

Koncept ćelijske mreže - Osnove projektovanja sistema

Sadržaj

Arhitektura

RF planiranje

Pokrivenost celularne mreže

Frequency Reuse

Strategije dodeljivanja kanala

Interferencija i kapacitet sistema

Trunking

Arhitektura

Arhitektura prvih sistema mobilne telefonije bila je takva da su pokrivali relativno široke oblasti, uz korišćenje jedne bazne stanice koja je obično bila smeštena na vrhu neke visoke zgrade. Dakle, to nisu bili celularni sistemi.

Centralni radio predajnik u baznoj stanici emitovao je signal velikom snagom obezbeđujući vezu sa mobilnim korisnicima na udaljenosti od više desetina kilometara od bazne stanice.

Nedostaci ovih sistema su bili:

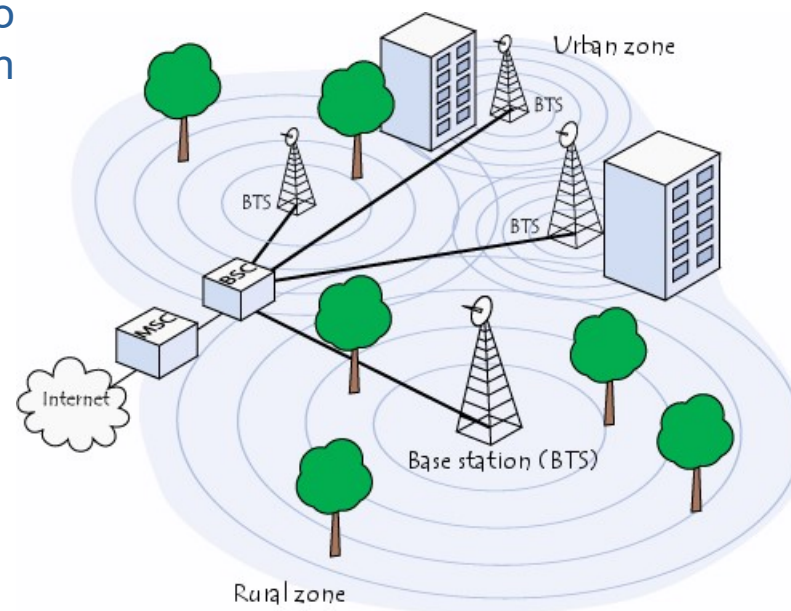
- Celokupan raspoloživi frekventni opseg (tj. Ukupan broj raspoloživih komunikacionih kanala) bio je dodeljen celoj zoni predajnika zbog čega je broj korisnika na celom području pokrivenosti bio ograničen. Na primer, Bell mobilni sistem u New Yorku tokom 1970-ih godina mogao je podržati maksimalno dvanaest istovremenih poziva na površini od hiljadu kvadratnih milja
- Dakle kapaciteti sistema su bili nedovoljni da zadovolje zahteve sve većeg broja korisnika,
- Zagušenja u sistemu su bila česta.
- Pokrivenost signalom je bila veoma neujednačena jer je koncept da se pokrije što veća zona jednim primo-predajnikom.
- Zbog ovoga kvalitet signala je često bio loš tj. smetnje signala su bile česta pojava.
- Ovi nedostaci nametnuli su potrebu za restrukturiranjem sistema mobilne telefonije.

Arhitektura

Celularni **koncept**: umesto jednog predajnika (prvobitni sistemi), unutar određene oblasti smešteno je mnogo predajnika niske snage. Čelija je region koji je pokriven signalom jedne bazne stanice.

Čelijski koncept je razvijen sa zadatkom da se poveća i poboljša pokrivenost radio signalom.

Cilj je bio povećati kapacitet mreže i poboljšati kvalitet signala. Suština ćelijske mreže se sastoji u korišćenju većeg broja predajnika male snage.

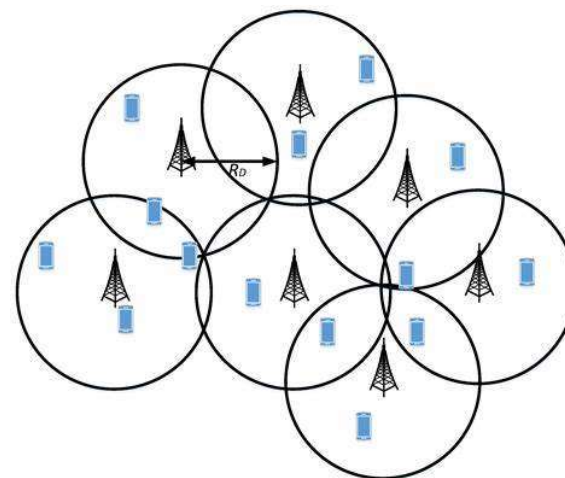


Arhitektura

Mreža se sastoji od više distribuiranih baznih stanica koje pokrivaju znatno manje oblasti (ćelije), a čiji predajnici rade sa višestruko manjim snagama i sa antenama na znatno manjim visinama. Bazna stanica unutar ćelije omogućava korišćenje usluga mreže za one korisnike koji se nalaze u toj ćeliji

Ovakva struktura omogućava:

- Lako proširenje sistema tj. povećanje kapaciteta kada se pojavi potreba za većim brojem korisnika ili potreba kad je potrebno da se granice sistema prošire. Kako se potražnja za uslugom povećava (tj. kako je potrebno više kanala unutar određenog tržištu), broj baznih stanica se može povećati čime se obezbeđuje dodatni radio kapacitet bez dodatnog povećanja radio spektra.
- omogućava fiksni broj kanala za opsluživanje proizvoljno velikog broja pretplatnika ponovnim korišćenjem kanala širom regiona pokrivenosti.



Iz ovih razloga je ovo postao osnovni koncept mobilnih i bežičnih komunikacionih mreža.

RF planiranje

RF planiranje je proces planiranja raspodele frekventnog spektra, lokacija predajnika i parametra bežičnog komunikacionog sistema da bi se obezbedila dovoljna pokrivenost i kapacitet za tražene usluge.

RF plan sistema mobilne komunikacije ima dva cilja: pokrivenost i kapacitet.

- Pokrivenost se odnosi na geografsku oblast u okviru koje sistem ima dovoljnu snagu RF signala da obezbedi prenos poziva/podataka.
- Kapacitet se odnosi na sposobnost sistema da opslužuje dati broj pretplatnika.

Kapacitet i pokrivenost kod radio predajnika su međusobno povezani. Da bi se povećao kapacitet potrebno je žrtvovati pokrivenost.

Međutim kod ćelijske strukture, iako i ona koristi radio predajnike, ovo se uspešno rešava:

- Povećanje pokrivenosti sistema: dodavanjem novih baznih stanica u nova područja gde ne postoji prostiranje signala mobilne mreže
- Povećanje kapaciteta sistema: deljenjem postojećih ćelija na manje, korišćenjem sektorskih antena ...

RF planiranje

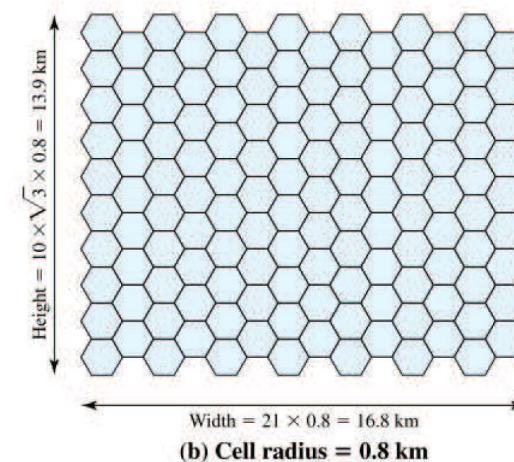
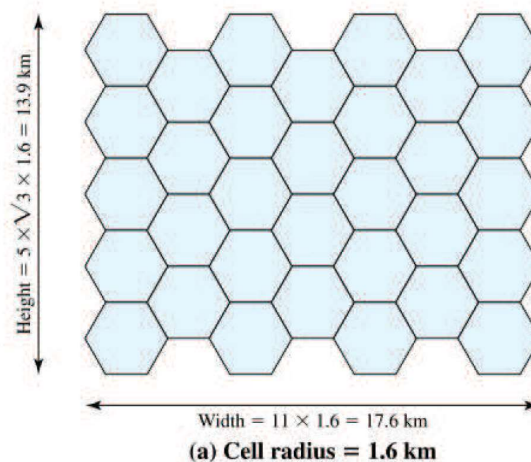
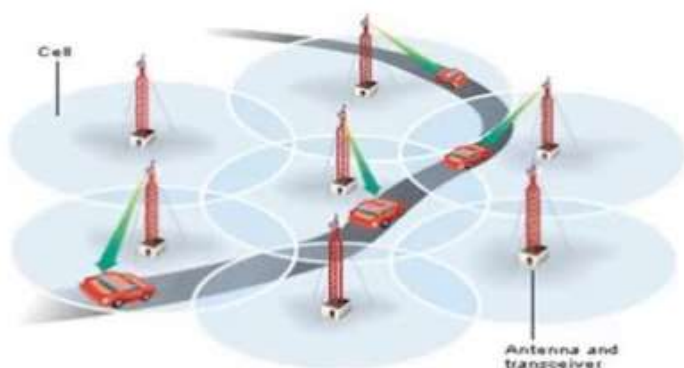
Tipovi ćelija

