

RAZVOJ MOBILNIH KOMUNIKACIJSKIH SUSTAVA

Golubić, Domagoj

Undergraduate thesis / Završni rad

2021

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **Virovitica University of Applied Sciences / Veleučilište u Virovitici**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:165:180285>

Rights / Prava: [In copyright](#)/[Zaštićeno autorskim pravom.](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2025-01-18**

Repository / Repozitorij:



[Virovitica University of Applied Sciences Repository - Virovitica University of Applied Sciences Academic Repository](#)



VELEUČILIŠTE U VIROVITICI

Preddiplomski stručni studij Elektrotehnika

DOMAGOJ GOLUBIĆ

RAZVOJ MOBILNIH KOMUNIKACIJSKIH SUSTAVA

ZAVRŠNI RAD

VIROVITICA, 2021.

VELEUČILIŠTE U VIROVITICI

Preddiplomski stručni studij Elektrotehnika

RAZVOJ MOBILNIH KOMUNIKACIJSKIH SUSTAVA

ZAVRŠNI RAD

Predmet: Telekomunikacijske mreže

Mentor:

dr. sc. Oliver Jukić

Student:

Domagoj Golubić

VIROVITICA, 2021.



OBRAZAC 1b

ZADATAK ZAVRŠNOG RADA

Student/ica: DOMAGOJ GOLUBIĆ **JMBAG:** 0152209922

Imenovani mentor: dr. sc. Oliver Jukić, prof. v. š.

Imenovani komentor: -

Naslov rada:

Razvoj mobilnih komunikacijskih sustava

Puni tekst zadatka završnog rada:

U Vašem radu detaljno opišite model pokretljivosti kao i zahtjeve koje mobilni sustavi moraju zadovoljiti. Opišite detaljno 2G arhitekturu, te njenu migraciju na 2.5G mrežu.

Opišite nakon toga razvoj prema tehnologijama 3, 4 i 5G, uz osnovne naznake arhitekture tih mreža i njihovih glavnih značajki.

Datum uručenja zadatka studentu/ici: 28.07.2021.

Rok za predaju gotovog rada: 06.09.2021.

Mentor:

dr. sc. Oliver Jukić, prof. v. š.

Dostaviti:

1. Studentu/ici
2. Povjerenstvu za završni rad - tajniku

RAZVOJ MOBILNIH KOMUNIKACIJSKIH SUSTAVA

DEVELOPMENT OF MOBILE COMMUNICATION SYSTEMS

SAŽETAK - Mobilni komunikacijski sustavi koriste se elektromagnetskim zračenjem radiovalova za prijenos podataka u slobodnom prostoru. Prostor koji pokrivaju primopredajne bazne stanice, tzv. ćelije, je prostor na kojem postoji mogućnost bežičnog pristupa mobilnoj komunikacijskoj mreži. Kako bi se postigla bežična komunikacija korisnika i mobilne mreže, potrebno je ispuniti zahtjeve modela pokretljivosti, za što je zadužen mrežni proces poznat kao upravljanje pokretljivošću. Mobilni sustav druge generacije GSM, prelaskom na digitalni prijenos podataka s analognog modela prve generacije, započinje nagli razvoj telekomunikacija, telekomunikacijskih tehnologija i mobilnih uređaja. Komercijalnom uporabom mobilnih komunikacijskih mreža stvara se potražnja za boljom kvalitetom usluge, većim brzinama i većim kapacitetima mreže, što otvara veliki interes u području razvoja telekomunikacija. Razvoj tehnologije omogućava implementacije novih usluga modifikacijom postojeće GSM arhitekture, poput proširenja GPRS koje, uz uslugu glasovnog poziva, omogućava slanje SMS poruka i pristup internetu. Razvojem idućih generacija, uporaba mobilnih mreža polako se standardizira i otvara novi način komunikacije i razmjene podataka na svjetskoj razini. Treća generacija rješava sve zahtjeve modela pokretljivosti i donosi novi način pristupa internetu putem mobilne mreže uz novi naplatni model. Četvrta generacija mobilnih mreža prva ima standardiziranu kvalitetu usluga koje se pružaju, a petom generacijom očekuju se vrlo velike brzine prijenosa i veća fleksibilnost korištenja mobilne mreže.

Ključne riječi: razvoj telekomunikacija, model pokretljivosti, GSM, GPRS, 2G

SADRŽAJ

1. UVOD	1
2. OSNOVNI KONCEPT MOBILNIH SUSTAVA	2
3. MODEL POKRETLJIVOSTI	4
4. MOBILNE MREŽE DRUGE GENERACIJE – 2G	6
4.1. Temelji 2G mreže	6
4.2. GSM - Global System for Mobile Communications	6
4.3. Transmisijski sustav GSM mreže	7
4.4. Arhitektura GSM mreže.....	8
4.5. Upravljanje pokretljivošću u GSM sustavu	12
4.6. GPRS – General Packet Radio Service.....	16
4.7. Arhitektura GPRS mreže	16
5. TEHNOLOŠKI RAZVOJ MREŽA NOVE GENERACIJE	18
5.1. Mobilne mreže treće generacije - 3G.....	18
5.2. Arhitektura UMTS mreže	18
5.3. Mobilne mreže četvrte generacije – 4G	19
5.4. Arhitektura LTE mreže	20
5.5. Mobilne mreže pete generacije – 5G	21
5.6. Arhitektura 5G mreže	22
6. ZAKLJUČAK	23
7. LITERATURA.....	24
8. POPIS ILUSTRACIJA.....	26

1. UVOD

Današnji komunikacijski sustavi su neizostavan dio ljudskog načina života. U početku specijalizirani sustavi za nekolicinu specijaliziranih institucija, poput vojske i policije, porastom broja korisnika i potražnjom sve većeg opsega usluga razvijaju se mobilne mreže za komercijalnu uporabu šire javnosti.

Ovaj rad pobliže će objasniti što su to mobilni komunikacijski sustavi, koje zahtjeve moraju ispuniti i njihov razvoj kroz generacije. Naglasak će biti na mobilnom sustavu druge generacije i njegovom razvoju prema trećoj generaciji.

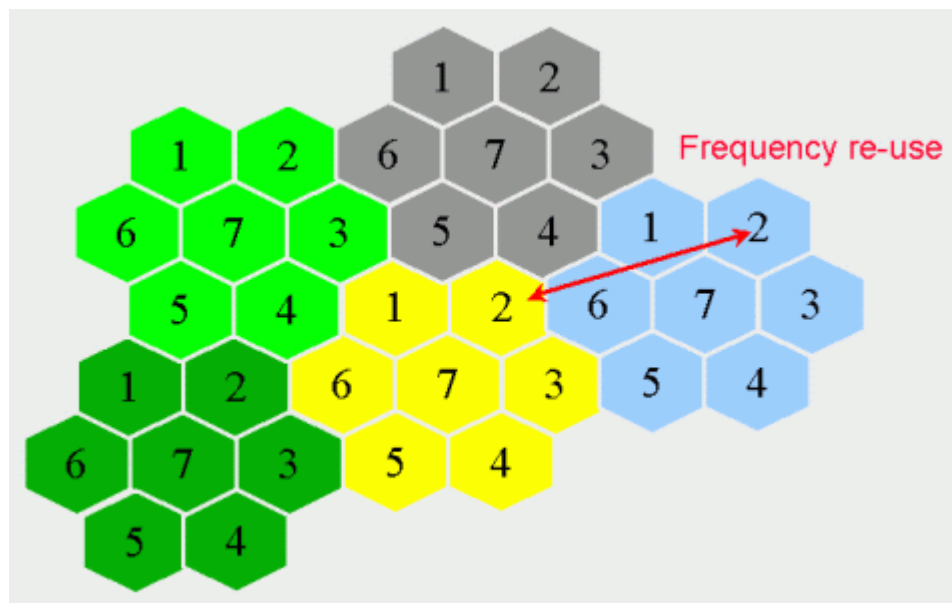
Sljedeće poglavlje pobliže će objasniti što je to mobilna mreža i osnovni princip rada mobilnih mreža, kao i njene osnovne dijelove.

U trećem poglavlju objasnit će se model pokretljivosti, njegovi zahtjevi i ciljevi koje mobilna mreža mora ispuniti kako bi se smatrala mobilnom mrežom. Četvrto poglavlje objasnit će arhitekturu mreža druge generacije, prednosti i nedostatke, kao i njihov način upravljanja pokretljivosti. U petom poglavlju proći ćemo kroz tehnološki razvoj mobilnih mreža od 3G do 5G, uz navođenje njihovih glavnih značajki i osnovne naznake arhitekture.

2. OSNOVNI KONCEPT MOBILNIH MREŽA

Mobilni komunikacijski sustav ili mobilna mreža je vrsta komunikacijske mreže u kojoj je zadnja veza bežična, odnosno to je mreža u kojoj se prijenos podataka odvija bežično na barem jednom kraju mreže. Medij za bežični prijenos informacija u mreži su elektromagnetski valovi ili radiovalovi koji putuju kroz slobodan prostor. Svaka mobilna mreža sastoji se od, tzv. „ćelija“. Ćelija je mala geografska regija koju pokriva jedna bazna stanica. Svakoj ćeliji se dodjeljuje određena frekvencija i raspon kanala za komunikaciju. Zbog ograničenosti frekvencijskog spektra veći broj ćelija morat će koristiti već upotrjebljenu frekvenciju prijenosa što će dovesti do interferencije. Pravilnom alokacijom ćelija koje koriste istu frekvenciju na određenu udaljenost ovo se može lako izbjeći.

