

Tarifiranje elastičnih korisnika u bežičnim mrežama pomoću modela Nash igre

Vesna Radonjić, Vladanka Aćimović-Raspopović

Sadržaj — U ovom radu smo definisali parametre funkcija dobiti i tražnje elastičnih korisnika, kao parametre kvaliteta servisa i iskustvenog kvaliteta, respektivno. Zatim smo predložili model Nash igre za tarifiranje servisa u bežičnim mrežama, na osnovu definisanih funkcija tražnje za dva provajdera, za koje smo pretpostavili da imaju iste pozicije na tržištu. Problem određivanja cena servisa koji nude dva konkurentna provajdera modelovan je kao Nash igra u kojoj oba provajdera istovremeno određuju cenu servisa. Rešenja koja predstavljaju tačke Nash ekvilibrijuma verifikovali smo za različite vrednosti parametara i kroz veliki broj simulacija korišćenjem posebno razvijenog softvera.

Cljučne reči — tarifiranje bežičnih servisa, elastični korisnici, kvalitet servisa, iskustveni kvalitet, Nash ekvilibrijum.

I. UVOD

Formiranje cena bežičnih servisa određuju različiti faktori, među kojima su najvažniji korisnička tražnja i konkurentnost provajdera na tržištu bežičnih servisa. Između cene servisa i tražnje za istim ili sličnim servisom postoji višestruka zavisnost. Veća tražnja za servisom dozvoljava provajderu servisa da poveća cenu servisa i da istovremeno ostvari veće prihode od tog servisa. S druge strane, ukoliko tražnja za servisom opada, cena se mora redukovati da bi se privukli novi korisnici. Konkurentnost između provajdera servisa takođe utiče na formiranje cena. Korisnici će se odlučiti za provajdera koji nudi servis sa najboljim odnosom kvalitet / cena. Ukoliko jedan provajder smanji cenu servisa, privućiće više korisnika i ostvariti veći prihod, što će uticati i na prihode drugih provajdera na tržištu koji nude isti ili sličan servis. Očekivana reakcija konkurenata je smanjivanje cena njihovih servisa da bi zadržali korisnike.

Tržište bežičnih servisa sastoji se od servisa koje krajnjim korisnicima nude provajderi bežičnih servisa (*Wireless Service Providers*, WSP). U ovom radu smo razvili model na osnovu kojeg dva konkurentna provajdera bežičnih servisa određuju cenu istog servisa, uzimajući u obzir osetljivost korisničkih zahteva na kvalitet servisa i cene koje određuju oba provajdera. Model smo razvili za elastične korisnike. To su korisnici koji ne tolerišu gubitke ali mogu da prihvate kašnjenje u određenoj meri i za koje se funkcija dobiti aproksimira logaritamskom funkcijom.

Vesna Radonjić, Saobraćajni fakultet Univerziteta u Beogradu, Srbija (tel: 381-11-3091322; e-mail: 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)

Pretpostavili smo da je odgovarajući parametar kvaliteta servisa potreban propusni opseg. Zatim smo definisali funkciju tražnje sa parametrima koji odgovaraju iskustvenom kvalitetu. Određivanje konkurentskih cena modelovali smo kao Nash igru u kojoj oba provajdera istovremeno izlaze na tržište sa cenama servisa. Za postavljeni problem smo odredili Nash ekvilibrijum.

Rad je organizovan na sledeći način. U drugom poglavlju su definisani pojmovi kvalitet servisa, performanse mreže i iskustveni kvalitet i objašnjene su razlike između njih. U trećem poglavlju su formulisane funkcije korisničke dobiti i tražnje. U četvrtom poglavlju je predložen model Nash-ove igre između dva provajdera bežičnih servisa i određen je Nash ekvilibrijum. U petom poglavlju su analizirani rezultati simulacija predloženog rešenja i u šestom poglavlju su data zaključna razmatranja.

