ANALITIČKO REŠENJE JEDNOG MODELA SA PROMENOM INTENZITETA OPSLUGE I MOGUĆNOST PRIMENE U SAVREMENIM MREŽAMA

Bojan Bakmaz, Miodrag Bakmaz
Saobraćajni fakultet u Beogradu

Sadržaj: *U ovom radu izvršena je klasifikacija IP saobraćaja i objašnjeni su njegovi elementi. Akcenat je stavljen na saobraćajne modele na nivou zahteva. Objašnjen je osnovni model sa više tokova i sopstveni pristup rešavanju problema multiprotočnog, odnosno multiservisnog saobraćaja. Proučavan je saobraćajni model sa dva Puasonova saobraćaja u primarnoj grupi, pri čemu se odbačeni zahtevi jednog od njih upućuju na dve alternativne grupe sekvencijalno. Intenzitet opsluge se menja i ima različite vrednosti u alternativnim grupama. Za analitičko rešavanje sistema jednačina statističke ravnoteže koristi se tehnika funkcija generatrisa. Ovaj model je primenjiv, kako u tradicionalnim, tako i u savremenim IP mrežama i mrežama naredne generacije, sa alternativnim rutiranjem i kontrolom pristupa.*

Ključne reči: *IP saobraćaj*, *prelivni saobraćaj*, *promenjen intezitet opsluge*, *alternativno rutiranje*

1. Klasifikacija IP saobraćaja

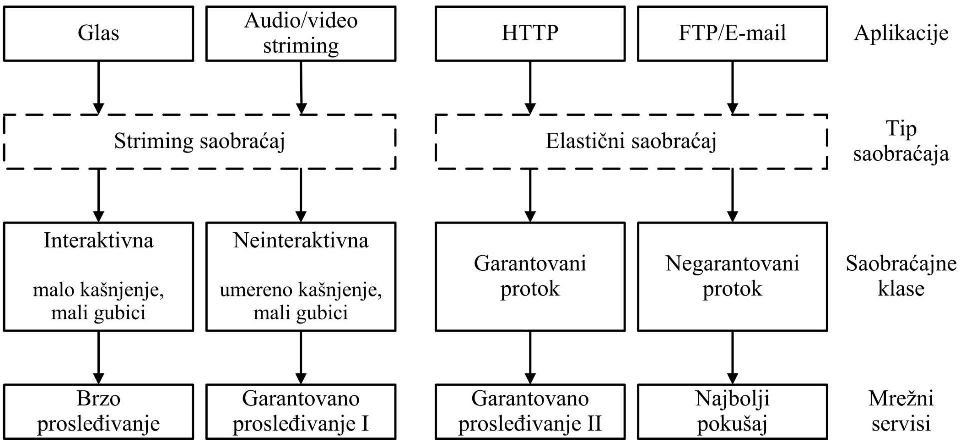
Da bi odredili relaciju između potražnje (zahteva), kapaciteta i performansi i kod Internet saobraćaja usvaja se uobičajena pretpostavka iz klasičnog saobraćaja, da se saobraćaj iz pikovskog perioda u toku dana (najviše opterećenje) može modelirati kao stacionarni stohastički proces. Karakteristike IP saobraćaja na paketskom nivou su vrlo kompleksne, pa se najčešće tretiraju preko prostijih karakteristika toka (*flow*). Mnogo je pogodnije proučavati ponašanje saobraćajnog modela baziranog na tokovima, a o performansama paketskog nivoa, ako je potrebno, zaključke donositi naknadno. Pod tokom (za razliku od toka zahteva (*call stream**,** arrival rate*)) podrazumeva se sled paketa koji se odnosi na neku aplikaciju, posmatrano u određenoj tački mreže. Tok se nadalje identifikuje činjenicom da paketi stižu blisko razmešteni u vremenu. Ovo je prilično neodređena definicija, ali korisna za razumevanje prirode IP saobraćaja.

Pri planiranju multiservisnih IP mreža potreban je pragmatičan pristup. Nije izvodljivo razmatrati sve karakteristike svake aplikacije, jer bi to činilo proces planiranja jako kompleksnim. Osim toga, saobraćajna neizvesnost koja potiče od statistike i prognoza obično je veća od netačnosti zbog zanemarivanja izvesnih aplikacionih karakteristika. Ovako bi trebalo definisati samo nekoliko saobraćajnih klasa u koje bi mapirali odgovarajuće aplikacije. Potrebe i saobraćajno ponašanje tih klasa se modeliraju na nivou toka.