Slika 2.1.: Ponovno korištenje frekvencija u ćelijama

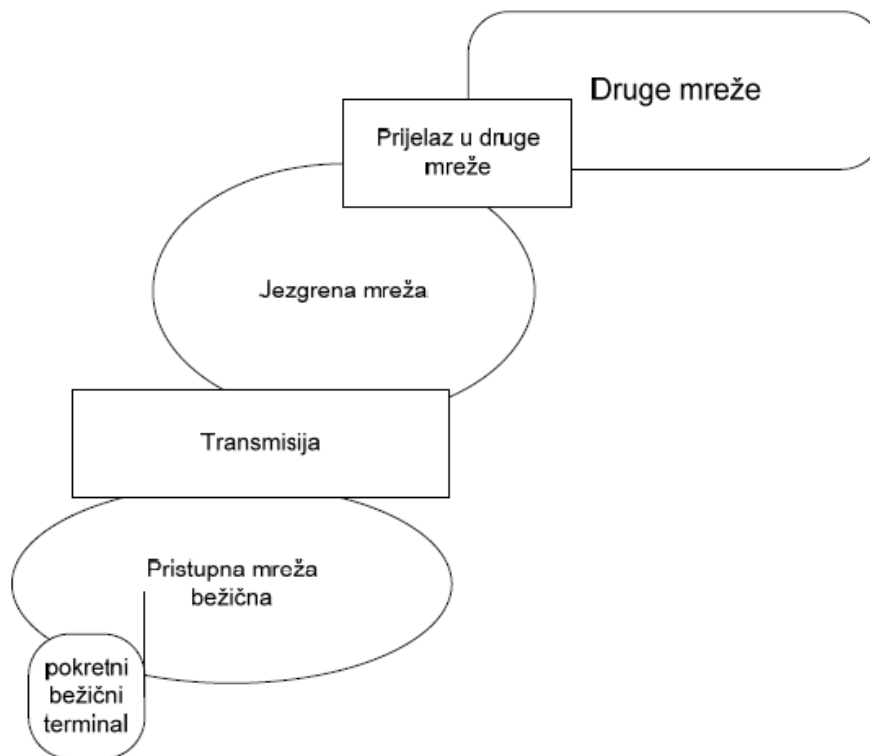


Izvor: TelecomABC, www.telecomabc.com/c/cellular.html (1.9.2021.)

Na slici 1. prikazan je skup ćelija s brojem bazne frekvencije. Primjećujemo da se između dvije ćelije koje koriste istu baznu frekvenciju se nalazi po dvije ili više ćelija s drugom frekvencijom, tako da ne postoji mogućnost interferencije ni najjednom djelu mreže. Područje s više ćelija, koje pripadaju jednom upravljačkom centru, nazivamo lokacijsko područje (eng. *Location Area - LA*) koje je na slici prikazano bojama ćelija.

Svaki mobilni komunikacijski sustav prati ustanovljenu opću arhitekturu mreže. Opća arhitektura mreže je pojednostavljeni način prikaza mreže, tj. dijelova koje svaka mreža sadržava da bi se mogla nazvati mrežom, bez ulaza u strukturu pojedinog dijela.

Slika 2.2.: Opća arhitektura mreže



Izvor: Jukić, O. (2013.): Uvod u telekomunikacijske mreže, Visoka škola za menadžment u turizmu i informatici u Virovitici, str. 190

Jezgrena mreža je jezgra mobilnog sustava. Izvedena je kao fiksna mreža s kojom se povezuju svi prostorno raspodijeljeni dijelovi pristupne mreže. Dijelovi jezgrene mreže ostvaruju kontrolne i upravljačke funkcije, te osiguravaju usluge poslužiteljskim sustavima u samoj mreži ili povezuju te sustave od strane vanjskih davatelja usluga.

Pristupna mreža je sustav pomoću koje korisnik ostvaruje pristup mreži, te mu se omogućuje korištenje usluga ostvarivih od strane jezgrene mreže.

Transmisija označava dio mreže zadužen za prijenos podataka i signala između pristupne mreže i jezgre, dok prijelaz u druge mreže omogućuje jezgri da se poveže s drugim mrežama, poput javne telefonske linije.

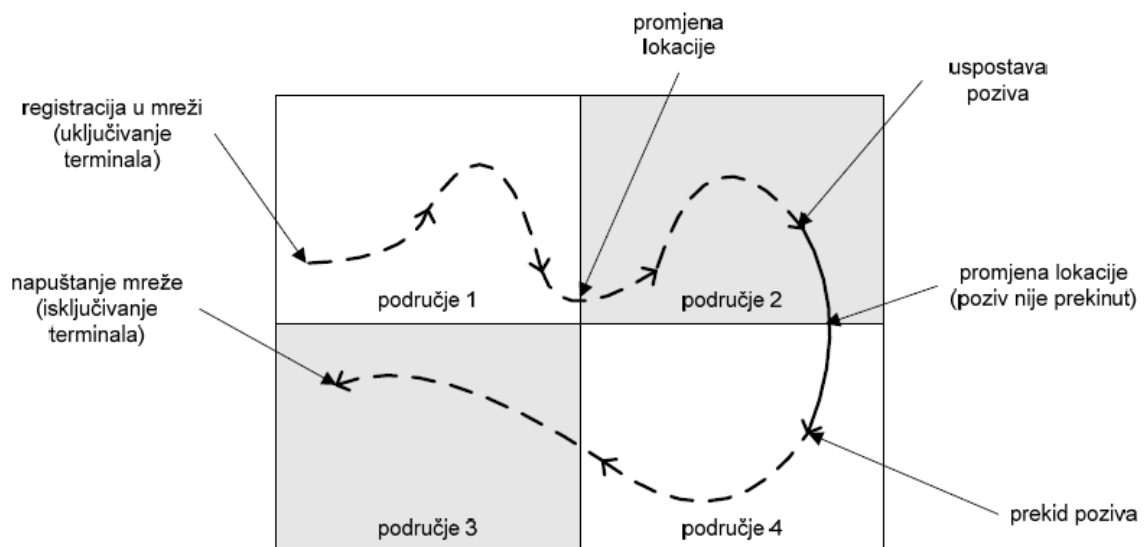
Pokretni bežični terminal ovdje predstavlja korisnika i njegov uređaj, no o njima ćemo reći nešto više u idućim poglavljima.

3. MODEL POKRETLJIVOSTI

Cilj razvoja telekomunikacija je postizanje govorne, podatkovne i više medijske komunikacije za stacionarne i pokretne korisnike, bez vremenskih ili prostornih ograničenja korištenjem jedne adrese (pozivnog broja). Ovi zahtjevi dovode do stvaranja modela pokretljivosti. Kako bih smo pobliže objasnili što je to model pokretljivosti objasniti ćemo ga primjerom.

Na slici 3. korisnik kreće kroz mrežna područja 1, 2, 3 i 4, koja mogu biti određena prostorno ili zemljopisno, sa svojim pokretnim terminalom. Kada korisnik odluči upaliti svoj terminal, mreža treba prepoznati pojavu novog terminala i registrirati njegovu lokaciju unutar svojeg područja pokrivenosti. Nakon toga, mreža mora početi pratiti kretanje terminala kroz svoja područja i osigurati pristup svim uslugama čak i trenutku promjene mrežnog područja. Ako korisnik odluči pokrenuti poziv, mreža ostvaruje komunikaciju, a korisnik nastavlja svoje kretanje. Prilikom prijelaza u novo područje komunikacija mora ostati neprekinuta, a prijelaz bi trebao biti transparentan za korisnika sve dok korisnik ne prekine poziv. Praćenje terminala odvija se sve dok je terminal uključen, no ono je preciznije tijekom poziva. Razlog neprekidnog praćenja terminala je u slučaju dolaznog poziva. Mreža u sebi mora imati „inteligenciju“ koja će poziv preusmjeriti na ono područje na kojem se korisnik trenutno nalazi.

Slika 3.1.: Model pokretljivosti korisnika u mreži



Izvor: Jukić, O. (2013.): *Uvod u telekomunikacijske mreže, Visoka škola za menadžment u turizmu i informatici u Virovitici, str. 187*

Ovako je zamišljen prvi model pokretljivosti kojeg bi mobilni komunikacijski sustavi trebali ispunjavati, no da bi se ti ciljevi ostvarili potrebno je osigurati iduće:

I. POKRETLJIVOST TERMINALA

Osnovne pretpostavke za pokretljivost terminala su: prenosivost, bežični pristup mreži i energetska autonomnost, odnosno, terminal mora biti lako prenosiv, imati način bežičnog pristupa mreži i imati svoj izvor napajanja.

II. POKRETLJIVOST OSOBA

Ovo je složeniji zahtjev modela pokretljivosti, a zahtjeva da mrežna inteligencija može identificirati svoje korisnike i omogućiti im pristup mreži i njenim uslugama.

III. UPRAVLJANJE POKRETLJIVOŠĆU

Funkcija upravljanja pokretljivošću je mrežna „inteligencija“ koja će odrediti lokaciju terminala i pratiti njegovo kretanje, osigurati transparentnost mrežnih usluga na svim područjima mreže i razmjenjivati upravljačke informacije između terminala i mreže čak i kada terminal nije aktivan. U fiksnoj telefoniji ovi signali se izmjenjuju samo tijekom poziva, tj. tijekom aktivnosti terminala.

