

1. U V O D

Pod pojmom mobilnih radiokomunikacija podrazumjeva se radiokomunikaciona veza između dva terminala od kojih su jedan ili oba u pokretu, ili su zaustavljeni na nespecifičnoj lokaciji. Navedena definicija se odnosi kako na komunikaciju između dvije mobilne jedinice, tako i na vezu između mobilne i fiksne jedinice. Također, komunikacija tipa mobilna-mobilna jedinica može biti realizovana i komunikacijom tipa mobilna-fiksna-mobilna jedinica. Upotrijebljeni termin "mobilni" se odnosi na sve vrste terminalnih uređaja kojima se može ostvariti komunikacija u pokretu. Često se ovaj termin zamjenjuje terminom bežični, čime se želi naglasiti činjenica da se prenos signala ostvaruje bežično, odnosno korišćenjem radio-talasa.

Pri tome, najveći broj mobilnih (bežičnih) komunikacionih uređaja funkcioniše u dijelu elektromagnetskog spektra poznatog kao radio spektar, u opsegu od 3kHz do 300GHz. Ispod tog radio spektra nalaze se veoma niske učestanosti, kao što su one emitovane od strane telefonskih i energetskih kablova. Radio spektar je podijeljen u opsege, koji su opet izdijeljeni u radio kanale. Uz punu međunarodnu koordinaciju ostvarenu u okviru Međunarodne unije za telekomunikacije (ITU), vrši se dodjeljivanje ovih opsega pojedinim vrstama radiokomunikacionih sistema.

Projektovanje i implementacija mobilnih komunikacionih sistema nisu mogući bez potpunog razumijevanja specifičnosti i mehanizama prostiranja signala u odgovarajućem komunikacionom kanalu. Kako je riječ o sistemima koji su namijenjeni ostvarivanju prenosa poruke nezavisno od lokacije i vremena, njihovo funkcionisanje u značajnoj mjeri zavisi od stanja u kome se nalazi proces njihove standardizacije. Naime, upravo je uspješno

definisanje standarda koji se odnose na mobilne radio komunikacije dovelo do njihove ekspanzije koja se odvija od poslednje decenije XX vijeka.

1.1. Razvoj mobilnih komunikacionih sistema

Istorija bežičnih telekomunikacionih sistema je direktno povezana sa potrebom komunikacije na velikim rastojanjima. U teorijskom smislu početak bežičnih komunikacija može se vezati za radove *Michael Faraday*-a koji je otkrio i demonstrirao elektromagnetnu indukciju, kao i *James-a C. Maxwell*-a koji je matematički opisao elektromagnetno polje (*Maxwell*-ove jednačine, 1864. godine). Nakon toga mogućnost komuniciranja sa korisnicima u pokretu se konstantno usavršava sa prvim radovima *H.Hertza* (1880) i prvim pokušajima 1897. godine, kada je *G. Marconi* demonstrirao ostvarivanje kontinualne veze sa plovećim brodovima. Od tada su sve novije i novije verzije sistema za bežično komuniciranje sa velikim entuzijazmom prihvatane od sve većeg broja ljudi širom planete. Takav trend je posebno vidljiv u poslednjim decenijama, kada se bilježi ogroman napredak uslovljen poboljšanjima u oblasti digitalne i radio tehnologije, novim tehnikama proizvodnje kola sa visokim stepenom integracije, uz sve veće mogućnosti minijaturizacije, čime su odgovarajući telekomunikacioni terminali učinjeni inteligentijim i pouzdanijim. S druge strane i tehnike digitalne komutacije, odnosno generalne konvergencije telekomunikacionih mreža u pravcu implementacije All IP pristupa, su olakšale implementaciju mobilnih radio-komunikacionih mreža na veća rastojanja uz relativno jednostavno rukovanje.

Hronološki posmatrano savremenim mobilnim radio-komunikacionim sistemima prethodile su sledeće forme sistema koji su uključivali određeni stepen pokretljivosti korisnika: radiofoni, dispečerski sistemi, radio-pejdžing sistemi, paketski radio.

Radiofoni (voki-toki) predstavljaju dvosmjernu radio vezu, kao u slučaju CB (citizens band) radija, gdje se 40 kanala dodjeljuje za upotrebu svakom od korisnika, pod uslovom da su slobodni. Sistem ovoga tipa ne obezbeđuje privatnost korisnicima.

Dispečerski sistemi funkcionišu na jednom zajedničkom kanalu. Operator šalje poruke određenom korisniku. Takve poruke su dostupne svima u sistemu. S druge strane korisnici mogu razgovarati samo sa operatorom.

Radio-pejdžing sistemi podrazumjevaju jednosmjerni prenos poruka od strane operatora ka korisniku koji posjeduje odgovarajući prijemnik.

Paketski radio zahtjeva kontrolu višestrukog pristupa koja omogućava da veći broj različito raspoređenih uređaja emituje na istom radio kanalu bez međusobne interferencije. Kod ovog sistema svaki terminal je vezan za jedinicu kontrole predaje koja je snabdjevena prijemnikom i predajnikom i gdje se poruka formatira u pakete. Svaki paket sadrži adrese prijemne lokacije i terminala generisanja. Prijemni uređaj prima one pakete koji su na njega adresirani i šalje potvrdu ako je paket ispravno primljen. Terminal koji šalje paket čeka potvrdu i u slučaju da je ne dobije šalje paket ponovo.

Mobilni radio-komunikacioni sistemi su sistemi koji uzimanjem u obzir specifičnosti mobilnog radio kanala, obezbjeđuju sve ono što i fiksni komunikacioni sistemi uz dodatak određenih karakterističnih funkcija. Ovi sistemi se u najvećem broju slučajeva odnose na tzv. zemaljske radio veze i nude telekomunikacione servise posredstvom mobilnih terminala, sa mogućnošću potpunog pristupa fiksnim komunikacionim sistemima. Sistemi ovog tipa se mogu realizovati i za slučajeve kada se komunikacija ne odvija na zemlji (zemaljski), već iznad vodenih površina (pomorski) ili u vazduhu (aeronautički).

Od početka XX vijeka, mobilni radio- komunikacioni sistemi se stalno usavršavaju, zadržavajući osnovne principe prenosa signala i ostvarivanja komunikacije između korisnika. Njihov razvoj je sa jedne strane uslovljen sve većim brojem korisnika, odnosno potrebom za stalnim povećavanjem kapaciteta, a sa druge strane zahtjevima za sve raznovrsnijim servisima koji se pružaju ovom vrstom sistema. Tako su u početku svoje eksploatacije ovi sistemi bili namijenjeni samo prenosu govora, odnosno telefonskom servisu, da bi vremenom i ostali servisi dobijali na značaju, tako da danas upravo prenos govora predstavlja najmanje atraktivan servis u poredjenju sa ostalim servisima podržanim od strane savremenih mobilnih radio mreža.

