

Analiza zavisnosti prihoda telekomunikacionog provajdera od ponuđenog broja klasa servisa

Vesna Radonjić, Vladanka Aćimović-Raspopović

Sadržaj — U ovom radu smo analizirali zavisnost ukupnog prihoda provajdera servisa i ukupne dobiti korisnika od cene i broja klasa servisa, koje provajder obezbeđuje svojim korisnicima u predloženom tarifnom algoritmu koji se zasniva na modelu Stackelberg igre. Korisnike smo klasifikovali korišćenjem kriterijuma elastičnosti. Algoritam smo verifikovali pomoću odgovarajućeg softverskog rešenja i kroz veliki broj simulacija.

Ključne reči — klasa servisa, elastičnost korisnika, Stackelberg ekvilibrijum.

I. UVOD

SA aspekta provajdera servisa postoji evidentna potreba za uvođenjem mehanizama koji dinamički prilagođavaju cene stanju iskorišćenosti resursa mreže, tj. dinamičkih tarifnih koncepata. Tarifiranje na taj način postaje efikasno sredstvo inženjeringa saobraćaja u smislu kratkoročne (sekundi, minuti) i/ili srednjoročne (časovi, dani, sedmice) kontrole zagušenja u mreži. S druge strane, zahtevi korisnika za kvalitetom servisa u okviru jedne mreže mogu se veoma razlikovati. Tarifiranjem se može obezbediti efikasno diferenciranje servisa prema kriterijumu kvaliteta, na način da se tokovi saobraćaja sa sličnim karakteristikama pridružuju odgovarajućoj klasi servisa, u zavisnosti od zahteva za kvalitetom servisa. To znači da se korisnicima obezbeđuju garancije kvaliteta servisa uz dodatnu naknadu.

U ovom radu je korišćen dinamički tarifni koncept koji se zasniva na reakciji korisnika (*responsive pricing*), za koji smo razvili algoritam po modelu Stackelberg igre [1]. Analizirali smo zavisnost ukupnog prihoda provajdera servisa i ukupne dobiti korisnika od cene i broja klasa servisa, koje provajder obezbeđuje svojim korisnicima, koji su klasifikovani korišćenjem kriterijuma elastičnosti.

Rad je organizovan na sledeći način. U drugom poglavlju su definisane funkcije dobiti korisnika i provajdera servisa. U trećem poglavlju je opisan predloženi algoritam, određen je Stackelberg ekvilibrijum i analizirani su rezultati simulacija algoritma. U četvrtom poglavlju su data zaključna razmatranja.

Ovaj rad je deo istraživanja na projektu broj T11013A koji finansira Ministarstvo za nauku i tehnološki razvoj Republike Srbije.

Vesna Radonjić, Saobraćajni fakultet Univerziteta u Beogradu, Srbija (tel: 381-11-3091322; e-mail: v.radonjic@sf.bg.ac.rs)

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

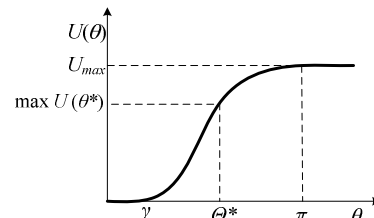
II. FUNKCIJE DOBITI KORISNIKA

Korisnici se prema kriterijumu elastičnosti mogu klasifikovati u tri kategorije: neelastične, delimično elastične i elastične korisnike. Funkcije dobiti korisnika se razlikuju u zavisnosti od elastičnosti korisnika. Pretpostavili smo da je parametar kvaliteta servisa propusni opseg.

Neelastični korisnici su korisnici koji imaju stroge zahteve u pogledu kašnjenja ali tolerišu gubitke u određenoj meri. Njihovi zahtevi za propusnim opsegom θ variraju u određenom intervalu (između γ i π). Za opisivanje zadovoljstva neelastičnih korisnika najčešće se koristi Sigmoidna funkcija (Sl. 1) [2]. Izraz za funkciju dobiti neelastičnih korisnika je:

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

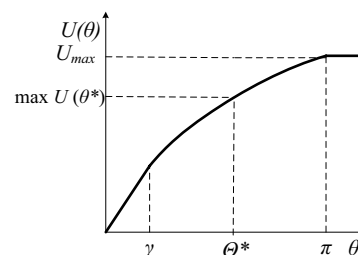
pri čemu je m maksimalna cena koju je korisnik spreman da plati za jedinicu propusnog opsega.



