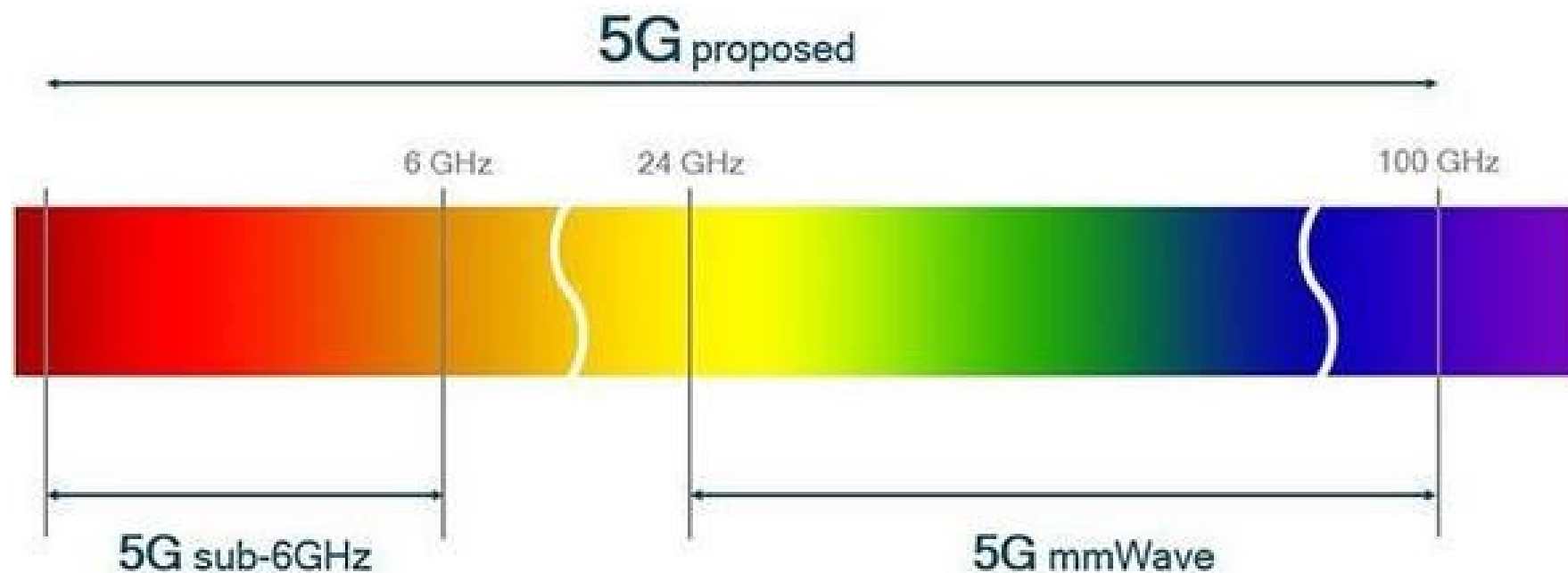
Milimetarski talasi (mmWave)

- ☐ 5G tehnologija će omogućiti 20x veće brzine prenosa i 100x veći kapacitet mreže u odnosu na 4G, što se može postići jedino pomeranjem ka višim frekvencijskim opsezima, tj. ka oblasti milimetarskih talasa (mmWave).
- ☐ Okvirno se uzima da je to frekvencijski opseg 24 GHz - 300 GHz
- ☐ Naziv milimetarskih radio-talasa potiče od njihove talasne dužine koja varira između 1 i 10 milimetara.

Tehničke karakteristike 5G

- Za sada, za 5G NR definisani su novi frekvencijski opsezi do 52.6 GHz
- Ispod 6 GHz dodeljeno je ukupno 1.5 GHz novog spektra u frekvencijskim opsezima (FR1):
 - 3.3–4.2 GHz, 3.3–3.8 GHz, 4.4–5 GHz
- 5G Release 15 specificirao je frekvencijski opseg FR2 za rad u milimetarskom opsegu 24.25 – 52.60 GHz
- Dodeljeno je ukupno 8.25 GHz novog spektra u frekvencijskim opsezima:
 - 26.5–29.5 GHz, 24.25–27.5 GHz, 37–40 GHz
- Oni su inicijalno predviđeni za komercijalnu primenu, zavisno od lokalnih regulatornih uslova.
- Istražuje se korišćenje frekvencija do 90 GHz.

