

Rutiranje u Internetu zasnovano na dinamičkim konceptima tarifiranja

Internet routing based on dynamic pricing concepts

Suzana Miladić, Univerzitet u Istočnom Srajevu

Sažetak— Radom je predstavljeno optimalno rutiranje u Internetu zasnovano na dinamičkim konceptima tarifiranja. Na koji način će se obračunati zaduženje za odgovarajući servis, definiše se preko tarife u ugovoru između provajdera i korisnika. Dinamička promena tarife znači da se tarifa tokom vremena menja u zavisnosti od stanja resursa mreže tj. od zahteva korisnika za servisima. U radu je korištena teorija igara kao deo primenjene matematike kojim se mogu odrediti optimalne tarife servisa.

Ključne riječi – rutiranje; dinamički tarifni mehanizam; teorija igara

Abstract – The paper presents the optimal Internet routing based on dynamic pricing schemes. How the corresponding service is being charged, is defined in the agreement between the provider and the end user. Dynamic pricing scheme means that price is changing over time due to the network state/resources, that is, according to the user service requirements. Game theory, as part of applied mathematics, was used in order to obtain the optimal service prices.

Keywords – routing; dynamic pricing scheme; game theory

I. UVOD

Zbog sve većeg obima digitalnog prenosa i povećanja saobraćaja, akcenat treba biti na što je moguće boljem iskorišćenju raspoloživih a ne na angažovanju dodatnih resursa telekomunikacione mreže. Važnu ulogu u efikasnoj alokaciji raspoloživih resursa mreže ima rutiranje saobraćaja, kao proces u kojem se određuje koja od putanja će se koristiti za uspostavljanje veze između dve strane. Prema algoritmu statičkog rutiranja unapred se rezervišu resursi za prenos, ne uzimajući u obzir trenutne promene saobraćaja, što je loše rešenje za velike mreže, dok dinamičko rutiranje podrazumeva da se saobraćaj dodeljuje onim putanjama na kojima trenutno postoje slobodni kapaciteti, uzimajući u obzir trenutne promene saobraćaja.

Na koji način će se obračunati zaduženje za odgovarajući servis, definiše se preko tarife u ugovoru između provajdera i korisnika. Postoji više vrsta tarifiranja, ali se rad ograničava samo na dinamičke tarifne koncepte kojim se uzima u obzir promena zahteva korisnika i nivo kvaliteta servisa kako bi se obezbedila zadovoljavajuća dobit i za korisnika i za provajdera. Dinamička promena tarife znači da se tarifa tokom

vremena menja u zavisnosti od stanja resursa mreže tj. od zahteva korisnika za servisima.

Veliku primenu u određivanju tarifa telekomunikacionih servisa ima teorija igara, kao matematička teorija koja se bavi konfliktnim situacijama. U skladu sa pomenutom tematikom, rad je organizovan na sledeći način.

Drugo poglavlje opisuje algoritme rutiranja u telekomunikacionim mrežama kao i karakteristike i klasifikaciju dinamičkih tarifnih koncepata. Primena teorije igara u tarifiranju Internet servisa prikazana je u trećem poglavlju. Optimalno rutiranje zasnovano na dinamičkim tarifnim konceptima predstavljeno je u četvrtom poglavlju dok peto poglavlje zaključuje rad.

II. RUTIRANJE U INTERNETU I DINAMIČKI TARIFNI KONCEPTI

Rutiranje je jedna od najvažnijih funkcija svake telekomunikacione mreže, koja se posmatra kao graf $G = (N, A)$, gde čvorovi N predstavljaju rutere mreže, dok se A odnosi na komunikacione linkove između njih. Linkovi ili grane mreže mogu biti orijentisani ili neorijentisani. Mogu se razlikovati po načinu fizičke implementacije tj. medijumu za prenos, kapacitetu prenosa, vremenu propagacije, pouzdanosti itd. Saobraćaj se prenosi od izvornog do određivnog čvora. Zadatak algoritma rutiranja jeste da pronađe putanje mreže, koje povezuju izvorne i određivne čvorove, uz optimizaciju prethodno definisanih kriterijuma i poštovanjem određenih ograničenja. Informacije vezane za rutiranje i putanje se obično nalaze u čvorovima u tzv. tabelama rutiranja.