Sl. 1: Funkcija dobiti neelastičnih korisnika

Funkcija dobiti koja odražava ponašanje delimično elastičnih korisnika je logaritamska funkcija (Sl. 2). U zavisnosti od zahtevanog kvaliteta servisa, svaki korisnik zahteva minimalni potrebni propusni opseg γ i maksimalni potrebni propusni opseg π [3]. Funkcija dobiti delimično elastičnih korisnika data je izrazom [1]:

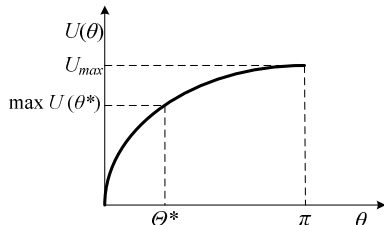
$$U(\theta) = m\gamma(\log(\theta/\gamma) + 1), \quad \gamma < \theta \leq \pi \quad (2)$$



Sl. 2: Funkcija dobiti delimično elastičnih korisnika

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 (Sl. 3), ali se za njih ne definiše donja granica propusnog opsega [3, 4] (za razliku od neelastičnih i delimično elastičnih korisnika), već samo maksimalan potreban propusni opseg π .



Sl. 3: Funkcija dobiti elastičnih korisnika

Funkcija dobiti elastičnih korisnika glasi:

$$U(\theta) = m \cdot k_s \cdot \log(1 + \theta), \quad 0 < \theta < \pi, \quad (3)$$

k_s je parametar koji se izračunava kao: $k_s = 1/\log(1 + \pi)$.

Pretpostavićemo da je oblik funkcije dobiti korisnika isti za sve korisnike sa istim svojstvom elastičnosti, a da se parametri γ , π i m razlikuju za različite korisnike čak iako poseduju isto svojstvo elastičnosti, kao i za različite klase servisa. Za sve tipove korisnika je zajedničko da za bilo koju cenu veću od maksimalne odustaju od zahteva.

Da bi se cena servisa uskladila sa stanjem iskorišćenosti resursa u mreži, funkciju ažuriranja korisničkih odgovora u predloženom modelu obavlja upravljački server (*Bandwidth Management Server*, BMS). BMS formira cene i vrši alokaciju raspoloživog propusnog opsega u kratkim vremenskim intervalima u zavisnosti od stepena mrežnog zagušenja, tako što simulira odgovore korisnika na cene po jedinici propusnog opsega na osnovu njihovih ugovorenih parametara i poznajući njihove pojedinačne funkcije dobiti.

U skladu sa jednim od osnovnih ciljeva teorije igara, usvajamo pretpostavku da svaki korisnik teži maksimiziranju svoje funkcije dobiti:

$$\max_{\theta_i} U_i(\theta_i) - M\theta_i \quad (4)$$

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:

$$\frac{d(U(\theta) - M\theta)}{d\theta} = 0. \quad (5)$$

Neto dobit za neelastične korisnike glasi:

$$U(\theta) - M\theta = \frac{m}{1 + e^{\left(\frac{\gamma + \pi}{2} - \theta\right)}} - M\theta. \quad (6)$$

Otuda, propusni opseg kojim se maksimizira neto dobit neelastičnih korisnika iznosi:

$$\theta^* = \frac{\gamma + \pi}{2} - \ln\left(\frac{m - 2M \pm \sqrt{m^2 - 4aM}}{2M}\right). \quad (7)$$

Na osnovu (7) 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.

