

PROGRAMSKA SIMULACIJA I ANALIZA RADA KONTROLERA BAZNIH STANICA U OKVIRU GSM MREŽE

Nenad Zeljković, Telekom Srbija AD
Aleksandar Nešković, Mladen Koprivica, Elektrotehnički fakultet u Beogradu

Sadržaj – U radu su prikazani osnovni koncepti i algoritmi rada kontrolera baznih stanica (BSC), kao i njegova programska simulacija. Posebno su razmotreni algoritmi upravljanja mobilnošću pretplatnika u mreži. Na kraju rada dat je prikaz optimalnih vrednosti pojedinih parametara ćelijske mreže, dobijenih pomoću programske simulacije. Posebna pažnja posvećena je algoritmu, kojim se vrši analiza overlaid/underlaid ćelijske strukture.

1. UVOD

GSM sistem spada u grupu ćelijskih radio-komunikacionih sistema. To podrazumeva da se radio-kanali koji zauzimaju ograničen frekvencijski opseg ponavljaju na relativno bliskim lokacijama. U zavisnosti od primenjenih postupaka modulacije i obrade signala, za svaki ćelijski sistem definisana je minimalna potrebna razlika srednjih prijemnih polja signala servisne bazne stanice i interferirajućih baznih stanica.

Zona pokrivanja pojedine bazne stanice predstavlja teritoriju koju ta bazna stanica pokriva, pri čemu nivo signala mora biti veći od minimalne vrednosti nivoa signala sa kojom mobilna stanica može ostvariti poziv (~ -104 dBm).

Servisna zona ili ćelija predstavlja deo zone pokrivanja bazne stanice u kojoj mobilna stanica uspostavlja vezu preko pomenute bazne stanice, odnosno zonu u kojoj je signal te bazne stanice najači po snazi. Svakoć ćeliji dodeljuje se skup radio-kanala, preko kojih se obezbeđuje GSM servis, i koji trebaju da zadovolje zahteve u pogledu kapaciteta.

Osnovna pretpostavka u GSM sistemu je mobilnost pretplatnika. Pretplatnik može nesmetano da prelazi iz jedne u drugu ćelije bez prekida veze. Ta funkcija se naziva *handover*. Upravljanje mobilnošću pretplatnika, kao i samim baznim stanicama vrši se preko kontrolera baznih stanica (BSC). Samo rutiranje poziva, i neophodna signalizacija, obavlja se u mobilnom komutacionom centru (MSC).

U BSC komutacionom čvoru GSM mreže realizovan je *locating* algoritam koji predstavlja bazičnu proceduru pomoću koje se ostvaruje mobilnost pretplatnika u mreži. *Locating* algoritam je direktno odgovoran za donošenje odluke o *handoveru*, odnosno prelasku mobilne stanice iz jedne u drugu ćeliju mreže u aktivnom modu. Ulazni podaci za pomenuti algoritam predstavljaju nivo i kvalitet signala servisne ćelije, izmereni na strani mobilne i bazne stanice, kao i nivoi signala susednih baznih stanica izmereni od strane mobilne stanice (*downlink*). Izlaz algoritma je sortirana lista ćelija za koje algoritam procenjuje da mogu biti kandidati u *handover* proceduri. Ukoliko u pomenutoj listi ćelija postoje ćelije koje su po nivou signala bolje od signala servisne ćelije BSC može dati nalog za prelazak na tu bolju ćeliju (*handover*).

Sam algoritam *locating* procedure je veoma kompleksan, i zavisi od velikog broja parametara, koje unapred treba

definisati i tako podesiti da algoritam odlučivanja o prelasku mobilne stanice sa jedne na drugu ćeliju bude optimalan.

Jedna od dopunskih opcija koja se u ćelijskoj GSM mreži može koristiti je podela ćelije na *underlaid* i *overlaid* sloj.

