

UPRAVLJANJE KVALITETOM SERVISIA U INTERNETU NAREDNE GENERACIJE

Slavica Boštjančič Rakas¹, Mirjana Stojanović²

¹Univerzitet u Beogradu - Institut Mihajlo Pupin, slavicabostjancic@pupin.rs

²Univerzitet u Beogradu - Saobraćajni fakultet, m.stojanovic@sf.bg.ac.rs

Sadržaj: *U radu su predstavljeni različiti pristupi obezbeđivanja E2E QoS u Internetu naredne generacije. Predložena je generička politika za alokaciju zahteva za QoS po domenima, iz koje mogu da se izvedu brojne politike u zavisnosti od specifičnih administrativnih ograničenja, atributa domena i stepena iskorišćenosti resursa. Na kraju je predstavljen softver za ugovaranje i upravljanje QoS koji omogućava simulaciju upravljanja E2E QoS, a obuhvata konfiguraciju parametara kvaliteta servisa, klasifikaciju i kontrolu pristupa novih saobraćajnih tokova, kao i odgovarajuću alokaciju resursa uzimajući u obzir zahteve za kvalitet servisa i karakteristike domena.*

Ključne reči: *administrativni domen, kvalitet servisa, objektno-orijentisano projektovanje, upravljanje.*

1. Uvod

Aktuelne oblasti istraživanja Interneta naredne generacije se odnose pre svega na upravljanje mrežom i servisima, zaštitu informacija i mrežne infrastrukture; mobilnost korisnika, servisa i uređaja; upravljanje kvalitetom servisa (*Quality of Service*, QoS) i sporazumima o nivou servisa (*Service Level Agreement*, SLA); tarifiranje; društveno ekonomske aspekte uključujući nove poslovne modele, zakonsku regulativu i energetska efikasnost [1].

Heterogenost politika, opreme i poslovnih ciljeva u današnjem Internetu otežavaju provajderima (provajderi servisa, mrežni provajderi) međusobnu saradnju u cilju obezbeđivanja QoS od jednog do drugog kraja (*End-to-End*, E2E) [2]. Tehnički problemi obezbeđivanja kvaliteta servisa između provajdera odnose se na definisanje opštih klasa servisa ili preslikavanje klasa servisa između domena, formate SLA, merenje i nadzor performansi, QoS rutiranje i signalizaciju.

Evolucija ka Internetu naredne generacije uvodi dodatnu kompleksnost u smislu postojanja brojnih različitih tehnologija za pristup, konvergencije servisa i mreža, visoke mobilnosti korisnika i uređaja [3]. Krajnji korisnici zahtevaju servis bez prekida nezavisno od njihove lokacije, opreme ili provajdera servisa. Zato je neophodno postojanje opšteg okvira interkonekcije u cilju harmonizacije mehanizama QoS koji postoje u različitim domenima [4].

Obezbeđivanje E2E QoS podrazumeva odgovarajuću raspodelu zahteva za QoS između svih domena na putanji, kao i odgovarajući način preslikavanja klasa servisa

između mreža koje definišu različite QoS modele. Automatizacija upravljanja QoS je prema ITU-T preporuci Y.1542 neophodna s obzirom da tokovi saobraćaja najčešće prolaze kroz različite domene, da broj domena na putanji varira od zahteva do zahteva, da je rastojanje između krajnjih korisnika obično nepoznato i da ne postoje apsolutne garancije za obezbeđivanje E2E QoS [5].

Obezbeđivanje E2E QoS zahteva ugovaranje kvaliteta servisa koje rezultuje sporazumom o nivou servisa (SLA), kojim se definišu relevantni tehnički, ekonomski i pravni aspekti telekomunikacionog servisa.

Upravljanje QoS kao jedna od najznačajnijih i najrazvijenijih istraživačkih oblasti u IP mrežama, obuhvata brojne aspekte kao što su razvoj konceptualnih QoS arhitektura, razvoj novih ili poboljšanje postojećih algoritama i protokola za implementaciju pojedinih QoS mehanizama, analizu performansi, planiranje i projektovanje mreže, kao i dizajn mrežne opreme, a posebnu ulogu ima upravo u realizaciji Interneta naredne generacije [6] [7].

U literaturi postoji određeni broj rešenja za upravljanje E2E QoS koja se bave interoperabilnošću domena u cilju obezbeđivanja zahtevanog E2E QoS od strane korisnika. Model QIDS (*Quality of service for Inter-Domain Services*) omogućava da se servisi definišu, konfigurišu i prilagođavaju uslovima u mreži dinamički [2]. Arhitektura E2E QoS sa autonomnim domenima u mrežama naredne generacije predložena je u [6]. Svaki od domena je pod nadzorom ADM (*Autonomic Domain Manager*) entiteta, a ugovaranje servisa se vrši odgovarajućim protokolom koji je predložen od strane autora, a koji omogućava dinamičko i istovremeno ugovaranje kako kvaliteta servisa tako i nivoa zaštite. Ugovaranje servisa između provajdera u okruženju federacije domena opisan je u [8], a servis se ugovara između korisnika i 3P (*Third Party*) entiteta koji je odgovoran za federacije domena. Upravljanje QoS u *cloud* okruženju putem posredničkog entiteta SLM (*Service Level Management*) predloženo je u [9]. SLM se sastoji od šest funkcionalnih blokova: agent za registraciju *cloud* servisa, agent za ugovaranje servisa, agent koji vrši proveru da li je ugovoreni QoS zadovoljen, agent za komentare koji na osnovu ocene servisa od strane korisnika i njihovih komentara ima za cilj poboljšanje servisa koji se nudi korisniku, agent za tarifiranje servisa i agent za nadgledanje servisa.