- Makro ćelije – njihova pokrivenost je velika (približno 10 km u prečniku); koristi se u udaljenim područjima. Koriste se predajnici i prijemnici velike snage
- Mikro ćelije – njihova pokrivenost je mala (oko 1km u prečniku) i koriste se u urbanim zonama; za izbegavanje interferencija sa ćelijama u drugim klasterima koriste se predajnici i prijemnici male snage
- Pico ćelija – je mali ćelijski sistem koji obično pokriva malu površinu, npr kao u zgradi (kancelarije, tržni centri, železničke stanice). Pikoćelije se obično koriste za proširenje pokrivenosti na unutrašnje prostore gde spoljašnji signali nemaju dobru propagaciju.
- Selektivne ćelije - nalaze se na mestima gde nije zahtevana pokrivenost od 360 stepeni- Npr. Na ulazima u tunele koristi se selektivna ćelija sa pokrivenošću od 120 stepeni.

RF planiranje

Smanjenje veličine ćelije ima sledeće efekte (ukoliko se servisna pokrivenost ne menja):

- Povećani kapacitet ukupnog broja korisnika (ukoliko se servisna pokrivenost ne menja)
- Povećan broj handover – a (primopredaja) po pozivu
- Povećana složenost u lociranju pretplatnika
- Smanjenje snage po baznoj stanici
- Smanjenje potrošnje energije u mobilnom terminalu: omogućava duže vreme razgovora



Pokrivenost celularne mreže

Sušтина ćelijske mreže je upotreba više predajnika male snage, reda veličine 100 W ili manje.

Pošto je domet takvog predajnika mali, oblast se može podeliti na ćelije, od kojih svaka opslužuje sopstvena antena. Svakoј ćeliji je dodeljen opseg frekvencija i opslužuje je bazna stanica

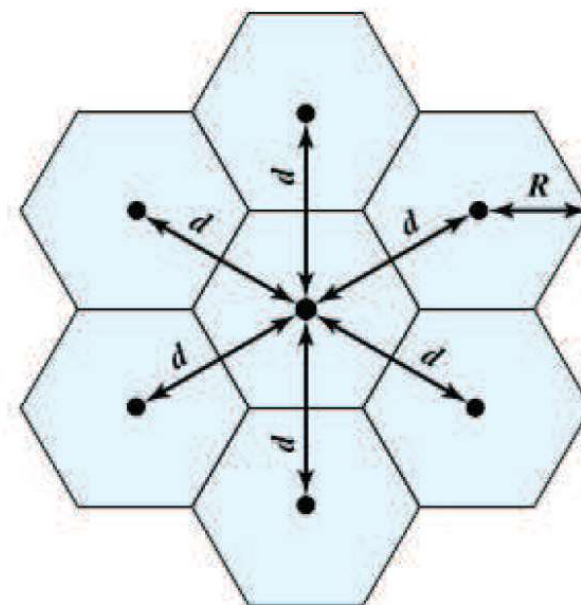
Susednim ćelijama se dodeljuju različite frekvencije da bi se izbegle smetnje ili preslušavanje (negativne posledice interferencije). Međutim, ćelije koje su dovoljno udaljene jedna od druge mogu da koriste isti frekvencijski opseg.

Iako deluje prirodno da se kod prikaza mobilne mreže kao područje pokrivenosti bazne stanice koristi krug (pošto krug jeste područje zračenja omnidirekcionane antene izotropne snage) ovo ipak nije najzgodnije iz razloga što se susedni krugovi delimično ili preklapaju ili ostavljaju prazan prostor te se ćelije ne mogu prikazati kompaktno na mapi.

Iz ovog razloga senajčešće za ćelije koristi simbol šestougona.

Prednosti korišćenja šestougona:

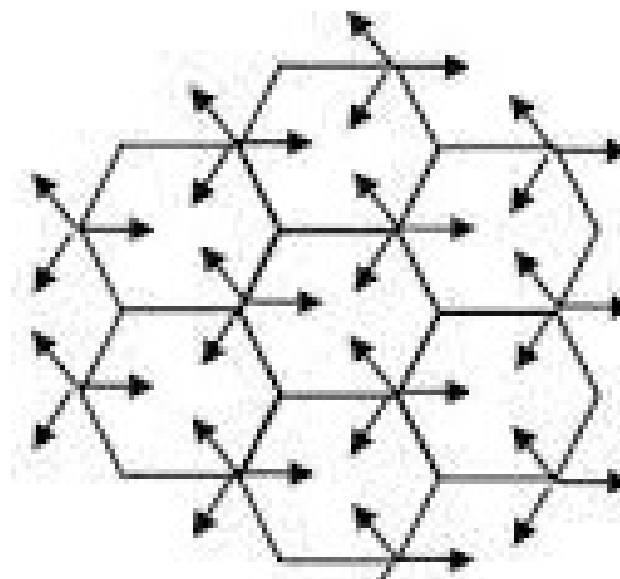
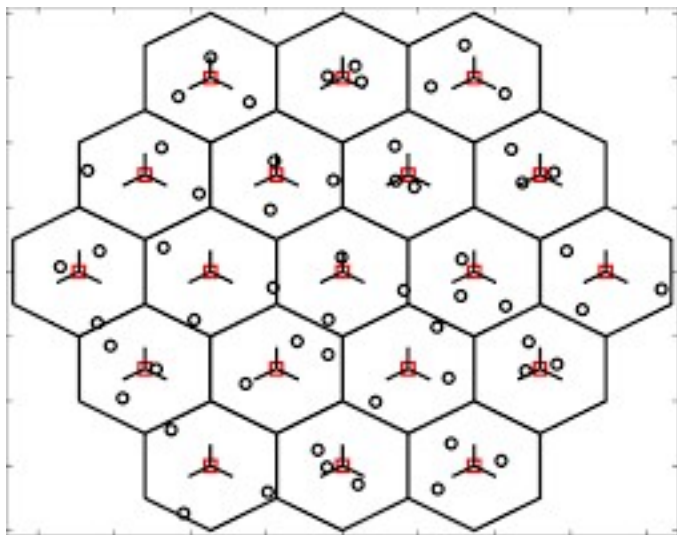
- Nema praznina ili preklapanja
- Najveća površina u poređenju sa kvadratom i trouglom.
- Za isto geografsko područje potreban je minimalan broj ćelija
- Dobro aproksimira krug



Pokrivenost celularne mreže

Kada se koristi šestaugaonik za modeliranje pokrivenosti ćelije, primopredajnici baznih stanica se prikazuju na jedan od dva načina:

- U sredini ćelije: tada se koriste omnidirekzione antene.
- Na tri od šest vrhova ćelija: koriste se sektorske usmerene antene



Pokrivenost celularne mreže

Za ćeliju poluprečnika R rastojanje između centara dve susedne ćelije iznosi:

$$d = \sqrt{3}R$$

A površina ćelije je:

$$P = \frac{3\sqrt{3}}{2} R^2$$

U praksi nemamo precizan šestougaoni ni kružni oblik. Odstupanja od ovakvog (kao i kružnog oblika) nastaju zbog:

- Topografska ograničenja.
- Lokalni uslovi koji utiču na ravnomerno širenje signala
- Praktično ograničenje za postavljanje antene

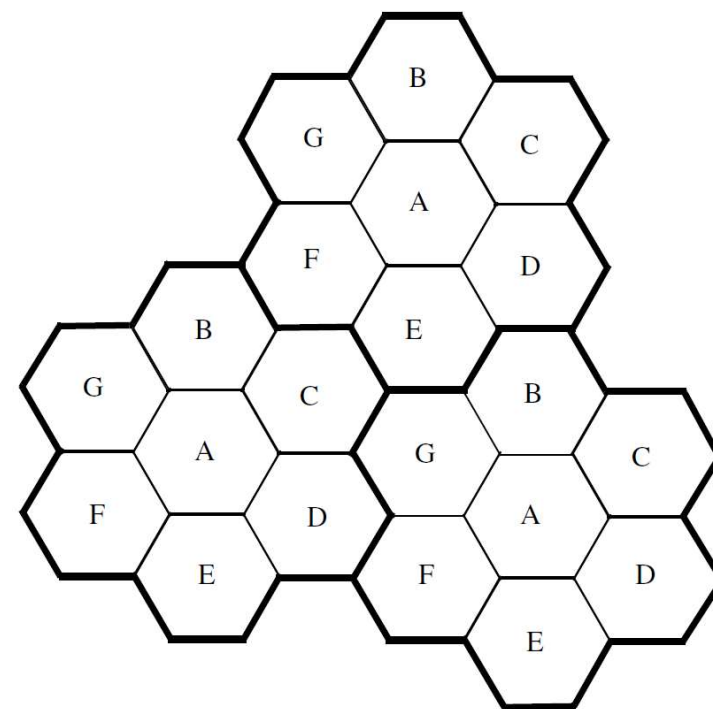
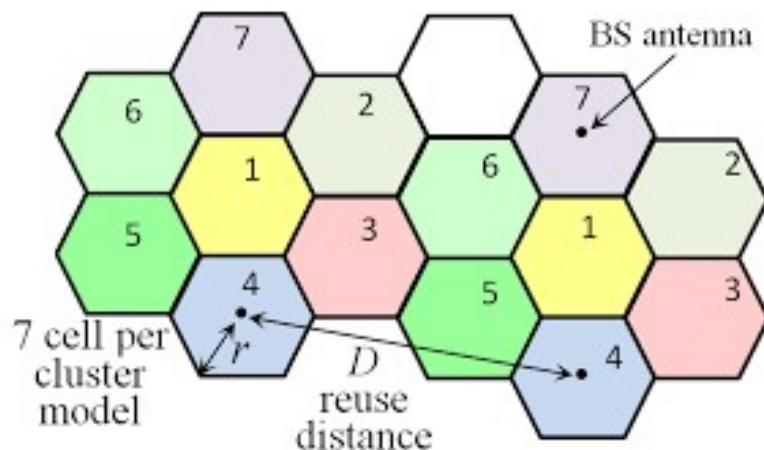
Frequency Reuse

Da ne bi došlo do interferencije signala susedne bazne stanice koriste različite frekvencije. Medjutim, čeli je koje se nalaze na dovoljnoj udaljenosti jedna od druge mogu da koriste istu frekvenciju (Frequency reuse). Zahvaljujući tome, ista frekvencija može se više puta ponoviti i na taj način se povećava kapacitet sistema.

Frequency reuse je moguć na rastojanjima na kojima je nivo interferencije toliki da nije štetan po sistem.

Stoga je potrebno podeliti celu servisnu zonu na grupe ćelija, tako da se u svakoj ćeliji iz grupe koristiti različit skup frekvencija.

Ovakva grupa ćelija se naziva **klaster** (cluster).



Frequency Reuse

Frequency Reuse (ponovna upotreba frekvencija) je proces planiranja dodeljivanja grupe kanala svakoj baznoj stanici (ćeliji) u sistemu. Ovde spada i planiranje snage predajnika kako bi se omogućila upotreba istih frekventnih kanala u udaljenim ćelijama.

Da bi se razumeo koncept ponovne upotrebe frekvencije, razmotriće se ćelijski sistem koji ima ukupno S dupleks kanala dostupnih za upotrebu. Ako je svakoj ćeliji dodeljena grupa od k kanala ($k < S$), i ako su svi kanali podeljeni između N ćelija od kojih svaka ima isti broj kanala, ukupan broj dostupnih radio kanala može se izraziti kao:

$$S = kN$$

Dakle k je broj kanala po ćeliji a N broj ćelija koje zajedno koriste kompletan skup dostupnih frekvencija i nazivaju se **klaster**.

Ako se klaster replicira M puta unutar sistema, ukupan broj dupleks kanala na celom servisnom području, može se koristiti kao mera kapaciteta i dat je sa:

$$C = MkN = MS$$

Faktor N se naziva **veličina klastera** i obično je jednak 3, 4, 7 ili 12.

Frequency reuse faktor je dat sa $1/N$, pošto je svakoj ćeliji unutar klastera dodeljen samo $1/N$ od svih ukupno dostupnih kanala u sistemu (tj. $1/N$ od ukupnog spektra).

Frequency Reuse

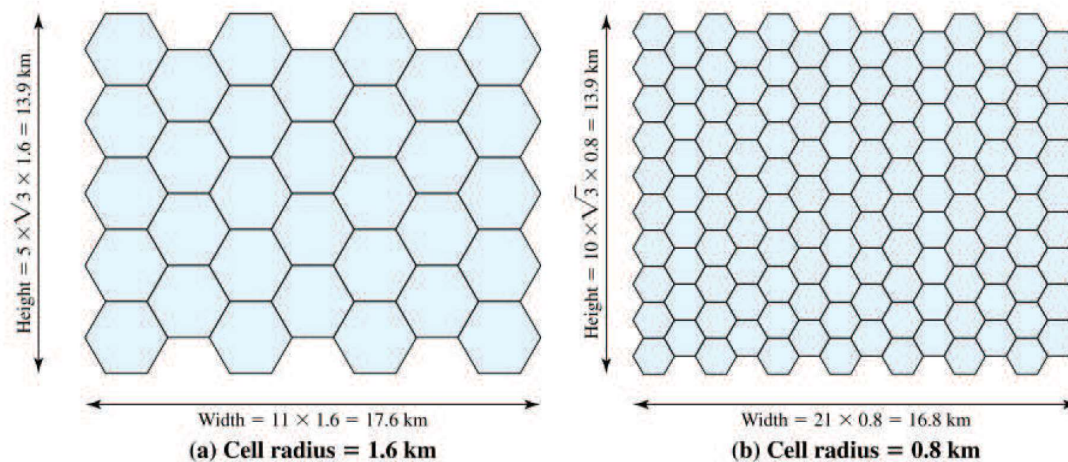
Izbor N (pod pretpostavkom konstantne veličine ćelije):

Malo N :

- Potrebno je više klastera da bi se pokrila servisna oblast. Ako se veličina klastera N smanji dok se veličina ćelije zadržava konstantno, potrebno je više klastera da pokrije data oblast
- Više kapaciteta - jer se povećanjem broja klastera dodaje kapacitet
- Veća verovatnoća smetnji između ćelija koje koriste isti set kanala (ćelije su bliže)

Veliko N (pod pretpostavkom konstantne veličine ćelije):

- Potrebno je manje klastera da bi pokrili servisnu oblast
- Manji ukupan kapacitet servisne oblasti
- Manja verovatnoća interferencije između ćelija koje koriste isti set kanala



Frequency Reuse

Velika veličina klastera ukazuje na to da je udaljenosti između ćelija sa istim kanalima velika. Zbog toga je manja verovatnoća interferencije između ćelija koje koriste isti set kanala

Suprotno tome, mala veličina klastera ukazuje na to da se ćelije sa istim setom kanala nalaze mnogo bliže jedna drugoj. Zbog toga je veća verovatnoća interferencije između ćelija koje koriste isti set kanala

Sa stanovišta projektovanja uvek se teži da se postigne što niža vrednost za N koja obezbeđuje odgovarajući maksimalni kapacitet u datom području pokrivenosti.