4. MOBILNE MREŽE DRUGE GENERACIJE – 2G

4.1. Temelji 2G mreže

Temelj mobilnih mreža postavljaju mobilne mreže prve generacije (1G) od koje su najpoznatije europski NMT (eng. *Nordic Mobile Telephony*) i američki AMPS (eng. *Advanced Mobile Phone Service*). Ovi sustavi služili su se analognim prijenosom govora s višestrukim pristupom u frekvencijskoj podjeli (*FDMA*), zbog čega se korisnika često čuje slabo ili lošoj kvaliteti, dok sustavi mobilnih mreža druge generacije prijelaze na digitalni prijenos govora. Najrasprostranjeniji 2G sustavi su D-AMPS (eng. *Digital-AMPS*) u SAD-u i GSM (eng. *Global System for Mobile Communications*) u Europi.

4.2. GSM - Global System for Mobile Communications

Prva komercijalna mobilna mreža druge generacije je puštena u promet 1991. godine u Finskoj na GSM standardu. Globalni sustav za mobilne komunikacije GSM, razvijen je od strane Europskog instituta za telekomunikacijske standarde ETSI, kako bi se standardiziralo korištenje, tada novih, digitalnih komunikacijskih sustava.

Korištenjem digitalnog sustava za prijenos govora i usluga povećava se kvaliteta i sigurnost poziva, omogućuje se prijenos podataka s brzinama do 9.6 kbit/s i povećava se kapacitet mreže, a samo godinu dana poslije uvedena je „usluga kratkih poruka“ (*SMS*), no ona će postati komercijalno dostupna tek 1995. godine uz uslugu slanja faksa i podataka.

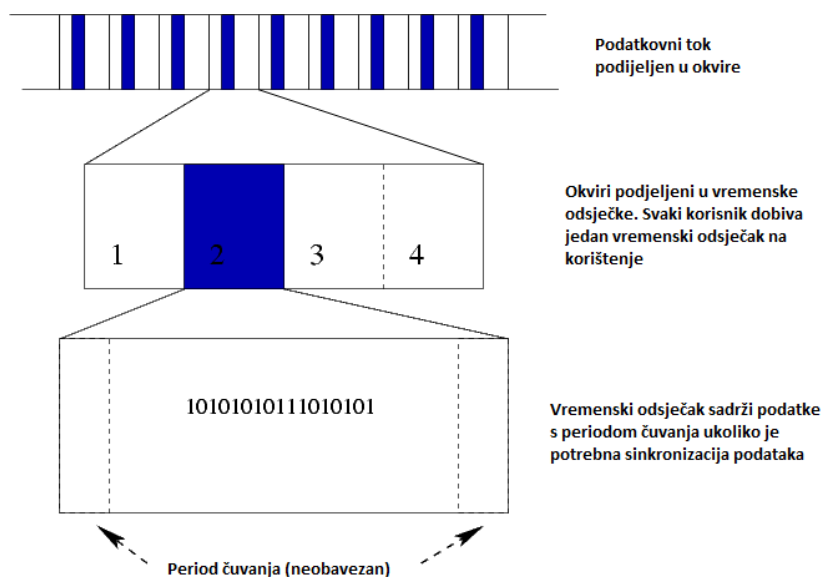
Neke od značajnih prednosti GSM mreže su podrška roaminga, duži vijek trajanja mobilnih baterija, visoka kvaliteta signala, lagana integracija s drugim mrežama i jedna vrlo značajna inovativnost, odvojeni uređaj od pretplatničkog modula.

No, GSM mreža nije bez nedostataka. Maksimalna pokrivenost bazne stanice iznosila je samo 35 km. Razlog tome su tehnička ograničenja tehnologije, zbog čega je potrebno koristiti ponavljajuće signala. Pojava interferencije s drugim elektroničkim uređajima je česta pojava u bolnicama, zračnim lukama i na benzinskim postajama, no najveći nedostatak GSM sustava je nagli prekid signala. Za razliku od analognih signala prve generacije, čija se kvaliteta postepeno

pogoršavala sa sve većom udaljenosti, digitalni signal se naglo prekinuo kada bi udaljenost od primopredajnika postala prevelika.

4.3. Transmisijski sustav GSM mreže

Slika 4.1.: TDMA pristup



Izvor: Wikipedia, en.wikipedia.org/wiki/Time-division_multiple_access (1.9.2021.)

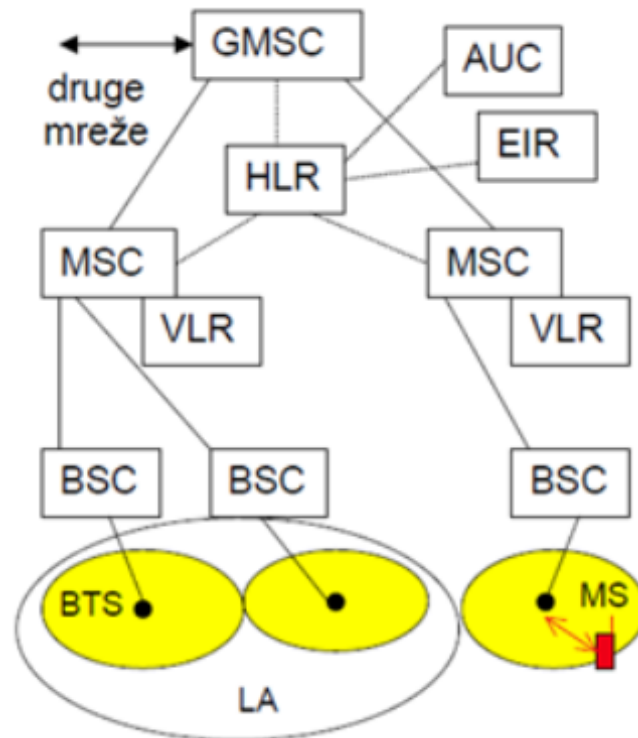
GSM uvodi novi način višestrukog pristupa nazvanog TDMA ili pristup po vremenskoj raspodijeli. TDMA funkcionira tako da se na svakoj prijenosnoj frekvenciji izvede više kanala u vremenskoj podjeli, tako da ukupan broj kanala odgovara umnošku broja frekvencija i broja vremenskih kanala. U GSM standardu postoje 124 prijenosne frekvencije, a na svakoj je moguće izvesti 8 kanala (4 za slanje i 4 za primanje podataka), čime dobivamo 992 kanala kojima je raspolagala GSM mreža.

Važno je napomenuti kako se TDMA koristi uz FDMA način pristupa. Čime je GSM mreža mogla kvalitetnije posluživati veći broj korisnika u istom vremenskom periodu.

4.4. Arhitektura GSM mreže

Arhitektura GSM mreže je relativno jednostavna i laka za shvatiti, čak i za osobe koje nemaju znanja iz područja telekomunikacija. U ovom poglavlju objasnit ćemo glavne dijelove GSM mreže i njihovu međusobnu komunikaciju.

Slika 4.2.: Opća arhitektura GSM sustava



Izvor: Bažant, A. (2009.): OSNOVNE ARHITEKTURE MREŽA, ELEMENT, str. 289

Korisnički terminal MS (eng. *Mobile Station*) predstavlja pretplatnika u mobilnoj mreži i sastoji se od dva modula; mobilnog uređaja i pretplatničkog modula.

Modul pretplatničkog identiteta SIM (eng. *Subscriber Identity Module*) je pretplatnički modul koji dolazi u obliku kartice i ima pridruženu međunarodnu identifikaciju pokretnog pretplatnika IMSI (eng. *International Mobile Subscriber Identity*) s kojom se jednoznačno određuje telefonski pretplatnik.

IMSI se koristi za preuzimanje detalja iz HLR-a ili se šalje u VLR. Kako bi se spriječilo moguće kopiranje IMSI broja preko radio valova koristi se privremeni identitet pokretnog pretplatnika TMSI (eng. *Temporary Mobile Subscriber Identity*).

TMSI je lokalni broj koji se nasumično dodjeljuje od strane lokalnog VLR-a kada se mobitel uključi na njegovo lokacijsko područje LA. Budući da se radi o lokalnom broju potrebno je dodijeliti novi TMSI svaki puta kada korisnik prijeđe u novi LA, no i sama mreža može dodijeliti novi TMSI broj kako bi se izbjegla mogućnost otkrivanja identiteta korisnika, narušavanje privatnosti korisnika ili moguće prisluškivanje. Iz ovog razloga potrebno je osigurati da se IMSI što rjeđe šalje prema mreži. Ključna uloga TMSI je omogućavanje komunikacije jedan-na-jedan između mobilnog uređaja i bazne stanice. Veličina TMSI je 4 okteta heksadecimalnih znamenki, uz iznimku svih znamenki FF koje su rezervirane za obavijest o nevažećem TMSI.

Mobilni uređaj ME (eng. *Mobile Equipment*) je mobilni telefon ili neki drugi mobilni uređaj kojim se služimo za pristup mreži. ME ima pridružen međunarodni identitet mobilne opreme IMEI (eng. *International Mobile Equipment Identity*) koji jednoznačno određuje mobilni telefon, a o kojem ćemo reći nešto više u daljnjem tekstu.

Podsustav baznih stanica BSS (eng. *Base Station Subsystem*) je naziv za transmisijski dio mreže, sastoji se od BTS-a i BSC-a, a služi za povezivanje korisnika s jezgrom mreže.