II. ASPEKTI TARIFIRANJA BEŽIČNIH SERVISA

Svaki WSP, da bi bio konkurentan na tržištu bežičnih servisa, treba da obezbedi infrastrukturu koja podržava servise po najmanjoj mogućoj ceni sa sličnim ili boljim kvalitetom servisa u poređenju sa postojećim servisima, uz njihovu istovremenu pouzdanost i usaglašenost sa standardima. Prema tome, određivanje optimalnih cena bežičnih servisa predstavlja ključni element kontrole pristupa i obezbeđivanja kvaliteta servisa (*Quality of Service*, QoS). U istoj mreži, za različite servise, mogu se primenjivati različiti tarifni mehanizmi, u zavisnosti od opterećenja saobraćaja u mreži i kvaliteta servisa.

Provajderi mogu koristiti statičko ili dinamičko tarifiranje. Statičko tarifiranje ili ravnomerna šema tarifiranja podrazumeva neograničeni pristup mreži uz fiksnu mesečnu novčanu nadoknadu. Međutim, takav pristup vodi ka neefikasnom korišćenju mrežnih resursa i/ili degradaciji kvaliteta servisa. Zbog toga je potrebno razmotriti uvođenje nekog od dinamičkih tarifnih koncepata. Za rešavanje problema kontrole pristupa i kvaliteta servisa najčešće se predlažu tarifni koncepti: *paris metro pricing* (PMP) [1], koncept pametnog tržišta (*smart market*) [2], koncept zasnovan na reakciji korisnika (*responsive pricing*) [3], [4] i drugi dinamički tarifni pristupi.

Jedno od osnovnih ograničenja većine tarifnih mehanizama sastoji se u tome što ne prave razliku između QoS, performansi mreže (*Network Performance*, NP) i iskustvenog kvaliteta (*Quality of Experience*, QoE). QoS je definisan u preporuci E.800 kao: „Zajednički efekat servisnih performansi koji određuje stepen korisničkog zadovoljstva servisom“. Prema ovoj definiciji, QoS je s

jedne strane korisnički orijentisan (obuhvata i subjektivno korisničko zadovoljstvo), a sa druge strane iskazuje određenu obavezu mreže da zadovolji te potrebe. U užem smislu, QoS obuhvata identifikaciju parametara koji se mogu direktno posmatrati i meriti na mestu korisničkog pristupa servisu. U tom smislu je potrebno razlikovati QoS, koji je korisnički orijentisan i koji se definiše na tačkama pristupa servisu i NP, koje su orijentisane na unutrašnju strukturu mreže i koje se definišu na granicama elemenata za povezivanje. U preporuci I.350, umesto eksplicitne definicije NP, opisno se navodi da se: „NP iskazuje parametrima koji su od značaja za mrežnog provajdera i koji se koriste za svrhe projektovanja, konfigurisanja, eksploataisanja i održavanja sistema. NP se definiše nezavisno od krajnje performanse i korisničkih aktivnosti“. QoE se definiše kao opšta prihvatljivost aplikacije ili servisa, koja zavisi od subjektivnog opažanja krajnjeg korisnika. QoE uključuje ukupno funkcionisanje sistema s kraja na kraj (korisnik, terminal, mreža, servisna infrastruktura i sl.). Opšta prihvatljivost zavisi od sadržaja servisa i očekivanja korisnika.

TABELA 1: RAZLIKE IZMEĐU POJMOVA QoS, QoE I NP [5]

QoE	QoS	NP
Korisnički orijentisan		Orijentisan ka provajderu
Tipične korisničke navike	Atributi servisa	Konekcija/protok
Fokus na korisnička očekivanja	Fokus na efekte značajne za korisnika	Fokus na planiranje, razvoj, operativu i održavanje
Na strani korisnika	Na tačkama pristupa servisu i između njih	S kraja na kraj ili sposobnost mrežnih elemenata

Definisanje i razlikovanje pojmova QoE, NP i QoS je važno u slučajevima kada nema jednostavne i direktne veze između njih. U Tabeli 1. navedene su neke od karakteristika koje razlikuju QoS, NP i QoE.

