

PREGLEDNI ČLANCI REVIEW PAPERS

ADAPTIVNO UPRAVLJANJE PRIHVATANJEM ZAHTEVA U WCDMA MREŽI

Milan M. Šunjevarić^a,
Goran Z. Đukanović^b,
Nataša M. Gospić^c,

^a Istraživačko-razvojni institut „RT-RK“ d.o.o. Novi Sad,

^b Telekomunikacije RS a.d., Funkcija za strategiju,
sektor za upravljanje strategijom, Banja Luka,
Republika Srpska, Bosna i Hercegovina,

^c Univerzitet u Beogradu, Saobraćajni fakultet

DOI: 10.5937/vojtehg61-2191

OBLAST: telekomunikacije, računarske nauke
VRSTA ČLANKA: pregledni članak

Sažetak:

U ovom radu urađen je kritički pregled algoritama za kontrolu pristupa u mobilnim bežičnim mrežama. Dat je i osvrt na metode adaptivnog upravljanja prihvatanjem zahteva u WCDMA mrežama, kao i pregled algoritama koji se koriste za ovu namenu. Izvršeno je njihovo poređenje i dati su odgovarajući komentari na osnovne karakteristike ovih algoritama. Pojašnjeni su OVSF kodovi i uticaj načina njihove raspodele na kapacitet sistema i verovatnoću blokiranja zahteva.

Ključne reči: *algoritmi, CAC, Call Admission Control, multimedija, WCDMA.*

Uvod

Svedoci smo stalnog porasta broja zahteva koji se postavljaju pred savremene bežične mreže. Nove aplikacije i rast broja korisnika, kao i rast aktivnosti korisnika u poslednje vreme, pojačavaju potrebu za kvalitetnim korišćenjem spektra i njegovu pravilnu raspodelu između različitih aplikacija i klasa usluga. Spektar se smatra nacionalnim blagom svake države, pa problem raspodele frekvencija, višestru-

kog pristupa i efikasnog korišćenja spektra predstavlja oblast istraživanja, čiji rezultati treba da donesu direktnu korist budućim bežičnim tehnologijama (Šunjevarić, 2004). Pored čoveka, u poslednjih nekoliko godina „korisnici” bežičnih mreža postaju razni računari, mašine, aplikacije, a u budućnosti će to biti i ostali uređaji, RFID (*Radio Frequency Identification*) aplikacije (Jovanović, 2012, pp.118-138 i umreženi predmeti.

Zbog ovakvog, izuzetnog porasta broja korisnika, zahtevi koji se postavljaju pred savremene bežične mreže postaju sve veći. Višestruko uvećavanje ukupne količine prenesenih podataka u bežičnim mrežama, koje je uočeno poslednjih godina, postavlja obavezu korišćenja algoritama za upravljanje pristupom. Ovi algoritmi raspodeljuju resurse mreže saglasno njenim mogućnostima, sa jedne strane, kao i definisanim klasama usluga, sa druge strane. Svi izveštaji vodećih kompanija za analizu tržišta, naučni radovi i praksa u oblasti prenosa podataka (tzv. data saobraćaja) pokazuju da će se rast, kako količine saobraćaja, tako i zahtevanih brzina nastaviti. Zbog toga, izlazak u susret rastu zahteva i pronalaženje rešenja koja će zadovoljiti buduće potrebe prenosa podataka predstavlja značajnu oblast aktuelnih i budućih istraživanja.

Višestruki pristup i upravljanje resursom u bežičnim mrežama

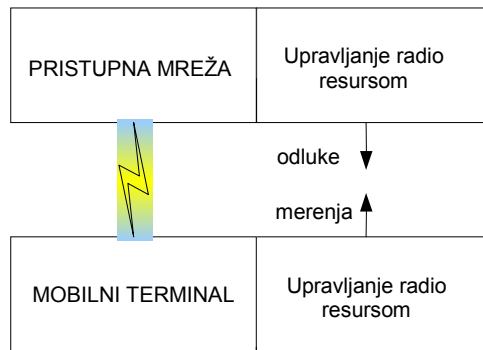
Upravljanje radio-resursom mobilne mreže predstavlja skup algoritama za upravljanje korišćenjem radio-resursa, a cilj mu je da se maksimizira ukupni kapacitet bežičnog sistema uz ravnopravnu raspodelu resursa korisnicima. Upravljanje radio-resursom mobilne mreže obično je locirano u kontroleru bazne stanice, u baznoj stanici i u mobilnom terminalu, a zasniva se na odlukama koje se donose na osnovu merenja i povratnih informacija. Često se kapacitet definiše kao maksimalno saobraćajno opterećenje koje sistem može da obezbedi pod nekim ranije definisanim zahtevima za kvalitet usluge. Upravljanje resursom iz navedenih razloga očuvanja kapaciteta, ali i pravilne raspodele među korisnicima, zauzima svoje značajno mesto u raznim komercijalnim mrežama, kao što su GSM (*Global System for Mobile Communications*) i UMTS (*Universal Mobile Telecommunications System*), ali takođe i u profesionalnim mrežama i mrežama organizacija bezbednosti, kao što su PMR (*Professional Mobile Radio*) i PAMR (*Public Access Mobile Radio*), uključujući i TETRA (*Terrestrial Trunked Radio*) mrežu (Alqahtani, 2011). Upravljanje resursom u bežičnim mrežama vrši se raspodeljiva-

njem jedinica radio-resursa korisnicima. Jedinica radio-resursa definiše se kao skup osnovnih fizičkih parametara prenosa koji su neophodni da bi se podržao talasni oblik signala koji nosi informaciju korisnika koja odgovara određenom servisu.

Ako se radi o sistemu višestrukog pristupa na bazi raspodele frekvencija, jedinicu radio-resursa predstavlja određeni propusni opseg u okviru frekvencije nosioca. U severnoameričkom AMPS sistemu, jedinica radio-resursa predstavlja opseg širine 30 kHz koji je deo opsega ukupne širine 25 MHz (u svakom smeru po 30 kHz) u frekvencijskom opsegu od 800 MHz. U sistemu višestrukog pristupa na bazi raspodele vremena, jedinica radio-resursa predstavlja par sastavljen od frekvencije nosioca i vremenskog intervala (kanala). Tako, na primer, u GSM sistemu, jedinica radio-resursa predstavlja vremenski prozor širine 0,577 ms, koji se ponavlja svakih 4,615 ms (koliko iznosi trajanje rama) na radio-frekvencijskom nosiocu širine opsega od 200 kHz u frekvencijskom opsegu 900 MHz, 1800 MHz (Evropa, Azija, Australija, Bliski istok, Afrika) ili 850 MHz i 1900 MHz (Sjedinjene Američke Države, Kanada, Meksiko i većina zemalja u Južnoj Americi). U sistemu višestrukog pristupa na bazi raspodele kodova, jedinica radio-resursa definiše se preko frekvencije nosioca, kodne sekvence i nivoa snage. Korisniku se dodeljuje kôd, koji mora biti ortogonalan sa kodovima ostalih korisnika (Chen, et al, 2007, pp.61-69). Sa rastom broja korisnika raste i nivo smetnji među njima, što se odražava na kvalitet (Šunjevarić, 2004). Ovde zahtevani nivo snage koji je potreban da podrži konekciju korisnika nije fiksna, nego zavisi od nivoa prisutnih smetnji. Na primer, u UMTS zemaljskoj radio-pristupnoj mreži (*UMTS Terrestrial Radio Access Network*, UTRAN) sa frekvencijskim dupleksom, za izvršenje određene usluge koristi se RF kanal širine 5 MHz u frekvencijskom opsegu 2 GHz, kao i par OVFSF (*Orthogonal Variable - Spreading Factor*) kodova (kodovi originalno predstavljeni u (Adachi, et al, 1997, pp.27-28.) i skrembling kodova. Pri tome predajna snaga varira tokom vremena zbog više elemenata koji su promenljivi, kao što su uslovi propagacije, smetnje i nivo opterećenja ćelije. U višeservisnom slučaju, svaki zaseban servis može zahtevati različitu količinu jedinica radio-resursa, a servisi sa većom bitskom brzinom po pravilu zahtevaju više jedinica. Zavisno od vrste pristupa, to se preslikava u dodatne frekvencijske opsege, vremenske prozore ili kodne sekvence i veće nivoe izračene snage.




Lokacija i projektovanje radio-resursa

Kao što je prikazano na slici 1, upravljanje radio-resursom vrši se i u radio-pristupnoj mreži i u mobilnom terminalu.



Slika 1 – Lokacija i upravljanje radio-resursom
 Figure 1 – Radio-resource location and control

Tipične lokacije određenih funkcionalnosti upravljanja radio-resursima u WCDMA (*Wideband Code Division Multiple Access*) mreži predstavljene su na slici 2.

Mobilni terminal	3G bazna stanica (NodeB)	Kontroler radio-mreže (RNC)
 MS	 Node B	 RNC
FUNKCIONALNOST		
	<ul style="list-style-type: none"> • upravljanje snagom 	
	<ul style="list-style-type: none"> • upravljanje hendoverom • upravljanje opterećenjem 	
		<ul style="list-style-type: none"> • upravljanje pristupom

Slika 2 – Lokacije upravljanja radio-resursom
 Figure 2 – Radio-resource management locations

Ciljevi upravljanja radio-resursom definišu se tako da omogućavaju izvršenje zadataka: garantovanje QoS za potrebe različitih aplikacija, održavanje planiranog pokrivanja i optimizaciju kapaciteta sistema. Nove usluge imaju različite potrebe, pa više nije moguće unapred tačno alocirati resurse ili u potpunosti dimenzionirati mrežu. Zbog toga se projektovanje upravljanja radio-resursom vrši kroz: konfiguraciju radio-resursa i rekonfiguraciju radio-resursa. Konfiguracija radio-resursa predstavlja alociranje resursa novim zahtevima, tako da ne dođe do zagušenja. Rekonfiguracija predstavlja ponovno alociranje resursa u mreži u slučaju rasta opterećenja ili kad počne zagušenje, i zadužena je da brzo vrati sistem u stanje sa ranije definisanim dozvoljenim opterećenjem.