Protokoli rutiranja omogućavaju ruterima da međusobno razmenjuju podatke na osnovu kojih mogu ažurirati tabele rutiranja i na taj način obezbediti dostupnost od svakog čvora do ostalih delova mreže. Obuhvataju skup pravila kojima ruteri dinamički razmenjuju informacije o putanjama kojima paket treba da se kreće da bi došao do određivšta. Dva najrasprostranjenija tipa Internet protokola su [1]:

1. Protokoli koji se zasnivaju na razmeni informacija o stanju linkova (*Link State, LS*), čiji je najpoznatiji predstavnik OSPF (*Open Shortest Path First*). LS protokoli podrazumevaju centralizovano rutiranje saobraćaja u kome svaki čvor periodično šalje svim čvorovima u mreži pakete sa informacijama o stanju svojih linkova. Kada primi informacije o stanju mrežnih linkova, svaki čvor formira stablo sa najkraćim putanjama do svakog određivšta. Izračunavanje putanja se najčešće obavlja pomoću algoritma Dijkstra. LS

protokoli se tipično primenjuju unutar jednog administrativnog domena

2. Protokoli koji se zasnivaju na razmeni vektora rastojanja (*Distance Vector, DV*) među kojima su poznati RIP (*Routing Information Protocol*) za rutiranje unutar domena i BGP (*Border Gateway Protocol*) za rutiranje između više nezavisnih domena. U DV protokolima rutiranje saobraćaja je decentralizovano, tj. čvorovi nemaju informaciju o topologiji mreže. Svaki čvor prepoznaje samo susedne čvorove sa kojima razmenjuje DV i ažurira tabele sa rastojanjima ka svakom određištju, preko svakog susednog čvora. Izračunavanje putanja se najčešće vrši pomoću distribuiranog algoritma Bellman-Ford, a izbor putanje se obavlja na osnovu kriterijuma najkraćeg rastojanja.

Izazovi koji se postavljaju pred algoritme rutiranja i njihova efikasnost zavise od karakteristika i tipa same mreže. Na izbor metode rutiranja u mreži utiče primenjeni način komutacije, model kvaliteta servisa, topologija mreže, medijum za prenos itd [2]. Postoji veliki broj podela algoritama rutiranja i načina njihove implementacije. Najčešće se spominju statički i dinamički algoritmi rutiranja. Statičko rutiranje čuva tabelu rutiranja koju određuje mrežni administrator. Statičke putanje se konfigurisu *offline* odnosno tabela rutiranja ne zavisi od stanja mreže. Dinamičko (adaptivno) rutiranje podrazumeva *online* ažuriranje tabela rutiranja na osnovu trenutnog stanja i promena koje nastaju u mreži. Takođe, u zavisnosti od toga da li se saobraćaj rutira na jedno ili više određištja, algoritmi rutiranja mogu biti *unicast* (rutiranje prema samo jednom čvoru), *a group of destinations* (prema više čvorova) i *broadcast* (prema svim čvorovima mreže).

Tarifiranje ima važnu ulogu u alokaciji resursa mreže pošto cene imaju ulogu kontrolnih signala. Dominantna forma tarifiranja telekomunikacionih servisa jeste *flat* tarifiranje u kojem tarifa ne zavisi od stvarnog korišćenja resursa ili zagušenja mreže, čime se razdvaja alokacija resursa od cena koje se naplaćuju za njihovo korišćenje. Kako se tarife mogu koristiti kao kontrolni parametar koji utiče na alokaciju resursa u komunikacionim mrežama može se pronaći u [3]. Klasifikacija tarifnih koncepata se često vrši prema tipu saobraćaja, efektivnom propusnom opsegu, kašnjenju, stanju resursa mreže i efikasnosti.

Dinamičko tarifiranje podrazumeva da se tarifa određuje kao cena po jedinici utroška resursa i u zavisnosti od nivoa QoS (*Quality of Service*) koji provajder garantuje za posmatranu klasu servisa. Na ovaj način kontrolišu se zahtevi korisnika i omogućava se uspostavljanje QoS s kraja na kraj. Tarifnim mehanizmom kontrolišu se zagušenje mreže, tj. svaki servis u smislu da zahtev za servisom ne prevazilazi dodeljeni propusni opseg. Primenom nekog od dinamičkih tarifnih koncepata, korisnik se zadužuje prema stvarnom korišćenju resursa mreže a izbegavaju se zagušenja koja nastaju u tačkama interkonekcije. Tarifa se u tom slučaju može odrediti kao:

1. Funkcija korišćenih resursa tj. propusnog opsega
2. Funkcija spremnosti korisnika da plate određeni servis (izražena kroz ponude u aukcijskom nadmetanju)

3. Funkcija uslova na tržištu tj. cene konkurenata

Prema navedenom, dinamički tarifni koncepti se mogu klasifikovati na: resursno orijentisane, korisnički orijentisane i tržišno orijentisane. Pre rutiranja svakog od servisa neophodna je procena svakog linka mreže u smislu njegove cene. Prilikom alokacije resursa neophodno je voditi računa o stabilnosti sistema, da ne bi došlo do velikih oscilacija u tarifama, kao i o vremenu koje je potrebno tarifnom mehanizmu da prilagodi zahteve za servisom novim alokacijama propusnog opsega.

III. PRIMENA TEORIJE IGARA U TARIFIRANJU INTERNET SERVISA

Teorija igara se u telekomunikacijama može primeniti za rešavanje problema kontrole zagušenja, alokacije resursa, rutiranja, obezbeđivanja kvaliteta servisa, bezbednosti mreže, deljenja radio- komunikacionog spektra i tarifiranja telekomunikacionih servisa [4].

Teorija igara je grana primenjene matematike koja se bavi konfliktnim i delimično konfliktnim situacijama. Konfliktna situacija je ona u kojoj dolazi do sukoba interesa, tj. do konkurencije učesnika u igri (igrača, konkurenata). U takvoj situaciji, učesnici donose odluke strateškog karaktera (strategije) koje uzimaju u obzir akcije i reakcije protivnika. Osnovni zadatak igre, kao matematičkog modela realne konfliktno situacije jeste određivanje optimalnog ponašanja učesnika u igri tj. izbor optimalne strategije. U odnosu na broj raspoloživih strategija, igre mogu biti konačne ili beskonačne. Svaka igra ima određeni ishod (dobiti, troškovi učesnika igre) koji zavisi od izbora strategije svakog učesnika. Da bi se igra mogla matematički analizirati potrebno je da su jasno formulisana pravila igre. Potencijalni rezultati učesnika igre predstavljaju se funkcijom plaćanja koja je numerički izraz dobitaka ili gubitaka učesnika u igri.

Normalni oblik predstavljanja igre je sledeći [5]:

$$G = [N, A(u_i)] \quad (1)$$

$N = (1, 2, \dots, n)$ je skup učesnika igre, A_i je skup akcija učesnika i , pri čemu je $A = A_1 \times A_2 \times \dots \times A_n$ Dekartov proizvod skupa akcija koje su na raspolaganju svakom učesniku igre, dok je $u_i = (u_{i1}, \dots, u_{in})$ skup funkcija dobiti koju svaki od učesnika želi da maksimizira, gde je $u_i: A \rightarrow \mathbf{R}$. Za svakog učesnika i , funkcija dobiti je funkcija akcije koju preduzme učesnik i , a_i , kao i akcija koje preduzmu drugi učesnici igre.

Sa deregulacijom telekomunikacionih tržišta, većim brojem servisa i porastom broja korisnika, oblast istraživanja koja je znatno napredovala jeste teorija igara, koju telekomunikacione i Internet kompanije koriste za optimizaciju u smislu rutiranja, alokacije resursa, kvaliteta servisa i tarifiranja. S obzirom da akcije i odluke jednih učesnika igre (provajderi servisa, korisnici) utiču na odluke drugih, razumno je da se modelovanjem traži ekvilibrijum ili stabilna operativna tačka sistema. Kada se jedan telekomunikacioni sistem modeluje korišćenjem teorije igara, on ima određena svojstva koja su od interesa: da li postoji Nash ekvilibrijum (znači da svaki od učesnika u igri pravi optimalan izbor, prema datom izboru drugih učesnika)? Ako

postoji, da li je jedinstven? Da li sistem konvergira ka ravnotežnoj tački? Da li je sistem široko optimalan, odnosno maksimizuje li društvenu korist?