Vrednost za N zavisi od toga koliki nivo smetnji mobilna ili bazna stanica mogu tolerisati uz održavanje dovoljnog kvaliteta komunikacije.

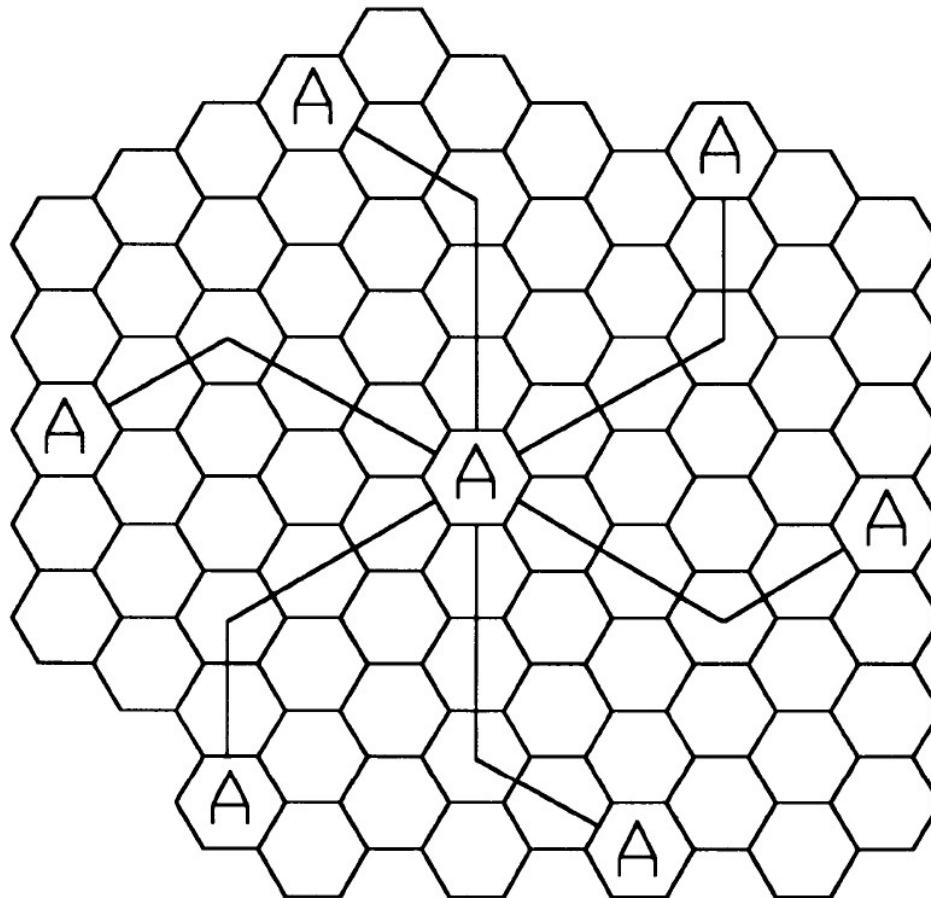
Frequency Reuse

Može se dokazati da za šestouganu strukturu važi:

$$N = i^2 + ij + j^2$$

gde su i, j proizvoljni nenegativni celi brojevi (0, 1, 2, 3 ...)

Da bi se došlo do najbliže ćelije koja sadrži isti set kanala potrebno je: kretati se i ćelija u nekom pravcu pa skrenuti 60 stepeni u smeru suprotnom od kazaljke na satu. Na slici je prikazan primer za $i=3, j=2, N=19$.



Primer 1

Ako je ukupno 33 MHz propusnog opsega dodeljeno određenom mobilnom telefonskom sistemu koji koristi dva simpleks kanala od 25 kHz za pružanje pune dupleks komunikacije, izračunajte broj dostupnih kanala po ćeliji ako sistem koristi:

- (a) frequency reuse od četiri ćelije,
- (b) frequency reuse od sedam ćelija i
- (c) frequency reuse od 12 ćelija.

Ako je 1 MHz dodeljenog spektra rezervisan za kontrolne kanale, odrediti raspodelu kontrolnih i glasovnih kanala u svakoj ćeliji za svaki od tri sistema.

Rešenje

Dato:

Ukupna propusnost = 33 MHz

Propusni opseg kanala = $25 \text{ kHz} \times 2 \text{ simpleks kanala} = 50 \text{ kHz/dupleks kanal}$

Ukupno dostupnih kanala = $33.000/50 = 660 \text{ kanala}$

(a) Za $N = 4$,

ukupan broj dostupnih kanala po ćeliji = $660/4 \approx 165 \text{ kanala}$.

(b) Za $N = 7$,

ukupan broj dostupnih kanala po ćeliji = $660/7 \approx 95 \text{ kanala}$.

(c) Za $N = 12$,

ukupan broj dostupnih kanala po ćeliji = $660/12 \approx 55 \text{ kanala}$.

Spektar od 1 MHz za kontrolne kanale implicira da postoji $1000/50 = 20$ kontrolnih kanala od 660 dostupnih kanala. Za ravnomernu distribuciju kontrolnih i glasovnih kanala, jednostavno dodelite isti broj kanala u svakoj ćeliji gde god je to moguće. Ovde mora biti 660 kanala ravnomerno raspoređeni na svaku ćeliju unutar klastera. U praksi, samo 640 glasovnih kanala mogu biti dodeljeni, pošto se kontrolni kanali dodeljuju odvojeno i to 1 po ćeliji.

(a) Za $N = 4$, možemo imati pet kontrolnih kanala i 160 glasovnih kanala po ćeliji. U praksi, međutim, svakoj ćeliji je potreban samo jedan kontrolni kanal (kontrolni kanali imaju veću frequency reuse nego glasovni kanali). Tako bi se dodelio jedan kontrolni kanal i 160 govornih kanala svakoj ćeliji.

(b) Za $N = 7$, U praksi, svaka ćelija bi imala jedan kontrolni kanal, četiri ćelije imaju 91 glasovnih kanal, a tri ćelije bi imale 92 govorna kanala.

(c) Za $N = 12$, svaka ćelija bi imala jednu kontrolu kanala, osam ćelija bi imalo 53 govorna kanala, a četiri ćelije bi imaju 54 govorna kanala.

Primer 2

Posmatramo sistem od 32 ćelije sa radijusom ćelije od 1,6 km, i sa ukupnim frekvencijskim opsegom koji podržava 336 kanala za glasovni saobraćaj, sa Frequency reuse faktorom od 1/7.

Izračunati, veličinu pokrivenog geografskog područja, koliko ima kanala po ćeliji i koliki je ukupan broj istovremenih poziva koji se mogu obraditi u sistemu?

Rešenje

Površina šestougona poluprečnika R je

$$P = \frac{3\sqrt{3}}{2} R^2 = \frac{3\sqrt{3}}{2} (1.6)^2 = 6.65 \text{ km}^2$$

Ukupna pokrivena površina je $6,65 \text{ km}^2 \times 32 = 213 \text{ km}^2$.

Za $N = 7$, broj kanala po ćeliji je $K/N = 336/7 = 48$,

Ukupan broj istovremenih poziva koji se mogu obraditi je

Kapacitet = $48 \times 32 = 1536$ kanala

Strategije dodeljivanja kanala

Za efikasno korišćenje radio spektra, potrebna je odgovarajuća frequency reuse šema koja je u skladu sa zahtevima za povećanjem kapaciteta. Ovo se postiže odgovarajućim načinom dodeljivanja kanala koji se još naziva strategija dodeljivanja kanala.

Postoje različite strategije dodeljivanja kanala razvijene za postizanje ovih ciljeva.

Strategije dodeljivanja kanala mogu se klasifikovati kao:

- fiksne ili
- dinamičke.

Izbor strategije dodeljivanja kanala utiče na performanse sistema, posebno na to kako se upravlja pozivima kada mobilni korisnik prelazi iz jedne ćelije u drugu tj. kad imamo handover (handoff).

Strategije dodeljivanja kanala

Strategija fiksnog dodeljivanja kanala

Svakoj ćeliji se dodeljuje unapred određeni skup govornih kanala.