Osnovne vrste algoritama za upravljanje pristupom

Mobilni telefoni postali su sveprisutni i koriste se u svim delovima sveta. Cene izgradnje fizičke infrastrukture bežičnih mreža znatno su manje nego kod fiksnih mreža, posebno na terenima koji su teško pristupačni. Zbog toga je u mnogim zemljama, a posebno zemljama u razvoju, izabrano bežično pokrivanje, koje se brzo širilo tako da je danas veća pokrivenost bežičnim signalom nego pokrivenost ostvarena pomoću infrastrukture fiksnih mreža. Uporedo s porastom broja korisnika, rastu i zahtevi za više različitih usluga. Korisnici žele da jednostavno pristupaju uslugama, kao što je elektronska pošta, instant messaging, surfovanje mrežom, čak video-streaming i video-konferencije (Samčović, 2011, pp.146-160), ali takođe i tradicionalnim uslugama, kao što je govorna telefonija i prenos kratkih poruka, sa bilo kojeg mesta. Različite multimedijalne usluge donose i različite zahteve u pogledu kvaliteta usluge. Pojava multimedijalnih aplikacija dovela je u mobilnim komunikacijama do prelaska sa mreža druge generacije (2G) na mreže treće generacije mobilnih komunikacija (3G) i uslovlila nova ulaganja u razvoj pristupnog dela i prenosa.

U fiksnoj mreži resursi se planiraju na statičan način, pa je i upravljanje resursom prilično jednostavno. Mobilne mreže donose mobilnost, koja podrazumeva i nepredviđena kretanja i moguća grupisanja korisnika. Mobilnost donosi nove kvalitete, kao što su sloboda korišćenja usluge u pokretu, ali i novi zadatak operatoru – očuvanje kontinuiteta usluge, odnosno pokrivanje teritorije od interesa signalom, te obezbeđivanje dovoljnog kapaciteta korisnicima i kvalitetno izvršavanje hendovera. To znači da usluga ne sme da se silom završi pri promeni ćelije.

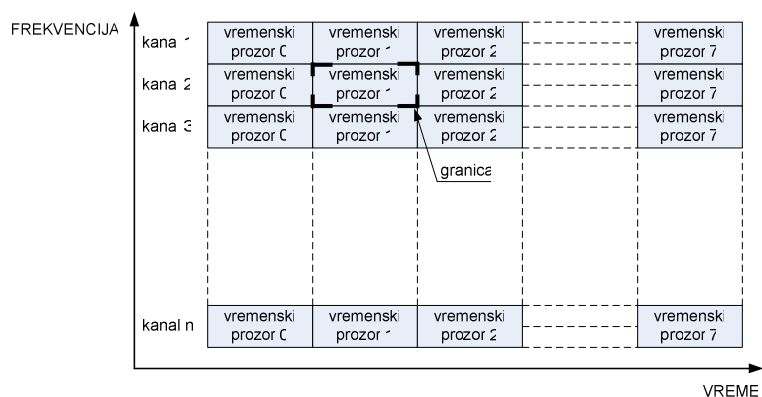
U 2G mrežama upravljanje resursima je prilično jednostavno: 2G mreže imaju takozvani „tvrđi“ kapacitet kojim se jednostavno upravlja i koji se lako drži pod kontrolom. U takvoj mreži kapacitet je ograničen brojem kanala, a algoritmi za upravljanje pristupom (*Call Admission Control*, CAC) uglavnom su razvijani kao algoritmi namenjeni za usluge prenosa govora, pa se odluka jednostavno svodi na prihvatanje ili odbacivanje zahteva.

Da bi se na strani korisnika kvalitet održao zadovoljavajućim i nove bežične mreže (3G i *Long Term Evolution*, LTE) održale ispod nivoa zagušenja potrebno je u mreži koristiti najsavremenije algoritme pristupa. To podrazumeva korišćenje različitih klasa usluge, kao i algoritam koji će obezbediti što manje odbačenih zahteva pri hendoveru i voditi računa o klasama usluga korisnika. Novina je i „meki“ (*soft*) kapacitet 3G mreža koji zahteva i suptilnije algoritme za upravljanje resursom. Naime, meki kapacitet kod WCDMA mreža čini da planiranje CAC algoritama postaje kompleksnije. Sistem je ograničen smetnjom, a broj konekcija ne određuje kapacitet ćelije. S druge strane, WCDMA mreža nema probleme alokacije frekvencija, pa je s te strane zadatak planiranja lakši. Pravilnom raspodelom resursa može se uštedeti na potrebnom broju baznih stanica i pomoći optimizaciji mreže uz umanjivanje efekata „disanja“ ćelije u WCDMA.

Upravljanje resursima u mrežama sa „tvrdim“ kapacitetom

Zbog prirode bežičnih mreža, koje su ograničene smetnjom, kao i fizičkim i regulatornim ograničenjima, radio-resursi, kao što su predajna snaga bazne stanice i korišćeni radio-spekter, ograničeni su. Da bi se obezbedile usluge s dobrim kvalitetom i velikim kapacitetom, potrebne su napredne metode deljenja raspoloživog radio-spektra na najefikasniji način. Ove metode deljenja spektra nazivaju se tehnikama višestrukog pristupa. One predstavljaju načine deljenja spektra na kanale i načine kako se ti kanali dodeljuju korisnicima sistema. Osnovna namena tehnika višestrukog pristupa jeste da se korisnicima obezbedi dovoljno resursa za prenos u situacijama kada se dostupni resursi dele na više korisnika koji istovremeno koriste sistem. Najčešće i osnovne tehnike višestrukog pristupa su raspodela vremena (*Time Division Multiple Access*, TDMA), raspodela frekvencija (*Frequency Division Multiple Access*, FDMA) i raspodela kodova (*Code Division Multiple Access*, CDMA) (Šunjevarić, 2004). Treba napomenuti da se u literaturi koja se bavi algoritmima za upravljane pristupom jedan vremenski prozor (time slot) u TDMA tehnici naziva kanal, u FDMA tehnici deo spektra naziva se takođe kanal, dok se u CDMA tehnici kanalom naziva dodeljeni kôd. Ove tehnike detaljnije su opisane u daljem tekstu.

U FDMA tehnici kanalom se smatra deo radio-spektra koji se privremeno dodeljuje za specifične primene, recimo za nečiji telefonski poziv. Ako na raspolaganju imamo propusni opseg B, koji je alociran da istovremeno opslužuje neke mobilne korisnike, onda će u FDMA tehnici taj opseg B biti podeljen u kanale u frekvencijskom domenu.



Slika 3 – GSM matrica kanala u potpunoj konfiguraciji
Figure 3 – GSM Channel Matrix for Full Rate

Svakom mobilnom uređaju dodeljuje se po jedan kanal za sve vreme trajanja poziva. U takvom FDMA sistemu veoma brzo dolazi do preopterećenja u slučaju intenzivnijih zahteva. FDMA je korišćen u starijoj, prvoj generaciji mobilnih sistema, kao što je AMPS sistem, NMT ili C-Netz u Nemačkoj u opsegu 450 MHz.

Tehnika višestrukog pristupa na bazi raspodele vremena (TDMA) omogućava pristup u vremenskom domenu, dodeljujući svakom korisniku, u drugom vremenskom prozoru, pravo da pristupi sistemu. Pri koncipiranju GSM sistema uzet je u obzir brzi ulazak u preopterećenje koje se događa u FDMA sistemu, zbog čega je iskorišćena kombinacija FDMA i TDMA pristupa radio-interfejsu. To rezultira dvodimenzionalnom matricom kanala, gde se na svaki frekvencijski kanal mapira 8 vremenskih kanala (ako je potpuna konfiguracija, „full rate”), ili 16 vremenskih kanala (ako je polovična konfiguracija, „half rate”) (Heine, 1998).

Prihvatanje konekcije u jednoj ćeliji utiče na druge konekcije u toj ćeliji. Kao što je prikazano na slici 3, kanal u GSM mreži ima sasvim jasno definisane granice i u vremenu (definisane vremenskim prozorom) i u frekvenciji (definisane frekvencijskim kanalom). Zbog toga se kaže da GSM, koji pripada 2G mrežama, sa kombinacijom FDMA i TDMA pristupa ima „tvrđi“ kapacitet. Za takve mreže određivanje kapaciteta je relativno jednostavno, a upravljanje resursima svodi se na kontrolu broja i na raspodeljivanje slobodnih kanala.

Algoritmi dodeljivanja radio-resursa ćelijama u 2G mrežama mogu se kategorizovati u tri grupe (Šunjevarić, 2004)], (Katzela, Naghshineh, 1996, pp.10–31), (Cardei, Du, 2005), (Haas, McLaughlin, 2011, pp.1831-1846): fiksno dodeljivanje kanala (*Fixed Channel Allocation*, FCA), dinamičko dodeljivanje kanala (*Dynamic Channel Allocation*, DCA) i hibridno dodeljivanje kanala (*Hybrid Channel Allocation*, HCA).

U FCA algoritmima, davalac usluge deli dostupan radio-spektar u nekoliko frekvencijskih opsega. Zatim se frekvencijski opsezi dodeljuju ćelijama prema planu ponovnog korišćenja. Kako je dodela kanala fiksna, mreža se ne može prilagoditi na fluktuacije saobraćaja u konekcijama. Iako je moguće da se razvije više planova za dodelu frekvencija za različite scenarije saobraćaja, mreža je još uvek ranjiva na neočekivana opterećenja u saobraćaju. Pozajmljivanje kanala je još jedan pristup za suočavanje sa fluktuacijama, ali smetnje od susednih kanala ograničavaju upotrebu ovog pristupa. Zbog lakoće implementacije, FCA algoritmi su masovno u upotrebi.

U DCA algoritmima svi dostupni radio-kanali su centralizovani i dodeljuju se ćelijama po potrebi. Iako se DCA algoritmi bolje prilagođavaju promenama u ponašanju saobraćaja nego FCA algoritmi, njihova kompleksnost i centralizovan mehanizam su glavni nedostaci. Takođe, pod uslovima velikog opterećenja saobraćaja, performanse DCA algoritama opadaju. Alternativa za DCA je prenos u proširenom spektru, pošto je

kod takvog prenosa izbegnuta međučelijska smetnja, budući da je zane-mariva verovatnoća da korisnici u susednim ćelijama koriste isti kôd.