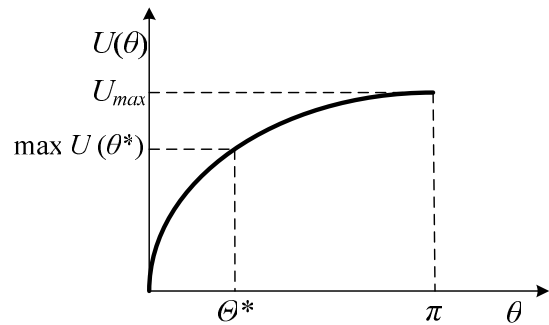
U sledećem poglavlju su definisane funkcije korisničke dobiti i tražnje preko QoS i QoE parametara.

III. FUNKCIJE KORISNIČKE DOBITI I TRAZNJE

Funkcija dobiti elastičnih korisnika je neopadajuća funkcija propusnog opsega. Za opisivanje njihovog korisničkog zadovoljstva koristi se logaritamska funkcija (Slika 1) [6].

Korisnici sa različitim zahtevima u pogledu kvaliteta servisa zahtevaju kanale različitih propusnih opsega. Za elastične korisnike se ne definiše donja granica propusnog opsega (za razliku od neelastičnih korisnika), već samo maksimalni potreban propusni opseg π . To je minimalna vrednost zauzetog opsega dovoljna da osigura prenos informacija potrebnom brzinom i kvalitetom koji se zahteva za dati sistem pod specificiranim uslovima. Povećanjem potrebnog propusnog opsega korisničko

zadovoljstvo ostaje isto [6], [7].



Sl. 1. Korisnička funkcija dobiti

Matematički izraz za korisničku funkciju dobiti je:

$$U(\theta) = m \cdot k_s \cdot \log(1 + \theta), \quad 0 < \theta < \pi, \quad (1)$$

Maksimalna cena koju je korisnik spreman da plati za korišćenje jedinice propusnog opsega označena je sa m . Normalizovana funkcija dobiti ne uključuje maksimalnu cenu m i glasi:

$$U_n(\theta) = k_s \cdot \log(1 + \theta). \quad (2)$$

Parametar k_s se definiše tako da bude ispunjen uslov $U_{n\max} = U_n(\pi) = k_s \cdot \log(1 + \pi) \cong 1$. Prema tome, može se izvesti jednakost $k_s = 1/\log(1 + \pi)$.

Uzimajući u obzir cenu koju WSP naplaćuje od svojih korisnika, korisnička neto dobit glasi:

$$U(\theta) - M\theta = m \cdot k_s \cdot \log(1 + \theta) - M\theta. \quad (3)$$

U skladu sa jednim od osnovnih ciljeva teorije igara, usvajamo pretpostavku da svaki korisnik teži maksimiziranju svoje funkcije dobiti. Prema tome, za datu cenu M svaki korisnik zahteva propusni opseg θ^* , za koji njegova neto dobit ima maksimalnu vrednost. Problem se svodi na rešavanje diferencijalne jednačine:

$$\frac{d(U(\theta) - M\theta)}{d\theta} = 0. \quad (4)$$

Otuda, propusni opseg kojim se maksimizira korisnička neto dobit iznosi:

$$\theta^* = \frac{m \cdot k_s}{2.3M} - 1. \quad (5)$$

Pretpostavićemo da je oblik funkcije željenog propusnog opsega, kao i korisničke funkcije dobiti isti za sve korisnike, a da se parametar π razlikuje za različite korisnike. Korisnička tražnja za servisom može se interpretirati kao stepen korisničkog zadovoljstva, koji zavisi od kvaliteta servisa i njegove cene.

