Modeliranje i dimenzioniranje radio sučelja u 2G mobilnim mrežama

Ćurić, Žarko

Undergraduate thesis / Završni rad

2015

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Transport and Traffic Sciences / Sveučilište u Zagrebu, Fakultet prometnih znanosti**

Permanent link / Trajna poveznica: https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:119:842759

Rights / Prava: In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

Download date / Datum preuzimanja: **2024-03-29**



Repository / Repozitorij:

Faculty of Transport and Traffic Sciences - Institutional Repository







SVEUČILIŠTE U ZAGREBU

FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI

Žarko Ćurić

MODELIRANJE I DIMENZIONIRANJE RADIO SUČELJA U 2G MOBILNIM MREŽAMA

ZAVRŠNI RAD

Zagreb,2015.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU

FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI

ZAVRŠNI RAD

MODELIRANJE I DIMENZIONIRANJE RADIO SUČELJA U 2G MOBILNIM MREŽAMA

MODELING AND DIMENSIONING OF 2G MOBILE NETWORKS RADIO INTERFACE

Mentor: prof.dr.sc. Štefica Mrvelj

Student: Žarko Ćurić, 0135 229 574

Zagreb, rujan 2015.

SAŽETAK

GSM mreža u telekomunikacijama predstavlja 2. generaciju prijenosa informacija. Arhitektura GSM mreže je složena i sastoji se od MS-a, GMSC-a, BSS-a, HLR-a, VLR-a koji zajedno usklađenim radom obavljaju usluge prijenosa informacija. Sustav bazne stanice (BSS) ima ulogu uspostavljanja, prespajanja i raskidanja poziva. Fizički i logički kanal ključni su za prijenos informacija putem određenih vremenskih okvira. Usluge podržane u GSM mreži su prijenos glasa, SMS, prijenos podataka, usluge na temelju lokacije itd. Erlangov B model najznačajniji je model kod prijenosa glasa (telefonskih sustava), a pomoću njegovih tablica i formula izračunava se potreban broj prijenosnih kanala.

KLJUČNE RIJEČI: GSM mreža, arhitektura, sustav bazne stanice, prijenosni kanal, usluge, Erlangov B model

SUMMARY

GSM network presents 2. generation of information transfer in telecommunications. GSM network architecture is very complex and consist of MS, GMSC, BSS, HLR, VLR which together perform the transmission of the information. The system base stations (BSS) has the role of establishing, switching and interrupting calls. Physical and logical channel are essential for the transmission of information by certain time frames. Services supported GSM network in the transmission of voice, SMS, data, services based on location ect. Erlang B model is the most important model for voice transmission (telephone system), and using it's tables and formulas calculates the required number of transmission channels.

KEYWORDS: GSM network, architecture, the system base stations, transmission channel, service, Erlang B model

Sadržaj

1 UVOD 1

2 ARHITEKTURA GSM MREŽE 2

2.1 Komunikacijske procedure u GSM mreži 6

2.2 Poziv 10

2.3 Pristup internetu iz GSM mreže 11

3 PODSUSTAV BAZNE STANICE 13

3.1 Nadzornik baznih stanica BSC 14

3.2 Primopredajna bazna stanica (BTS) 15

3.3 Transcoder (TRAU) 18

4 SPECIFIKACIJA I STRUKTURA KANALA ZA GSM SUSTAV 20

4.1 Fizički kanali 21

4.2 Logički kanal 23

5 TEHNIČKO TEHNOLOŠKA SPECIFIKACIJA USLUGA PODRŽANIH U 2G MOBILNIM MREŽAMA 26

5.1 Prijenos govora u GSM-u 26

5.2 Slanje telefaksa i računalnih podataka 29

5.3 Usluge koje se temelje na lokaciji (LBS) 30

6 MODELIRANJE I OPTIMIZACIJA PRISTUPNE MREŽE 34

6.1 Erlangov B model 37

6.2 Određivanje broja kanala u baznoj stanici s obzirom na očekivani promet 42

7 ZAKLJUČAK 48

8 LITERATURA 49

9 POPIS SLIKA 51

10 POPIS TABLICA 52

11 POPIS KRATICA 53

1 UVOD

Telekomunikacije se razvijaju u cilju postizanja što bolje govorne, podatkovne i višemedijske komunikacije. Razvoj je započeo sa prvom generacijom NMT (*Nordic Mobile Telephony)* u Europi, a nastavio se na drugu generaciju GSM (*Global System for Mobile communications)* koji je svojevremeno bio najrasprostranjeniji u Europi i većem dijelu svijeta. Svrha završnog rada je prikazati arhitekturu i odnose između manjih dijelova unutar nje, te navesti prometni model po kojem može funkcionirati sustav. Cilj završnog rada je temeljem navedene arhitekture i modela izabrati najbolju kombinaciju. Naslov završnog rada je: **Modeliranje i dimenzioniranje radio sučelja u 2G mobilnim mrežama.** Rad je podijeljen u sedam cjelina:

1. Uvod
2. Arhitektura GSM mreže
3. Podsustav bazne stanice
4. Specifikacija i struktura kanala za GSM sustav
5. Tehničko tehnološka specifikacija usluga podržanih u 2G mobilnim mežama
6. Modeliranje i optimizacija pristupne mreže
7. Zaključak.

U drugom poglavlju opisana je arhitektura GSM mreže, ukratko su objašnjeni svi njezini podsustavi (GMSC, BSS, BTS, BSC, HRL, VLR) te veze između podsustava.

U trećem poglavlju podsustav bazne stanice je detaljno opisan (BTS, BSC, TC). Uloge koje obavlja veoma su važne u uspostavljanju, raskidanju, prespajanju poziva.

U četvrtom poglavlju govori se o specifikacijama i strukturi kanala koji se koriste za prijenos podataka u GSM mreži.

U petom poglavlju obuhvatili smo gotovo sve usluge koje GSM mreža podržava. Pa se tu navode od nekakvih osnovnih (SMS, prijenos glasa) do onih složenijih (usluge bazirane na lokaciji korisnika).

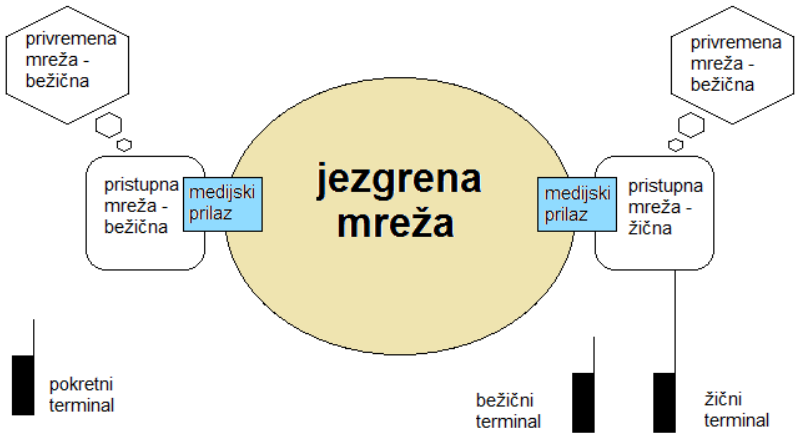
U šestom poglavlju prikazan je Erlangov B model sa pripadajućim formulama i specifikacijama, te prikaz izračuna potrebnog broja kanala za određeni promet.

2 ARHITEKTURA GSM MREŽE

Generička arhitektura komunikacijske mreže (Slika 1) sadrži sljedeće dijelove:

- jezgrenu mrežu (*Core Network*), koja je zajednička za različite mreže, a izvedena jedinstvenom mrežnom okosnicom (*Backbone*)
- bežičnu (*Wireless*) pristupnu mrežu (*Access Network*)
- privremene mreže (*Ad-hoc Network*) povezane bežičnih pristupnih točaka
- medijski prilaz[1] (*Media Gateway*)

Jezgrena mreža ili fiksna mreža služi za povezivanje prostorno udaljenih dijelova pristupne mreže. Jezgrenom mrežom ostvaruju se kontrolne i upravljačke funkcije te osiguravaju usluge poslužiteljskim sustavima u samoj mreži. Medijski prilaz ima ulogu prilagođavanja informacije koja se prenosi sa terminalnog uređaja na jezgrenu mrežu, ali razdvaja funkciju kontrole poziva (*Call Control*) od kontrole veze (*Connection Control*) te omogućuje strujanje medija (*Media Streaming*). Za korisnika vrlo je važno da ima relativno iste mogućnosti komuniciranja i lepezu usluga na priključku (pristupnoj točki) pokretne mreže ili prilikom *ad hoc* umrežavanja više uređaja oko priključka pokretne mreže [1].



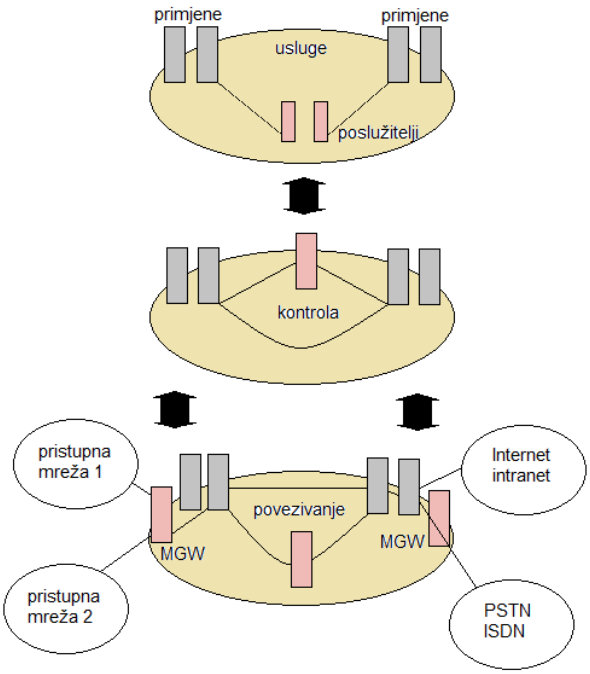
Slika 1. Arhitektura mreže,

Izvor:[1]

[1] Spojište između kanalski komutirane i paketski komutirane IP mreže; paketizira i depaketizira digitalni govorni signal. Uređaj čija je primarna funkcija translacija podataka između različitih mreža.

Funkcionalnost ovakvog modela mreže može se opisati troslojnim prikazom (Slika 2) koji sadrži sloj povezivosti (*Conectivity layer*), kontrolni sloj (*Control layer*) te sloj primjena i usluga (*Application and service layer*). Upravljanje (*Managment*) se definira izvan pojedinih slojeva. Prospojni sloj ima zadaću transporta informacija između korisnika koji su priključeni preko jedne ili više pristupnih mreža i korisnika koji koriste druge mreže kao što su javna komutirana telefonska mreža (PSTN - *Public Switched Telephone Network*), digitalna mreža integriranih usluga (ISDN - Integrated Services Digital Network), Internet ili neki intranet. Povezivanje u ovakvim mrežama ostvaruje se komutacijskim sustavima koji usmjeravaju korisničku informaciju.

Vrlo važan je kontrolni sloj koji određuje na koji način će se obaviti povezivanje, sukladno zahtjevima poziva, usluga i aplikacija koje zaprima. Za upravljanje komunikacijom kontrolnom sloju potrebni su podaci o učesnicima u komunikaciji, njihova lokacija, vrsta informacije koju razmjenjuju i još neki kontrolni parametri. Kontrolni sloj izmjenjuje informaciju unutar svojih sustava i sa sustavima iznad i ispod sebe (Slika 2).

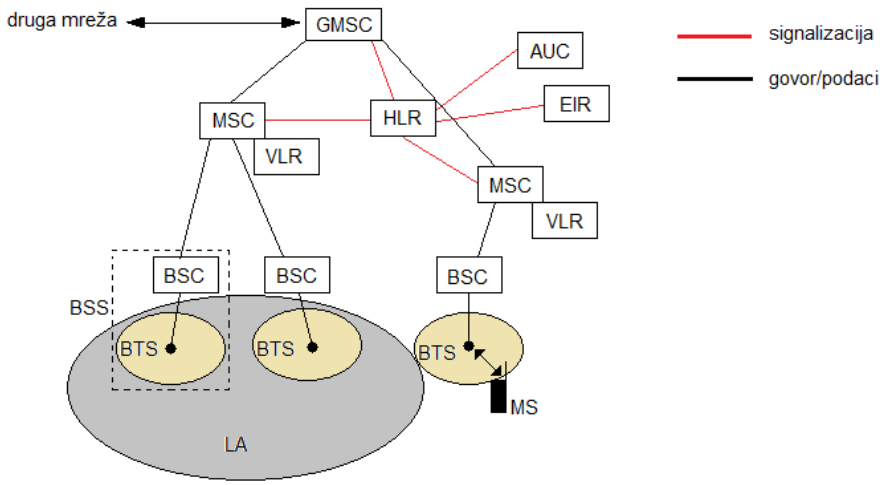


Slika 2. Troslojna mrežna arhitektura,

Izvor:[1]

Korisnici na raspolaganju imaju sloj primjena i usluga koji sadrži poslužiteljske sustave potpore, a u ovom sloju smješteni su i sadržaji potrebni za ostvarivanje informacijskih usluga. Arhitektura kod koje se uvode zajednički elemenati za više mreža i usluga naziva se horizontalna arhitektura, a pravi primjer toga je upravo troslojna mrežna arhitektura, za razliku od vertikalne arhitekture kod kojih svaka mreža ili usluga raspolaže vlastitim sredstvima za povezivanje, kontrolu, primjene i usluge (telefonska mreža) [1].

U GSM mreži (Slika 3) postoji prilazni komutacijski centar mobilne mreže (GMSC - Gateway Mobile Services Switching Center) kojemu je zadaća povezati korisnika s drugim mrežama, ali i omogućiti pristup GSM mreži, te komutacijski centar (MSC – Mobile Switching Centre). MSC povezuje GMSC i sustave baznih postaja (BSS – Base Station Subsystem) koji se sastoje od dva dijela, kontrolnog (BSC – Base Station Control) i primopredajnog (BTS – Base Transceiver Station). Osnovna uloga BSC-a je upravljanje sa više BTS-ova. BTS sadrži antenske sustave, a područje koje pokriva jedan BTS radijskim signalom naziva se ćelija. Skupina više ćelija koje pripadaju jednom MSC-u naziva se lokacijsko područje. Pokretna postaja (MS – Mobile Station) je korisnički terminal pomoću kojeg korisnik prima i odašilje informacije. Da bi se omogućila pokretljivost potrebni su lokacijski registri, odnosno lokacijske baze podataka. Lokacijski registar domaćih korisnika (HLR – Home Location Register), gdje se nalaze podaci o vlastitim pretplatnicima i uslugama koje koriste te njihovoj trenutnoj lokaciji. Svaka GSM mreža posjeduje vlastiti HLR [1].



Slika 3. Arhitektura GSM mreža,

Izvor:[1]

Svaki MSC posjeduje jedan lokacijski registar posjetitelja (VLR – Visitor Locator Register). Podaci pretplatnika vlastite mreže i podaci pretplatnika drugih mreža koji se nalaze u lokacijskom području tog MSC-a sadržani su u VLR-u. Ti pretplatnički podaci se nalaze privremeno u VLR-u i zapisani su za vrijeme boravka pretplatnika u lokacijskom području. Podatke o trenutnoj lokaciji pretplatnika VLR javlja HLR-u domaće mreže, tj. vlastitom HLR-u za vlastite pretplatnike, a HLR-ovima drugih mreža za njihove pretplatnike koji su prešli u lokacijsko područje dotičnog VLR-a.

Lokacijske baze podataka moraju biti otporne na kvarove, a ukoliko se isti dogode mora im se omogućiti brz i potpuni oporavak. Prilikom prekoračenja kapaciteta baze podataka posjetitelja može doći do nemogućnosti registriranja novih pretplatnika. Takva situacija rješava se brisanjem neaktivnih korisnika iz VLR baze. Autentičnost pretplatnika pri svakom pozivu obavlja centar za provjeru autentičnosti (AuC - Authentification Center) koji sadrži autentifikacijski ključ. AuC je zaštićena baza podataka koja sadrži kopiju tajnog koda (PIN broj) koji sadržava svaka pretplatnička SIM kartica. Koristeći registar identifikacije opreme (EIR[2] – Equipment Identity Register), koji sadrži serijski broj MS, može se provjeriti da li je određen MS u vlašništvu pretplatnika. EIR je dodatna mogućnost GSM mreže, ne mora se provoditi svaki put.