Može se smatrati da je prvi zemaljski mobilni radio-telefonski sistem implementiran 1921. godine za potrebe policije Detroit. Njujorška policija je taj sistem preuzela 1932. godine. Ovi prvi mobilni radio-telefonski sistemi su funkcionisali u radio-frekvencijskom opsegu širine 2MHz. Sve veći zahtjevi za korišćenjem učinili su

neminovnim aktivnosti u pravcu povećanja kapaciteta ovih prvih sistema. To je i ostvareno na način što je komunikacija pomjerana ka višim učestanostima.

Regulatorno tijelo, nadležno za dodjeljivanje frekvencijskih opsega u SAD, FCC (Federal Communication Commission), je za eksperimentalne svrhe u SAD dozvolilo upotrebu 4 kanala za mobilne radio-telefonske sisteme u opsegu 30-40MHz. Eksploatacija takvih sistema je odobrena 1938.g. II svjetski rat je doveo do značajnog zaustavljanja daljeg širenja upotrebe ove vrste sistema, ali su tehnološka ostvarenja iz tog perioda omogućila prelaz na još više učestanosti.

Tako je eksperimentalni rad mobilnog radio-telefonskog sistema na 150MHz, počeo 1945.g. u laboratorijama Bell-ove kompanije u SAD. Sa dozvolama FCC, komercijalnu eksploataciju sistema na 35MHz i 150MHz (3 kanala razdvojena za 120kHz) otpočela je upravo Bell Telephone kompanija ugradnjom odgovarajućih uređaja 1946.g. Ti sistemi su radili u simplexu uz učešće mobilnog operatora, pri čemu je i mobilni korisnik morao da ručno traži slobodan kanal za slanje poruka. 1956.g. isti tip sistema je odobren za opseg 450MHz (VHF opseg), sa kanalima razdvojenim za 100kHz. Prvi sistem koji je omogućavao dupleksnu vezu sa automatskim traženjem slobodnog kanala, biranjem ka i sa mobilnog terminala, u eksploataciju je uveden 1964.g. u opsegu 150MHz (Bell Telephone Company), sa 11 kanala međusobno razdvojenih za 30kHz. Isti tip poboljšanja je 1969.g. ostvaren i za sistem na 450MHz, uz obezbjedjenje 12 kanala za razmakom od 25kHz.

Medjutim, vrlo brzo je došao do izražaja osnovni problem: nedostatak frekvencijskog opsega za obezbjedjenje sve većeg broja zahtjeva za servisom. Pri tome je prelaz na još više učestanosti zahtijevao poboljšanja u dizajnu korišćenih radio uređaja kako bi odgovarali situaciji složenijih transmisionih problema koji se javljaju na višim učestanostima.

1970. godine FCC je odobrio dio UHF opsega za javni zemaljski mobilni radio sistem (806-881MHz), sa 666 kanala na razmaku 30kHz. U odnosu na prethodni ukupno raspoloživi opseg od 1.9MHz to je bilo povećanje od skoro 40 puta. Prvi ovakav sistem je implementirala ponovo Bell telefonska kompanija, koja je dodijeljeni opseg koristila za novi, visoko kapacitivni AMPS (Advance Mobile Phone Service).

Ovaj novi Bell-ov sistem ujedno predstavlja početak potpuno nove etape u razvoju mobilnih komunikacija. Naime, u pitanju je bio sistem projektovan na principima celularno (ćelijski) planirane mreže, na čemu su bazirani i svi savremeni sistemi ovog tipa. Osnovni koncept celularne strukture zasnovan je na planiranju pokrivanja određene teritorije posredstvom tzv. ćelija u kojima je omogućeno ponavljanje kanala, odnosno frekvencija na kojima se komunikacija realizuje. Ta činjenica je i stvorila mogućnost značajnog povećavanja kapaciteta sistema. Većna samom početku celularni mobilni radio-telefonski sistemi su pružali i sledeće prednosti u odnosu na ostale vrste radio-sistema:

- direktno biranje po principu onog ostvarenog u fiksnoj telefonskoj mreži;
- apsolutnu privatnost komunikacija, sa povećanim kvalitetom;
- povećani opseg komunikacije s obzirom na vezu sa fiksnom mrežom i korišćenje njenih komutacionih resursa;
- teorijski neograničen broj kanala.

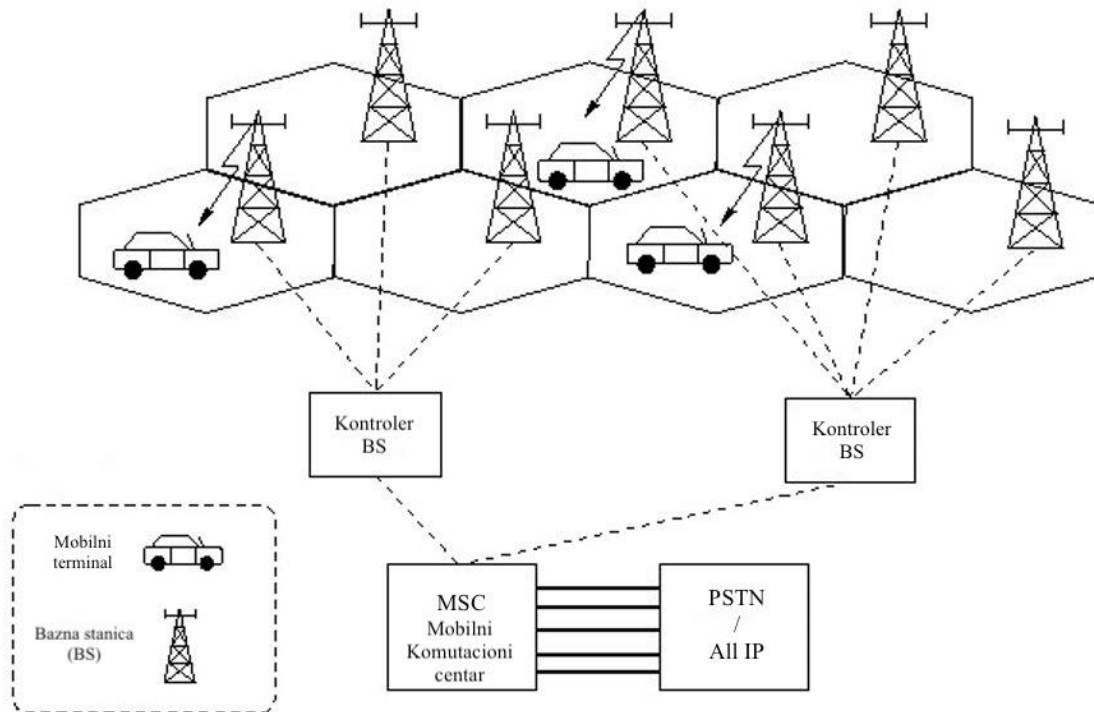
Navedene nesumljive prednosti uslovile su vrlo brzi prelazak mnogih korisnika CB radija, dispečerskih sistema i ostalih mobilnih radio-sistema, na usluge koje nude celularni mobilni radio sistemi. Generalno se može reći da je upravo implementacija ove vrste mobilnih komunikacionih sistema predstavljala prekretnicu, u smislu njihovog izuzetno intenzivnog razvoja koji je bio praćen i adekvatnim aktivnostima u oblasti standardizacije primjenljivanih rješenja.