U radu je prvo razmatran problem određivanja graničnih vrednosti parametara QoS u svakom domenu na E2E putanji. Zatim je prikazan pristup centralizovanom upravljanju QoS u višedomenskoj mreži, sa opisom funkcionalnog modela, algoritma za preslikavanje parametara QoS zasnovanog na politikama i generičke politike za alokaciju zahteva za QoS po domenima. Na kraju je predstavljen softver, koji je razvijen za simulaciju upravljanja E2E QoS i primer primene tog softvera.

2. Određivanje graničnih vrednosti parametara QoS u svakom domenu

Sporazumom o nivou servisa moraju da budu određene granične vrednosti parametara kvaliteta servisa (kašnjenje, džiter, procenat izgubljenih paketa) u svakom domenu. Te vrednosti se određuju na osnovu zahteva za E2E kvalitet servisa, a problem je povezan sa preslikavanjem klasa servisa između domena. ITU-T preporuka Y.1542 [5] identifikuje četiri pristupa za određivanje graničnih vrednosti parametara QoS za svaki domen u lancu: statički pristup, pseudostatički pristup, pristup zasnovan na signalizaciji i pristup zasnovan na prikupljanju ponuda provajdera. Osnovne razlike između pristupa su u količini infomacija koje domeni međusobno treba da razmene, ali u situacijama

preopterećenja mreže ili na velikim rastojanjima od kraja do kraja veze nijedan od pomenutih pristupa ne daje apsolutne garancije obezbeđivanja zahtevanog E2E QoS.

Statički pristup pretpostavlja grupu sa fiksnim brojem provajdera i podelu E2E vrednosti svakog parametra QoS između svih provajdera, nezavisno od broja tranzitnih provajdera na pojedinim putanjama. Pri podeli se obično uzima u obzir razlika između pristupnih i tranzitnih provajdera, kao i vreme propagacije u svakom domenu.

Pseudostatički pristup uzima u obzir informaciju o tačnom broju provajdera koji formiraju putanju, što omogućuje fleksibilniji proračun graničnih vrednosti parametara QoS. U ovom slučaju je neophodna razmena informacija o rutiranju između provajdera radi utvrđivanja broja tranzitnih domena u lancu.

Dinamički pristup je zasnovan na signalizaciji, a pretpostavlja korišćenje protokola kao što su RSVP (*Resource Reservation Protocol*) i NSIS (*Next Steps in Signaling*) za ugovaranje servisa između provajdera. Signalizacija je neophodna i za razmenu informacija o rutiranju da bi se utvrdio tačan broj, identitet i tehnički kapacitet tranzitnih provajdera. Moguće je ponovno ugovaranje servisa ako nisu zadovoljeni zahtevi za ciljane E2E performanse.

Druga varijanta dinamičkog pristupa zasniva se na prikupljanju ponuda provajdera, umesto eksplicitnog dodeljivanja gornjih graničnih vrednosti parametara QoS. Ponude se zatim kombinuju i upoređuju sa zahtevanim E2E performansama. I u ovom slučaju se koristi signalizacioni protokol za razmenu informacija o rutiranju i performansama provajdera.

3. Pristup centralizovanom upravljanju kvalitetom servisa u višedomenskoj mreži

3.1 Funkcionalni model

Centralizovano upravljanje pretpostavlja koncept ugovaranja servisa pomoću posredničkog (*Third Party, 3P*) entiteta, koji je zadužen za koordinaciju ugovaranja servisa u grupi domena. Ovaj entitet je odgovoran za preslikavanje klasa između domena, translaciju poslovnih procesa, merenja i izbor mera performansi, kao i upravljanje E2E servisom. U cilju ugovaranja, 3P entitet mora da čuva i određene informacije kao što su informacije o ponuđenom servisu, topologiji mreže, kapacitetu linkova između domena i ove informacije moraju redovno da se ažuriraju. Ovaj entitet upravlja i rutiranjem i prosleđivanjem saobraćaja čime se postiže veća brzina i fleksibilnost obezbeđivanja servisa. Ovaj model ne zahteva međusobnu saradnju provajdera kao ni redizajn njihovih mreža radi ostvarivanja interkonekcije.

Na Slici 1 je prikazan funkcionalni model centralizovanog ugovaranja kvaliteta servisa preko 3P agenta. 3P agent čine sledeći entiteti: korisnički agent, provajder putanja (*Path Provider*), selektor klase i entitet upravljanja resursima mreže (*Network Resource Manager*). 3P agent čuva i održava sve ugovorene SLA-ove.

Korisnički agent predstavlja tačku interakcije korisnika i 3P agenta. Nakon procesiranja zahteva korisnik je obavešten o servisu koji mu se nudi. Zahtevi korisnika mogu da budu specificirani u formalnom i neformalnom obliku.