HCA algoritmi kombinuju FCA i DCA algoritme radi prevazilaženja problema u oba pristupa. Skup kanala deli se na fiksni i dinamički podskup. Kanali u fiksnom podskupu koriste se koliko god je moguće, dok se dinamički podskup koristi za prilagođavanje fluktuacijama.

Upravljanje pristupom u 3G mreži zasnovano na brojanju korisnika

Direktna veza između broja korisnika i kapaciteta sistema je karakteristika upravo mreža s „tvrđim“ kapacitetom. Za sisteme sa tzv. „mekim“ kapacitetom ne postoji direktna veza između broja korisnika i raspoloživih kapaciteta za dolazne zahteve, a broj uslužanih korisnika zavisi od praga (*Signal-to-Interference Ratio*, SIR).

Međutim, i pored ove činjenice koristi se algoritam koji prati veoma jednostavan pristup u kojem se odluka o pristupu zasniva samo na broju korisnika koji su već prisutni u sistemu. Kod ovakvog algoritma nivo smetnje u radio-interfejsu niti se meri niti se procenjuje. Ovakav pristup predstavlja direktno preslikavanje strategija koje se koriste u 2G sistemima u kojim je kapacitet ograničen tvrđim granicama, a odluka se donosi na osnovu broja već prihvaćenih korisnika u sistemu.

Ovaj algoritam proglašava korisnika koji emituje određenom (referentnom) bitskom brzinom za konzumenta radio-resursa u količini opisanoj brojem jediničnih ekvivalenata radio-resursa (*Radio Resource Equivalent Unit*, RREU). Zavisno od potrebne brzine prenosa, svaki korisnik koristi više ili manje RREU jedinica. Zavisno od praga dozvoljavanja pristupa, definiše se maksimalan broj RREU jedinica (R^*) koje sistem može da prihvati, što se u primeni konkretno preslikava na tačno određen broj korisnika (Perez-Romero, et al, 2005). Ako u sistemu već postoji N korisnika kojima je dozvoljen pristup, tada se $(N+1)$ -om korisniku dozvoljava pristup ako je zadovoljen uslov:

$$\sum_{i=1}^N R_i + R_{N+1} \leq R^* \quad (1)$$

gde je:

R_i – broj ekvivalentnih jedinica radio-resursa koje je zauzeo i -ti korisnik u ćeliji,
 R_{N+1} – broj ekvivalentnih jedinica radio-resursa koje zahteva $(N+1)$ -vi korisnik,
 R^* – predefinisani maksimalan broj RREU jedinica koje sistem može da prihvati.

Ovaj algoritam predstavlja rešenje koje je lako za implementaciju. S druge strane, odluke o dozvoli pristupa odvojene su od aktuelnog stanja radio-interfejsa unutar ćelije, pa se povremeno javljaju pogrešno procenjena odbacivanja i prihvatanja zahteva i pojava nepotpunog iskorišćenja resursa.

Pregled metoda upravljanja resursima koje se koriste u savremenim bežičnim mrežama

U dosadašnjim istraživanjima algoritama upravljanja pristupom u bežičnim mrežama, najšire gledano, izdvojile su se deterministička i stohastička metoda, kao dve osnovne metode.

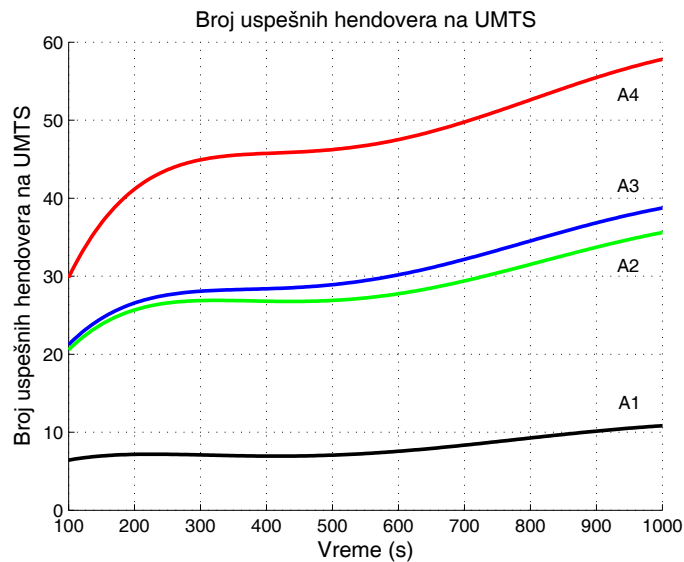
Deterministički algoritmi podrazumevaju da se korisniku garantuju QoS parametri za vreme trajanja konekcije. Međutim, ovakav pristup problemu održavanja kvaliteta usluge zahteva potpuno poznavanje nekih sistemskih parametara, kao što je, na primer, putanja kretanja korisnika (radi garantovanja kvaliteta kroz čitavu buduću putanju), što nije praktično, a i teško je izvodljivo u primeni. Zapravo, da bi se garantovao kvalitet na čitavoj budućoj putanji ili na dovoljno velikom delu buduće putanje (gde se obezbeđuje garancija da korisnik uskoro neće naići na područje gde nema dovoljno resursa) potrebno je unapred rezervisati znatan deo resursa za jednog korisnika, a inače bi se taj deo resursa mogao koristiti u druge namene. S tim u vezi, važno je napomenuti da postoje i stohastički CAC algoritmi koji predviđaju putanje kretanja korisnika, kao što su algoritmi predstavljeni u (Al-Monayyes, AboEIFotoh, 2002, pp.15-26), (Malarkkan, Ravichandran, 2006, pp.937-943).

U stohastičkim CAC algoritmima, QoS se ne garantuje stoprocentno, nego s određenom verovatnoćom (Aboelaze, Elnaggar, 2004, pp.505-508). Zbog toga stohastički algoritmi, po pravilu, imaju veći stepen iskorišćenja resursa nego deterministički algoritmi (Glišić, 2006).

Stohastički algoritmi razvili su se u dva osnovna pravca: algoritmi bez prioriteta i algoritmi sa prioritetoj koji daju veći prioritet konekcijama koje su već aktivne, nego novim konekcijama. U algoritme sa prioritetoj spadaju algoritmi sa pozajmljivanjem. Ovi algoritmi, sa pozajmljivanjem propusnog resursa, predstavljeni su u (Aboelaze, et al, 2005, pp.71-75), a algoritam može da pozajmljuje i postojeće korisnike okolnim rasterećenim ćelijama, kao što je predstavljeno u (Mishra, et al, 2006). Kod nekih algoritama nije precizirano da li se prioritet daje samo hendover konekcijama ili se u situaciji zagušenja svim konekcijama pruža mogućnost da pozajme resurse od postojećih, kao što je algoritam predstavljen u (Mishra, et al, 2006), a u kojem se predlaže arhitektura fiksno-mobilne konvergencije korišćenjem femtoćelija i koncept mekog QoS za upravljanje

resursima. Zato bi ovaj algoritam mogao da se svrsta i u kategoriju pozajmljivanje bez prioriteta. U algoritme sa prioritetoj takođe spadaju i algoritmi sa stavljanjem zahteva na čekanje, kao što su algoritmi predstavljeni u (Zhang, 2008, pp.4154-4159) i (Tsai, T.M., 2008, pp.1-4) ili genetski algoritam iz (Hong, et al, 2006, pp.568-580), kao i algoritmi sa rezervacijom, kao što su (Kim, 2005, pp.3088-3094) i (Chen, Fang, 2003, pp.2830-2834).

Algoritmi sa rezervacijom resursa dalje su se razvili u algoritme sa statičkom rezervacijom i algoritme sa dinamičkom rezervacijom. Kod algoritama sa statičkom rezervacijom količina rezervisanih resursa je fiksna. Zbog toga ih karakteriše manje iskorišćenje resursa, jer su rezervisani resursi u nekim situacijama potrebni, ali se ne koriste. S druge strane, dinamički algoritmi dinamički prilagođavaju veličinu rezervacije, bazirano na proceni ili merenjima trenutnog opterećenja. Dinamičko prilagođavanje rezervacije može da se vrši na osnovu lokalnih informacija dostupnih unutar ćelije (i tada je to lokalna grupa algoritama). Razvijena je i grupa algoritama koja koristi i informacije iz susednih ćelija za dinamički prag rezervacije. Ovakva grupa može da se svrsta u regionalni tip algoritama, jer koristi informacije iz više ćelija. Lokalni algoritmi mogu delovati na osnovu nekog događaja u ćeliji i tada su to reaktivni algoritmi. Lokalni algoritam takođe može delovati na osnovu predviđanja događaja i tada je to proaktivna grupa algoritama.



Slika 4 – Broj uspešnih hendovera na UMTS
 Figure 4 – Number of successful handovers to UMTS

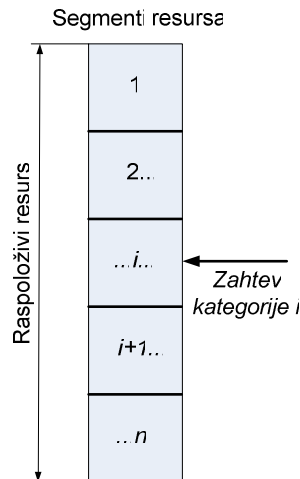
U radu (Djukanovic, et al, 2010, pp.1645-1650) istražena je primena novog stohastički baziranog algoritma zasnovanog na reaktivnom lokalnom dinamičkom upravljanju sa rezervacijom i definisanjem prioriteta. Deo rezultata tih istraživanja za UMTS sistem, koji ilustruje ostvarene prednosti predloženog algoritma u odnosu na druge algoritme, prikazan je na slici 4, pri čemu je vršena simulacija za broj uspešnih hendovera, posebno za svaki od četiri algoritma. Oznake koje su korišćene na slici 4 su: A1 - Algoritam bez optimizacije, A2 – Optimizovani algoritam sa kontrolom i preraspodelom resursa, A3 – Algoritam degradacije po klasama prioriteta, A4 - Novi dinamički DG CAC algoritam.

