

AUKCIJSKE METODE ZA ALOKACIJU EFEKTIVNOG PROPUSNOG OPSEGA

Ranko Nedeljković, Vesna Radonjić
Saobraćajni fakultet u Beogradu

Sadržaj: U ovom radu predstavljena je primena dva aukcijska modela za alokaciju propusnog opsega u telekomunikacionoj mreži između većeg broja korisnika: generalizovani Vickrey aukcijski model (GVA, Generalized Vickrey Auction) i model link aukcije. Na osnovu simulacije, koju smo izvršili korišćenjem softvera koji je razvijen u Scilab-u, pokazali smo da se primenom GVA modela ostvaruju viši stepen iskorišćenosti mrežnih resursa, veći prihodi od telekomunikacionih mreža i veća dobit za korisnike nego u modelu link aukcije. Primena link aukcije je opravdana kada je potrebno izvršiti alokaciju propusnog opsega na jednom linku.

Ključne reči: efektivni propusni opseg, efikasna alokacija, aukcijski model, GVA metoda, link aukcija, tarifiranje

1. Uvod

Razvoj novih tehnologija i novi ekonomski uslovi na tržištu telekomunikacija pružaju nove mogućnosti i postavljaju nove rizike. Postavlja se pitanje kako će nove prilike i izazovi 21-og veka promeniti način kreiranja i pružanja servisa korisnicima i kako će se to odraziti na način formiranja cena telekomunikacionih servisa.

Nove tendencije na telekomunikacionom tržištu stvaraju uslove za nove biznis modele i nove komercijalne servise. Međutim, neće doći samo do postepenih promena u načinu kreiranja i pružanja servisa, već će se promeniti i uloge svih učesnika na tržištu. Korisnici servisa više neće biti pasivni posmatrači, već će aktivno učestvovati u formiranju servisa i njihovih cena. Značajnu ulogu u formiranju tarifa imaće korisnička iskustva. Korisnici će imati direktnu kontrolu nad načinom izbora, korišćenja i zamene servisa, koji im se obezbeđuju, kad god to pože. Suočeni sa mogućnošću radikalnih promena u ponašanju i navikama, i mali i veliki provajderi će se truditi da iskoriste snagu mreže, kao ključnu konkurentsku prednost.[1,2,3]

Paradoksalno je to, što pojednostavljenje i olakšavanje korišćenja telekomunikacionih usluga predstavlja veoma komplikovan zadatak. U ovom radu su predstavljena dva aukcijska modela, koji pružaju mogućnost za delimično rešavanje problema, prisutnih u današnjim tarifnim sistemima.

Aukcija je vrsta prodaje u kojoj se cena nekog artikla određuje licitacijom i njena prednost je u tome što se prodaja može organizovati javno, čime se smanjuje mogućnost korupcije. Poslednjih godina, aukcije su postale veoma popularno sredstvo za efikasnu alokaciju oskudnih mrežnih resursa, kao što je propusni opseg. One obuhvataju proverene mehanizme za postizanje ekonomske efikasnosti u okviru alokacije resursa, jer mogu biti pogodne za većinu korisnika i u tom smislu se maksimizira socijalna dobrobit.

Aukcija se može posmatrati kao igra sa nepotpunim početnim informacijama, u kojoj vrednosti koje svaki učesnik dodeljuje artiklima za prodaju ne moraju biti poznate aukcionaru i ostalim učesnicima pre početka aukcije. Optimalno rešenje igre predstavlja funkciju pravila aukcije, kojima se definišu:

- način organizovanja aukcije,
- informacije koje učesnici u aukciji imaju o uslovima pod kojima se vrši licitacija,
- način određivanja pobednika i iznosa koji on mora da plati.

