

# Model ekstenzivne igre za koncept tarifiranja Internet servisa prema očekivanom kapacitetu

Vesna Radonjić, Vladanka Aćimović-Raspopović

**Sadržaj** — U ovom radu je predložen model igre u ekstenzivnoj formi za rešavanje problema pronalazjenja optimalnih cena Internet servisa. Primenjuje se model kvaliteta servisa sa tri različite klase servisa u okviru koncepta tarifiranja prema očekivanom kapacitetu. Na osnovu softvera koji smo razvili možemo utvrditi optimalnu promenu cena u predloženom modelu.

**Ključne reči** — Ekstenzivna forma igre, Maksimiziranje dobiti, QoS model, Zadovoljstvo korisnika.

## I. UVOD

TARIFIRANJE u mrežama koje se zasnivaju na IP (*Internet Protocol*) tehnologiji mora uzeti u obzir prirodu tražnje za IP servisima, koja obuhvata elastičnost i varijabilnost cena. Takođe se mora voditi računa i o prirodi servisa koje nudi mreža u smislu kvaliteta servisa. U uslovima visoko-konkurentnog okruženja, dolazi do promena u načinu kreiranja i pružanja servisa korisnicima. Uloge korisnika se menjaju tako da oni postaju aktivni učesnici sa direktnom kontrolom nad načinom izbora, korišćenja i zamene servisa koji im se obezbeđuju. Zbog toga provajderi servisa pokušavaju da ponudom servisa različitog nivoa kvaliteta što efikasnije iskoriste mrežne kapacitete i maksimiziraju svoj profit, vodeći računa o korisničkim preferencijama.

Teorija igara, kao matematička teorija koja se bavi opštim karakteristikama konfliktnih situacija, može biti dobra teorijska osnova za definisanje tarifnog sistema, njegovih karakteristika i, posebno, ponašanja učesnika u okviru njega. U ovom radu, istraživanje je usmereno na rešavanje problema formiranja novih cena kada jedan lokalni provajder Internet servisa (ISP, Internet Service Provider) svojim korisnicima pruža mogućnost korišćenja većeg binarnog protoka. U posmatranoj mreži koristimo model kvaliteta servisa (QoS, Quality of Service), koji obuhvata tri klase servisa u konceptu tarifiranja prema očekivanom kapacitetu. Problem smo formulisali koristeći ekstenzivnu formu igara.

Rad je organizovan na sledeći način. U drugom poglavlju su navedene osnovne karakteristike modela kvaliteta servisa u višedomenskoj mreži i u posmatranoj mreži za pristup i opisan je koncept tarifiranja prema očekivanom kapacitetu. U trećem poglavlju je predložen model igara i prikazana je aplikacija sa rezultatima jedne

simulacije tog modela. U četvrtom poglavlju su data zaključna razmatranja.

## II. MODEL KVALITETA SERVISA U KONCEPTU TARIFIRANJA PREMA OČEKIVANOM KAPACITETU

U višedomenskim mrežama, garantovanje kvaliteta servisa postiže se pomoću arhitekture diferenciranih servisa (*DiffServ*, *Differentiated Services* [1]), dok se u mrežama za pristup mogu koristiti različiti modeli QoS. Zajedničko za sve modele QoS je da se u njima korisničke aplikacije, tj. IP paketi klasifikuju u određen broj servisnih klasa. Klasa servisa (CoS, *Class of Service*) je skup tehničkih karakteristika koje su raspoložive u okviru određenog servisa. IETF (*Internet Engineering Task Force*) definiše klasu servisa kao „definicije semantike i parametara za specifičan tip QoS“ [2]. Servisi koji pripadaju jednoj klasi opisuju se istim skupom parametara, kojima se pridružuju kvalitativne ili kvantitativne vrednosti. Nivo servisa (*service level*) je pojam koji se koristi za kategorizaciju i diferencijaciju klasa servisa imajući u vidu kvalitativnu i/ili kvantitativnu gradaciju zahteva za određeni parametar ili skup parametara QoS.