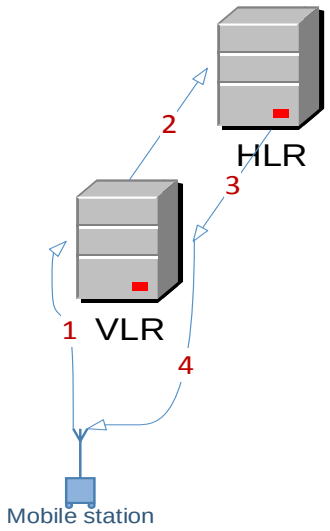
Kada novi korisnik pokuša uspostaviti pretplatnički odnos, u HLR se prvo zapisuje međunarodna identifikacija pokretnog pretplatnika (IMSI - International Mobile Subscriber Identity), zatim pozivni broj pokretne postaje (MSISDN - Mobile Station International Subscriber Directory), te autentifikacijski ključ (Ki) zajedno sa popisom usluga koje pretplatnik, odnosno njegov profil može koristiti. IMSI jednoznačno određuje GSM mrežu i pretplatnika, a važan je za neke sistemske operacije u mreži i između različitih GSM mreža. MSISDN je pozivni broj samog pretplatnika, npr. 385 092 xxx xx. Da bi se pretplatnik mogao provjeriti od strane davatelja usluga postoji jednoznačni identifikacijski ključ Ki koji je zapisan u MS, HLR, AUC. Ukoliko se ključevi ne podudaraju poziv se automatski odbacuje. Modul pretplatničkog odnosa (SIM - Subscriber Identity Module) stavlja se u MS te se u njemu nalazi IMSI i Ki. Radi zaštite samog MS-a uvodi se identifikacijski broj (PIN – Personal Identification Number) bez kojeg se ne može uključiti, a ukoliko se tri puta zaredom unese

[2] EIR je baza podataka koja sadrži listu mobilnih uređaja koji mogu pristupiti sustavu, gdje se svaka mobilna jedinica identificira s IMEI kodom.

pogrešna kombinacija SIM kartica se zaključava. Pomoću ključa za odblokiranje (PUK – Personal Unblocking Code) odblokirava se zaključana SIM kartica [1].

2.1 Komunikacijske procedure u GSM mreži

Kod sustava 2. generacije veoma važnu ulogu imaju lokacijske baze podataka, HLR i VLR. Trenutna lokacija korisnika, odnosno adresa VLR područja koju je korisnik posjetio zapisuje se u HLR-u, dok se u VLR prebacuju pretplatnički podaci o korisniku iz HLR-a. Mreža prati stanje MS-a na način da prati njegovo uključivanje (*Attachment*) i isključivanje (*Deatachment*). Kada se MS uključi detektira se u kojoj je ćeliji uključen, provjerava se autentičnost i identitet opreme, a nakon toga u VLR se zapisuje njegova lokacijska informacija koju VLR šalje pretplatnikovom matičnom HLR-u. Na ovaj način mreža se unaprijed priprema za pozive, jer će unaprijed znati odakle može krenuti odlazni poziv ili završiti dolazni poziv. Registracija MS-a obavlja se periodički u vremenu ili kod promjene lokacije, te se na taj način omogućava uvijek točna lokacijska informacija koja se zapisuje u HLR i VLR. Kod promjene lokacije, lokacijska informacija se briše u dotadašnjem VLR-u, te se upisuje u novi VLR. Ukoliko se MS isključi, gubi se njegova lokacijska informacija i MS prestaje biti dostupan. Prigodom svake prve registracije i svake promjene lokacije mora se provesti registracijska procedura između MS-a, VLR-a i HLR-a (Slika 4) [1].



Slika 4. Registracija u vlastitoj mreži,

Izvor: [1]

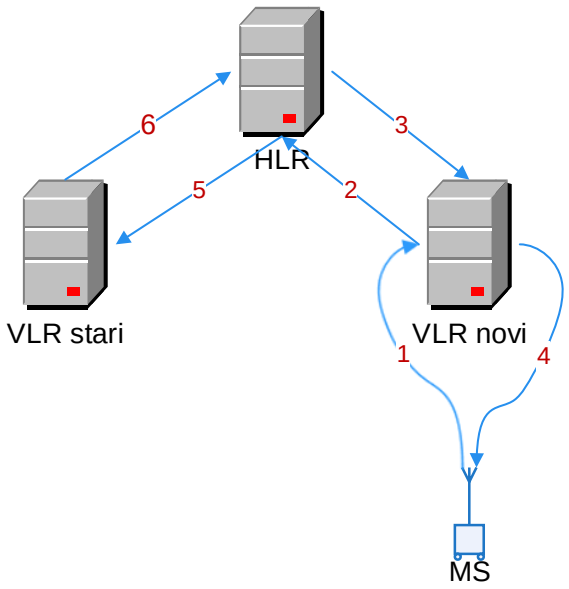
Registracija u vlastitoj mreži sadrži sljedeću signalizaciju, kako je prikazano slikom 4, unutar domaće mreže:

1. zahtjev za registracijom
2. registracijska poruka
3. pretplatnički podaci
4. uspješna registracija.

Kod promjene lokacije u vlastitoj mreži signalizacijska procedura sastoji se od više koraka koji su navedeni u nastavku i prikazani slikom 5. Procedura promjene lokacije u vlastitoj mreži:

1. zahtjev za registracijom
2. registracijska poruka
3. pretplatnički podaci
4. uspješna registracija
5. deregistracijska poruka
6. potvrda deregistracije.

Ovakav način registracije omogućava MS-u da prilikom promjene lokacije ne mora znati adresu VLR-a kod kojeg je prethodno bio registriran jer se sva signalizacija obavlja unutar domaće mreže [1].

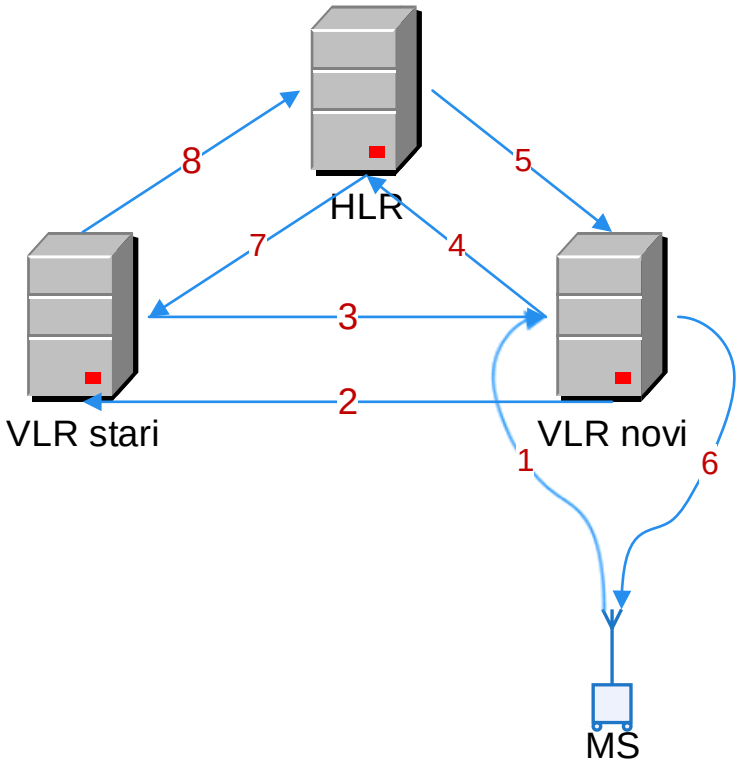


Slika 5. Registracija (nepoznat stari VLR),

Izvor: [1]

Drugi način registracije moguć je kad MS zna adresu VLR-a kod kojeg je bio prethodno registriran (Slika 6). Signalizacija je sljedeća:

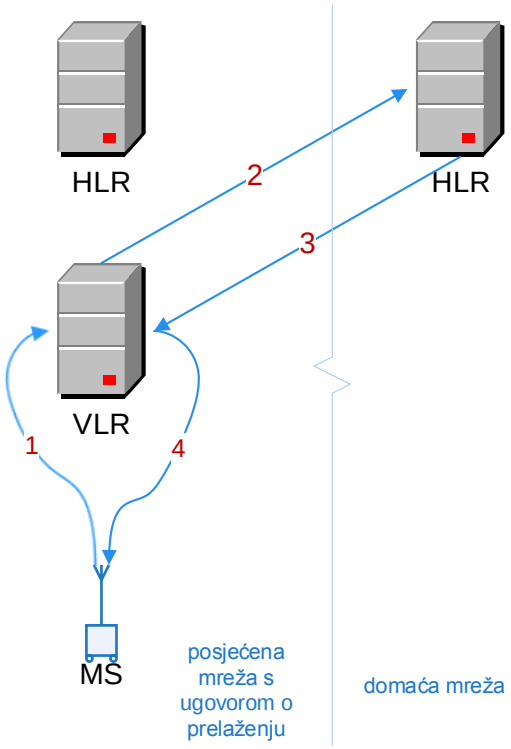
1. zahtjev za registracijom
2. zahtjev za HLR adresom
3. HLR adresa
4. registracijska poruka
5. pretplatnički podaci
6. uspješna registracija
7. deregistracijska poruka
8. potvrda deregistracije.



Slika 6. Registracija (poznat stari VLR),

Izvor: [1]

Kada je MS registriran može ostvariti komunikaciju u drugim mrežama s kojima je operator njegove mreže sklopio ugovor o prelaženju (*Roaming*[3]). Registracija u posjećenoj mreži je složenija, jer izaziva signalizaciju između VLR-a posjećene mreže i HLR-a domaće mreže (Slika 7). Svaka promjena lokacije u posjećenoj mreži izaziva signalizaciju između novog VLR-a i starog VLR-a u posjećenoj mreži s HLR-om u domaćoj mreži.



Slika 7. Registracija u posjećenoj mreži s ugovorom o prelaženju,
Izvor: [1]

Na temelju procjene kvalitete odnosa signal/šum (S/N) može se pojaviti potreba za prebacivanjem iz jedne ćelije u drugu, a to se provodi postupkom lociranja (*Locating*). Te dvije ćelije mogu biti unutara istog lokacijskog područja, iste mreže ili različitih mreža. Postoji situacija kada je neko područje pokriveno s više GSM mreža, a na MS-u je da odabere onaj sa najkvalitetnijim signalom, ukoliko sam korisnik ručno ne

[3] Roaming je usluga koju nude mobilni operatori uz pomoć koje se može koristiti osobni telefon u inozemstvu. Svi mobilni operatori u Hrvatskoj, ovisno o tarifnom paketu, nude međunarodni roaming. Operator ima sporazume o roamingu sa stranim operatorima, što korisniku pruža mogućnost korištenja mreža tih operatora ostvarivanjem odlaznih i dolaznih poziva, slanja i primanja SMS poruka, kao i neke druge mobilne usluge (primjerice pristup glasovnoj pošti i nadoplata računa na pre-paid telefonima) na isti način kao i kod domaćih operatora. Raspoložive usluge i troškovi korištenja razlikuju se od operatora do operatora, ovisno o njihovim međusobnim ugovorima.

podesi mrežu. Stoga će na zadovoljstvo gostujućih korisnika biti vrlo važna tehnička rješenja sustava baznih postaja, kao npr. prebacivanje poziva (*Handover*) kada se svaki započeti poziv mora nastaviti prilikom promjene ćelije [1].

2.2 Poziv

Odlazni poziv u drugu, fiksnu ili pokretnu mrežu, odvija se ovako:

1. MS traži slobodni prometni kanal do BTS-a. Ukoliko su svi kanali zauzeti, poziv se odbacuje.
2. Kontrolnim kanalima MS se povezuje s AUC i EIR kako bi provjerila autentičnost i identitet opreme. Ukoliko nije utvrđena autentičnost, poziv se odbacuje.
3. Signalizacijom na relaciji MS-BTS-BSC-MSC-GMSC-druga mreža dostupa se drugom korisniku. Ukoliko pozvani korisnik nije slobodan, ne javlja se ili mreža nema slobodnih resursa za uspostavljanje poziva, poziv se odbacuje.
4. Nakon javljanja pozvanog korisnika, uspostavlja se komunikacija prethodno dodijeljenim kanalom, uz kriptografsku zaštitu (*Ciphering*).

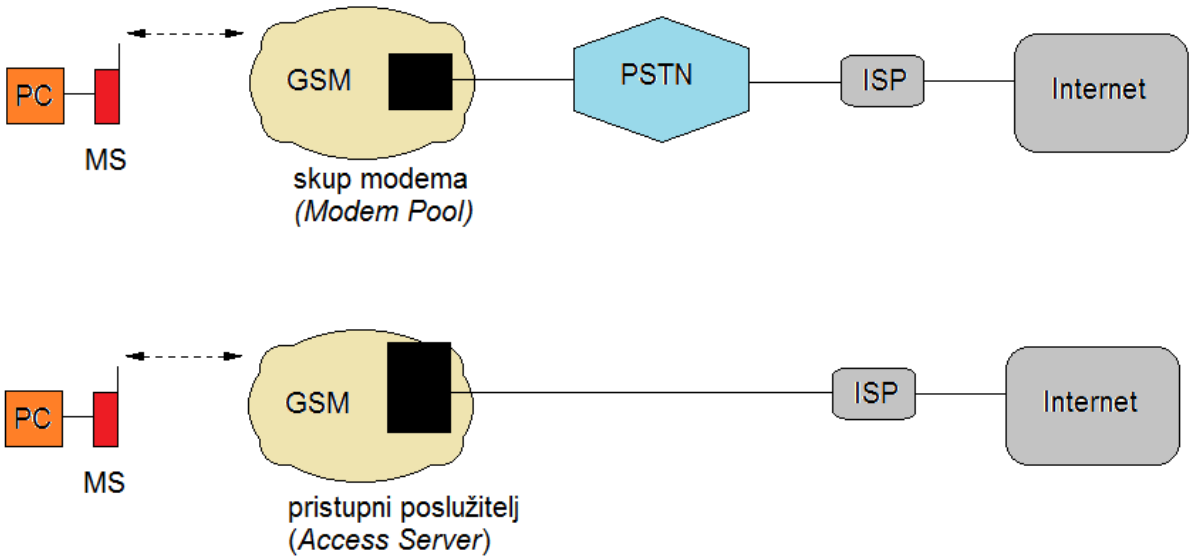
Dolazni poziv je složeniji, jer, za razliku od fiksne mreže, lokacija pozvanog pretplatnika nije unaprijed poznata, te se odvija ovako:

1. GMSC od HLR-a traži lokacijsku informaciju za pozvani MS. Ukoliko lokacijska informacija nije poznata (npr. MS isključen), poziv se odbacuje.
2. Poziv se usmjerava prema MSC-u u čijem se lokacijskom području pretplatnik nalazi. Ukoliko MS nije slobodan, poziv se odbacuje.
3. MSC prenosi BSC-u zahtjev za pozivanjem MS-a. Ukoliko nema slobodnih prometnih kanala ili se pretplatnik ne javlja, poziv se odbacuje.
4. Provjerava se autentičnost i identitet opreme.
5. Uspostavlja se komunikacija prethodno dodijeljenim prometnim kanalom, uz kriptografsku zaštitu.

Mreža traži MS pozivanjem (*Pagging*) i čekanjem odziva iz ćelije u kojoj se nalazi [1].

2.3 Pristup internetu iz GSM mreže

U GSM mreži podaci se prenose brzinom do 9,6 kbit/s u govornom kanalu, što zapravo odgovara brzini u telefonskoj mreži pa se GSM mreža može koristiti za pristup internetu malim brzinama. Preko mobilnih terminalnih uređaja koristeći podatkovnu komunikaciju preko bežičnog pristupa može se pristupiti Internetu iz GSM mreže. Kod situacije kada GSM operator nije ujedno i davatelj internetske usluge (ISP – Internet Service Provider), moguće je rješenje sa skupom modema na izlazu iz GSM mreže koji se dodjeljuju podatkovnom pozivu preko kojih se kroz telefonsku mrežu pristupa Internetu (Slika 8). Negativnosti vezane uz ovaj način spajanja bile bi dugotrajno spajanje (20s), dodatni troškovi uzrokovani od strane telefonske mreže te nemogućnost uvođenja usluga s dodatnom vrijednosti.