Bazna primopredajna stanica BTS (eng. *Base Transceiver Station*) služi kao pristupna točka mobilnom telefonu za ulazak u pristupnu mrežu. BTS sadrži opremu potrebnu za odašiljanje i primanje radio signala, antene i opremu za šifriranje i dešifriranje komunikacija s BSC-om. Tipični BTS imaće više primopredajnika koji će mu omogućiti da posluhuje više različitih frekvencija odjednom unutar područja koje nadzire. Ova oprema vidljiva je korisniku kao mobilni toranj.

Upravitelj bazne stanice BSC (eng. *Base Station Controller*) je oprema koja nije vidljiva korisniku, a upravlja radom BTS modula pri dodjeljujući im resurse. BSC je inteligencija iza BTS-a, a najčešće upravlja desecima ili stotinama BTS modula. Glavna uloga BSC-a je da se ponaša kao koncentrator, gdje će se mnogo različitih veza niskih kapaciteta BTS-a reducirati u manji broj prije nego što se prosljede dalje u mrežu. Neke od zadaća BSC-a su: alokacija radio-komunikacijskih kanala, izračun veličine ćelija i kontrola primopredaje poziva (eng. *Handover*) s jednog BTS-a na drugi.

Podsustav mrežne komutacije (eng. *Network Switching Subsystem - NSS*) je jezgra GSM sustava koji provodi funkcije povezivanja i upravljanja pokretljivošću mobilnih uređaja u svom području. Implementiran od strane operatera mobilne mreže, podsustav omogućuje međusobnu

komunikaciju mobilnim uređajima i telefonima u javnoj komutacijskoj mreži PSTN (eng. *Public Switched Telephone Network*). Ovaj dio mreže je najbliži fiksnoj telefonskoj liniji.

Pokretna komutacijska centrala (eng. *Mobile Switching Center - MSC*) je primarni čvor isporuke usluge mreže. Ovaj modul odgovoran je za usmjeravanje glasovnih poziva, SMS poruka i sve ostale usluge mreže. MSC je zadužen za uspostavljanje i prekid veze od korisnika do korisnika, obrađuje zahtjeve za mobilnošću i primopredajom tijekom poziva, te brine o stanju pretplatničkog računa i njegovom praćenju u stvarnom vremenu.

Domaći lokacijski registar ili HLR (eng. *Home Location Register*) je baza podataka koja sadrži pojedinosti o svakom pretplatniku domaće mobilne mreže. HLR pohranjuje sve detalje svake SIM kartice izdane od strane operatera, a kao primarni ključ identifikacije koristi IMSI. Broj mobilnog telefona MSISDN, kojeg se koristi za upućivanje poziva i slanje SMS poruka, također se pohranjuje u HLR-u, no postoji mogućnost pridodavanja sekundarnog mobilnog broja (npr. za faks ili podatkovne pozive) ako je SIM kartica tako dizajnirana. Svaki MSISDN je jedinstveni ključ u HLR zapisu, te se pohranjuje u HLR-u sve dok pretplatnik ostaje kod operatera mobilne telefonije. Podatci pohranjeni u HLR prema IMSI zapisima:

- GSM usluge zatražene od strane pretplatnika ili dodijeljene od strane operatera
- Trenutna pozicija korisnika
- Postavke preusmjeravanja poziva primjenjive za svaki pridruženi MSISDN

HLR baza izravno prima i obrađuje transakcije i poruke poslana od strane GSM modula mreže, poput poruke o promjeni lokacije pretplatnika. Može postojati više HLR-a, fizičkih i logičkih, no IMSI se može povezati samo s jednim logičkim HLR-om.

Gostujući lokacijski registar VLR (eng. *Visitor Location Register*) je baza podataka u nadležnosti MSC-a. Svaki BTS u mreži opslužuje točno jedan VLR, iz tog razloga korisnik ne može biti prisutan u više od jednog VLR-a istovremeno, a svi podatci pohranjeni na VLR-u dobiveni su iz korisnikovog matičnog HLR-a. Kada VLR otkrije novi MS u svojem području stvara novi zapis i prikuplja podatke korisnika, koje zatim isporučuje matičnom HLR-u mobilnog pretplatnika. Ako su podatci VLR oštećeni, dolazi do ozbiljnih problema s uslugama poziva i uslugom SMS-a.

Podatci pohranjeni u VLR uključuju:

- IMSI
- Podatke za autentikaciju
- Broj mobilnog telefona - *MSISDN*
- GSM usluge kojima pretplatnik ima pristup
- HLR adresu pretplatnika

Primarne funkcije VLR-a su od velike važnosti za pravilnu komunikaciju pretplatnika s mobilnom mrežom, a one uključuju:

- Obavijestiti HLR da je pretplatnik stigao u područje obuhvaćeno VLR-om
- Praćenje lokacije unutar VLR područja čak i kada korisnik nije u pozivu
- Omogućiti ili onemogućiti usluge koje pretplatnik može koristiti
- Dodjelu roaming broja tijekom obrade dolaznih poziva
- Uklanjanje podataka i obavještanje HLR-a korisnika nakon određenog vremenskog razdoblja neaktivnosti
- Brisanje podataka korisnika ukoliko se pretplatnik premjestio na područje drugog VLR-a prema uputama HLR-a

Autentikacijski centar AuC (eng. *Authentication Center*) je baza podataka za provjeru autentičnosti svake SIM kartice koja se pokušava povezati s jezgrom GSM mreže. Ako je provjera autentičnosti uspješna, HLR dobiva dopuštenje upravljati SIM karticom i pružati usluge korisniku. AuC će za svakog korisnika stvoriti ključ za šifriranje kojim će se šifrirati sva bežična komunikacija između mobilnog terminala i mreže. Ukoliko AuC provjera ne uspije, usluge operatera nije moguće koristiti.

AuC ne sudjeluje direktno u provjeri autentičnosti, već samo generira podatke koje će MSC koristiti za izvođenje postupka autentičnosti. Sigurnost postupka ovisi o zajedničkoj tajni, gdje je točan ključ K_i , znaju samo SIM na kojega je spaljen tijekom proizvodnje i AuC na kojem je sigurno repliciran. K_i se nikada ne šalje preko mreže, već se koristi gore navedena kombinacija s IMSI-om kako bi se provjera autentičnosti obavljala na način pitanje/odgovor.

Registar identifikacije opreme EIR (eng. *Equipment Identity Register*) vodi popis sumnjivih ili ukradenih mobilnih uređaja putem IMEI-a. Popis sumnjivih uređaja naziva se siva lista, a ukradenih uređaja crna lista. Ovaj modul mreže dizajniran je da ukradenom mobitelu onemogućiti korištenje usluge uspostave poziva i mrežnih usluga. U teoriji EIR bi svoje crne i sive liste dijelio s ostatkom svijeta, no budući da svaka javna mreža nema ovaj modul u funkciji to nije moguće. Podatci EIR-a se ne moraju mijenjati u stvarnom vremenu, čime se ova provjera ne mora obavezno provoditi.

Prijelazni pokretni komutacijski centar (eng. *Gateway MSC - GMSC*) primarno služi kao sučelje za komunikaciju s drugim mrežama i fiksnom telefonskom linijom. Svi pozivi upućeni s mobilne mreže na fiksnu telefonsku liniju i obratno usmjeravaju se putem GMSC-a, kao i pozivi prema drugim mrežama. U slučaju poziva GMSC određuje na kojem posjećenom MSC-u se traženi pretplatnik trenutno nalazi.

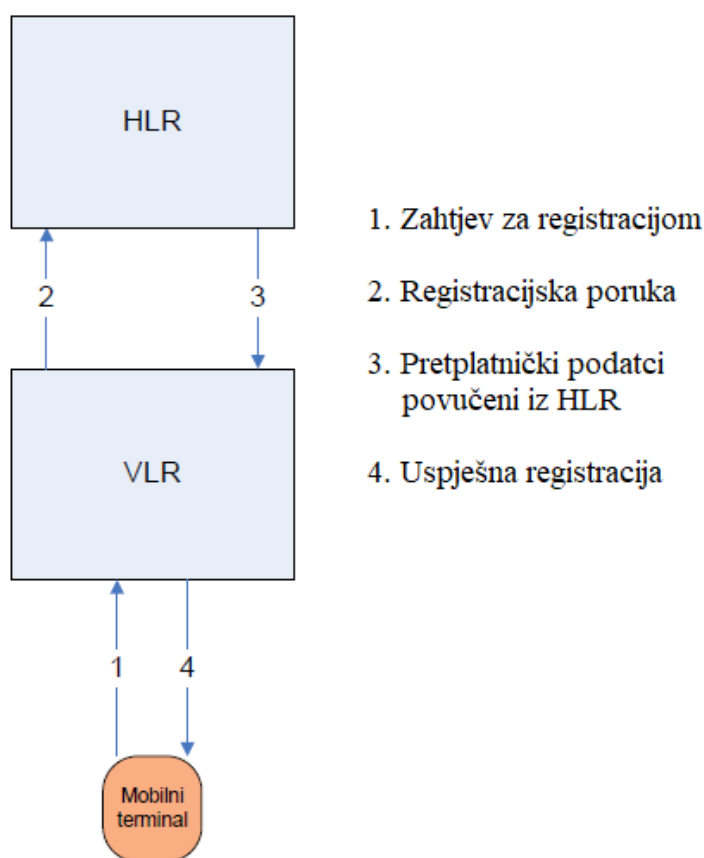
4.5. Upravljanje pokretljivošću u GSM sustavu

Upravljanje pokretljivošću u GSM mreži temelji se na HLR i VLR bazama podataka. Kao što smo objasnili u potpoglavlju 4.4., u HLR-u se nalaze svi podatci o pretplatnicima domaće mreže, dok se u VLR-u nalaze podatci o posjetiteljima unutar područja mreže. Upravljanje pokretljivošću je zapravo proces kojim se prati kretanje korisnika, a razlikujemo tri tipa registracije promjene lokacije korisnika.