Tehničke karakteristike 5G



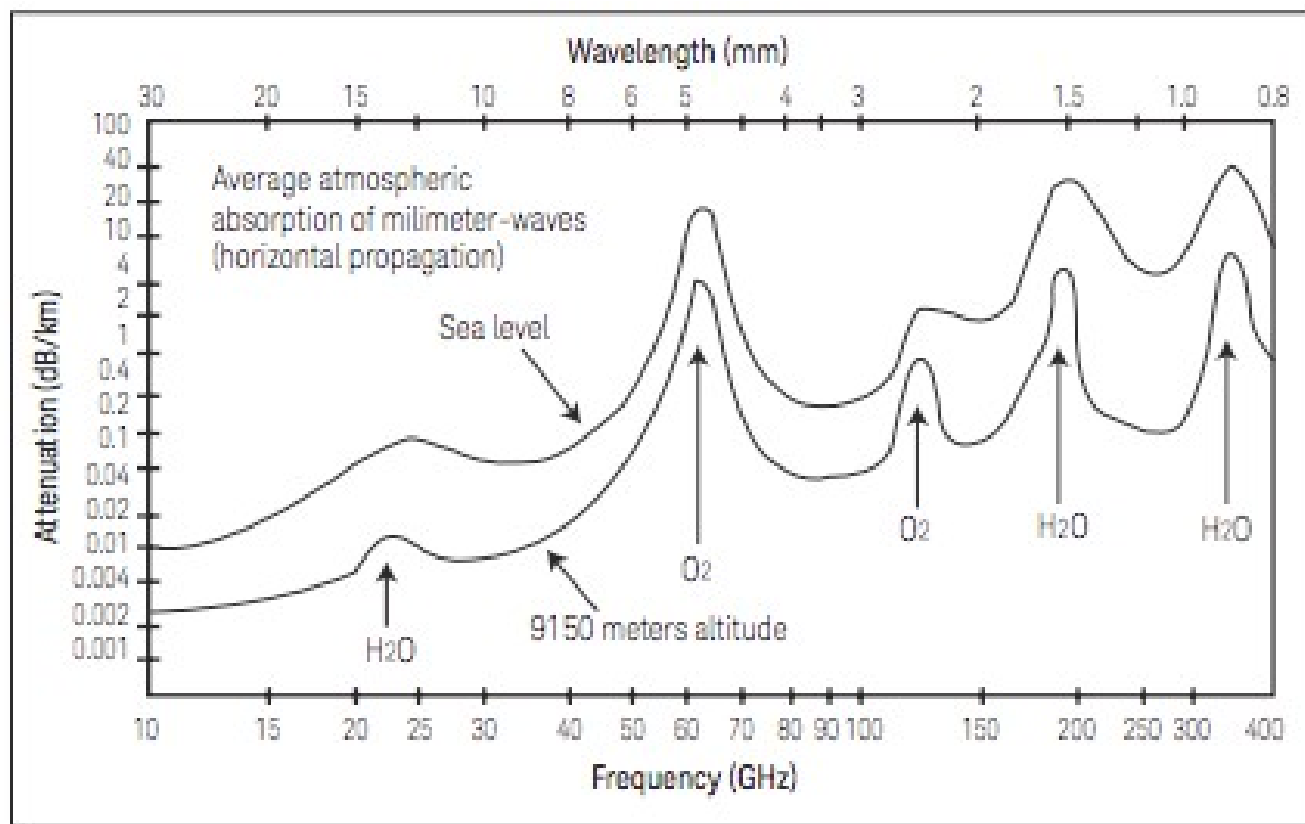
Frequency Range 1: 400 MHz to 6 GHz	Frequency Range 2: 24.25 to 52.6 GHz	Frequencies up to 90 GHz are currently being investigated for future releases.
Adds 1.5 GHz of new spectrum in frequency bands	Adds 8.25 GHz of new spectrum in frequency bands	
n77: 3.3–4.2 GHz n78: 3.3–3.8 GHz n79: 4.4–5 GHz	n257: 26.5–29.5 GHz n258: 24.25–27.5 GHz n260: 37–40 GHz	

