

TARIFIRANJE RAZLIČITIH TIPOVA KORISNIKA U MREŽAMA NAREDNE GENERACIJE

Vladanka Aćimović-Raspopović, Vesna Radonjić
Univerzitet u Beogradu – Saobraćajni fakultet

Sadržaj: U ovom radu smo predložili model Nash igre za tarifiranje servisa u mrežama naredne generacije, na osnovu definisanih funkcija tražnje za dva provajdera servisa. Za različite tipove korisnika definisali smo parametre funkcija dobiti i tražnje, kao parametre kvaliteta servisa i iskustvenog kvaliteta, respektivno. Problem određivanja cena servisa koje nude dva konkurentna provajdera modelovan je kao Nash igra u kojoj oba provajdera istovremeno određuju cene servisa. Rešenja koja predstavljaju tačke Nash ekvilibrijuma verifikovali smo za različite vrednosti parametara i kroz veliki broj simulacija korišćenjem posebno razvijenog softvera.

Ključne reči: mreža naredne generacije, tarifiranje, Nash ekvilibrijum.

1. Uvod

U mrežama naredne generacije (*Next Generation Networks, NGN*) od provajdera servisa očekuje se da korisnicima obezbede servise uz efikasno korišćenje propusnog opsega i transportnih tehnologija koje podržavaju različite nivoe kvaliteta servisa (*Quality of Service, QoS*). Na taj način se korisnicima omogućava slobodan izbor između konkurentnih provajdera servisa i širokog spektra servisa koje oni pružaju. Od NGN-a se takođe očekuje da podrži mobilnost korisnika i da obezbedi konzistentne servise na različitim lokacijama korisnika. Značajne promene se očekuju i u oblasti tarifiranja postojećih i novih telekomunikacionih servisa.

Provajder servisa izborom odgovarajućih tarifnih mehanizama nastoji da ostvari prednost u odnosu na ostale provajdere servisa na istom tržištu. Efikasan provajder će izabrati tarifni koncept koji mu omogućava ne samo maksimiziranje prihoda, već i da pružajući korisnicima servis zahtevanog kvaliteta uz prihvatljivu cenu, izvrši optimizaciju raspoloživih mrežnih kapaciteta. Zbog toga je za provajdera servisa važno da definiše parametre koji reflektuju korisničko zadovoljstvo servisom. Pored definisanja performansi mreže i kvaliteta servisa, potrebno je definisati iskustveni kvalitet, koji zavisi od subjektivnog opažanja korisnika.

U ovom radu smo razvili model na osnovu kojeg dva konkurentna provajdera servisa u NGN-u određuju cene servisa za tri tipa korisnika: neelastične, delimično elastične i elastične korisnike. Pri određivanju cena servisa, provajderi uzimaju u obzir osetljivost korisničkih zahteva na kvalitet servisa i cene koje određuju oba provajdera. Za

različite tipove korisnika pretpostavili smo različite funkcije dobiti, dok je parametar kvaliteta servisa za sve korisnike 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 je izvršena optimizacija korisničkih zahteva za propusnim opsegom, predložen je model *Nash*-ove igre između dva provajdera servisa u NGN-u, određen je *Nash* ekvilibrijum i analizirani su rezultati tipičnih simulacija predloženog rešenja. U četvrtom poglavlju su data zaključna razmatranja.

2. Kvalitet servisa, performanse mreže i iskustveni kvalitet u mrežama naredne generacije

Od NGN-a se očekuje da pruži rešenje u situacijama mrežnih zagušenja. Smanjenje zagušenja se realizuje u jezgru mreže, a ne na njenim krajevima, pa se u tom smislu govori o unutrašnjoj mrežnoj migraciji koju donose NGN rešenja. U cilju lakšeg rešavanja problema i smanjenja kompleksnosti, više NGN arhitektura bi trebalo centralizovati. Međutim, centralizovana mrežna arhitektura zahteva redundansu kojom se udvostručuju hardverski troškovi. S druge strane, NGN oprema treba da ima osobine brze i jeftine instalacije, brzog aktiviranja sistema i jeftinog i lakog održavanja [1], [2], [3]. Da bi se opravdalo brzo ulaganje u NGN opremu treba stvoriti dodatne prihode, što je moguće samo uključivanjem novih servisa u ponudu korisnicima.