1.2. Osnovni koncept celularnih mobilnih radio sistema

Celularni mobilni radio sistemi obezbjeđuju medjusobno bežično povezivanje mobilnih terminala koji se mogu nalaziti na bilo kojoj lokaciji u okviru zone pokrivanja sistema. Ovi sistemi podržavaju veliki broj korisnika na prostranim geografskim oblastima, u okviru ograničenog frekvencijskog spektra, uz kvalitet približan onom koji se ostvaruje fiksnim sistemima. Njihov kapacitet se povećava na osnovu korišćenog principa ponavljanja frekvencija.

Na slici 1.1 je prikazan osnovni koncept celularnog sistema, koji se sastoji od mobilnih stanica (terminala), baznih stanica (koje se nalaze na fiksnim lokacijama) i

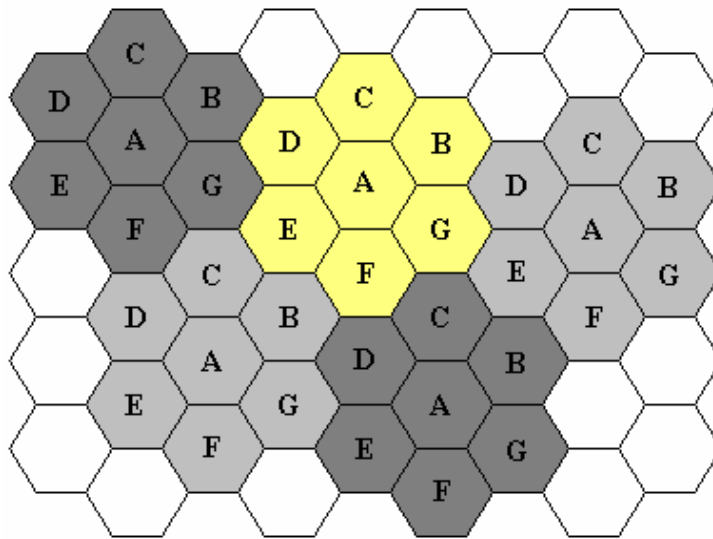
mobilnog komutacionog centra (MSC). Kako je to na slici i ilustrovano, mobilni komutacioni centar je odgovoran za ostvarivanje povezanosti celularnog sistema sa ostalim komunikacionim sistemima, tipa javne fiksne mreže (PSTN) i ostalih fiksnih ili bežičnih mreža.



Slika 1.1 Osnovna struktura celularnog mobilnog radio sistema

U suštini, na generečkom nivou, celularni mobilni radio sistem se može definisati i kao mikroprocesorski kontrolisani radio sistem za dvosmjernu komunikaciju u pokretu, sastavljen od tri osnovna softverski kontrolisana elementa: bazne stanice, korisničkog terminala i komutacionog centra. Osnovna prednost ovih sistema, koja je i dovela do njihove masovne primjene, ogleda se u povećanom kapacitetu za dati frekventijski opseg. Naime, poznato je da radio spektar predstavlja ograničen resurs kojim se upravlja na nacionalnom, i internacionalnom, nivou i koji na principu dijeljenja koriste različiti subjekti. U domenu radio telefonije osnovni problem se uvijek odnosio na obezbjedjivanje servisa za što je moguće veći broj korisnika u okviru dodijeljenog ograničenog frekventijskog spektra. U pre-celularnim sistemima, kapacitet je uobičajeno povećavan

dodatnim dijeljenjem raspoloživog frekvencijskog opsega, odnosno formiranjem dodatnih kanala. Time je istovremeno smanjivan opseg koji je dodijeljivan pojedinačnim korisnicima, sa neizbježnom posledicom u vidu pogoršavanja kvaliteta servisa. Kada je, međjutim, u pitanju celularna mreža odustalo se takvog principa dijeljenja frekvencijskog opsega. Umjesto toga, primjenjuje se dijeljenje prostora, odnosno servisne zone (ukupne zone pokrivanja) sistema, čime je omogućena implementacija koncepta ponavljanja frekvencija. Naime, ćelije kao osnovni elementi pokrivanja oblasti funkcionisanja mreže, se najprije grupišu u tzv. klaster, koji se formiraju tako da se u pojedinačnoj grupi ne dešava ponavljanje frekvencija, a raspored frekvencija u okviru grupe se utvrđuje tako da interferencija na istom kanalu koja potiče od ćelija iz susjednih klastera bude minimalna. Slika 1.2 prikazuje jedan primjer 7-ćeljskog klastera na kome je ilustrovan koncept ponavljanja frekvencija.

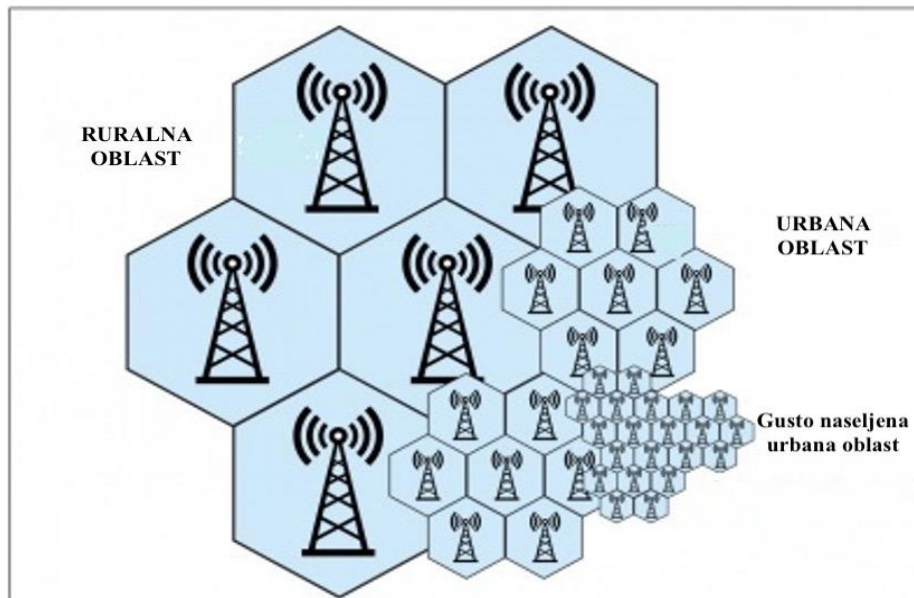


Slika 1.2 Koncept ponavljanja frekvencija

Fundamentalna razlika celularnih sistema u odnosu na sisteme prethodnih generacija je u tome što je servisna zona podijeljena na manje zone pokrivanja koje se nazivaju ćelijama, čime su stvoreni uslovi za efikasnije korišćenje radio spektra, primjenom koncepta ponavljanja frekvencija, a samim tim i povećanje broja korisnika sve brojnijih novih i tradicionalnih servisa. Pri tome, ćelije mogu biti različite veličine u zavisnosti od propagacionih karakteristika i obima saobraćaja u zoni koju pokrivaju, tako

da se može govoriti o: makro, mikro, piko, femto ćelijama. Ipak, bez obzira na veličinu, ćelije se uobičajeno modeluju u obliku šestougla, s tim što se manje ćelije aktiviraju/deaktiviraju u skladu sa zahtjevima, a sa ciljem optimalne upotrebe mrežnih resursa (slika 1.3).