Underlaid ćelija po zoni pokrivanja predstavlja standardnu makro ćeliju u kojoj se emituje kontrolni (BCCH) kanal. *Overlaid* ćelija se može shvatiti kao podćelija u okviru *underlaid* ćelije u kojoj se emituju isključivo govorni (TCH) kanali sa istom ili nižom izlaznom snagom. Kako je servisna zona (kao i zona pokrivanja) *overlaid* ćelije manja moguće je češće koristiti iste frekvencije (klaster nižeg broja), odnosno smanjiti rastojanja među ćelijama koje koriste iste kanale na *overlaid* sloju. Jasno je da rezultat uvođenja pomenute opcije u mreži povećava kapacitet mreže bilo globalno ili lokalno (ukoliko se opcija primeni na ograničenom broju ćelija).

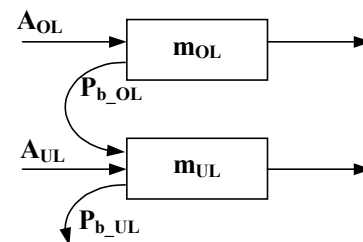
Glavni problem koji treba rešiti pri implementaciji *overlaid/underlaid* ćelijske strukture je definisanje poluprečnika *overlaid* ćelije.

U svrhe simulacije rada GSM sistema, kao i analize pojedinih ćelijskih parametara, između ostalog i odnosa poluprečnika *overlaid/underlaid* ćelija, razvijen je programski paket *GSM MODEL*. Osnovni algoritmi programa, kao i vrednosti pojedinih parametara, dobijeni simulacijom programa, prikazani su u ovom radu.

U poglavlju 2 prikazan je model saobraćaja *overlaid/underlaid* ćelijske strukture sa stanovišta zagušenja ćelija. Tehnički opis *overlaid/underlaid* ćelijske strukture, kao i uslovi prelaska sa jedne na drugu ćeliju dati su u poglavlju 3. Sam opis modela i algoritmi rada programa koji simulira rad kontrolera baznih stanica dati su u poglavljima 4 i 5. Na kraju rada, poglavlje 6, dat je prikaz dobijenih optimalnih vrednosti pojedinih parametara ćelijske mreže, dobijenih koristeći pomenuti program.

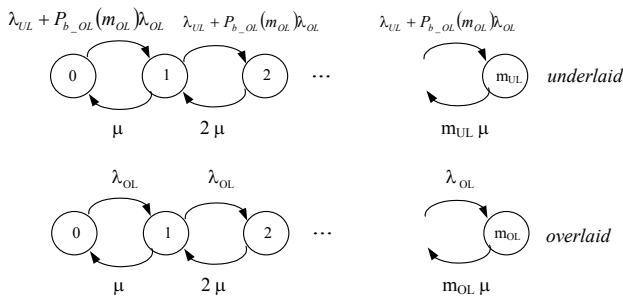
2. MODEL SAOBRAĆAJA U SLUČAJU OVERLAID/UNDERLAID ĆELIJSKE STRUKTURE

Blok-šema dolaznog saobraćaja u slučaju *overlaid/underlaid* ćelije prikazana je na slici 1.



Sl.1. Blok-šema dolaznog saobraćaja overlaid/underlaid ćelijske strukture

Dijagram stanja pomenutog sistema dat je na slici 2.



Sl.2. Dijagram stanja overlaid/underlaid ćelija

U okviru slike 2:

$\lambda_{UL} \left[\frac{br}{\min} \right]$ - dotok korisnika u *underlaid* ćeliju;

$\lambda_{OL} \left[\frac{br}{\min} \right]$ - dotok korisnika u *overlaid* ćeliju;

$\mu \left[\frac{br}{\min} \right]$ - zadržavanje korisnika u ćeliji;

m_{OL} - broj raspoloživih govornih kanala u *overlaid* ćeliji;

m_{UL} - broj raspoloživih govornih kanala u *underlaid* ćeliji;

$P_{b_OL}(m_{OL})$ - verovatnoća da će svi kanali u *overlaid* ćeliji biti zauzeti.