A. Nash ekvilibrijum

Najpoznatiji koncept za određivanje rešenja teorije igara koji podrazumeva da svaki učesnik istovremeno bira najbolju strategiju, uzimajući u obzir strategije ostalih učesnika igre, jeste Nash ekvilibrijum koji se može posmatrati i kao koncept individualne stabilnosti (stabilna tačka). Posmatra se model sa n učesnika, gde svaki nastoji da maksimizira sopstvenu funkciju dobiti, gde je funkcija dobiti učesnika i označena sa J^i , strategija učesnika i označena je sa u^i a sa u^{-i} strategije ostalih učesnika igre. Funkcija dobiti učesnika i se izražava kao funkcija vektora strategija svih učesnika $\mathbf{u} = (u^1, \dots, u^n)$ i vektora parametara sistema x , odnosno $J^i(\mathbf{u}, x)$.

Ako se x ne menja, kaže se da je $\mathbf{u}^*(x) = (u^{1*}, \dots, u^{n*})$ Nash ekvilibrijum jer nijedan učesnik ne može povećati dobit odstupanjem, odnosno nema interes da bira strategiju iz drugog skupa koji je različit od navedenog ekvilibrijuma. Tačnije, za svako $i \in \{1, 2, \dots, n\}$, Nash ekvilibrijum zadovoljava jednakost:

$$\max_{u_i} J^i(u^1, \dots, u^{i-1}, u^i, u^{i+1}, \dots, u^n, x) = J^i(u^*(x), x) \quad (2)$$

B. Hijerarhijski ili Stackelberg ekvilibrijum

U Stackelberg igri, strategije učesnika se ne biraju istovremeno, već prvi učesnik koji ima ulogu vođe, prvi bira strategiju, na osnovu koje ostali učesnici koji se posmatraju kao sledbenici, odlučuju o svakoj narednoj odluci tj. potezu. Interakcija između navedenih učesnika igre je dinamičkog karaktera. U ovom slučaju pod terminom vođa može se smatrati provajder servisa (dominantni), mrežni administrator itd., dok se pod ostalim učesnicima mogu smatrati ostali provajderi servisa ili sami korisnici servisa. Hijerarhijski odnos između provajdera, s jedne strane, koji nastoji da maksimizira dobit (ili da smanji kašnjenja ili gubitak paketa u korist korisnika), i korisnika, s druge strane, koji reaguju biranjem strategije koja će im doneti najveću dobit ili tzv. najbolje odgovore, modeluje se kao problem s dva nivoa ili Stackelberg „vođa-sledbenici“ problem.

Sa $R(\mathbf{u}(x), x)$ se označava funkcija dobiti ili cilj provajdera servisa, koja zavisi od parametara koje odredi sam provajder, a označeni su ovde sa x , i od strategija korisnika kao odgovor na postavljene parametre (odluku provajdera), $\mathbf{u}(x)$. Cilj provajdera jeste da pronađe x^* koje zadovoljava uslov:

$$R(\mathbf{u}^*(x^*), x^*) = \max_{x \in X} R(\mathbf{u}^*(x), x) \quad (3)$$

za odgovarajući skup mogućih odgovora, X (reakcija korisnika na strategiju vođe). Odnosno, provajder treba da odredi x koje će maksimizirati funkciju R uz pretpostavku da će korisnici reagovati na strategiju provajdera kroz najbolje odgovore (ekvilibrijum) $\mathbf{u}^*(x)$. Ovakvo rešenje se naziva Stackelberg ekvilibrijum. Kao prioritet u ovoj igri može biti cena servisa koju će provajder naplaćivati od korisnika ili na osnovu koje će ostali provajderi (učesnici igre) formirati svoje cene tog istog servisa.

C. Wardrop ekvilibrijum

Wardrop ekvilibrijum podrazumeva da je udeo svakog pojedinačnog učesnika igre na troškove ili kašnjenje, nula; odnosno, broj učesnika igre se smatra beskonačnim. Prema ovome, troškovi (kašnjenje) svih putanja koje se stvarno koriste između izvornog i odredišnog čvora su jednaki.

Svi paketi, sesije tj. saobraćaj koji se prenosi (označavaju se kao klasa i) od izvornog $s(i)$ do odredišnog čvora $d(i)$ suočavaju se sa istim problemom optimizacije. Skup strategija svakog pojedinačnog učesnika S^i se definiše na nivou svih putanja mreže koje su na raspolaganju između $s(i)$ i $d(i)$. Svaki učesnik odlučuje kojom putanjom će slati saobraćaj. U slučaju Wardrop ekvilibrijuma, umesto da se određuju strategije pojedinačnih učesnika (klase i), definiše se broj pojedinačnih učesnika unutar klase koji koriste istu strategiju. Tada se javlja strategija u^i kojom se predstavlja ponašanje svih učesnika unutar klase i , tako da je u_j^i saobraćajni tok pojedinačnih elemenata (npr. paketa) klase i koji su izabrali rutu $j \in S^i$.