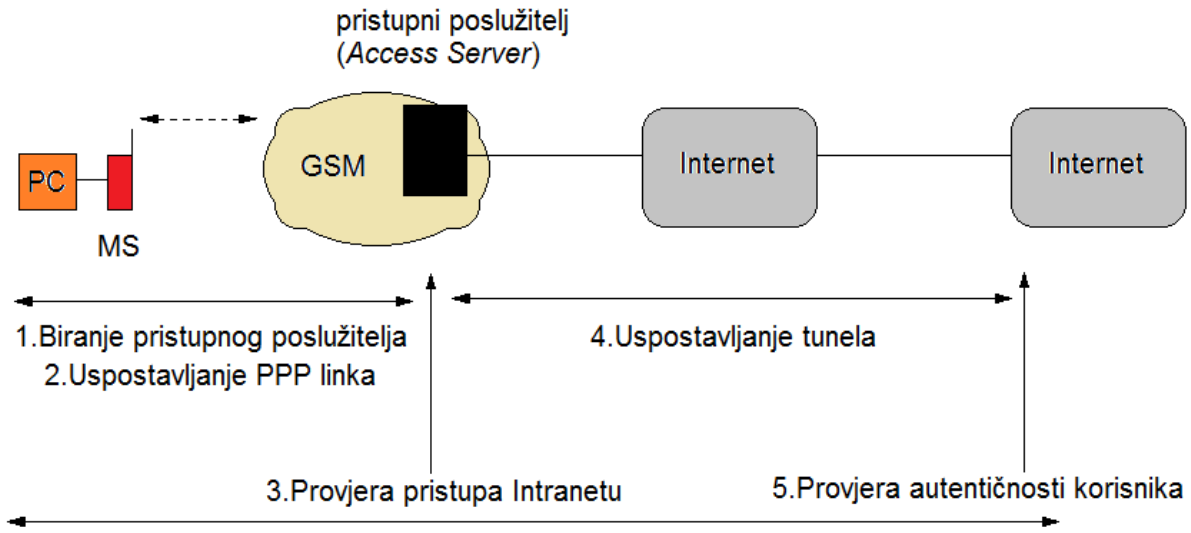


Slika 8. Povezivanje GSM-Internet,

Izvor:[1]

Kada je GSM operator ujedno i ISP najpovoljnije rješenje za njega je pristupni poslužitelj (Access Server) na kojem završavaju podatkovni pozivi, s time da ujedno omogućava i izravni pristup internetu uz digitalnu povezanost. Veza se uspostavlja u veoma kratkom vremenskom roku (10s), a postoji i mogućnost uvođenja usluga s dodatnom vrijednosti (prosljeđivanje elektroničke pošte kratkom porukom i obratno) [1].

Pristup intranetu iz GSM mreže odvija se u koracima kojima se postupno gradi pristupna veza na temelju protokola PPP (Point to Point Protocol), kao što je prikazano na slici 9. Na taj način ostvaruje se virtualna privatna mreža (VPN – Virtual Private Network) koja koristi Internet kao transportnu mrežu kroz koju se tuneliraju paketi između GSM mreže i intraneta [1].



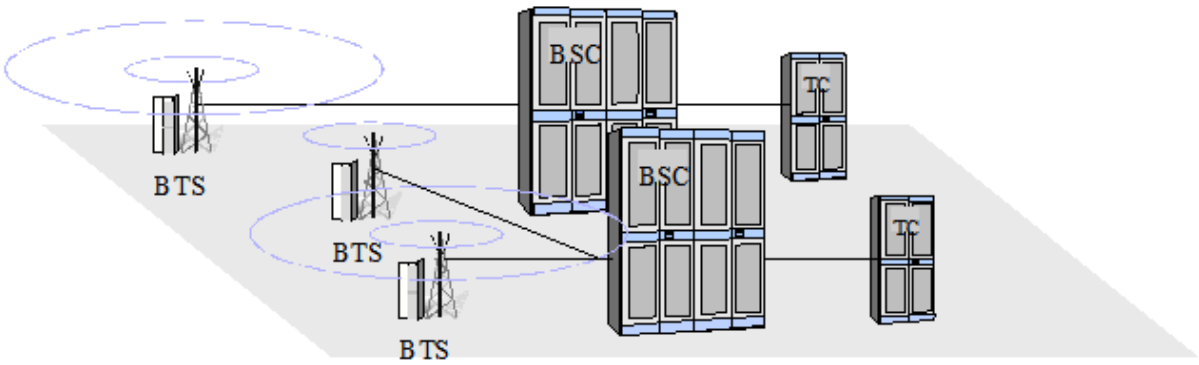
Slika 9. Pristup intranetu iz GSM mreže,

Izvor:[1]

3 PODSUSTAV BAZNE STANICE

Sustav bazne stanice (BSS) je odgovoran za upravljanje radio mrežom, a kontroliran je od strane MSC-a (Slika 10.). Obično jedan MSC upravlja sa nekoliko BSS-ova. BSS može pokrivati znatno veliko geografsko područje sastojeći se od puno ćelija (ćelija u ovom slučaju označava područje koje je pokriveno sa jednim ili više izvora koje zrače određenu frekvenciju). BSS se sastoji od:

- BSC - nadzornik (kontroler) baznih postaja
- BTS - bazna stanica koja sadrži antenski sustav i primopredajni uređaj
- TRAU - Transcoder and Rate Adaptation Unit ili TC (Transcoder)



Slika 10.Sustav bazne stanice (BSS), [2]

BSS koristi hijerarhijsku sinkronizaciju, što znači da MSC sinkronizira BSC, i BSC daljnje sinkronizira BTS povezane s BSC-om. Unutar BSS-a sinkronizacija je kontrolirana od strane BSC-a. Sinkronizacija je ključno pitanje u GSM mreži zbog prirode prijenosa informacija. Ako lanac sinkronizacijske ne radi ispravno, kvaliteta poziva možda neće biti najbolja moguća ili poziva uopće neće biti. U konačnici, to može dovest do nemogućnosti uspostavljanja poziva. BSS mobilno upravljanje uglavnom podržava različite slučajeve prespajanja poziva. Um sučelje smješteno je između mobilne stanice i bazne stanice. Radi se zapravo o zračnom sučelju koje je dobilo naziv po uzoru na U sučelje ISDN-a. Um sučelje prisutno je na sva tri sloja: fizičkom, podatkovnom i mrežnom. Funkcije Um sučelja na fizičkom sloju su:

digitaliziranje glasa govornika, komprimiranje signala, kreiranje burstova, podjela logičkih kanala, kreiranje (TDMA - Time Division Multiple Access) okvira, podjela frekvencija. Zračno sučelje od iznimne je važnosti za GSM sustav i mora pružiti određenu mjeru sigurnosti. Sigurnosne značajke koje moraju biti zadovoljene na zračnom sučelju jesu: autentifikacija pretplatnika u mreži, kriptiranje na kanalima, anonimnost transakcija. Opcionalno Um sučelje treba imati podršku za preskakanje s frekvencije na frekvenciju. Ova funkcionalnost nije spomenuta kao sigurnosna zaštita ali može spriječiti ili u većoj mjeri onemogućiti pasivni napad presretanja Um linka. Proces autentifikacije i kriptiranja temelji se na tajnom ključu *Ki* koje je spremljen u SIM kartici i u autentifikacijskom centru. Zbog sigurnosnih razloga ovaj ključ nikada se ne šalje Um sučeljem [2].

3.1 Nadzornik baznih stanica BSC

BSC je ključni mrežni element i dio BSS-a, te kontrolira radio mrežu. Ima nekoliko važnih zadataka, a neki su navedeni u nastavku:

- uspostavljanje veze između MS-a i NSS-a (The Network Switching Subsystem) - svi pozivi prema i od MS-a su spojeni preko BSC-a, a realiziraju se pomoću korištenja raznih funkcionalnosti unutar BSC-a.

- upravljanje mobilnošću - BSC je odgovoran za pokretanje velike većine svih prespajanja poziva, a odluku o prespajanju poziva temelji na izvješćima, mjerenjima koje šalje MS tijekom poziva.

- statističko prikupljanje osjetljivih podataka - informacije iz BTS-a (Transcodera) i BSC-a prikupljaju se u BSC-u i prosljeđuju putem DCN (DCN - Data Communications Network) prema NMS-u (NMS - Network Managment System), gdje se naknadno obrađuju i prenose u statističke tablice iz kojih se očitavaju kvaliteta i status mreže.

- zračna signalizacijska podrška i signalizacijska podrška A-sučelja - A-sučelju SS7 (Comon Channel Signaling System No7) koristi se kao jezik za signalizaciju, dok okruženje u zračnom sučelju dozvoljava upotrebu protokola prilagođenog prema ISDN standardima, zvanog LAPDm (Link Access Protocol on the ISDN D Channel, modified version). Između BTS-a i BSC-a, koristi se više standardizirani LAPD protocol. BSC isto tako omogućava transparentnu vezu koja je potrebna između MSC/VLR i MS-a.

- kontrola TRAU i BTS-a - unutar BSS-a, svi BTS-ovi i TC-ovi su spojeni sa BSC-om/ovima. BSC održava BTS-ove, drugim riječima BTS je sposoban razdvajati BTS od mreže i prikupljati informacije koje bi mogle naštetiti BTS-u. TRAU je također održavan od strane BSC-a, tj. BSC prikuplja alarmne informacije koje su namijenjene transcoderima te ih na taj način štiti [2].

3.2 Primopredajna bazna stanica (BTS)

BTS je mrežni element odgovoran za upravljanje zračnim sučeljem te za umanjivanje problema prijenosa (zračno sučelje je veoma osjetljivo na smetnje). Ova uloga BTS-a je ostvarena sa oko 120 drugih parametara. Ovi parametri točno definiraju kakav BTS je u pitanju i kako MS vidi mrežu dok se kreće u području pokrivanja BTS-a.

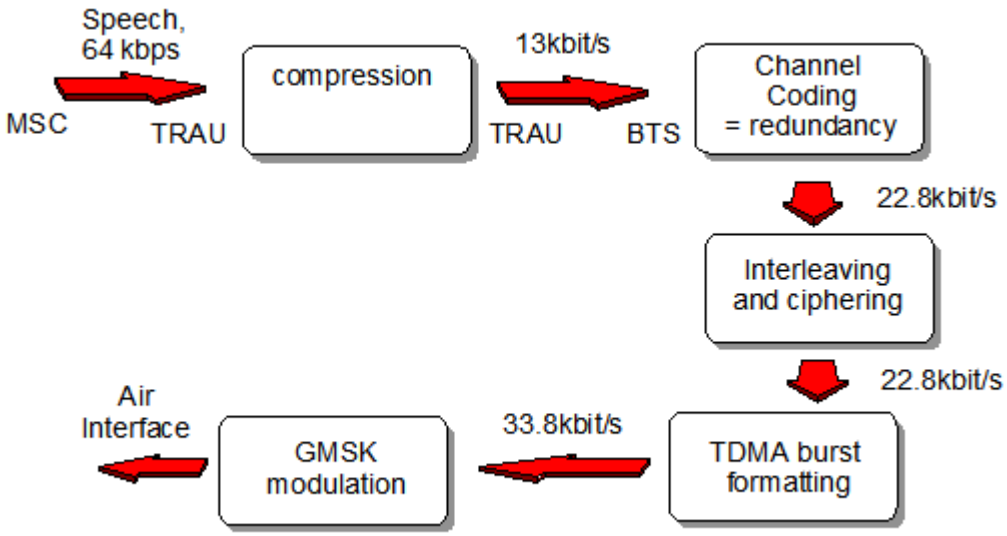
BTS parametric određeni su sljedećim glavnim obilježjima: kakvo prespajanje poziva (kada? i zašto?), paging organizacija, jačina odašiljanja radio signala, i identifikacija BTS-a. BTS ima veoma važne zadatke, a neki od njih su:

- Signalizacija zračnog sučelja - veoma puno dvosmjernih i jednosmjernih veza mora biti usklađeno kako bi mrežni sustav radio kako treba. Jedan primjer toga je kada je MS uključen po prvi put, mora poslati i primiti puno informacija od mreže (točnije od VLR) prije nego što može početi primati i započinjati telefonske razgovore. Drugi primjer je kada je potrebna signalizacija za uspostavljanje poziva od MS izvora do MS primatelja. Treći veoma važan primjer signalizacije u mobilnim mrežama je potreba za informiranjem MS-a

kada će se prespajanje poziva dogoditi (i kasnije kada MS šalje poruku uzlaznom vezom signalizirajući mreži da je prespajanje gotovo)

- Šifriranje - BTS i MS moraju moći šifrirati i dešifrirati informaciju u cilju zaštite prenesenog govornog i podatkovnog sadržaja u zračnom sučelju.

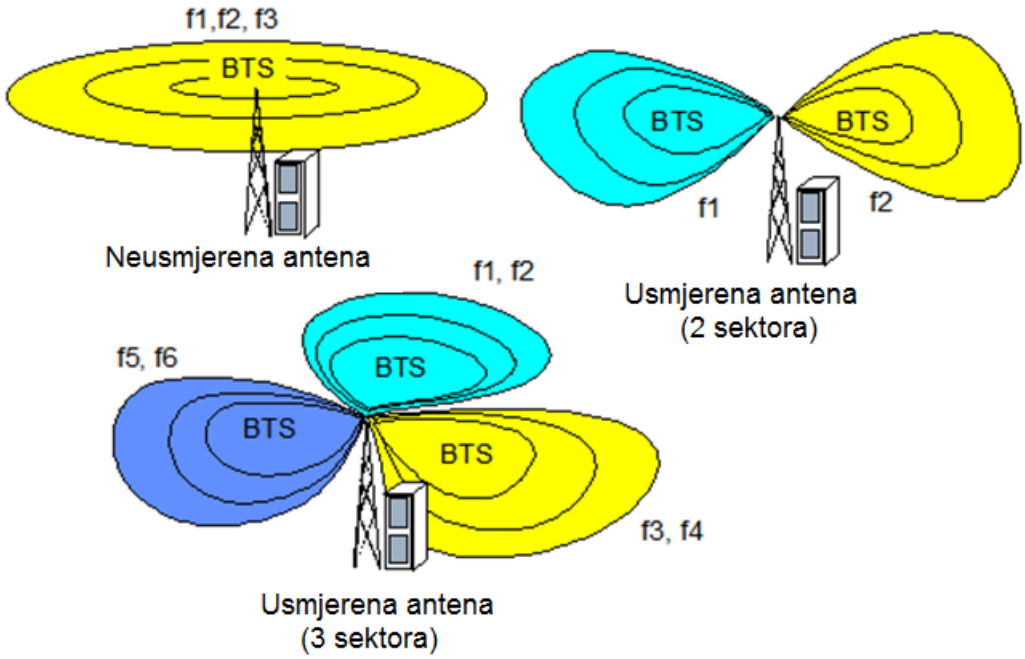
- Obrada govora - obrada govora odnosi se na sve funkcije koje BTS obavlja u cilju da garantira vezu bez pogrešaka između MS-a i BTS-a (Slika 11). To uključuje kodiranje govora (digitalno u analogno u *downlink* smjeru i obrnuto), kodiranje kanala (za zaštitu od pogrešaka, smetnji), interleaving (omogućiti siguran prijenos) i mijenjanje oblika (dodavanje informacija na kodiranu riječ/podatak u cilju boljeg i sigurnijeg transporta).



Slika 11. Obrada govora u GSM mreži, [2]

- Modulacija i demodulacija - korisnički podaci prikazani su vrijednostima “1” i “0”. Ove vrijednosti “1” i “0” (bitovi) koriste se da bi promjenile neka obilježja analognih radio signala prema unaprijed određenim pravilima. Promjenom znakova radio analognog signala u bit-ove digitalnog signala, može se “prevesti” analogni signal u niz bitova u određenoj frekvencijskoj domeni. Ova tehnika zove se modulacija. U GSM mrežama koristi se GMSK (Gaussian Minimum Shift Keying) modulacija [2].

Svaka bazna postaja može sadržavati više TRX-ova (Transciver), od kojih svaki podržava jedan frekvencijski par (za odašiljanje i primanje informacija). BTS također ima jednu ili više antena, koje su sposobne odašiljati i primati informacije prema/od jednom ili više TRX-ova. Antene mogu biti neusmjerene i usmjerene (Slika 12). BTS ima kontrolne funkcije za rad i održavanje, sinkronizaciju i vanjski alarm [2].