1. REGISTRACIJA U DOMAĆOJ MREŽI

Registracija u domaćoj mreži prikazana je slikom 4.3. Prilikom uključivanja korisnikovog terminala u ćeliji pod nadzorom MSC-a, i njemu pripadajućeg VLR-a, korisnikov terminal se otkriva MSC-u koji provjerava autentičnost i identitet opreme, a zatim registrira lokacijsku informaciju korisnika u VLR. VLR potom porukom obavještava HLR o promjeni lokacije korisnika, a HLR uzvraća porukom s pretplatničkim podacima korisnika. VLR unosi podatke u svoju bazu i završava proces registracije.

Slika 4.3.: Registracija korisnika u domaćoj mreži

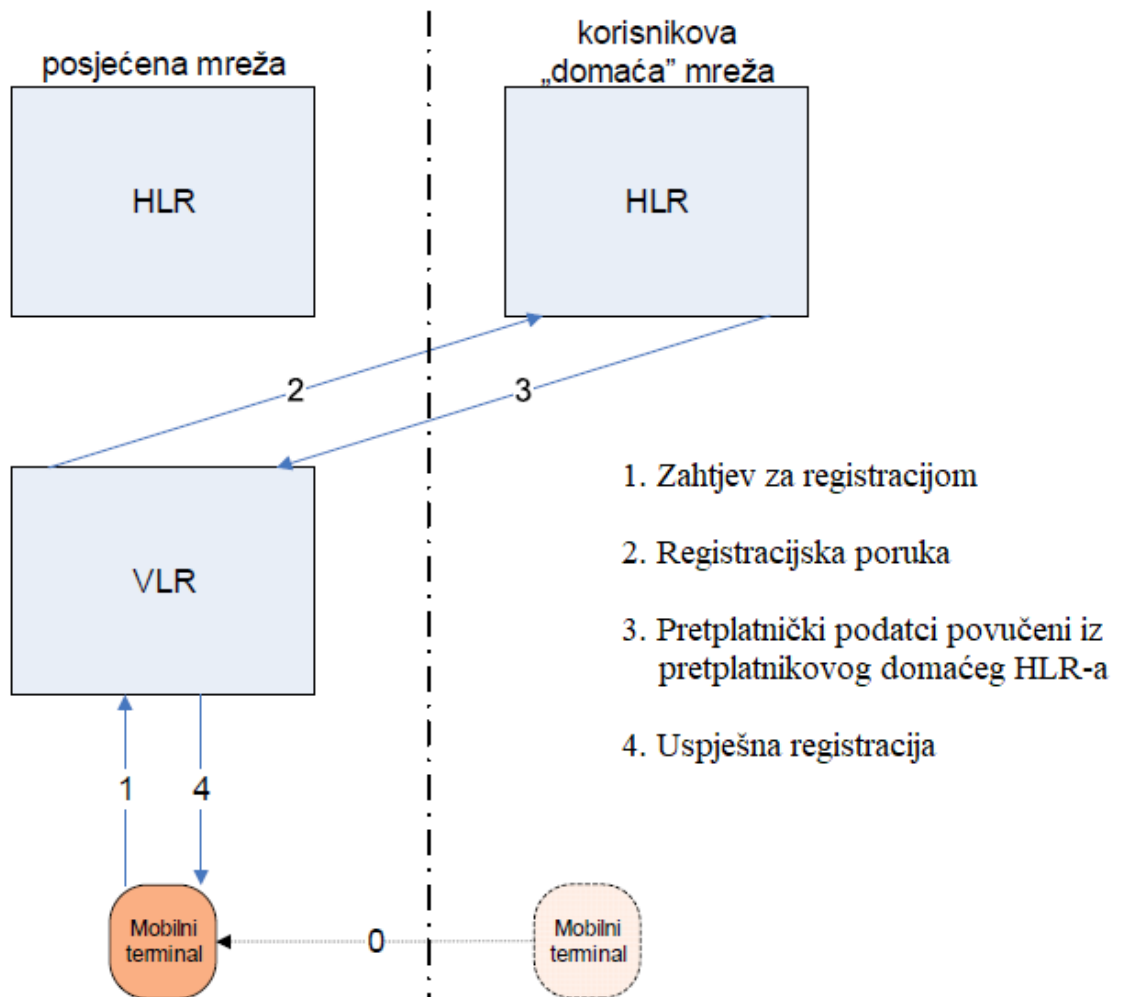


Izvor: Loomen, prezentacija prof. Olivera Jukića

2. REGISTRACIJA U POSJEĆENOJ MREŽI

Registracija u posjećenoj mreži odvija se na isti način kao i kod domaće mreže, s razlikom da VLR posjećene mreže šalje zahtjev korisnikovom domaćem HLR-u.

Slika 4.4.: Registracija korisnika u posjećenoj mreži

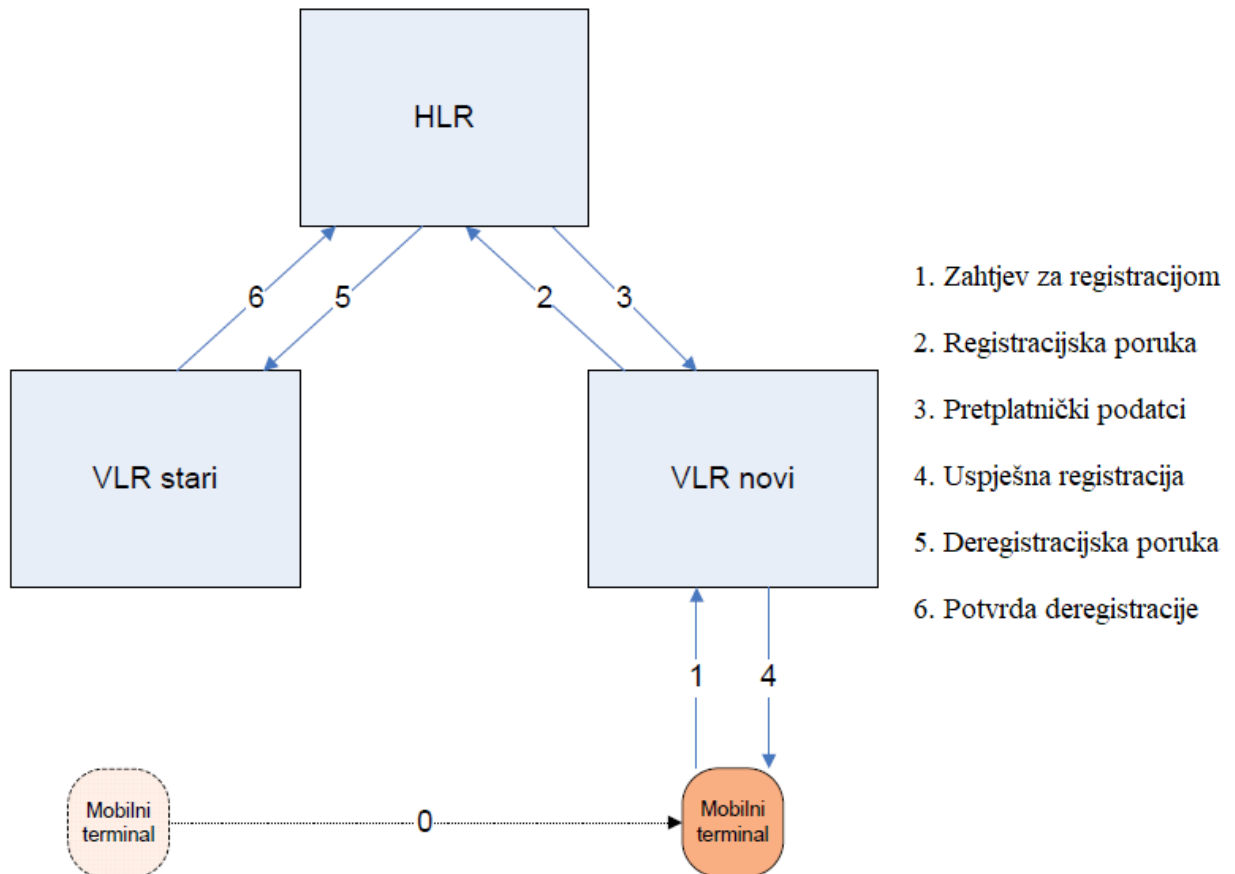


Izvor: Loomen, prezentacija prof. Olivera Jukića

3. PROMJENA LOKACIJE U VLASTITOJ MREŽI

Promjena lokacije u vlastitoj mreži jednaka je registraciji korisnika u domaćoj mreži, uz razliku što će HLR, nakon primanja potvrde o uspješnoj registraciji od strane novog VLR-a, poslati zahtjev za deregistracijom na stari VLR, koji će korisnika ukloniti iz svoje baze podataka i poslati poruku HLR-u o uspješnoj deregistraciji.