U ovom modelu igre više se daje značaj troškovima (kašnjenju) nego dobiti. Sa $D_k(\mathbf{u})$, $k \in \{1, \dots, m\}$ označeno je kašnjenje (troškovi) putanje k . Ako je $S^{*i} \subset S^i$ podskup svih putanja koje stvarno koriste učesnici i , tako da je $u_j^i > 0$, \mathbf{u}^* je Wardrop ekvilibrijum ako i samo su zadovoljeni sledeći uslovi:

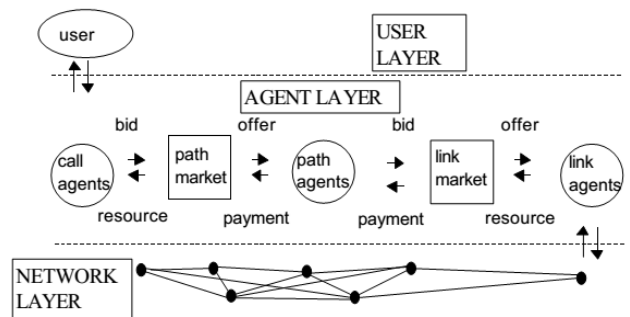
$$\min_{k \in S^i} D_k(\mathbf{u}^*) = D_j(\mathbf{u}^*), \forall j \in S^{*i} \quad (4)$$

IV. OPTIMALNO RUTIRANJE ZASNOVANO NA DINAMIČKIM KONCEPTIMA TARIFIRANJA-PRIMERI

U ovom poglavlju će kroz primere iz literature biti predstavljeno optimalno rutiranje zasnovano na dinamičkim tarifnim konceptima.

A. Rutiranje u Internetu zasnovano na tržišno orijentisanom dinamičkom tarifnom konceptu

Arhitektura sistema se bazira na interakciji autonomnih agenata prilikom donošenja odluka o alokaciji resursa. Ovde su autori dali prednost konkurenciji a ne kooperaciji između učesnika. Slojevit arhitektura sistema kojom se povezuje telekomunikaciona mreža, tržišno orijentisan multiagentni sistem i korisnici prikazani su na Sl. 1.



Sl. 1. Arhitektura posmatranog sistema

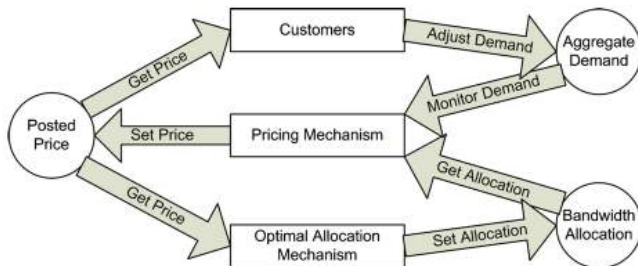
Najniži sloj predstavlja telekomunikacionu mrežu sa komutacijom kola uz konfiguraciju čvorova i linkova. Resursi se u ovom sloju alokiraju preko agenata raspoređenih u

čvorovima, koji imaju pristup realnim informacijama o stanju iskorištenosti linkova. Srednji sloj je multiagentni sistem upravljanja mrežom koji se sastoji od tri vrste agenata i dve vrste tržišta. Treći sloj je korisnički preko kojeg se sistem povezuje sa zahtevima korisnika. Detaljnije rečeno: agenti linkova (*link agents*) prodaju osnovne resurse mreže (kapacitet prenosa-propusni opseg). Agenti putanje (*path agents*), kupuju resurse od agenta linka koji se dalje posmatraju kao resursi putanje koji mogu prenositi saobraćaj. Agenti putanje prodaju ove resurse agentima poziva (*call agents*) koji predstavljaju krajnje korisnike. Sistem poseduje agenta za svaki link i tržište za izvorni čvor tog linka, kao i agenta za svaku uspostavljenu putanju i tržište za svaki par izvorno-odredišnih čvorova.