Ova pravila mogu da utiču na dobit aukcionara, kao i na odstupanja od drugih organizovanih aukcija.[4]

Za alokaciju resursa u telekomunikacionim mrežama, mogu se primeniti različiti tipovi aukcija. Na osnovu rezultata simulacija, sprovedenih po nekoliko kriterijuma, ovde je izvršena uporedna analiza dva aukcijska modela: link aukcije i generalizovanog *Vickrey* aukcijskog modela (GVA, *Generalized Vickrey Auction*).

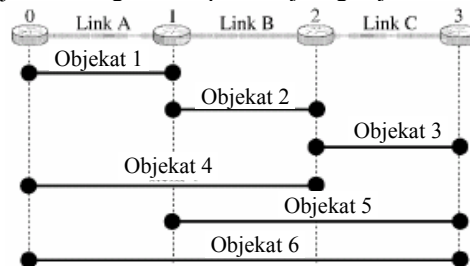
Procena performansi predloženih metoda vršiće se po različitim kriterijumima:

- iskorišćenost resursa
- profiti telekomunikacionih provajdera/kompanija i
- zadovoljenje korisničkih zahteva.

Rad je organizovan na sledeći način. U prvom delu rada predstavljeni su teorijski modeli link aukcije i GVA. U drugom delu rada analizirali smo rezultate simulacije izvršene pomoću softvera, koji je razvijen u Scilab-u.[5] Na osnovu toga izvršili smo poređenje ova dva modela i ukazali na mogućnosti njihove primene za različite slučajeve alokacije propusnog opsega.

2. Struktura mrežnih resursa

Polazeći sa stanovišta da se problem alokacije mrežnih resursa mora preispitati u svojoj osnovi i da je glavni cilj tržišnog pristupa postizanje efikasnog iskorišćenja resursa u celoj mreži, potrebno je proučiti karakteristike mrežnih resursa i način primene simultanih aukcija s jednim krugom radi postizanja tog cilja.



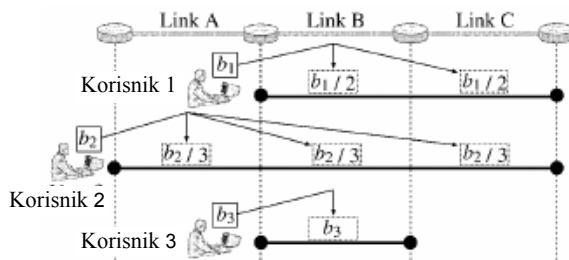
Slika 1. Struktura mrežnih resursa

Na slici 1 prikazana je ilustracija strukture mrežnih resursa. Ako posmatramo situaciju u kojoj korisnik s zahteva resurs između čvorova 0 i 2, njegova dobit u slučaju da dobije link A ili B je 0. On ostvaruje dobit jedino u slučaju da dobije oba linka – i link A i link B (objekat 4). Prema tome, postoji ukupno šest permutacija objekata, dobijenih kombinacijom jediničnih linkova: A, B i C.

3. Link aukcije

Link aukcija se koristi u konvencionalnim studijama i u jednostavnoj metodi opsluživanja po redosledu pristizanja zahteva (*first come, first served*).

U link aukciji, mrežni resursi se raspodeljuju na linku tako što se dodeljuju učesnicima sa najvećim ponudama. Ukoliko preostali mrežni resursi nisu dovoljni da ispune sve trenutne zahteve, ponuda koju korisnik daje na aukciji ovog tipa čuva se u čvorovima. Za svaki link se primenjuje aukcija u kojoj su ponude tajne i u kojoj pobeđnici plaćaju cenu u vrednosti najveće ponude koja nije prošla (odnosno, vrednost prethodne licitirane cene). Ponude na pojedinim linkovima određuju se podelom ponude „s kraja na kraj“ na određen broj skokova između predaje i prijema, kao na slici 2.[7,8]



Slika 2. Link aukcija

Ova metoda spada u *second-price*, odnosno *Vickrey* aukcije¹. Za njih je karakteristično da su učesnici podstaknuti da daju ponude koje odgovaraju pravoj vrednosti aukcijskog predmeta i da pobeđnik plaća aukcijski predmet po najvećoj licitiranoj ceni učesnika kome nije dodeljen aukcijski objekat.