Neto dobit za delimično elastične korisnike iznosi:

$$U(\theta) - M\theta = m\gamma(\log(\theta/\gamma)) + 1 - M\theta \quad (8)$$

Vrednost θ za koju je korisnička neto dobit delimično elastičnih korisnika maksimalna iznosi:

$$\theta^*(M) = \frac{m\gamma}{M}. \quad (9)$$

Neto dobit za elastične korisnike iznosi:

$$U(\theta) - M\theta = m \cdot k_s \cdot \log(1 + \theta) - M\theta. \quad (10)$$

Propusni opseg kojim se maksimizira neto dobit elastičnih korisnika iznosi:

$$\theta^* = \frac{m \cdot k_s}{2.3M} - 1. \quad (11)$$

S druge strane, dobit provajdera $T(M, \Theta)$ zavisi od ukupnog ostvarenog prihoda i prema tome je funkcija tržišne cene i propusnog opsega (Θ je vektor koji označava alokirani propusni opseg.) koji se dodeljuje različitim korisnicima:

$$T(M, \theta) = M \sum_{i=1}^N \theta_i(M). \quad (12)$$

Pretpostavlja se da je ova funkcija dobiti monotono rastuća i strogo konkavna. Do odgovarajuće tržišne cene provajder dolazi rešavanjem optimizacionog problema koji podrazumeva maksimiziranje prihoda u funkciji cene uz uslov da zahtevi za propusnim opsegom ne prevazilaze kapacitet mreže tj. kritičnog linka:

$$\max_M T(M, \Theta^*) = \max_M M \sum_{i=1}^N \theta_i(M), \quad \sum_{i=1}^N \theta_i \leq C, \quad M \geq 0 \quad (13)$$

Optimizacija se vrši na kritičnom linku za svaku klasu servisa korišćenjem koncepta *responsive pricing* i modela Stackelberg igre [1, 5, 6, 7]. U modelu provajder servisa ima ulogu vođe, dok su korisnici sledbenici. Provajder servisa, kao vođa, prvi bira strategiju i može uticati na strategijski izbor korisnika, kao sledbenika u igri. On bira strategiju koja mu obezbeđuje maksimiziranje prihoda, pretpostavljajući da će korisnici izabrati strategije koje im osiguravaju najveću dobit. Rešenje postavljenog problema obuhvata optimalnu alokaciju propusnog opsega i optimalnu cenu za tu alokaciju, koja predstavlja Stackelberg ekvilibrijum.

Provajder servisa započinje algoritam dodeljivanjem početne cene M^0 , koja se obično određuje na osnovu podataka iz prethodnih perioda. Cena kojom se maksimizira prihod provajdera servisa za poznate najbolje odgovore korisnika (predstavljene preko zahteva za propusnim opsegom) formira Stackelberg ekvilibrijum:

$$M^* = \arg \max_M T(M, \Theta^*(M)) \quad (14)$$

III. ALGORITAM I ANALIZA REZULTATA SIMULACIJA

U tarifnom algoritmu se vrši optimizacija korišćenja propusnog opsega, cene po jedinici propusnog opsega i ukupnog kapaciteta kritičnog linka u mreži provajdera servisa, za više klasa servisa. Promena tarifa i alokacija propusnog opsega zavise od nivoa zagušenja mreže. Na posmatranom linku, ukupan broj korisnika je N i

pretpostavka je da su korisnici raspodeljeni ravnomerno prema kriterijumu elastičnosti. Ukupan broj krugova je S i u svakom krugu s , vrši se l_s iteracija, pri čemu je $s=1,2,\dots,S$. Svaki krug s se sastoji od jedne ili više iteracija koje obuhvataju nekoliko koraka:

1. korak: Za kapacitet kritičnog linka C_s i za fiksni propusni opseg θ_j , koji se obezbeđuje svakom korisniku servisa klase j , provajder servisa predlaže cenu: M_j^{0s} za $s=1$ i $M_j^{0s} = k_s M_j^{\min(s-1)}$ za $s=2, 3, \dots, S$, pri čemu je $M_j^{\min(s-1)}$ minimalna razmatrana cena za klasu j u krugu $s-1$, $k_s = r k_{s-1}$, $0.8 \leq r < 1$ i $M_j^{0s} > 0$.

2. korak: Za datu cenu M_j^{0s} BMS za svakog korisnika i koji zahteva servis klase j izračunava željeni propusni opseg θ_{ij}^{0s} ($j=\overline{1,J}$, $i=\overline{1,N}$) na osnovu izraza (7), (9) i (11), za neelastične, delimično elastične i elastične korisnike, respektivno.

