

## AUKCIJSKI MODELI TARIFIRANJA U MULTISERVISNIM IP MREŽAMA

Vladanka Aćimović-Raspopović, Vesna Radonjić  
Saobraćajni fakultet u Beogradu

*Sadržaj: U ovom radu je dat pregled tarifnih koncepata koji se mogu primeniti u multiservisnim IP mrežama. Predstavljani su osnovni elementi teorije aukcija i aukcijske metode koje su od značaja za tarifiranje telekomunikacionih servisa. Predložene su dve varijante modifikovane generalizovane Vickrey-eve aukcije, kao strategije za implementaciju tarifnog koncepta pametnog tržišta. Izvršena je analiza rezultata dobijenih simulacijama ovog modela u dve različite mreže sa diferenciranim servisima i njihovo poređenje sa ravnomernom šemom tarifiranja, na osnovu čega je pokazano da se za veliki broj korisnika, primenom predloženih aukcijskih modela ostvaruju veći prihodi nego u slučaju ravnomerne šeme tarifiranja.*

**Ključne reči:** tarifni koncept, aukcijski model, efikasna alokacija, maksimiziranje prihoda, diferencirani servisi.

### 1. Uvod

Sa sve većom rasprostranjenošću Interneta, koji može da podrži imponzantan broj novih telekomunikacionih aplikacija, dolaze do izražaja brojni problemi vezani za određivanje tarifa i efikasno iskorišćenje resursa u IP (*Internet Protocol*) mrežama. Sadašnji način tarifiranja Internet saobraćaja, koji se uglavnom zasniva na pretplatničkim odnosima ili neograničenom vremenu trajanja konekcije, ne može se primeniti u multiservisnim IP mrežama, kada različite tipove servisa i servise različitog nivoa kvaliteta treba tarifirati različito. S druge strane, aktuelni tarifni sistemi, od kojih se najčešće primenjuje ravnomerni koncept tarifiranja (*flat-rate pricing*), ne podstiču efikasnu alokaciju mrežnih resursa, niti imaju rešenje u slučajevima mrežnog zagušenja.

Zbog toga se u poslednje vreme vrše obimna istraživanja u oblasti tarifiranja u IP mrežama. Rezultat toga su pristupi koji uglavnom obuhvataju uvođenje dinamičkih modela tarifiranja. Oni podrazumevaju dinamičku promenu tarife u zavisnosti od stepena mrežnog zagušenja. U dinamičkim tarifnim modelima, učestanost promena cena je povezana sa prognoziranjem u telekomunikacionim mrežama, te otuda sledi njihova klasifikacija prema vremenskom okviru u kojem se vrše promene cena: na koncepte sa

dugim vremenskim okvirom i koncepte sa kratkim vremenskim okvirom. Iako su koncepti sa dugim vremenskim okvirom, kod kojih se cene menjaju jednom mesečno ili jednom godišnje, pogodni za primenu sa aspekta mrežnog administratora, njihov nedostatak je to što ne uzimaju u obzir fluktacije saobraćaja u mreži. Tarifni koncepti sa kratkim vremenskim okvirom imaju rešenje za ove probleme, koje podrazumeva da se cene servisa menjaju u realnom vremenu zavisno od stanja u mreži. One se mogu menjati dinamički, prema nivou zahtevanog kvaliteta servisa (QoS, *Quality of Service*), trenutnom korišćenju i situacijama mrežnog zagušenja. Na taj način, mreža funkcioniše efikasnije. Korisnici mogu reagovati na promene cena ažuriranjem svojih zahteva.

Dinamički tarifni koncepti se mogu implementirati korišćenjem aukcijskih mehanizama za alokaciju propusnog opsega [1]. Teorija aukcije je danas veoma razvijena oblast istraživanja [2], [3], [4], [5], [6], [7]. Aukcije se mogu posmatrati kroz funkcije koje obavljaju i to kao:

- koordinacioni mehanizam za određivanje odnosa ponude i tražnje za robom ili uslugama,
- socijalni mehanizam - u slučaju robe ili usluga čiju je vrednost teško odrediti i
- efikasan mehanizam alokacije - kada se prodaju usluge u poslednjem trenutku, roba kojoj uskoro ističe rok važnosti ili u računarskim i telekomunikacionim mrežama, u situacijama mrežnog zagušenja.

Cilj istraživanja, čiji su rezultati prikazani u ovom radu, je da se pokaže da se izborom odgovarajućeg tarifnog modela istovremeno može ostvariti više ciljeva:

- efikasna alokacija oskudnih mrežnih resursa,
- veće pogodnosti za korisnike, u smislu da sami korisnici učestvuju u formiranju cene,
- formiranje efikasnih cena, koje reflektuju stanje, odnosno. opterećenje u IP mreži i
- veći prihodi od IP mreža.

Rad je organizovan na sledeći način. U drugom poglavlju je dat pregled tarifnih koncepata koji se mogu primeniti u multiservisnim IP mrežama. U trećem poglavlju su predstavljene osnovne karakteristike i elementi teorije aukcija. U četvrtom poglavlju je obrazložen značaj aukcijskih mehanizama za alokaciju resursa i u petom poglavlju su predložene dve varijante modifikovane generalizovane Vickrey-eve aukcije (*GVA, Generalized Vickrey Auction*): sa fiksnom i promenljivom osnovnom cenom, kao pogodne strategije za implementaciju *smart market* koncepta. U okviru toga je izvršena analiza rezultatata dobijenih simulacijama ovih modela u dve različite mreže sa diferenciranim servisima (*DiffServ, Differentiated Services*) i njihovo poređenje sa *flat* tarifnim konceptom.

## **2. Tarifni koncepti u multiservisnim IP mrežama**

Da bi se odgovorilo na izazove koje sa sobom nose razvoj novih tehnologija i novi ekonomski uslovi na tržištu telekomunikacija, tarifiranje u multiservisnim IP mrežama mora zadovoljiti tehničke, ekonomske i socijalne zahteve. Tehnički zahtevi obuhvataju nekoliko elemenata, od kojih su najvažniji: način obračuna i naplate svakom učesniku, uklapanje u mrežno okruženje (tj. jednostavnost i lociranje kompleksnosti na periferiji mreže) i razmatranje da li se tarifni mehanizmi mogu instalirati na postojećoj platformi i uz pomoć postojećih protokola. Ekonomski zahtevi obuhvataju: funkcije

tražnje (elastične i neelastične), strukturu tarifnog mehanizma i ispitivanje reakcija korisnika na dinamičko tarifiranje. Socijalni zahtevi se tiču pitanja politike cena.