Teorija *Vickrey* aukcije, dalje tvrdi da je vrednost ponude „s kraja na kraj“ korisnika s jednaka njegovoj ličnoj proceni „s kraja na kraj“ za resurse koje zahteva.

Međutim, ova metoda ima jedan veliki nedostatak. Na primer, ako je na slici 2, $b_2 > b_3 > b_2 / 3$ i ako propusni opseg koji je raspoloživ za link B nije dovoljan da se prilagodi istovremenim zahtevima korisnika 2 i 3, resurs će biti dodeljen korisniku 3, dok će korisnik 2 ostati neopslužen. Na taj način se na nivou cele mreže ne obezbeđuje dovoljna efikasnost.

Postoje druge metode, u kojima se ponuda „s kraja na kraj“ neravnomerno deli na svaki link zahtevanog puta. Međutim, korisniku može biti problem da uspešno podeli svoj budžet među zahtevanim linkovima.

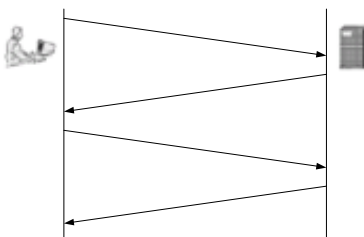
¹ *Second-price* aukcije se još nazivaju *Vickrey* aukcije, po autoru.

4. Alokacija mrežnih resursa pomoću GVA metode

Alokacijski algoritam

Kao i kod drugih *Vickrey* aukcija, u GVA pristupu učesnici su podstaknuti da daju ponude koje odgovaraju pravoj vrednosti aukcijskog predmeta i pobjednik plaća aukcijski predmet po najvećoj licitiranoj ceni učesnika kome nije dodeljen aukcijski objekat.

Na slici 3 prikazan je postupak raspodele resursa korišćenjem GVA metode. GVA je tzv. *sealed-bid* aukcija sa jednim krugom za simultanu alokaciju skupa objekata, što podrazumeva da je to pismena aukcija u kojoj učesnici podnose pismene, zatvorene i zapečaćene ponude i kod nje broj učesnika nije poznat unapred.



Slika 3. Postupak alokacije resursa primenom GVA[7]

Neka je broj korisnika – učesnika u aukciji I , pri čemu je svaki korisnik označen sa $i = \{1, 2, \dots, I\}$. Neka se sa T označava ukupna količina resursa u mreži. Za bilo koju alokaciju $Q \in T$, element Q_i predstavlja mrežni resurs, koji se dodeljuje korisniku i . Neka se sa $b_i(Q_i)$ označava ponuda korisnika i za taj resurs. Aukcionar bira alokaciju Q^* kojom se maksimizira suma: $b_1(Q_1^*) + b_2(Q_2^*) + \dots + b_I(Q_I^*)$. Ovde se optimalna alokacija označava sa Q^* , a slučaj kada optimalna alokacija za učesnika s ne postoji označava se sa Q_{-s}^* . Tada se cena p_s , koja se naplaćuje od korisnika s , određuje prema sledećoj jednačini:

$$p_s = \sum_{i \neq s} b_i(Q_{-s,i}^*) - \sum_{i \neq s} b_i(Q_i^*)$$

Ovde važi sledeća relacija:

$$b_s - p_s = b_s - \sum_{i \neq s} b_i(Q_{-s,i}^*) + \sum_{i \neq s} b_i(Q_i^*) = \sum_i b_i(Q_i^*) - \sum_{i \neq s} b_i(Q_{-s,i}^*) > 0$$

Zbog toga je uvek zadovoljeno: $p_s < b_s$, pod pretpostavkama da postoji samo jedna optimalna alokacija i da ponuda korisnika s , b_s zadovoljava uslov: $b_s > 0$.