U okviru svake ćelije nalazi se bazna stanica, primo-predajni radio uređaj koji sadrži radio i kontrolnu opremu kojom se omogućava komunikacija na kanalima dodijeljenim pripadajućoj ćeliji. Mobilni terminal koji se nalazi na lokaciji definisanoj odgovarajućom ćelijom, komunicira sa ostalim terminalima razmjenjujući signale poruka sa baznom stanicom koja se nalazi u istoj ćeliji. Povezivanje mobilnog terminala sa baznom stanicom u istoj ćeliji, obavlja se dodijeljivanjem nekorišćenog (slobodnog) kanala, pod kontrolom mobilnog komutacionog centra. Kada korisnik mobilnog terminala prelazi granice ćelija, što se prepoznaje na osnovu promjene nivoa signala, nova slobodna frekvencija se dodjeljuje od strane nove bazne stanice na odgovarajućoj lokaciji u novoj ćeliji (handover).



Slika 1.3 Ilustracija primjene ćelija različite veličine

Dakle, svaka bazna stanica emituje i prima signale u granicama oblasti koja je definisana dimenzijama ćelije u kojoj funkcioniše. U tu svrhu ekipirana je odgovarajućim antenskim sistemima (omnidirekcione ili direkcione antene), uređajima za kontrolu primo/predajnih funkcija, uređajima za snabdijevanje električnom energijom. Pored toga, svaka bazna stanica je povezana i odgovara za komunikaciju sa mobilnim komutacionim

centrom, preko koga je integrisana u globalnu komunikacionu mrežu, ranije javnu telefonsku mrežu (PSTN), odnosno u savremenim uslovima mrežu zasnovanu na All IP protokolu koja podržava koncept pune konvergencije različitih telekomunikacionih mreža.

Mobilni komutacioni centar je sledeći ključni segment celularnih radio sistema. Njegova osnovna uloga se svodi na komutaciju saobraćaja u mreži, kao i na kontrolu i upravljanje ukupnog funkcionisanja mreže. Osim toga, posredstvom mobilnog komutacionog centra ostvaruje se i interkonekcija celularne mreže sa ostalim mrežama koje pokrivaju istu oblast, bilo da su u pitanju fiksne ili neke druge bežične mreže. Na taj način se ostvaruje princip komunikacije koji ne poznaje granice u geografskom smislu, a kojim se omogućava medjusobna komunikacija terminala različite prirode bez obzira na to gdje se nalaze. Drugim riječima stvoreni su uslovi za realizaciju koncepta na kome su se potom razvijale telekomunikacije: komunikacija u bilo kom trenutku, sa bilo kim, bilo gdje. Takav koncept, zasnovan na stvaranju uslova za potpunu povezanost ljudi na globalnom nivou (Human To Human-H2H), je bio dominantan do kraja prve dekade 21.vijeka. Nakon toga, uz dalje usavršavanje i samog celuranog mrežnog koncepta, sve veći značaj dobija komunikacija između mašina i objekata različite prirode (M2M-Machine To Machine).

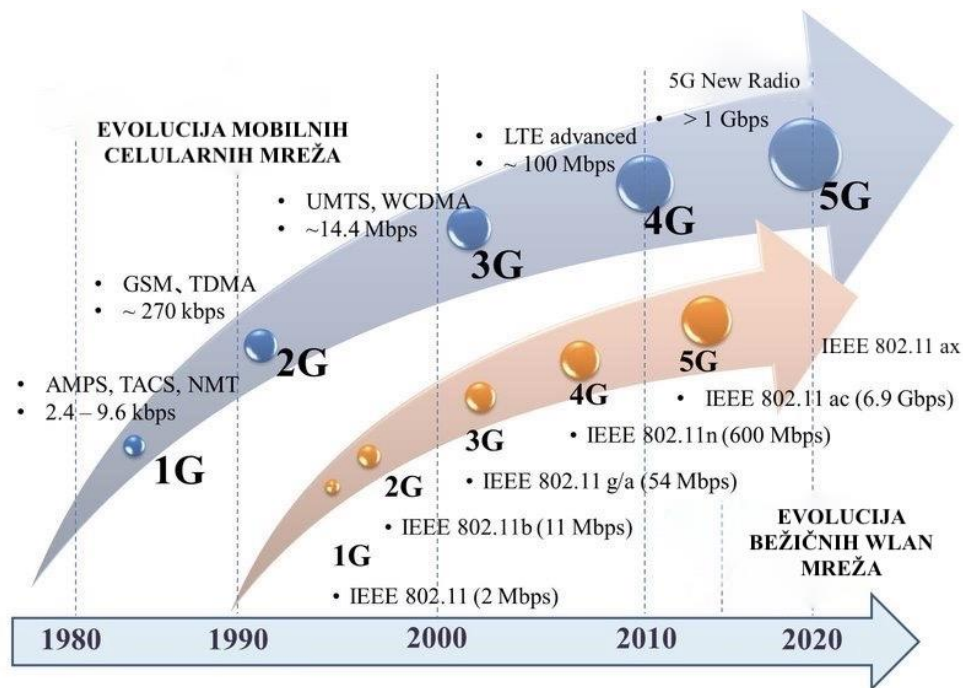
Pri tome, savremeni telekomunikacioni sistemi se razvijaju na principima konvergencije fiksnih i bežičnih mreža, uz punu implementaciju Internet infrastrukture koja je i omogućila prelaz sa H2H paradigme konektovanih ljudi na M2M paradigmu konektovanih stvari i objekata. Kako se očekuje da će broj povezanih objekata (i stvari) biti desetinama puta veći od broja uređaja namijenjenih za H2H komunikaciju, može se očekivati da će M2M komunikacija postati ključni element u budućim mrežama, koje će ustvari predstavljati Internet sledeće generacije (IoT-Internet of Things).

1.3. Standardizacija celularnih mobilnih radio sistema

Kako je to već navedeno, jedan od osnovnih principa na kojima se razvijaju celularni mobilni radio sistemi je zasnovan na mogućnosti ostvarivanja prenosa poruka bilo kada, bilo gdje i sa bilo kim (odnosno sa bilo čim). To je naravno moguće zahvaljujući činjenici da pokrivenost celularnim sistemima stalno raste, ali i činjenici da su oni povezani kako medjusobno, tako i sa ostalim, fiksnim i bežičnim, komunikacionim sistemima.