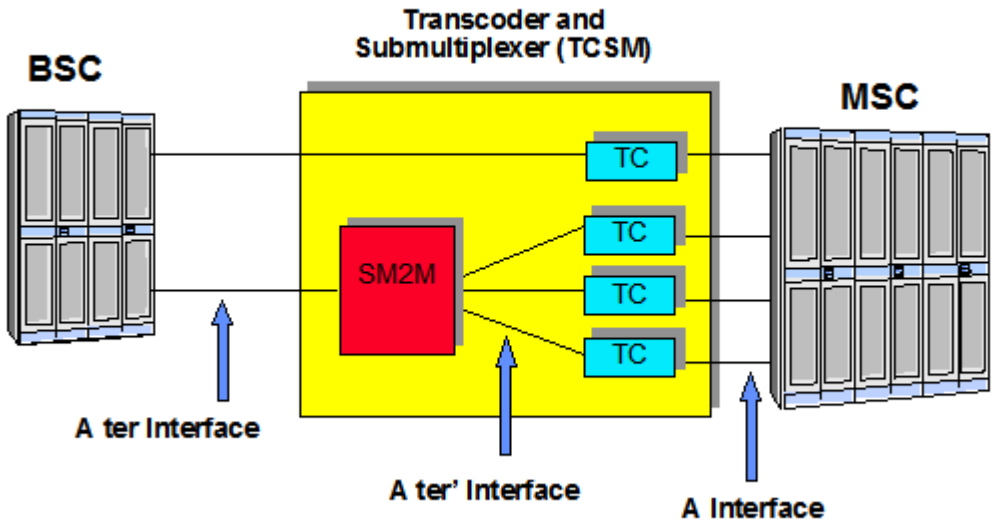
Slika 12. Usmjerena i neusmjerena antena, [2]

3.3 Transcoder (TRAU)

U zračnom sučelju (između MS i BTS-a) medij za prijenos informacija je radio frekvencija (elektromagnetski valovi). Za omogućavanje uspješnog prijenosa govora u digitalnom obliku preko zračnog sučelja informacije, tj. digitalni zapis mora biti komprimiran. Isto tako mora se moći komunicirati sa i kroz fiksnu mrežu gdje je format komprimirane informacije različit nego u zračnom sučelju. Negdje između BTS-a i fiksne mreže mora se napraviti pretvorba iz jednog komprimiranog formata u drugi, i u tom području nalazi se transcoder (Slika 13).

Za prijenos preko zračnog sučelja govorni signal je komprimiran od strane MS-a na 13 kbit/s (Full Rate and Enhanced Full Rate), 5,6 kbit/s (Half rate) te 12,2 kbit/s (Enhanced full Rate). Moderni koder za govor je AMR (AMR - Adaptive Multirate Coding) koji je mnogo fleksibilniji jer proizvodi govor brzinama koje su slične starijim rješenjima, ali prilagođene prijenosima putem linka.

Standard prijenosa informacija u PSTN mrežama je 64 kbit/s. Tehnika koja se koristi je PCM (PCM - Pulsno kodna modulacija), te je potrebno izvršiti prilagodbu brzinu govora iz GSM mreže [2].



Slika 13.Transcoder, [2]

TRAU vodi brigu o promjenama brzine razmjene informacija (bit/s). Ako je TC pozicioniran što je bliže moguće MSC-u, te ukoliko povežemo mrežne elemente sa PCM kanalima se u teoriji može multipleksirati 4 prometna kanala u jedan PCM kanal. Ovaj postupak povećava učinkovitost PCM kanala, a smanjuje troškove za samog operatera. Kada se tako spoje na MSC, multipleksirani kanali moraju se kasnije demultipleksirati, pa se iz toga razloga rješenje iz Nokie što se tiče TRAU naziva TCSM (TCSM - Transcoder and Submultiplexer). U skladu sa standardima, TRAU funkcionalnosti se isto tako mogu implementirati u BSC i BTS sustave, ali najčešća upotreba je upravo u MSC sustavu.

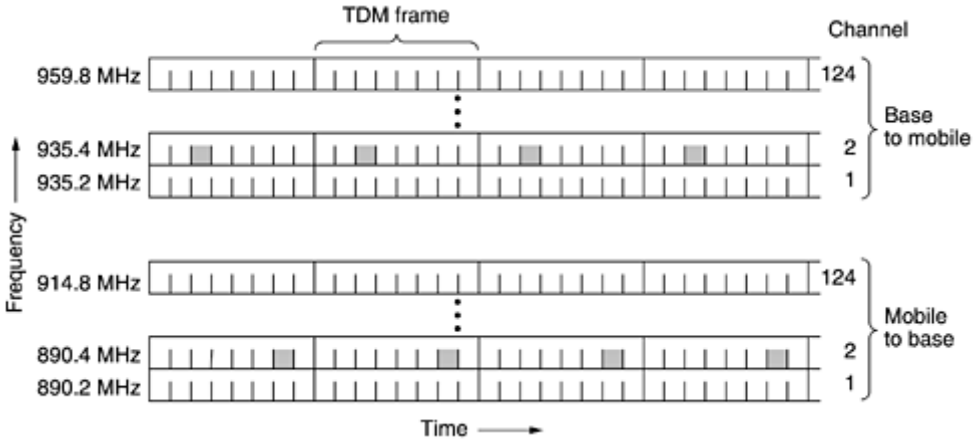
Sljedeći zadatak za TRAU je omogućiti DTX (DTX - Discountinuous transmission). Za vrijeme normalnog razgovora sugovornici sudjeluju u razgovoru naizmjenice, što znači da je dok jedan govori drugi sugovornik šuti i obrnuto. To bi značilo da svaki od sugovornika ne govori barem 50% vremena čitavog razgovora. Uvođenjem diskontinuiranog prijenosa DTX na vezi od pokretnog terminala prema baznoj stanici (*Up link*) i vezi od bazne stanice prema pokretnom terminalu (*Down link*) predajnik može biti isključen za vrijeme pauze u govoru uporabom detektora osjetljivog na govor (*Voice Activity Detector*) [5]. Algoritam na osnovi kojeg radi ovaj detektor, tako je brz da je u mogućnosti isključiti predajnik čak i u stankama između riječi što znači da je primjenom ovog rješenja ukupna izračena snaga smanjena a time i interferencija. DTX je moguće koristiti i za govor i za prijenos podataka. Izrađen je u cilju smanjenja interferencije i da produlji životni vijek baterije MS-a [3].

U rješenju tvrtke Nokia, submultiplexing i transcoding funkcije su ukomponirane u jedinstvenu opremu pod nazivom TCSM2E (Europska verzija) i TCSM2A (Američka verzija) [2].

4 SPECIFIKACIJA I STRUKTURA KANALA ZA GSM SUSTAV

Globalni sustav pokretnih komunikacija, GSM, je digitalni sustav s višestrukim pristupom u vremenskoj podjeli. Višestruki pristup u vremenskoj podjeli riješen je tako da na svakoj od 124 prijenosne frkevencije izvodi 8 kanala u vremenskoj podjeli (Slika 14). Stoga ukupan broj kanala kojima raspolaže GSM iznosi 992. Govor i signalizacija u GSM-u prenose se digitalno. Korisnička informacija prenosi se prometnim kanalima (*Traffic channel*), a upravljačka informacija posebnim kontrolnim kanalima (*Control channel*), čime je postignuto odvajanje korisničke i upravljačke informacije.

GSM mreža pokriva područje radijskim signalom na ćelijskom načelu. Ćelijska struktura omogućuje dobru iskoristivost raspoloživih frekvencija, jer se u susjednim ćelijama rabe različite, a u udaljenim ćelijama iste frekvencije pa se na taj način može postići optimum pokrivenosti i iskoristivosti frekvencijskog spektra koji je ograničen resurs [1].

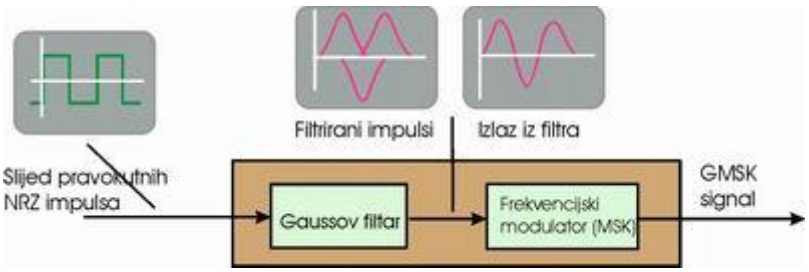


Slika 14. Prikaz TDMA okvira, [4]

4.1 Fizički kanali

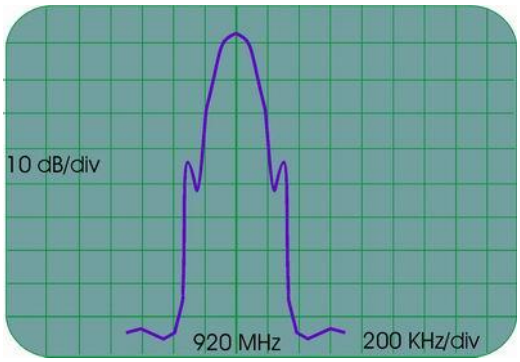
Fizički kanali u GSM mreži ostvaruju se vremenskom podjelom kojom se formira okvir (frame) s osam vremenskih kanala na svakoj od dodijeljenih frekvencija koje su međusobno razmaknute za 200kHz (Slika 17). Frekvencijski pojas 890-915MHz rabi se za kanale koji se koriste za prijenos od MS-a prema BSS-u, a 935-960 MHz za kanale u suprotnom smjeru. Vremenski okvir trajanja je 4,615 ms. Fizički kanal odgovara jednom odsječku (slot) trajanja 0,577 ms kojim se prenosi snop bita (*burst*) trajanja 0,546 ms. Snop sadrži 114 šifriranih (sigurnosno zaštićenih) korisničkih bita i 48 dodatnih bita. Fizički kanali služe za prijenos korisničke informacije, tj. kao prometni kanali. Govor se prenosi digitalno, s kodiranjem govornih blokova postiže se brzina prijenosa 13 kbit/s. Rabi se modulacijski postupak GMSK (Slika 15) [1].

GMSK spada u skupinu diskretnih modulacija frekvencije FSK (Frequenzy Shift Keying). Ovaj se modulacijski postupak (FSK) temelji na tome da se svakom stanju binarnog digitalnog signala dodijeli jedna diskretna frekvencija prijenosnog signala. Obično se stanju «1» dodijeli frekvencija f1, a stanju «0» frekvencija f0, pri čemu je f1>f0. Kada se modulacija ne vrši idealnim pravokutnim impulsom, promjena frekvencije na prijelazu dva stanja, neće izazvati diskontinuitet faze. Kontinuirana promjena frekvencije, pa prema tome i kontinuirana promjena faze, smanjuje broj spektralnih komponenti moduliranog signala. Ovo je prisutno kada radimo sa jednim oscilatorom koji ne mijenja frekvenciju skokovito. Ova se pojava koristi danas veoma mnogo, a modulacijski postupak kojim se dobiju najbolji rezultati naziva se GMSK [6].



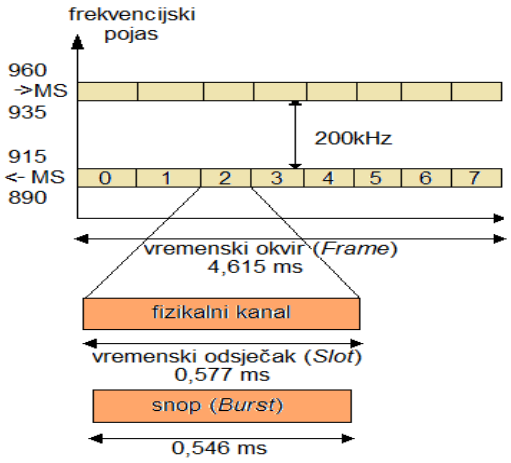
Slika 15. Blok shema GMSK sustava, [6]

Kao rezultat ovog modulacijskog postupka dobiva se ustvari fazno modulirani signal, kojem se faza mijenja postupno, čime se dobiva spektar vrlo povoljan u pogledu širine i prigušenja nepoželjnih spektralnih komponenata. Spektar GMSK signala, kakav je u GSM, prikazan je na (Slika 16).



Slika 16.Spektar GMSK signala, [6]

GMSK, kao kruna diskretne modulacije sinusnog signala, vrlo je moćan modulacijski postupak, koji objedinjuje karakteristike FSK i PSK postupaka sa nekim specifičnostima. Primjena GMSK danas je vrlo proširena, tako da je za prijenos podataka žičnim i bežičnim vezama nezaobilazan. Posebno je interesantan i zato što se primjenjuje u mobilnim komunikacijama - GSM. Uz fizičke kanale formiraju se i logički kanali, tako da se stvaraju multiokviri (*Multiframe*) od 26 ili 51 okvira, trajanja 120 ili 236 ms. Logički kanali služe za prijenos kontrolne informacije i formiranje kontrolnih kanala [6].

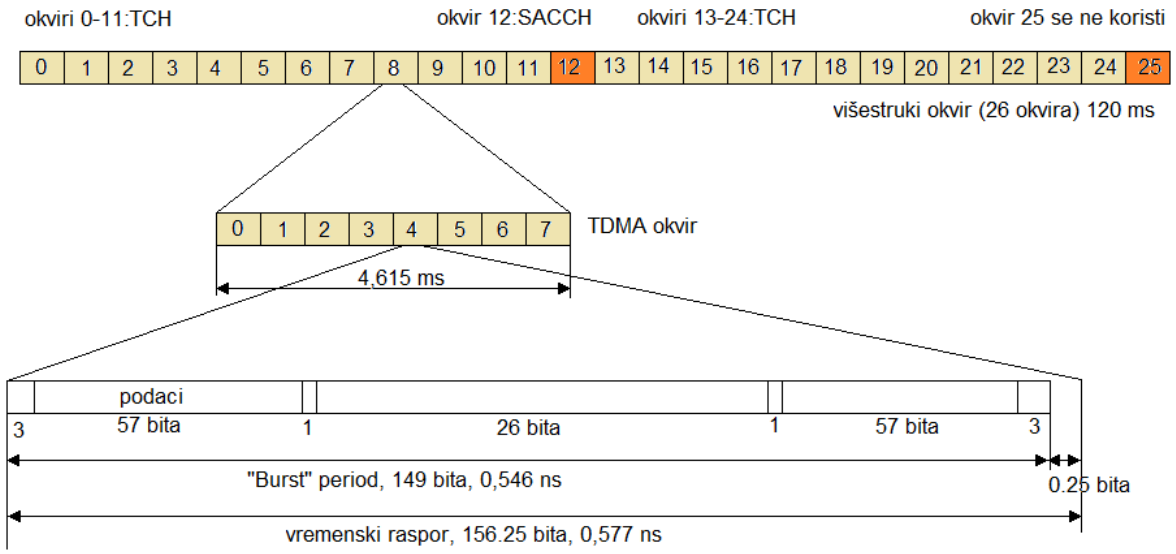


Slika 17. Fizički kanal u GSM mreži,

Izvor:[1]

4.2 Logički kanal

Logički kanal je definiran prema frekvenciji i broju vremenskog odsječka. Kanal emitira digitaliziran govor u kratkim serijama *„burst“* perioda koristeći 8 vremenskih odsječaka. Osam vremenskih odsječaka zajedno čini 248 poludupleksnih kanala, što odgovara broju od 1984 logička poludupleksna kanala. Ćelija može koristiti samo 1/7 ukupnog broja frekvencija, pa je iz tog razloga 1984/7=283 logičkih poludupleksnih kanala. Ovakva raspodjela frekvencija je dovoljna da pokrije vrlo veliko područje. Svaki kanal je podijeljen na 8 vremenskih odsječaka trajanja 0.577ms, koji čine TDMA okvir duljine 4.615ms. Ponavljanje svakog vremenskog odsječka je svakih 4.615ms, i na taj način se tvori jedan osnovni kanal. Podaci se prenose “burst” periodima i smješteni su unutar vremenskih odsječaka. Brzina prijenosa digitalnog signala je 271 kb/s (Slika 18).