Broj ostvarenih hendovera ograničen je količinom slobodnih resursa u ćeliji u momentu kada je napravljen zahtev, što zavisi od upotrebljenog algoritma. Predloženi algoritam A4 ostvario je najveći broj uspešnih hendovera. Nešto manji broj hendovera ostvaren je upotrebom algoritma A3, a još manji uz upotrebu A2 algoritma. Algoritam A1 ostvario je najmanji broj hendovera tokom vremena simulacije, što je u skladu sa očekivanjima, jer je to algoritam sa najmanjim stepenom pregovaranja (konkretno bez pregovaranja).

CAC algoritmi su aktivna i savremena oblast istraživanja, pa shodno tome stalno evoluiraju. U većini slučajeva CAC algoritmi funkcionišu na osnovu degradacije konekcija, stavljanja zahteva u redove čekanja ili na osnovu pozajmljivanja resursa i korisnika. Korišćenje tih metoda radi se u slučaju nedostatka resursa, a kroz korišćenje skupa predefinisanih pravila, tako da mreža može da prihvati zahteve za konekciju (kako novu tako i zahteve u hendoveru) koji imaju veći nivo prioriteta. Najjednostavniji način upravljanja resursom bio bi da se zahtevi prihvate ako ima resursa, a da se odbiju ako resursi nisu dovoljni. To predstavlja osnovnu vrstu best-effort algoritma, koji se pokazuje kao relativno dobar za održavanje kapaciteta mreže ispod stepena zagušenja, ali radi na način koji ne zadovoljava dolazne zahteve sa velikim potrebama po pitanju resursa za prenos. Kod ovog algoritma, ako nema dovoljno raspoloživih resursa, zahtev (koji može biti i zahtev za relativno veliku brzinu prenosa) biće odbačen bez ikakvih mogućnosti za pregovaranje. Nema nikakvog pregovaranja i ne poštuju se klase usluge. Kod ovakvog algoritma ne postoji dodeljivanje prioriteta i klasifikacija zahteva, odnosno svi su zahtevi istog prioriteta. Time je rasipanje resursa izvesno, što će u ishodu imati za rezultat povećano nezadovoljstvo korisnika.

Raspoloživi resursi u prenosu mogu se deliti i na diskretne segmente kako bi se unapredio best-effort metod i poštovali prioriteta zahteva. U ovakvim rešenjima zahtevi se prema prioritetu grupišu u određene kategorije, a resurs se deli tako da se svakoj kategoriji dodeli deo resursa. Zahtev za konekcijom kategorije „i“ može biti odobren samo ako u segmentu „i“ ima dovoljno resursa. U suprotnom, zahtev se odbacuje (slika 5). I ovde,

zbog segmentiranja, postoji mogućnost da zahtev kategorije „i“ bude odbačen, jer nema dovoljno resursa u segmentu „i“, iako u drugom segmentu ima dovoljno resursa, pa je nedostatak očigledan i ogleda se u nedovoljnom iskorišćenju raspoloživih resursa.



Slika 5 – Grupisanje zahteva u kategorije
Figure 5 – Grouping of requests into categories

Naučna istraživanja su se vremenom grupisala na nekoliko oblasti, što je predstavljeno kroz prikaz razvoja stohastičkih algoritama u radovima (Ghaderi, Boutaba, 2006, pp.69-93), (Adachi, et al, 1997, pp.27-28), (Bakmaz, Bojković, 2007). Neki od tih algoritama, posebno nešto starije grupe algoritama, sortirani u podelama učinjenim u ranijim radovima, pripadaju striktno 2G mrežama, kao što je recimo algoritam sa pozajmljivanjem kanala, koji je opisan u (Kyriazakos, Karetsos, 2004). Za neke od ovih algoritama, ideja na kojoj su zasnovani može da se iskoristi, kako u 2G, tako i u 3G mrežama, ali i u novijim heterogenim bežičnim mrežama. Postoje razlike u kapacitetu i vrsti kapaciteta (meki, tvrdi), mada su mnogi mehanizmi preslikani, pa su primenjeni slični pristupi u razvoju algoritama za mreže sledećih generacija. Postoji više vrsta algoritama koji su predloženi za CDMA sisteme (Kyriazakos, Karetsos, 2004), kao što su algoritmi zasnovani na merenju ukupne primljene snage na NodeB (Badia et al, 2002, pp.121-126), (Redana, Capone, 2002, pp.2206-2210), zatim algoritmi zasnovani na ograničavanju smetnje koju generišu nove konekcije (Lui, Zarki, 1994, pp.638-644), kao i algoritmi zasnovani na proceni faktora opterećenja (Holma, Laakso, 1999, pp.431-435), (Gunnarsson, et al, 2002, pp.3091-3095), (Ayyappan, Kumar, 2010, pp.66-70), (Ayyappan, Kumar, 2010, pp.10-19).

Neki od tih algoritama su generalno namenjeni za WCDMA sisteme, dok su neki sa konkretnom namenom upravo za UMTS sistem (Dimitriou, et al, 2000, pp.1420-1424), (Capone, Redana, 2001, pp.959-929), (Aktar, et al, 2001, pp.133-137). Postoje i pristupi, gde se CAC algoritam vezuje za resurs (kanal, kod, snaga), ali istovremeno i za politiku cene usluge, te se na taj način pokušavaju izbeći zagušenja mreže. U takvim algoritmima CAC se integriše sa tarifnom politikom, cena postaje upravljački element za upravljanje zagušenjem, a cenom se podstiču korisnici da efikasno koriste resurse. Najčešće se definiše "normalna" cena i povećana cena u času najvećeg opterećenja, kao što je predloženo u (Hou, et al, 2002, pp.898-910).

Odbijanje korisničkog zahteva, ako je poziv u toku (handover), više uznemirava korisnike nego blokiranje novih zahteva (Tugcu, Ersoy, 2001). Zbog toga se u većini algoritama zahtevima za handoverom daje veći prioritet (algoritmi sa prioriteto). Prioritet handovera nad novim zahtevom često se ostvaruje ostavljanjem zaštitnog resursa (guard bandwidth) koji može da se koristi samo za zahteve koji dolaze u handoveru (rezervacija) (Leong, et al, 2006, pp.654-669), (Zaim, 2003, pp.271-283).

U 2G algoritmima s pozajmljivanjem kanala, određena ćelija (primatelj), može da pozajmi slobodne kanale od suseda-davalaca da bi se obezbedio uspešan handover (Adachi, et al, 1997, pp.27-28), (Chang, et al, 1996, pp.1168-1172), (Wu, Yeung, 1998, pp.126-131). U (Wu, et al, 2003, pp.531-536) autori prate smer kretanja korisnika da bi se predvidele sledeće ćelije, te napravila rana rezervacija resursa pre nego što korisnik stigne u ćeliju i nastupi handover. Ovakvi algoritmi u literaturi su poznati kao PCR (*Predictive Channel Reservation*) algoritmi. Predrezervacija se radi kada se mobilni telefon nađe na određenoj udaljenosti od granice nove ćelije. Autori koriste prag rastojanja i prag vremena za raniju rezervaciju, pa pretpostavljaju tehnologiju za pozicioniranje u realnom vremenu. Takođe, razmatra se tehnika pozajmljivanja kanala iz rasterećenih (hladnih) ćelija u opterećene (vruće) ćelije, ali ne i pozajmljivanje resursa u prenosu od postojećih konekcija.

Kada se pozajmljuju kanali u 2G mreži, u nekoliko okolnih ćelija zabranjuje se korišćenje pozajmljenog kanala da bi se eliminisala smetnja (zaključavanje kanala). Broj ćelija u kojima se kanal zaključava zavisi od oblika ćelija, ali i od vrste početnog alociranja kanala po ćelijama. Tako, na primer, za heksagonalne ćelije sa faktorom višestrukog korišćenja jednakim tri, kanal se zaključava u tri susedne ćelije.

Algoritmi s pozajmljivanjem kanala mogu se grupisati na jednostavne i hibridne algoritme. Kod jednostavnih algoritama svaki nominalni kanal u nekoj ćeliji može pozajmiti susedna ćelija za privremenu upotrebu. U hibridnoj metodi skup kanala dodeljenih svakoj ćeliji deli se u dve grupe: grupa A i B (kanali B grupe mogu da budu pozajmljeni susedima).

Postoje i metode koje su konceptualno slične pozajmljivanju kanala, odnosno takođe se radi rasterećenje „vrućih“ opterećenih ćelija, ali ne na način da se direktno pozajmljuju kanali iz susednih ćelija, nego se konekcije prosleđuju susednim rasterećenim ćelijama putem relejnog prenosa preko terminala koji su trenutno neaktivni. Ti neaktivni terminali se u tim trenucima koriste kao releji. Autori u (Khadivi, et al, 2006, pp.1996-2001) predložili su samoorganizujuću metodu koja može poboljšati proces hendovera u smislu boljeg iskorišćenja resursa i performansi neosetnog hendovera. Metod je zasnovan na mobilnim ad hoc relejnim mrežama da bi se napravio neosetan vertikalni hendover u hibridnim mrežama. Takođe, na ovaj način umanjuje se verovatnoća odbacivanja hendover zahteva kroz prosleđivanje preko ad hoc relejne mreže. Drugim rečima, autori pokazuju da je moguće efikasno koristiti neaktivne mobilne terminale kao relejne stanice kako bi se preusmerio saobraćaj iz ćelija pod opterećenjem u susedne ćelije (Khadivi, et al, 2008, pp.307-324).

U algoritmima sa stavljanjem u red čekanja, zahtev za hendoverom stavlja se na čekanje ako nema nijednog slobodnog kanala u ciljnoj ćeliji (Baloch, et al, 2007, pp.387-389), što se radi na račun povećanja blokiranja novih zahteva. U nekim algoritmima zahtevu u hendoveru dozvoljava se da nadvlada novi zahtev, a novi zahtev se ostavlja u redu čekanja dok se ne pojave slobodni resursi (Ojesanmi, Famutimi, 2009, pp.260-265).