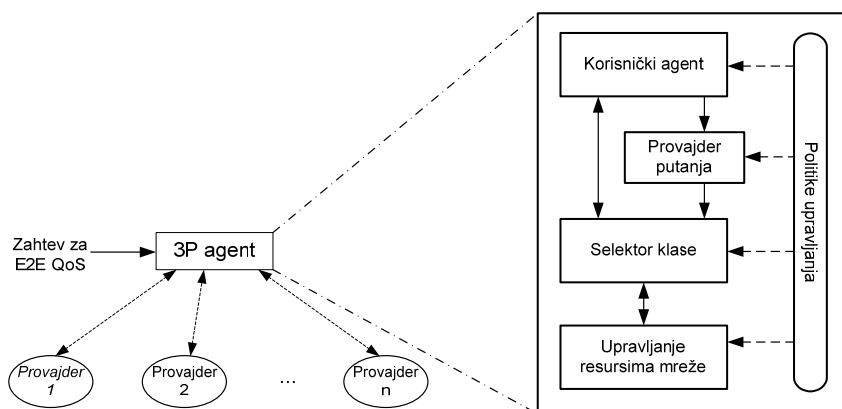
Provajder putanje (*Path provider*) sadrži informacije o optimalnim putanjama koje se sastoje od niza domena koji učestvuju u prenosu toka saobraćaja od izvora do odredišta. Ova informacija se prosleđuje selektoru klase. Predloženi funkcionalni model

komplementaran je sa tradicionalnim rutiranjem između domena koji je baziran na BGP (*Border Gateway Protocol*) protokolu za podršku QoS rutiranja.

Selektor klase predstavlja entitet koji je odgovoran za izdvajanje i interpretaciju zahtevanih parametara QoS, kao i za selekciju klase koja u najvećoj meri odgovara zahtevanom servisu u svakom domenu, čime se izbegava kompleksno preslikavanje klasa na granicama domena. U ovom entitetu implementiran je algoritam za preslikavanje parametara kvaliteta servisa zasnovan na politikama koji je opisan u nastavku poglavlja.

U **entitetu upravljanja resursima mreže** su implementirane procedure kontrole pristupa, na osnovu kojih se donose odluke o prihvatanju SLA zahteva, odbijanju ili se predlaže ponovno ugovaranje.

Politike upravljanja obuhvataju skup pravila koja se odnose na formate SLA, algoritam za selekciju klase, rutiranje, kontrolu pristupa, alokaciju propusnog opsega, tarifiranje, zaštitu i sl. Ovakav pristup je takođe pogodan za razvoj sistema koji implementira skup apstraktno definisanih politika (*Policy Based Management*, PBM) u cilju izgradnje fleksibilne i visoko automatizovane platforme upravljanja.



Slika 1. Funkcionalni model centralizovanog upravljanja kvalitetom servisa

3.2 P-CMS: algoritam za preslikavanje parametara QoS zasnovan na politikama

U ovom poglavlju je opisan algoritam za preslikavanje parametara kvaliteta servisa zasnovan na politikama upravljanja, koji predstavlja nadgradnju prethodno razvijenog algoritma za selekciju klase CMS (*Conformance Matching Scheme*) [10]. CMS je centralizovan algoritam (implementiran u 3P agentu), koji se izvršava u dve faze: (1) na osnovu zahteva za E2E SLA, generiše servisne zahteve za svaki domen u lancu i (2) u svakom domenu selektuje klasu servisa koja najpribližnije ispunjava zadati servisni zahtev. Algoritam za selekciju optimalne klase zasniva se na određivanju stepena slaganja (korespondencije), koji definiše odnos između zahtevanog i ponuđenog nivoa servisa, a određuje se za E2E putanju i za svaki domen pojedinačno. CMS bira onu klasu u domenu koja najpribližnije odgovara zahtevanom QoS, u cilju optimalnog iskorišćenja mrežnih resursa. Ukoliko izabrana klasa ne zadovoljava zahtevani QoS u potpunosti, moguće je uvođenje unapred definisanog praga koji zapravo definiše prihvatljivo odstupanje ponuđenog od zahtevanog nivoa servisa. Međutim, CMS ne uzima u obzir

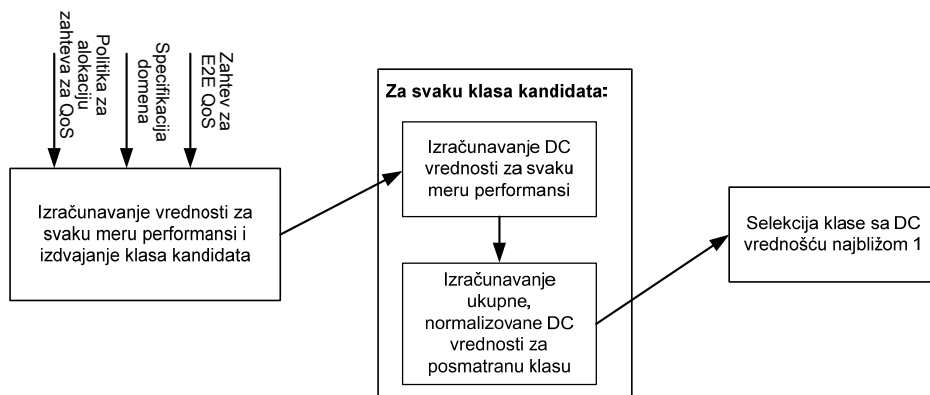
različite načine za određivanje QoS zahteva za pojedine domene u lancu, već za svaki domen na putanji definiše jednak zahtev za QoS.