Koncept *DiffServ* podrazumeva podelu mreže na domene diferenciranih servisa (DS domeni), od kojih svaki odgovara Intranet mreži ili domenu Internet provajdera. Na nivou interfejsa između korisnika i provajdera servisa, svaki korisnik mora na odgovarajući način označiti klasu servisa kojoj pripadaju paketi iz njegove aplikacije [3]. Polje sa oznakom tipa servisa zaglavlja IPv4 paketa ili polje saobraćajne klase koje se definiše kao DS polje IPv6 paketa, koristi se za kodiranje servisne informacije i označava se kao DSCP (*Differentiated Services Code Point* [4]). Kada paket uđe u jezgro mreže, svaki ruter duž njegove rute, primenjuje ogovarajući postupak PHB (*Per-Hop Behavior*), koji se zasniva na DSCP informaciji koju sadrži zaglavlje paketa. PHB određuje prioritet obrade, najveće kašnjenje zbog obrade u čvoru, dodeljeni propusni opseg i verovatnoću odbacivanja paketa. *DiffServ* arhitektura definiše tri tipa PHB:

1. PHB sa ubrzanim prosleđivanjem (EF PHB, *Expedited Forwarding* PHB) je servis koji se koristi da obezbedi apsolutne garancije QoS.
2. PHB sa sigurnim prosleđivanjem (AF PHB, *Assured Forwarding* PHB) pruža različite nivoe sigurnosti prosleđivanja. Unutar njega se definišu četiri podklase saobraćaja i tri prioriteta odbacivanja.
3. Servis najboljeg pokušaja (BE, *Best Effort*) odgovara servisu koji postoji u današnjem Internetu. On ne pruža garanciju isporuke IP paketa, već samo osigurava da će

Vesna Radonjić, Saobraćajni fakultet Univerziteta u Beogradu, Srbija (tel: 381-11-3091241; e-mail: [v.radonjic@sf.bg.ac.yu](mailto:v.radonjic@sf.bg.ac.yu))

Vladanka Aćimović-Raspopović, Saobraćajni fakultet Univerziteta u Beogradu, Srbija (tel: 381-11-3091398; e-mail: [v.acimovic@sf.bg.ac.yu](mailto:v.acimovic@sf.bg.ac.yu))

tim paketima biti dodeljen deo propusnog opsega koji nije iskorišćen od strane ostalih tokova saobraćaja.

DiffServ pristup, takođe, definiše procedure rutiranja za svaku od ovih klasa. S obzirom na to, potreban je uniformni tarifni model za svaku klasu saobraćaja.

U mrežama za pristup se mogu koristiti različiti modeli QoS. Oni se zasnivaju na pregovorima između korisnika i provajdera servisa, čiji je rezultat njihov međusobni ugovor (SLA, *Service Level Agreement*). Uopšteno se pored *Best Effort* klase servisa, definiše samo klasa *Low Latency*, koja podrazumeva određene QoS garancije. U DiffServ okruženju klase EF PHB i AF PHB predstavljaju *Low Latency* servise, jer obezbeđuju različite nivoe QoS. Nezavisno od primenjenog QoS modela, SLA treba da se sastoji od tehničkog i administrativnog segmenta, koji se odnose na određeni servis [5]. Tehnički deo obuhvata skup tehničkih parametara koji karakterišu određenu servisnu klasu ili profil saobraćaja. Administrativni segment obuhvata finansijske i pravne aspekte: tarifne informacije o obračunu, fakturisanju i naplati i konsekvence za korisnika i provajdera u slučaju nepoštovanja ugovora [6].

U ovom radu razmatramo i korisnički aspekt i dobit provajdera servisa u mreži za pristup u kojoj se primenjuje koncept tarifiranja prema očekivanom kapacitetu. U posmatranoj mreži koristimo model QoS, koji obuhvata tri klase servisa:

1. Klasa A je klasa kojoj odgovara najviši nivo servisa. Svim korisničkim aplikacijama iz ove klase obezbeđene su najviše garancije QoS u smislu propusnog opsega, kašnjenja i džitera (slično EF PHB servisu u DiffServ arhitekturi). Garancije QoS se postižu restriktivnom kontrolom ulaznog saobraćaja i prioritonom obradom paketa u čvorovima. Ovaj servis je pogodan za vremenski kritične aplikacije i servise koji zahtevaju čvrste garancije za kašnjenje i džiter.
2. Klasi B odgovara srednji nivo servisa. Korisničkim aplikacijama koje pripadaju klasi B obezbeđuju se relativne garancije kvaliteta, zasnovane na statističkim preduslovima.
3. Klasi C odgovara najniži nivo servisa, koji podrazumeva da nema garancija za kašnjenje i džiter, niti se garantuje isporuka IP paketa. Aplikacijama u okviru ovog servisa može se garantovati samo vršni binarni protok.