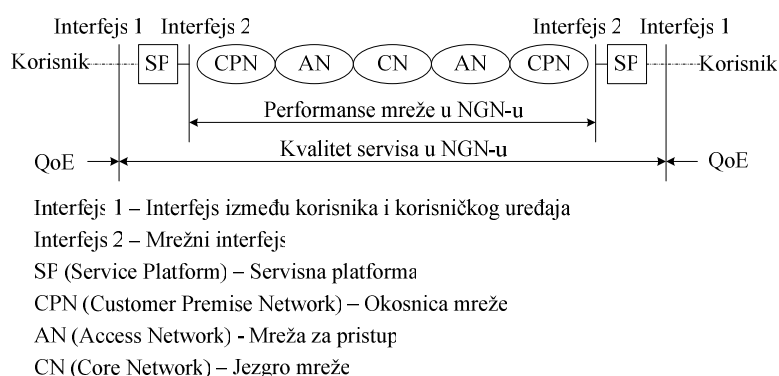
Pred mreže naredne generacije se postavljaju specifični zahtevi na koje one treba da odgovore kako bi omogućile migraciju sa postojećih telekomunikacionih mreža. Među tim zahtevima su obezbeđivanje:

- drugih servisa pored prenosa govora,
- jedinstvenog prilagođavanja korisnicima,
- prenosivih servisa na svakom uređaju i
- malih cena sa visokom pouzdanošću i kvalitetom pružanja servisa.

Provajderi servisa, da bi bili konkurentni na tržištu telekomunikacionih usluga, treba da obezbede infrastrukturu koja podržava servise po najmanjoj mogućoj ceni sa sličnim ili boljim kvalitetom servisa (*Quality of Service*, QoS) u poređenju sa postojećim servisima, uz njihovu istovremenu pouzdanost i usaglašenost sa standardima. Otvorenost mreža naredne generacije ka različitim provajderima servisa olakšava i ubrzava uključivanje novih servisa, čime će se omogućiti da korisnici učestvuju u kreiranju servisa, kao i da kreiraju svoje sopstvene servise.

QoS je definisan u preporuci ITU-T 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 performanse mreže (*Network Performance*, NP), koje su orijentisane na

unutrašnju strukturu mreže i koje se definišu na granicama elemenata za povezivanje. U preporuci ITU-T 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“. Iskustveni kvalitet (*Quality of Experience*, 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. Slika 1 ilustruje kako su koncepti QoS, NP i QoE primenjeni u NGN okruženju.



Slika 1. Prikaz koncepta QoS, NP i QoE primenjen u NGN okruženju [1]

Najvažnija komunikacija u šemi na Slici 1 je komunikacija između korisnika. Generalno, mreže naredne generacije bi trebalo da unaprede:

- povezivanje između korisnika
- povezivanje korisnika sa servisnom platformom i
- povezivanje između servisnih platformi.

Tabela 1. Razlike između pojmova kvalitet servisa, iskustveni kvalitet i performanse mreže [1]

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

Sada se kao najbitnije razlike između QoS, NP i QoE mogu izdvojiti sledeće karakteristike:

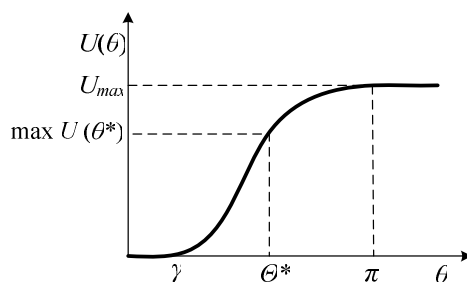
- QoS omogućava koristan okvir za mrežnog provajdera, ali njega nije neophodno koristiti za specifikaciju osobina koje se zahtevaju za delove mrežnih tehnologija (npr. za ATM, IP, MPLS itd.).
- NP konačno određuje QoS, ali ne mora uvek opisivati kvalitet na način koji će biti značajan za korisnika.
- QoE predstavlja subjektivnu kategoriju, tj. zavisi od korisničkih navika i njihovih subjektivnih mišljenja.

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.

4. Tarifni model i analiza rezultata simulacija

U ovom radu je prvo izvršena optimizacija zahteva za propusnim opsegom za tri tipa korisnika: neelastične, delimično elastične i elastične korisnike. Pretpostavili smo da je odgovarajući parametar kvaliteta servisa propusni opseg. Funkcije dobiti svih korisnika su neopadajuće funkcije propusnog opsega. Korisnici sa različitim zahtevima u pogledu kvaliteta servisa zahtevaju kanale različitih propusnih opsega. Svaki korisnik zahteva minimalni potrebni propusni opseg γ , jer ne ostvaruje nikakvu dobit ukoliko je propusni opseg manji od γ . Izuzetak su elastični korisnici, za koje se ne definiše donja granica propusnog opsega, 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. Prema zakonu smanjivanja marginalne dobiti, korisničko zadovoljstvo ostaje isto sa povećanjem propusnog opsega iznad π [4], [5]. Maksimalan potreban propusni opseg se definiše za sve tipove korisnika.

Neelastični korisnici su korisnici koji imaju stroge zahteve u pogledu kašnjenja ali tolerišu gubitke u određenoj meri. Njihovi zahtevi za propusnim opsegom variraju u određenom intervalu (između γ i π). Za opisivanje korisničkog zadovoljstva neelastičnih korisnika najčešće se koristi Sigmoidna funkcija (Slika 2) [5].



Slika 2: Funkcija dobiti neelastičnih korisnika

Matematički izraz za funkciju dobiti neelastičnih korisnika je:

$$U(\theta) = \frac{m}{1 + e^{\left(\frac{\gamma + \pi}{2} - \theta\right)}}, \quad \gamma < \theta \leq \pi, \quad (1)$$

pri čemu je m maksimalna cena koju je korisnik spreman da plati za jedinicu propusnog opsega. Kada se cena koju provajder servisa naplaćuje od svojih korisnika, M izjednači sa m , korisnik će tražiti samo minimalan propusni opseg, koji je označen sa γ . Za bilo koju cenu veću od maksimalne, korisnik odustaje od zahteva.

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

$$U(\theta) - M\theta = \frac{m}{1 + e^{\left(\frac{\gamma + \pi}{2} - \theta\right)}} - M\theta. \quad (2)$$

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:

$$\frac{d(U(\theta) - M\theta)}{d\theta} = 0. \quad (3)$$

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

$$\theta^* = \frac{\gamma + \pi}{2} - \ln\left(\frac{m - 2M \pm \sqrt{m^2 - 4aM}}{2M}\right). \quad (4)$$

Na osnovu (4) očigledno je da postavljeni problem nema jednoznačno rešenje. Međutim, intuitivno je jasno da korisnik uvek bira rešenje kojim za istu cenu dobija veći propusni opseg. To je u ovom slučaju rešenje sa znakom minus.