Tražnja je funkcija normalizovane korisničke dobiti U_n (2) i cene M i može se definisati na sledeći način:

$$D(M) = 1 - e^{-kU_n^A M^{-B}} \quad (6)$$

pri čemu su k , A i B pozitivne konstante koje pokazuju koliko je tražnja osetljiva na odnos cena/QoS: k je normalizovana konstanta, parametar A ukazuje na osetljivost korisnika na promene kvaliteta servisa i parametar B označava osetljivost korisnika na cenu. Na primer, što je A veće, korisnici su osetljiviji na promene QoS, dok veća vrednost parametra B ukazuje na veću osetljivost korisnika na cenu. Jednačina (6) predstavlja

uopšten izraz za tražnju iz kojeg se zaključuje da se zadovoljstvo korisnika povećava sa poboljšanjem kvaliteta servisa i ili smanjenjem cene [8].

Za razliku od parametra π , koji predstavlja QoS parametar, A i B su QoS parametri.

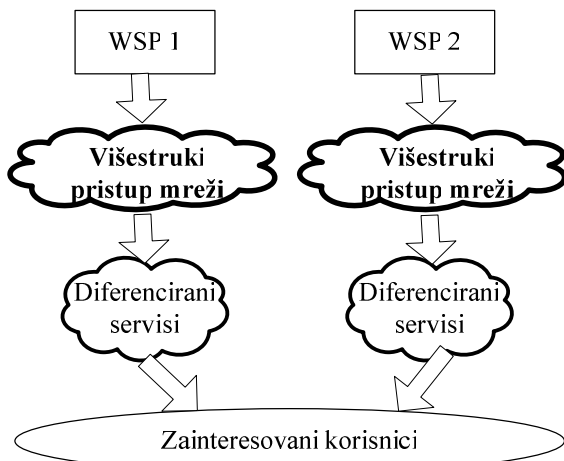
IV. NASH-OVA IGRA IZMEĐU DVA PROVAJDERA SERVISA

Opšti model heterogene mreže sa dva provajdera bežičnih servisa prikazan je na Slici 2. Bilo koja dva provajdera na istom tržištu nadmeću se oko određene grupe zainteresovanih korisnika sa istim ciljem maksimiziranja svog profita.

Određivanje konkurentskih cena za isti servis koji nude dva provajdera bežičnih servisa modelovali smo kao *Nash* igru u kojoj oba provajdera istovremeno izlaze na tržište sa cenama servisa. Pretpostavili smo da prihod svakog WSP zavisi od tražnje za servisom posmatranog provajdera, kao i od tražnje za servisom njegovog konkurenta. Prema tome, prihod od servisa za k -tog provajdera iznosi:

$$T_k = M_k \cdot \sum_{i=1}^N D_{ki}(M_1, M_2), \quad k=1,2. \quad (7)$$

gde su M_1 i M_2 cene servisa WSP₁ i WSP₂, respektivno i N je ukupan broj korisnika u mreži oba provajdera.



Sl. 2: Model heterogene mreže sa dva konkurentna provajdera na tržištu bežičnih servisa

Dalje smo preformulisali izraze za tražnju za servisom koje nude provajderi na taj način što smo uključili obe cene M_1 i M_2 u funkcije tražnje:

$$D_{1i}(M_1, M_2) = 1 - e^{-kU_{ni}^A M_1^{-B} M_2^C} \quad (8)$$

$$i D_{2i}(M_1, M_2) = 1 - e^{-kU_{ni}^A M_2^{-B} M_1^C} \quad (9)$$

pri čemu je C pozitivna konstanta koja ukazuje na promenu korisničke tražnje za servisom jednog provajdera, u zavisnosti od cene istog servisa konkurentne firme. Pretpostavili smo da posmatrani provajderi imaju iste pozicije na tržištu bežičnih servisa. Na to ukazuju parametri B i C koji su isti za oba provajdera, kao što je navedeno u jednačinama (8) i (9). Međutim, model se može modifikovati uvođenjem različitih vrednosti parametara B i C u funkcijama tražnje provajdera servisa, što bi značilo različite pozicije provajdera na tržištu.