Medjutim, i pored toga, ne može se govoriti o ostvarivanju pune povezanosti ukoliko ne postoji visok stepen kompatibilnosti izmedju samih celularnih sistema.

Činjenica je da se u svom dosadašnjem razvoju celularni sistemi pojavljuju u različitim formama, uslovljenim kako tehnološkim rješenjima, tako i različitim frekvencijskim opsezima na kojima funkcionišu. Imajući u vidu stalno rastuće zahtjeve za upravo bežičnom komunikacijom, to je i razlog da standardizacija i usvajanje zajedničkih standarda za celularne sisteme predstavljaju jedan od ključnih procesa u razvoju i uspješnoj implementaciji bilo kog mobilnog celularnog radio sistema. Vremenski dijagram koraka u evoluciji celularnih mobilnih radio mreža je dat na slici 1.4, uz dodatno prezentovane faze u razvoju standarda za WLAN mreže koje se, uz celularne mobilne, mogu smatrati najzastupljenijim vidom ostvarivanja komunikacije u pokretu.



Slika 1.4 Evolucija celularnih mobilnih radio sistema

Najviši autoritet na polju definisanja standarda u oblasti telekomunikacija ima Međunarodna unija za telekomunikacije (ITU) i njen sektor za radiokomunikacije (ITU-R). Kad su u pitanju konkretno mobilni radio sistemi, ITU angažman, i uloga koju ima na globalnom nivou, u velikoj mjeri je podržan i komplementaran su radom i rezultatima koji se sprovode na nivou 3GPP (*Third Generation Partnership Project*). 3GPP ne predstavlja

klasično standardizaciono tijelo, već razvija i održava globalne tehničke specifikacije saradnjom regionalnih standardizacionih organizacija (3GPP organizacioni partneri), kako bi se proizvođačima mrežne i korisničke opreme omogućilo da razvijaju proizvode koji su globalno interoperabilni.

Osnovna klasifikacija standarda za celularne mobilne sisteme polazi od tehnologije korišćene za njihovu realizaciju. U tom smislu, razlikuju se: analogni i digitalni celularni mobilni sistemi. Hronološki prvi celularni sistemi su se pojavili početkom 80-tih godina XX vijeka u SAD. U pitanju je bio AMPS (*Advanced Mobile Phone System*) koji je podržavao analogni prenos signala u opsegu širine 50MHz (824-849MHz i 869-894MHz). Taj dodijeljeni opseg je bio podijeljen u 832 kanala širine 30kHz, i njegova javna upotreba je počela 1983. godine. Istovremeno i u Evropi su razvijeni određeni standardi za celularne mreže zasnovane na analognom prenosu: TACS (*Total Access Communication System*) u Velikoj Britaniji, Italiji, Španiji, Austriji i Irskoj; NMT (*Nordic Mobile Telephone*) u skandinavskim zemljama; C-450 u Njemačkoj i Portugalu; Radiocom 2000 u Francuskoj.

Kada se govori o različitim standardima celularnih mreža, uobičajeno se standardi kojima su definisani prethodno nevedeni analogni sistemi, nazivaju standardima prve generacije (1G), i jasno je da su ovi sistemi bili namijenjeni prenosu govornih poruka. Digitalizacija, kao opšti trend u telekomunikacijama, kada su celularne mreže u pitanju dolazi do izražaja 90-tih godina XX vijeka. Tada je počela implementacija sistema druge generacije (2G). Konkretno, digitalizacijom su prevaziđena brojna ograničenja mobilnih radio sistema prve generacije u pogledu kvaliteta i kapaciteta prenosa. Istovremeno je stvorena mogućnost prenosa zadovoljavajućim kvalitetom ne samo govornih poruka, već i podataka.

U odnosu na analogne sisteme, digitalni celularni sistemi su omogućili poboljšanja u smislu : kapaciteta, pouzdanosti, spektralne efikasnosti, nivoa sigurnosti. Pri tome, je njihova implementacija u opsegu 900MHz realizovana primjenom različitih standarda. To su: evropski GSM (*Global System Mobile*), američki IS-54 i IS-95 koji su ustvari predstavljali digitalnu verziju AMPS, takodje američki Qualcomm-ov CDMA (*Code Division Multiple Access*) i japanski PDC (*Personal Digital Cellular*). Tokom eksploatacije, svaki od ovih standarda je poboljšavan u pravcu boljeg kvaliteta prenošenog signala i omogućavanja ispunjavanja stalno rastućih zahtjeva za prenosom podataka

(2.5G : GPRS-*General Packet Radio Service*; EDGE-*Enhanced Data Rates for GSM Evolution* ; HSCSD-*High Speed Circuit Switched Data Service*).

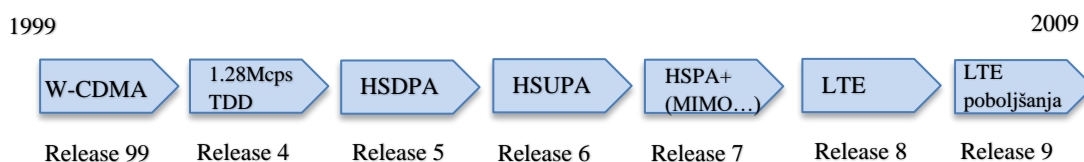
Sledeći korak u razvoju mobilnih radiokomunikacionih sistema i njihovom prilagođavanju zahtjevima korisnika predstavljaju standardi treće generacije (3G), koji su obezbijedili punu integraciju u prenosu govornog signala i signala podataka uz globalno pokrivanje. Ubrzo nakon što je 2G postao operativan, ITU-R definiše zahtjeve za sisteme koji su se kvalifikovali za IMT-2000 (*International Mobile Telecommunications 2000*), odnosno za 3G standard(e). Evropski institut za telekomunikacione standarde (ETSI - *European Telecommunications Standards Institute*) je u januaru 1998. god. usvojio UMTS (*Universal Mobile Telecommunication System*) baziran na dvije varijante kodnog multipleksa, WCDMA (*Wideband Code Division Multiple Access*) i TD-CDMA (*Time Division CDMA*). Paralelno, razvijen je i CDMA2000 standard od strane 3GPP2 grupe (asocijacija standardizacionih organizacija SAD, Japana, Kine i Južne Koreje), kao usavršena verzija 2G CDMA One (IS-95) standarda, implementiranog u SAD i Južnoj Koreji. U takvim uslovima postojanja i dalje različitih standarda na globalnom nivou, ITU odlučuje da izda specifikacije za grupu standarda kojima su definisane karakteristike na nivou radio interfejsa. Pri tome, UMTS kao najrasprostranjeniji mobilni komunikacioni sistem treće generacije (3G) je bio jedan od prvih celularnih sistema koji se kvalifikovao za IMT-2000 standard. Pored toga, pet drugih tehnologija je bilo kvalifikovano da zadovolji zahtjeve IMT-2000, uključujući tri zasnovane na CDMA, verziji GSM/EDGE poznatoj kao UVC-136, i dvije tehnologije zasnovane na OFDMA (*Orthogonal Frequency Division Multiple Access*).