U multimedijalnim komunikacijama neki zahtevi za većim brzinama prenosa ne moraju biti strogo čvrsti zahtevi i mogu privremeno prihvatiti da konekcija bude s manjom brzinom prenosa. Takva situacija može da se iskoristi, ali su za to potrebni nešto kompleksniji algoritmi.

Rezervacija resursa

Mnogi autori bavili su se temom rezervisanih resursa radi definisanja prioriteta hendovera nad novim zahtevom, a za primer mogu poslužiti (Hong, Rappaport, 1986, pp.77-92), (Lin, et al, 1994, pp.704-712), (Chiu, Bassiouni, 2000, pp.510-522), (Ghaderi, 2006), (Fang, 2002, pp.371-382).

Metode sa rezervisanim kanalima, ili uopšteno rečeno rezervisanim resursima, u literaturi su poznate kao ili GC (*Guard Channel*) metode (Ramjee, et al, 1996, pp.43- 50).

Algoritmi sa statičkom rezervacijom često rezultiraju lošim iskorišćenjem resursa, a u nekim situacijama direktno na štetu novih zahteva, ako nepotrebno velika rezervacija podiže stepen blokiranja zahteva. Zbog toga se ova istraživanja nisu posebno dalje ni razvijala. Visina statičkog praga (postotak resursa koji se rezerviše samo za potrebe hendovera) uvek zavisi od potreba na terenu, pa je mnogo uputnije koristiti dinamički prag. Potrebu postavljanja dinamičkog praga možemo ilustrovati sa dva ekstremna slučaja. Prvi je teren, koji predstavlja klasično ruralno naselje koje ima malu gusti-

nu naseljenosti, a kretanje (lokalnog stanovništva i vozila u prolazu) jeste manjeg intenziteta, tako da je očigledno da će zahtevi za hendoverom biti relativno retki. Zbog toga je potrebno da se prag zagušenja ostavi visoko, odnosno da deo resursa koji se statički rezerviše samo za potrebe hendovera bude relativno mali. Drugi slučaj može da se predstavi primerom veoma prometne saobraćajnice. Stepenn prolazaka vozila je veoma veliki, pa se može očekivati jako veliki broj zahteva za hendoverom. Zbog toga je potrebno da se prag zagušenja ostavi nisko, odnosno da deo resursa koji se statički rezerviše samo za potrebe hendovera – bude veliki.

Zbog navedenih razloga u algoritme se ugrađuje dinamički prag koji se prilagođava potrebama na terenu, na primer ako se na određenoj lokaciji pojavljuje mnogo zahteva za hendover konekcije, onda se deo resursa koji se ostavlja samo za hendover može dinamički povećati.

Kod 2G mreža u algoritmima sa dinamičkom rezervacijom dinamički se prilagođava optimalan broj rezervisanih kanala (Naghshineh, Schwartz, 1996, pp.711-717), (Moorman, Lockwood, 2001, pp.3698-3703), (Levine, et al, 1997, pp.1-12. On ne može biti fiksna, jer ulazni saobraćaj u realnom okruženju nije stacionaran proces. Stepenn dolazaka zahteva za hendover ne zavisi od stepena dolazaka zahteva za novu konekciju. Zbog toga je optimalan broj rezervisanih kanala potrebno prilagođavati promenama uslova u saobraćaju (Beigy, Meybodi, 2005, pp.132-151). Za ovakve potrebe mogu se koristiti adaptivni algoritmi.

Kod dinamičke rezervacije, u nekim algoritmima, koristi se i procena ćelija koje su na budućoj putanji korisnika, pa se resursi tih ćelija unapred rezervišu. Kako je korisnička putanja nezavisna od planiranja spektralnih resursa nije moguće tačno poznavati skup ćelija koje će korisnik posetiti za vreme trajanja konekcije. Međutim, može se napraviti dobra procena ako se razmotri činjenica da se korisnik s većom verovatnoćom kreće prema nekom odredištu nego da pravi sasvim slučajna kretanja. Zbog toga se putanja koju prati korisnik može modelovati kao spoj više segmenata linije, a oblast rezervacije može biti sačinjena na osnovu ove procenjene putanje. Tada performansa mreže zavisi od toga koliko blizu procena kretanja odgovara stvarnoj putanji korisnika. Iako nije garantovano, koristi se činjenica da je veoma verovatno da će korisnik ostati u ovoj oblasti rezervacije u skoroj budućnosti. Ako je oblast rezervacije veoma velika, veoma je verovatno da će stvarna putanja korisnika biti i pokrivena oblašću rezervacije, te konekcija opstaje, ali tada nove konekcije u ćeliji u toj oblasti rezervacije trpe zbog nepotrebnih rezervacija. S druge strane, ako je oblast rezervacije premalena da pokrije stvarnu putanju, raste verovatnoća da konekcija može biti odbačena kada korisnik napusti oblast rezervacije. Oblast rezervacije koja bi pokrivala korisničku putanju tokom trajanja buduće konekcije ne može se konstruisati za vreme uspostavljanja konekcije. Postoji nekoliko razloga: trajanje konekcije nije unapred poznato, oblast takve rezervacije bila bi veoma velika, velika je neizvesnost određivanja

buduće putanje unapred, rezervacije u ćeliji za koju se pretpostavlja da će biti posećena pred kraj konekcije biće nepotrebno izvršene suviše rano, pa su ti resursi bespotrebno zauzeti tokom dužeg perioda.

Zbog ovih razloga oblast rezervacije treba konstruisati tako da pokrije kratak period konekcije i da napreduje postepeno sa kretanjem korisnika. To će učiniti oblast rezervacije manjom i tačnijom. Zbog toga će manje resursa biti zaključano za handover konekcije, rezultirajući u manjem stepenu blokiranja konekcija.

Ako posmatramo načine na koje handover zahtevi utiču na dinamički rezervisane resurse, mogu se razlikovati dva pristupa: nedeljivi i deljivi pristup. U nedeljivom pristupu svi ranije rezervisani resursi (rezervacije koje su načinjene kada je mobilni terminal bio u blizini ćelije, u oblasti predrezervacije) striktno se čuvaju za određeni mobilni terminal, koji je i uradio raniju rezervaciju resursa. Zbog toga neki drugi zahtev za handoverom može biti odbačen ako su svi resursi bilo utrošeni bilo samo rezervisani. Postoji i opasnost postojanja velikog broja lažnih rezervacija ako je oblast predrezervacije prevelika ili ako se mobilni terminal kreće malom brzinom, promeni smer i slično.

U deljivom pristupu resursi se grupno čuvaju za alokaciju bilo kojem terminalu. Mobilni terminali kojim je potreban handover rezervišu resurse kada su u blizini oblasti predrezervacije. Rezervisani resursi grupišu se u grupe i po nailasku se dodeljuju terminalima koji prvi pređu granicu i zaista uđu u ćeliju, a ne obavezno onim koji su i izvršili rezervaciju. Time se smanjuje količina rezervacija koje se bespotrebno čuvaju. Postoje metode sa konstantnom oblašću predrezervacije (Moorman, Lockwood, 2001, pp.3698-3703) i metode sa promenljivom oblašću predrezervacije (Ye, et al, pp.798-822).

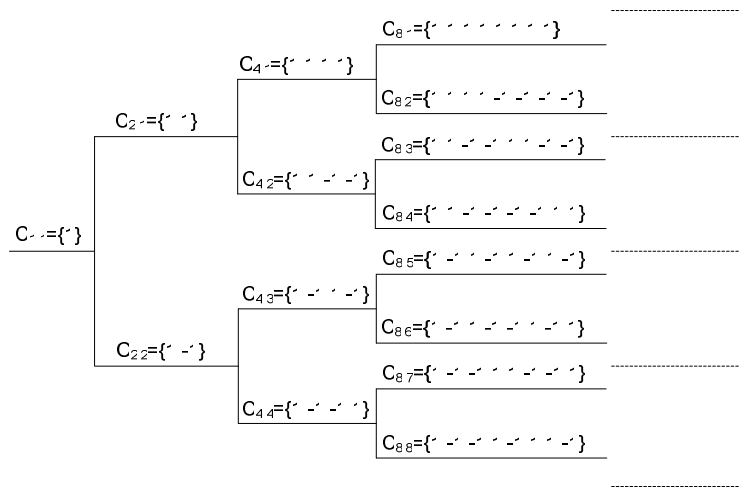
Uticaj načina raspodele OVVSF kodova na broj prihvaćenih zahteva u WCDMA mreži

OVVSF kodovi su međusobno ortogonalni kodovi sa promenljivim faktorom proširenja, pa se njihovim korišćenjem u WCDMA mrežama omogućava primena različitih brzina prenosa kod multimedijalnih usluga. Oni imaju promenljivu dužinu, tako da se korišćenjem manjeg faktora proširenja postižu veće brzine prenosa i obratno. Efikasnoj raspodeli ovih kodova posvećen je značajan broj radova u poslednjih nekoliko godina, radi maksimiziranja kapaciteta sistema, odnosno smanjivanja verovatnoće odbijanja zahteva za konekcijom. Da bi upravljanje kapacitetom u pristupu bilo sveobuhvatno, algoritmi raspodele OVVSF kodova najčešće se projektuju udruženo sa CAC algoritimima.

U WCDMA sistemu spektar korisničkog signala se prvo širi pomoću kanalskog koda, a zatim se dodatno koduje skrembling kodom, pri čemu skrembling kôd ne vrši dalje širenje spektra (Holma, Toskala, 2004),

(Minn, Siu, 2000, 1429-1440), (Chan, et al, 2007, pp.55-61). Svakom mobilnom terminalu dodeljuje se jedinstven skrembling kôd (po kojem se terminali razlikuju u povratnom smeru), kao i skup kanalskih kodova, pa svaki korisnik može koristiti kompletan skup dodeljenih mu kanalskih kodova. S druge strane, kako bazna stanica u direktnom smeru koristi isti skrembling kôd pri prenosu podataka prema većem broju korisnika, svaki korisnik treba da koristi kanalski kôd koji je ortogonalan u odnosu na sve druge. U području pokrivanja jedne bazne stanice svaki korisnik treba da ima ortogonalan kôd u odnosu na ostale korisnike, pa upravljanje raspodelom ovih kodova postaje važan faktor u direktnom smeru.