Prema tome, klase A i B predstavljaju *Low Latency* servise, dok se klasa C uslovno može posmatrati kao *Best Effort* servis.

U ovom radu je korišćen koncept tarifiranja prema očekivanom kapacitetu (*Expected capacity pricing*), koji se zasniva na očekivanjima korisnika u pogledu kapaciteta mreže. Korisnik mora da specificira koliki kapacitet očekuje od mreže. To je veoma važno da bi se znalo koliki kapacitet korisnik očekuje da će koristiti u periodima mrežnog zagušenja. On se prema tome zadužuje na osnovu dugoročnog ugovora sa mrežom, bez obzira koliko zaista koristi [7].

Očekivanje korisnika može da se specificira na različite načine. To mogu biti minimalni traženi kapacitet (koji se može specificirati preko propusnog opsega ili binarnog protoka), maksimalno vreme prenosa ili neka od karakteristika vezanih za efektivni kapacitet i sl.

U tarifnom konceptu koji smo primenili u ovom radu, očekivanje korisnika se izražava funkcijom korisničkog zadovoljstva. Ovu funkciju za korisničke aplikacije koje su pre promene cena pripadale klasama A i B, definišemo preko parametara koji se odnose na: binarni protok, gubitak paketa, kašnjenje paketa i džiter. Istu funkciju za aplikacije iz klase C definišemo samo preko parametara binarnog protoka.

Za primenu ovog koncepta, neophodna je odgovarajuća saobraćajna politika da bi se osigurali uslovi ugovora, pre svega očekivani nivo servisa.

Ovaj koncept podržava korisnike da sami biraju nivo servisa za koji će se zadužiti. Otuda je moguća individualna garancija QoS. Njegova prednost je i u tome što omogućava kontrolu zagušenja i upravljanje saobraćajem, jer je kompatibilan sa protokolom rezervacije resursa (RSVP, *Resource reSerVation Protocol*). Takođe je pogodan za međusobne ugovore provajdera servisa.

Međutim, problem može predstavljati određivanje korisničke funkcije dobiti, jer provajderi ne vode računa o vrednosti koju za korisnika imaju različiti servisi. S druge strane, korisnici različito reaguju na degradaciju servisa. Na primer, neki mogu da tolerišu malo povećanje kašnjenja, a drugi ne. Pokazaćemo da se modelom igre, koji predlažemo u ovom radu, mogu prevazići ti nedostaci.

Vremenski okvir ovog tarifnog koncepta je obično dug, ali zavisi od ugovora između mreže i korisnika. Ova tarifna šema je socijalno pravedna, zato što korisnici mogu da, prema sopstvenom ugovoru, pristupe mreži bez obzira na svoju platežnu moć, a odgovornost alokacije resursa je prebačena na mrežu. Dinamička verzija ove šeme tarifiranja uvodi brokere propusnog opsega.

### III. MODEL IGRE

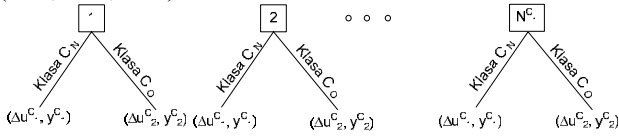
#### A. Osnovni model

Lokalni Internet provajderi, s jedne strane, moraju odgovoriti na različite korisničke zahteve u pogledu performansi mreže, kao što su binarni protok i kapacitet prenosa podataka, a takođe moraju voditi računa o korisničkim zahtevima vezanim za parametre prenosa kao što su gubitak i kašnjenje paketa. S druge strane, da bi korisnicima uopšte obezbedili pristup mreži, potrebno je da im provajder na višem hijerarhijskom nivou osigura potrebne kapacitete, za šta plaćaju određenu tranzitnu tarifu [8], [9].

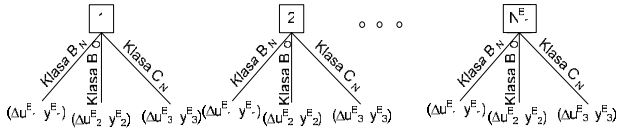
Ovde rešavamo problem pronalazjenja optimalnih cena servisa koji pripadaju klasama A, B i C, kada Internet provajder svojim korisnicima omogućava dva puta veći vršni binarni protok od postojećeg. Problem ćemo modelirati kao tri igre u kojima su učesnici: lokalni provajder servisa i korisnici. Provajder servisa je prvi učesnik – *principal*, zato što (uslovno rečeno) postavlja pravila igre, tj. od njegovog poteza zavise strategijski izbori drugih učesnika – potencijalnih korisnika servisa. Igre ćemo predstaviti u ekstenzivnoj formi [10], [11].