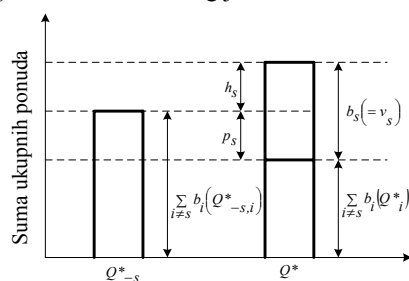
Korisnički aspekt

Korisnik s mrežni resurs q_s procenjuje na vrednost v_s , pri čemu se q_s definiše skupom: $q_s = \{n_{1s}, n_{2s}, \tilde{\omega}_s\}$; n_{1s} i n_{2s} identifikuju krajnje čvorove, dok je $\tilde{\omega}_s$ propusni opseg koji zahteva korisnik s . Neka ω_s ($=0$ ili $\tilde{\omega}_s$) označava propusni opseg koji se dodeljuje korisniku s . Kada se količina q_s dodeljuje korisniku s po ceni p_s , njegova dobit jednaka je razlici: $v_s - p_s$.

Uz pretpostavku da svaki korisnik, poznavajući samo vrednost svoje procene, postupa isključivo u cilju maksimizacije svoje dobiti, njegovo ponašanje se može predstaviti sledećim matematičkim izrazom:

$$\max_{b_s} (v_s - p_s) P \{uspešno | b_s\}$$

gde je sa $P \{uspešno | b_s\}$ označena verovatnoća postizanja uspeha u slučaju učešća sa ponudom b_s . Cena p_s ne zavisi od ponude b_s . Zbog toga je, za svakog korisnika, dominantna strategija: $b_s = v_s$, odnosno davanje ponude koja je jednaka njegovoj pravoj proceni vrednosti aukcijskog objekta. Ako je $b_s > v_s$, $P \{uspešno | b_s\}$ se povećava, ali se povećava i verovatnoća da njegova dobit (h_s) bude negativna, što u tom slučaju znači gubitak. Ako je $b_s < v_s$, $P \{uspešno | b_s\}$ se smanjuje. Na slici 4 skiciran je taj mehanizam. Efikasna alokacija mrežnih resursa ostvaruje se jedino u slučaju da svaki korisnik primenjuje svoju dominantnu strategiju.



Slika 4. Postupak raspodele resursa korišćenjem GVA metode

5. Uporedna analiza GVA metode i link aukcije

Da bi se primenom aukcije ostvarili dobri rezultati, potrebno je da ona ispunjava tri osnovna uslova:

Uslov 1: **Racionalnost za svakog korisnika, tj. učesnika u aukciji.** To znači da je dobit korisnika u slučaju osvajanja resursa na aukciji veća nego kada mu resurs nije dodeljen.

Uslov 2: **Pareto efikasnost.** Za alokaciju se kaže da je Pareto efikasna ako nijedan pojedinac ne bi bio u boljoj poziciji u slučaju bilo koje druge alokacije.[9]

Uslov 3: **Podsticaj za realno licitiranje.** To je aukcija u kojoj je jedina dominantna strategija realno izjašnjavanje o vrednovanju aukcijskih objekata.

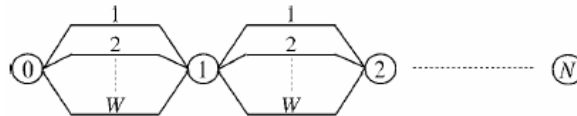
U alokaciji koja zadovoljava prvi uslov, cena nikad nije veća od njene korisničke procene. Prema tome, dobit korisnika ne može da bude negativna, tj. da postane gubitak. U najgorem slučaju – kada pregovori ne uspeju, dobit svakog korisnika je 0. U alokaciji koja zadovoljava drugi uslov, resurs se dodeljuje učesniku (ili učesnicima) koji procenjuje resurs na najveću vrednost i rezultat toga je maksimizacija ukupne dobiti. U alokaciji koja zadovoljava treći uslov, učesnicima se ne isplati da lažiraju svoje ponude i zbog toga se u tom slučaju uvek ostvaruje efikasna alokacija.