3. korak: BMS simulira ponašanje korisnika na sledeći način: korisnik i bira klasu j i spreman je da plati M_j^{0s} za korišćenje servisa te klase ako je ispunjen uslov $\theta_{ij}^{0s} \leq \theta_j$; korisnik i ne pristaje na cenu M_j^{0s} za korišćenje servisa iste klase ako je $\theta_{ij}^{0s} > \theta_j$ i tada zahteva servis klase j' tako da $\theta_{ij'}^{0s} \leq \theta_{j'}$ i $\theta_{ij'}^{0s} = \max\{\theta_{i1}^{0s}, \dots, \theta_{iJ}^{0s}\}$; $j'=\overline{1,J}$, $j' \neq j$.

4. korak: Za svaku klasu j izračunava se $N_j^{0s} \theta_j$, pri čemu je N_j^{0s} broj korisnika klase j za koje je ispunjena nejednakost $\theta_{ij}^{0s} \leq \theta_j$, $j=\overline{1,J}$.

5. korak: Ako je $\sum_{j=1}^J N_j^{0s} \theta_j < k_e C_s$, izračunavaju se nove cene za svaku klasu j : $M_j^{1s} = (1 - k_r) M_j^{0s}$, $0 < k_r < 0.1$ i prelazi se na novu iteraciju sa novim cenama $M_j^{1s} < M_j^{0s}$. Koeficijent k_e ukazuje na visok stepen iskorišćenosti kapaciteta C_s ($0.95 \leq k_e \leq 1$).

6. korak: Ako je $\sum_{j=1}^J N_j^{0s} \theta_j > C_s$ provajder formira nove cene za svaku klasu j : $M_j^{1s} = (1 + k_r) M_j^{0s}$, $0 < k_r < 0.1$ i prelazi se na novu iteraciju sa novim cenama $M_j^{1s} > M_j^{0s}$.

7. korak: Ako je $k_e C_s \leq \sum_{j=1}^J N_j^{0s} \theta_j \leq C_s$ izračunavaju se sume $T^{0s}(M^{0s}) = \sum_{j=1}^J M_j^{0s} N_j^{0s}$ i $\sum_{i=1}^N U_i(\theta^{0s})$ i prelazi se na novi krug iteracija $s+1$.

U svakom krugu, iteracije su izvršene sa različitim vrednostima kapaciteta kritičnog linka, tako da je: $C_1 < C_2 < \dots < C_s$. Za početne cene u prvom krugu uzimaju se cene iz prethodnog perioda. U svakom sledećem krugu početna cena se smanjuje preko koeficijenta k_s . Posle S krugova formiraju se dijagrami T i U za vrednosti θ i M koje ispunjavaju uslov $\sum_{j=1}^J N_j^{0s} \theta_j \leq C_s$. Cena za koju funkcija T dostiže maksimum predstavlja optimalnu cenu (Stackelberg ekvilibrijum): $M = M_{opt}$ za $\max_M T(M, \theta^*)$. Alokacija propusnog opsega koja odgovara toj ceni predstavlja optimalnu alokaciju.

Za simuliranje predloženog tarifnog algoritma, razvili smo softver u programskom jeziku C#. Softver se aktivira

pomoću BMS-a, koji vrši automatsku alokaciju raspoloživog propusnog opsega prema iskorišćenosti kapaciteta mreže. Softver se može aktivirati kada zagušenje u mreži pređe neku dozvoljenu vrednost, koja može biti unapred definisana sporazumom o nivou servisa. Parametri algoritma i mreže se mogu menjati, pri čemu smo u ovom primeru izabrali sledeće parametre: $k=0.05$, $k_s=0.85$, $k_e=0.95$, $N=100$ and $C=10000\text{MB}$. Parametri cene i parametri korisnika se razlikuju u zavisnosti od klase servisa. Parametri korisnika zavise i od elastičnosti korisnika. U ovom radu prikazani su rezultati simulacija za četiri scenarija algoritma 2: za $J=2, 3, 4, 5$. Za klasu servisa sa najnižim zahtevima za kvalitetom, početna cena je: $M_1^{0s} = 0.5 \div 1.5\text{MU}$. Za ostale klase servisa, početna cena se množi sa koeficijentom p_1 : $M_j^{0s} = p_1 M_{j-1}^{0s}$, $j=\overline{1,J}$. Na sličan način se određuju i maksimalne cene koje su korisnici spremni da plate za različite klase servisa: za klasu sa najnižim zahtevima za kvalitetom servisa, $m_1 = 1 \div 1.5\text{MU}$, a za svaku narednu klasu servisa, ova vrednost se množi sa koeficijentom p_2 : $m_j = p_2 m_{j-1}$, $j=\overline{1,J}$. Vrednosti p_1 i p_2 zavise od odgovarajućeg scenarija, tj. broja klasa servisa koje provajder obezbeđuje korisnicima. (Tabela 1).