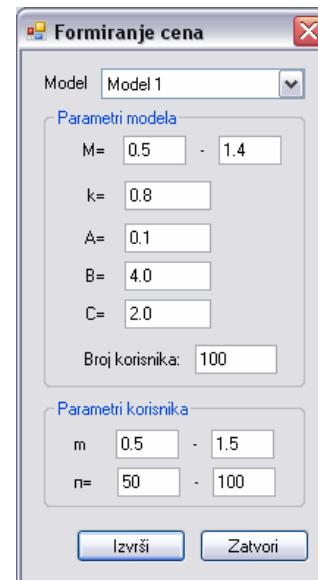
Najbolji potez WSP₁ predstavlja cenu M_1^* za koju prihod $T_1(M_1^*, M_2)$ ima maksimalnu vrednost za svako M_2 provajdera WSP₂. Slično tome, najbolji potez WSP₂ je cena M_2^* za koju se prihod $T_2(M_1, M_2^*)$ maksimizira, za svako M_1 provajdera WSP₁. Najbolji potez provajdera se, prema tome, može označiti kao:

$$B_k(M_p) = \arg \max_{M_k} T_k(M_k, M_p), \quad (10)$$

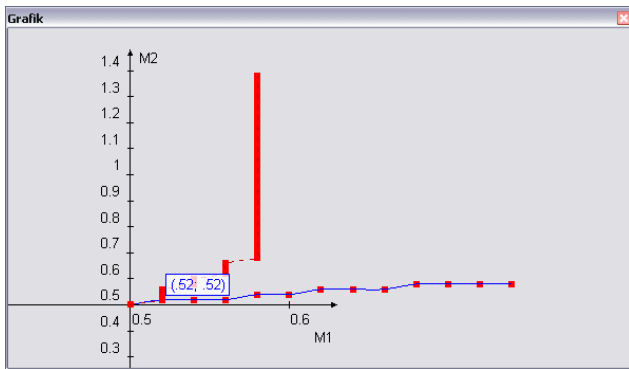
gde je M_p cena servisa konkurentskog provajdera. *Nash* ekvilibrijum predstavlja skup cena za koje nijedan provajder servisa ne može povećati svoj prihod od tog servisa ukoliko izabere neku drugu cenu (različitu od *Nash* ekvilibrijuma), uz poznatu cenu drugog provajdera servisa [9]. To je tačka u kojoj je $B_1(M_2^*) = M_1^*$ i $B_2(M_1^*) = M_2^*$.

V. ANALIZA REZULTATA SIMULACIJA

Za simuliranje predloženog modela, razvili smo softver u programskom jeziku C#. Na Slici 3 je prikazan interfejs pomoću koga možemo odrediti *Nash* ekvilibrijum za model igre koji smo opisali u ovom radu. Na Slici 4 su prikazani najbolji odgovori, tj. optimalne cene koje svaki od provajdera u *Nash* igri formira za svaki mogući potez, tj. cene drugog provajdera servisa. Rezultati simulacija (Slika 4) dati su za sledeće vrednosti parametara modela: $M_{\min} = 0.5$, $M_{\max} = 1.4$, $k = 0.8$, $A = 0.1$, $B = 4$ i $C = 2$. Ukupan broj korisnika je 100. Parametri korisnika se nalaze u intervalima: $m = 0.5 \div 1.5$ i $\pi = 50 \div 100$ [MB].



Sl. 3: Interfejs za određivanje cena provajdera servisa



Sl. 4: Optimalne cene provajdera servisa i Nash ekvilibrijum

Za date parametre, *Nash* ekvilibrijum se postiže u tački u kojoj su cene servisa oba provajdera jedanke i iznose $M_1 = M_2 = 0.52$. Prihod bilo kog od provajdera neće biti veći ukoliko izabere cenu različitu od *Nash* ekvilibrijuma. Vrednosti parametara u modelu, kao i vrednosti korisničkih parametara pomoću ovog interfejsa se mogu menjati.