Verovatnoća blokade sistema (zagušenja ćelije) P_B je verovatnoća blokade *underlaid* ćelije [1].

$$P_B = P_{b_UL}(m_{UL}) = \frac{\left(\frac{\lambda_{UL} + P_{b_OL}(m_{OL})\lambda_{OL}}{\mu} \right)^{m_{UL}} \cdot \frac{1}{m_{UL}!}}{\sum_{k=0}^{m_{UL}} \left(\frac{\lambda_{UL} + P_{b_OL}(m_{OL})\lambda_{OL}}{\mu} \right)^k \cdot \frac{1}{k!}}$$

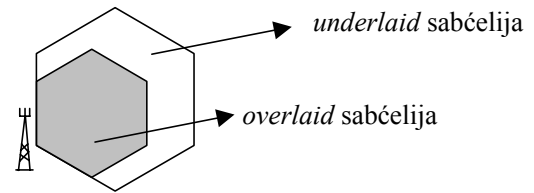
Veličinu *overlaid* ćelije i broj radio-kanala u njoj, treba uvek tako dimenzionisati da zagušenje *overlaid* ćelija uvek nastane pre zagušenje *underlaid* ćelija. To je zbog toga što *underlaid* ćelija može u slučaju zagušenja da preuzme saobraćaj *overlaid* ćelije. To drugim rečima znači da sa stanovišta verovatnoće odbijanja poziva poluprečnik *overlaid* ćelije treba da bude što veći.

Sa druge strane kako u *overlaid* ćeliji koristimo gušću klasteršku strukturu, da bi C/I bio što veći, potrebno je da poluprečnik *overlaid* ćelije bude što je moguće manji. Pomenuti zahtev je u suprotnosti sa zahtevom vezanim za poluprečnik ćelije po pitanju verovatnoće blokade.

3. TEHNIČKI OPIS OVERLAID/UNDERLAID STRUKTURE

Overlaid i *underlaid* ćelije dele isti kontrolni (BCCH) kanal, koji se emituje na *underlaid* ćeliji [2]. Signalizacioni (SDCCH) kanali se mogu nalaziti kako na *underlaid* tako i na *overlaid* ćelijama. BSC još pri dodeli SDCCH logičkog kanala, mora da zna u kojoj se zoni mobilna stanica nalazi. Na *underlaid* ćeliji se moraju nalaziti SDCCH logički kanali

dovoljni za opsluživanje mobilnih stanica koje se nalaze u zoni pokrivanja *underlaid* ćelije.



Sl.3. Overlaid/underlaid ćelije

Granica razdvajanja *overlaid* i *underlaid* ćelija dobija se kao presek dva kriterijuma. Prvi kriterijum se odnosi na slabljenja signala usled propagacije (L). Drugi kriterijum se odnosi na nivo *timing advance*-a (ta), odnosno koliko je mobilna stanica udaljena od bazne stanice. Sama odluka o prelasku sa *overlaid* na *underlaid* ćeliju ili obrnuto donosi se u *locating* proceduri BSC-a.

Granični nivo propagacionog slabljenja **LOL** sa svojim histerezisom **LOLHYST**, kao i granična vrednost *timing advance*-a **TAOL** sa svojim histerezisom **TAOLHYST**, definišu servisnu zonu *overlaid* ćelije i kontrolišu *overlaid/underlaid* handover u *locating* proceduri [2].

