

Optimizacija tarifa i propusnog opsega u mreži naredne generacije

Vesna Radonjić, Vladanka Aćimović-Raspopović

Sadržaj — U ovom radu smo predložili model za primenu tarifnog koncepta koji se zasniva na reakciji korisnika u mrežama naredne generacije. Predloženi model se zasniva na Stackelbergovoj igri. Korisnik se zadužuje prema korišćenju propusnog opsega. Dobijeni rezultati obuhvataju optimalnu alokaciju propusnog opsega, optimalnu cenu za tu alokaciju i graničnu vrednost kapaciteta mreže nakon koga se, za fiksni broj korisnika, prihod provajdera ne povećava.

Ključne reči — Mreže naredne generacije, Tarifni koncept zasnovan na reakciji korisnika, Optimiziranje raspoloživog kapaciteta, Korisnička dobit, Stackelberg-ova igra.

I. UVOD

TARIFNI koncept u mrežama naredne generacije (*Next Generation Networks*, NGN) provajderu servisa treba da omogući optimizaciju raspoloživog mrežnog kapaciteta i efikasno iskorišćenje resursa u mreži sa ciljem maksimiziranja dobiti. Istovremeno, korisnicima treba da se obezbedi servis zahtevanog kvaliteta uz prihvatljivu cenu, koja odražava korisničko zadovoljstvo tim servisom.

U ovom radu smo predložili algoritam za primenu tarifnog koncepta zasnovanog na reakciji korisnika koji smo razvili za konektivnu mrežu. Algoritam koristi model *Stackelberg*-ove igre u kojoj učestvuju provajder servisa (lider) i korisnici (sledbenici) koji međusobno dele mrežne resurse [1], [2], [3]. Optimizacija cena se vrši za različite klase servisa. Algoritam provajderu dozvoljava optimizaciju potrebnog kapaciteta i postizanje visokog iskorišćenja kapaciteta, pri čemu se ukupan kapacitet mreže provajdera svodi na kapacitet kritičnog linka. Funkcije cilja, koju treba maksimizirati, su: profit provajdera i ukupna korisnička dobit. Cilj istraživanja je odrediti graničnu vrednost ukupnog kapaciteta kritičnog linka nakon koje se, za fiksni broj korisnika, prihod provajdera ne povećava, optimalnu alokaciju propusnog opsega na kritičnom linku i optimalne cene za tu alokaciju za svaku klasu servisa.

Rad je organizovan na sledeći način. U drugom poglavlju su obrazloženi osnovni zahtevi u NGN mrežama. U trećem poglavlju je formulisani problem. U četvrtom poglavlju je predložen algoritam za rešavanje postavljenog problema i analizirani su rezultati simulacija predloženog rešenja. U petom poglavlju su data zaključna razmatranja.

Vesna Radonjić, Saobraćajni fakultet Univerziteta u Beogradu, Srbija (tel: 381-11-3091241; 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)

II. TARIFIRANJE U MREŽAMA NAREDNE GENERACIJE

Pred mreže naredne generacije se postavljaju specifični zahtevi na koje one treba da odgovore kako bi omogućile migraciju sa postojećih mreža [4], [5], kao što su:

- veliki broj servisa (govor, podaci i multimedija),
- jedinstveno prilagođavanje korisnicima (servisi koji zadovoljavaju korisničke zahteve na različitim lokacijama),
- prenosivi servisi na svakom korisničkom uređaju, tj. fleksibilnost u smislu mogućnosti prepoznavanja korisnika i rada sa njima, njihovim uređajima i tipom medija bez obzira na lokaciju korisnika i
- male cene sa visokom pouzdanošću i kvalitetom servisa.

Pri definisanju tarifnog sistema u NGN-u treba imati u vidu da vrednost servisa određuju korisnici servisa, a ne infrastruktura koja obezbeđuje njihovu dostavu. Korisnike servisa interesuje samo dobit koju ostvaruju korišćenjem servisa zahtevanog kvaliteta (*Quality of Service*, QoS).

Za rešavanje problema alokacije resursa i mrežnog zagušenja, u mrežama naredne generacije mogu se primeniti dinamički tarifni koncepti. U ovom radu je razmatrana primena dinamičkog tarifnog koncepta, koji se zasniva na reakciji korisnika. Ovaj koncept podrazumeva dinamičku strategiju određivanja cena koja pokazuje kako mreža može da iskoristi adaptibilnost korisnika na cene za postizanje mrežne i ekonomske efikasnosti. Cene se koriste da bi se obezbedilo dobro funkcionisanje mreže u periodima zagušenja i da bi se garantovali različiti nivoi servisa [6]. Ovaj koncept funkcioniše tako da se u periodima velikog korišćenja, cena resursa povećava i korisnik se adaptira smanjenjem svog saobraćaja; dok u periodima malog korišćenja, mreža smanjuje cenu resursa, a korisnik reaguje povećanjem saobraćaja koji nudi mreži. Adaptibilni korisnici su stimulirani da prenose saobraćaj u vremenskim intervalima kada opterećenje nije vršno, čime se povećava mrežna efikasnost, a takođe imaju kontrolu nad odlukama o tome kada će vršiti prenos, što utiče na porast ekonomske efikasnosti.