Analiza aukcijskih metoda vršiće se s obzirom na ova tri uslova.

Ovde će biti predstavljena primena GVA modela i modela link aukcije za rešavanje problema alokacije propusnog opsega između I korisnika u mreži sa $N+1$ čvorova (slika 5). Radi sprovođenja simulacije, razvili smo softver u Scilabu.[6] Ovde su predstavljeni tipični rezultati simulacije. Takođe je izvršena analiza rezultata po prethodno navedenim kriterijumima.

Model mreže

Na slici 5 je prikazana mreža sa N čvorova. Elementi skupa n su obeležja čvorova, odnosno: $n = \{0, 1, 2, \dots, N\}$. Pretpostavlja se da je udaljenost između bilo koja dva susedna čvora $(n-1, n)$ jednaka. Sa W se označava ukupni kapacitet svakog linka.



Slika 5. Model mreže sa N čvorova

Model servisa

Simulacija je izvršena za sledeće slučajeve:

- GVA: slučaj uopštene *Vickrey* aukcije i
- Link aukcija: tip aukcije koja se organizuje za svaki link posebno.

Indeksi procene

U simulaciji se koriste sledeći indeksi procene:

- Ukupna dobit od korisnika: $\sum_i v_i(Q_i^*)$;
- Stepen iskorišćenosti mrežnih resursa: $(\sum_i \omega_i |n_{1i} - n_{2i}|) / (WN)$;
- Ukupan prihod od mreže: $\sum_i p_i$;
- Ukupna dobit korisnika: $\sum_i \{v_i(Q_i^*) - p_i\}$;

Parametri

U simulaciji se koriste sledeći parametri:

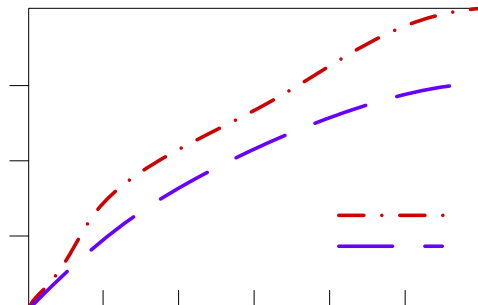
- Obeležje poslednjeg čvora (N) na linku je: 1-13;
- Kapacitet svakog linka (W) je: 11;
- Broj korisnika (I) je: 1-60;
- Zahtevi za propusnim opsegom ($\tilde{\omega}_i$): slučajno raspodeljeni na intervalu $[1,5]$;
- Zahtevi za linkovima (n_{1i}, n_{2i}): slučajni;
- Osnovna tarifa za jedinicu resursa (\tilde{p}_{min}): 0.1;
- Korisnička procena vrednosti jedinice resursa (\tilde{v}_i): slučajno raspodeljena na intervalu $[\tilde{p}_{min}, 1.0]$;
- Korisnička procena vrednosti traženih resursa (v_i): $\tilde{v}_i \times \omega_i \times |n_{1i} - n_{2i}|$;
- Ponuda svakog korisnika (b_i) u GVA modelu: v_i i
- Ponuda svakog korisnika (b_i) u modelu link aukcije: v_i .

Rezultati simulacije

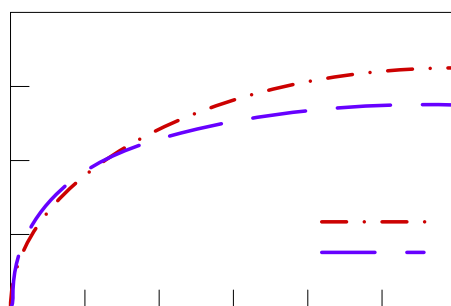
Analiza aukcijskih metoda vršice se, kao što je prethodno navedeno, s obzirom na uslove racionalnosti za svakog korisnika, Pareto efikasnosti i podsticaja za realno licitiranje.