Prelazak sa *underlaid* na *overlaid* ćeliju dogodiće se ukoliko su zadovoljeni sledeći uslovi:

$$L \leq LOL - LOLHYST \quad \text{ili} \\ ta < TAOL - TAOLHYST$$

Dok, da bi pretplatnik prešao sa *overlaid* na *underlaid* ćeliju moraju da budu zadovoljeni sledeći uslovi:

$$L > LOL + LOLHYST \quad \text{ili} \\ ta \geq TAOL + TAOLHYST$$

4. MODEL GSM MREŽE

Pri simulaciji GSM sistema usvojena je sektorska mreža sa 63 ćelije, kao što je prikazano na slici 4. Razlog je taj što je pomoću 63 ćelije moguće napraviti takvu strukturu da i za 3/9 i za 4/12 klasterški tip, centralna ćelija bude okružena sa svim najbližim istokanalnim susedima. Usvojeno je da primo-predajne antene svih ćelija budu identiče. To su sektorske antene, sa 3-dB širinom glavnog snopa u horizontalnoj ravni od 65° (*Kathrein K739160*).

U simulaciji je pretpostavljeno da se propagacija signala odvija prema modelu ravne zemlja [3]. Tada se nivo signala računa prema formuli:

$$C(\alpha, r) = P_0 + G(\alpha) - 40 \log r + 20 \log h_b + Const,$$

pri čemu je:

$C(\alpha, r)$ - nivo signala, koji se nalazi na rastojanju r od bazne stanice i pod azimutalnim uglom α .

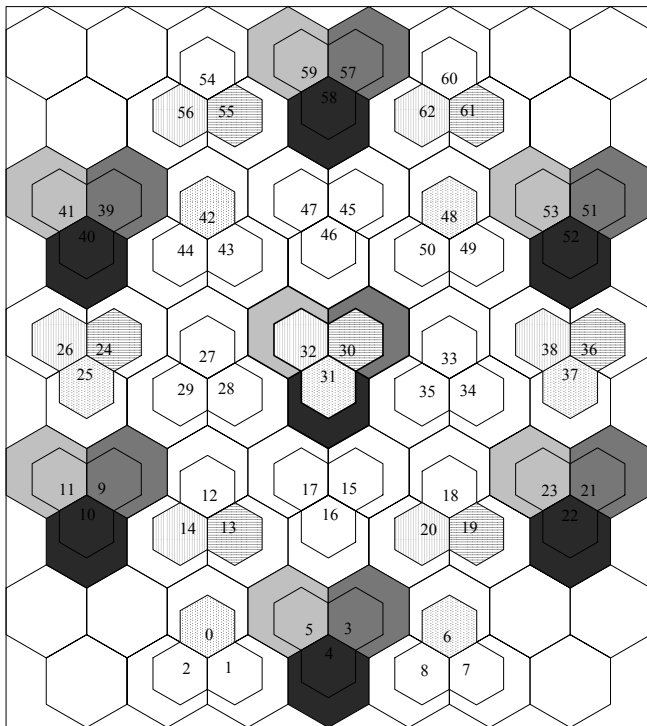
P_0 - snaga zračenja bazne stanice.

h_b - visina antene bazne stanice od zemlje.

$G(\alpha)$ - dobitak antene, pod azimutalnim uglom α .

Prilikom programske simulacije za potreba generisanja saobraćaja u mreži pretpostavljeno je da je raspodela saobraćaja u samoj ćeliji uniformna, dok se ukupan ponudeni

saobraćaj po ćelijama unapred definiše za svaku ćeliju ponaosob. Proces dolazaka pretplatnika u sistem je modelovan Poisson-ovom raspodelom, odnosno Markovljevim M/M/m/m procesom [1].



Sl.4. Definisana ćelijska struktura mreže u okviru realizovanog simulatora

5. ALGORITAM PROGRAMSKE SIMULACIJE

Program je realizovan sa ciljem da modelira pomenute algoritme BSC-a. U svakoj ćeliji moguće je menjati izlazne snage baznih stanica, visinu na kojoj se antena nalazi, kao i osnovne parametre *overlaid/underlaid* opcije. U delu programa koji se tiče generisanja saobraćaja, moguće je podešavati saobraćaj po pretplatniku, kao i ukupan saobraćaj po ćelijama.