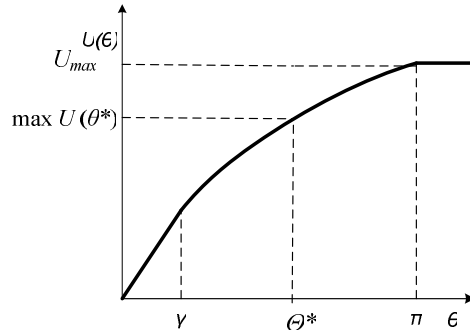
Pretpostavićemo da je oblik funkcije željenog propusnog opsega, kao i korisničke funkcije dobiti isti za sve korisnike, a da se parametri γ , π i m razlikuju za različite korisnike. Korisnička tražnja za servisom može se interpretirati kao stepen korisničkog zadovoljstva, koji zavisi od kvaliteta servisa i njegove cene. Otuda je potrebno definisati normalizovanu korisničku dobit U_n , koja ne uključuje m i glasi:

$$U_n = \frac{1}{1 + e^{\left(\frac{\gamma + \pi}{2} - \theta\right)}} \quad (5)$$

Funkcija dobiti koja odražava ponašanje delimično elastičnih korisnika je logaritamska funkcija. U zavisnosti od zahtevanog kvaliteta servisa, svaki korisnik zahteva minimalni potrebni propusni opseg γ i maksimalni potrebni propusni opseg π [4]. Pretpostavke su da je korisnik spreman da plati najviše m za jedinicu propusnog opsega. Za bilo koju cenu veću od maksimalne, korisnik odustaje od zahteva. Prema [4] funkcija dobiti delimično elastičnih korisnika može se predstaviti kao:

$$U(\theta) = m\gamma(\log(\theta/\gamma) + 1), \quad \gamma < \theta \leq \pi \quad (6)$$

Funkcija dobiti, U je konkavna i neopadajuća za svakog pojedinačnog korisnika (Slika 3).



Slika 3: Funkcija dobiti delimično elastičnih korisnika [4], [6]

Pretpostavimo da je oblik funkcije željenog propusnog opsega, kao i korisničke funkcije dobiti isti za sve delimično elastične korisnike, a da se parametri γ , π i m razlikuju za različite korisnike.

U cilju normalizacije funkcije dobiti delimično elastičnih korisnika, pretpostavlja se da je za propusni opseg manji od γ korisnička dobit jednaka 0 i za propusni opseg veći od π korisnička dobit je jednaka 1. Na osnovu toga može se definisati normalizovana funkcija dobiti delimično elastičnih korisnika:

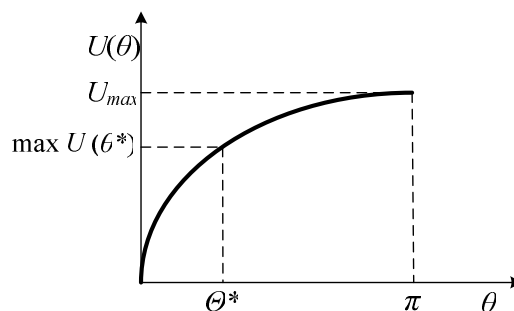
$$U_n = \frac{m\gamma(\log(\theta/\gamma)) + 1}{m\gamma(\log(\pi/\gamma)) + 1}, \quad \gamma < \theta \leq \pi \quad (7)$$

Vrednost θ za koju funkcija dobiti delimično elastičnih korisnika ima maksimalnu vrednost (pod uslovima $0 \leq M \leq m$ i $\gamma \leq \theta \leq \pi$) iznosi:

$$\theta^*(M) = m\gamma/M. \quad (8)$$

Elastični korisnici su korisnici koji ne tolerišu gubitke ali mogu da prihvate kašnjenje u određenoj meri. Za opisivanje njihovog korisničkog zadovoljstva koristi se logaritamska funkcija (Slika 4) [4], [6].

Za elastične korisnike se ne definiše donja granica propusnog opsega (za razliku od neelastičnih i delimično elastičnih korisnika), već samo maksimalni potreban propusni opseg π .