Slika 18. Struktura okvira,

Izvor:[11]

Prilikom slanja podataka, a zbog vremenskog usklađivanja, „*burst*“ period je kraći od vremenskog odsječka i traje 148 umjesto omogućenih 156.25 bit perioda. GSM može koristiti tehniku sporog preskakanja frekvencije gdje mobilna i bazna stanica predaju svaki TDMA okvir na različitoj nosećoj frekvenciji. Algoritam za skok frekvencije emitira se na BCC kanalu. Prigušenje signala je ovisno o nosećoj frekvenciji, te se upotrebljava skakanje frekvencije da riješi taj problem. Logički kanal se sastoji, odnosno koristi prometni i kontrolni kanal za uspješno funkcioniranje. Prometni kanali koriste višeokvirni sustav za prenošenje govora i podataka, a koji se sastoji od 26 TDMA okvira. Od 26 TDMA okvira njih 24 se koristi za prijenos govora ili podataka, dok se od preostala dva jedan ne koristi, a jedan predstavlja SACC kanal. Radi pojednostavljenja elektronike mobilne stanice prometni kanali kod prijema i predaje razdvojeni su za 3 „*burst“* perioda, pa na taj način mobilna stanica ne mora izvoditi simultanu primopredaju. Prometni kanali dijele se na :

- *Full rate speech (TCH/FS)* – kanal koji prenosi digitalizirani govor pri punoj brzini od 13kbps. Nakon što se primjeni kodiranje kanala brzina se poveća na 22.8 kbps. *TCH/F9.6, TCH/F4.8* i *TCH/F2.4* kanali prenose podatke brzinom od 9.6 kbps, 4.8 kbps i 2.4 kbps. Svi navedeni kanali nakon primjene kodiranja kanala postižu brzinu od 22.8 kbps
- *Half rate speech (TCH/HS)* – kanal koji je definiran za prijenos govorne informacije polovinom pune brzine. Glavna svrha ovog načina prijenosa je da podrži dva poziva u jednom GSM vremenskom odsječku stoga pomaže poduplati kapacitet prometnog kanala u GSM ćeliji. Dva *half rate* TCH kanala koriste jedan fizički kanal
- *Speech channel* – prometni kanal koji nosi govorni signal te se obrađuje dalje kroz niz filtera.

Kontrolni kanal se isključivo koristi za kontrolu i upravljanje radom mreže. Kontrolni kanali se dijele na:

- (BCCH - Broadcast Control Channel), koji je najosjetljivi od svih kontrolnih kanala, prenosi/emitira informacije svim terminalnim uređajima u ćeliji. Ovo je isključivo *downlink* signalizacijski kanal, te šalje SI (SI – System Information) poruke mobilnin terminalnim uređajima. Prenosi se 51 okvirom, koji koriste

višeokvirni sustav, a nalaze se odmah uz (SCH – Synchronisation Channel) na poziciji TS0. Potrebno je najmanje 4 TDMA okvira za prenošenje potpune BCCH informacije.

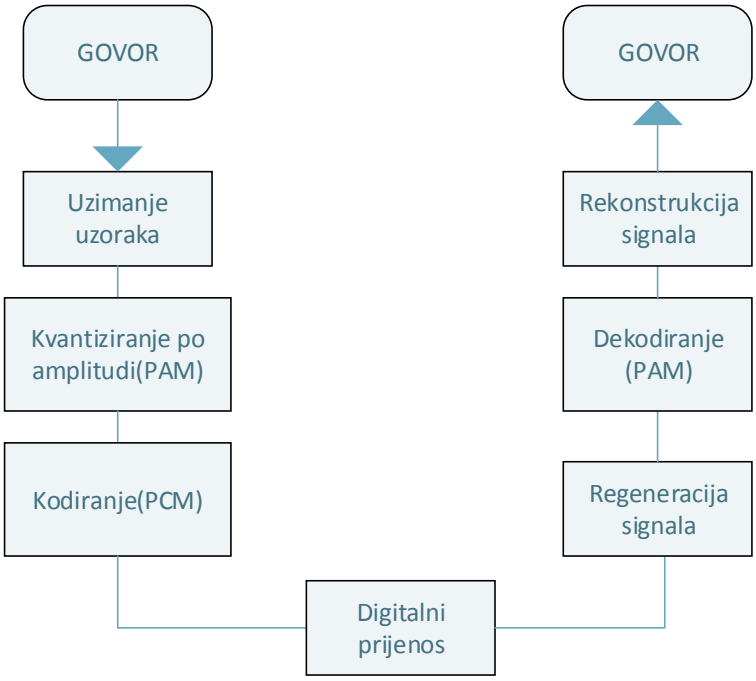
- (FCCH - Frequency Correction Channel) i (SCH - Synchronisation Channel), gdje se FCCH koristi u svrhu sinkronizacije između BTS-a i terminalnog uređaja. FCCH je *downlink* kanal i prenosi kontinuirani signal koji pomaže u pronalaženju pomaka frekvencije između BTS-a i MS. Jednom kada je sinkronizirana frekvencija sa BTS-om, mora se sinkronizirati i vrijeme prijenosa, a to se omogućava korištenjem SCH prijenosom *downlink* kanalom.
- (RACH - Random Access Channel) koji terminalni uređaj koristi za pristup GSM mreži prilikom uspostavljanja poziva.
- (PCH - Paging Channel) koristi se da upozori mobilnu stanicu na nadolazeći poziv [11].

5 TEHNIČKO TEHNOLOŠKA SPECIFIKACIJA USLUGA PODRŽANIH U 2G MOBILNIM MREŽAMA

Od samih početaka razvojni timovi GSM sustava su željeli ISDN kompatibilnost u pogledu usluge koje može ponuditi i kontrole prijenosa signala. Međutim, ograničenja radio prijenosa u pogledu širine frekventnog pojasa i cijene ne dozvoljavaju da se u praksi postigne standard (ISDN kanal B) od 64 kbps.

5.1 Prijenos govora u GSM-u

Digitalni prijenos govora obavlja se primjenom pulsno – kodne modulacije (PCM) koja se sastoji od skupa postupaka na predajnoj i prijemnoj strani, kao što je pokazano na slici 19. Govor, odnosno prijenos informacija govorom nije toliko osjetljiv na kašnjenja, gubitke kao kod neki drugi oblici prijenosa informacija. U govoru obično sudjeluju živi ljudi i komunikacija se odvija u realnom vremenu pa ukoliko se neka riječ ili slovo nisu dobro prenjeli, zbog šuma ili nekog drugog razloga uvijek izvor može ponoviti informaciju, a nekad se i iz konteksta da zaključiti o čemu je riječ.



Slika 19. Postupci kod digitalnog prijenosa govora,

Izvor: [1]

Pretvaranje analognog signala iz izvora u digitalni oblik prema predajniku obuhvaća primjenu triju osnovnih principa: uzimanje uzoraka, kvantiziranje i kodiranje uzoraka. PCM signal različitim prijenosnim medijima uz manji ili veći broj regeneracija i komutacija prenosi se do prijemnika, gdje se vrši pretvorba analognog signala u digitalni. Učestalost pogrešaka u procesiranju određenog signala imati će utjecaja na kvalitetu rekonstruiranog signala ukoliko je ispod određene zadovoljavajuće granice. Podudarnost ulaznog i rekonstruiranog signala zapravo predstavlja mjeru kvalitete signala, odnosno odnos signala i šuma (SNR – Signal to Noise Ratio).

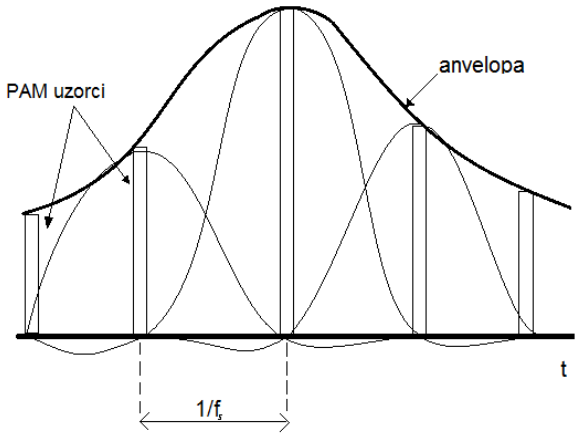
Analogni signal moguće je opisati pomoću vremenski diskretnih uzoraka iz kojih se može rekonstruirati prvobitni signal bez gubitaka. Signal kojem se uzimaju uzorci treba imati ograničen spektar, a frkevencija uzimanja uzoraka f_s treba biti jednaka ili veća od dvostruke vrijednosti najviše frekvencije f_g ($f_s > 2f_g$). Standardni govorni spektar nalazi se u području od 300-3400 Hz, a budući da postoje i komponente više od 3400 Hz potrebno je pomoću niskopropusnog filtra ograničiti spektar uzimanja uzoraka. Praktički, zbog konačne strmine filtra, frekvencija uzimanja uzoraka standardizirana je na 8 kHz. Kod prijenosa govora koristi se dupleks, što znači da imamo jedan kanal za prijenos informacija od izvora prema prijemniku, te od prijemnika do izvora.

Kvantiziranje je složen postupak kod kojeg se područje kontinuiranih vrijednosti pulsno amplitudno moduliranih signala (PAM) transformira u konačan broj razina, kvantizacijskih intervala, a kojima se pridružuju numeričke vrijednosti kodirane binarnim kodom. Kvantizacijskim poljem naziva se područje svih razina signala. Vrijednost koja odgovara rekonstruiranoj razini analognog signala je srednja vrijednost jednog kvantizacijskog intervala koji se sastoji od skupa svih kontinuiranih razina. Dakle, postupak kvantiziranja unosi izobličenje signala koje se naziva kvantizacijskim izobličenjem ili kvantizacijskim šumom. Jednoliko kvantizacijsko polje ima jednoliku širinu kvantizacijskog intervala kroz cijelo kvantizacijsko polje, dok se kod promjenjivog kvantizacijskog intervala radi o postupku nejednolikog kvantiziranja. Jednoliko kvantiziranje uzrokuje loš S/N za male razine signala. Nejednoliko kvantiziranje trenutne vrijednosti govornog signala koje se provodi na logaritamskoj krivulji omogućuje poboljšanje S/N na malim razinama na račun pogoršanja kod velikih razina signala. Zbog ekosponencijalne razdiobe govornih razina, poboljšanje S/N na malim vrijednostima ima veći efekt nego pogoršanje na velikim pa je kvaliteta

prenesenog signala zadovoljavajuća, u odnosu na jednoliko kvantiziranje kod kojeg lošiji odnos S/N malih razina, a one se češće pojavljuju od velikih, uzrokuje pogoršanje kvalitete ukupnog prenesenog signala [1].

Kodiranje se provodi simetrično binarnim kodom od 8 bita, koji se sastoji od predznaka (1 bita), segmenata (3 bita) i razine u segmentu (4 bita). 8-bitni komprimirani kod ekspandira u područje od 2^{12} amplituda pa taj postupak nazivamo dekodiranje PCM signala, a nakon toga se pomoću digitalno/analognog pretvarača (DAC) pretvori u PAM uzorke.

Rekonstrukcija izvornog signala, kako je već navedeno u prijašnjim poglavljima, provodi se propoštanjem PAM uzoraka kroz niskopropusni filtar granične frekvencije $f_s/2$ (Slika 20). Oblik pojedinačnog PAM uzorka je funkcija oblika *sinx/x,* koja u trenutku kada jedan PAM uzorak ima maksimalnu vrijednost ostale PAM uzorke stavlja na vrijednost 0 što je vidljivo na slici 21. Zbrojem odziva svih pojedinačnih PAM uzoraka dobije se anvelopa (rekonstruirani izvorni analogni signal) uz pogrešku koja je rezultat primjene PAM uzoraka s konačnom širinom impulsa i s ravnim vrhom [1].



Slika 20. Rekonstrukcija analognog signala na niskopropusnom filtru,
Izvor: [1]

5.2 Slanje telefaksa i računalnih podataka

Radio prijenos je mnogo manje prikladan medij za prijenos podataka od telefonske linije, zbog raznih smetnji, gubljenja signala itd. GSM sadrži mnogo elemenata zaštite podataka od takvih problema. Podaci se kodiraju i obrađuju tako da se omogući siguran prijenos do odredišta. Obrada digitalnog signala je vrlo složena, tako da se povećava kompleksnost elektroničkih sklopova, cijena, te se omogućuje se prijenos do 9600 bps. Frekvencije koje GSM podržava nalaze se u rasponu od 890-915 MHz do 935-960 MHz, pa se u tom frekvencijskom području obavljaju i prijenosi radio valovima u GSM mreži, iako je raspon radiovalova puno veći. Radio prijenos koristi simplex , što zapravo znači da se koristi jedan kanal za prijem i predaju informacije i to na istoj frekvenciji što zapravo onemogućuje istovremeni prijem i predaju. Ovisno o stupnju pouzdanosti, GSM ima dva različita oblika za prijenos podataka, transparentni i ne-transparentni mod (*Transparent/Non-Transparent Mode*), koji se razlikuju u načinu obrade grešaka. Transparentni mod ne koristi dodatne protokole za obradu greški, te je dobro rješenje za primjenu gdje podaci moraju imati brz protok i gdje se toleriraju greške. Ne-transparentni mod provjerava svaki paket podataka i zahtjeva ponovno slanje ukoliko je poslan pogrešno, što smanjuje brzinu prijenosa ali i osigurava besprijekoran prijenos podataka. Tehnika koja se koristi kod kontrole ne-transparentnog moda je RLP (RLP - Radio Link Protocol) i sastavni je dio GSM standarda. Oba dva moda omogućuju slanje i primanje telefaksa, iako najveći broj davalaca GSM usluga podržavaju ne-transparentni mod. Uz odgovarajuću GSM PCMCIA karticu i komunikacijski softver moguć je pristup Internetu (do 9600 bps), slanje elektroničke pošte (*e-mail*) što može poslovnim ljudima biti od velike koristi.

Jedna od najinteresantnijih osobina GSM-a je SMS (SMS - Short Messaging Service). SMS koristi kontrolne kanale predane od bazne stanice za prijenos do 160 alfanumeričkih znakova. SMS poruka se prikazuje na ekranu mobilne jedinice i distribuira se koristeći tastaturu mobilne stanice. U kombinaciji sa prijenosnim računalom i odgovarajućim komunikacijskim softverom može se dobiti dobar sustav za distribuciju poruka. SMS nudi dosta prednosti GSM-a nad ostalim sustavima u kombinaciji sa prijenosom podataka i telefaksa, nudeći: prijenos alfanumeričkih poruka duljine do 160 znakova sigurna predaja poruka, podataka mogućnost primanja biranih poruka, podataka primanje i predaja podataka za vrijeme razgovora

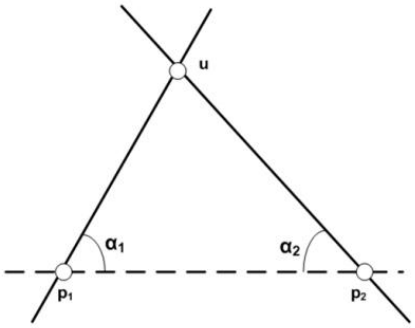
individualni ili grupni prijem. Kod slanja SMS poruka, ukoliko je mobilna stanica primatelja isključena, poruku pohranjuje davatelj GSM usluga i isporučuje je onog trenutka kada se mobilna stanica uključi (mod čekanja poziva, *stand by*). Primanje poruke je tako osigurano, za razliku od uobičajenog načina slanja "*pager*" poruka, gdje ukoliko se primatelj ne nalazi u području pokrivanja, poruka se gubi. Primatelj i pošiljatelj su također upoznati sa vremenom pristizanja poruke. Poruka se sprema u memoriji SIM kartice. Primanje poruke moguće je i za vrijeme razgovora, jer SMS koristi kontrolne kanale.

SMS se sve više upotrebljava za razne informacijske sustave, prometne izvještaje, lokalne novosti [7].