Na slici 1 ilustrovan je proces mapiranja kroz nekoliko primera. IP plikacije se razlikuju u pogledu njihovih elementarnih QoS (*Quality of Service*) zahteva i odgovarajućeg tipa saobraćaja koga generišu. Dva osnovna saobraćajna tipa na nivou tokova su:

a) Elastični (*elastic*) saobraćaj, kod koga se QoS odnosi na ukupno vreme potrebno za prenos i

b) Striming (*streaming*) saobraćaj, kod koga QoS zavisi od karakteristika prenosa individualnih paketa.



Slika 1. *Klasifikacija IP saobraćaja*

Elastični saobraćaj generišu *data*-centrične aplikacije, koje koriste HTTP (*HyperText Transfer Protocol*), FTP (*File Transfer Protocol*) ili *e-mail*. Brzina elastičnih tokova može varirati bez značajnijeg uticaja na performanse reprodukcije, koje zavise od ukupnog vremena prenosa. U IP mrežama za ovaj tip saobraćaja zadužen je TCP (*Transmission Control Protocol*), koji prilagođava brzinu prenosa aktuelnom raspoloživom opsegu. Relevantan QoS parametar je propusnost podataka (*data throughput*). Elastični saobraćaj se karakteriše intenzitetom nailaska zahteva (*file/flow arrival rate*) i srednjom dužinom fajla u bitima, čiji proizvod čini srednju informacionu brzinu, odnosno ponuđeni saobraćaj izražen u bit/s.

Striming saobraćaj odnosi se na vremenski osetljive aplikacije, kao što su VoIP, mrežne igre, video i audio striming, kada paketi treba da budu uručeni blagovremeno. Odgovarajući QoS pokazatelji su kašnjenje paketa, kašnjenje džitera, gubitak paketa. U slučajevima gde funkcioniše CAC (*Call/Connection Admission Control*), ovaj skup parametara se upotpunjuje verovatnoćom gubitaka. Striming saobraćaj se specificira preko parametra dolaznog toka (*connection/flow arrival rate*) i srednjeg trajanja opsluge, odnosno njihovog proizvoda, koji čini ponuđeni saobraćaj u Erl. Bitska brzina tokom konekcije može varirati u vremenu, pa se karakteriše parametrima srednje i maksimalne vrednosti. Ako se ne primenjuje CAC, umesto verovatnoće blokiranja, kao QoS parametar na nivou konekcije, definiše se verovatnoća degradacije, koja označava očekivani deo vremena u toku koga individualni tok ne dobija odgovarajući QoS, što može biti specificirano u SLA (*Service Level Agreement*).

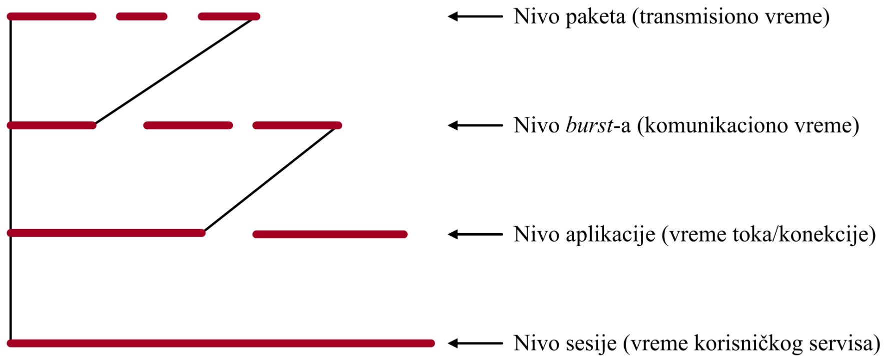
Striming saobraćaj zastupljen je manjim delom, ali je zato izvestan njegov stalni porast, dok je veći deo IP saobraćaja (oko 80%) elastičnog tipa, kao rezultat funkcionisanja TCP, koji predstavlja pouzdan, konekciono orijentisan protokol opšte namene. Praksa je pokazala da je TCP u stanju da podrži širok spektar aplikacija, kao i izuzetnu heterogenost mrežnih mehanizama i arhitektura. Razvoj paketskih mreža uslovljava neprestano unapređivanje i omogućava istraživanje ponašanja ovog protokola.

Izrada kontrolnih mehanizama na sloju aplikacije, uz korišćenje UDP (*User Datagram Protocol*) na transportnom sloju, predstavlja alternativno rešenje za upravljanje IP saobraćajem. Popularnost takvog pristupa je porasla sa idejom o prenosu integrisanih servisa preko Interneta. UDP, kao generator striming saobraćaja, pored tradicionalnih servisa, prenosi i saobraćaj aplikacija osetljivih na varijacije kašnjenja, kao što su: VoD (*Video on Demand*), VoIP (*Voice over Internet Protocol*) itd.