Provajderi servisa, da bi bili konkurentni na tržištu komunikacionih usluga, treba da obezbede infrastrukturu koja podržava servise po najmanjoj mogućoj ceni sa sličnim ili boljim QoS u poređenju sa postojećim servisima, uz njihovu istovremenu pouzdanost i usaglašenost sa standardima. QoS je s jedne strane korisnički orijentisan, a sa druge strane iskazuje određenu obavezu mreže da zadovolji korisničke zahteve. Dobar model QoS treba da obezbedi socijalno prihvatljivo rešenje za prioritizaciju saobraćaja. Preporuka za NGN je da se zadrži osnovna arhitektura najboljeg pokušaja uz

korišćenje koncepta QoS samo za servise sa visokim zahtevima u pogledu propusnog opsega i QoS.

III. POSTAVKA PROBLEMA

U prethodnim istraživanjima u ovoj oblasti, razmatrali smo moguće efekte primene različitih dinamičkih tarifnih koncepata sa kratkim vremenskim rokom (npr., koncept pametnog tržišta) [7], [8]. U ovom radu proučavamo mogućnosti implementacije tarifnog koncepta, koji se zasniva na reakciji korisnika. U modelu koji predlažemo, svaki korisnik, prilikom ugovaranja servisa sa provajderom, daje parametre željenog propusnog opsega i maksimalne cene koju je spreman da plati za njegovo korišćenje. Zatim se određuje vremenski period za koji će korisnik biti pod ugovornom obavezom (npr. mesec dana ili više). Da bi se cena servisa uskladila sa stanjem iskorišćenosti resursa u mreži, potrebno je vršiti dinamičku promenu tarife u zavisnosti od stepena mrežnog zagušenja i to u kratkim vremenskim intervalima. Te promene treba sprovoditi automatski korišćenjem odgovarajućeg algoritma za alokaciju propusnog opsega.

U predloženom modelu, svaki korisnik i od provajdera traži propusni opseg θ_i . Provajder primenjuje tarifnu politiku koja se zasniva na korišćenju, uvođenjem tarife M za jedinicu korišćenog propusnog opsega.

Cilj je odrediti optimalne cene za svaku klasu servisa za koje se postiže alokacija propusnog opsega koja predstavlja *Nash* ekvilibrijum i graničnu vrednost ukupnog kapaciteta kritičnog linka nakon koje se, za fiksni broj korisnika, prihod provajdera servisa ne povećava. Svaki korisnik plaća cenu koja je jednaka sumi proizvoda svake optimalne cene po jedinici propusnog opsega i korišćenog propusnog opsega tokom svih njegovih sesija u ugovorenom vremenskom periodu.

IV. OPIS IGRE

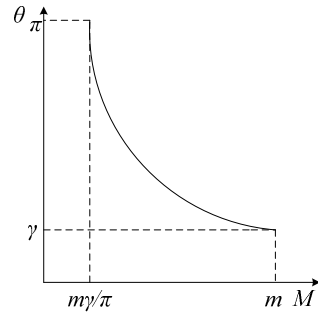
A. Formulacija modela

U ovom radu je izvršena analiza ponašanja sistema koja uključuje interakcije korisnika i provajdera servisa. Problem je formulisan kao *Stackelberg*-ova igra u kojoj provajder servisa ima ulogu lidera dok se korisnici ponašaju kao sledbenici. Razvili smo model za delimično elastične korisnike¹, koji kvalitet servisa procenjuju isključivo propusnim opsegom koji im provajder obezbeđuje. U modelu je predviđena dinamička promena tarifa u kratkom vremenskom roku, što ne bi bilo izvodljivo u praksi ako bi se od korisnika tražilo da ažuriraju svoje podatke u kratkim intervalima. Funkciju ažuriranja korisničkih odgovora u predloženom modelu automatski obavlja upravljački server (*Bandwidth Management Server*, BMS). BMS formira cene i vrši alokaciju raspoloživog propusnog opsega u kratkim intervalima (npr. 10 minuta) u zavisnosti od stepena mrežnog zagušenja, simulirajući odgovore korisnika na cene po jedinici propusnog opsega na osnovu ugovorenih parametara i njihovih pojedinačnih funkcija dobiti.