Polazna pretpostavka je da se svaka korisnička aplikacija koja pripada istoj klasi servisa naplaćuje po istoj ceni. Korisnici servisa mogu da prihvate veću cenu za istu klasu servisa sa većim binarnim protokom ili da plaćaju istu naknadu ako odluče da ostanu na nižem protoku.

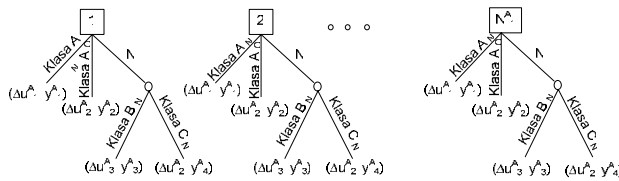
Njima se, takođe omogućava prelazak na drugu klasu servisa nižeg nivoa QoS sa većim binarnim protokom. Strategije provajdera i korisnika mogu se prikazati grafički (sl. 1, sl. 2, sl. 3).



Sl. 1. Strategije u prvoj igri, sa aplikacijama klase C



Sl. 2. Strategije u drugoj igri, sa aplikacijama klase B



Sl. 3. Strategije u trećoj igri, sa aplikacijama klase A

Dobit koju Internet provajder ostvaruje u nekom vremenskom intervalu  $t$  (nakon obezbeđivanja duplo većeg vršnog protoka),  $\Delta u$  jednaka je razlici između dobiti posle proširenja kapaciteta i dobiti pre proširenja kapaciteta:  $\Delta u = u_2 - u_1 > 0$ . Pretpostavimo da je funkcija  $\Delta u$  suma dobiti od sve tri klase servisa:

$$\Delta u = \Delta u_A + \Delta u_B + \Delta u_C - \Delta c, \quad (1)$$

$$\Delta u_A = p_2^A * N_2^{An} + p_1^A N_2^{Ao} + p_2^B * N_B^A + p_2^C * N_C^A - p_1^A N_1^A, \quad (2)$$

$$\Delta u_B = p_2^B * N_2^{Bn} + p_1^B N_2^{Bo} + p_2^C * N_C^B - p_1^B N_1^B, \quad (3)$$

$$\Delta u_C = p_2^C * N_2^{Cn} + p_1^C N_2^{Co} - p_1^C N_1^C, \quad (4)$$

pri čemu su:  $\Delta c$  - dodatni troškovi koje lokalni Internet provajder ima ka provajderu na višem hijerarhijskom nivou zbog zahteva za većim kapacitetom;  $p_1^A$ ,  $p_1^B$  i  $p_1^C$  - cene korisničkih aplikacija klase A, B i C, respektivno;  $p_2^A$ ,  $p_2^B$  i  $p_2^C$  - optimalne cene korisničkih aplikacija klase A, B i C većeg protoka, respektivno;  $N_1^A$ ,  $N_1^B$  i  $N_1^C$  predstavljaju broj korisničkih aplikacija klase A, B i C pre proširenja kapaciteta, respektivno;  $N_2^{An}$  - broj korisničkih aplikacija klase A koje su ostale na istom servisu sa većim binarnim protokom,  $N_2^{Ao}$  - broj korisničkih aplikacija klase A koje nisu menjale ni klasu servisa ni binarni protok (koriste niži protok);  $N_B^A$  - broj aplikacija klase A čiji su korisnici odlučili da pređu na servis iz klase B sa većim protokom,  $N_C^A$  - broj aplikacija klase A čiji su korisnici odlučili da pređu na servis iz klase C sa većim protokom,  $N_2^{Bn}$  - broj aplikacija klase B koje su ostale na istom servisu sa većim binarnim protokom,

$N_2^{Bo}$  - broj aplikacija klase B koje nisu menjale ni klasu servisa ni binarni protok,  $N_C^B$  - broj aplikacija klase B čiji su korisnici odlučili da pređu na servis klase C sa većim protokom,  $N_2^{Cn}$  - broj korisničkih aplikacija klase C koje su zadržale isti servis sa većim protokom,  $N_2^{Co}$  - broj korisničkih aplikacija klase C koje su ostale na istom servisu i istom binarnom protokom.