Osnovna ideja svih tarifnih koncepata je da tarifna politika treba da podstakne korisnike da se ponašaju na način kojim se poboljšavaju celokupna iskorišćenost i performanse mreže. Tarifni mehanizmi treba da obezbede zadovoljavajući prihod provajderu i dobit za korisnika servisa, uz efikasnu implementaciju i izvodljivost.

Tarifiranje u multiservisnim IP mrežama može se zasnivati:

- na prenosu određene količine informacija kroz mrežu (*transport-based*), koje se primenjuje kada postoji potreba za mehanizmima koji uzimaju u obzir iskorišćenje resursa mreže, sa različitim tarifama za pojedine klase servisa i
- na sadržaju servisa (*content-based*) [8], koje postaje sve aktuelnije sa porastom ponude komercijalnih servisa preko IP mreža.

Zaduženje korisnika može biti:

- ravnomerno (*flat charging*), kada se korisnik zadužuje fiksnom sumom u određenom vremenskom intervalu (tarifa ne zavisi od stvarnog korišćenja mrežnih resursa) i
- prema korišćenju (*usage charging*), koje podrazumeva dinamičku promenu tarife u zavisnosti od stepena mrežnog zagušenja.

Kriterijumi koji će ovde biti korišćeni za procenu i poređenje tarifnih koncepata su: usaglašenost sa postojećom tehnologijom, vrste i broj merenja koja su potrebna za obračun, održavanje kontrole zagušenja ili upravljanja saobraćajem, obezbeđivanje pojedinačnih garancija QoS, stepen efikasnosti mreže (koji se meri brojem opsluženih korisnika na svakom linku uz održavanje QoS na prihvatljivom nivou), stepen ekonomske efikasnosti (koji se ogleda kroz funkciju prihoda) i vremenski okvir koncepata tarifiranja.

Jedna od najčešćih klasifikacija, koja se može sresti u literaturi, obuhvata podelu tarifnih modela na statičke i dinamičke [9], [10]. Kod statičkog tarifnog modela, kakva je ravnomerna šema tarifiranja (*flat pricing*), cene se ne menjaju u zavisnosti od ponašanja mreže tokom vremena [8]. Njene prednosti se sastoje u tome što mreža ne mora da upravlja promenom cena, a s druge strane, korisnici ne moraju brinuti o promenama cena. Najveće ograničenje ovakvog koncepta je neefikasno iskorišćenje mrežnih resursa, jer mreža tretira sve pakete na isti način, čak i kada ih krajnji korisnici veoma različito vrednuju. Dinamički tarifni modeli podrazumevaju dinamičku promenu tarife u zavisnosti od stepena mrežnog zagušenja.

Rezultat obimnih istraživanja u oblasti tarifiranja u telekomunikacionim mrežama su pristupi koji uglavnom obuhvataju uvođenje dinamičkih modela tarifiranja [8], [9], [10], [11]. Najveće razlike među dinamičkim tarifnim konceptima su u vremenskim okvirima za pojedine tarife i u dostupnosti resursima. Tarifni koncepti koji zahtevaju dug vremenski okvir (pored *flat pricing* šeme) su: koncept tarifiranja metroa u Parizu i donekle koncept tarifiranja prema očekivanom kapacitetu.

Koncept tarifiranja metroa u Parizu (PMP, *Paris-Metro pricing*) se ne razlikuje mnogo od *flat* tarifne šeme. Ovaj koncept obuhvata set logičkih mreža, pri čemu je ukupan propusni opseg podeljen na nekoliko podmreža. Svaka od njih funkcioniše na *best-effort* osnovi i tarifira se različito [12]. Korisnik bira jednu od tih logičkih mreža za prenos, što implicitno definiše nivo servisa koji će mu biti obezbeđen. Mehanizam kontrole zagušenja i upravljanja saobraćajem predstavljaju upravo tarife pojedinih podmreža, jer utiču na korisnike da se sami razdvoje u različite klase. Iako je kod ovog

pristupa ekonomska efikasnost bolja nego kod *flat* tarifiranja, on ne koristi cene kao način da optimizira ukupno korišćenje servisa od strane svih svojih korisnika. Mrežna efikasnost je takođe promenljiva. Osnovne prednosti PMP koncepta su jednostavnost i usaglašenost sa postojećom tehnologijom, a nedostaci su u tome što se zahteva praćenje izbora svakog korisnika za obračun i zaduženje, nema garancija QoS za pojedinačne korisnike i postoji niz tehničkih problema koje je potrebno rešiti da bi bila moguća njegova primena.

Tarifiranje prema očekivanom kapacitetu (*Expected capacity pricing*) se zasniva na očekivanjima korisnika u pogledu kapaciteta mreže. Korisnik mora da specificira koliki kapacitet očekuje od mreže. On se prema tome zadužuje na osnovu dugoročnog ugovora sa mrežom, bez obzira koliko zaista koristi [13]. Za primenu ovog koncepta, neophodna je odgovarajuća saobraćajna politika da bi se osigurali uslovi ugovora, pre svega očekivani nivo servisa. Moguća je kontrola zagušenja i upravljanje saobraćajem, jer je ovaj koncept kompatibilan sa ATM (*Asynchronous Transfer Mode*) tehnologijom. Efikasnost mreže je visoka, dok je ekonomska efikasnost promenljiva. Ovaj koncept podržava korisnike da sami biraju nivo servisa za koji će se zadužiti, te je moguća individualna garancija QoS i nema potrebe za merenjima da bi se dostavio račun. Međutim, problem može predstavljati određivanje funkcije zahteva, jer provajderi ne vode računa o vrednosti koje za korisnika imaju različiti servisi.

Dinamički tarifni koncepti sa kratkim vremenskim okvirom pružaju rešenje za probleme sa kojima se susreću *flat pricing* i koncepti sa dugim vremenskim okvirom, koje podrazumeva da se cene menjaju u realnom vremenu zavisno od stanja u mreži, odnosno od povremenih preopterećenja mreže. Dinamički tarifni koncepti sa kratkim vremenskim okvirom, čija se primena predlaže u multiservisnim IP mrežama su: koncept tarifiranja po prioritetu, tarifni koncept pametnog tržišta, tarifni koncept zasnovan na reakciji korisnika, tarifiranje prema efektivnom propusnom opsegu i proporcionalno fer tarifiranje.