¹ Elastični korisnici ne tolerišu gubitke ali dozvoljavaju odlaganje prenosa.

Pored optimizacije cena i dodeljenog propusnog opsega, provajder posredstvom BMS-a takođe sprovodi optimizaciju svojih kapaciteta, za jedan kritičan link u svojoj mreži. Pri tome se pretpostavlja da i provajder i korisnici teže maksimiziranju svojih dobiti.

Funkcija korisničke dobiti je logaritamska funkcija, koja je u ovom slučaju prilagođena konektivnim mrežama. 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 . Prema zakonu smanjivanja marginalne dobiti, korisničko zadovoljstvo ostaje isto sa povećanjem propusnog opsega iznad π [9] (Sl. 1).



Sl. 1. Željeni propusni opseg

Pretpostavke su da je korisnik spreman da plati najviše m za jedinicu propusnog opsega u jedinici vremena². Kada se mrežna cena M izjednači sa m , korisnik će tražiti samo minimalan propusni opseg, γ . Za bilo koju cenu veću od maksimalne, korisnik odustaje od zahteva. U intervalu $m\gamma/\pi \leq M \leq m$, traženi propusni opseg, θ logaritamski opada sa cenom, počevši od π . (Sl. 1). Prema [9] korisnička funkcija dobiti je:

$$U(\theta) = \begin{cases} m\theta, & \text{ako je } 0 \leq \theta \leq \gamma \\ m\gamma(\log(\theta/\gamma) + 1), & \text{ako je } \gamma < \theta \leq \pi \\ m\gamma(\log(\pi/\gamma) + 1), & \text{ako je } \pi < \theta \end{cases} \quad (1)$$

Funkcija dobiti, U je konkavna i neopadajuća za svakog korisnika (Sl. 2). Postavljanjem $\gamma=0$ i $\pi=\infty$ definicija ove funkcije se proširuje na slučaj elastičnih korisnika. Na taj način U postaje strogo konkavna funkcija na intervalu $[0, \infty)$ [10]. Otuda, funkcija dobiti pokriva širi spektar korisničkog ponašanja. 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 i za različite klase servisa. Sa korisničkog aspekta, do optimalne alokacije propusnog opsega dolazi se rešavanjem problema:

$$\max_{\theta} \sum_{i=1}^N U_i(\theta_i), \quad \sum_{i=1}^N \theta_i \leq C \quad (2)$$

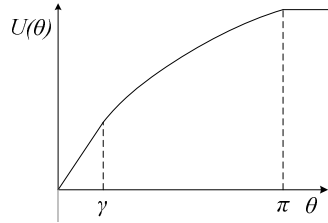
Realno je da svaki pojedinačni korisnik bira propusni opseg θ tako da maksimizira svoju neto dobit, čime se (2) svodi na jednostavniji jednodimenzionalni problem:

$$\max_{\theta_i} U_i(\theta_i) - M\theta_i. \quad (3)$$

² Jedinica vremena je period između dve alokacije propusnog opsega.

Vrednost θ za koju je korisnička neto dobit maksimalna (ako su ispunjeni uslovi $0 \leq M \leq m$ i $\gamma \leq \theta \leq \pi$) iznosi:

$$\theta^*(M) = \frac{m\gamma}{M}. \quad (4)$$



Sl. 2. Korisnička funkcija dobiti [9]

S druge strane, dobit provajdera $T(M, \Theta)^3$ zavisi od ukupnog ostvarenog prihoda i funkcija je tržišne cene i propusnog opsega koji se dodeljuje različitim korisnicima. Pretpostavlja se da je ova funkcija dobiti monotono rastuća i strogo konkavna. Do odgovarajuće tržišne cene provajder dolazi rešavanjem optimizacionog problema:

$$\max_M T(M, \Theta^*) = M \sum_{i=1}^N \theta_i(M), \quad \sum_{i=1}^N \theta_i \leq C, \quad M \geq 0 \quad (5)$$

Korisnička funkcija dobiti se može predstaviti i kao funkcija cene. Zamenom (4) u (1) uz uslove $0 \leq M \leq m$ i $\gamma \leq \theta \leq \pi$, dobija se:

$$U(M) = m\gamma(\log(m/M) + 1) \text{ if } m\gamma/\pi \leq M \leq m \quad (6)$$

Ovaj problem se svodi na *Stackelberg*-ovu igru u kojoj provajder ima ulogu vođe, dok su korisnici sledbenici. Algoritam započinje dodeljivanjem početnih cena M_j^0 , za svaku klasu servisa j , koje provajder određuje prema podacima iz prethodnih perioda.