Odnos između cena različitih klasa servisa sa nižim binarnim protokom je poznat pre početka igara i podrazumeva se da što je nivo servisa niži, cene su manje. U aplikaciji vrednosti cena servisa sa većim binarnim protokom mogu varirati u određenim opsezima zavisnosti od cena servisa sa nižim protokom, pri čemu mora biti ispunjena nejednakost:  $p_2^A > p_2^B > p_2^C$ .

Pod pretpostavkom da korisnici svoje odluke donose nezavisno jedan od drugog, korisničke funkcije dobiti su direktno srazmerne njihovom "zadovoljstvu" tim servisom, a obrnuto srazmerne ceni servisa.

Pretpostavka je da je u prvoj igri funkcija korisničkog zadovoljstva, za svaku korisničku aplikaciju  $i$ ,  $S_i'$  zavisna samo od binarnog protoka,  $R$ , s obzirom da se za klasu C garantuje samo vršni binarni protok, tj.:

$$S_i' = f_i(R), \quad (5)$$

pri čemu su vrednosti ove funkcije slučajno raspodeljene na određenim intervalima, koji su različiti u zavisnosti od toga da li se radi o servisu sa višim ili nižim binarnim protokom. Funkcija  $f_i(R)$  za niži binarni protok definiše se intervalom sa nižim brojnim vrednostima od iste funkcije za viši binarni protok.

Funkcija korisničkog zadovoljstva za *Low latency* servise (u drugoj i trećoj igri), zavisna je ne samo od binarnog protoka, već i od parametara prenosa kao što su gubitak paketa,  $L$ , kašnjenje paketa,  $D$  i džiter,  $J$ :

$$S_i'' = (1-D)(1-L)(1-J) f_i(R). \quad (6)$$

SLA sporazumom se mogu definisati različite vrednosti prethodno navedenih parametara. U našoj aplikaciji ti parametri se nalaze u intervalu  $[0,1]$  i njihove vrednosti su veće što je nivo servisa niži. Vrednosti funkcije  $f_i(R)$  su raspodeljene na isti način i na istim intervalima kao u prvoj igri, jer parametar  $R$  ne zavisi od klase servisa.

Sada se mogu definisati korisničke funkcije dobiti u svim igrama.

Korisničke funkcije dobiti u prvoj igri su:

$$y_1^C = S_i^{Cn} / p_2^C - S_i^{Co} / p_1^C = f_i^n(R) / p_2^C - f_i^o(R) / p_1^C \text{ i } y_2^C = 0 \quad (7)$$

Korisničke funkcije dobiti u drugoj igri su:

$$y_1^B = S_i^{Bn} / p_2^B - S_i^{Bo} / p_1^B, \quad y_2^B = 0 \text{ i } y_3^B = S_i^{Cn} / p_2^C - S_i^{Bo} / p_1^B. \quad (8)$$

Korisničke funkcije dobiti u trećoj igri su:

$$y_1^A = S_i^{An} / p_2^A - S_i^{Ao} / p_1^A, \quad y_2^A = 0, \quad y_3^A = S_i^{Bn} / p_2^B - \quad (9)$$

$$S_i^{nAo} / p_1^A \text{ i } y_4^A = S_i^{nCo} / p_2^C - S_i^{nAo} / p_1^A .$$

Tok igara je takav da korisnici biraju servis koji im donosi najveću dobit. Kada prikupi informacije o korisničkim odlukama za određen broj različitih cena (u aplikaciji se proizvoljno može menjati korak promene cena u polju Delta), provajder određuje optimalne cene tako da maksimizira svoju ukupnu dobit  $\Delta u$ .

### B. Rezultati simulacija

Za simuliranje postavljenog tarifnog problema, razvili smo softver u programskom jeziku C Sharp. Simulirane su tri igre: prva, za korisničke aplikacije klase C, druga, za korisničke aplikacije klase B i treća, za korisničke aplikacije klase A.

Na slici 4. prikazana je aplikacija, pomoću koje se softverski mogu proračunati optimalne cene servisa sa većim binarnim protokom za različiti broj korisnika, različite odnose i vrednosti cena i različite vrednosti parametara QoS.