Ipak, reba naglasiti da, iako tehnološki značajno naprednije, mobilne mreže treće generacije nijesu postigle očekivani komercijalni uspjeh, najviše zbog dijapazona podržavanih servisa, koji je bio slabiji od onoga kakav se od nove tehnologije očekivao. Medjutim, dodatnim tehnološkim unapredjenjima, posebno kroz HSPA (*High Speed Packet Access*), kao i obogaćivanjem izbora servisa orjentisanog, prije svega, ka širokopojasnim mobilnim servisima, 3G mreže su stvorile komercijalni potencijal za dalji razvoj mobilne industrije. Sve do 2007. godine, u ITU-R dokumentima, paralelno sa terminom IMT-2000, koji se odnosi na 3G mreže, za mobilne mreže narednih generacija koristio se termin *Beyond IMT-2000* sistemi. Na ITU-R RA-07 (Radio Assembly 2007)

odlučeno je da se termin IMT-2000 odnosi i na sva unapredjenja i dalji razvoj tehnologija koje obuhvata, a da se za sisteme zasnovane na novim tehnologijama radio interfejsa, izvan IMT-2000, uvede novi termin *IMT-Advanced*, koji ustvari predstavlja ITU-R jedinstvenu platformu za razvoj mobilnih komunikacionih mreža četvrte generacije (4G).

Dalje aktivnosti u pravcu definisanja standarda višeg reda (4G: LTE, LTE Advanced; 5G) bile su usmjerene na stvaranje uslova za podršku punoj konvergenciji sa multimedijalnim Internet tehnologijama. Osnovni razvojni koncept se zasniva na realizaciji *All-IP* bežične mreže, koja koristi IP bazirane protokole za podršku svim funkcijama na mrežnom ili višim slojevima u jezgru mreže, kao i u pristupnim radio mrežama.

U tom kontekstu, evolucija UMTS-a je dovela do LTE (*Long Term Evolution*) standarda koji je komercijalno prihvaćen kao 4G i koji se sastoji od novog radio interfejsa zasnovanog na OFDMA višestrukom pristupu, novoj arhitekturi i jezgru mreže. LTE standard je ponudio značajna poboljšanja u kapacitetu, i dizajniran je tako da mreže dobiju nove funkcionalnosti, bez korišćenja komutacije kola. Krajem 2007. godine prve LTE specifikacije su odobrene u 3GPP kao LTE *Release 8*, sa maksimalnim brzinama prenosa podataka od približno 326Mb/s, povećanom spektralnom efikasnošću i značajno manjim kašnjenjem (do 20ms) od prethodnih sistema. Generalno, princip rada 3GPP grupe je objavljivanje tzv. *release-a*, odnosno na nivou grupe usaglašenih tehničkih specifikacija koje uvijek predstavljaju korak u pravcu dalje evolucije standarda i razvoja celularnih mobilnih sistema, kako je to i ilustrovano na slici 1.5.



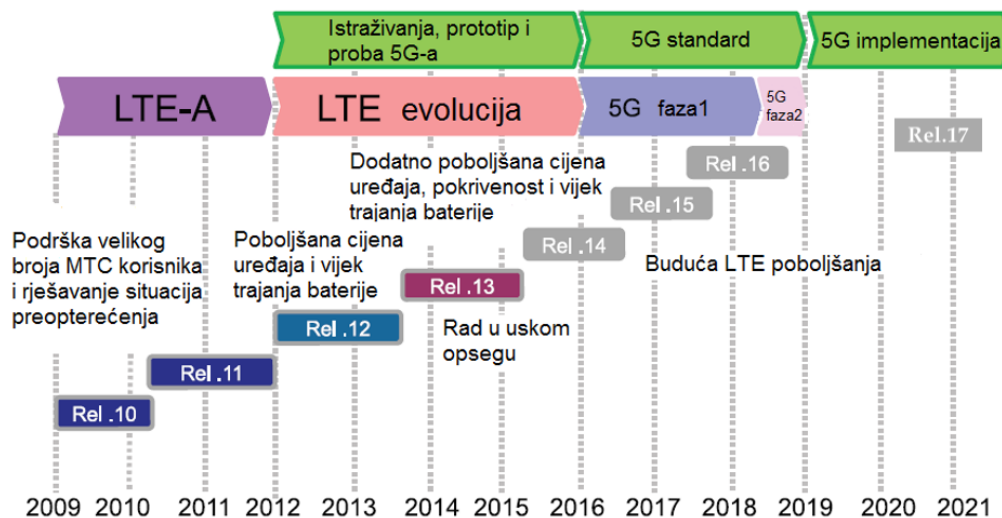
Slika 1.5 3GPP standardi za 3 G i 4G

Istovremeno sa aktivnostima 3GPP, ITU-R je radio na definiciji zahtjeva za *IMT-Advanced*, nasljednika IMT-2000. Kako LTE *Release 8* nije bio u skladu sa *IMT-Advanced* zahtjevima, u početku se smatrao samo pretečom 4G tehnologije. Međutim, to je naknadno usaglašeno u uobičajenoj upotrebi, tako da je faktički LTE *Release 9* prihvaćen kao 4G.

3GPP standardizacija LTE se nastavlja i nakon toga, dodavanjem novih mogućnosti, agregacijom podnosilaca, primjenom releja, kao i smanjivanjem interferencije. Dodaju se novi opsezi frekvencija i koordinisana transmisija, MIMO sistemi većeg reda, uz agregaciju podnosilaca. Takav razvoj faktički znači evoluciju u pravcu naredne generacije celularnih mobilnih mreža.