Slika 4.5.: Promjena registracije korisnika u vlastitoj mreži



Izvor: Loomen, prezentacija prof. Olivera Jukića

4.6. GPRS – General Packet Radio Service

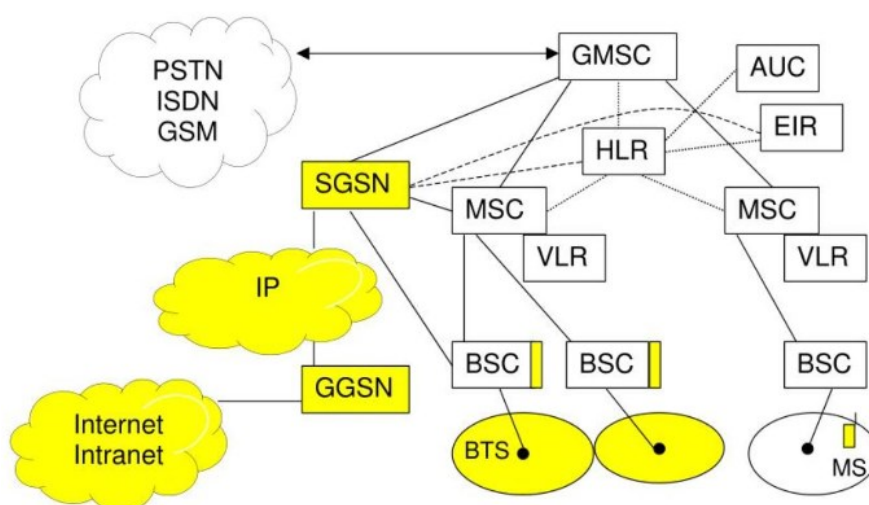
Opća paketna radio usluga GPRS uvodi komutaciju paketa za prijenos podataka u mobilne mreže. GPRS je proširenje GSM sustava dodatnim modulima kako bi se ostvarile tražene funkcionalnosti uz minimalne promjene postojeće GSM mreže. Zbog inovativnosti koje GPRS uvodi u mobilne mreže, često ga se naziva 2.5G mrežom. Neke od značajnih poboljšanja koje GPRS uvodi proširenjem GSM arhitekture uključuju: veće brzine prijenosa podataka, do 114 kbit/s, bolja iskoristivost komunikacijskih radio kanala i jednostavno dodavanje čvorova koji omogućuju komutaciju paketa.

Krajnjem korisniku ovo omogućuje niz novih usluga poput povezivanja s internetom ili intranetom putem pokretnog terminala, stalnu internetsku vezu, veće brzine komuniciranja, brži odziv mreže i naplatu prema iskorištenom volumenu podataka, a ne prema trajanju komunikacije.

Nadogradnja na GPRS je EDGE (eng. *Enhanced Data Rates for GSM Evolution*), koji omogućuje brzine prijenosa do 384 kbit/s, no njegovo uvođenje zahtijeva promjenu radijskog dijela opreme. GSM mreže nadograđene sa GPRS i EDGE proširenjima poznate su kao 2.75G.

4.7. Arhitektura GPRS mreže

Slika 4.6.: Arhitektura GPRS sustava



Izvor: Bažant, A. (2009.): OSNOVNE ARHITEKTURE MREŽA, ELEMENT, str. 289

Kao što je već opisano, GPRS koristi postojeću GSM arhitekturu uz minimalne promjene postojeće opreme, tako da su razlike ove dvije arhitekture vrlo male.

BSC se proširuje paketskom kontrolnom jedinicom PCU koja omogućuje „razdvajanje“ podatkovnog i govornog prometa. Time dobivamo nove uslužne čvorove SGSN i GGSN i novo područje upravljanja RA (eng. *Routing Area*) za paketski prijenos podataka.

Uslužni GPRS potporni čvor SGSN (eng. *Serving GPRS Support Node*) ima jednaku ulogu kao MSC/VLC u GSM mreži. Najvažnija zadaća ovog modula je rukovanje korisničkim podacima, usmjeravanje paketa iz/u RA prema/od MS, kriptografska zaštita podataka i provjera autentičnosti korisnika, upravljanje pokretljivošću, upravljanje logičkom vezom prema MS-u, prikupljanje podataka za naplatu usluge i suradnja s ostalim modulima mreže.

SGSN je odgovoran za usmjeravanje paketa pokretnih postaja unutar svog područja pokrivanja i poslužiti sve GPRS korisnike unutar svojeg područja. Sučelje između MSC-a i SGSN-a odgovorno je za koordinaciju signalizacije za terminale s mogućnosti komutacije kanala i komutacije paketa.

Prijelazni GPRS potporni čvor GGSN (eng. *Gateway GPRS Support Node*) služi za povezivanje s drugim komunikacijskim mrežama. Kako bi to omogućio, GGSN vrši pretvorbu formata podataka, signalizacijskih protokola i adresnih informacija. Usmjerava promet određenom SGSN čvoru i po potrebi vrši pretvorbu protokola, a može sadržavati DNS (*Domain Name System*) i DHCP (*Dynamic Host Configuration Protocol*). GGSN je zadužen za upravljanje GPRS sjednicom i uspostavljanje komunikacije prema vanjskim mrežama, pridružiti korisnika pravom SGSN-u, upravljati pokretljivošću i još mnogo toga.

5. TEHNOLOŠKI RAZVOJ MREŽA NOVE GENERACIJE

Mobilne mreže druge generacije postale su prijelomna točka u razvoju mobilnih sustava, što dovodi planskog razvoja novih mreža kako bi se omogućile što veće brzine prijenosa, nove usluge poput prijenosa multimedije itd.

5.1. Mobilne mreže treće generacije - 3G

Univerzalni mobilni telekomunikacijski sustav (eng. *Universal Mobile Telecommunications System*) UMTS je jedna od mreža treće generacije, te je prvi sustav koji je uz pokretljivost terminala riješio i osobnu pokretljivost, te pokretljivost, transparentnost i prenosivost usluga. UMTS se koristi metodom W-CMDA, odnosno širokopoljnim pristupom s podjelom koda, (eng. *Wideband-Code Division Multiple Access*). Ova metoda je neka vrsta kombinacije CDMA i TDMA metode i omogućuje da više korisnika dijeli jedan komunikacijski kanal istovremeno. UMTS uvodi hijerarhijsku strukturu ćelija s obzirom na brzine prijenosa, zone pokrivanja, gustoću naseljenosti i brzinu kretanja.

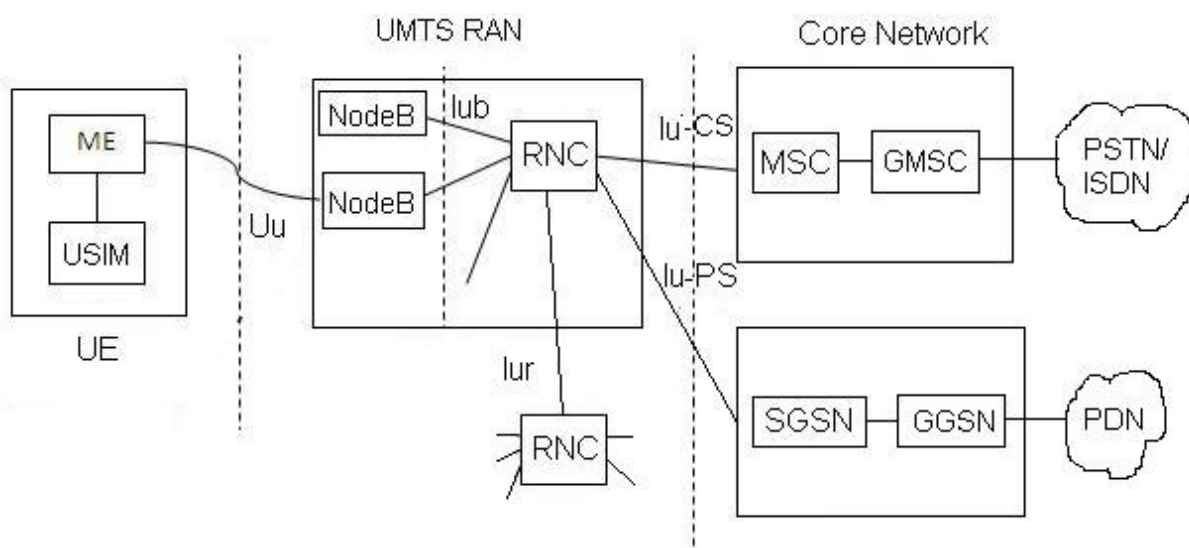
Glavne značajke koje uvodi UMTS mreža su asimetrični i simetrični prijenos govora, podataka i višemedijskih sadržaja, brzine prijenosa od 384 kbit/s, bolju zaštitu korisnika, prijenos video poziva, GPS, usluge bazirane na lokaciji i mnogo više.

Razvojem novih tehnologija, 3G mreža postepeno se nadograđuje kako bi se omogućile veće brzine prijenosa podataka. Prva nadogradnja mreže naziva HSPA podiže brzine prijenosa na 7.2 Mbita/s, a njena nadogradnja HSPA+ postiže brzine od 21 Mbit/s. Zadnja nadogradnja mreže prije prijelaza na 4G tehnologiju, tzv. DC-HSPA+, postiže brzine od 42 Mbit/s i 8 Mbit/s.