- Svaki pokušaj poziva unutar ćelije može biti uslužen samo od strane neiskorišćenih kanala u toj konkretnoj ćeliji.
- Ako su svi kanali u toj ćeliji zauzeti, poziv se blokira i pretplatnik ne dobija uslugu.

Strategija pozajmljivanja: ako su svi kanali već zauzeti ćeliji je dozvoljeno da pozajmljuje kanale od susedne ćelije. Mobilni komutacioni centar (MSC) nadgleda ovakvo pozajmljivanje kanala i osigurava da se ovim pozajmljivanje kanala ne ometaju bilo koji od poziva koji su u toku u ćeliji donora.

Strategije dodeljivanja kanala

Strategija dinamičkog dodeljivanja kanala:

Glasovni kanali se ne dodeljuju trajno različitim ćelijama. Umesto toga:

Svaki put kada se uputi zahtev za poziv, odgovarajuća bazna stanica pošalje zahtev (zatraži kanal) za dodelu kanala MSC – u.

MSC tada dodeljuje kanal traženoj ćeliji na osnovu algoritma koji uzima u obzir:

- verovatnoću da dođe do blokiranja poziva unutar ćelije,
- učestalost korišćenja kanala kandidata,
- “udaljenost” kanala od ostalih kanala koji se koriste u ćeliji,
- druge funkcije ...

Shodno tome, MSC dodeljuje datu frekvenciju samo ako se frekvencija trenutno ne koristi u ćeliji ili bilo kojoj drugoj ćeliji koja spada unutar minimalne ograničene udaljenosti potrebne za frequency reuse kako bi se izbegla interferencija i smetnje zbog ćelija koje koriste istu frekvenciju.

Strategije dodeljivanja kanala

Prednost dinamičkog dodeljivanja kanala:

- Dinamičko dodeljivanje kanala smanjuje verovatnoću blokiranja, što povećava ukupan kapacitet kanala sistema, pošto svi dostupni kanali na tržištu su dostupni svim ćelijama.
- Povećava iskorišćenost kanala

Nedostaci dinamičkog dodeljivanja kanala:

Da bi MSC mogao da obavlja svoju funkciju potrebno je da MSC-a prikuplja podatke, u realnom vremenu, o:

- zauzetosti kanala,
- distribuciji saobraćaja i
- indikaciji jačine radio signala (radio signal strength indications - RSSI)

svih kanala na kontinualnoj bazi.

Ovo značajno povećava opterećenje sistema naročito u pogledu zahteva za skladištenjem podataka i procesorske snage sistema.

Interferencija i kapacitet sistema

Interferencija je glavni ograničavajući faktor performansi ćelijskih radio sistema.

Izvori interferencije (smetnje) uključuju drugi mobilni telefon u istoj ćeliji, poziv u toku u susednoj ćeliji, druge bazne stanice koje rade u istom frekventnom opsegu, ili bilo koji drugi sistem koji zrači energiju u frekventnom opsegu ćelije.

Interferencija u kanalima za prenos glasa/podataka izaziva tzv cross talking (unakrsni razgovor), gde pretplatnik čuje smetnje u pozadini.

Interferencija u kontrolnim kanalima dovodi do propuštenih i blokiranih poziva zbog grešaka u digitalnoj signalizaciji.

Smetnje su učestanije i izraženije u urbanim sredinama, zbog veće RF buke i velikog broja baznih stanica i mobilnih uređaja.

Interferencija je glavno ograničenje za povećanje kapaciteta i često je odgovorna za odbačene pozive.

Dve glavne vrste sistemski (od strane samog ćelijskog sistema) generisanih smetnji su:

- interferencija na istom kanalu (co-channel interference) i
- interferencija na susednom kanalu (adjacent channel interference).

U praksi, predajnici iz konkurentskih mobilnih kompanija su često značajan izvor smetnji, pošto konkurenti često lociraju svoje bazne stanice u neposrednoj blizini jedni drugih kako bi se obezbedila uporediva pokrivenost za korisnike. Ovo su tzv. "out of band" smetnje.

Interferencija i kapacitet sistema

Smetnje na istom kanalu i kapacitet sistema

Frequency reuse podrazumeva da u određenom području postoji nekoliko ćelija koje koriste isti skup frekvencija. Ove ćelije se nazivaju ćelijama na istom kanalu, a interferencija signala između ovih ćelija naziva se smetnja (interferencija) na istom kanalu.

Da bi se smanjile smetnje na istom kanalu, ćelije na istom kanalu moraju biti fizički odvojene toliko da je jačina signala usled interferencije ispod određene granice.

Kada je veličina svake ćelije približno ista i bazne stanice emituju istu snagu, veličina smetnji na istom kanalu ne zavisi od emitovane snage i postaje funkcija poluprečnika ćelije (R) i udaljenosti između centara najbližih ćelija na istom kanalu (D).

Što je odnos D/R veći udaljenost između ćelija na istom kanalu je veća te je uticaj smetnji zbog interferencije manji.

Ovaj odnos predstavlja parametar Q , nazvan co-channel reuse ratio (koeficijent ponovne upotrebe frekvencije na istom kanalu), i povezan je sa veličinom klastera. Za šestougao geometriju on iznosi:

$$Q = \frac{D}{R} = \sqrt{3N}$$

Mala vrednost Q znači da je veličina klastera N mala – ovo omogućava ukupni veći kapacitet, budući da je potreban veći broj ćelija da se pokrije ista oblast. Velika vrednost Q znači veće rastojanje između ćelija - bolji kvalitet prenosa zbog manjeg nivoa smetnji na istom kanalu. Pri projektovanju ćelijske mreže potrebno je postići odgovarajući kompromis između ova dva cilja.

Smetnje na istom kanalu i kapacitet sistema

Neka je i_0 broj ćelija na istom kanalu koje prave smetnje. Tada se odnos signal/smetnja (S/I ili SIR) za mobilni prijemnik može izraziti kao:

$$\frac{S}{I} = \frac{S}{\sum_{i=1}^{i_0} I_i}$$

Gde je S željena snaga signala od željene bazne stanice, a I_i je snaga smetnje uzrokovana od strane i -te ometajuće ćelije na istom kanalu.

Uzimajući u obzir jednačinu propagacije EM talasa, kao i pretpostavku da je emitovana snaga baznih stanica ista dolazi se do jednačine:

$$\frac{S}{I} = \frac{R^{-n}}{\sum_{i=1}^{i_0} (D_i)^{-n}}$$

Pri čemu je i_0 broj ćelija na istom kanalu, dok je n "path loss exponent" tj eksponent gubitaka pri prostiranju i obično se kreće između 2 i 4.

Smetnje na istom kanalu i kapacitet sistema

U ćelijskom sistemu u obliku šestougona, uvek postoji šest ćelija na istom kanalu u prvom sloju (tj. $i_0 = 6$).

Većina interferencija na istom kanalu potiče iz prvog sloja.

Interferencija od drugih i viših slojeva čini manje od 1% ukupnih smetnji (zanemarljivo).

Kada se razmatra samo prvi sloj ćelija na istom kanalu, ako su sve bazne stanice podjednako udaljene od željene bazne stanice i ako je ta udaljenost jednaka udaljenosti D između centara ćelija, tada se jednačina pojednostavljuje na:

$$\frac{S}{I} = \frac{(D/R)^n}{i_0} = \frac{(\sqrt{3}N)^n}{i_0}$$

Pri čemu je i_0 broj ćelija na istom kanalu, dok je n "path loss exponent" tj eksponent gubitaka pri prostiranju i obično se kreće između 2 i 4.

Ova jednačina povezuje S/I sa veličinom klastera N , koja zauzvrat određuje ukupni kapacitet sistema na osnovu jednačine $C = MkN$ (k – br. Kanala, M – broj multiplikacija klastera).

Smetnje na istom kanalu i kapacitet sistema

Primer 3

Ako je za zadovoljavajuće performanse downlink kanala ćelijskog sistema potreban odnos signala i smetnji od 15 dB, koji koeficijent ponovne upotrebe frekvencija (Q) i veličinu klastera N treba koristiti za maksimalni kapacitet ako je eksponent gubitaka pri prostiranju (a) $n = 4$, (b) $n = 3$?

Pretpostavite da ima šest ćelija na istom kanalu u prvom sloju, i sve su na istoj udaljenosti od mobilnog uređaja. Koristite odgovarajuće aproksimacije.