U konceptu tarifiranja po prioritetu (*Priority pricing*), postoji odgovarajući redosled opsluživanja, odnosno, na svakom serveru se formiraju redovi po traženom prioritetu. Zbog toga je potrebno da zaglavlje svakog paketa ima polje za prioritet (kao što je u IP). Svaki zahtev za servisom dobija vrednost koja linearno opada ukoliko zahtev nije odmah zadovoljen. Na taj način se korisniku omogućava da bira nivo prioriteta, vreme i tip servisa, što je posebno važno u periodima mrežnog zagušenja. To znači da će saobraćaj sa malim prioritetom biti zakašnjen ili čak odbačen, u zavisnosti od konkretnog opterećenja mreže. Primenom ove tarifne šeme, postiže se ekonomska efikasnost (jer su cene indikator za korisnike o korišćenju servisa), visoka mrežna efikasnost, maksimalna iskorišćenost resursa i cene koje se uvek mogu odrediti tako da su korisnici zadovoljniji nego kod *flat* tarifne šeme. Međutim, potrebna su merenja za praćenje svakog prenesenog paketa svakog korisnika za obračun i zaduženje i nema QoS garancija za pojedinačne korisnike.

Sušтина tarifnog koncepta pametnog tržišta (*Smart market pricing*) sastoji se u proširenju kapaciteta i ceni (socijalnoj), koju određuju drugi korisnici. Na fiksnu cenu konekcije i cenu po paketu za pokrivanje inkrementalne cene slanja paketa, dodaje se cena korišćenja u periodima kada je zagušenje, koja se određuje preko aukcije. Korisnik svakom paketu pridružuje ovu cenu. Mreža sakuplja i sortira sve ponude i određuje prag cene. Ona prenosi sve pakete čija je ponuda veća od ovog praga. Prag cene zavisi od kapaciteta mreže i predstavlja marginalnu cenu zagušenja [14]. Svaki prenešeni paket se

zadužuje po toj marginalnoj ceni, a ne po ceni ponude. Svi preneseni paketi donose dobit korisniku. Cena koju korisnik nudi, odnosno njegova ponuda, pokazuje dobit koju on očekuje i predstavlja „socijalnu vrednost“ paketa. Cena koja se naplaćuje od svakog korisnika uvek je manja ili jednaka ponudenoj. Primenom *smart market* tarifnog koncepta se ostvaruju visoka mrežna i ekonomska efikasnost i on predstavlja efikasan mehanizam za kontrolu zagušenja. Prednost ovog koncepta je i u tome što ponudene cene u svakom paketu mogu da se koriste za odlučivanje o rutiranju. Najveći nedostaci *smart market* koncepta tarifiranja su u tome što njegova implementacija zahteva značajne tehničke promene, kako u protokolima, tako i u hardveru [14] i što nema garancija QoS.

Tarifni koncept zasnovan na reakciji korisnika (*Responsive pricing*) predstavlja dinamičku strategiju određivanja cena, u kojoj se cene koriste kao alternativni mehanizam za kontrolu zagušenja da bi se obezbedilo dobro funkcionisanje mreže, posebno za garanciju različitih nivoa servisa [15]. Ovaj koncept se, slično konceptu pametnog tržišta, aktivira samo u periodima mrežnih zagušenja. Koncept funkcionise tako što u periodima velikog korišćenja, mreža povećava cenu resursa, a korisnik se adaptira smanjenjem saobraćaja koji nudi mreži, dok u periodima malog korišćenja, mreža smanjuje cenu resursa, a korisnik reaguje povećanjem saobraćaja koji nudi mreži. Prednosti ovog koncepta sastoje se u tome što su korisnici stimulisani da prenose saobraćaj u vremenskim intervalima kada opterećenje nije vršno i imaju kontrolu nad odlukama o tome kada će vršiti prenos. Ostvaruju se visoka mrežna i ekonomska efikasnost. Kompatibilnost sa ATM tehnologijom nije problem, ali je problematična garancija QoS jer se garantuje samo minimalan protok.

Primena tarifiranja prema efektivnom propusnom opsegu (*Effective Bandwidth pricing*) podrazumeva da korisnik mora da objavi prave vrednosti srednjih i vršnih protoka ćelija generalnog izvora saobraćaja tokom CAC (*Connection/Call Admission Control*)<sup>1</sup>, pri čemu se smatra da je poznat oblik funkcije efektivnog propusnog opsega njegovog izvora saobraćaja. Korisnik se zadužuje u skladu sa linearnom funkcijom, koja predstavlja tangentu na krivu efektivnog propusnog opsega izvora u tački deklarisanе srednje vrednosti protoka. Primenom ovog koncepta, kontrola zagušenja se vrši preko CAC funkcije i postižu se mrežna i ekonomska efikasnost. Bitna prednost ovog tarifnog koncepta je u postojanju pojedinačnih garancija QoS, a osnovni nedostaci se sastoje u tome što se pretpostavlja da se oblik funkcije propusnog opsega zna unapred i što se zbog omogućavanja periodične promene cena, unosi dodatna kompleksnost u mehanizam.

U dinamičke tarifne koncepte sa kratkim vremenskim okvirom ubraja se i PFP tarifni koncept (*Proportional fairness pricing*), koji je razvijen da bi se alokacija resursa izvršila što pravednije. Alokacija resursa je pravedna ukoliko je proporcionalna sa spremnošću korisnika da plati za korišćenje. Optimizacioni problem sistema može da se dekomponuje tako da korisnik bira cenu, a mreža alocira protoke u skladu sa kriterijumom koji je „fer“ proporcionalan, tj. na optimizaciju sa korisničkog stanovišta i optimizaciju sa aspekta mreže [16]. Primenom PFP koncepta se ostvaruju visoka mrežna i ekonomska efikasnost, merenja za obračun nisu neophodna i ovaj koncept je kompatibilan sa ATM tehnologijom. Osnovni nedostatak je nepostojanje garancija QoS.

---

<sup>1</sup> Prvobitna šema tarifiranja prema efektivnom propusnom opsegu razvijena je za ATM mreže, te su pojmovi koji se koriste za opis ovog tarifnog koncepta prilagođeni primeni u ATM mrežama.

S obzirom da je većina ovih tarifnih koncepata razvijena za *best effort* servise i kompatibilna sa ATM tehnologijom, istraživanje treba usmeriti na ispitivanje njihove funkcionalnosti u DiffServ okruženju. Kao mehanizmi za implementaciju dinamičkih tarifnih koncepata sa kratkim vremenskim okvirom mogu se primeniti aukcije za propusne opsege. U ovom radu je predložena implementacija tarifnog koncepta pametnog tržišta u dve različite DiffServ mreže, korišćenjem aukcijskih modela.