Konačni rezultat širenja spektra korisničkog signala kanalskim kodom jeste signal koji je iste brzine kao i brzina čipa (koja u UMTS iznosi 3,84 Mchip/s). Kanalski kôd koristi se i u direktnom i u povratnom smeru za razdvajanje kanala sa jednog predajnika. Drugim rečima, kanalski kôd u povratnom smeru koristi se za razdvajanje fizičkog, tj. transportnog i upravljačkog tj. signalizacionog kanala od istog korisničkog terminala. U direktnom smeru, kanalski kôd se koristi za razdvajanje konekcija ka različitim korisnicima unutar jedne ćelije (Akl, Nguyen, 2006, pp.40-49). Korisnici dele isti skup kodova u toj ćeliji. Skrembling kôd koristi se i u direktnom i u povratnom smeru za razdvajanje različitih predajnika.



FAKTOR PROŠIRENJA	SF=1	SF=2	SF=4	SF=8	...	SF=512
KAPACITET KODA	512 · R _b	256 · R _b	128 · R _b	64 · R _b	...	R _b
NIVO KODNOG STABLA	0	1	2	3	...	9

Slika 6 – OVSF kodno stablo
Figure 6 – OVSF code tree

Korišćenje OVFSF kodova omogućava da se menja faktor proširenja, te da se održava ortogonalnost među kodovima različite dužine. Da bi ortogonalnost funkcionisala, signali moraju biti dobro sinhronizovni u vremenu. Iz tog razloga u direktnom smeru propagacija signala po višestrukim putanjama može uzrokovati da se deo ortogonalnosti izgubi. OVFSF kodovi mogu se predstaviti uz pomoć binarnog kodnog stabla (slika 6.) (AlQahtani, 2011), (Yang, Yum, 2004, pp.781-792).

Svaka grana kodnog stabla predstavlja jedan OVFSF kôd (SF, k), gde je SF – faktor proširenja, a k – broj koda. Svi kodovi sa istim faktorom proširenja nalaze se na istom nivou kodnog stabla. Nivo kodnog stabla izražava se kao $\log_2(\text{SF})$, pa se nivou numerišu od 0 do $\log_2(\text{SF}_{\text{max}})$, gde je $\text{SF}_{\text{max}} = 512$ za direktni smer. Drugim rečima nivou se numerišu od 0 do 9. Kodu sa faktorom proširenja 512 odgovara jedinična brzina prenosa R_b , a svakom narednom kôdu sa nivoom kodnog stabla $\log_2(\text{SF})$, odgovara brzina prenosa $(\text{SF}_{\text{max}}/\text{SF}) \cdot R_b$. Broj OVFSF kodova sa najvećim faktorom proširenja $c = \text{SF}_{\text{max}}$, predstavlja NodeB kapacitet, te NodeB generalno raspolaže, sa stanovišta ukupne brzine prenosa podržane kodovima, ukupnim resursom koji iznosi $c \cdot R_b$. Broj koda, k, uzima vrednosti od 1 do SF (postoji SF kodova sa faktorom proširenja SF), kao što je prikazano na slici 6. U UMTS sistemu koriste se faktori proširenja od 4 do 512 u direktnom smeru (uz ograničeno korišćenje faktora 512), te 4 do 256 u povratnom smeru. Brzina prenosa podataka koju kôd može da podrži naziva se kapacitet.

Signali sa bazne stanice prema različitim korisnicima razdvajaju se uz pomoć različitih OVFSF kodova, pa s te strane postoji ograničenje u smislu maksimalnog broja istovremenih konekcija koje mogu biti prihvaćene, zavisno od procesnog pojačanja koje konekcije koriste.

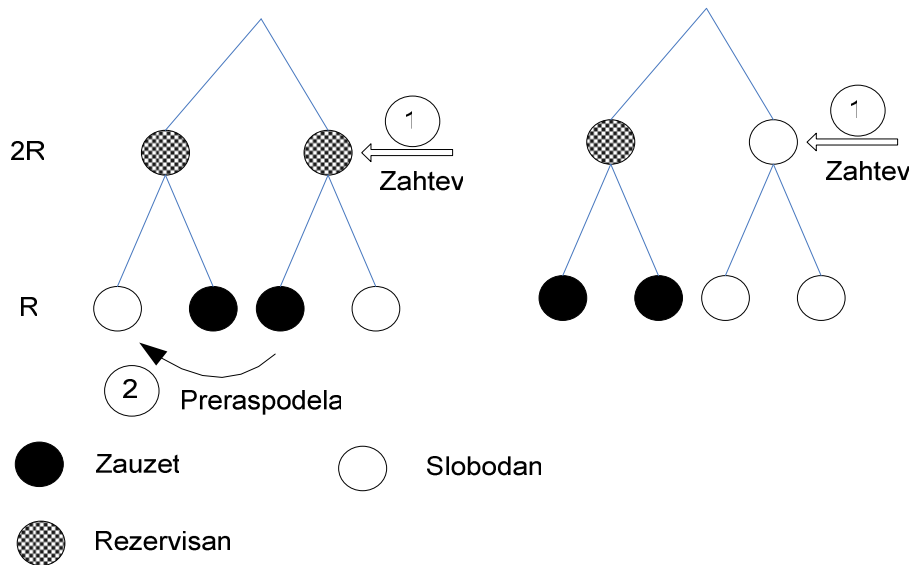
Informaciona brzina raste sa opadanjem faktora proširenja, pod uslovom da je brzina generisanja čipova nepromenjena. Međutim, sa opadanjem faktora proširenja konzumira se više resursa sa kodnog stabla zbog zadržavanja ortogonalnosti. Upotreba OVFSF kodova omogućava dosta jednostavnu promenu brzine prenosa, ali može uzrokovati problem nedovoljnog broja kodova.

Ako se posmatra procedura po kojoj se generiše kodno stablo, jasno je da nije moguće istovremeno koristiti sve kombinacije kodova. Par kodova je ortogonalan samo ako se nalazi u nezavisnim granama stabla. Zbog te restrikcije, kad god se neki kôd dodeli određenoj konekciji, u toku tog perioda ne mogu da se koriste kodovi iz prethodnih niti iz narednih grana kodnog stabla. Očigledno nije moguće koristiti istovremeno sve kombinacije faktora proširenja. Dozvoljene istovremene kombinacije ortogonalnih kodova za n konekcija određene su Kraftovom nejednakošću:

$$\sum_{j=1}^n \frac{1}{\text{SF}_j} \leq 1 \tag{2}$$

SFj predstavlja faktor proširenja koda dodeljenog konekciji j. Na primer, za 9 konekcija nije moguće svim konekcijama dodeliti SFj=8 (jer prema nejednačini (2), suma iznosi $9/8 > 1$), ali je moguće dodeliti npr. 6 sa SFj = 8 i 3 sa SFj = 16 (jer je $6/8 + 3/16 = 15/16 < 1$).

Svi kodovi na jednom nivou kodnog stabla su međusobno ortogonalni. Kodovi nisu ortogonalni na svoje prethodnike i naslednike. U opštem slučaju postoje dva različita pristupa za dodelu kodova i obezbeđivanje prenosa podataka različitim brzinama prenosa. Prvi pristup podrazumeva da su svi kodovi međusobno ortogonalni i koriste se samo kodovi sa faktorom proširenja 512 (*Orthogonal Constant Spreading Factor, OCSF*). Da bi se koristila manja brzina prenosa, korisniku se dodeljuje više istih kodova, ali zbog toga mu je potrebno onoliko primopredajnika koliko kodova namerava da koristi, što u ovom slučaju predstavlja značajan nedostatak. U drugom pristupu (OVSF) koristi se samo jedan kôd po korisniku, ortogonalan sa kodovima koje koriste ostali korisnici. To povećava blokiranje kodom, što ukazuje na značaj mehanizama upravljanja raspodelom kodova.



Slika 7 – Blokiranje kodom
Figure 7 – Code blocking

Blokiranje kodom predstavlja nedostatak slobodnog koda, u situacijama kada kodno stablo zapravo ima dovoljan slobodan kapacitet, ali zbog fragmentacije kodova trenutno ne može dodeliti potreban kôd korisniku, kao što je prikazano na slici 7. Fragmentacija u nivou sa brzinom R uzro-

kovala je da su kodovi sa brzinom 2R rezervisani i ne mogu da se raspodele. Međutim, dovoljno je da se jedan kôd u nivou R preraspodeli, i zahtev za brzinu 2R može se prihvatiti. Jednostavnom preraspodelom rešen je problem blokiranja koda i zahtev sada neće biti odbačen. Blokiranje kodom nastaje i zbog fragmentacije kodova, koja može biti interna i eksterna (Saini, et al, 2008, pp.143-147). Kada korisnici napuštaju mrežu, kodovi nasumično postaju slobodni, i to na nepredvidivim mestima u kodnom stablu, što predstavlja eksternu fragmentaciju. Interna fragmentacija nastaje zbog kvantizacije brzina koje se dodeljuju, pa tako, na primer, ako je korisniku potrebna brzina prenosa 86kb/s, biće mu dodeljen kod za brzinu 128kb/s (prva veća brzina od 64), jer se dodeljuju brzine koje predstavljaju stepen broja 2. Uticaj fragmentacije umanjuje se korišćenjem različitih strategija dodeljivanja i ponovnog dodeljivanja kodova, odnosno pregrupisanja, prikazanih u većem broju radova kao što su (Saini, et al, 2008, pp.143-147), (Minn, Siu, 2000, pp.1429-1440) i (Askari, 2011, pp.151-156).