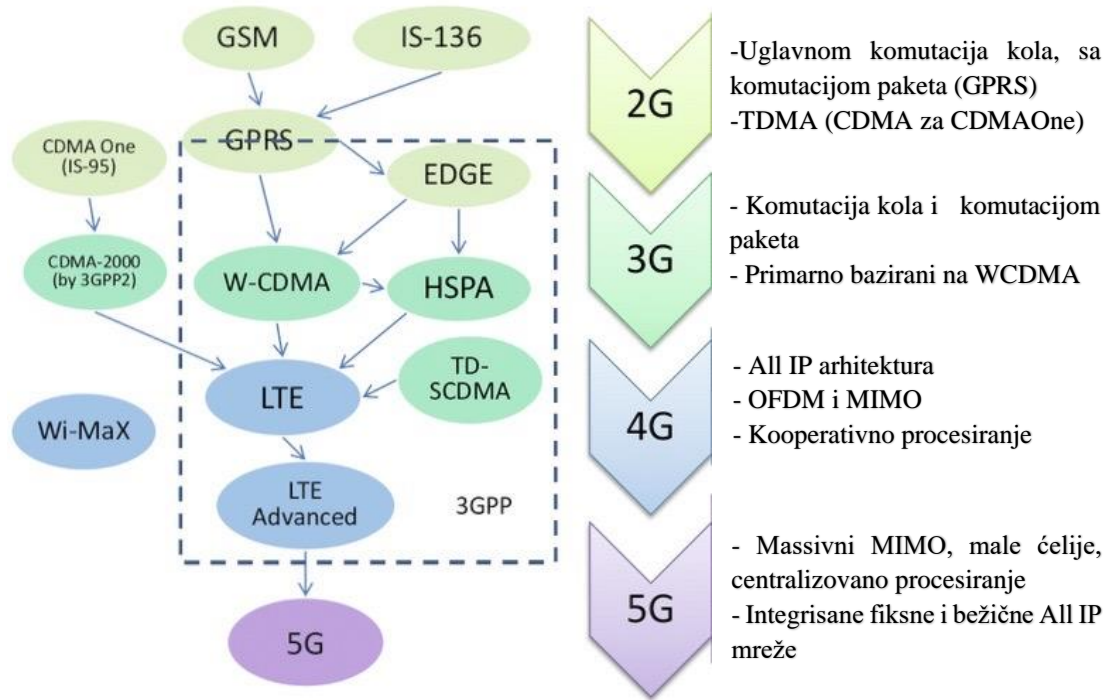
Ideja o 5G predstavljena je još 2012. godine kada je ITU-R pokrenuo program razvoja IMT-a za 2020. godinu i kasnije (*IMT-2020 and beyond*), čime se došlo do koncepta 5G mreža kao uslova za mobilno širokopojasno povezano društvo. Ove mreže su zasnovane na skupu specifičnih zahtjeva, tipa: maksimalne brzine prenosa podataka, maksimalne spektralne efikasnosti, korisničke brzine prenosa podataka, 5% korisničke spektralne efikasnosti, prosječne spektralne efikasnosti, kapaciteta saobraćaja, kašnjenja, gustine konektivnosti, energetske efikasnosti, pouzdanosti, mobilnosti, vremena prekida mobilnosti, širine propusnog opsega. ITU-ova preporuka ITU-R M.2083 daje okvir i opšte ciljeve u vezi IMT-2020 i narednih standarda, s tim što IMT-2020 grupa standarda definiše set specifikacija za 5G mobilne mreže, uključujući različite scenarije primjene (u raznim propagacionim okruženjima), servisne mogućnosti i tehnološka rješenja.

Kad je u pitanju 3GPP, razvoj u pravcu definisanja i stvaranja uslova za implementaciju 5G standarda je uslijedio nakon uvođenja poboljšanja u LTE standard, što je dovelo do definisanja prvih specifikacija u 2017.godini, kako je to i ilustrovano na slici 1.6.



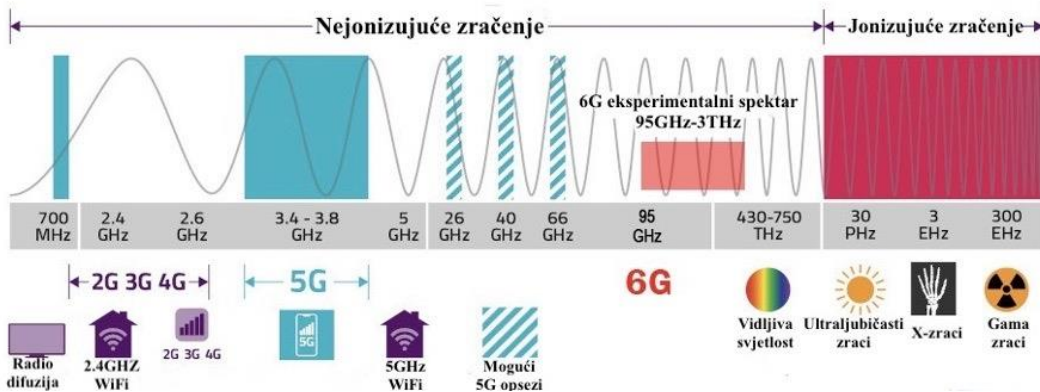
Slika 1.6 Razvoj 3GPP 5G standarda

Jasno je da definisanje novih standarda celularnih mobilnih radio sistema u kontinuitetu polazi od stvaranja mogućnosti kako za prenos velikim brzinama podataka, tako i za širokopolasni prenos inetraktivnih multimedijalnih sadržaja. Pregled ključnih karakteristika pojedinih generacija standarda je dat na slici 1.7.



Slika 1.7 Standardi za 1G - 5G celularne mobilne radio mreže

Tabela 1.1 detaljnije sistematizuje karakteristike standarda za celularne mobilne mreže različitih generacija, dok slika 1.8 ilustruje njihove pozicije u frekvencijskom spektru.



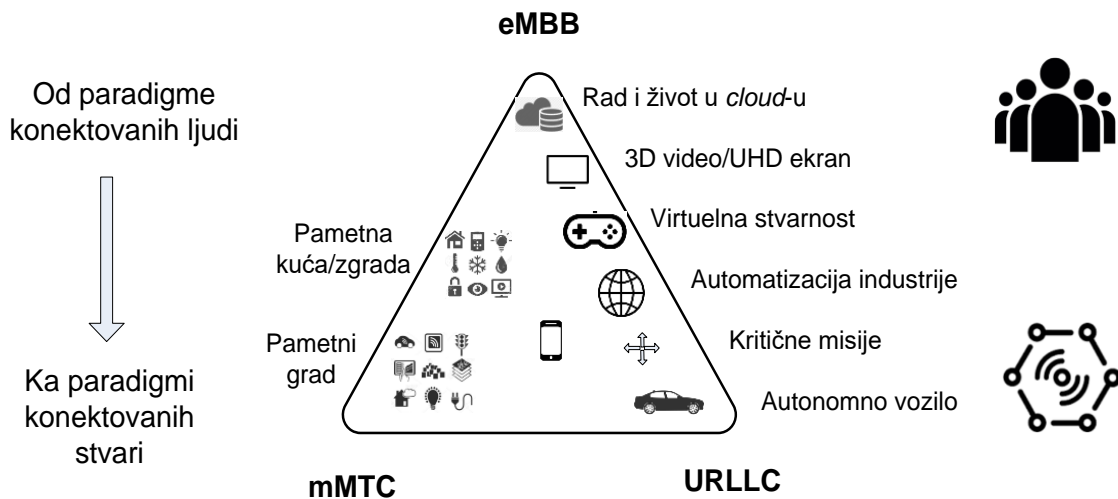
Slika 1.8 Raspored frekvencijskih opsega za celularne mobilne radio sisteme