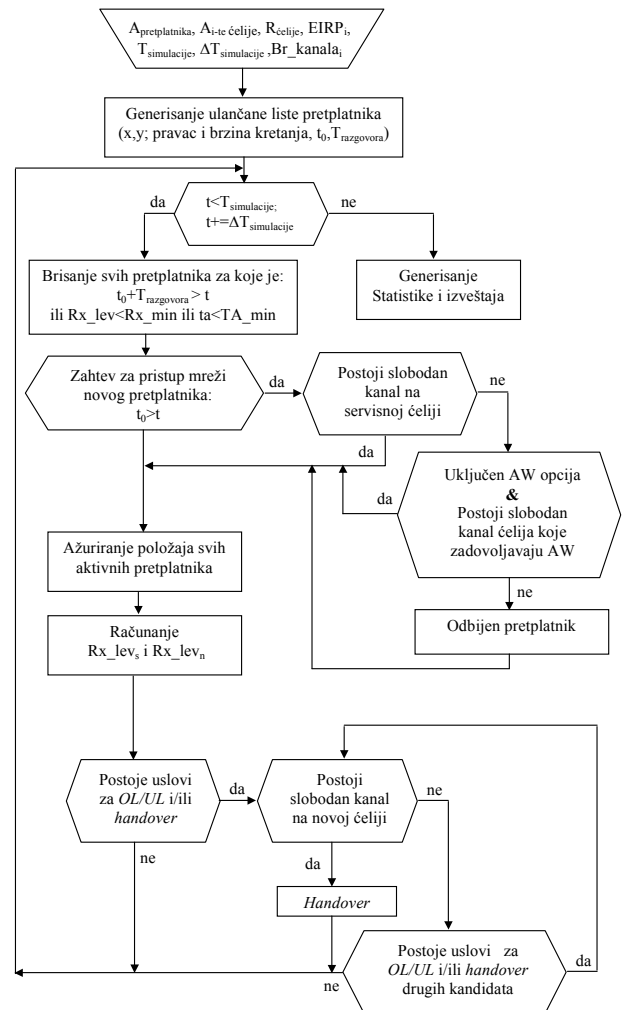
Uprošćen algoritam programa, koja simulira rad BSC-a dat je slici 5.

AW (*Assignment to Worst*) opcija predstavlja mogućnost sistema da ukoliko je servisna ćelija zagušena, BSC može da prebaci mobilnu stanicu na drugu ćeliju, lošiju po nivou signala, ali ćeliju u kojoj postoji slobodan govorni kanal. Parametar kojim se definiše za koliko nivo signala susedne ćelije može da bude slabiji od signala servisne ćelije pa da se ipak dodeli kanal susedne ćelije naziva se AWOFFSET. AW opcija je takođe predmet simulacije.

Pre početka simulacije BSC algoritma program generiše pretplatnike, sa vremenima početka(t_0) i trajanja razgovora($T_{razgovora}$), brzinom i pravcem kretanja, kao i inicijalnim položajem. U zavisnosti od toga zavisi i inicijalno dodeljena servisna ćelija određenog pretplatnika.

Algoritam predstavlja jednu petlju, u kojoj se inkrementira promenljiva vreme. U svakoj petlji se prvo proverava da li je vreme razgovora pojedinih aktivnih pretplatnika isteklo, a zatim da li ima novih zahteva za pristup mreži.

Usled mobilnosti pretplatnika, potrebno je u svakom koraku ažurirati položaj svih aktivnih pretplatnika, a samim tim ponovo proračunati nivoe signala koji stižu do mobilne stanice kako od servisne ćelije tako i od suseda.



Sl. 5. Blok-šema algoritma programa

Naravno, moguće je da u jednom trenutku nivo signala suseda bude veći od nivoa signala servisne ćelije za odgovarajući histerezis i *offset*. Tada ukoliko postoje slobodni kanali te bolje ćelije izvršiće se *handover*.