I u GVA modelu i u link aukciji uvek je ispunjen uslov: $p_i < v_i$ za $\forall i$. To znači da cena ne može biti veća od njenog procenjenog nivoa. Time je uslov racionalnosti za svakog korisnika, tj. učesnika u aukciji ispunjen. Dominantna strategija u oba aukcijska modela za svakog korisnika je da otkrije svoju pravu procenu vrednosti zahtevanog resursa (ili nekog drugog aukcijskog objekta), odnosno $b_i = v_i$ za $\forall i$, što znači da je zadovoljen treći uslov – podsticaj za realno licitiranje. Posledica toga je da prioritet pri alokaciji propusnog opsega imaju korisnici koji ga najviše vrednuju. Na taj način je ispunjen i uslov Pareto efikasnosti. Dakle, obe predstavljene metode zadovoljavaju sva tri potrebna uslova za efikasnu alokaciju. Međutim, simulacija koju smo izvršili, pokazuje da između njih postoje određene razlike u indeksima procene.

Na slici 6 prikazana je zavisnost između ukupne dobiti od korisnika i broja korisnika, dok slika 7 pokazuje zavisnost između stepena iskorišćenosti mrežnih resursa i broja korisnika. Na osnovu prvog grafikona, jasno je da je ukupna dobit od korisnika uvek veća u slučaju primene GVA metode u odnosu na link aukciju. Rezultati simulacije za stepen iskorišćenosti resursa u mreži pokazuju da je za mali broj korisnika (do 15) link aukcija u blagoj prednosti u odnosu na GVA metodu, dok se za veći broj korisnika primenom GVA metode ostvaruje do 20% veći stepen iskorišćenosti resursa.

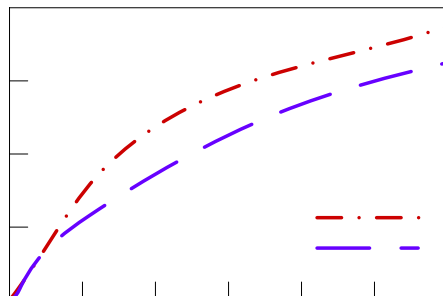


Slika 6. Ukupna dobit od korisnika (broj linkova = 13)

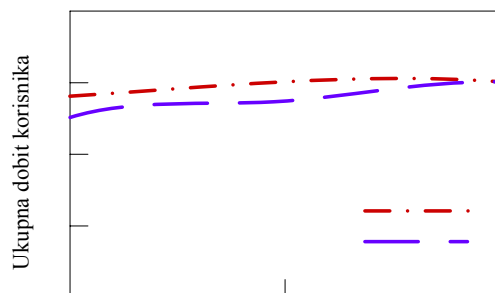


Slika 7. Stepen iskorišćenosti mrežnih resursa (broj linkova = 13)

Na slici 8 prikazana je zavisnost između prihoda od mreže i broja korisnika. Primenom GVA pristupa ostvaruju se konstantno veći prihodi. Prihodi koji se ostvaruju u GVA modelu su stabilni i odražavaju stanje (opterećenja) u mreži. Na slici 9 prikazana je zavisnost između ukupne dobiti koju ostvaruju korisnici učešćem u aukciji i njihovog broja. Na osnovu ovog grafika, jasno je da će korisnici ostvariti veću dobit kada se primenjuje GVA, nego link aukcija.



Slika 8. Ukupni prihodi od mreže



Slika 9. Ukupna dobit koju ostvaruju učesnici u aukciji

Prema tome, u izvršenoj simulaciji GVA metoda daje bolje rezultate od metode link aukcije za sve navedene indekse procene, što je rezultat činjenice da se primenom link aukcije na nivou cele mreže ne obezbeđuje dovoljna efikasnost. Ukoliko bi se simulirali efekti obe predstavljene metode na samo jednom linku, razlika između ovih metoda bila bi manja i moguće je da bi u tom slučaju link aukcija imala prednost u odnosu na GVA metodu.