Nadograđeni algoritam, P-CMS (*Policy-based CMS*), automatski bira klasu servisa u svakom domenu na osnovu zahteva za QoS, karakteristika domena i izabrane politike za alokaciju zahteva za QoS po domenima. Osnovni princip funkcionisanja algoritma prikazan je na Slici 2.

Ulazni parametri algoritma su: (1) parametri QoS iz sporazuma o nivou servisa; (2) specifikacija domena koji se nalaze na putanji toka saobraćaja i (3) izabrana politika za raspoređivanje zahteva za QoS. P-CMS na početku izračunava zahteve za QoS za svaki domen, na osnovu zahteva za QoS (ukupnog – E2E) i politike za alokaciju zahteva za QoS po domenima. Zatim izdvaja klase kandidate u svakom domenu odnosno one klase koje imaju definisane vrednosti za svaki traženi parametar QoS.

U zavisnosti od izabrane politike za alokaciju zahteva za QoS po domenima, P-CMS izračunava najbolji stepen slaganja (*Degree of Correspondence*, DC) između zahteva za QoS i klase iz raspoloživog skupa klasa kandidata.

Ukoliko neki parametar QoS za određenu klasu nije definisan, algoritam tu klasu više ne razmatra i postavlja stepen slaganja (DC) na nulu i prelazi na analizu sledeće klase. Nakon proveravanja svih mogućih klasa, izračunava se ukupni, normalizovani stepen slaganja za svaku klasu. Zatim se bira ona klasa čiji je normalizovani stepen slaganja jednak ili najpribližniji jedinici.



Slika 2. Osnovni princip P-CMS algoritma

Vrednosti stepena slaganja iznad ili ispod jedinice, ukazuju na to da je dodeljeni QoS bolji od zahtevanog (*over-provisioning*) ili slabiji od zahtevanog (*under-provisioning*), respektivno. Teoretski je moguće i da dve ili više klasa imaju isti stepen slaganja. U tom slučaju algoritam bira "lošiju" klasu, odnosno klasu sa manje strogim zahtevima za QoS (npr. klasu 3 umesto klase 2).

3.3 Politike za alokaciju zahteva za QoS po domenima

Politika za alokaciju zahteva za QoS po domenima treba da bude nezavisna od primenjene QoS arhitekture; da obezbedi jednake uslove za sve domene na putanji ("ravnopravnost"); da se dinamički prilagođava zahtevima za promenu putanje; i

skalabilna odnosno treba da podržava različite E2E putanje između različitih mrežnih provajdera. U tom smislu, predložili smo generičku politiku za alokaciju zahteva za QoS po domenima. Ona se zasniva se na ideji da se na putanji sa N domena, za E2E servisni zahtev koji sadrži M parametara $\{\mu_{j,req}\}_{1 \leq j \leq M}$, određuje skup zahteva

$\{\mu_{j,req}^d\}_{1 \leq j \leq M}$ za domen d ($d = 1, 2, \dots, N$):

$$\mu_{j,req}^d = \Phi_j^d \mu_{j,req}, \quad \sum_{d=1}^N \Phi_j^d \leq 1 \quad (1)$$

gde Φ_j^d predstavlja faktor ograničenja za QoS parametar j u domenu d . Ovaj faktor izračunava se pomoću koeficijenata ρ_j^d i v_j^d koji reflektuju relevantna kratkoročna i dugoročna svojstva domena, respektivno:

$$\Phi_j^d = \frac{1}{N} \cdot \rho_j^d \cdot v_j^d \quad (2)$$

Primeri dugoročnih svojstava su: tip domena (pristupni, regionalni, kontinentalni, interkontinentalni), granularnost QoS (zavisi od arhitekture QoS, broja klasa servisa, konfiguracije parametara) i administrativna svojstva (težinski faktori, sigurnosni zahtevi). Kratkoročna svojstva se odnose na nivo iskorišćenja resursa domena, kao što je raspoloživi propusni opseg za posmatranu klasu servisa. Iz predložene generičke politike mogu da se izvedu brojne politike u zavisnosti od specifičnih administrativnih ograničenja, atributa domena i iskoršćenja resursa, kao što su:

(1) Politika jednakih zahteva (*Equal Requests*, ER), koja podrazumeva da su svi zahtevi za QoS jednaki za svaki od domena na putanji toka saobraćaja;

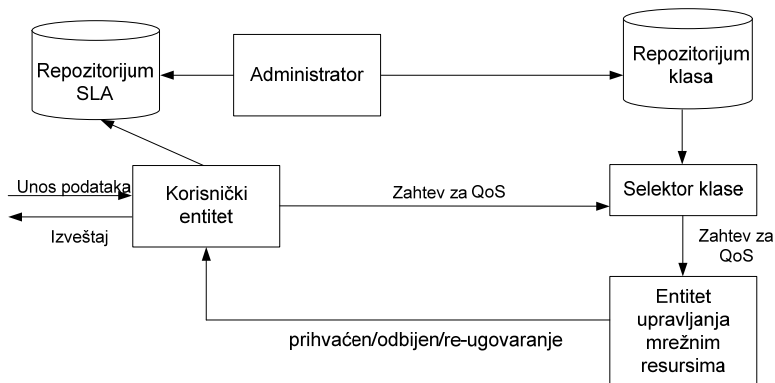
(2) Politika hijerarhije domena, (*Domain Hierarchy*, DH) koja uzima u obzir hijerarhijsku organizaciju IP domena. Trebalo bi da se napravi razlika između najmanje dva tipa domena: pristupni i tranzitni domeni.