### 3. Aukcijski mehanizmi

Novi pristupi problematici tarifiranja uglavnom podrazumevaju uvođenje modela koji se zasnivaju na praksi. Među njima, dobre rezultate mogu dati aukcije za propusne opsege. Aukcije se razlikuju u odnosu na druge vrste igara u više aspekata:

- Aukcijski mehanizmi ne dozvoljavaju variranje cena u oba smera, dok se u drugim igrama cene mogu povećavati ili smanjivati dok se ne postigne optimalna cena.
- Njihova primena može biti brža i jednostavnija, jer se neke aukcije mogu završiti samo u jednom potezu, sa vrlo malom razmenom informacija između prodavca i kupca, za razliku od drugih igara koje se obično odvijaju kroz više koraka (krugova).
- Aukcije mogu biti efikasne čak i kada u njima učestvuje mali broj učesnika.

Elementi aukcijskog poslovanja [17] su:

- Aukcionar. On je dužan da obezbedi institucionalne okvire za nesmetano odvijanje aukcije i da osigura da se faze aukcije sprovode po definisanim pravilima. Faze aukcije su: razmena informacija, definisanje cena, izvršenje trgovine i plaćanje.
- Aukcijski objekat, tj. objekti. U zavisnosti od vrste objekata, razlikuju se i uslovi pod kojima se aukcija obavlja. Aukcije na telekomunikacionom tržištu podrazumevaju precizan opis objekata, a ponekad i detaljna objašnjenja od strane eksperata.
- Aukcijska pravila. Pravila moraju biti unapred poznata i potpuno definisana.
- Proces izvršenja transakcije. Ovaj proces obuhvata otpremanje i dostavljanje robe, odnosno realizaciju usluge, kao i proces naplate.

Postoje tri važna modela koja se odnose na način vrednovanja aukcijskih objekata [18].

- U modelu tajnog vrednovanja, učesnicima su poznate samo vrednosti koje sami dodeljuju određenim objektima, ali ne i ponude drugih učesnika. U toku same aukcije, procena učesnika se ne menja, bez obzira na ponude njegovih suparnika u aukciji.
- U modelu javnog vrednovanja, svi učesnici procenjuju vrednost objekta na isti način, ali *a priori* imaju različite informacije o toj vrednosti. Kako se odvija aukcija, svaki učesnik može prilagoditi svoju ponudu ponudama ostalih učesnika. Na taj način obično nastaje situacija u kojoj pobednik plaća veću cenu od stvarne vrednosti objekta. Otuda se ovaj tip aukcije naziva «prokletstvo pobednika» (*winner's curse*).
- U mešovitom modelu vrednovanja, koji predstavlja kombinaciju prethodna dva modela, procena učesnika je ustvari funkcija informacije o vrednosti objekta koja je samo njemu poznata pre početka aukcije i informacija koje otkrije tokom aukcije.

### 4. Značaj aukcijskih mehanizama za alokaciju resursa

U današnjim uslovima, na konkurentskim tržištima postoji veliki broj provajdera Internet servisa (ISP, *Internet Service Provider*) i telekomunikacionih

kompanija, koje pružaju širok spektar različitih Internet servisa. Stoga je neophodno efikasno koristiti mrežne resurse da bi se održao odgovarajući nivo ekonomičnosti i potreban kvalitet servisa u mreži. Da bi se postigli ti zahtevi, treba koristiti tržišni pristup za realizaciju efikasne upotrebe mrežnih resursa, u kome se zahtevi odobravaju na osnovu cene koju su korisnici spremni da plate za rezervaciju i korišćenje servisa.

Aukcije se predlažu i primenjuju za formiranje ugovora/ugovorenih saobraćaja i alokaciju resursa u datagram mrežama i mrežama sa rezervacijom resursa. U literaturi se može naći mnoštvo različitih pristupa. U njima se ističe realizacija u sadašnjim IP (*Internet Protocol*) mrežama i ograničena efikasnost unutar svakog linka. Međutim, malo pažnje se poklanja ekonomskoj efikasnosti cele mreže. Glavni cilj tržišnog pristupa je upravo postizanje efikasnog iskorišćenja resursa u celoj mreži.

Među modelima tarifiranja, koji se zasnivaju na praksi, dobre rezultate nagoveštavaju (PSP, *Progressive Second Price*) aukcije za propusne opsege [19]. Svrha PSP aukcija je smanjivanje troškova paketskih aukcija na *smart* tržištima. U PSP aukcijama, traženi resurs se deli prema najvećim ponudama i troškovi zavise od spremnosti korisnika da plate za određeni tip servisa. U ovom modelu se proučavaju svojstva kao što su: stabilnost, konvergencija i efikasnost. Tok igre je dinamičan. Svaki učesnik daje ponude asinhrono u pravilnim vremenskim intervalima. Kada se u toku igre, nekom od učesnika dodeli propusni opseg u određenom vremenskom intervalu, njemu se ne osigurava da će isti zadržati tokom tog intervala, jer se, s obzirom na činenicu da se igra igra asinhrono, može desiti da neki drugi učesnik u igri ima bolju ponudu i da preuzme deo njegovog opsega ili čak ceo opseg. Igra se može proširiti i na tzv. mrežne aukcije, u kojima se aukcije vrše za svaki link na putu (ili u podmreži) za koji je učesnik u aukciji zainteresovan. I u ovom tipu aukcija se koriste ista matematička svojstva. Jedina razlika je u tome što učesnici mogu imati različite uloge: prodavaca opsega, krajnjih korisnika ili provajdera servisa, jer im se pruža mogućnost da kupuju i prodaju delove propusnog opsega jedni drugima. Daljim uopštavanjem može se doći do dva nova aukcijska modela: *Delta* aukcije i *ChiPS* (*Connection-Holder-is-Preferred Scheme*) modela aukcije [4]. *Delta* aukcije se organizuju u vremenskom i prostornom domenu. *ChiPS* model odgovara modelu *second-chance* aukcije, čija je osnovna ideja da se stalnim korisnicima, koji su izgubili jednu aukciju, pruži druga šansa, da ne bi došlo do prekida njihovih tekućih konekcija.