6. Zaključak

Primena link aukcije je opravdana kada je potrebno izvršiti alokaciju propusnog opsega na jednom linku. Generalizovana *Vickrey* aukcijska metoda (GVA) je pogodna za primenu u aukcijama koje se organizuju za više linkova, tj. za alokaciju resursa u celoj mreži. Takođe se može koristiti za iznajmljene linije, preprodavane linije ili za alokaciju propusnog opsega pojedinačnim korisnicima.

Simulacije, koje su predstavljene u ovom radu, izvršene su korišćenjem softvera razvijenog u Scilab-u. Njih smo iskoristili za analizu obe predstavljene metode i njihovo poređenje. Analiza je pokazala da se usvajanjem GVA metode može maksimizirati

ukupna dobit od korisnika i da se istovremeno postiže veći stepen iskorišćenja mrežnih resursa. Takođe, primenom GVA pristupa ostvaruju se konstantno veći prihodi, a ukupna dobit koju ostvaruju korisnici svojim učešćem u aukciji nešto je veća nego u slučaju link aukcije. Veoma važan zaključak, koji se može izvesti na osnovu ovih simulacija, je da se primenom GVA metode (za razliku od link aukcije) postižu efikasne cene, koje reflektuju stanje, odnosno opterećenje u mreži.

Iako je analiza rezultata simulacije pokazala da GVA aukcijski model ispunjava sve uslove koji su potrebni za efikasnu alokaciju, zbog obimnog proračuna u nekim situacijama ga nije praktično koristiti za alokaciju mrežnih resursa. Kad god postoje potrebe i odgovarajući uslovi za sprovođenje alokacije propusnog opsega na jednom linku, praktičnije je primeniti link aukciju umesto GVA metode. Međutim, oba pristupa su veoma značajna, jer obuhvataju važne kriterijume za alokaciju mrežnih resursa koji se mogu iskoristiti u analizama tržišta mrežnih resursa.

Literatura

- [1] Paul Reynolds, »Delivering Economic and Social Development in the Digital Networked Economy«, Communication World Forum, London, 2005.
- [2] www.cisco.com
- [3] www.erg.abdn.ac.uk
- [4] Teresa C. Piliouras, »Network Design Management and Technical Perspectives«, Auerbach Publications, 2005
- [5] Costas Courcoubetis, Richard Weber, *Pricing Communication Networks*, John Wiley & Sons Ltd, 2003
- [6] Scilab 3.1.1. available at <http://scilabsoft.inria.fr/>
- [7] Eiji Takahashi, Yoshiaki Tanaka, »Auction-Based Effective Bandwidth Allocation Mechanism«, *Telecommunication Systems*, Kluwer Academic Publishers, Netherland, 2003
- [8] A. Iselt, A. Kirstadter, R. Chahine, »Bandwidth trading - A business case for ASON?«, *Telecommunications Network Strategy and Planning Symposium, NETWORKS 2004*
- [9] www-scf.usc.edu/~yongkim/kluwer.pdf

Abstract: *This paper describes the application of two auction models: Generalised Vickrey Auction (GVA) model and link auction model for bandwidth allocations among multiple users in a telecommunication network. For that purpose, we developed software in Scilab. By adopting the proposed methods, we found that total network revenue, total utility of users and the utilisation rate of network resources can be improved by using GVA model. Link auction should be used in case of bandwidth allocation on a single link.*

Keywords: *effective bandwidth, efficient allocation, auction model, GVA method, link auction, pricing*

AUCTION-BASED EFFECTIVE BANDWIDTH ALLOCATION METHODS

Ranko Nedeljković, Vesna Radonjić