Tehničke karakteristike 5G

- Uvodjenje mobilne 5G tehnologije zahtevaće inovacije i investiranje na svim nivoima mreža uključujući RAN, antene, mobilne terminale ...
- Činjenica je da su milimetarski talasi podložniji slabljenju usled atmosferskih uslova ili različitih efekata u okruženju. To je razlog što oni predstavljaju zaista veliki izazov.
- Npr. na 60 GHz talasna dužina je samo 5 mm. Kada takav talas udari u površinu čije su neravnine reda milimetra efekti su drugačiji nego kada do površine dodje talas dužine 20 cm.
- Veliki problem je što ovi talasi nemaju dobre karakteristike prodiranja kroz građevinski materijal većine kuća i zgrada. Takođe, slabljenje se može javiti i od strane vegetacije pa i živih organizama (ljudi, životinja).

Tehničke karakteristike 5G

- Atmosfersko slabljenje ima znatno veći uticaj kod mm talasa, specijalno oko 24 GHz i 60 GHz, kao što je prikazano na slici.



Na ovo treba dodati i slabljenje usled jake kiše.

Tehničke karakteristike 5G

- Neke od karakteristicnih tehnologija za prevazilazenje izazova i za uspesnu implementaciju 5G mreza su:
- femto celije
- masivni MIMO sistemi
- edge computing
- Arhitektura bazirana na servisu