(3) Politika hijerarhije domena i QoS granularnosti, (*Domain Hierarchy and QoS Granularity*, DH+QG) koja uzima u obzir kako karakteristike domena tako i granularnost kvaliteta servisa (npr. broj klasa po domenu). Manje strog zahtev za QoS treba da bude definisan za domen sa finijom QoS granularnošću. Na primer, određivanjem takvog zahteva za QoS za domen sa dobrom diferencijacijom nivoa servisa obezbediće se ravnomernije iskorišćenje raspoloživih resursa tog domena.

4. Softver za simulaciju ugovaranja i upravljanja kvalitetom servisa

Softver za simulaciju ugovaranja i upravljanja kvalitetom servisa razvijen je metodama objektno orijentisanog projektovanja. Softver je modularan, što omogućava efikasnu nadgradnju i portabilnost, a razvijena je za PC *Windows*, programskim jezikom C++. Obezbeđuje interfejs za manuelnu konfiguraciju parametara QoS, a zahtevi za QoS za svaki domen u lancu, formiraju se na osnovu izabrane politike za alokaciju zahteva za QoS po domenima.

Struktura softvera je predstavljena na Slici 3. Korisnički agent omogućava isključivo registrovanim korisnicima (sa korisničkim imenom i lozinkom) ugovaranje novih servisa, ponovno ugovaranje servisa modifikacijom postojećih SLA-ova, pregled ugovorenih kao i raskid postojećih sporazuma.



Slika 3. Funkcionalni model softvera

Korisnički interfejs omogućava korisnicima sa korisničkim imenom i lozinkom da definišu zahtevani servis posredstvom parametara kvaliteta servisa (kašnjenje, verovatnoća gubitka paketa, džiter, propusni opseg). Korisnik unosi sve neophodne podatke, osim korisničkog imena i lozinke (ime, adresa, telefon, e-mail), prilikom prvog korišćenja aplikacije. Korisnici mogu i da pregledaju, menjaju ili raskidaju ugovorene sporazume.

Nakon pristupanja aplikaciji, **korisnički agent** prosleđuje zahtev za ugovaranje servisa **Selektoru klase** u kome je implementiran P-CMS algoritam. Ovaj entitet bira odgovarajuću klasu na osnovu specificiranih vrednosti parametara QoS od strane korisnika i definisane politike za alokaciju zahteva za QoS po domenima, računajući vrednosti stepena slaganja (DC) za svaku klasu u svakom domenu koji se nalaze na putanji toka saobraćaja za koji se servis ugovara.

Selektor klase šalje informaciju o izabranoj klasi **entitetu za upravljanje resursima mreže** koji simulira funkcionalnost procedura za kontrolu pristupa resursima mreže. Ovaj entitet vraća odgovor o tome da li je predloženi sporazum prihvaćen, odbijen ili je predloženo ponovno ugovaranje za drugačiji nivo kvaliteta servisa. Na osnovu odgovora, kreira se izveštaj za korisnika. Ukoliko je zahtev prihvaćen, kreira se SLA i smešta se u odgovarajući repozitorijum.

Entitet "Administrator" omogućava mrežnom administratoru definisanje klasa u svakom domenu, broja i tipa domena, izbor politike za alokaciju zahteva za QoS po domenima, kao i pregled svih ugovorenih sporazuma. Ukoliko je potrebno, administrator može i da briše korisnike i ugovorene sporazume o nivou servisa.

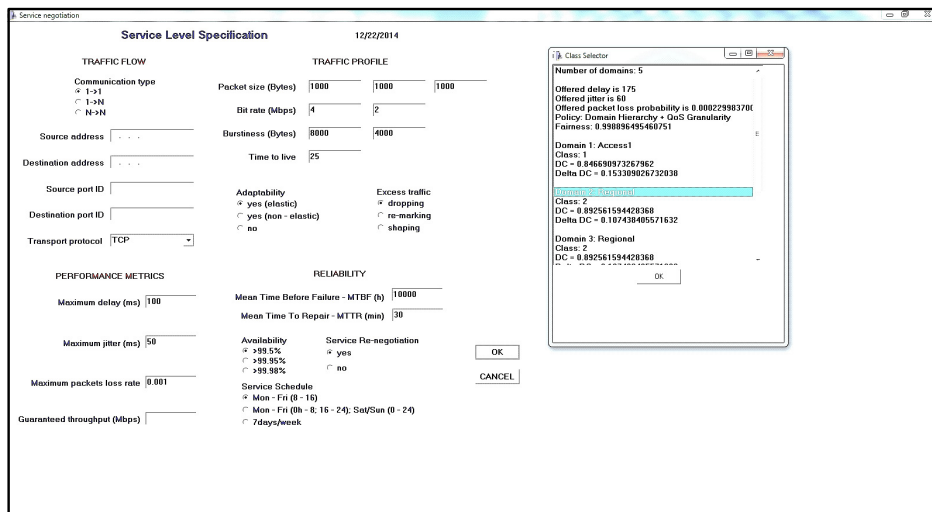
Softver pruža i određene prečice koje omogućavaju lakše i brže korišćenje, kao što je "dugme" za ugovaranje ili reugovaranje, promenu lozinke, odjavu korisnika, i sl. Sve prečice se nalaze ispod glavnog menija u glavnom prozoru.