U konceptu tarifiranja metroa u Parizu (PMP, *Paris-Metro pricing*) predlaže se dekomponovanje mreže na nekoliko zasebnih mreža sa različitim tarifama za uspostavljanje veze tako da svaka od tih mreža funkcioniše kao postojeća. Očekivani efekat ovog pristupa je rasterećenje najvećih mreža. U konceptu tarifiranja po prioritetu, korisnik bira servis sa klasom određenog prioriteta po odgovarajućoj ceni (cena zavisi od prioriteta) i paketi podataka se opslužuju zavisno od prioriteta klase. Brzina prenosa podataka se takođe može prilagoditi ceni, odnosno spremnosti korisnika da plati za određeni tip usluge, kao i opterećenosti mreže. Pored toga, kao zanimljivo rešenje su se pokazale i aukcije za prioritet u modelu *smart market*. Posebno su značajni modeli aukcija za korišćenje propusnih opsega tokom određenih vremenskih intervala [5], [19]. Za razliku od tradicionalnih aukcija, kod njih je resurs, tj. propusni opseg deljiv. Teorijska osnova ovog modela je teorija igara i sistem funkcioniše u realnom vremenu.

Mrežni resursi, koji se sastoje od velikog broja linkova na različitim propusnim opsezima, mogu se posmatrati kao skup objekata sa više jedinica. Simultana rastuća aukcija se pokazala kao efikasan pristup za alokaciju skupa objekata. Međutim, ova

metoda može dovesti do zloupotreba (tzv. *free rider* problema) od strane učesnika u aukciji za pojedinačne resurse, što vodi neefikasnosti. S druge strane, simultana opadajuća aukcija nije dovoljno pouzdana, jer ne motiviše učesnike na istinito izjašnjavanje o svojim preferencama. Jedna od mogućnosti za prevazilaženje ovih problema, u slučaju raspodele mrežnih resursa, je primena simultane aukcije s jednim krugom. To je tzv. *sealed-bid* aukcija, što podrazumeva da je to pismena aukcija u kojoj učesnici podnose pismene, zatvorene i zapečaćene ponude i kod nje broj učesnika nije poznat unapred [6]. U ovom tipu aukcije nijedan učesnik ne zna ponude svojih konkurenata i aukciju dobija učesnik sa najvišom ponudom. Njenom primenom na raspodelu mrežnih resursa, postiže se takva alokacija kojom se maksimizira suma ponuda svih učesnika u aukciji. Cene koje plaćaju korisnici mogu se odrediti na različite načine. U *sealed-bid* aukcije spada GVA pristup, u kome se cena određuje prema mehanizmu *Vickrey* aukcije (*second-price* aukcije). U ovoj aukciji, aukcionar može izvršiti optimizaciju raspoložive količine resursa na osnovu informacija svakog učesnika i može sprovesti efikasnu raspodelu između učesnika. Pošto je istinito licitiranje dominantna strategija (učesnici su podstaknuti da daju ponude koje odgovaraju pravoj vrednosti aukcijskog predmeta) u GVA modelu, njegovom primenom se zadovoljavaju zahtevi racionalnosti za svakog korisnika, Pareto efikasnosti i podsticaj za realno licitiranje.

U daljem tekstu će biti predstavljena modifikacija generalizovane *Vickrey*-eve aukcije i algoritmi koji se zasnivaju na ovom modelu, a koriste se za određivanje cena u telekomunikacionim mrežama sa jednim linkom i mrežama sa više linkova.

## 5. Predlog modifikovanog GVA modela

Projektovanje tarifnog modela se mora zasnivati na raspoloživosti mrežnih resursa. U poređenju sa fiksnim cenama, aukcije obezbeđuju veći prihod provajderu servisa, favorizovanjem saobraćaja sa većim cenama u odnosu na saobraćaj sa nižim cenama. Umesto podele saobraćaja na više prioritetnih klasa i korišćenja fiksnih cena za svaku klasu servisa, ovde se predlaže dinamička strategija tarifiranja kod koje cena zavisi od raspoloživosti resursa u mreži, tj. od opterećenja mreže. Kao dinamički tarifni mehanizam koristi se *sealed-bid* aukcija u okviru *smart market* tarifnog koncepta. Aukcije se organizuju nezavisno za svaku klasu servisa. Korisničke ponude se sastoje od zahteva za propusnim opsegom i cena koje su spremni da plate za korišćenje servisa. Mreža sakuplja i sortira sve ponude i određuje prag cene za svaku klasu servisa, posebno. Taj prag je jednak najnižoj ceni po jedinici propusnog opsega od svih ponuda korisnika čiji su zahtevi ispunjeni.

*Smart market* konceptu se zamera da ne pruža garancije QoS. Međutim, ovde su predstavljene aukcijske strategije kod kojih se razdvajaju zahtevi za različitim nivoima QoS. Korišćenjem ove strategije tarifiranja, težimo maksimiziranju profita provajdera servisa. Funkcija prihoda se, tada, sastoji od dva dela:

- osnovnog troška, koji ne zavisi od korišćenja resursa i
  - dodatnog troška, koji zavisi od propusnog opsega koji se dodeljuje svakom korisniku.
- Osnovni trošak potiče od propusnog opsega koji je raspoloživ za najniži nivo QoS, pa se osnovna tarifa od korisnika naplaćuje kada on koristi najniži nivo QoS. Korisnici mogu zahtevati veće garancije QoS podnošenjem ponuda za dodatni propusni opseg, što povlači dodatnu tarifu [7].



Kritičan zahtev, pri implementaciji aukcijskog modela odnosi se na prihode od telekomunikacione mreže. Zbog toga je funkcija cilja u alokacijskom algoritmu funkcija prihoda mrežnog operatora. Razlika u odnosu na ranije aukcijske modele i GVA model ogleda se u tome što modifikovana GVA aukcija koristi novu linearnu funkciju prihoda:  $U_{ij} = U_{0j} + B_j L_{ij}$ , pri čemu su:  $U_{ij}$  - prihod od korisnika  $i$  za servis iz klase  $j$ ,  $U_{0j}$  - prihod od klase  $j$  u slučaju da korisnik koristi najniži QoS nivo, tj. osnovna cena za servis iz klase  $j$ ,  $B_j$  - prag cene za korišćenje jedinice propusnog opsega za servis višeg QoS nivoa iz klase  $j$  i  $L_{ij}$  - propusni opseg za servis višeg QoS nivoa iz klase  $j$  koji zahteva korisnik  $i$ <sup>2</sup>.