B. Tarifni algoritam

Razvili smo algoritam za tarifni koncept zasnovan na reakciji korisnika gde se korisnik zadužuje prema korišćenju propusnog opsega. Optimizacija se vrši na kritičnom linku za svaku klasu servisa. Ukupan broj korisnika na kritičnom linku je N . Promenljive su parametar cene, tj. početna cena i parametri mreže, tj. kapacitet kritičnog linka i dodeljeni propusni opseg. Algoritam se sastoji od S krugova i u krugu s vrši se l_s iteracija, pri čemu je $s = 1, 2, \dots, S$. Svaki krug s obuhvata sledeće iterativne korake:

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

2. korak: Za datu cenu M_j^{0s} , BMS za svakog korisnika i koji zahteva servis klase j , izračunava željeni propusni opseg preko (4), θ_{ij}^{0s} ; $j = 1, J$, $i = 1, N$.

3. korak: BMS simulira korisničko ponašanje 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 ispunjeno $\theta_{ij}^{0s} \leq \theta_j$, $j = \overline{1, J}$.

5. korak: Ako je ispunjena nejednakost $\sum_{j=1}^J N_j^{0s} \theta_j < k_e C_s$, izračunavaju se sume: $T^{0s}(M^{0s}) = \sum_{j=1}^J M_j^{0s} N_j^{0s}$ i $\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^J U_{ij}(M^{0s})$, nakon čega se određuju nove cene za svaku klasu servisa j , M_j^{1s} : $M_j^{1s} = k M_j^{0s}$, $0 < k < 1$ i prelazi se na novu iteraciju sa novim cenama $M_j^{1s} < M_j^{0s}$.

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

7. korak: Ako je $k_e C_s \leq \sum_{j=1}^J N_j^{0s} \theta_j \leq C_s$, prelazi se na novi krug $s+1$.

U svakom krugu se uzimaju različite vrednosti kapaciteta kritičnog linka u mreži, tako da je $C_1 < C_2 < \dots < C_S$. U jednom krugu, sve iteracije se vrše za istu vrednost ukupnog kapaciteta kritičnog linka u mreži. Za početne cene u prvom krugu uzimaju se cene iz prethodnog perioda. U svakom sledećem krugu početne cene za svaku klasu servisa se smanjuju preko koeficijenta k_s , tako da je u krugu $(s+1)$: $k_{s+1} = r k_s$, $0.8 \leq r < 1$. Koeficijent k_e ukazuje na visok stepen iskorišćenosti ukupnog kapaciteta kritičnog linka C_s i $0.95 \leq k_e \leq 1$. Posle S krugova formiraju se dijagrami T i U za vrednosti θ i M za koje je ispunjen uslov $\sum_{j=1}^J N_j^{0s} \theta_j \leq C_s$, za svako s . *Nash* ekvilibrijum za najnižu klasu servisa (klasu 1) postiže se za cenu M_{1opt} takvu da:

- $M_{11} = M_{1opt} \wedge C_1 = C_{opt}$ za $\max_{M,C} T(M, \Theta^*, C)$,
 $\sum_{j=1}^J N_j^{0s} \theta_j \leq C$, $M \geq 0$ ili
- $M_{12} = M_{1opt} \wedge C_2 = C_{opt}$ za $T \cap U$ ako je $M_{12} < M_{11}$.

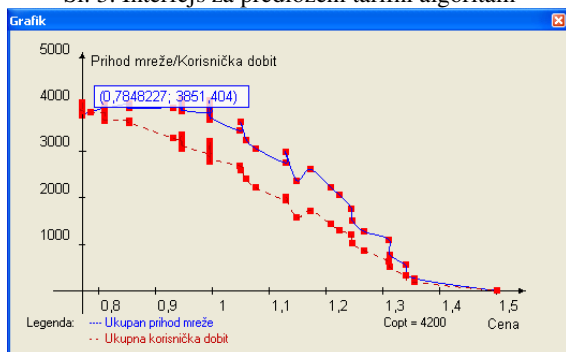
Za svaku narednu klasu, optimalne cene se dobijaju množenjem sa određenim faktorom (na Sl. 5, taj faktor je jednak 1.1). Alokacija propusnog opsega koja odgovara tom kapacitetu i ceni predstavlja optimalnu alokaciju.

³ Θ je vektor koji označava alocirani propusni opseg.