Softver za simulaciju ugovaranja i upravljanja kvalitetom servisa obuhvata implementaciju algoritma P-CMS i generičke politike za alokaciju zahteva za QoS po

domenima, kao i mogućnost definisanja karakteristika domena od strane administratora, nezavisno od primenjene arhitekture QoS.

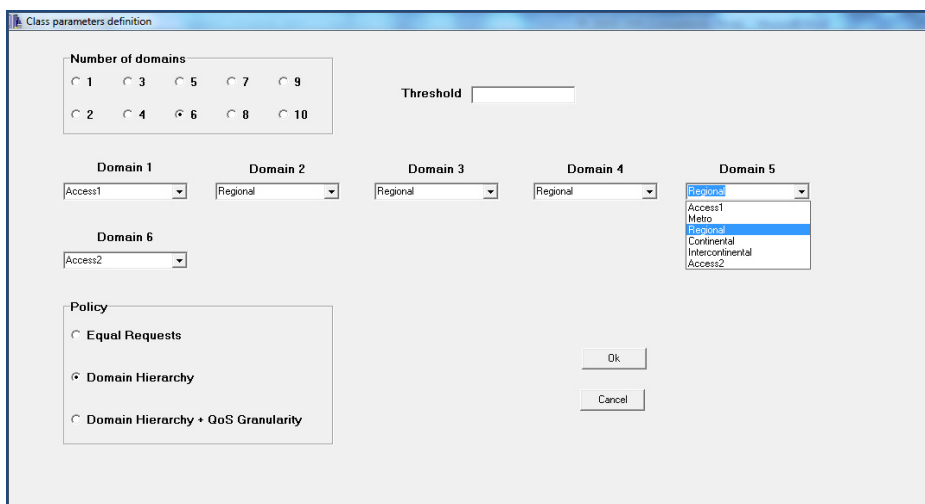
Korisnik opisuje ulazni saobraćaj definisanjem toka saobraćaja, profila, kvaliteta servisa kao i definisanjem parametara pouzdanosti i raspoloživosti. Specifikacija kvaliteta servisa sastoji se od sledeća četiri parametra: propusni opseg, maksimalno kašnjenje, maksimalni džiter i maksimalna verovatnoća gubitka paketa. Na Slici 4 prikazan je korisnički interfejs za ugovaranje servisa sa prozorom koji ispisuje: koliki je broj domena definisan na putanji toka saobraćaja, ponuđene vrednosti parametara QoS, odabranu politiku za alokaciju zahteva za QoS po domenima, kao i izabranu klasu za svaki domen na putanji toka saobraćaja i stepen slaganja zahtevanih vrednosti QoS sa vrednostima definisanim za izabranu klasu.

Moguć je izbor odgovarajuće klase na osnovu zahtevanih vrednosti mera performansi zahvaljujući algoritmu P-CMS. Ovaj algoritam je implementiran funkcijom `CheckClass()` koja je deo klase `TUgovaranjeServisa`. Izlazi funkcije `CheckClass()` su: podatak o domenu, izabrana klasa servisa, vrednost ukupnog stepena slaganja za izabrane parametre kvaliteta servisa (DC). Ovi parametri prikazuju se u odgovarajućem *pop-up* prozoru (slika 4).



Slika 4. Ugovaranje kvaliteta servisa i prikaz relevantnih parametara

Softver za simulaciju ugovaranja i upravljanja kvalitetom servisa je u potpunosti nezavisan od arhitekture QoS, s obzirom da omogućava administratoru da fleksibilno definiše broj i tip domena i da izabere odgovarajuću politiku za alokaciju zahteva za QoS po domenu (Slika 5).



Slika 5. Definisiranje politike za alokaciju zahteva za QoS po domenima

5. Primer primene softvera: analiza politika za alokaciju QoS zahteva domenima

Pomoću softvera za simulaciju ugovaranja i upravljanja kvalitetom servisa izvršena je uporedna analiza politika predloženih u poglavlju 3.3. Za svaku politiku ispitano je: (1) u kojoj meri može da zadovolji zahtevani QoS; (2) da li obezbeđuje ravnopravne uslove za sve domene na putanji; (3) da li je skalabilna i (4) u kojoj meri je implementacija politike kompleksna.