Tabela 1.1 Karakteristike 1G-5G celularnih mobilnih mreža

Generacija	Tehnologija pristupa	Brzina prenosa	Frekv opseg	Širina kanala	Komutacija	Jezgro mreže	Servisi
1G	AMPS FDMA	2.4 kb/s	800MHz	30kHz	CS	PSTN	Govor
2G	GSM TDMA	10 kb/s	850/900 1800/1900 MHz	200 kHz	CS	PSTN	Govor Podaci
	CDMA			1.25 MHz			
2.5G	GPRS	50 kb/s		200 kHz	CS/PS	PSTN	
	EDGE	200 kb/s					
3G	WCDMA/ UMTS	384 kb/s	800/850/900 1800/1900 2100 MHz	5 MHz	CS/PS	PSTN	Govor Podaci Video
	CDMA2000			1.25 MHz			
3.5G	HSUPA HSDPA	5-42 Mb/s		5 MHz	PS	PSTN	
	EV-DO			1.25 MHz			
4G	LTE/ OFDMA	100- 200 Mb/s	1.8 GHz 2.6 GHz	1.4 MHz – 20 MHz	PS	All IP	Govor Podaci HDTV On line intera- ktivni servisi
	LTE-A/ OFDMA	DL 3 Gb/s UL 1.5Gb/s					
5G	4G+5G NR	10-50 x LTE 10-50Gb/s (expected)	FR1 (sub 6GHz) : 450 MHz - 6 GHz FR2 (mmWave): 24.25 GHz – 52.6 GHz	5MHz- 100MHz	PS	All IP	HDTV AR/VR WSN IoT M2M

(CS- komutacija kola ; PS – komutacija paketa)

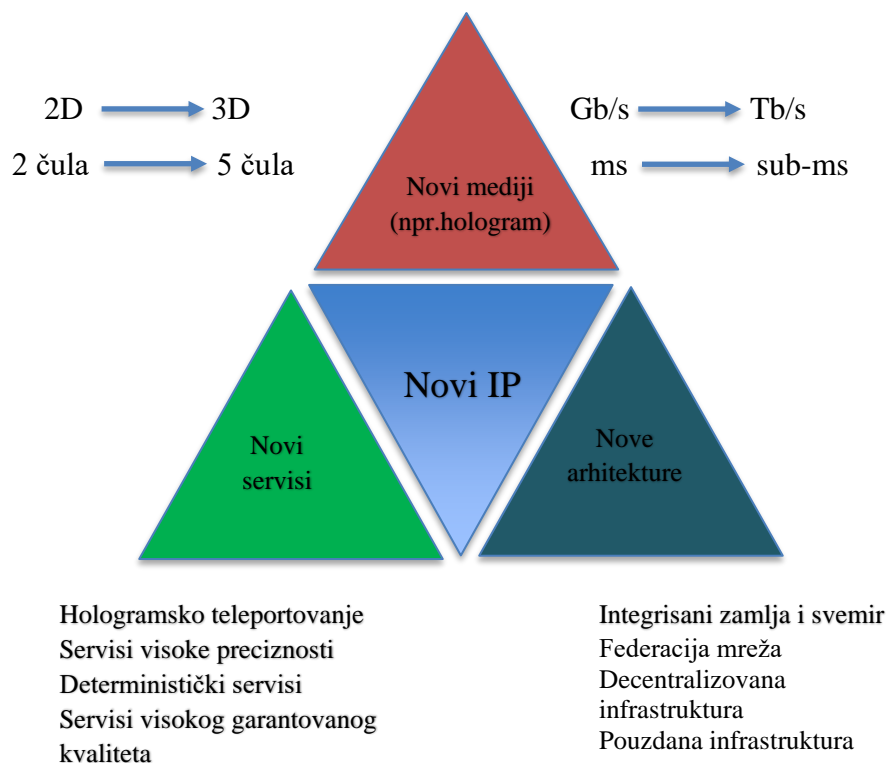
Konkretni koraci u pravcu ostvarivanja 5G sistema baziranih na konceptu ilistrovanom na slici 1.9 ostvoreni su tokom 2020. godine, implementacijom prvih mreža koje su omogućile ne samo povećanje brzine prenosa, već i dalje povećanje kapaciteta sistema, punu heterogenost mreže, masovnu konektivnost, preciznije pokrivanje servisne zone, značajno bolju energetska efikasnost, manje kašnjenje u prenosu. Ostvarivanje telekomunikacione paradigme povezivanja različitih objekata (M2M) zasnovano je na implementaciji novih rješenja na nivou radio pristupne mreže koja su definisana u okviru standarda za 5G New Radio mreže. Ono što predstavlja posebnu specifičnost 5G mreža je da su te specifikacije date za određene klase korisničkih scenarija (aplikacija), pri čemu je cijeli koncept zasnovan na tri osnovne klase koje služe za uspostavljanje zahtjeva koje 5G mreže moraju da ispune da bi omogućile postojeće i buduće aplikacije: *eMBB*-napredni mobilni širokopojasni prenos; *mMTC*- masovna komunikacija između uređaja (objekata); *URLLC*-prenos sa ultra malim kašnjenjem). Na taj način se postiže podrška za: mobilnost, masovnost, veliku brzinu prenosa, ultra malo kašnjenje u prenosu, čime se stvaraju uslovi za ispunjavanje zahtjeva korisnika za novim multimedijalnim, interaktivnim aplikacijama i servisima, sa potrebnim nivoom kvaliteta.



Slika 1.9 Koncept 5G celularnih mobilnih sistema

Pri tome, i dalje je aktuelan veliki broj izazova povezanih sa pitanjima odgovarajućih

tehnoloških rješenja na svim nivoima 5G celularnih mreža, kao i sa izborom odgovarajućih frekvencijskih opsega za njihovo funkcionisanje, tako da se može smatrati da će ukupna dinamika implementacije zavistiti od brzine konvergencije sa IoT konceptom, odnosno upravo od mogućnosti da se postigne zahtjevani kvalitet masovne M2M komunikacije. Takođe, paralelno sa usavršavanjem 5G standarda, aktuelizovana su i istraživanja za sisteme nakon 5G (*beyond 5G*), tako da su se već pojavile ideje o tome šta bi mogli biti zahtjevi za 6G. Nove aplikacije, kao što je holografija, sa zahtijevanim brzinama prenosa podataka reda Tb/s, što je za oko tri reda veličine veće od brzine prenosa podataka koje se očekuju u okviru 5G mreža, predstavljaju jedno od očekivanih polja primjene. Uz eksponencijalno povećanje i stalni rast broja IoT uređaja, biće takođe neophodno dodatno poboljšati povezivanje i pokrivenost celularnih mreža. U tom kontekstu, trenutna razmišljanja idu u pravcu koncepta prikazanog na slici 1.10, za koji se smatra da može postati realnost do 2030. godine.



Slika 1.10 Principi novog koncepta razvoja nakon 5G mreža – 2030 Mreža