C. Analiza rezultata simulacija

Za simuliranje predloženog tarifnog algoritma, razvili smo softver u programskom jeziku C#. Softverom upravlja BMS, koji vrši alokaciju raspoloživog propusnog opsega prema stanju iskorišćenosti resursa u mreži provajdera servisa. Na Slici 3. prikazan je interfejs, pomoću koga se softverski određuje optimalna cena p_{opt} i optimalni kapacitet kritičnog linka C_{opt} .

Sl. 3. Interfejs za predloženi tarifni algoritam



Sl. 4. Izlazne funkcije

Parametri algoritma i mreže mogu se menjati. U ovom slučaju smo izabrali sledeće parametre: $k = 0.05$, $k_s = 0.85$, $k_e = 0.95$, $N = 100$ i $C_{max} = 5000$ (Sl. 3). Gornja granica kapaciteta kritičnog linka koju je provajder spreman da stavi na raspolaganje korisnicima je C_{max} . Parametri cene i parametri korisnika mogu varirati u određenim opsezima. U aplikaciji su izabrani: $M^{0s} = 0.5 \div 1.1$, $m = 1 \div 1.4$, $\gamma = 15 \div 20$, $\pi = 25 \div 30$.

Grafik ukupnog prihoda mreže i ukupne korisničke dobiti, za izabrane parametre, prikazan je na Slici 4, sa koje se takođe može očitati optimalna cena, prihod provajdera servisa za tu cenu, vrednost ukupne korisničke dobiti i optimalni kapacitet kritičnog linka. Rezultati većeg broja simulacija pokazuju:

- veoma male varijacije optimalne cene, prihoda mreže i ukupne korisničke dobiti, za iste vrednosti parametara i

- stabilnost rešenja za optimalni kapacitet kritičnog linka, za širok opseg vrednosti $C_{max} \geq C_{opt}$.

V. ZAKLJUČAK

U ovom radu predstavljena je jedna mogućnost implementacije koncepta tarifiranja koji se zasniva na reakciji korisnika u komunikacionoj mreži naredne generacije. U postupku ugovaranja cena servisa između korisnika i provajdera servisa koristili smo *Stackelberg*-ov model, kao osnovu za algoritam koji smo razvili. Predloženi model, po kom se korisnik zadužuje prema korišćenju propusnog opsega i prema izabranoj klasi servisa, verifikovali smo pomoću razvijenog softverskog rešenja. Ovim rešenjem smo pokazali da pored optimizacije cene i alokacije propusnog opsega, predloženi algoritam uspešno rešava i problem optimizacije mrežnih kapaciteta koje provajder obezbeđuje svojim korisnicima.

ZAHVALNICA

Ovaj rad je deo rezultata istraživanja na projektu TR 11013 koji finansira Ministarstvo za nauku i tehnološki razvoj Republike Srbije.

LITERATURA

- [1] J.N. Webb, *Game Theory - Decisions, Interaction and Evolution*, Springer 2007.
- [2] A. MacKenzie, L. DaSilva, *Game Theory for Wireless Engineers*, Morgan & Claypool, 2006.
- [3] C. Courcoubetis, R. Weber, *Pricing Communication Networks*, John Wiley & Sons Ltd, 2003.
- [4] N. Živić, Z.R. Petrović, M. Jovanović, "Prelazak na mreže sledeće generacije", *TELFOR – CD zbornik*, Beograd, 2003.
- [5] M. Janša, "Prelazak iz klasičnih PSTN mreža u mreže sledeće generacije", *TELFOR – CD zbornik*, Beograd, 2002.
- [6] "Market Responsive Pricing Model", *Procurement Working Group Meeting*, 2004, dostupno na: <http://www.icc.illinois.gov/docs/en/040726ecPostProcurePricing.pdf>
- [7] V. Aćimović-Raspopović, V. Radonjić, "Smart Market Pricing Scheme with a New Auction Approach in DiffServ IP-based Networks", *Proceedings of ERK 2006, Volume B*, Portorož (Slovenija), September 2006, pp. 43-46.
- [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] B. M. Ninan, M. Devetsikiotis, "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.
- [10] F.P. Kelly, "Charging and rate control for elastic traffic", *European Transactions on Telecommunications*, 8:33-37, 1997.

ABSTRACT

In this paper we propose the pricing algorithm based on Stackelberg game model with the service provider being the leader and the users acting as followers. Responsive pricing scheme is applied. Final simulation results encompasses the optimal bandwidth allocation, the optimal price for that allocation and the optimal capacity provider should offer to his users.

PRICE AND BANDWIDTH OPTIMIZATION IN NEXT GENERATION NETWORK

Vesna Radonjić, Vladanka Aćimović-Raspopović