Moguće je razlikovati više klasa striming i elastičnih aplikacija, u saglasnosti sa njihovim određenim performansama. Dok se elastični tok, u skladu sa definicijom, može okarakterisati prosto, veličinom prenošenog dokumenta, kombinovani saobraćaj predstavlja agregaciju tokova i poseduje osobine zavisnosti u dugom opsegu, odnosno *self-similarity*, kao što je to slučaj i kod striming tokova. To stvara velike teškoće u matematičkoj interpretaciji saobraćaja, od koristi pri upravljanju saobraćajem.

2. Elementi IP saobraćaja

IP saobraćaj se može analizirati na osnovu karakteristika njegovih brojnih elemenata, uključujući pakete, *burst*-eve, tokove i sesije, u zavisnosti od statističkih vremenskih varijacija. Na vremenskoj osi može se posmatrati transmisiono vreme na paketskom nivou, komunikaciono vreme na nivou *burst*-a, vreme toka/konekcije, odnosno aktivnosti, na aplikacionom nivou, a sve to u okviru vremena sesije korisničkog servisa (slika 2). Izbor adekvatnog saobraćajnog modela zasniva se na proceni pogodnosti nekog elementa u posmatranoj aplikaciji. Karakterizacija je najadekvatnija na nivou saobraćajnog toka.



Slika 2. *Elementi IP saobraćaja*

Paketi predstavljaju niz bitova korisničkih podataka i bitova signalnih informacija, obrađenih pravilima mrežnog sloja (IP paketi), pri čemu se pojava njihovog grupisanja naziva *burst* (prasak, nalet). Saobraćajni tok je jednosmerni sled paketa, koji prolaze kroz neki entitet mreže. Paketi koji pripadaju posmatranom toku imaju iste identifikatore (npr. IP adrese, brojeve portova, tip transportnog protokola i dr.).

Nekoliko sukcesivno i paralelno emitovanih tokova, čini sesiju, koja odgovara periodu aktivnosti koje generiše korisnik. Za korisnike sesija može biti određena trajanjem konekcije i uglavnom nije podržana bilo kojom funkcijom za kontrolu mreže.

Sesija se sastoji se od sekvenci tokova izdvojenih periodima "tišine", koji se često nazivaju "vremena razmišljanja". Generalno nije moguće identifikovati sesiju prostim posmatranjem paketa u mreži. Sesija se odnosi na neke povećane aktivnosti preduzete od strane korisnika, poput *Web* pretraživanja, *e-mail*-a, ili mrežnih igara. Suštinska definiciona karakteristika je da su, za praktične potrebe, sesije uzajamno nezavisne. Kada je korisnička populacija velika i svaki korisnik doprinosi malim udelom ukupnom saobraćaju, nezavisnost dovodi do Puasonovog procesa nailaska sesije. Ovo omogućuje relativno prosto matematičko modeliranje, za razliku od kompleksnog procesa nailaska individualnih tokova ili paketa.

Neki modeli mrežnih servisa definišu prisustvo konekcije i kontrolišu dodeljivanje izvora putem eksplicitne razmene signala. Konekcija može biti podešena za određeni tok, ili se može koristiti u dužem periodu, sa agregacijom tokova između krajnjih tačaka mreže.

3. Saobraćajni modeli na nivou zahteva

Saobraćajni modeli na nivou zahteva (*call-level*) su u principu multiprotočni i sa gubicima, a omogućuju procenu QoS na tom nivou kod IP baziranih mreža sa rezervacijom resursa. Ova procena je važna zbog alokacije opsega (*bandwidth*) među klasama servisa (garantovani QoS), izbegavanja skupog predimenzioniranja mreže i prevencije prekomerne degradacije propusnosti (*throughput*) pomoću mehanizama saobraćajnog inženjeringa. Uporedo sa važnošću, modeliranje performansi na nivou zahteva i procena QoS su izuzetni izazovi u jako heterogenom okruženju savremenih telekomunikacionih mreža, zbog prisustva elastičnog saobraćaja, kao i komplikovanog procesa nailaska zahteva.

Najvažniji parametar performansi na nivou zahteva je gubitak zahteva (*call loss*, *blocking*), čiji efikasan proračun je preduslov za razne saobraćajne modele. Specifičnost multiprotočnih modela bazira se na procesu nailazaka zahteva, koji može biti slučajan (Puasonov), kvazi-slučajan (konačan broj izvora), grupni (*batch*) Puasonov i sl. Zahtevi mogu biti sa fiksnom, ili sa više potreba u protoku. U toku opsluge zahtev koristi konstantni dodeljeni protok (*constant-bit-rate*), može tolerisati kompresiju ili ekspanziju opsega, ili mu se smenjuju periodi prenosa i neiskorišćenosti (ON/OFF). Na bazi ovih i sličnih specifičnosti moguće je formirati veći broj multiservisnih modela sa gubicima.