Ovde se razmatraju tri slučaja alokacije propusnog opsega: prvi, u mreži sa jednim linkom kada je osnovna cena fiksna; drugi, u mreži sa jednim linkom kada je osnovna cena promenljiva i treći, u mreži sa više linkova i fiksnom osnovnom cenom servisa. U sva tri slučaja, funkcija cilja koju treba maksimizirati je prihod provajdera servisa, uz ograničenja u pogledu raspoloživosti resursa u mreži.

#### ***Alokacija propusnog opsega u mreži sa jednim linkom i fiksnom osnovnom cenom***

U slučaju fiksne osnovne cene servisa koju određuje provajder servisa za svaku klasu posebno, pretpostavlja se da je za servis iz svake klase moguće obezbediti samo dva prioriteta odbacivanja IP paketa: nizak i visok, i da se dodatna tarifa naplaćuje za korišćenje servisa niskog prioriteta odbacivanja. To znači da svaki korisnik podnosi ponudu koja se sastoji od: cene za korišćenje servisa višeg QoS nivoa, tzv. koeficijenta osetljivosti,  $B_{ij}$  i zahteva za propusnim opsegom,  $L_{ij}$ . Za prag cene,  $B_j$  uzima se vrednost najmanje cene po jedinici propusnog opsega od svih korisničkih ponuda čiji su zahtevi ispunjeni.

#### ***Alokacija propusnog opsega u mreži sa jednim linkom i promenljivom osnovnom cenom***

U prethodnom slučaju optimalna alokacija propusnog opsega bazirala se na fiksnoj osnovnoj ceni, kao *a priori* informaciji koju mora odrediti provajder servisa. S obzirom da je teško dati preciznu informaciju o dinamici tržišta, predlaže se uvođenje osnovne cene kao promenljive u aukcijskom algoritmu. Na taj način se korisnicima omogućava nadmetanje oko osnovne cene, što je često važnije od koeficijenta osetljivosti i sličnije je konvencionalnim aukcijama.

U ovoj strategiji korisnici mogu da podnose ponude ne samo za korišćenje servisa višeg QoS nivoa (specificirane preko  $B_{ij}$  i  $L_{ij}$ ), već i za korišćenje servisa osnovnog QoS nivoa,  $U_{0ij}$ . Ovde važe isti uslovi organizovanja aukcije i koristi se ista funkcija prihoda kao u prethodnom slučaju. Za prag osnovne cene,  $U_{0j}$  i prag cene za

---

<sup>2</sup> Podrazumeva se da se primenjuje pravilo "sve ili ništa", odnosno da se zahtev korisnika za dodatnim propusnim opsegom ili potpuno ispunjava ili ne ispunjava uopšte. Prema tome, dodatni propusni opseg koji se dodeljuje korisniku može uzeti samo dve vrednosti:  $L_{ij}$  ili 0.

viši QoS nivo,  $B_j$ , uzimaju se vrednosti najmanjih cena po jedinici propusnog opsega od svih ponuda korisnika čiji su zahtevi ispunjeni.

#### ***Alokacija propusnog opsega u mreži sa više linkova i fiksnom osnovnom cenom***

Pri razmatranju primene aukcije u mreži sa više linkova, podrazumeva se da nam je dobro poznata topologija mreže, da su poznate ponude korisnika, kao i njihove rute. Svaki korisnik predlaže cenu  $B_{ij}$  za korišćenje zahtevanog propusnog opsega,  $L_{ij}$ .

Treba odlučiti koje tokove saobraćaja treba propustiti u svakoj klasi kako bi se maksimizirao prihod provajdera servisa. Na svakom linku u istoj klasi, korisnici čiji su zahtevi prihvaćeni plaćaju istu cenu, koja je jednaka najmanjoj ponudi među onima koje su prihvaćene. Kada se servis za korisnika obavlja preko više linkova, koji imaju različite pragove, korisnička cena se postavlja na najvišu vrednost od svih pragova tih linkova. Kako je prag za svaku aukciju jednak najmanjoj ponudi od svih prihvaćenih, ovaj koncept osigurava da korisnik, u najgorem slučaju, plaća cenu koju je sam ponudio.

U ovom slučaju, treba voditi računa o konzistentnosti alokacije propusnog opsega preko linkova duž cele rute jednog toka. Zbog toga se sve oznake, koje su prethodno uvedene za mrežu sa jednim linkom, transformišu dodavanjem indeksa  $l$ , koji predstavlja vrednost na linku  $l$ . Korisnička ponuda važi za sve linkove koje obuhvata njegova ruta.

#### ***Simulacije i rezultati***

Simulacije su izvršene za dve različite DiffServ mreže: mrežu sa jednim linkom i mrežu sa 20 linkova. Radi sprovođenja simulacije, razvijen je softver u Scilab-u [20]. U obe mreže je simuliran PHB sa sigurnim prosleđivanjem, u okviru kojeg je saobraćaj podeljen na četiri klase i dva prioriteta odbacivanja saobraćaja unutar svake klase (tabela 1). Korisnici u ponudama koje podnose, predlažu cene za korišćenje određene klase servisa i prioriteta odbacivanja u intervalu od sat vremena. Aukcije se organizuju istovremeno za sve četiri klase, tako da svaki korisnik pre aukcije odlučuje za koju klasu i koji prioritet odbacivanja će dati ponudu.

Tabela 1: PHB sa sigurnim prosleđivanjem – preporučena klasifikacija IP saobraćaja i pridružene vrednosti kodova DSCP [21]

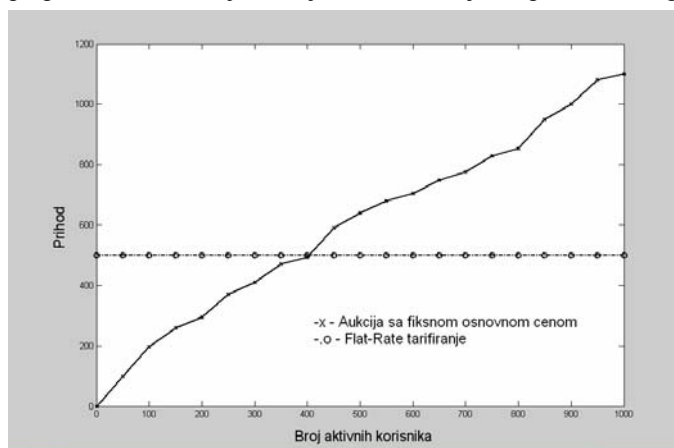
Prioritet odbacivanja	Kód DSCP			
	Klasa 1	Klasa 2	Klasa 3	Klasa 4
Nizak	001010	010010	011010	100010
Visok	001110	010110	011110	100110

Izvršena je analiza problema maksimizacije prihoda servisnih operatera u zavisnosti od broja aktivnih korisnika i rezultati su predstavljeni grafički. Takođe je izvršeno poređenje ovih rezultata sa rezultatima koji se dobijaju korišćenjem *flat* tarifne šeme. U svim simulacijama je pretpostavljena jedinična količina propusnog opsega, koja odgovara 1MB. Parametri propusnog opsega predstavljeni su svojim jediničnim vrednostima. Cene su u novčanim jedinicama (korišćene su normalizovane vrednosti) i

pretpostavljeno je da korisnici od kojih se korišćenje servisa naplaćuje po *flat* tarifnom režimu, plaćaju *flat* tarifu u iznosu od 0,5 novčanih jedinica po času, nezavisno od trenutnog korišćenja.