Dodatno u svakom koraku se proverava da li postoje uslovi za prelazak sa *overlaid* na *underlaid* ćeliju ili obrnuto.

U programu postoji niz definisanih brojača, koji broje sve relevantne statističke podatke tokom simulacije, kao što su: broj odbijenih poziva zbog zagušenja (GoS), broj *handover*-a izmedju svaka dva suseda, broj prelaska sa *overlaid* na *underlaid* ćeliju i obrnuto, kao i broj neregularno prekinutih veza zbog preniskog nivoa polja ili prevelikog TA (*timing advance*).

Drugi deo programa omogućava generisanje matrice pokrivanja, kao i matrice interferencije, za unapred definisane parametre kao što su visine antena i izlazne snage. Pomoću ove matrice moguće je odrediti koje su to kritične vrednosti poluprečnika *overlaid* ćelije po pitanju interferencije.

6. REZULTATI DOBIJENI PROGRAMSKOM SIMULACIJOM

Jedan od interesantnih rezultata koji se dobija kao rezultat gore navedene simulacije je procenat smanjenja verovatnoće blokade, odnosno broja odbijenih poziva zbog korišćenja AW opcije. U tabeli 1 dati su procenti smanjenja broja odbijenih poziva usled AW opcije za različite vrednosti GoS-a.

Tabela 1. Procenat smanjenja verovatnoće blokade ćelije usled uvođenja AW opcije.

GoS [%]	2	4	10	20	40
Δ [%]	0.025	0.74	1.5	2.7	3.6

Iz tabele 1 se vidi da je u slučaju GoS-a od 20%, procenat prihvaćenih poziva samo usled AW opcije bio 2.7%. Drugim rečima, ukoliko nebi koristili AW opciju procenat odbijenih poziva zbog zagušenja (GoS) bi porastao na 22.7%

Sledeći, za praksu korisni, rezultati vezani su za traženje interferencije *overlaid/underlaid* ćelija sektorske mreže, kao i pronalaženje optimalnih parametara *overlaid/underlaid* opcije.

Pri računanju poluprečnika *overlaid* ćelije pretpostavljeno je da su parametri svih ćelija u mreži podešeni na iste vrednosti (izlazna snaga *underlaid* i *overlaid* ćelija, visina antena). U tom slučaju odnos C/I ne zavisi od samih vrednosti pomenutih parametara.

Finim podešavanjem parametara TAOL i LOL, koji predstavljaju granične vrednosti *timing advance*-a i propagacionog slabljenja, za prelazak na *overlaid*, odnosno *underlaid* ćeliju, možemo doći do zaključka koliki treba da bude odnos poluprečnika *overlaid* i *underlaid* ćelije, da C/I *overlaid* ćelije nepređe vrednost C/I *underlaid* ćelije na granicama ćelija.

Pomoću matrice interferencije, koje program generiše, ustanovljeno je da je najmanji odnos C/I *underlaid* ćelije na samoj granici servisne zone te ćelije, za oko 30° levo i desno od azimuta predajne antene i iznosi 21dB. To odgovara tački koja izlazi iz glavnog snopa zračenja antene.