Rešenje

(a) $n = 4$

Prvo, razmotrimo šemu ponovne upotrebe sa sedam ćelija, tj. $N = 7$.

Koristeći

$$Q = \frac{D}{R} = \sqrt{3N}$$

koeficijent ponovne upotrebe frekvencija na istom kanalu $Q = D/R = 4.583$.

Koristeći jednačinu

$$\frac{S}{I} = \frac{(D/R)^n}{i_0} = \frac{(\sqrt{3N})^n}{i_0}$$

odnos signal/smetnje je

$$S/I = (1/6) \times (4.583)^4 = 75.3 \Rightarrow 18.66 \text{ dB}$$

Pošto je ovaj broj veći od minimalno potrebnog S/I , može se koristiti $N = 7$.

Smetnje na istom kanalu i kapacitet sistema

(b) $n = 3$

Prvo, razmotrimo šemu ponovne upotrebe sa sedam ćelija, tj. $N = 7$.

Koristeći

$$Q = \frac{D}{R} = \sqrt{3N}$$

koeficijent ponovne upotrebe frekvencija na istom kanalu $Q = D/R = 4.583$.

Koristeći jednačinu

$$\frac{S}{I} = \frac{(D/R)^n}{i_0} = \frac{(\sqrt{3N})^n}{i_0}$$

odnos signal/smetnje je

$$S/I = (1/6) \times (4.583)^3 = 16.04 \Rightarrow 12.05 \text{ dB}$$

Pošto je ovaj broj manji od minimalno potrebnog S/I , moramo koristiti veći N .

Sledeća moguća vrednost N je 12, ($i = j = 2$).

Odgovarajući koeficijent ponovne upotrebe frekvencija na istom kanalu je $D/R = 6.0$

Odnos signala prema smetnjama je:

$$S/I = (1/6) \times (6)^3 = 36 = 15.56 \text{ dB}$$

Pošto je ovaj broj veći od minimalno potrebnog S/I , korišćićemo $N = 12$.

Smetnje na susednom kanalu

Smetnje koje proizlaze iz signala koji su na susednim frekvencijama u odnosu na posmatrani signal nazivaju se smetnjama na susednom kanalu. Smetnje na susednom kanalu nastaju zbog nesavršenosti filtera prijemnika koji dozvoljavaju da bliske frekvencije prođu u propusni opseg signala.

Smetnje na susednom kanalu mogu se minimizirati pažljivim filtriranjem i dodelom kanala.

Budući da svaka ćelija koristi samo deo dostupnih kanala, nije neophodno dodeljivati ćelijama kanale koji su svi susedni u frekvenciji.

Održavanjem što većeg razmaka između frekvencija na svakom kanalu u određenoj ćeliji, smetnje na susednom kanalu mogu se značajno smanjiti.

Stoga se umesto dodeljivanja kanala koji čine kontinuirani opseg frekvencija unutar određene ćelije, dodeljuju kanali tako da se razmak između frekvencija na kanalima u određenoj ćeliji maksimizira.

Truncking i nivo usluge (GOS - Grade of service)

Čelijski radio sistemi se oslanjaju na truncking kako bi omogućili velikom broju korisnika da koristi ograničeni radio spektar.

Koncept truncking - a omogućava velikom broju korisnika da deli relativno mali broj kanala u ćeliji pružajući, po potrebi, pristup svakom korisniku iz grupe dostupnih kanala.

U truncking radio sistemu, svakom korisniku se dodeljuje kanal na osnovu poziva, a po završetku poziva, prethodno zauzet kanal se odmah vraća u grupu dostupnih kanala.

Truncking se bazira na statističkom ponašanju korisnika tako da fiksni broj kanala ili kola može da zadovolji potrebe veliku, slučajno raspoređene zajednice korisnika.

Telefonske kompanije su koristile truncking teoriju kako bi odredile broj komutacionih kola koja treba da budu dodeljena kancelarijskim zgradama sa stotinama telefona, i isti princip se koristi u dizajniranju ćelijskih radio sistema.

Postoji kompromis između broja dostupnih komutacionih kola i verovatnoće da će određeni korisnik naići na situaciju gde nema slobodnih kola tokom perioda najvećeg opterećenja mreže. Sa smanjenjem broja telefonskih linija, postaje verovatnije da će sva kola biti zauzeta te neće biti moguća uspostava veze za određenog korisnika.

U mobilnom radio sistemu, kada određeni korisnik zatraži uslugu i svi radio kanali su već u upotrebi, korisnik je blokiran ili mu je uskraćen pristup sistemu.

Truncking i nivo usluge (GOS - Grade of service)

Osnovi Truncking teorije razvijeni su od strane Erlanga, danskog matematičara krajem 19. veka. Danas, mera za intenzitet saobraćaja nosi njegovo ime.

Jedan Erlang predstavlja količinu intenziteta saobraćaja koju nosi kanal koji je potpuno zauzet (tj. jedan poziv-sat na sat ili jedan poziv-minut na minut).

Na primer, radio kanal koji je zauzet trideset minuta tokom jednog sata nosi 0,5 Erlanga saobraćaja.

Nivo usluge (GOS) je mera mogućnosti korisnika da pristupi sistemu tokom najprometnijeg perioda mreže. Najprometniji period (period najvećeg opterećenja) se bazira na zahtevima korisnika tokom dana u nedelji, mesecu ili godini. Najprometniji period za ćelijske radio sisteme obično se javljaju tokom “špica saobraćaja”, između 16 i 18 časova četvrtkom ili petkom uveče.

GOS se obično izražava kao verovatnoća da će poziv biti blokiran ili verovatnoća da će poziv doživeti kašnjenje veće od određenog vremena čekanja.

$$\text{GOS} = \frac{\text{broj blokiranih poziva}}{\text{ukupan broj poziva}}$$

Truncking i nivo usluge (GOS - Grade of service)

Termini koji se koriste u Truncking teoriji

Vreme uspostavljanja (Set up time): Vreme potrebno da se dodeli truncking radio kanal korisniku koji ga zahteva.

Blokirani poziv (Blocked call): Poziv koji se ne može završiti u trenutku zahteva zbog gužve. Takođe se naziva i izgubljeni poziv.

Vreme zadržavanja (Holding time): Prosečno trajanje tipičnog poziva. Označava se sa H (u sekundama).

Intenzitet saobraćaja (Traffic Intensity): Mera iskorišćenosti kanala, predstavlja prosečno zauzeće kanala mereno u Erlang - ima. Označava se sa A.

Opterećenje (Load): Intenzitet saobraćaja u celom radio sistemu, mereno u Erlang-ima.

Stepen usluge (GOS): Mera zagušenja sistema koja se specificira kao verovatnoća da će poziv biti blokiran (za Erlang B), ili verovatnoća da će poziv biti odložen duže od određenog vremena (za Erlang C).

Učestanost zahteva (Request rate): Prosečan broj zahteva za pozivima po jedinici vremena. Označava se sa λ I jedinica je sekunda⁽⁻¹⁾.

Truncking i nivo usluge (GOS - Grade of service)

Intenzitet saobraćaja koji svaki korisnik generiše jednak je učestanosti zahteva za pozivima pomnoženoj sa prosečnim vremenom trajanja poziva (vremenom zadržavanja). Drugim rečima, svaki korisnik generiše intenzitet saobraćaja od A_u Erlanga:

$$A_u = \lambda * H$$

gde je H prosečno trajanje poziva, a λ prosečan broj zahteva za pozivom po jedinici vremena za svakog korisnika. Za sistem koji sadrži U korisnika i nedefinisani broj kanala, ukupan ponuđeni intenzitet saobraćaja A se izračunava na sledeći način:

$$A = U * A_u$$

Dodatno, u trunck - ovanom sistemu sa C kanala, ukoliko se saobraćaj podjednako raspoređuje između kanala, tada je intenzitet saobraćaja po kanalu, A_c , dat na sledeći način:

$$A_c = A / C$$

Maksimalno mogući ostvareni saobraćaj je jednak ukupnom broj kanala, C , izražen u Erlang - ima.