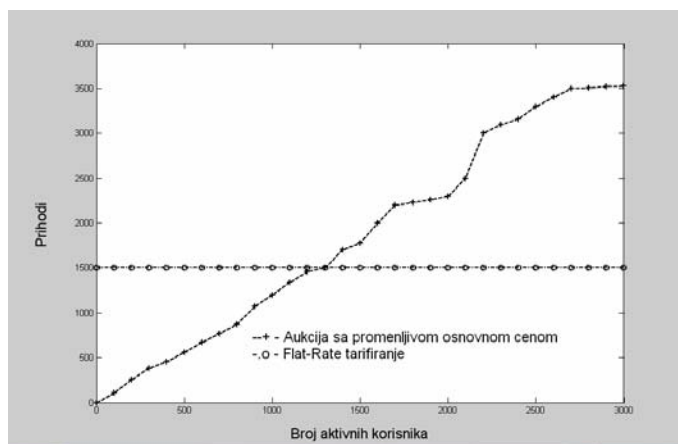
- U slučaju alokacije propusnog opsega u mreži sa jednim linkom i fiksnom osnovnom cenom, u aukcijama učestvuju korisnici koji žele da im se osigura viši nivo QoS, tj. nizak prioritet odbacivanja. Onim korisnicima koji odluče da plate samo osnovnu cenu, garantuje se visok nivo odbacivanja i za njih se aukcija ne organizuje, jer je osnovna cena fiksna.
- U slučaju koji se odnosi na alokaciju propusnog opsega u mreži sa jednim linkom i promenljivom osnovnom cenom, učestvuju korisnici koji se nadmeću ne samo za nizak prioritet odbacivanja, već i za visok prioritet odbacivanja. To znači da korisnici daju ponude za osnovnu cenu (ako se zadovoljavaju servisom sa visokim prioritetom odbacivanja) i za dodatni propusni opseg (ako žele nizak prioritet odbacivanja).
- U trećem slučaju, koji obuhvata alokaciju propusnog opsega u mreži sa više linkova i fiksnom osnovnom cenom, simulirane su aukcije za mrežu sa 20 linkova. Onim korisnicima koji odluče da plate samo osnovnu cenu, garantuje se visok nivo odbacivanja i za njih se aukcija ne organizuje, jer je osnovna cena, u ovom slučaju, fiksna.

Simulacije su pokazale da se implementiranjem sva tri aukcijska modela postiže efikasna alokacija, odnosno potpuno iskorišćenje raspoloživog propusnog opsega. Za korisnike je ovakav način formiranja cena pogodniji jer im se pruža mogućnost da koriste onoliko resursa koliko im je potrebno za odgovarajuću aplikaciju, da učestvuju u formiranju cene i pri tom ne plaćaju veću cenu od one koju su ponudili. U slučaju promenljive osnovne cene, korisnici mogu učestvovati ne samo u formiranju cene za dodatni propusni opseg, već i u formiranju osnovne cene. Formirane cene su efikasne, jer zavise isključivo od korisničkih zahteva i u potpunosti oslikavaju stanje u mreži, tj. stepen mrežnog zagušenja. Veće mrežno zagušenje značiće više cene. Na slikama 1-3 prikazani su rezultati simulacija, koji ilustruju zavisnost prihoda od broja aktivnih korisnika. Kada se ovi rezultati uporede sa *flat* tarifnim konceptom, kod koga je tarifa jednaka bez obzira na trenutno korišćenje, primećuje se da za manji broj aktivnih korisnika, *flat* šema osigurava veći prihod, dok sa porastom

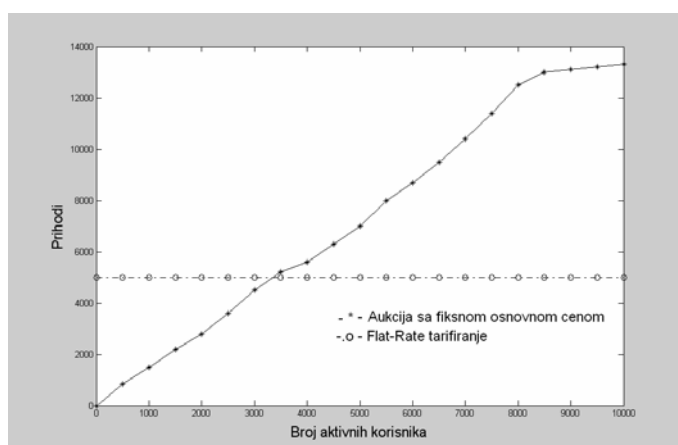


Slika 1: Prihodi operatora u mreži sa jednim linkom i fiksnom osnovnom cenom

broja aktivnih korisnika, bolje rezultate daju aukcijski modeli. Grafik sa slike 3 takođe pokazuje da za veoma veliki broj korisnika prihodi stagniraju, čime se reflektuje zasićenje mreže, odnosno situacija u kojoj više nema raspoloživih resursa.



Slika 2: Prihodi operatora u mreži sa jednim linkom i promenljivom osnovnom cenom



Slika 3: Prihodi operatora u mreži sa 20 linkova i fiksnom osnovnom cenom

Prema tome, u uslovima mrežnog zagušenja, operator može očekivati veće prihode ako se odluči za primenu modifikovanog GVA modela, u sva tri slučaja alokacije propusnog opsega.