Ukoliko želimo da najmanji odnos C/I na *overlaid* ćeliji bude manji ili jednak od C/I *underlaid* ćelije (21dB), parameter TAOL mora biti postavljen na vrednost 57, ukoliko je uzet prečnik *underlaid* ćelije od 34 km. Do pomenute vrednosti TAOL parametara, dolazi se preko LOL parametra. LOL treba postepeno povećavati, a time i poluprečnik *overlaid* ćelije, sve dok C/I *overlaid* ćelije ne bude takođe 21dB. TAOL parametar, pri podešavanju LOL-a mora tako da se postavi da u pravcu prostiranja glavnog snopa signala (pravac azimuta predajne antene) kriterijum prelaska sa *overlaid* na *underlaid* ćeliju zbog propagacionog slabljenja ne bude blaži od *timing advance* kriterijuma. Na taj način kriterijum propagacionog slabljenja je oštiji, pa će oblik *overlaid* ćelije pratiti oblik *underlaid* ćelije. U suprotnom moguće je očekivati veću interferenciju na bočnim obodima *overlaid* ćelije. Nakon dobijene vrednosti za LOL, TAOL parametar se postepeno smanjuje sve dok se pomenuta dva kriterijuma na pravcu glavnog snopa signala ne podudare. Na pomenuti način smo dobili TAOL vrednost od 57 što odgovara poluprečniku *overlaid* ćelije od oko 14.25

km, pa je relativan odnos poluprečnika *overlaid/underlaid* ćelija $r \leq 0.84$.

Ukoliko postavimo TAOL na vrednost veću od maksimalnog *timing advance*-a na *underlaid* ćeliji, kao i LOL na vrednost veću od najvećeg propagacionog slabljenja na *underlaid* ćeliji, tada ćemo u mreži imati samo *overlaid* ćelije. Tada možemo da zaključimo koliki je najmanji C/I u mreži sa sektorskim ćelijama i frekvencijskim klasterom 3/9. Ta vrednost iznosi $(C/I)_{3/9} \approx 16.5$ dB, što je za 4.5 dB manje od C/I u mreži sa sektorskim ćelijama i frekvencijskim klasterom 4/12.

7. ZAKLJUČAK

U kontroleru bazne stanice GSM sistema realizovan je *locating* algoritam koji predstavlja bazičnu proceduru pomoću koje se ostvaruje mobilnost pretplatnika u mreži. Sam algoritam *locating* procedure je veoma kompleksan, i zavisi od velikog broja parametara, koje unapred treba definisati i tako podesiti da algoritam odlučivanja o prelasku mobilne stanice sa jedne na drugu ćeliju bude optimalan.

U algoritmu BSC procedure postoji i niz dopunskih opcija, koji ukoliko se optimalno podese mogu značajno da poboljšaju rad sistema i povećaju kapacitet.

Jedna od njih je AW opcija koja može značajno da smanji broj odbijenih poziva, odnosno da poveća GoS u mreži. Simulacijom je pokazano da procenat smanjenja zagušenja u mreži raste kako je GoS u mreži veći, kao i da to smanjenje može da iznosi i nekoliko procenata.

Veoma interesantna opcija, koja može da smanji interferenciju u mreži, bilo globalno, ili lokalno može, odnosi se na uvođenje *overlaid/underlaid* ćelijske strukture. Glavni problem koji treba rešiti pri implementaciji *overlaid/underlaid* ćelijske strukture je definisanje poluprečnika *overlaid* ćelije. U radu je pokazano da je optimalna teoretska vrednost za relativan odnos poluprečnika *overlaid/underlaid* ćelija $r \leq 0.84$.

LITERATURA

- [1] Leonard Kleinrock, "Queueing Systems" Vol 1. *John Wiley & Sons, Inc.*, 1975.
- [2] Ericsson Radio System AB, "Radio Network Features", Dec 1996.
- [3] William C.Y.Lee, "Mobile Cellular Telecommunication, Analog and Digital System" Second Edition. *McGraw-Hill, Inc.*, 1995.

Abstract –Base station controller (BSC) basic algorithms and its program simulation are shown in this paper. Managing algorithm of subscriber mobility in the network is also described. At the end of this paper, the optimal values of some cell parameters in the network received from the program simulation are presented. Special attention is paid to the optional feature, concerning overlaid/underlaid cell structures.

PROGRAM SIMULATION AND ANALYSIS OF BASE STATION CONTROLLER IN GSM NETWORK

Nenad Zeljković, Aleksandar Nešković, Mladen Koprivica