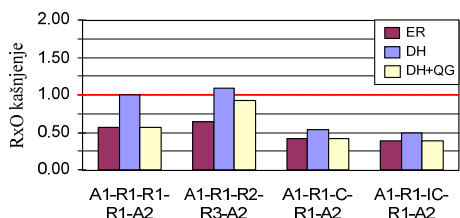
Tabela 1. Primer specifikacije različitih tipova domena

Tip domena i klasa	Kašnjenje (ms)	Džiter (ms)	PLR*	Tip domena i klasa	Kašnjenje (ms)	Džiter (ms)	PLR
A1 – klasa 1	30	15	$1 \cdot 10^{-4}$	R1 – klasa 6	-	-	$1 \cdot 10^{-3}$
A1 – klasa 2	60	25	$1 \cdot 10^{-4}$	R2 – klasa 1	10	6	$2 \cdot 10^{-5}$
A1 – klasa 3	100	-	$1 \cdot 10^{-3}$	R2 – klasa 2	50	25	$2 \cdot 10^{-4}$
A1 – klasa 4	-	-	$4 \cdot 10^{-3}$	R2 – klasa 3	100	-	$2 \cdot 10^{-3}$
A2 – klasa 1	25	15	$1 \cdot 10^{-5}$	R2 – klasa 4	-	-	$1 \cdot 10^{-3}$
A2 – klasa 2	50	20	$1 \cdot 10^{-4}$	R3 – klasa 1	12	6	$1 \cdot 10^{-5}$
A2 – klasa 3	80	30	$4 \cdot 10^{-4}$	R3 – klasa 2	-	-	$1 \cdot 10^{-3}$
A2 – klasa 4	120	-	$1 \cdot 10^{-3}$	C – klasa 1	45	5	$2 \cdot 10^{-5}$
A2 – klasa 5	-	-	$1 \cdot 10^{-3}$	C – klasa 2	100	5	$1 \cdot 10^{-4}$
R1 – klasa 1	15	5	$1 \cdot 10^{-5}$	C – klasa 3	120	15	$2 \cdot 10^{-4}$
R1 – klasa 2	40	10	$1 \cdot 10^{-5}$	C – klasa 4	-	-	$1 \cdot 10^{-3}$
R1 – klasa 3	70	20	$2 \cdot 10^{-4}$	IC – klasa 1	120	10	$2 \cdot 10^{-5}$
R1 – klasa 4	100	-	$1 \cdot 10^{-4}$	IC – klasa 2	360	20	$2 \cdot 10^{-4}$
R1 – klasa 5	350	-	$2 \cdot 10^{-3}$	IC – klasa 3	-	-	$2 \cdot 10^{-3}$

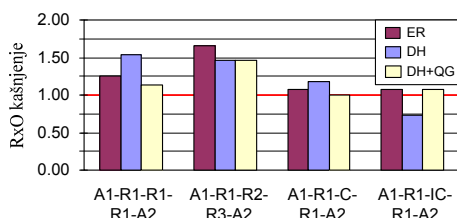
* PLR (Packet Loss Rate) – verovatnoća gubitka paketa

Definisani su sledeći tipovi domena (Tabela 1): pristupni (A1 i A2), regionalni (R1, R2 i R3), kontinentalni (C) i interkontinentalni (IC). Karakteristike regionalnih domena odgovaraju mrežama sa diferenciranim servisima (DiffServ), dok karakteristike pristupnih domena odgovaraju bežičnoj mreži i DiffServ mreži, respektivno. Pretpostavljeno je da zahteve za propusni opseg mogu da ispune svi domeni.

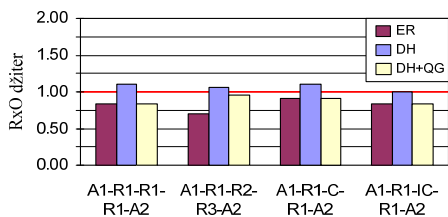
Na Slikama 6 i 7 ilustrovan je deo dobijenih rezultata – poređenje politika u pogledu ispunjenosti zahteva za QoS, za dva servisna zahteva sa sledećim karakteristikama: (1) kašnjenje ≤ 100 ms, džiter ≤ 50 ms, PLR $\leq 10^{-3}$ i (2) kašnjenje ≤ 400 ms, džiter ≤ 70 ms, PLR $\leq 10^{-3}$. Detalji sveobuhvatne analize mogu se naći u publikaciji [11]. U Tabeli 2 je prikazan rezime uporedne analize tri predložene politike.



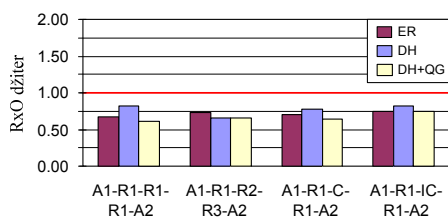
(a) Servisni zahtev 1, kašnjenje (E2E)



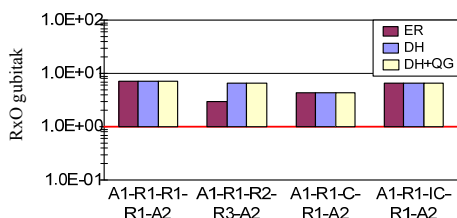
(a) Servisni zahtev 2, kašnjenje (E2E)



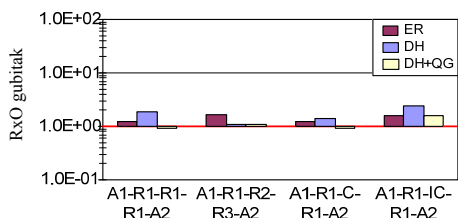
(b) Servisni zahtev 1, džiter (E2E)



(b) Servisni zahtev 2, džiter (E2E)



(c) Servisni zahtev 1, PLR (E2E)



(c) Servisni zahtev 2, PLR (E2E)