5.3 Usluge koje se temelje na lokaciji (LBS)

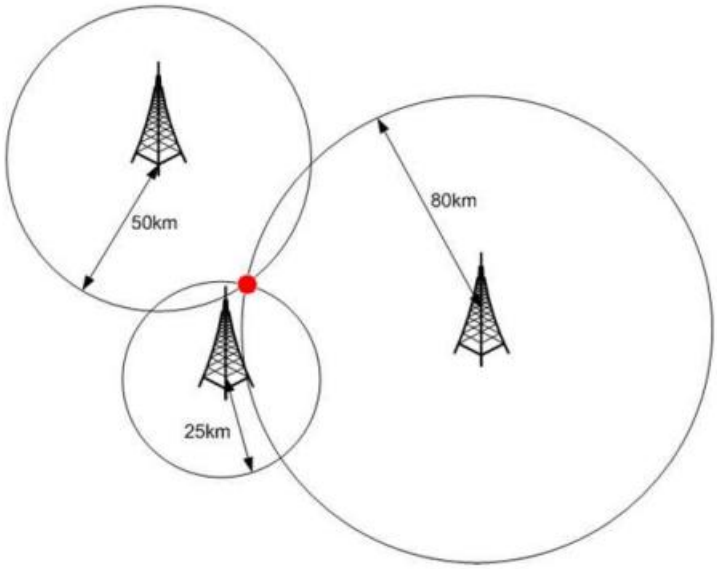
Položajno vezane usluge su geografski-orijentirani podaci i informacijski servisi za korisnike unutar mobilnih komunikacijskih mreža. To je zapravo bilo koja usluga ili aplikacija koja proširuje obradu te analizu prostornih informacija i/ili GIS mogućnosti prema krajnjim korisnicima putem Interneta i/ili bežične mreže. Postoje razne metode određivanja položaja, prema kompleksnosti i točnosti, pa će se u nastavku objasniti redom triangulacija, trilateracija, određivanje položaja putem satelita.

GSM za pronalaženje mobilnih uređaja koristi triangulaciju. Triangulacija je proces traženja pozicije kada su dvije oznake poznate (mobilni uređaj i tornjevi sa ćelijama). Dok se usmjerava poziv na mobilni uređaj, tornjevi sa ćelijama analiziraju signal poslan sa strane mobilnog uređaja i odlučuju koji toranj je bolje postavljen da izvrši komunikaciju sa mobilnim uređajem. Triangulacija koristi dva fiksna položaja (p_1 i p_2) te iz svakog položaja mjerimo kut prema lokaciji *u* uz pomoć trigonometrijskih funkcija i određujemo koordinate *u* (Slika 21).



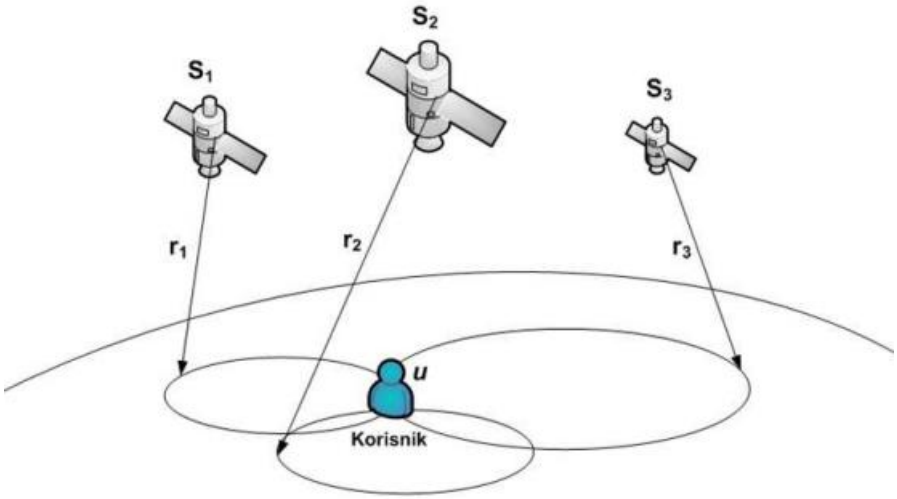
Slika 21. Triangulacija, [8]

Trilateracija također koristi dva fiksna položaja, ali i tri duljine prema nepoznatoj lokaciji. Lokacija od *u* (crvena točka) se dobije u presjeku triju kružnica (Slika 22).



Slika 22. Trilateracija, [8]

Određivanje položaja putem satelita jos je jedna od usluga koje podržava GSM. Korisniku koji želi odrediti svoj položaj uz pomoć satelita, potreban mu je točan položaj satelita (si) kao i točna udaljenost do satelita (ri) Potreban je minimalan broj od 3 satelita za određivanje korisničke lokacije (u) u tri dimenzije (Slika 23) [9].



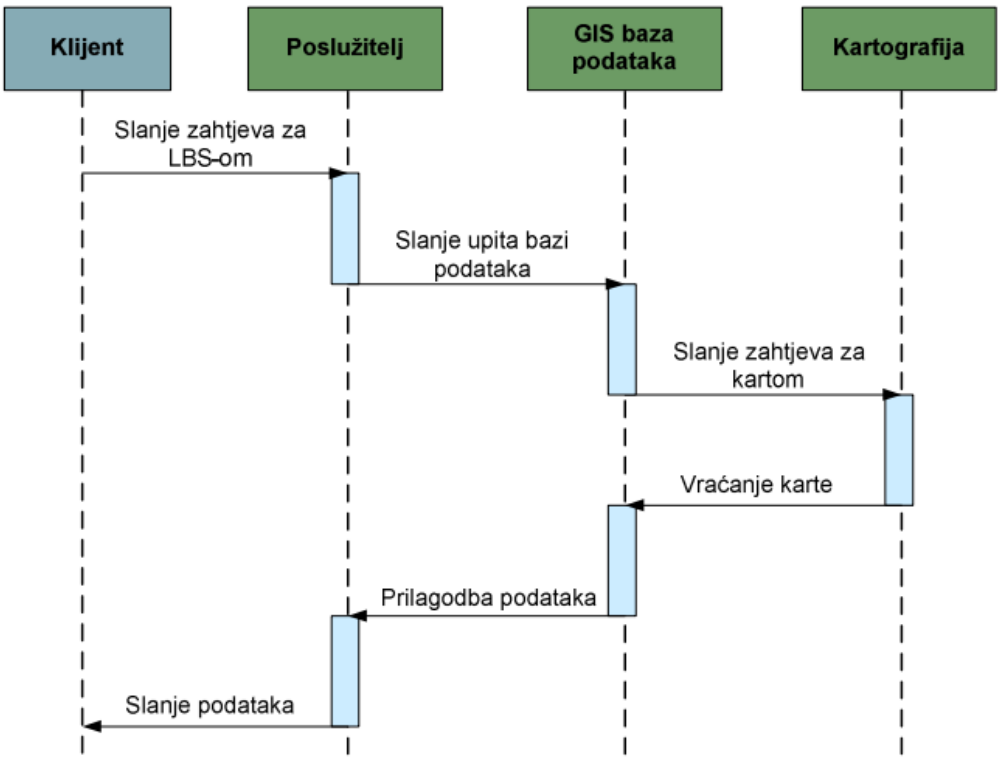
Slika 23.Određivanje položaja putem satelita,[8]

Zamisao o upotrebi satelita za određivanje položaja nastala je još 1960.-tih godina. Pozicioniranje je moguće bilo gdje na zemljinoj površini. Vremenski uvjeti imaju mali (skoro nikakav) utjecaj na krajnje rezultate. Prednosti su prilično velika preciznost, a nedostaci značajni troškovi za pokretanje i održavanje. Neki od poznatijih svjetskih satelitskih sustava za pozicioniranje su: GPS, Galileo, Glonas, Compass.

Ključni faktori za uspjeh LBS usluge:

- Privlačnost usluge.
- Od izravne koristi korisniku.
- Jednostavnost uporabe.
- Brza obrada podataka.
- Približno 100% pozitivnih rezultata pretrage.
- Jako niska cijena ili besplatna.

Postoje mnoge aplikacije vezane uz LBS usluge, a prikaz principa rada tih aplikacija možemo vidjeti na UML (Unified Modeling Language) sekvencijalnom dijagramu rada (Slika 24).



Slika 24. UML dijagram međudjelovanja rada LBS aplikacija, [8]

6 MODELIRANJE I OPTIMIZACIJA PRISTUPNE MREŽE

Modeliranje pristupnih mreža u telekomunikacijama pojavilo se 1990-tih, sa ciljem određivanja naknada za korištenje telekomunikacijskih usluga i realiziranja različitih modela za različite telekomunikacijske sustave. Najčešće se primjenjuju modeli teorije redova čekanja za opisivanje sustava posluživanja u telekomunikacijskim mrežama. Sustav posluživanja je sustav koji je dizajniran za procesiranje bilo kojeg poziva (zahtjeva) koji dolazi u sustav u bilo kojem trenutku. Tradicionalna telefonska centrala i IP ruteri primjeri su ovog sustava.

Glavna zadaća modeliranja i optimizacije je napraviti analitičke metode koje omogućavaju identifikaciju i određivanje parametara koji opisuju sustav posluživanja, a to su npr. duljina reda, broj posluživanja, kao i pronalaženje ovisnosti između ovih parametara i efikasnosti sustava posluživanja (npr. prosječno čekanje poziva ili prosječan broj zauzetih poslužitelja). Svaki uređaj ili sustav uređaja koji procesiraju pozive naziva se poslužiteljem. Kada je poslužitelj zauzet, dolazni poziv čeka u redu (sustavu za posluživanje). Ulazni signal je slijed dolaznih poziva u sustav koji čekaju na obradu, a odlazni signal predstavljaju obrađeni pozivi koji napuštaju sustav. U cilju karakterizacije sustava važno je odrediti statističke značajke međudolaznih vremena zahtjeva u sustav, te vremena potrebnog za obradu dolaznih poziva (vrijeme usluge) [10].

Klasifikacija modela sustava posluživanja:

1. Klasifikacija prema broju poslužitelja:
    a. Jedno-poslužiteljski (*Single-server*) – broj poslužitelja ograničen je na samo jednog poslužitelja, primjer je jednosmjerni prijenosni link
    b. Više-poslužiteljski (*Multi-server*) – broj poslužitelja je veći od jedan, a primjer ovoga bio bi skup od više povezanih prijenosnih linkova koji zajednički obrađuju određeni poziv
2. Klasifikacija prema tome da li se događa čekanje ili se pojavljuju gubici:
    a. Sustavi sa gubicima – dolazni pozivi koji stižu u sustav kada su svi poslužitelji zauzeti napuštaju sustav zbog nedovoljno mjesta u redu (*queue*)

b. Sustav sa čekanjem u redu – dolazni poziv koji stiže u sustav u trenutku kada su svi poslužitelji zauzeti ne izbacuje se iz sustava, već se stavlja na čekanje u red i biva poslužen od prvog slobodnog poslužitelja

3. Klasifikacija prema duljini reda za čekanje (broj poziva u redu):
    a. Ograničeni – s obzirom na broj zahtjeva u redu, i s obzirom na vrijeme potrošeno od ukupnog trajanja poziva na čekanje u redu
    b. Neograničeni
4. Klasifikacija prema disciplini posluživanja:
    a. Sustavi bez prioriteta – *FIFO - First In First Out* (prvi došao prvi poslužen), *LIFO - Last In First Out* (zadnji došao prvi poslužen), *SIRO – Service In Random Order* (slučajni odabirom)
    b. Sustavi sa prioritetima – preventivni sustavi i nepreventivni sustavi [10].

Koristeći znanja iz statistike uključujući i teoriju redova, značajke prometa, mjerenja i simulacije predviđanja prometa, praktične modele inženjeri telekomunikacijskog prometa planiraju telekomunikacijske mreže. Osnovni cilj planiranja mreža je povećanje sposobnosti mreža na prometnoj razini (smanjenje kašnjenja, smanjenje varijacija kašnjenja, smanjenje gubitaka poziva/paketa, povećanje propusnosti, provođenje ugovorene usluge), a na razini resursa (optimizirati korištenje resursa, efikasno upravljanje mrežnim resursima, smanjenje zagušenja). GSM mreža prvenstveno je napravljena za prijenos govora. Prijenos informacija u GSM-u zasniva se na komutaciji kanala. To znači da se uspostavlja fizička kanalska konekcija (put) od kraja do kraja uz korištenje kapaciteta kanala čitavo vrijeme trajanja razgovora

Ukoliko nema slobodnih kanala poziv će biti blokiran. Pojasna širina kanala je stalna i prilikom konekcije zauzima se čitavi kapacitet kanala bez obzira na količinu informacija koja prolazi kanalom.

Telekomunikacijski promet *(teletraffic)* se opisuje pomoću modela koji približavaju statističko ponašanje prometa u mreži kod velikog broja korisnika. Prometni modeli pojednostavljuju komplicirane prometne procese. Modeliranje prometa uključuje identifikaciju, koje pojednostavljene pretpostavke se mogu načiniti i koji parametri su relevantni sa točke gledišta utjecaja prometnih zahtjeva na performanse mreže. Kako bi se potvrdila valjanost tih modela ili napravile eventualne modifikacije uvodi se mjerenje prometa. Ali kako modeli ne zahtijevaju često modifikacije, svrha mjerenja

prometa je procjena vrijednosti parametara definiranih u prometnim modelima i to za svaki segment mreže i za različite vremenske periode.

Kao što je već otprije poznato uloga ili zadatak mreže je prijenos informacija između korisnika. Telekomunikacijski promet tvori svojevrstan tok informacija koje uzrokuju zauzetost linkova i kanala. Stoga se može definirati koncept prometa kao određen slučajni proces *c(t)* čija je putanja određena brojem linkova koji istovremeno rade u sustavu u trenutku *t.*

Postoje tri vrste prometa u telekomunikacijskom sustavu:

- ponuđeni promet – koncept koji definira hipotetičku količinu prometa (ovo nije mjerljiva veličina) koji je dobiven mjerenjem poziva koji dolaze u sustav
- ostvareni promet – predstavlja dio prometa koji će biti poslužen, drugim riječima prenesen telekomunikacijskim sustavom, npr. svi pozivi koji pristignu na slobodnu grupu linkova predstavljat će ostvareni promet koji će se moći uspješno izmjeriti
- izgubljeni promet – predstavlja dio prometa koji neće biti poslužen od telekomunikacijskog sustava, npr. pozivi koji pristižu na zauzetu grupu linkova biti će odbijeni i stvoriti će izgubljeni promet.

Za kvantitativno opisivanje telekomunikacijskog prometa koristi se parametar *intezitet telekomunikacijskog prometa*, a njegova jedinica je *erlang (1 erl).* Jedan *erlang* odgovara trajanju jednog poziva kada je njegovo trajanje jednako jednom satu (1h). Trenutni prometni intezitet jednak je broju istovremeno zauzetih resursa u sustavu, npr. grupa linkova u određenom trenutku *t,* a biti će obilježen simbolom *c(t).* Prosječni intezitet prometa sa vremenom promatranja t_{obs} može biti zapisan preko formule: $Y = \frac{1}{t_{obs}} \int_0^{t_{obs}} c(t)dt$. Osnovna jedinica prometa je 1SM (*speechminute* – minuta razgovora) , a jedinica 1 erlang sat (erlh - *erlang-hour*) koristi se kada vrijedi $1\ erlh = 60\ SM$.

Postoje četiri ekvivalentne definicije prosječnog inteziteta ostvarenog prometa. Prometni intezitet može se definirati na sljedeće načine kako je navedeno u [10]:

- definicija 1 – intezitet prometa jednak je prosječnom broju istovremeno zauzetih prometnih kanala $Y = \frac{\sum_{i=1}^{N}\sum_{j=1}^{V} t_{i,j}}{t_{obs}}$, gdje je *N* – broj promatranih zauzetih perioda, *V* – ukupan broj promatranih kanala, a t_{obs} - vrijeme promatranja
- definicija 2 – intezitet prometa je omjer zbroja vremena zauzetosti svih kanala tijekom vremena promatranja i vremena promatranja $Y = \frac{\sum_{j=1}^{V}\sum_{i=1}^{N} t_{i,j}}{t_{obs}}$
- definicija 3 – intezitet prometa jednak je produktu prosječnog broja konekcija/veza koje su postavljene u određenom vremenskom razdoblju i prosječnog vremena trajanja veze $Y = ch = \frac{\sum_{j=1}^{V}\sum_{i=1}^{N} T}{NT}$, gdje je *T* – duljina *i*-tog razdoblja zauzetosti u kanalu *j*
- definicija 4 – intezitet prometa jednak je prosječnom broju konekcija/veza u razdoblju koje je jednako prosječnom vremenu trajanja konekcije/veze

Korisnici generiraju telekomunikacijski promet i važan aspekt u telekomunikacijskom sustavu su prijenosni mediji u pristupnim mrežama: bakrena parica, koaksijalni kabel, optička parica i bežični prijenos [10].