Truncking i nivo usluge (GOS - Grade of service)

AMPS ćelijski sistem je bio dizajniran za GOS od 2% blokiranja. Ovo podrazumeva da se dodeljivanje kanala za ćelijske lokacije dizajnira tako da će 2 od 100 poziva biti blokirana zbog zauzetosti kanala tokom najprometnijeg sata.

2G / 3G / 4G / 5G sistemi uglavnom se dizajniraju za GOS od 1% - 2%.

Postoje dva tipa truncking sistema koji se često koriste.

Truncking i nivo usluge (GOS - Grade of service)

Postoje dva tipa truncking sistema koji se često koriste.

Prvi tip je truncking model bez čekanja za blokirane pozive (***blocked calls cleared***). Drugim rečima, za svakog korisnika koji zahteva uslugu, pretpostavlja se da je vreme za uspostavljanje veze jednako nuli i korisnik odmah dobija pristup kanalu ako je dostupan. Ako nema dostupnih kanala, korisnik koji je podneo zahtev je blokirao bez pristupa i slobodan je da pokuša ponovo.

Za njega važi Erlang B formula. Erlang B formula određuje verovatnoću da će poziv biti blokirao i praktično određuje Nivo Usluge (GOS) za truncking sistem koji ne pruža čekanje za blokirane pozive.

$$Pr[blocking] = \frac{\frac{A^C}{C!}}{\sum_{k=0}^C \frac{A^k}{k!}} = GOS$$

Gde je C broj kanala u truncking sistemu a A je ukupni ponuđeni saobraćaj (normalizovano ulazno opterećenje (ponuđeni saobraćaj u erlang - ima) - $\lambda * H$).

Formula Erlang B pruža konzervativnu procenu Nivoa usluge (GOS), budući da konačni rezultati korisnika uvek predviđaju manju verovatnoću blokiranja.

Truncking i nivo usluge (GOS - Grade of service)

Kapacitet truncking sistem koji ne pruža čekanje za blokirane pozive, za različite vrednosti GOS i broja kanala, je dat u tabeli:

Table 3.4 Capacity of an Erlang B System

Number of Channels C	Capacity (Erlangs) for GOS			
	= 0.01	= 0.005	= 0.002	= 0.001
2	0.153	0.105	0.065	0.046
4	0.869	0.701	0.535	0.439
5	1.36	1.13	0.900	0.762
10	4.46	3.96	3.43	3.09
20	12.0	11.1	10.1	9.41
24	15.3	14.2	13.0	12.2
40	29.0	27.3	25.7	24.5
70	56.1	53.7	51.0	49.2
100	84.1	80.9	77.4	75.2

Truncking i nivo usluge (GOS - Grade of service)

Drugi tip je truncking sistem sa zakašnjenjem blokiranih poziva (**Blocked Calls Delayed**). Ako kanal nije odmah dostupan, zahtev za poziv može biti stavljen u red na čekanje dok kanal ne postane dostupan. Nivo Usluge (GOS) definiše se kao verovatnoća da će poziv biti blokiran nakon određenog vremena čekanja u redu. Da bi se odredio GOS, prvo je potrebno pronaći verovatnoću da će pozivu biti inicijalno uskraćen pristup sistemu pa pomnožiti sa verovatnoćom da poziv bude na čekanju određeno vreme. Verovatnoća da poziv nema odmah pristup kanalu određena je Erlang C formulom.

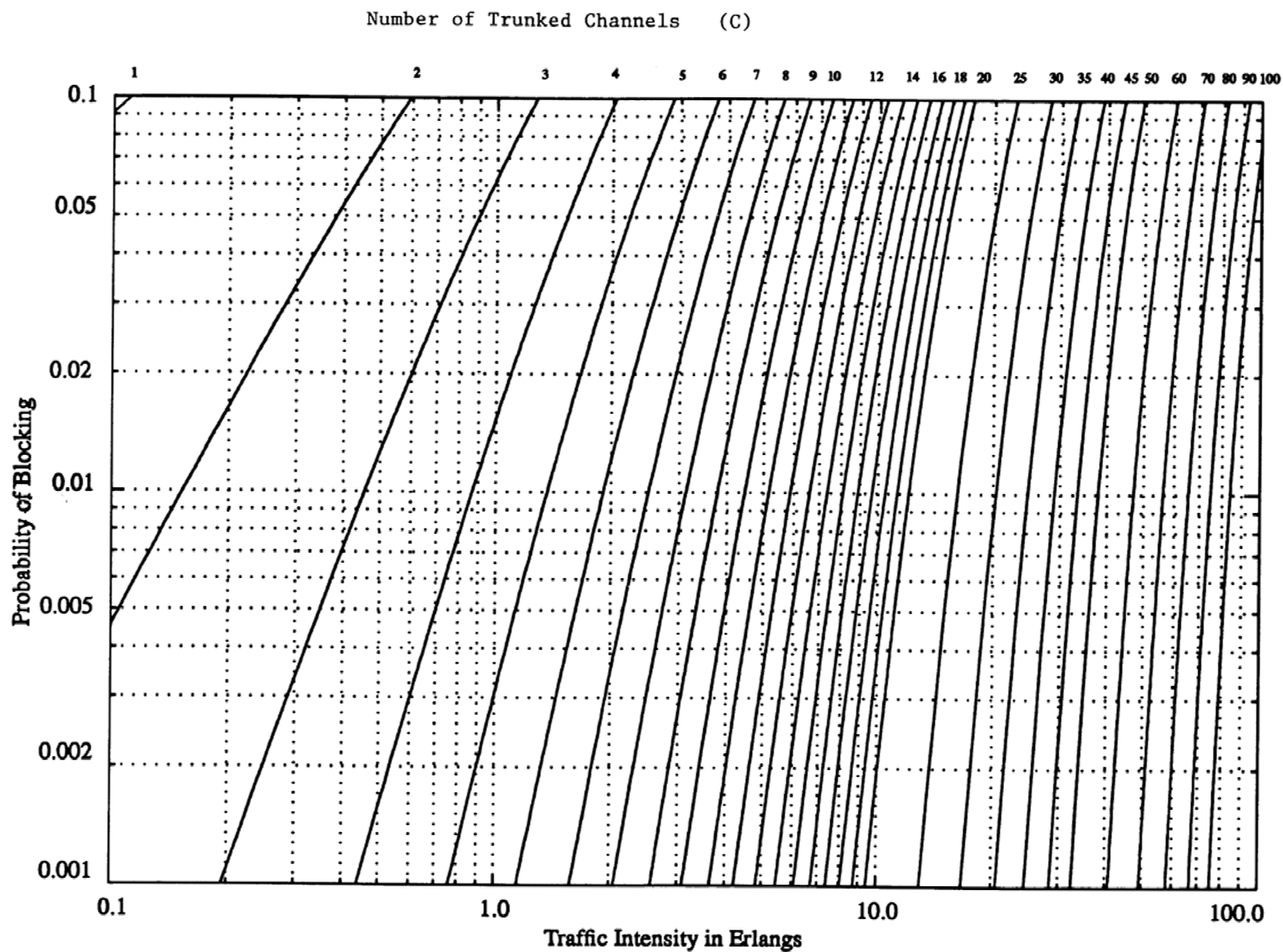
$$Pr[delay > 0] = \frac{A^C}{A^C + C! \left(1 - \frac{A}{C}\right) \sum_{k=0}^{C-1} \frac{A^k}{k!}}$$

A ukupni Nivo Usluge (GOS) sistema sa zakašnjenjem blokiranih poziva se računa formulom:

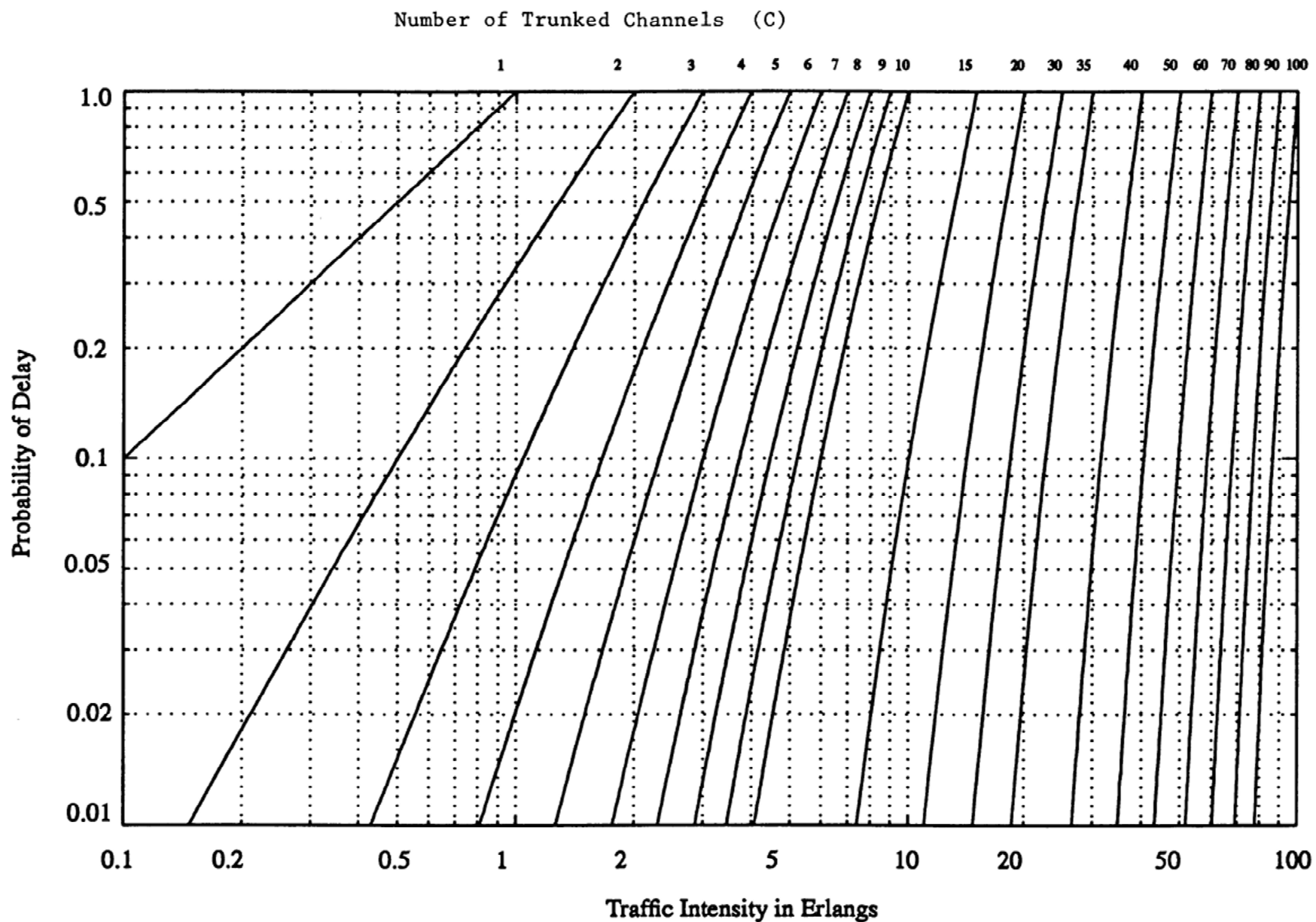
$$D = Pr[delay > 0] \frac{H}{C - A}$$

Formule Erlang B i Erlang C prikazane su u grafičkom obliku. Ovi grafici su korisni za brzo određivanje Nivoa usluge (GOS), iako se pri praktičnom projektovanju koriste odgovarajuće računarske simulacije.

Erlang B graf



Erlang C graf



Truncking i nivo usluge (GOS - Grade of service)

Primer 3.5

Urbano područje ima populaciju od dva miliona stanovnika. Tri konkurentska truncking mobilna mrežna sistema (sistemi A, B i C) pružaju uslugu na ovom području. Sistem A ima 394 ćelije sa po 19 kanala, sistem B ima 98 ćelija sa po 57 kanala, a sistem C ima 49 ćelija, svaka sa po 100 kanala. Nađite broj korisnika koji mogu biti podržani sa GOS od 2% blokiranja ako svaki korisnik prosečno obavlja dva poziva na sat sa prosečnim trajanjem poziva od tri minuta. Pretpostavljajući da sva tri sistema rade sa maksimalnim kapacitetom, izračunajte procentualno udeo na tržištu za svakog od mobilnih operatera.

Rešenje

Sistem A

Date vrednosti:

Verovatnoća blokiranja = 2% = 0,02

Broj kanala po ćeliji u sistemu, $C = 19$

Intenzitet saobraćaja po korisniku, $A_u = \lambda H = 2 \times (3/60) = 0,1$ Erlanga

Za GOS = 0,02 i $C = 19$, iz Erlang B grafikona dobija se ukupno preneseni saobraćaj, A , kao 12 Erlanga.

Stoga, broj korisnika koji može biti podržan po ćeliji je

$$U = A/A_u = 12/0,1 = 120$$

S obzirom na to da ima 394 ćelije, ukupan broj pretplatnika koji može biti podržan od strane Sistema A iznosi $120 \times 394 = 47280$

Truncking i nivo usluge (GOS - Grade of service)

Primer 3.5

Sistem B

Date vrednosti:

Verovatnoća blokiranja = 2% = 0,02

Broj kanala po ćeliji korišćen u sistemu, $C = 57$

Intenzitet saobraćaja po korisniku, $A_u = \lambda H = 2 \times (3/60) = 0,1$ Erlanga

Za GOS = 0,02 i $C = 57$, iz Erlang B grafikona dobija se ukupno preneseni saobraćaj, A , kao 45 Erlanga.

Stoga, broj korisnika koji može biti podržan po ćeliji je

$$U = A/A_u = 45/0,1 = 450$$

S obzirom na to da ima 98 ćelija, ukupan broj pretplatnika koji može biti podržan od strane Sistema B iznosi $450 \times 98 = 44.100$

Truncking i nivo usluge (GOS - Grade of service)

Primer 3.5

Sistem C

Date vrednosti:

Verovatnoća blokiranja = 2% = 0,02

Broj kanala po ćeliji korišćen u sistemu, $C = 100$

Intenzitet saobraćaja po korisniku, $A_u = \lambda H = 2 \times (3/60) = 0,1$ Erlanga

Za GOS = 0,02 i $C = 100$, iz Erlang B grafikona dobija se ukupno preneseni saobraćaj, A , kao 88 Erlanga.

Stoga, broj korisnika koji može biti podržan po ćeliji je

$$U = A/A_u = 88/0,1 = 880$$

S obzirom na to da ima 49 ćelija, ukupan broj pretplatnika koji može biti podržan od strane Sistema C iznosi $880 \times 49 = 43.120$

Truncking i nivo usluge (GOS - Grade of service)

Primer 3.5

Sistem C

Date vrednosti:

Verovatnoća blokiranja = 2% = 0,02

Broj kanala po ćeliji korišćen u sistemu, $C = 100$

Intenzitet saobraćaja po korisniku, $A_u = \lambda H = 2 \times (3/60) = 0,1$ Erlanga

Za GOS = 0,02 i $C = 100$, iz Erlang B grafikona dobija se ukupno preneseni saobraćaj, A , kao 88 Erlanga.

Stoga, broj korisnika koji može biti podržan po ćeliji je

$$U = A/A_u = 88/0,1 = 880$$

S obzirom na to da ima 49 ćelija, ukupan broj pretplatnika koji može biti podržan od strane Sistema C iznosi $880 \times 49 = 43.120$

Dakle, ukupan broj korisnika mobilnih usluga koje ova tri sistema mogu podržati je $47.280 + 44.100 + 43.120 = 134.500$ korisnika.

Truncking i nivo usluge (GOS - Grade of service)

Primer 3.5

S obzirom na to da u datoj urbanoj oblasti živi dva miliona stanovnika i ukupan broj pretplatnika u Sistemu A iznosi 47.280, procenat udela na tržištu je jednak

$$47.280/2.000.000 = 2,36\%$$

Slično tome, procenat udela na tržištu Sistema B iznosi

$$44.100/2.000.000 = 2,205\%$$

a procenat udela na tržištu Sistema C iznosi

$$43.120/2.000.000 = 2,156\%$$

Procenat udela na tržištu za sva tri sistema zajedno iznosi

$$134.500/2.000.000 = 6,725\%$$