Agenti komuniciraju preko signala koji obuhvataju prodajne i kupovne ponude kao i plaćanje resursa. Pregovori između kupovnih i prodajnih agenata vode se preko mehanizma tržišne institucije koja u ovom radu podrazumeva dvostruku aukciju. Tarife koje se uspostave aukcijskim mehanizmom poznate su svim agentima mreže. Agenti putanja se nadmeću za resurse kako bi ih prodali po ceni, ne nižoj od one koju su platili agentu linka. Tarifa koja se na kraju formira zavisi od cene svih konkurenata (agenata) i u skladu s tim, daje se prednost odgovarajućoj putanji za uspostavljanje poziva.

B. Dinamičko tarifiranje u zavisnosti od nivoa QoS

Shelford et al. [6] su predstavili iterativni proces usklađivanja tarifa sa alokacijom resursa mreže gde se svaki QoS servis kontroliše preko tarifnog mehanizma koji omogućava da zahtevi za servisom ne prevazilaze dodeljeni prevazilaze dodeljeni propusni opseg. Optimalna alokacija resursa, podrazumeva alokaciju propusnog opsega servisa tako da je, na osnovu trenutno postavljenih tarifa, dobit QoS provajdera maksimalna. Garancija kvaliteta servisa je moguća, ako se osigura da se koriste resursi koji su na raspolaganju, odnosno da ne dođe do prekoračenja:



Sl. 2. Veza između tarifnog mehanizma i alokacije resursa

$$\forall l \in L, \sum_{q=Q} \alpha_q A_{ql} \leq C_l \quad (5)$$

gde je L skup linkova mreže, Q je skup QoS servisa koje nudi provajder, C_l je kapacitet linka l , α_q efektivni propusni opseg servisa q i A_{ql} je jednako 1 ako se servis q prenosi preko linka l , i 0 ako se ne prenosi. Veza između tarifnog mehanizma i alokacije resursa prikazana je na Sl. 2.

V. ZAKLJUČAK

S obzirom da su resursi u Internet rutiranju ograničeni, optimalno rutiranje i efikasna alokacija resursa su neophodni kako bi se postigao ekvilibrijum između dobiti provajdera i korisnika servisa ili između čvorova mreže kao učesnika igre. Primenom teorije igara mogu se rešavati i problemi tarifiranja i problemi rutiranja u telekomunikacionim mrežama pa se u skladu s tim menjaju i uloge učesnika igara.

Kontrolisanje tokova saobraćaja odnosno regulisanje zagušenja mreže, može se izvesti primenom dinamičkih tarifa, gde tarifa zavisi od trenutnog stanja u mreži tj. iskorišćenja resursa mreže. Ukoliko su zahtevi korisnika za servisom veći tarifa se povećava i obrnuto.

Veliki broj autora analizira dinamičke tarifne koncepte implementirane preko aukcijskih mehanizama. U skladu s tim, u radu je prikazano nekoliko pristupa kojima je moguće postići optimalno rutiranje u različitim mrežama.

Sledeće što bi se moglo analizirati jeste primena hibridnog tarifiranja prilikom rutiranja u telekomunikacionim mrežama i Internetu jer se time kombinuju prednosti statičkog i dinamičkog tarifiranja.

LITERATURA

- [1] M. Stojanović, V. Aćimović-Raspopović, „Inženjering telekomunikacionog saobraćaja u multiservisnim IP mrežama“, Saobraćajni fakultet, Beograd, 2006.
- [2] *Internetworking technology handbook*, 4th ed., Cisco Systems, Inc, USA, 2003.
- [3] A. Ozdaglar, R. Srikant, “Incentives and pricing in communication networks”, in *Algorithmic Game Theory*, Cambridge University Press, NY, USA, 2007, pp. 571-591.
- [4] V. Aćimović-Raspopović, V. Radonjić, “Primena teorije igara za tarifiranje telekomunikacionih servisa”, *PosTel 2010*, Beograd, Srbija, decembar 2010, pp. 209-218.
- [5] E. Altman et al., „A survey on networking games in telecommunications“, *Computers & Operations Research*, vol.33, no.2, 2006, pp. 286-311.
- [6] S. Shelford et al., “Achieving optimal revenues in dynamically priced network services with QoS guarantees”, *Computer Networks*, vol.51, no.11, 2007, pp. 3294-3304.