VI. ZAKLJUČAK

U ovom radu smo predložili jednu mogućnost za rešenje problema formiranja cena dva konkurentna provajdera bežičnih servisa. Pre opisa modela definisani su pojmovi mrežnih performansi, kvaliteta servisa i iskustvenog kvaliteta i objašnjene su razlike između njih. Model smo razvili za elastične korisnike, za koje smo pretpostavili da je odgovarajući parametar kvaliteta servisa propusni opseg. Postavljeni problem smo modelovali kao *Nash*-ovu igru u kojoj oba provajdera istovremeno postavljaju cene svojih servisa. Prihodi oba provajdera zavise od tražnje za servisom posmatranog provajdera i od tražnje za servisom njegovog konkurenta. Korisnička tražnja je funkcija parametara kvaliteta servisa i iskustvenog kvaliteta. Pretpostavili smo da provajderi imaju istu reputaciju, ali model dozvoljava mogućnost promena pozicija provajdera na tržištu. Pomoću softvera razvijenog u C#, predloženi model smo verifikovali kroz veliki broj simulacija. Za različite vrednosti parametara, model daje jedinstveno rešenje koje predstavlja *Nash* equilibrium.

Za rešavanje problema određivanja cena dva konkurentna provajdera *Nash*-ova igra je pokazala dobre rezultate. Prednost predloženog modela sastoji se u podsticanju svakog korisnika da izabere veličinu propusnog opsega za koji će biti tarifiran. Istovremeno, provajder pri formiranju cena uzima u obzir korisničke preferencije, definisane preko kvaliteta servisa i iskustvenog kvaliteta.

ZAHVALNICA

Ovaj rad je deo rezultata istraživanja na projektu TR 11013 za čije je finansiranje sredstva obezbedilo Ministarstvo za nauku i zaštitu životne sredine Republike Srbije.

LITERATURA

- [1] Odlyzko A., "Paris metro pricing for the Internet", *Proceedings of the first ACM conference on Electronic commerce*, 1999, pp. 140-147.
- [2] Yuksel M., Kalyanaraman S., "A Strategy for Implementing Smart Market Pricing Scheme on DiffServ", *Proceedings of Communication Quality and Reliability Symposium part of GLOBECOM'02*, Vol.2, 2002, pp. 1430-1434.
- [3] Chod J., Rudi N., "Resource Flexibility with Responsive Pricing", *Operations Research*, Vol. 53, No. 3, May-June 2005, pp. 532-548.
- [4] Radonjić V., Aćimović-Raspopović V., "Responsive Pricing Model with Fixed Bandwidth Usage for the Next Generation Internet", *Proceedings of the ICEST 2008, Volume 2*, Nis, Serbia, 2008, pp. 425-428.
- [5] *ITU-T NGN FG Proceedings Part II*, ITU, 2005, available at: www.itu.int/ITU-T/ngn/files/NGN_FG-book_II.pdf
- [6] Sengupta S., Chatterjee M., "Differentiated Pricing Policies in Heterogeneous Wireless Networks", *Heterogeneous Wireless Access Networks Architectures and Protocols*, edited by Ekram Hossain, Springer 2008, pp. 393-417
- [7] Ninan B. M., Devetsikiotis M., "Game-Theoretic Resource Pricing For The Next Generation Internet", *Performance Evaluation and Planning Methods for the Next Generation Internet*, edited by Andre Girard, Brunilde Sanso and Felisa Vazquez Abad, Springer, 2005, pp. 141-163.
- [8] L. Badia *et al.*, "Pricing VoWLAN Services through a Micro-Economic Framework," *IEEE Wireless Commun.*, vol. 13, no. 1, Feb. 2006, pp. 6-13.
- [9] A. MacKenzie, L. DaSilva, *Game Theory for Wireless Engineers*, Morgan & Claypool, 2006.

ABSTRACT

In this paper we defined elastic users' utility and demands with parameters of quality of service and quality of experience, respectively. We proposed a game theory model with two competitive wireless service providers for pricing a service based on users' demand functions. The providers are supposed to be on the same positions in the market. It is a simultaneous-play game in which the solution is obtained by Nash equilibrium. The proposed model is verified through numerous simulations performed by software that we developed for that purpose.

PRICING ELASTIC USERS IN WIRELESS NETWORKS USING NASH GAME MODEL

Vesna Radonjić, Vladanka Aćimović-Raspopović