TABELA 1: VREDNOSTI KOEFICIJENATA p_1 I p_2 ZA ČETIRI SCENARIJA TARIFNOG ALGORITMA

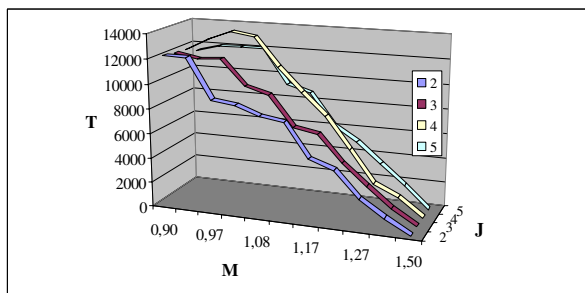
J	p_1	p_2
2	1.46	1.36
3	1.21	1.17
4	1.14	1.11
5	1.1	1.08

Grafici ukupnog prihoda mreže i ukupne dobiti korisnika, kao funkcije cene i ukupnog broja klasa servisa, za sve tipove korisnika i za tipičnu simulaciju algoritma izvršenu na osnovu izabranih parametara, prikazani su na Slikama 4 i 5, respektivno. Na osnovu Sl. 4 može se uočiti da optimalna cena jedinice propusnog opsega raste sa porastom broja klasa servisa koje provajder obezbeđuje svojim korisnicima: $M_{opt2}=0.9$, $M_{opt3}=0.9$, $M_{opt4}=0.97$, $M_{opt5}=0.97$, za scenario sa 2, 3, 4 i 5 klasa, respektivno. Optimalne cene po jedinici propusnog opsega za više klase dobijaju se množenjem sa koeficijentom p_1 . Na osnovu Sl. 4 možemo zaključiti da provajder servisa ostvaruje najveći prihod ukoliko koristi scenario sa četiri klase servisa (jer su njegovi ukupni prihodi: $T_2^*=12251.71$, $T_3^*=12037.80$, $T_4^*=13692.78$, $T_5^*=12078.87$, za scenario sa 2, 3, 4 i 5 klasa servisa, respektivno). Za ukupne dobiti korisnika rezultati su: $U_2^*=5512.26$, $U_3^*=5511.98$, $U_4^*=5211.80$, $U_5^*=5719.44$, za scenario sa 2, 3, 4 i 5 klasa servisa, respektivno. Prema tome, sa aspekta ukupne dobiti korisnika, najbolje je koristiti scenario sa pet klasa servisa. Raspodela propusnog opsega po klasama servisa, za sva četiri scenarija, prikazana je u Tabeli 2. U svim izvršenim simulacijama ovog algoritma, iskorišćenost propusnog opsega je veoma visoka (veća od 90%). Optimalna vrednost kapaciteta kritičnog linka u svim scenarijima je veoma blizu maksimalnoj vrednosti ($C_{opt}=9800$ u sva četiri scenarija). Bolji rezultati bi se mogli postići ukoliko bi se

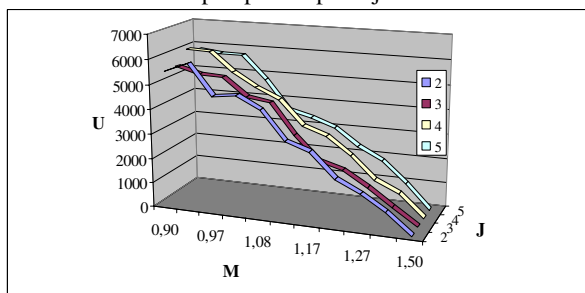
simulacije izvršile sa većom vrednošću maksimalnog kapaciteta kritičnog linka, što znači da je provajderu servisa potreban veći propusni opseg da bi zadovoljio zahteve korisnika. Takođe, kompleksnost algoritma se povećava u slučaju primene optimizacije kapaciteta za više od 3 klase servisa, čime se povećava vreme izvršavanja algoritma. Da bi se postiglo brzo izvršavanje predloženog algoritma, optimizaciju kapaciteta je bolje vršiti odvojeno od optimizacije cena.