Zaključak

S obzirom na veliki značaj upravljanja resursom u bežičnim mrežama, kao i značaj pravilnog izbora algoritma za upravljanje, u ovom radu izvršena je komparativna analiza algoritama za upravljanje pristupom u mobilnim bežičnim mrežama. Posebna pažnja posvećena je algoritmima za upravljanje pristupom u WCDMA mreži. S tim u vezi, razmatrane su i neke posebnosti ove tehnologije, koje utiču na izbor načina rada algoritma. U radu su, radi celovitog pregleda, dati pregled i kritički osvrt na pravce razvoja algoritama za upravljanje pristupom. Kao što se vidi, tokom vremena ovi algoritmi su se razvili u mnogim pravcima. Neki od njih su prestali da se razvijaju dalje, a kod nekih pravaca posebno je iskazan interes naučne i stručne javnosti, pa je bilo i mnogo prikazanih rezultata. Takođe, ukazano je na prednosti, ali i na nedostatke pojedinih od navedenih algoritama. Kao što se vidi iz navedenih referenci, veliki broj radova, od kojih su neki sasvim novi, posvećen je ovoj aktuelnoj tematici. Izdvaja se karakteristika adaptibilnosti pojedinih servisa po pitanju potrebne količine resursa, pa je ovu osobinu, primenom odgovarajućeg algoritma za pristup, moguće i iskoristiti za ostvarivnje većeg broja prihvaćenih zahteva i bolje upravljanje resursom. Zbog aktuelnosti OVSF kodova obrađen je i uticaj načina raspodele OVSF kodova na raspoloživi kapacitet i broj prihvaćenih zahteva u UMTS mreži.

Literatura

Aboelaze, M., Elnaggar, A., 2004, "Performance Evaluation of a Call Admission Control Protocol for Cellular Networks", In Proc. International Conference on Wireless Networks, pp. 505-508.

Aboelaze, M., Elnaggar, A., Musleh, M., 2005. "A Priority Based Call Admission Control Protocol with Call Degradation for Cellular Networks", In Proc. International Symposium on Wireless Communication Systems, pp. 71-75.

Adachi, F., Sawahashi, M. and Okawa, K., 1997. "Tree-structured generation of orthogonal spreading codes with different lengths for forward link of DS-CDMA mobile radio," *IET Electronics Letters*, vol. 33, pp. 27-28.

Akhtar, S., Malik, S.A. and Zeglache, D., 2001. "Prioritized Admission Control for Mixed Services in UMTS WCDMA Networks", In Proc. IEEE International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications (PIMRC), pp. 133-137.

Akl, R. and Nguyen, S., 2006. "UMTS Capacity and Throughput Maximization for Different Spreading Factors", *Journal of Networks*, Vol. 1, pp. 40-49.

Al-Monayyes, A., AboEIFotoh, H., 2002. "A new dynamic channel management strategy for cellular networks in downtown areas", *Kuwait Journal of Science and Engineering*, Vol. 29, pp. 15-26.

AlQahtani, A.S., 2011. "Adaptive Resource Allocation Scheme for TETRA Networks with Multi-operators", The Second International Conference on Access Networks, ACCESS, Luxembourg.

Askari, M., 2011. "Efficient Channelization Management in WCDMA", *European Journal of Scientific Research*, Vol. 50, pp. 151-156.

Ayyappan, K., and Kumar, R., 2010. "Service Utilization Based Call Admission Control (CAC) Scheme for WCDMA Network", *International Journal of Research and Reviews in Computer Science (IJRRCS)*, Vol. 1, pp. 66-70.

Ayyappan, K., and Kumar, R., 2010. "QoS Based Capacity Enhancement for WCDMA Network with Coding Scheme", *International Journal of VLSI Design & Communication Systems (VLSICS)*, Vol. 1, pp. 10-19.

Badia L., Zorzi, M., and Gazzini, A., 2002. "On the Impact of User Mobility on Call Admission Control in WCDMA Systems", In Proc. IEEE VTC Fall Conference, pp. 121-126.

Bakmaz, B., and Bojković, Z., 2007. "Kontrola pristupa u bežičnim mrežama naredne generacije", In Proc. Telekomunikacioni forum Telfor,

Baloch, R.A., Awan, I., and Min, G., 2007. "Analytical Model for Mobility Management using Guarded Channel Scheme", In Proc. Annual Postgraduate Symposium on Convergence of Telecommunications, Networking and Broadcasting (PGNET), pp. 387-389.

Beigy, H., and Meybodi, M.R., 2005. "An adaptive call admission algorithm for cellular networks," *Elsevier Computers and Electrical Engineering*, Vol. 31, pp. 132-151.

Capone, A., and Redana, S., 2001. "Call Admission Control Techniques for UMTS", In Proc. IEEE VTC Fall Conference, pp. 959-929.

Cardei, M., Cardei, I., and Du, D.Z., 2005. *Resource Management in wireless Networking*, Springer Science, Boston.

Chan, W., Chin, F.Y.L., Ye, D., Zhang, Y. and Zhu, H., 2007, "Greedy Online Frequency Allocation in Cellular Networks", *Information Processing Letters*, Vol. 102, pp. 55-61.

Chang, C.J., Huang, P.C., and Su, T.T., 1996. "A channel borrowing scheme in a cellular radio system with guard channels and finite queues", In Proc. IEEE ICC, Vol. 2, pp. 1168-1172.

Chen, H.H., Hank, D., Magaña, M.E., and Guizani, M., 2007. "Design of Next-Generation CDMA Using Orthogonal Complementary Codes and Offset Stacked Spreading," *IEEE Wireless Communications*, vol. 14, pp. 61-69.

Chen, X., and Fang, Y., 2003. "An Adaptive Bandwidth Reservation Scheme in Multimedia Wireless Networks", In Proc. IEEE Global Telecommunications Conference (GLOBECOM), Vol. 5, pp. 2830-2834.

Chiu, M. and Bassiouni, M., 2000. "Predictive schemes for handoff prioritization in cellular networks based on mobile positioning", *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, Vol. 18, pp. 510-522.

Dimitriou, N., Sfikas, G. and Tafazolli, R., 2000. "Call Admission Policies for UMTS", In Proc. IEEE VTC Spring Conference, pp. 1420-1424.

Djukanovic, G., Sunjevaric, M., Gospic, N., and Chen, H.H., 2010. "Dynamic guard margin CAC algorithm with ensured QoS and low CDP in heterogeneous wireless networks", *Elsevier Computer Communications*, Vol. 33, pp. 1645-1650.

Fang, Y., 2002. "Call Admission Control Schemes and Performance Analysis in Wireless Mobile Networks", *IEEE Transactions on vehicular Technology*, Vol. 51, pp. 371 - 382.

Ghaderi, M., 2006. *Impact of Mobility and Wireless Channel on the Performance of Weireless Networks*, University of Waterloo, Waterloo, PhD Thesis.

Ghaderi, M., and Boutaba, R., 2006, "Call Admission Control in Mobile Cellular Networks: A Comprehensive Survey", *Wireless Communications & Mobile Computing Journal*, Vol. 6, pp. 69 - 93.

Glišić, S.G., 2006. *Advanced Wireless Networks, 4G Technologies*, John Wiley & Sons, West Sussex, England.

Gunnarsson, F., Lundin, E.G., Bark, G., Wiberg, N., 2002. "Uplink Admission Control in WCDMA Based on Relative Load Estimates", *In Proc. IEEE International Conference on Communications (ICC)* , pp. 3091-3095.

Haas, H., McLaughlin, S., 2011. "A Dynamic Channel Assignment Algorithm for a Hybrid TDMA/CDMA-TDD Interface Using the Novel TS – Opposing Technique", *IEEE Journal on selected areas in communications*, Vol. 19, pp. 1831-1846.

Heine, G., 1998. *GSM Networks: Protocols, Terminology, and Implementation*, Artech House, London.

Holma, H., and Laakso, J., 1999. "Uplink admission control and soft capacity with MUD in CDMA", *In Proc. IEEE Vehicular Technology Conference*, Vol. 1, pp. 431-435.

Holma, H., and Toskala, A., 2004. *WCDMA for UMTS, Radio Access For Third Generation Mobile Communications*, John Wiley & Sons, West Sussex, England.

Hong, D., and Rappaport, S., 1986. "Traffic model and performance analysis for cellular mobile radio telephone systems with prioritized and nonprioritized handoff procedures", *In Proc. IEEE Transaction on Vehicular Technology*, pp. 77-92.

Hong, X., Xiao, Y., Ni, Q., and Li, T., 2006. "A Connection-level Call Admission Control Using Genetic Algorithm for Multi-Class Multimedia Services in Wireless Networks", *International Journal of Mobile Communications*, Vol. 4, No.5, pp. 568 – 580.

Hou, J., Yang, J., and Papavassiliou, S., 2002. "Integration of Pricing with Call Admission Control to Meet QoS Requirements in Cellular Networks," *IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems*, Vol. 13, pp. 898-910.

Jovanović, V., Jovanović, D., 2012. *Iskustva stranih armija u primeni RFID tehnologije u logistici*, Vojnotehnički glasnik/Military Technical Courier, Vol. 60, No. 2, pp. 118-138, Ministarstvo odbrane Republike Srbije, Beograd.

Katzela, I., Naghshineh, M., 1996. "Channel assignment schemes for cellular mobile telecommunication systems: A comprehensive survey", *IEEE Personal Communications Magazine*, Vol. 3, pp. 10–31.

Khadivi, P., Samavi, S., Saidi, H., and Todd, T.D., 2006. "Handoff in hybrid wireless networks based on self organization", In Proc. IEEE International Conference on Communications, Vol. 5, pp. 1996-2001.

Khadivi, P., Todd, T.D., Samavi, S., Saidi, H. and Zhao, D., 2008. "Mobile ad hoc relaying for upward vertical handoff in hybrid WLAN/cellular systems", *Elsevier Journal on Ad hoc Networks*, Vol. 6, pp. 307–324.

Kim, H.B., May 2005. "An Adaptive Bandwidth Reservation Scheme for Multimedia Mobile Cellular Networks", In Proc. IEEE International Conference on Communications (ICC), Vol. 5, pp. 3088-3094.

Kyriazakos, S.A., and Karetos, G.T., 2004. *Practical Radio Resource Management in Wireless Systems*, Artech House, Boston, London.

Leong, C.W., Zhuang, W., Cheng, Y., and Wang, L., 2006. "Optimal Resource Allocation and Adaptive Call Admission Control for Voice/Data Integrated Cellular Networks", In Proc. IEEE Transactions on Vehicular Technology, Vol. 55, pp. 654 – 669.