Slika 6. Servisni zahtev 1: odnos zahtevanog i ponuđenog (RxO) QoS

Slika 7. Servisni zahtev 2: odnos zahtevanog i ponuđenog (RxO) QoS

Tabela 2. Poređenje politika za alokaciju zahteva za QoS po domenima

Kriterijum za poređenje	Politika za alokaciju zahteva		
	ER	DH	DH+QG
Ispunjenost zahteva za QoS	Nije moguća u svim slučajevima	Odlična za stroge zahteve za kašnjenje	Odlična za srednje ili manje stroge zahteve za QoS
Ravnopravnost domena	Relativno loša	Veoma dobra za stroge zahteve za kašnjenje	Veoma dobra za različite QoS zahteve i putanje
Skalabilnost	Dobra, ako su domeni slični	Odlična	Veoma dobra
Implementacija	Relativno jednostavna	Kompleksno u određenoj meri	Kompleksno u određenoj meri

6. Zaključak

U radu je predložen pristup dinamičkom, centralizovanom upravljanju kvalitetom servisa u višedomenskoj mreži i predstavljen je softver koji je razvijen za simulaciju ugovaranja i upravljanja QoS.

Funkcionalni model centralnog (3P) agenta sastoji se od korisničkog agenta, provajdera putanja, selektora klase i entiteta upravljanja resursima mreže. 3P agent čuva i održava i interprovajderske sporazume o nivou servisa u posebnom repozitorijumu.

Softver implementira algoritam za preslikavanje klasa servisa između domena i različite politike alokacije zahteva za QoS svakom domenu na E2E putanji. Ulazni saobraćaj definisan je putanjom, profilom, zahtevanim kvalitetom servisa, kao i parametrima kojima se opisuju pouzdanost i raspoloživost. U radu je predstavljen i primer primene ovog softvera za analizu tri specifične politike za alokaciju QoS zahteva domenima, za četiri različite putanje i dva servisna zahteva.

Budući rad usmeren je ka razvoju integrisane arhitekture 3P agenta realizovane pomoću upravljanja zasnovanog na specifičnim politikama, koja bi pored opisanih politika alokacije zahteva za QoS obuhvatila politike za izbor klasa servisa, rutiranje saobraćaja i raspodelu mrežnih resursa.

Zahvalnica. Rad je finansiran od strane Ministarstva prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije (Projekat tehnološkog razvoja TR 32025).

Literatura

- [1] A. Galis et al., "Management Architecture and Systems for Future Internet", *Towards the Future Internet*, pp. 112-122, 2009.
- [2] F. Matos et al., "Provisioning of Inter-Domain QoS-Aware Services", *Journal of Computer Science and Technology*, vol. 30, no. 2, pp. 404-420, March 2015.
- [3] J. I. Agbinya, *IP Communications and Services for NGN*, Auerbach Publications, Taylor & Francis Group, 2010.
- [4] M. Á. Callejo-Rodriguez, J. Enriquez-Gabeiras, "Bridging the Standardization Gap to Provide QoS in Current NGN Architectures", *IEEE Communications Magazine*, vol. 46, no. 10, pp. 132-137, October 2008.

- [5] ITU-T Recommendation Y.1542. Framework for Achieving End-to-End IP Performance objectives; 2010.
- [6] M. Aymen Chalouf, N. Mbarek, F. Krief, "Quality of Service and Security Negotiation for Autonomous Management of Next Generation Networks", *Network Protocols and Algorithms*, vol. 3, no. 2, pp. 54-86, 2011.
- [7] W. Wang et al., "Yannan Hu Software Defined Autonomic QoS Model for Future Internet", vol. 110, pp. 122–135, December 2015.
- [8] H. Pouyllau, R. Douville, "End-to-End QoS Negotiation in Network Federations", *Proceedings of the IEEE/IFIP Network Operations and Management Symposium Workshops (NOMS)*, Osaka, Japan, pp.173–176, April 2010.
- [9] G. Motta et al., "Service Level Management (SLM) in Cloud Computing - Third Party SLM Framework", *Proceedings of the 23rd IEEE International WETICE Conference 2014*, Parma, Italija, pp. 353-358, June 2014.
- [10] M. Stojanovic, S. Bostjancic Rakas, V. Acimovic-Raspopovic, "End-to-End Quality of Service Specification and Mapping: the Third Party Approach", *Computer Communications*, vol. 33, no. 11, pp. 1354-1368, July 2010.
- [11] M. Stojanovic, S. Bostjancic Rakas, "Policies for Allocating Performance Impairment Budgets Among Multiple IP Providers", *AEÜ - International Journal of Electronics and Communications*, vol. 67, no. 3, pp. 206-216, March 2013.

Abstract: *In this paper we have presented different approaches to E2E QoS provisioning in the next generation Internet. We have proposed generic QoS allocation policy, from which one can derive numerous different policies depending on specific administrative constraints, domain attributes and resource utilization. We have also developed software for QoS negotiation and management to simulate a process of E2E QoS management consisting of QoS parameters configuration, classification and access control of new traffic flows, as well as appropriate resource allocation based on QoS requests and domain characteristics.*

Key words: *Administrative domain, Quality of service, Object-oriented design, Management.*

QUALITY OF SERVICE MANAGEMENT IN THE NEXT GENERATION INTERNET

Slavica Boštjančič Rakas, Mirjana Stojanović