5.2. Arhitektura UMTS mreže

Arhitektura UMTS-a formalno je definirana domenama i stratumima. Domene predočuju skup funkcija, a stratumi funkcijsku komunikaciju između domena. Bitne novosti su osobna identifikacija, te komponentni model korisničke opreme koji dopušta različite izvedbe, kao i povezivanje korisničke komunikacije i računalne opreme.

Slika 5.1.: Arhitektura UMTS sustava



Izvor: RF Wireless World, www.rfwireless-world.com/Tutorials/UMTS-Network-Architecture.html

(1.9.2021.)

Kao što vidimo na slici iznad, UMTS je vrlo sličan GSM i GPRS arhitekturama, uz par značajnih razlika pojedinih dijelova mreže. U mrežama treće generacije BTS nazivamo čvor-B (eng. *Node-B*). Čvor-B obavlja sve zadaće kao i BTS u 2G mreži, uz par manjih razlika u protokolima i načinu prijenosa. Čvor-B ima mogućnost koristiti kombinirani asinkroni model prijenosa i IP uz postojeće BTS metode prijenosa podataka. Uz to, Čvor-B ima veću kontrolu nad radio frekvencijama i modulacijskim frekvencijama.

Radijski mrežni podsustav RNS (eng. *Radio Network Subsystem*) je ekvivalent podsustavu bazne postaje u GSM-u. Poznat i pod nazivom *UTRAN*, ovaj modul sadrži upravljač radijske mreže RNC, ekvivalent BSC-a, te jedan ili više čvor-B.

5.3. Mobilne mreže četvrte generacije – 4G

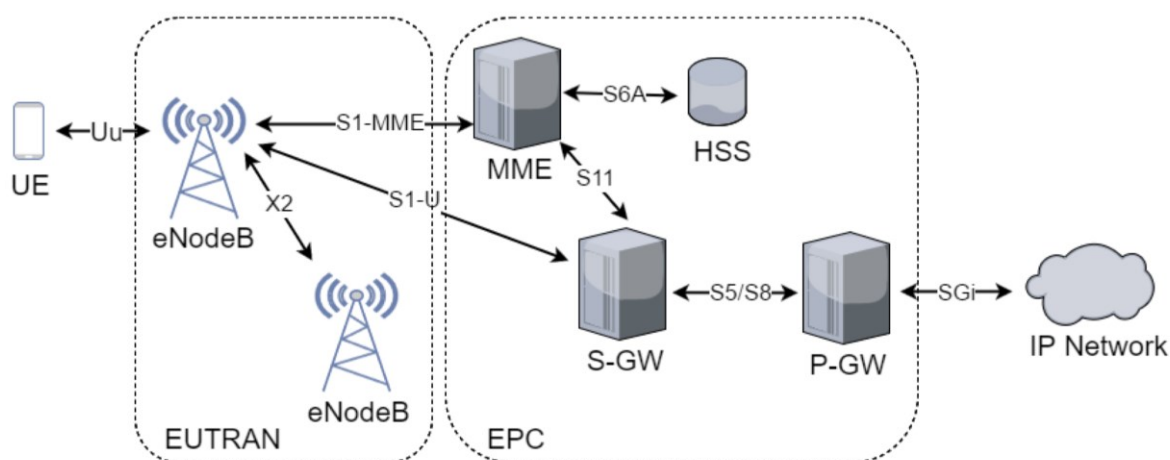
U studenom 2008. godine, međunarodno udruženje za telekomunikacije i radio komunikacijski sektor postavio je set zahtjeva koja 4G mreža mora ispunjavati. Zahtjev za brzine preuzimanja 4G mreža moraju biti 100 Mbit/s za korisnike u pokretu i 1 GB/s za stacionarne korisnike, uz definirane zahtjeve za kvalitetu usluge QoS (eng. *Quality of Service*).

Nasljednik UTRAN-a je mobilna mreža četvrte generacije 4G, poznatija kao mreža dugoročnog razvoja LTE (eng. *Long Term Evolution*). Za razliku od prošlih generacija, LTE koristi All-Internet Protocol (All-IP) za pružanje usluga poput IP telefonije, OFDMA modulaciju s višestrukim pristupom koja omogućuje slanje velikih količina podataka na više korisnika ili grupa korisnika istovremeno. Efikasnost prijenosa još je veća uz MIMO (eng. *Multiple Input Multiple Output*) komunikacijski sustav s više prijamnih i odašiljačkih antena.

Glavne prednosti ove generacije su vrlo visoke brzine prijenosa, koje su u početku 150 Mbit/s, a kasnije dosežu 979 Mbit/s i kratak odziv mreže od 200 milisekunde. Kompletni prijelaz na IP omogućuje nove usluge poput, IP telefonije, igračih usluga, mobilnog TV-a u visokoj rezoluciji i grupne video pozive.

5.4. Arhitektura LTE mreže

Slika 5.2.: Arhitektura LTE mreže



Izvor: NSE Lab, <https://nse.digital/pages/guides/Wireless/lte-hacking.html> (1.9.2021.)

Evolved Node-B ili eČvor-B je napredniji oblik čvora-B, a glavne razlike su novi protokoli za razmjenu podataka s ostatkom mreže, vlastita kontrola funkcionalnosti, čime upravitelj radio mreže (RNC) postaje nepotreban, te poboljšano sučelje za komunikaciju s mrežom.

Entitet za upravljanje pokretljivošću MME (eng. *Mobility Management Entity*) je dio mreže odgovoran za autentikaciju korisnika, uspostavu kanala za prijenos paketa od UE do interneta, prebacivanje poziva ako ne postoji X2 sučelje, povezivanje s ostalim mrežama, te pružanje podrške tradicionalnim uslugama poput SMS-a i Voice Support-a.

Prilazna paketna podatkovna mreža PDN-GW (eng. *Packet Data Network Gateway*) je zapravo prolaz prema internetu, često je odgovoran i za dodjele IP adresa mobilnim uređajima, praćenje i skeniranje paketa koje ulaze u mrežu itd.

Poslužiteljski prilaz S-GW (eng. *Serving Gateway*) ima glavnu funkciju usmjeravanja i prosljeđivanja korisničkih paketa, kontrolu prebacivanja poziva unutar mreže i pružiti mobilnost između mreža.

Domaći pretplatnički server HSS (eng. *Home Subscriber Server*) za razliku od prijašnjih generacija, u LTE dijeli bazu korisničkih podataka s GSM i UMTS mrežom, no obavlja istu funkciju kao i HLR uz prikupljanje istih podataka.

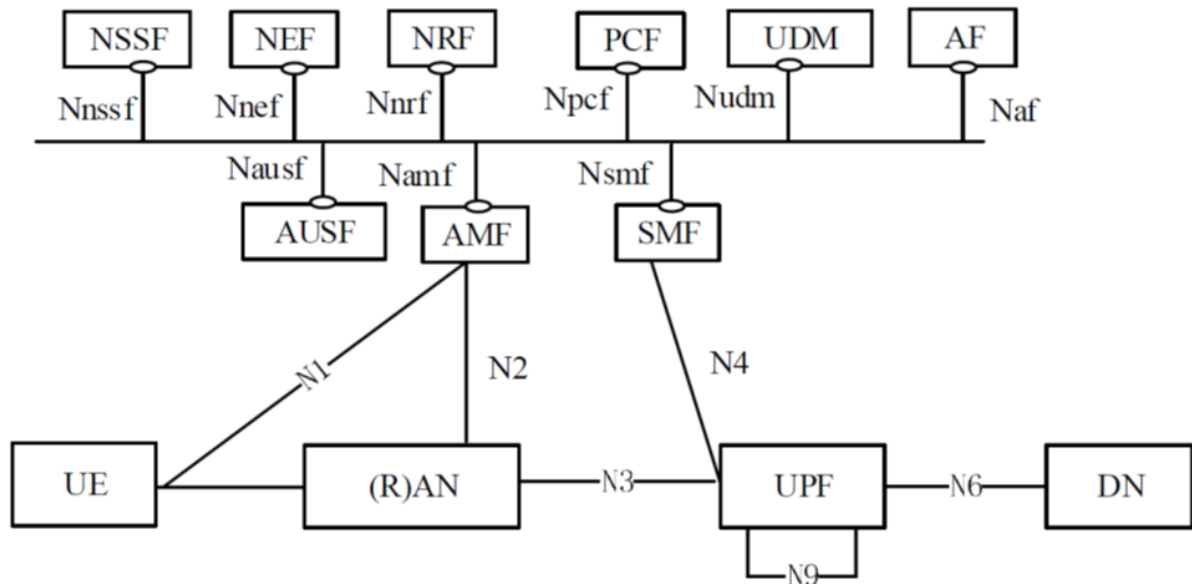
5.5. Mobilne mreže pete generacije – 5G

Nasljednik 4G mreža obećava još veće brzine prijenosa, čak do tisuću puta veće od 4G tehnologija. Time bi ova generacija pružala brzine prijenosa iste ili veće od žičanih internetskih usluga, te se predviđa da će imati mogućnost većeg broja povezanih uređaja. Najveća prednost ove mreže je decentralizirani pristup čvorovima, što čini 5G vrlo fleksibilnom mrežom, poboljšavajući brzinu prijenosa i latenciju.

Glavne značajke 5G mreže su brzine prijenosa do 10 Gbit/s, odziv mreže od 1 ms, malena potrošnja energije, mogućnost posluživanja 1 milijuna uređaja unutar 1 km, povezanost s oblakom (eng. *Cloud Services*) i korištenje interneta stvari IoT (eng. *Internet of Things*).