Sl. 4. Funkcija dobiti elastičnih korisnika

Matematički izraz za funkciju dobiti elastičnih korisnika je:

$$U(\theta) = m \cdot k_s \cdot \log(1 + \theta), 0 < \theta < \pi, \quad (9)$$

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:

$$U_n(\theta) = k_s \cdot \log(1 + \theta). \quad (10)$$

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 provajder servisa naplaćuje od svojih korisnika, korisnička neto dobit glasi:

$$U(\theta) - M\theta = m \cdot k_s \cdot \log(1 + \theta) - M\theta. \quad (11)$$

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

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

$$\theta^* = \frac{m \cdot k_s}{2.3M} - 1. \quad (12)$$

Pretpostavićemo da je oblik funkcije željenog propusnog opsega, kao i korisničke funkcije dobiti isti za sve elastične korisnike, a da se parametri π i m razlikuju za različite korisnike.

Tražnja se definiše nezavisno od tipa korisnika i to je funkcija normalizovane korisničke dobiti U_n i cene M i može se definisati na sledeći način:

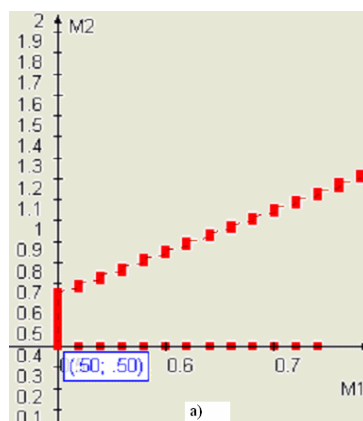
$$D(M) = 1 - e^{-kU_n^A M^{-B}} \quad (13)$$

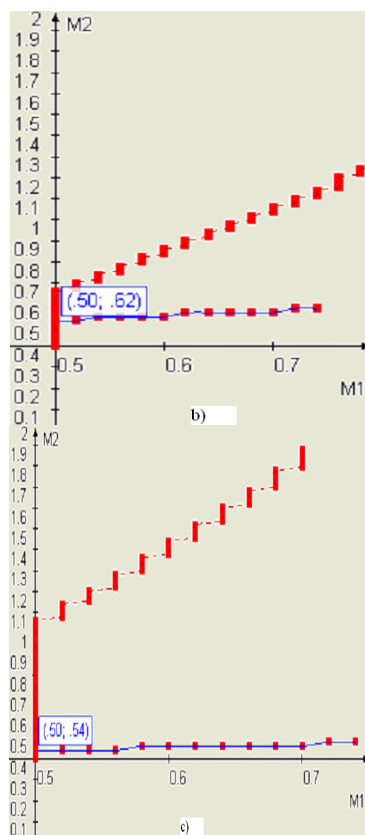
pri čemu su k , A i B pozitivne konstante koje pokazuju koliko je tražnja osetljiva na odnos cena/QoS: k je normalizovana konstanta, parametar A ukazuje na osetljivost korisnika na promene kvaliteta servisa i parametar B označava osetljivost korisnika na cenu. Na primer, što je A veće, korisnici su osetljiviji na promene QoS, dok veća vrednost parametra B ukazuje na veću osetljivost korisnika na cenu. Jednačina (13) predstavlja uopšten izraz za tražnju koji potvrđuje da se zadovoljstvo korisnika povećava sa poboljšanjem kvaliteta servisa i/ili smanjenjem cene [7]. Za razliku od parametara γ i π , koji predstavljaju QoS parametre, A i B su QoE parametri.