Tehničke karakteristike 5G

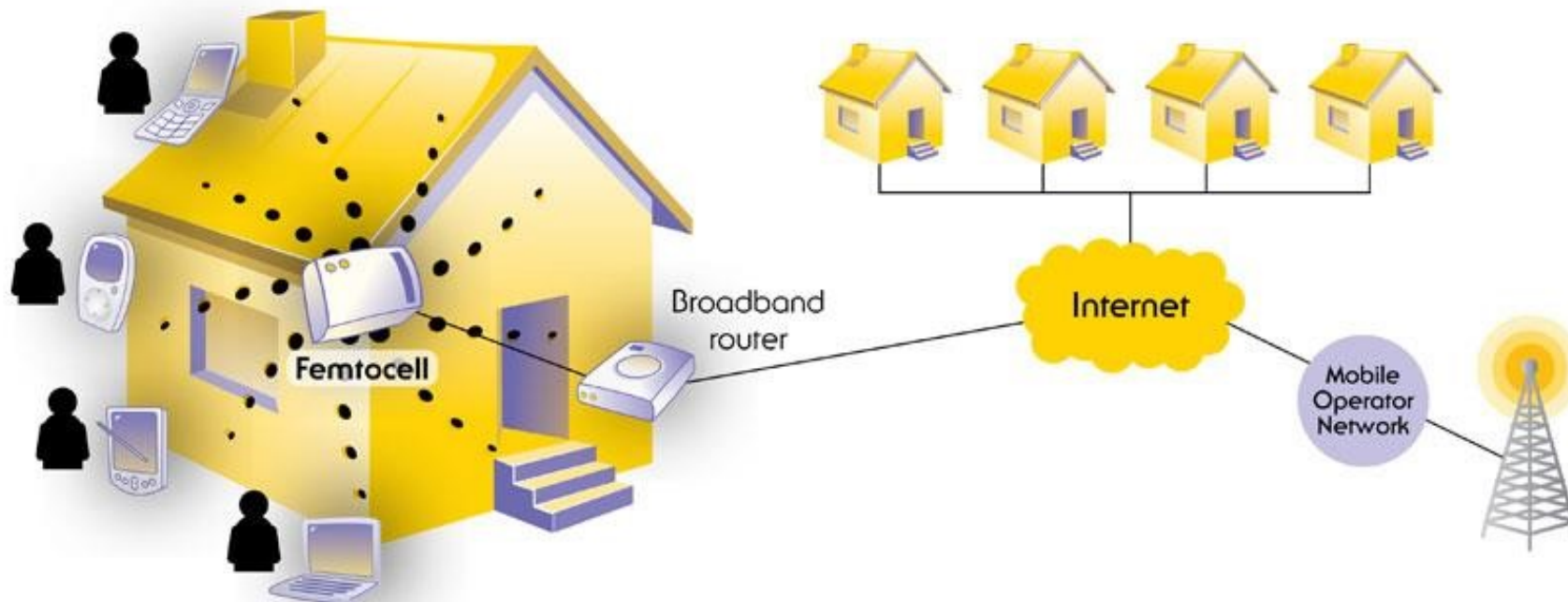
Femto ćelije

- 80% mobilnog saobraćaja potiče iz zatvorenog prostora – pri tome jedan “indoor” korisnik troši resurse bazne stanice koji su ekvivalentni potrošnji deset “outdoor” korisnika.
- Iz prethodnog statističkog podatka se može zaključiti - uticaj “indoor” korisnika je veliki i nepovoljno utiče na efikasnost mobilne mreže.
- U cilju prevazilaženja tog problema u 5G sistemima predviđa se veća upotreba femto ćelija.
- Šta su femto ćelije? Femto ćelija je ćelija kojom upravlja femto bazna stanica male snage (reda 10-20 mW) i malog dometa.
- Ovi bežični pristupni uređaji rade u licenciranom delu spektra i služe za povezivanje mobilnih terminala (smart telefona, tableta, itd..) na mrežu mobilnog operatora preko DSL (Digital Subscriber Line) ili kablovske širokopojasne mreže.

Tehničke karakteristike 5G

Femto ćelije

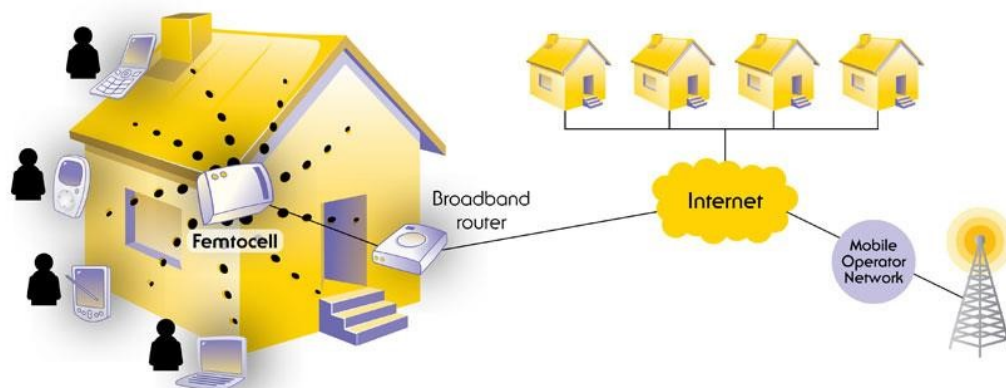
- Femto ćelije omogućavaju mobilnim korisnicima da obavljaju razgovore i pristupaju Internetu preko svoje kućne fiksne broadband veze.
- To su, ustvari, male kućne bazne stanice koje se povezuju na fiksnu mrežu, pri čemu se na nju može povezati nekoliko korisnika istovremeno. Domet je u krugu od 10-20m.