Levine, D., Akyildiz, I. and Naghshineh, M., 1997. "A resource estimation and call admission algorithm for wireless multimedia networks using the shadow cluster concept", *IEEE/ACM Transactions on Networking*, Vol. 5, pp. 1–12.

Lin, Y., Mohan, S. and Noerpel, A., 1994. "Analyzing queueing priority channel assignment strategies for hand-off and initial access for a pcs network", *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, Vol. 43, pp. 704-712.

Lui, Z., and Zarki, M. E., 1994. "SIR Based Call Admission Control for DS-CDMA Cellular Systems", *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, Vol. 12, pp. 638-644.

Malarkkan, S., Ravichandran, V.C., 2006. "On the Performance Analysis of Call Admission Control with SIR Guard Margin in WCDMA Systems with Multi Class, Non-Uniform Traffic Distribution", *Information Technology Journal*, Vol. 5, pp. 937-943.

Minn, T. and Siu, K.Y., 2000. "Dynamic Assignment of Orthogonal Variable - Spreading Factor Codes in W-CDMA", *IEEE Journal on Selected Areas in communications*, Vol. 18, pp: 1429-1440.

Mishra, J.L., Dahal, K.P., and Hossain, M.A., 2006. "Call Admission Control using Cell Breathing Concept for Wideband CDMA", In Proc. International Conference on Software Knowledge Information Management and Applications (SKIMA).

Moorman, J. R. and Lockwood, J. W., 2001. "Wireless call admission control using threshold access sharing", In Proc. IEEE Globecom, Vol. 6, pp. 3698 – 3703.

Naghshineh, M. and Schwartz, M., 1996. "Distributed call admission control in mobile/wireless networks", *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, Vol. 14, pp. 711-717.

Ojesanmi, O.A., and Famutimi, R.F., 2009. "Adaptive Threshold Based Channel Allocation Scheme for Multimedia Network", *International Journal of Computer Science and Network Security (IJCSNS)*, Vol. 9, pp. 260 - 265.

Perez-Romero, J., Sallent, O., Agusti, R., and Diaz-Guerra, M.A., 2005. *Radio resource management strategies in UMTS*, John Wiley & Sons, West Sussex, England.

Ramjee, R., Nagarajan, R. and Towsley, D., 1996. "On Optimal Call Admission Control in Cellular Networks", In Proc. Joint Conference of the IEEE Computer Societies, Networking the Next Generation (INFOCOM), Vol. 1, pp. 43–50,

Redana, S., and Capone, A., 2002. "Received Power-Based Call Admission Control Techniques for UMTS Uplink", IEEE VTC Fall Conference, pp. 2206-2210.

Saini, D.S., Bhooshan, S.V., and Chakravarty, T., 2008. "OVSF code groups and reduction in call blocking for WCDMA systems", *Indian Journal of Radio & Space Physics*, Vol. 37, pp. 143-147.

Samčović B.A., 2011. *Tehnološke karakteristike digitalnog standarda DVB-H za difuzni video-prenos kod prenosivih uređaja*, Vojnotehnički glasnik/Military Technical Courier, Vol. 59, No. 3, pp. 146-160, Ministarstvo odbrane Republike Srbije, Beograd.

Šunjevarić, M., 2004. *Osnovi radio komunikacija sa radio tehnikom*, Studio Line, Beograd.

Tsai, T.H., and Wu, T.M., 2008. Adaptive Service Rate for Soft Handoff Cellular CDMA Systems over Nakagami-m Fading Channels", In Proc. IEEE International Symposium of Consumer Electronics, pp. 1–4.

Tugcu, T. , and Ersoy, C., 2001. "Resource management in DS-CDMA cellular systems using the reservation area concept", European Personal Mobile Communications Conference.

Wu, M., Wong, E., and Li, J.J., 2003. "Performance evaluation of predictive handoff scheme with channel borrowing", In Proc. IEEE International Performance, Computing, and Communications Conference, pp. 531-536.

Wu, X. and Yeung, K.L., 1998. "Efficient channel borrowing strategy for multimedia wireless networks", In Proc. IEEE GLOBECOM, Vol. 1, pp. 126-131.

Yang, Y. and Yum, T.S.P., 2004. "Maximally Flexible Assignment of orthogonal variable spreading factor codes for multi-rate Traffic", *IEEE Transactions on Wireless Communications*, Vol. 3, pp. 781-792.

Ye, Z., Law, L.K., Krishnamurthy, S.V., Xu, Z., Dhirakaosal, S., Tripathi, S.K., and Molle, M., 2007. "Predictive channel reservation for handoff prioritization in wireless cellular networks", *Elsevier Computer Networks*, Vol. 51, pp. 798 – 822.

Zaim, A.H., 2003. "A Markov Model to Calculate New and Hand-off Call Blocking Probabilities in LEO Satellite Networks", *Journal of Research and Practice in Information Technology*, Vol. 35, pp. 271 – 283.

Zhang, Y., 2008. "Call Admission Control in OFDM Wireless Multimedia Networks", In Proc. IEEE International Conference on Communications, pp. 4154–4159

ADAPTIVE CONTROL OF CALL ACCEPTANCE IN WCDMA NETWORK

FIELD: Telecommunications, IT
ARTICLE TYPE: Review Paper

Summary:

In this paper, an overview of the algorithms for access control in mobile wireless networks is presented. A review of adaptive control methods of accepting a call in WCDMA networks is discussed, based on the overview of the algorithms used for this purpose, and their comparison. Appropriate comments and conclusions in comparison with the basic characteristics of these algorithms are given. The OVSF codes are explained as well as how the allocation method influences the capacity and probability of blocking

Introduction

We are witnessing a steady increase in the number of demands placed upon modern wireless networks. New applications and an increasing number of users as well as user activities growth in recent years reinforce the need for an efficient use of the spectrum and its proper distribution among different applications and classes of services. Besides humans, the last few years saw different computers, machines, applications, and, in the future, many other devices, RFID applications, and finally networked objects, as a new kind of wireless networks "users". Because of the exceptional rise in the number of users, the demands placed upon modern wireless networks are becoming larger, and spectrum management plays an important role. For these reasons, choosing an appropriate call admission control algorithm is of great importance.

Multiple access and resource management in wireless networks

Radio resource management of mobile networks is a set of algorithms to manage the use of radio resources with the aim is to maximize the total capacity of wireless systems with equal distribution of resources to users. Management of radio resources in cellular networks is usually located in the base

station controller, the base station and the mobile terminal, and is based on decisions made on appropriate measurement and feedback. It is often defined as the maximum volume of traffic load that the system can provide for some of the requirements for the quality of service. Resource management should preserve the capacity and distribute a proper allocation among users. It has an important place in various commercial networks such as GSM and WCDMA (UMTS), but also in professional networks and network security organizations, such as PMR and PAMR, including TETRA network.

Location and design of radio resource

Radio resource management is performed in the radio access networks and mobile terminals. The objectives of the management of radio resources are defined to allow the execution of the following tasks: to guarantee QoS for different applications, maintenance of the planned coverage, and capacity optimization of the system. Various new services have different needs, so it is no longer possible to pre-allocate resources correctly or to full-dimension network in advance.

Main types of algorithms for access control

In fixed networks, resources are planned in a static way, and the management of resources is quite easy. Mobile networks enable mobility which includes unanticipated movements and possible grouping of users. Mobility brings new qualities such as freedom of service on the move, but also a new assignment for the operator - preserving the continuity of services, or signal covering the territory of interest, and providing sufficient capacity to users and quality handover realization.

Resource management in networks with hard capacities

Due to the nature of wireless networks, radio resources such as transmission power of base stations and used radio-spectrum are generally limited. Networks with hard capacities are limited by the number of channels. In order to provide services with good quality and large capacity, advanced methods to share the available radio spectrum in the most efficient ways are needed. The methods of sharing spectrum are called multiple access techniques.

Access management in a 3G network based on the user count

The direct relation between the number of users and the system capacity is very characteristic in networks with hard capacities. For systems with so-called "Soft" capacity, there is no direct relationship between the number of users and available capacity for incoming requests, and the number of served users depends on the SIR threshold. However, there is the algorithm that follows a very simple approach in which decisions about access are based only on the number of users already present in the system. The use of the algorithm represents a direct mapping of strategies

from 2G systems in which the capacity is limited with hard boundaries, and a decision is made on the basis of already admitted users in the system.

The methods of resource management used in modern wireless networks

In previous research of access control algorithms in wireless networks, in the broadest terms, two basic methods could be used: deterministic and stochastic methods. Deterministic algorithms imply that QoS parameters are one hundred percent guaranteed for the duration of the connection, which is not practical in real systems. In the stochastic CAC algorithms, QoS cannot be guaranteed one hundred percent, but instead, with a certain probability.

Resource reservation

Methods with reserved channels, or generally speaking the reserved resources, are known in the literature as Guard Channel or GC methods. Algorithms with static reservation often result in poor utilization of resources. Algorithms with dynamic thresholds have the threshold that adapts to real needs (for example, if at the particular location many requests for handover connections appear, then the part of the resources saved for handover can dynamically be increased).

Influence of the OVSF codes distribution method to the number of accepted requests in the WCDMA network

The OVSF codes are used in WCDMA networks to support different transmission rates for multimedia services. They are variable in length, and using a smaller factor achieves higher transmission rates. In recent years, a significant number of papers have been devoted to efficient allocation of these codes aiming to maximize system capacity and reduce the probability of rejection of connection requests. OVSF code allocation algorithms are usually designed in association with CAC algorithms in order to perform universal capacity management in access networks.

Conclusion

Given the great importance of resource management in wireless networks and the importance of a proper choice of the control algorithm, the algorithms for the admission control in mobile wireless networks are analyzed. A special attention is given to the algorithms for the admission control in WCDMA networks. In this regard, the point is made to some of the specifics of the WCDMA technology, which affect the choice of algorithm work modes.

Key words: *Algorithms, CAC, Call Admission Control, Multimedia, WCDMA.*

Datum prijema članka/Paper received on: 01. 07. 2012.

Datum dostavljanja ispravki rukopisa/Manuscript corrections submitted on: 23. 08. 2012.

Datum konačnog prihvatanja članka za objavljivanje/ Paper accepted for publishing on: 25. 08. 2012.