Za simuliranje predloženog modela, razvili smo softver u programskom jeziku C#. Na Slici 5 je prikazan interfejs pomoću koga možemo odrediti Nash ekvilibrijum za model igre koji smo opisali u ovom radu i za sve definisane tipove korisnika. Na Slikama 6a, 6b i 6c su prikazani najbolji odgovori, tj. optimalne cene koje svaki od provajdera u Nash igri formira za svaki mogući potez, tj. cene drugog provajdera servisa u slučaju neelastičnih, delimično elastičnih i elastičnih korisnika, respektivno. Rezultati simulacija dati su za sledeće vrednosti parametara modela: $M_{\min} = 0.5$, $M_{\max} = 2$, $m = 10$, $k = 0.5$, $A = 0.5$, $B = 2.5$ i $C = 2$. Ukupan broj korisnika je 100. Parametri korisnika se

nalaze u intervalima: $\gamma = 10 \div 40$ i $\pi = 80 \div 100$ [MB]. Za date parametre i za slučaj neelastičnih korisnika, *Nash* ekvilibrijum se postiže u tački u kojoj su cene servisa oba provajdera jednak minimalnoj tržišnoj ceni, tj. $M_1 = M_2 = 0.5$. U slučaju delimično elastičnih korisnika *Nash* ekvilibrijum se postiže za $M_1 = 0.5, M_2 = 0.62$. *Nash* ekvilibrijum za elastične korisnike je $M_1 = 0.5, M_2 = 0.54$. 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.

Slika 5: Interfejs za određivanje cena provajdera servisa





Slika 6: Optimalne cene provajdera servisa i *Nash* ekvilibrijum za: a) neelastične korisnike, b) delimično elastične korisnike i c) elastične korisnike

4. Zaključak

U ovom radu su razmatrani specifični zahtevi koji se postavljaju pred tarifni sistem u mrežama naredne generacije. Predložena je jedna mogućnost za rešenje problema formiranja cena dva konkurentna provajdera servisa u NGN-u. Pre opisa modela definisani su pojmovi mrežnih performansi, kvaliteta servisa i iskustvenog kvaliteta i objašnjene su razlike između njih. Model smo razvili za neelastične, delimično elastične i 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 svaki tip korisnika, za različite vrednosti parametara, model daje jedinstveno rešenje koje predstavlja *Nash* ekvilibrijum.

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 tip korisnika i korisničke preferencije, definisane preko kvaliteta servisa i iskustvenog kvaliteta. Takođe, razdvajanje pojmova kvaliteta servisa i iskustvenog kvaliteta je veoma značajno u mrežama naredne generacije.

Literatura

- [1] *ITU-T NGN FG Proceedings Part II*, ITU, 2005, dostupno na: www.itu.int/ITU-T/ngn/files/NGN_FG-book_II.pdf
- [2] N. Živić, Z.R. Petrović, M. Jovanović, "Prelazak na mreže sledeće generacije", *TELFOR – CD zbornik*, Beograd, 2003.
- [3] M. Janša, "Prelazak iz klasičnih PSTN mreža u mreže sledeće generacije", *TELFOR – CD zbornik*, Beograd, 2002.
- [4] Ninan B. M., Devetsikiotis M., "Game-Theoretic Resource Pricing For The Next Generation Internet", In *Performance Evaluation and Planning Methods for the Next Generation Internet*, A. Girard, B. Sanso and F. Vazquez Abad Eds., Springer, 2005, pp. 141-163.
- [5] 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.
- [6] V. Radonjić, V. Aćimović Raspopović, " Optimizacija kapaciteta u mreži naredne generacije pomoću tarifnog modela zasnovanog na staklbergovoj igri ", *Zbornik radova SYMOPIS 08*, Sokobanja, Septembar 2008.
- [7] L. Badia *et al.*, "Pricing VoWLAN Services through a Micro-Economic Framework," *IEEE Wireless Commun.*, vol. 13, no. 1, Feb. 2006, pp. 6–13.

Abstract: We proposed a Nash game model with two competitive service providers in next generation networks for pricing a service based on users' demand functions. For different types of users we defined users' utility and demand with parameters of quality of service and quality of experience, respectively. 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.

Keywords: the next generation network, pricing, Nash equilibrium.

PRICING DIFFERENT TYPE OF USERS IN NEXT GENERATION NETWORKS

Vladanka Aćimović-Raspopović, Vesna Radonjić