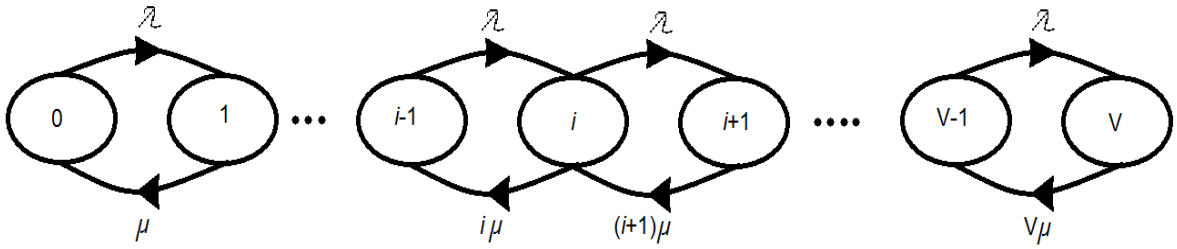
6.1 Erlangov B model

Kao što je navedeno ranije u poglavlju Specifikacija i struktura kanala u GSM sustavu telekomunikacijski promet prenosi se kanalima (prometnim i kontrolnim). GSM mreža prvenstveno je napravljena za prijenos govora. Prijenos informacija u GSM-u zasniva se na komutaciji kanala. To znači da se uspostavlja fizička kanalska konekcija (put) od kraja do kraja uz korištenje kapaciteta kanala čitavo vrijeme trajanja razgovora. Jedan način garantiranja kvalitete usluge je rezervacija dovoljno širokog prijenosnog pojasa s kraja na kraj. Svaka usluga zahtijeva svoju širinu prijenosnog pojasa.

Osnovni problem pri projektiranju takvih mreža je procjena prijenosnih kapaciteta. Kapacitet se projektira tako da vjerojatnost blokiranja uspostave poziva za svaku od usluga ne bude veći od neke unaprijed zadane vrijednosti. Postupci izračunavanja kapaciteta u mreži su dosta složeni. Za izračunavanje navedenih veličina jedan od modela koji se koristi je Erlang B model. U sljedećem odlomku razmotrit će se sve mogućnosti Erlang B modela sa sljedećim pretpostavkama:

- kapacitet sustava određen je sa V brojem poslužitelja (linkovi, kanali), od kojih je svaki dostupan za bilo koji poziv ukoliko ranije nije zauzet
- pozivi pristižu od beskonačnog broja izvora i stvaraju Poissonov tok sa intezitetom λ
- vrijeme trajanja usluge (vrijeme zauzimanja poslužitelja) opisano je eksponencijalnom razdiobom, a srednja vrijednost je $\frac{1}{\mu}$
- odbijeni poziv uslijed nedovoljnog broja slobodnih servera uvijek bude izgubljen

Vrsta modela prometa koji se ovdje razmatra, naime promet za koji se pretpostavlja da je vrijeme usluge eksponencijalno distribuirano i za koji je proces dolazaka poziva Poissonov tok naziva se PCT1 (PCT1 – Pure Chance Traffic Type One) promet. Ova vrsta prometa poznata je i kao Erlangov promet.



Slika 25. Dijagram promjene stanja za Erlangov model,

Izvor[10]

Slika 25 pokazuje procese rođenja i umiranja (*birth and death processes)*. Svaka faza procesa je definirana brojem zauzetih poslužitelja:

- stanje „0“ – svi poslužitelji su slobodni
- stanje „*i*“ – *i* poslužitelja je zauzeto (V-*i* je slobodno)
- stanje „V“ – svi poslužitelji su zauzeti.

U procesu rođenja i umiranja jednadžbe stanja mogu se izvesti na osnovi lokalnih jednadžbi. Na temelju slike 25 dobivamo sljedeći sustav jednadžbi:

$$\begin{cases} \lambda[p_0]_V = \mu[p_0]_V \\ \lambda[p_{i-1}]_V = i\mu[p_i]_V \\ \lambda[p_{V-1}]_V = V\mu[p_V]_V \\ \sum_{i=0}^{V}[p_i]_V = 1 \end{cases} \quad (1)$$

Rješenja iz sustava jednadžbi navedenog ranije u radu mogu se prikazati i u formi:

$$[p_k]_V = \frac{\left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^k}{k!} \Big/ \sum_{i=0}^{V} \frac{\left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^i}{i!} \quad (2)$$

Jednadžba 2 izražava vjerojatnost da se sustav nađe u stanju *k* i, u skladu sa definicijom stanja koje je usvojeno u modelu, vjerojatnost da je bilo koji od *k* poslužitelja iz skupine zauzet sa kapacitetom od *V* kanala. Uzimajući u obzir definiciju inteziteta ponuđenog prometa $A = \frac{\lambda}{\mu}$, jednadžba 2 može se prikazati:

$$[p_k]_V = \frac{(A)^k}{k!} \Big/ \sum_{i=0}^{V} \frac{(A)^i}{i!} \quad (3)$$

gdje je $A = \frac{\lambda}{\mu}$ intezitet ponuđenog prometa. U teoriji prometa razdioba vjerojatnosti izražena jednadžbom 3 naziva se Erlangova raspodjela. Vjerojatnost da su svi linkovi u grupi zauzeti je vjerojatnost blokiranja skupine sa punom dostupnosti:

$$E = E_V(A) = \frac{A^V}{V!} \Big/ \sum_{i=0}^{V} \frac{A^i}{i!} \tag{4}$$

Jednadžba 4 poznata je kao Erlangova B formula. Vjerojatnost blokiranja u skupini sa punom dostupnošću sa kapacitetom V i ponuđenim prometom A obilježeni su u literaturi kao jednadžba 4 sa simbolom $E_V(A)$.

Broj poziva koji je ponuđen skupini sa potpunom dostupnošću u jedinici vremena određen je intezitetom dolazaka poziva λ. Određen sa vjerojatnošću blokiranja $E_V(A)$, prosječni broj izgubljenih poziva u jedinici vremena je $\lambda E_V(A)$. Uspoređujući broj izgubljenih poziva sa posluženim dobiva se:

$$B = \frac{\lambda E_V(A)}{\lambda} = E_V(A) = E \tag{5}$$

Jednadžba 5 određuje da kod Erlangovog modelg u slučaju za skupinu sa potpunom dostupnošću vjerojatnost blokiranja jednaka je vjerojatnosti da će pozivi biti izgubljeni.

Zadatak dimenzioniranja skupine u telekomunikacijskoj mreži sastoji se od određivanja primjerenog kapaciteta skupine na način da se ne dozvoli da gubitak za određenu skupinu ne prekorači propisani nivo izgubljenog prometa E od ukupnog ponuđenog prometa. Ovo je jedan od osnovnih problema s kojim se dizajneri mrežnih sustava susreću i koji moraju riješiti. Kako bi se pojednostavilo rješenje ovog problema vrijednosti Erlangove B formule najčešće su prikazana u posebno dizajniranim tablicama (Erlangovim tablicama). Tablice se nalaze u gotovo svim knjigama koje govore o teoriji telekomunikacijskog prometa, a primjer jedne takve je tablica 1. Upotreba tablica vrlo je jednostavna. Pri dimenzioniranju skupine, prvo će se odabrati odgovarajuća kolona koja odgovara propisanoj razini blokiranja. Zatim se pronalazi red u kojem je ponuđeni promet jednak ili veći od zadanog. Vrijednost kapaciteta grupe odgovara razini minimalnog broja kanala zadovoljavajući pretpostavku prema usvojenoj razini vjerojatnosti blokiranja. Npr. ako je propisana/dozvoljena razina blokiranja 0,01, a očekivani promet na određenom području 3,1 Erlanga tada je potrebna skupina od 8 kanala.

Tablica 1. Erlangova tablica

	Vjerojatnost blokiranja (E)			
Kapacitet V	E=0.02	E=0.01	E=0.005	E=0.001
1	A=40.02	A=0.01	A=0.00	A=0.001
2	A=0.22	A=0.15	A=0.105	A=0.046
3	A=0.60	A=0.45	A=0.35	A=0.19
4	A=1.10	A=0.90	A=0.70	A=0.44
5	A=1.70	A=1.40	A=1.10	A=0.80
6	A=2.30	A=1.90	A=1.60	A=1.10
7	A=2.90	A=2.50	A=2.20	A=1.60
8	A=3.60	A=3.10	A=2.70	A=2.10
9	A=4.30	A=3.80	A=3.30	A=2.60
10	A=5.10	A=4.50	A=4.00	A=3.10

Izvor:[10]

Erlangova formula 4 izvedena je pod pretpostavkom da intezitet dolazaka poziva ne ovisi o stanju u skupini. Ukoliko je broj izvora *N* takav da smanjenje veličine *V* (maksimalni broj zauzetih poslužitelja u skupini) ima utjecaja na intezitet dolazaka poziva , tada korištenje Erlangovog modela može eventualno voditi prema netočnoj procjeni blokiranja u sustavu. U praksi, vjeruje se da bi se za *N<15V* upotreba Erlangove formule trebala zabraniti.

Utjecaj konačnog broja prometnih izvora na vjerojatnost blokiranja uzima se u obzir u Engset modelu. Model izražava sljedeće pretpostavke:

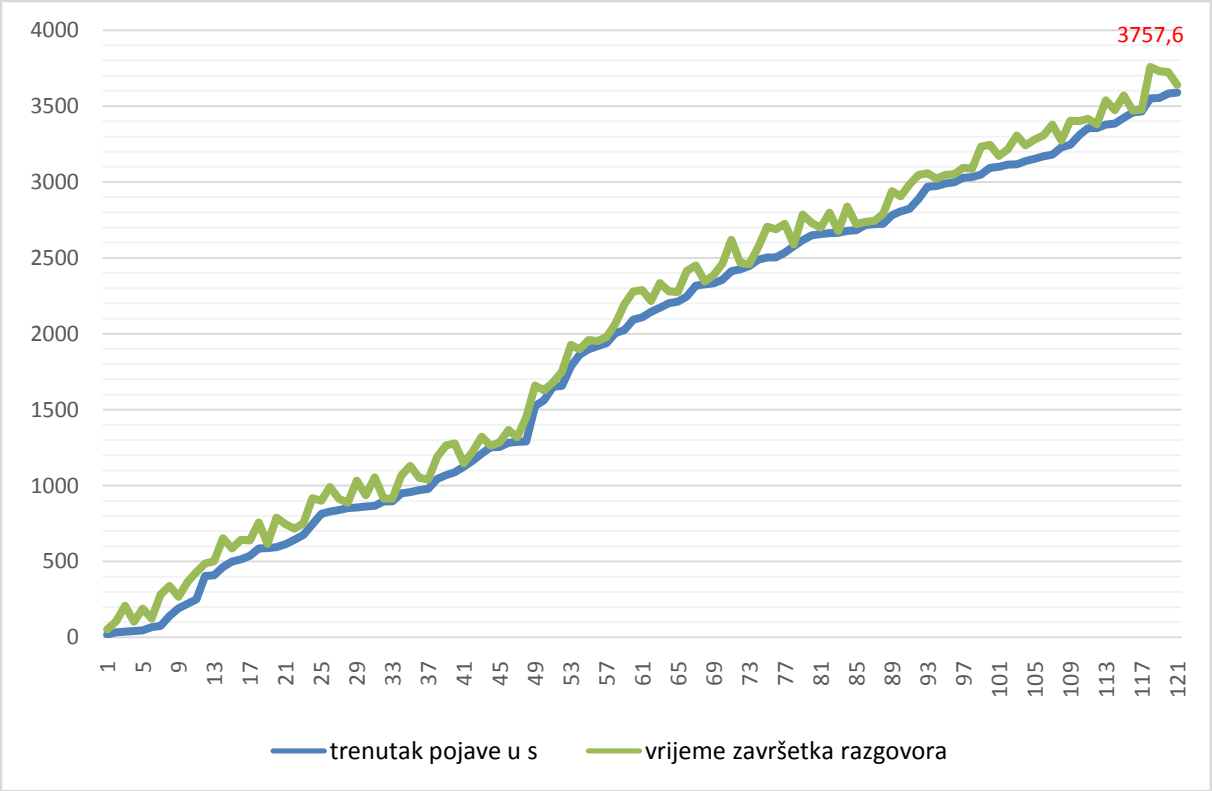
- Kapacitet sustava jednak je broju *V* poslužitelja, i svaki je dostupan za proizvoljno izabran poziv ukoliko nije prije zauzet
- Pozivi dolaze iz konačnog broja prometnih izvora *N (N>V)*
- Intezitet poziva u stanju *i* je proporcionalan broju slobodnih *N-i* prometnih izvora i jednak je $(N-i)\gamma$, gdje je γ intezitet poziva jednog slobodnog izvora
- Vrijeme usluge izraženo je eksponencijalnom distribucijom; srednja vrijednost vremena usluge je $\frac{1}{\mu}$
- Odbijeni poziv zbog manjka slobodnih poslužitelja uvijek bude izgubljen.

6.2 Određivanje broja kanala u baznoj stanici s obzirom na očekivani promet

Kako bi se pokazalo na koji se način određuje broj potrebnih kanala, te način određivanja prometa za različite vremenske intervale (30min i 60min) uzet je uzorak od 121 poziva, u trajanju od 3757,6 sekundi. Početak razgovora i trajanje razgovora generirani su kao slučajni brojevi korištenjem funkcija programa Excel (Tablica 2). Završetak razgovora izračunat je korištenjem istog alata. Slika 26 prikazuje krivulju koja pokazuje trenutke pojave poziva, u sekundama, i vremena završetka svakog poziva.

Tablica 2. Izračun trajanja poziva korištenjem Excel tablice

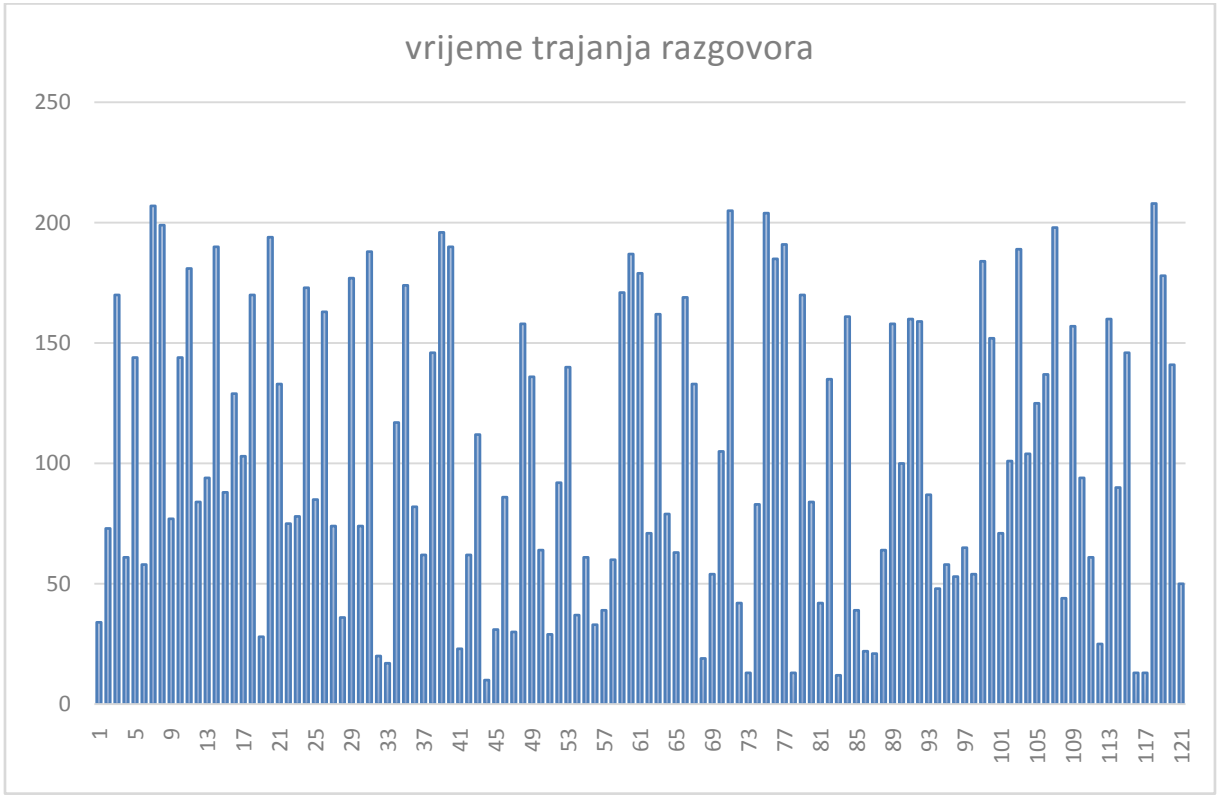
trenutak pojave u s	vrijeme trajanja razgovora u s	vrijeme završetka razgovora u s
17,4	34	51,4
31,8	73	104,8
36,6	170	206,6
40,2	61	101,2
45	144	189
65,4	58	123,4
73,8	207	280,8
139,8	199	338,8
190,2	77	267,2
219,6	144	363,6
248,4	181	429,4
(...)	(...)	(...)
3423	146	3569
3457,8	13	3470,8
3465	13	3478
3549,6	208	3757,6
3552	178	3730
3582	141	3723
3588,6	50	3638,6
	ukupno vrijeme trajanja razgovora 12552	