Tehničke karakteristike 5G

Femto ćelije

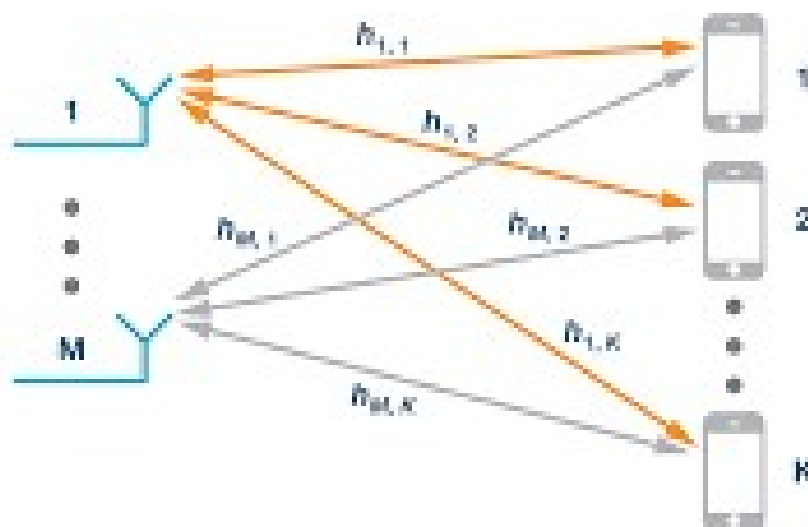
- Korisničkim kućnim vezama i uređajima može se na taj način upravljati i sa nekog udaljenog mesta pomoću mobilnog aparata.
- Femto ćelije značajno povećavaju kapacitet mobilne mreže i njenu efikasnost, uz smanjenje troškova operatora (za postavljanje novih baznih stanica).
- Potrošnja energije mobilnih terminala unutar mobilne femtoćelije može biti smanjena zbog relativno kraćeg dometa komunikacije i smanjenja signalizacije



Tehničke karakteristike 5G

Masivni MIMO sistemi (mMIMO)

- U masivnim MIMO sistemima predajnik i/ili prijemnik su opremljeni velikim brojem antenskih elemenata (tipično desetine ili čak i stotine antena)

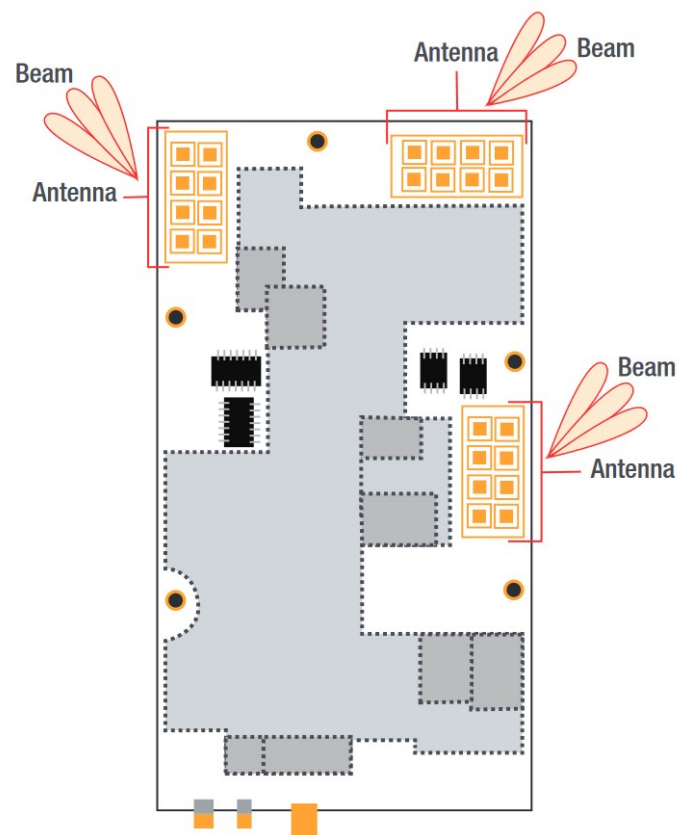


$$H = \begin{bmatrix} h_{1,1} & \dots & h_{1,K} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ h_{M,1} & \dots & h_{M,K} \end{bmatrix}$$

Tehničke karakteristike 5G

Masivni MIMO sistemi (mMIMO)