## 6. Zaključak

U ovom radu su analizirani koncepti tarifiranja koje je moguće primeniti u multiservisnim IP mrežama. Takođe su predstavljene osnovni elementi teorije aukcija i aukcijske metode koje su od značaja za tarifiranje telekomunikacionih servisa. Kada se primenjuju aukcijski mehanizmi, cene servisa u mreži mogu se menjati dinamički, prema

nivou zahtevanog QoS, trenutnom korišćenju i situacijama mrežnog zagušenja. Na taj način, mreža funkcioniše efikasnije i korisnici mogu reagovati na promene cena ažuriranjem svojih zahteva, za razliku od *flat pricing* koncepta u kojem se korisnik zadužuje fiksnom sumom u nekom vremenskom intervalu bez obzira na korišćenje servisa.

Od brojnih aukcijskih mehanizama, koje je moguće primeniti za tarifiranje telekomunikacionih servisa, izabran je GVA model i izvršena je njegova modifikacija novom linearnom funkcijom prihoda, koja ne obuhvata samo zahteve korisnika za propusnim opsegom, već i korisničke zahteve vezane za kvalitet servisa. Modifikovani GVA model, koji predstavlja novu strategiju za implementaciju *smart market* tarifnog koncepta, verifikovan je simulacijama za različite slučajeve alokacije propusnog opsega u DiffServ mrežama: u mreži sa jednim linkom i fiksnom osnovnom cenom, u mreži sa jednim linkom i promenljivom osnovnom cenom i u mreži sa više linkova i fiksnom osnovnom cenom servisa. Pokazano je da se njegovom primenom, u uslovima mrežnog zagušenja, postiže veća iskorišćenost mrežnih resursa, efikasne cene i veće korisničke pogodnosti u odnosu na *flat* tarifni koncept, čija je primena uobičajena u današnjim IP mrežama. Rezultati simulacija su takođe pokazali da se za veliki broj korisnika, primenom predloženih aukcijskih modela ostvaruju veći prihodi od telekomunikacionih servisa nego kada se koristi *flat* tarifna šema.

## Literatura

- [1] J. K. MacKie-Mason, H. Varian, "Pricing the Internet", *Public Access to the Internet*, B. Kahin and J. Keller (eds.), Englewood Cliffs NJ, Prentice Hall, 1994.
- [2] B. Caillaud, J. Robert, "Implementing the Optimal Auction", *Cirano*, Montreal, June 2003, dostupno na: <http://www.cirano.qc.ca/pdf/publication/2003s-31.pdf>
- [3] D. Porter, S. Rassenti, V. Smith, "Combinatorial Auction Design", March 2003, dostupno na: <http://www.ices-gmu.net/article.php/419.html>
- [4] E. Takahashi, Y. Tanaka, »Auction-Based Effective Bandwidth Allocation Mechanism«, *Telecommunication Systems*, Vol.24, No. 2-4, 2003, pp.323-338.
- [5] S. Wrzaczek, P. Reichl, S. Bessler, „Multi-period Auctions for Network Resources“, *Telecommunications Network Strategy and Planning Symposium*, NETWORKS 2004, June 2004, pp. 261-266.
- [6] V. Radonjić, V. Aćimović-Raspopović, «Primena generalizovanog Vickrey aukcijskog modela za alokaciju propusnog opsega», *TELEFOR – CD zbornik*, Beograd, Novembar 2005.
- [7] V. Aćimović-Raspopović, V. Radonjić, "Smart Market Pricing Scheme with a New Auction Approach in DiffServ IP-based Networks", *Proceedings of ERK*, Portorož, September 2006.
- [8] A. Pras, B-J. van Beijnum, R. Parhonoyi, "Internet Accounting", *IEEE Communications Magazine*, Vol. 39, No. 5, May 2001, pp. 108-113
- [9] W. Yang, "Pricing Network Resources in Differentiated Service Networks", Ph.D. dissertation, Georgia Institute of Technology, April 2004.
- [10] M. Falkner, M. Devetsikiotis, I. Lambadaris, "An Overview of Pricing Concepts for Broadband IP Networks", *IEEE Comm. Surveys*, 2nd Quarter 2000, pp. 2-13.

- [11] Costas Courcoubetis, Richard Weber, *Pricing Communication Networks*, John Wiley & Sons Ltd, 2003.
- [12] A. Odlyzko, "Paris metro pricing for the Internet", *Proceedings of the first ACM conference on Electronic commerce*, ISBN 1-58113-176-3, November 1999, pp. 140-147
- [13] C-H. Yoon, Y-W. Song, B. H. Jun, "Efficient Capacity Pricing of the Internet Services", dostupno na: <http://econ.korea.ac.kr/~ri/WorkingPapers/w0508.pdf>
- [14] F. Jarray, L. Wynter, "An Optimal Smart Market for the Pricing of Telecommunications services", October 2001, dostupno na: <http://hal.inria.fr/inria-00072277/en/>
- [15] »Market Responsive Pricing Model«, *Procurement Working Group Meeting*, 2004, dostupno na: [http://www.icc.illinois.gov/docs/en/\\_040726ecPostProcurePricing.pdf](http://www.icc.illinois.gov/docs/en/_040726ecPostProcurePricing.pdf)
- [16] A. Goel, "Topics in Network Algorithms", Stanford University, Winter 2005-06, dostupno na: <http://www.stanford.edu/~ashishg/network-algorithms/notes/lecture10.pdf>
- [17] <http://www.e-trgovina.co.yu/b2cmodeli/aukcije2.html>
- [18] C. Courcoubetis, R. Weber, *Pricing Communication Networks*, John Wiley & Sons Ltd, 2003.
- [19] B. Tuffin, »Revisited Progressive Second Price Auction for Charging Telecommunication Networks«, *Telecommunication Systems*, Kluwer Academic Publishers, Netherland, 2002.
- [20] Scilab 3.1.1. available at <http://scilabsoft.inria.fr/>
- [21] J. Heinanen, F. Baker, W. Weiss, J. Wroclawski, "Assured Forwarding PHB Group", RFC 2597 (Standards Track), IETF, 1999.

**Abstract:** This paper describes pricing schemes that can be applied for pricing multiservice IP networks. The main characteristics of auction theory and appropriate auction methods for pricing telecommunication services are also presented in this paper. We propose new auction approaches, as strategies for implementing Smart Market pricing scheme. We performed simulations of proposed auction models for both fixed and variable base prices and for two DiffServ IP-based networks: with single link and with multiple links. Simulation results show that for a large number of users total network operator revenue can be increased in comparison with flat-rate pricing scheme.

**Keywords:** pricing scheme, auction model, efficient allocation, revenue maximization, differentiated services.

**Auction-Based Methods for Pricing Multiservice IP Networks**  
Vladanka Aćimović-Raspopović, Vesna Radonjić