Slika 26. Krivulja pojave i završetka poziva

Iz slike 26 vidljivo je da trajanje poziva varira odnosno pozivi koji su kasnije ušli u sustav na posluživanje izlaze prije iz sustava. Trajanje svih generiranih poziva izraženo u sekundama prikazano je na slici 27. Zbrajanjem vremena trajanja svakog pojedinog razgovora dobiva se ukupno vrijeme razgovora u intervalu koji se promatra (1h). Ukupno vrijeme razgovora izračunat će se preko formule $T_{uk} = \sum_i^n t_{s_i}$, te se izračunom dobiva 12552 sekunde. Nakon dobivenog ukupnog vremena razgovora prosječno vrijeme razgovora dobit će se preko formule $T_s = \sum_i^n t_{s_i} / n$, gdje n predstavlja ukupan broj poziva, u ovom slučaju 121. Nakon uvrštavanja u formulu dobiva se 103,73 sekunde, što predstavlja prosječno vrijeme trajanja razgovora T_s. Nakon što se izračuna prosječno vrijeme razgovora preko formule $A = \lambda \times T_s$, gdje λ predstavlja intezitet nailazaka poziva (poziv/h), izračunat će se ukupni promet u erlanzima. U ovom slučaju formula će izgledati ovako $A = \lambda \times T_s = 121 \times \frac{103,73}{3757,6-17,4} = 3{,}355\ erl$. Dobiveni rezultat za veličinu prometa u prikazanom intervalu zapravo predstavlja da su tri kanala bila zauzeta cijelo vrijeme promatranja, a četvrti 35,5% od ukupnog vremena promatranja. Ukoliko bi intenzitet dolazaka poziva ostao isti a

interval u kome su se pojavili skratio za pola tj. na 30 minuta, veličina prometa bi se udvostručila $A = \lambda \times T_s = 121 \times \frac{103{,}73}{30*60} = 6.97\ erl$.



Slika 27. Vrijeme trajanja razgovora

Računajući promet kroz broj zauzetih kanala u drugoj granici intervala pomoću Excel tablice (Tablica 3) dobiti će se malo odstupanje od prethodnog rezultata. Nakon što se izračuna broj zauzetih kanala u drugoj granici intervala svakog poziva, jednostavno se zbroje svi rezultati i odredi aritmetička sredina. Dobiveni broj predstavljati će promet i za navedene pozive iznositi će 3,88 erl.

Tablica 3. Računajući promet kroz broj zauzetih kanala u drugoj granici intervala pomoću Excel tablice

vrijeme završetka razgovora	trenutak pojave u s	broj zauzetih kanala u drugoj granici intervala	trenutak skeniranja
		0	10
51,4	17,4	1	20
101,2	31,8	1	30
104,8	36,6	3	40
123,4	40,2	5	50
189	45	4	60
206,6	65,4	5	70
267,2	73,8	6	80
280,8	139,8	6	90
(...)	(...)	(...)	(...)
3478	3423	3	1160
3537,4	3457,8	4	1170
3569	3465	4	1180
3638,6	3549,6	3	1190
3723	3552	3	1200
3730	3582	4	1210
3757,6	3588,6	4	1220
		3,884297521	

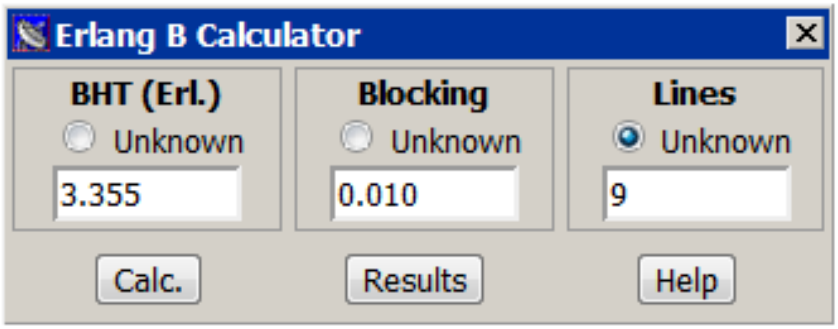
Nakon što se izračuna promet i pod pretpostavkom da se generirani promet može smatrati relevantnim uzorkom, može se odrediti potreban broj kanala korištenjem Erlangove B-formula (poglavlje Erlangov B model, jednadžba 4). Da bi se navedena formula mogla koristiti potrebno je uvijek provjeriti i razdiobu kojom se opisuje vrijeme posluživanja i razdiobu kojom se opisuju međudolazna vremena, šta za potrebe ovog rada neće biti načinjeno. Do potrebnog broja kanala doći će se korištenjem navedene

formule odnosno korištenjem tablica razvijenim temeljem Erlangove B-formule (tablica 4). Osim tablica postoji i niz kalkulatora dostupnih na internetskim stranicama pomoću kojih se može odrediti bilo koja od tri varijable ako su poznate dvije od njih (Slika 28). Broj kanala ovisi dozvoljenoj vjerojatnosti blokiranja koji određuje sam operator, ovisno o željenoj kvaliteti usluge.

Tablica 4. Erlangova B tablica

	Ponuđeni promet									
Broj kanala	**6,6**	**6,7**	**6,8**	**6,9**	**7**	**7,1**	**7,2**	**7,3**	**7,4**	**7,5**
3	0,620	0,624	0,629	0,633	0,638	0,642	0,646	0,650	0,654	0,658
4	0,506	0,511	0,517	0,522	0,527	0,533	0,538	0,543	0,547	0,552
5	0,400	0,407	0,413	0,419	0,425	0,431	0,436	0,442	0,448	0,453
6	0,306	0,312	0,319	0,325	0,331	0,338	0,344	0,350	0,356	0,362
7	0,224	0,230	0,236	0,243	0,249	0,255	0,261	0,267	0,273	0,279
8	0,156	0,162	0,167	0,173	0,179	0,185	0,190	0,196	0,202	0,207
9	0,103	0,107	0,112	0,117	0,122	0,127	0,132	0,137	0,142	0,147
10	0,063	0,067	0,071	0,075	0,079	0,083	0,087	0,091	0,095	0,100
11	0,037	0,039	0,042	0,045	0,048	0,051	0,054	0,057	0,060	0,064
12	0,020	0,021	0,023	0,025	0,027	0,029	0,031	0,033	0,036	0,038
13	0,010	0,011	0,012	0,013	0,014	0,016	0,017	0,018	0,020	0,022
14	0,005	0,005	0,006	0,006	0,007	0,008	0,009	0,010	0,010	0,011
15	0,002	0,002	0,003	0,003	0,003	0,004	0,004	0,005	0,005	0,006

[15]



Slika 28. Erlangov B calculator, [16]

Za potrebe ovog rada uzet je najčešće korišten podatak za dozvoljenu vjerojatnost blokiranja 1% (Slika 28, *blocking=0,01*). Temeljem izračunatog planiranog prometa 3,355 erl i dozvoljene vjerojatnosti blokiranja 1% dobiva se da je je potreban broj kanala 9. U tablici 5 je prikazano kako promjena vjerojatnosti blokiranja utječe na

potreban broj kanala, pa se tako vidi da je za vjerojatnost blokiranja od 0.01 potrebno 9 kanala, za vjerojatnosti blokiranja (0.015, 0.025, 0.03) 8 kanala, odnosno za vjerojatnosti blokiranja (0.045, 0.055, 0.07) 7 kanala.

Tablica 5. Ovisnost broja kanala o p_b

promet(A_p)	vjerojatnost blokiranja(p_b)	broj kanala(m)
3,355	0.01	9
3,355	0.015	8
3,355	0.025	8
3,355	0.03	8
3,355	0.045	7
3,355	0.055	7
3,355	0.07	7

Temeljni prometni problemi kod telefonskog sustava i drugih telekomunikacijskih sustava posluživanja s gubicima su određivanje potrebnog broja poslužitelja *m* koji će uz zahtijevanu razinu kvalitete (prihvatljive gubitke) poslužiti ponuđeni promet [14].

7 ZAKLJUČAK

GSM mreža je i dan danas jedna od najrasprostranjenijih mreža i najviše zastupljenih mreža u svijetu. Relativno složena arhitektura sastavljena od GMSC-a, BSS-a, HLR-a, VLR-a omogućila je brojne usluge koje GSM može podržavati. Pod uslugama su navedene neke osnovne (prijenos glasa, SMS) te neke malo složenije (usluge bazirane na lokaciji korisnika, prijenos podataka..). Prijenosni linkovi ograničenih su resursa, pa se iz toga razloga koriste različite frekvencije i modulacije. GSM koristi TDMA te na taj način preko 124 prijenosne frekvencije dobiva ukupno čak 992 kanala, a frekvencijsko područje u kojem se koristi je 890-915 MHz te 935-960 MHz. Erlangov B model koji je naveden ima za ulogu napraviti analitičke metode koje omogućavaju identifikaciju i određivanje parametara koji opisuju telekomunikacijsku mrežu, a to su npr. veličina prometa, broj potrebnih kanala, vjerojatnost blokiranja kao i pronalaženje ovisnosti između ovih parametara i efikasnosti telekomunikacijskog sustava.

8 LITERATURA

[1] Bažant A., Gledec G., Ilić Ž., Ježić G., Kos M., Kunštić M., lovrek I., Matijašević M., Mikac B., Sinković V., Osnove arhitekture mreža, 2. izdanje, Zagreb; 2007; p. 279-298.

[2] https://sites.google.com/site/gsmtheory/home/4-2-bearer-independent-circuit-switched-core-network-umts-release-4-/3-base-station-subsystem-bss- 20.07.2015

[3] http://os2.zemris.fer.hr/protokoli/2010_senicic/HTML%20END/DIPLOMSKI.htm 23.07.2015

[4] https://www.google.hr/search?q=tdma+frame&biw=839&bih=821&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0CAYQ_AUoAWoVChMIvY2Psv7uxgIVJ_1yCh3DPwPr 28.06.2015

[5] http://www.angelfire.com/ne/svetac/diplomski.htm 20.08.2015

[6] http://www.tsrb.hr/elektro/index.php?option=com_content&task=view&id=13&Itemid=1&limit=1&limitstart=3 20.07.2015

[7] http://www.fpz.unizg.hr/ztos/PRSUS/GSM.pdf 10.05.2015

[8] http://e-student.fpz.hr/Predmeti/T/Terminalni_uredaji/Materijali/12_-_Usluge_bazirane_na_lokaciji_korisnika.pdf 20.07.2015

[9] https://en.wikipedia.org/wiki/Fleet_management22.08.2015

[10] Stasiak M., Glabowski M., Wisniewski A. and Zweierzykowski P., Modeling and Dimensioning of Mobile Network: From GSM to LTE, 2011; p. 190-206.

[11] http://mirza-sa.tripod.com/telekom/struktura_gsm_signala.htm 26.06.2015

[12] http://e-student.fpz.hr/Predmeti/T/Tehnologija_telekomunikacijskog_prometa_I/Materijali/4_predavanje.pdf 21.06.2015

[13] http://e-student.fpz.hr/Predmeti/T/Tehnologija_telekomunikacijskog_prometa_I/Materijali/3_predavanje_vjezbe.pdf 20.08.2015

[14] http://e-student.fpz.hr/Predmeti/T/Tehnologija_telekomunikacijskog_prometa_I/Materijali/2_predavanje-vjezbe.pdf 24.06.2015

[15] http://e-student.fpz.hr/Predmeti/O/Osnove_tehnologije_prometa/Materijali/Vjezbe_2009_Matulin.pdf 24.08.2015

[16] http://www.erlang.com/calculator/erlb/ 10.08.2015

9 POPIS SLIKA

Slika 1. Arhitektura mreže, stranica 2.

Slika 2. Troslojna mrežna arhitektura, stranica 3.

Slika 3. Arhitektura GSM mreža, stranica 4.

Slika 4. Registracija u vlastitoj mreži, stranica 6.

Slika 5. Registracija (nepoznat stari VLR), stranica 7.

Slika 6. Registracija (poznat stari VLR), stranica 8.

Slika 7. Registracija u posjećenoj mreži s ugovorom o prelaženju, stranica 9.

Slika 8. Povezivanje GSM-Internet, stranica 11.

Slika 9. Pristup intranetu iz GSM mreže, stranica 12.

Slika 10. Sustav bazne stanice (BSS), stranica 13.

Slika 11. Obrada govora u GSM mreži, stranica 16.

Slika 12. Usmjerena i neusmjerena antena, stranica 17.

Slika 13. Transcoder, stranica 18.

Slika 14. Prikaz TDMA okvira, stranica 20.

Slika 15. Blok shema GMSK sustava, stranica 21.

Slika 16. Spektar GMSK signala, stranica 22.

Slika 17. Fizički kanal u GSM mreži, stranica 22.

Slika 18. Struktura okvira, stranica 23.

Slika 19. Postupci kod digitalnog prijenosa govora, stranica 26.

Slika 20. Rekonstrukcija analognog signala na niskopropusnom filtru, stranica 28.

Slika 21. Triangulacija, stranica 31.

Slika 22. Trilateracija, stranica 31.

Slika 23. Određivanje položaja putem satelita, stranica 32.

Slika 24. UML dijagram međudjelovanja rada LBS aplikacija, stranica 33.

Slika 25. Dijagram promjene stanja za Erlangov model, stranica 38.

Slika 26. Krivulja pojave i završetka poziva, stranica 43.

Slika 27. Vrijeme trajanja razgovora, stranica 44.

Slika 28. Erlangov B calculator, stranica 46.

10 POPIS TABLICA

Tablica 1. Erlangova tablica, stranica 41.
Tablica 2. Izračun trajanja poziva korištenjem Excel tablice, stranica 42.
Tablica 3. Računajući promet kroz broj zauzetih kanala u drugoj granici intervala pomoću Excel tablice, stranica 45.
Tablica 4. Erlangova B tablica, stranica 46.
Tablica 5. Ovisnost broja kanala o p_b, stranica 47.

11 POPIS KRATICA

AMR - Adaptive Multirate Coding

AUC - Authentification Center

BSS - Base Station Subsystem

BTS - Base Transceiver Station

BSC - Base Station Control

BSSMAP – BSS Managment Application Process

BSSAP – BSS Application Part

CM - Communication Management

DCN - Data Communications Network

DTX - Discountinuous transmission

DTAP – Direct Transfer Application Proces

DAC - Digital to Analog Coder

EIR - Equipment Identity Register

FIFO - First In First Out

FSK - Frequenzy Shift Keying

GSM - Global System for Mobile communications

GMSC - Gateway Mobile Services Switching Center

GPS - Global Positioning System

HLR - Home Location Register

ISDN - Integrated Services Digital Network

IMSI - International Mobile Subscriber Identity

ISP – Internet Service Provider

LIFO - Last In First Out

LBS - Location Base Service

LI - Length Indicator Field

LAPDm - Link Access Protocol on the ISDN D Channel, modified version

MS - Mobile Station

MSISDN - Mobile Station International Subscriber Directory

MM - Mobility Management

MTP – Message Transfer Part

NMT - Nordic Mobile Telephony

NSS - The Network Switching Subsystem

NMS - Network Managment System

PCM - Puls code modulation

PPP - Point to Point Protocol

PSTN - Public Switched Telephone Network

PIN – Personal Identification Number

PUK – Personal Unblocking Code

RR - Radio Resource Management

SIM - Subscriber Identity Module

SMS - Short Message Service

SCCP – Signaling Connection Control Part

SNR – Signal to Noise Ratio

SIRO – Service In Random Order

SS7 - Comon Channel Signaling System No7

TRAU - Transcoder and Rate Adaptation Unit

TC - Transcoder

TDMA - Time division multiple access

TCSM - Transcoder and Submultiplexer

UML - Unified Modeling Language

VLR - Visitor Locator Register

VPN – Virtual Private Network