- Pošto MIMO sistemi moraju fizički da „spakuju“ više antena u mali prostor, oni zahtevaju upotrebu viših frekvencija (a time i kraćih talasnih dužina) od trenutnih standarda mobilnih sistema.
- Primenom masivnih MIMO sistema poboljšavaju se performanse u pogledu brzine i kapaciteta mreže, a ublažavaju se problemi vezani za smetnje i interferenciju.
- Uvođenjem masivnih MIMO sistema i milimetarskih talasa, menja se i struktura mobilnih uređaja.
- Jedan mogući prototip 5G pametnog telefona sa antenama za mMIMO:



Tehničke karakteristike 5G

End-to-End latency

- E2E latencija (End-to-End latency) predstavlja vreme potrebno da se paket podataka prenese od prijemnika do predajnika.
- Veoma bitna da bi se podržale nove aplikacije u realnom vremenu.
- Aplikacije koje se koriste za bezbednost ljudi, vozila, upravljanje robotima u industriji i medicini, zahtevaju veoma brze zahtev/odgovor cikluse.
- Na primer, mala latencija u mobilnim mrežama je preduslov za bezbednost autonomnih vozila.
- Kašnjenje u 5G aplikacijama mora biti manje od 1 ms.

Tehničke karakteristike 5G

QoE - Quality of Experience

- U 3G i 4G sistemima QoS (Quality of Service) služi za procenu performansi mreže za određenu uslugu ili aplikaciju uz garantovani nivo ispod koga usluga neće biti izvršena (npr 95% za razgovor preko skype-a, viber-a).
- QoE (Quality of Experience), za razliku od QoS-a, opisuje subjektivno opažanje korisnika koliko dobro aplikacija ili određeni servis funkcioniše.
- Mala vrednost QoE dovodi do nezadovoljstva korisnika, a previše visoka QoE nepotrebno troši resurse.
- Izazovi za 5G su da podrže aplikacije i servise sa optimalnim i stalnim nivoom QoE bilo gde i bilo kada.

- Za pružanje širokog spektra usluga, 5G mreže mogu da rade u tri frekventna opsega — niskom, srednjem i visokom (tzv. milimetarski talasi):
- Niskopojasni 5G koristi sličan frekventni opseg kao i 4G mobilni telefoni, 600–900 MHz, što potencijalno može ponuditi veće brzine preuzimanja od 4G: 5–250 megabita u sekundi (Mbit/s). Niskopojasne bazne stanice imaju domet i područje pokrivenosti slično 4G .
- 5G srednjeg opsega koristi mikrotalase od 1,7–4,7 GHz, omogućavajući brzine od 100–900 Mbit/s, pri čemu svaka bazna stanica ćelije pruža uslugu do nekoliko kilometara u radijusu. Ovaj nivo usluge je najrasprostranjeniji i raspoređen je u mnogim gradskim oblastima 2020. Neki regioni ne primenjuju niski opseg, što čini srednji opseg minimalnim nivoom usluge.
- Visokopojasni 5G koristi frekvencije od 24–47 GHz, blizu dna milimetarskog talasnog opsega, iako se u budućnosti mogu koristiti više frekvencije. Često postiže brzine download-a u opsegu gigabita po sekundi (Gbit/s), uporedive sa internet uslugom koaksijalnog kabla. Međutim, milimetarski talasi (mmWave ili mmV) imaju ograničeniji opseg, zahtevajući mnogo malih ćelija. Mogu biti ometani ili blokirani materijalima u zidovima ili prozorima ili pešacima. Zbog njihove veće cene, planovi su da se ove ćelije rasporede samo u gustim urbanim sredinama i oblastima gde se okupljaju gomile ljudi, kao što su sportski stadioni i kongresni centri. Gore navedene brzine su one postignute na stvarnim testovima 2020. godine, a očekuje se da će se brzine povećati tokom uvođenja. Spektar u rasponu od 24,25 do 29,5 GHz je najlicenciraniji i najkorišćeniji opseg 5G mmWave spektra na svetu.