Sl. 4. Aplikacija sa rezultatima jedne tipične simulacije

Treba primetiti da u prikazanoj simulaciji odnos cena servisa različitih klasa sa višim protokom nije ostao isti kao odnos cena servisa sa nižim protokom. To nije slučaj samo u simulaciji sa slike 4, već i u simulacijama sa različitim vrednostima parametara iz aplikacije. Na osnovu većeg broja izvršenih simulacija, možemo da primetimo i da je broj prelazaka na niži nivo servisa manji što su veće razlike u parametrima QoS između različitih klasa servisa.

## IV. ZAKLJUČAK

U ovom radu predstavljena je jedna mogućnost implementacije koncepta tarifiranja prema očekivanom kapacitetu u mreži za pristup u kojoj se primenjuje model QoS sa tri klase servisa. Problem formiranja novih cena, kada jedan lokalni ISP obezbeđuje dva puta veći binarni protok svojim korisnicima, formulisali smo koristeći

ekstenzivnu formu igara. Radi sprovođenja simulacije, razvili smo softver u programskom jeziku C Sharp i aplikaciju koja proračunava optimalne cene servisa sa većim protokom za različite vrednosti parametara.

Bitna prednost koncepta tarifiranja prema očekivanom kapacitetu je omogućavanje individualnih garancija QoS, jer podržava korisnike da sami biraju nivo servisa za koji će se zadužiti. U postupku ugovaranja tarifa servisa različitih nivoa QoS između provajdera servisa i korisnika, dobre rezultate daju pojedini modeli teorije igara.

## ZAHVALNICA

Ovaj rad je deo rezultata istraživanja na projektu *Prognoziranje, planiranje i tarifiranje u telekomunikacionim mrežama* za čije je finansiranje sredstva obezbedilo Ministarstvo za nauku i zaštitu životne sredine Republike Srbije.

## LITERATURA

- [1] S. Blake, D. Black, M. Carlson, E. Davies, Z. Wang, W. Weiss, "An Architecture for Differentiated Services", RFC 2475 (Informational), IETF, 1998.
- [2] E. Crawley, R. Nair, B. Rajagopalan, H. Sandick, "A Framework for QoS-based Routing in the Internet", RFC 2386 (Category: Informational), IETF, August 1998.
- [3] "Inter-provider Quality of Service", white paper, MIT Communications Futures Program (CFP), [Online]. Available at: <http://cfp.mit.edu>
- [4] K. Nichols, S. Blake, F. Baker, D. Black, "Definition of the Differentiated Services Field (DS Field) in the IPv4 and IPv6 Headers", RFC 2474 (Standards Track), IETF, 1998.
- [5] C. Bouras, A. Sevasti, "SLA-based QoS pricing in DiffServ networks", *Computer Communications* 27, 2004, p.p. 1868–1880.
- [6] V. Aćimović-Raspopović, M. Stojanović, D. Teodorović, "Quality of Service Negotiation in Next Generation Networks", *Proceedings of TELSIS 2007*, Vol. 1, Niš, Serbia, September 2007, pp. 77-86.
- [7] 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>.
- [8] V. Radonjić, V. Aćimović-Raspopović, "Pricing the Internet Services Using Extensive Game Solution", *Proceedings of ICEST 2007, Volume 1*, Ohrid, Macedonia, June 2007., pp. 245-248.
- [9] V. Radonjić, V. Aćimović-Raspopović, "Local ISPs Pricing Strategies in the Repeated Game Concepts", *Proceedings of TELSIS 2007*, Vol. 2, Niš, Serbia, September 2007, pp. 625-628.
- [10] A. MacKenzie, L. DaSilva, *Game Theory for Wireless Engineers*, Morgan & Claypool, 2006.
- [11] J. Leino, „Applications of Game Theory in Ad Hoc Networks“, Master’s thesis, Helsinki University of Technology, October, 2003.
- [12] J. Sharp, J. Jagger, *Microsoft Visual C#.NET Step by Step*, Microsoft Corporation, 2006.

## ABSTRACT

In this paper we propose an extensive game model for solving the problem of finding optimal prices of Internet services. QoS model with three different service classes in Expected capacity pricing scheme is applied. We developed a software for simulation of optimal price changes.

## AN EXTENSIVE GAME PRICING MODEL OF INTERNET SERVICES FOR EXPECTED CAPACITY SCHEME

Vesna Radonjić, Vladanka Aćimović-Raspopović