TABELA 2: RASPODELA PROPUSNOG OPSEGA IZMEĐU KORISNIKA ZA RAZLIČIT BROJ KLASA SERVISA

Broj klasa servisa	Propusni opseg	Broj korisnika	Procenat korisnika
2	50.00	53	53.00
	150.00	47	47.00
3	50.00	41	42.27
	100.00	35	36.08
	200.00	21	21.65
4	50.00	25	26.88
	79.00	30	32.26
	124.82	24	25.81
	197.22	14	15.05
5	50.00	25	26.60
	70.50	21	22.34
	99.41	19	20.21
	140.16	16	17.02
	197.63	13	13.83



Sl. 4: Ukupan prihod provajdera servisa



Sl. 5: Ukupna dobit korisnika

IV. ZAKLJUČAK

U ovom radu je razmatrana zavisnost prihoda telekomunikacionog provajdera i ukupne dobiti korisnika

od cene i broja klasa servisa u slučaju primene predloženog tarifnog algoritma. Algoritam koristi model Stackelberg igre koji je prilagođen *responsive pricing* konceptu i u kojem su korisnici klasifikovani prema kriterijumu elastičnosti. U okviru svakog korisničkog tipa izvršena je podela na nekoliko klasa servisa. Na osnovu izvršene analize, može se zaključiti da provajder ostvaruje najveću dobit ukoliko korisnicima obezbeđuje četiri klase servisa. Sa aspekta ukupne dobiti korisnika, najbolje je koristiti scenario sa pet klasa servisa.

Pored optimizacije cena i korišćenja propusnog opsega, izvršena je optimizacija ukupnog kapaciteta kritičnog linka. Međutim, zbog kompleksnosti algoritma, treba razmotriti mogućnost izvršavanja optimizacije kapaciteta nezavisno od optimizacije cena.

LITERATURA

- [1] V. Radonjic, V. Acimovic-Raspovic, „Responsive Pricing Modelled with Stackelberg Game for Next Generation Networks“, *Annales of Telecommunications*, dostupno na: <http://www.springerlink.com/content/v427521020745g22/>
- [2] S. Sengupta, M. Chatterjee, “Differentiated Pricing Policies in Heterogeneous Wireless Networks”, *Heterogeneous Wireless Access Networks Architectures and Protocols*, edited by Ekram Hossain, Springer 2008, pp. 393-417.
- [3] B. M. Ninan, M. Devetsikiotis, "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.
- [4] V. Radonjić, V. Aćimović Raspopović, “Optimizacija kapaciteta u mreži naredne generacije pomoću tarifnog modela zasnovanog na Stackelberg igri”, *SYMOPIS 08*, Sokobanja, 2008, str. 583-586.
- [5] C. Courcoubetis, R. Weber, *Pricing Communication Networks*, John Wiley & Sons Ltd, 2003.
- [6] J. N. Webb, *Game Theory - Decisions, Interaction and Evolution*, Springer, 2007.
- [7] S. Jorgensen, G. Zaccour, *Differential Games in Marketing*, Kluwer Academic Publishers, 2004.

ABSTRACT

In this paper we analyzed the influence of the service price and the number of service classes on total service provider revenue and total users utility in proposed pricing algorithm based on Stackelberg game model. We classified users according elasticity criteria. The proposed model is verified through numerous simulations performed by software that we developed for that purpose.

TELECOMMUNICATION PROVIDER REVENUE DEPENDENCE OF OFFERED NUMBER OF SERVICE CLASSES

Vesna Radonjić, Vladanka Aćimović-Raspopović