5.6. Arhitektura 5G mreže

Slika 5.3.: Arhitektura 5G mreže



Izvor: ETSI, 5G System Architecture for the 5G System

Arhitektura 5G mreže relativno je nova, te postoji više od jedne izvedbe ove mreže. Ovdje će se objasniti arhitektura 5G mreže bazirana na uslugama koja je ujedno i osnovna arhitektura mreže.

Pristupna radio mreža RAN (eng. *Radio Access Network*) služi kao pristupna točka za mobilne uređaje kako bi se spojili na 5G jezgru i daljnje podatkovne mreže, poput interneta.

Funkcija upravitelja pristupa i pokretljivosti AMF (eng. *Access and Mobility Management Function*) služi kao jedina ulazna točka za mobilnu opremu.

Funkcija upravljanja sjednicom SMF (eng. *Session Management Function*) koristi se kada AMF po zahtjevu UE zatraži određene usluge kako bi upravljao sjednicom korisnika.

Funkcija korisničke ravnine UPF (eng. *User Plane Function*) daje mogućnost AMF-u da provjeri autentičnost korisničke opreme i pruži uslugu 5G jezgre.

Ostale funkcije poput upravljačke politike PCF, aplikacijske funkcije AF i ujedinenog upravljanja podacima UDM pružaju potporu i upravljaju ponašanjem mreže.

6. ZAKLJUČAK

Rani razvoj telekomunikacija dovodi do potrebe za definiranjem točnih zahtjeva za mobilnu mrežu u svrhu daljnjeg razvoja. Model pokretljivosti definira zahtjeve mobilnosti u mobilnim mrežama i njihove ciljeve, a svrha je ubrzati razvoj mobilnih mreža kako bi se postigla potpuna mobilnost korisnika i mrežnih usluga diljem svijeta.

Prekretnica u razvoju telekomunikacija postaje razvoj druge generacije mobilnih sustava. Komercijalna uporaba GSM sustava dovodi do velike potražnje novih usluga i većih kapaciteta mreže, što stvara veliki interes u razvoju telekomunikacijskih tehnologija. Prvo proširenje GSM mreže, GPRS, uvođenjem usluge SMS-a uz glasovnu telefoniju, otkriva se neočekivani potencijal mobilnih mreža i prvi korak prema naglom razvoju telekomunikacija.

Izgrađene na temeljima druge generacije 2G, mobilne mreže treće generacije 3G uspijevaju potpuno ispuniti zahtjeve modela pokretljivosti, omogućuju veće brzine prijenosa podataka, veći kapacitet mreže, veću kvalitetu i mnoštvo novih usluga za manju cijenu.

Četvrta generacija 4G je prva standardizirana mreža koja je zaživjela na svjetskoj razini. Pružanjem novih usluga koje nisu dio klasične glasovne telefonije, visokim brzinama i velikim kapacitetom, 4G se mora brzo prilagoditi sve zahtjevnijim potrebama korisnika.

Najnovija peta generacija mreža 5G, koja treba zaživjeti ove godine, predstavlja jedan ogroman skok u razvoju telekomunikacija. S brzinama sto puta većim od 4G, ogromnim kapacitetom i tehnologijom orijentiranom prema internetu, ovaj sustav predstavlja evoluciju mobilne komunikacije.

Razvoj telekomunikacija i telekomunikacijske tehnologije svake godine sve više napreduje bez znakova usporavanja. Ciljevi razvoja svakom novom generacijom su sve veći i nastavit će se dok se ne postigne svjetska pokrivenost bežičnom mrežom, bez obzira na lokaciju korisnika i njegovu udaljenost od primopredajnika.

7. LITERATURA

Knjige:

- [1] Bažant, A. (2009.): OSNOVNE ARHITEKTURE MREŽA, ELEMENT
- [2] Jukić, O. (2013.): Uvod u telekomunikacije, Visoka škola za menadžment u turizmu i informatici Virovitica

Radovi objavljeni na internetskim stranicama:

- [1] ETSI TS 123 501 V15.3.0 (2018-09), 5G; System Architecture for the 5G System (3GPP TS 23.501 version 15.3.0 Release 15), ETSI,
https://www.etsi.org/deliver/etsi_ts/123500_123599/123501/15.03.00_60/ts_123501v150300p.pdf (25.8.2021.)
- [2] Garg, V. (2007.): WIRELESS COMMUNICATIONS AND NETWORKING, Morgan Kaufmann Publishers,
<http://www.iqytechnicalcollege.com/Wireless%20Communications%20and%20Networking.pdf> (24.8.2021.)
- [3] Sauter, M. (2011.): From GSM to LTE An introduction to mobile networks and mobile broadband, A John & Sons, Ltd.,
<https://mitmecsept.files.wordpress.com/2017/04/from-gsm-to-lte.pdf> (24.8.2021.)
- [4] C. S. Patil, R.R. Karhe, M. A. Aher, Development of Mobile Technology: A Survey, Vol 1. Issue 5, November 2012.,
https://www.ijareeie.com/upload/november/6_Development%20of%20Mobile.pdf (29.8.2021.)

Internetski izvori:

- [1] https://hr2.wiki/wiki/Cellular_network (25.8.2021.)
- [2] https://hr2.wiki/wiki/GSM#Network_structure (25.8.2021.)
- [3] <https://eeestudy.com/gsm-architecture-explain/> (25.8.2021.)
- [4] https://www.weboteka.net/fpz/Arhitektura%20telekomunikacijskih%20mre%C5%BEa/2016-2017/12_Arhitektura_GSM-UMTS-LTE_mreze.pdf (26.8.2021.)

- [5] <https://www.5gfundamental.com/2020/06/5g-network-architecture.html> (26.8.2021.)
- [6] <https://www.digi.com/blog/post/5g-network-architecture> (26.8.2021.)
- [7] <https://www.rfwireless-world.com/Tutorials/UMTS-Network-Architecture.html>
(26.8.2021.)
- [8] <https://nse.digital/pages/guides/Wireless/lte-hacking.html> (27.8.2021.)
- [9] <http://www.telecomabc.com/c/cellular.html> (29.8.2021)
- [10] <https://kenstechtips.com/index.php/download-speeds-2g-3g-and-4g-actual-meaning> (29.8.2021.)

8. POPIS ILUSTRACIJA

Slika 2.1.: Ponovno korištenje frekvencija u ćelijama

Slika 2.2.: Opća arhitektura mreže

Slika 3.1.: Model pokretljivosti korisnika u mreži

Slika 4.1.: TDMA pristup

Slika 4.2.: Opća arhitektura GSM sustava

Slika 4.3.: Registracija korisnika u domaćoj mreži

Slika 4.4.: Registracija korisnika u posjećenoj mreži

Slika 4.5.: Promjena registracije korisnika u vlastitoj mreži

Slika 4.6.: Arhitektura GPRS sustava

Slika 5.1.: Arhitektura UMTS sustava

Slika 5.2. Arhitektura LTE mreže

Slika 5.3. Arhitektura 5G mreže



Veleučilište u Virovitici

OBRAZAC 5

IZJAVA O AUTORSTVU

Ja, DOMAGOJ GOLUBIĆ

izjavljujem da sam autor/ica završnog/diplomskog rada pod nazivom

Razvoj mobilnih komunikacijskih sustava

Svojim vlastoručnim potpisom jamčim sljedeće:

- da je predani završni/diplomski rad isključivo rezultat mog vlastitog rada koji se temelji na mojim istraživanjima i oslanja se na objavljenu literaturu, a što pokazuju korištene bilješke i bibliografija,
- da su radovi i mišljenja drugih autora/ica, koje sam u svom radu koristio/la, jasno navedeni i označeni u tekstu te u popisu literature,
- da sam u radu poštivao/la pravila znanstvenog i akademskog rada.

Potpis studenta/ice

Domagoj Golubić



OBRAZAC 6

**ODOBRENJE ZA POHRANU I OBJAVU
ZAVRŠNOG/DIPLOMSKOG RADA**

Ja DOMAGOJ GOLUBIĆ

dajem odobrenje za objavljivanje mog autorskog završnog/diplomskog rada u javno dostupnom digitalnom repozitoriju Veleučilišta u Virovitici te u javnoj internetskoj bazi završnih radova Nacionalne i sveučilišne knjižnice bez vremenskog ograničenja i novčane nadoknade, a u skladu s odredbama članka 83. stavka 11. Zakona o znanstvenoj djelatnosti i visokom obrazovanju (NN 123/03, 198/03, 105/04, 174/04, 02/07, 46/07, 45/09, 63/11, 94/13, 139/13, 101/14, 60/15, 131/17).

Potvrđujem da je za pohranu dostavljena završna verzija obranjenog i dovršenog završnog/diplomskog rada. Ovom izjavom, kao autor navedenog rada dajem odobrenje i da se moj rad, bez naknade, trajno javno objavi i besplatno učini dostupnim:

- a) široj javnosti
- b) studentima i djelatnicima ustanove
- c) široj javnosti, ali nakon proteka 6 / 12 / 24 mjeseci (zaokružite odgovarajući broj mjeseci).

Potpis studenta/ice

Domagoj Golubić

U Virovitici, 4.9.2021.

**U slučaju potrebe dodatnog ograničavanja pristupa Vašem završnom/diplomskom radu, podnosi se pisani obrazloženi zahtjev.*