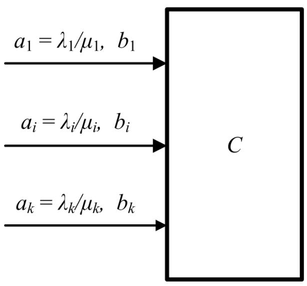
Osnova za modeliranje je Erlangov multiprotočni model sa gubicima, kod koga Puasonovi saobraćajni tokovi raznih klasa servisa dolaze na jedinstven link (grupu) određenog kapaciteta i iniciraju dostupni opseg na linku politikom potpune podele (CS –

Complete Sharing). Da bi se garantovao određeni QoS za svaku klasu servisa koristi se politika rezervacije opsega, odnosno kanala (BR – *Bandwidth/trunk Reservation*).

4. Gubici pri opsluzi više tokova

U sistemima prenosa podataka transmisione potrebe mogu se izraziti parametrima modela opsluge. Kapacitet sistema C predstavlja moguću brzinu prenosa podataka (bit/s), a potrebno je da se prenese r informacionih jedinica (srednji broj bita ili bajta). Srednje vreme opsluge takvog zadatka je $t_o = 1/\mu = r/C$, pri čemu je μ intezitet opsluge. Ako je intenzitet nailaska zahteva λ(1/s), a srednja informaciona brzina $v_c = \lambda r$, ponuđeni saobraćaj će imati intenzitet $a = \lambda/\mu = v_c/C$ (Erl.), pri čemada se kao ponuđeni saobraćaj često koristi samo srednja informaciona brzina.

Slučaj resursa kapaciteta C može se tretirati kao celobrojna višestruka vrednost neke osnovne brzine (opsega) prenosa b. Pretpostavljeno je k tokova zahteva, pri čemu za i-ti važi da je eksponencijalne raspodele sa parametrom λ_i i da traži rezervaciju brzine prenosa u resursu b_i, koja je takođe višestruka vrednost osnovne brzine b (Slika 3). Trajanje uspostavljenog zahteva je sa eksponencijalnom raspodelom, čiji je intenzitet μ_i. Ponuđeni saobraćaj toka i je $a_i = \lambda_i/\mu_i$. Svaki od tokova ima sopstveni gubitak, uz pretpostavku da se zahtev koji stigne na resurs uspostavlja ako ima dovoljno raspoloživog prenosnog opsega.



Slika 3. *Model opsluge više tokova sa gubicima*

Za broj prihvaćenih zahteva m_i , $i = 1, \dots , k$, imamo k – dimenzionalni Markov-ljev proces, sa verovatnoćama stanja sistema oblika

$$p(m_1,\dots,m_k) = p_0 \prod_{i=1}^{k} \frac{a_i^{m_i}}{m_i!}, \tag{1}$$

gde su

$$p_0^{-1} = p(0,\dots,0)^{-1} = \sum_{c} \prod_{i=1}^{k} \frac{a_i^{m_i}}{m_i!} \tag{2}$$

i

$$c = \left\{ (m_1,\dots,m_k), \quad 0 \le m_i \le \lfloor C/b_i \rfloor, \quad \sum_{i=1}^{k} m_i b_i \le C \right\}. \tag{3}$$

Sada se mogu definisati gubici pojedinih tokova, kao zbir verovatnoća stanja u kojima nije moguće prihvatiti zahtev posmatranog toka i

$$B_i = \sum_{c_1} p(m_1,...,m_k), \quad c_1 = \left\{(m_1,...,m_k), \quad \sum_{i=1}^{k} m_i b_i > C - b_i\right\}. \tag{4}$$

Dobijeni su gubici po vremenu, koji imaju sopstvene vrednosti za razne tokove, za razliku od Erlangovog modela gde su ti gubici isti. Ovaj opšti model takođe poseduje svojstvo neosetljivosti, koje se ogleda u tome da vreme opsluge može imati proizvoljnu raspodelu konačne srednje vrednosti (Teorema Sevestjanova). Rešavanje verovatnoća gubitaka je neprikladno za praktičnu primenu, pa se za tu svrhu najčešće koristi algoritam Kaufman-Roberts-a, ili njegove modifikacije, kada se multidimenzionalni proces aproksimira jednodimenzionim Markovljevim procesom [1-3].

Prethodno izložen princip naziva se politikom potpunog delenja resursa, za razliku od recimo politike parcijalnog delenja, ili potpunog delenja sa ograničenjem zauzeća, čiji je cilj izjednačenje gubitaka različitih tokova. Jedna od mogućih strategija CAC funkcija je rezervacija opsega. Rezervacioni mehanizam čini pristup do mrežnih resursa pogodnijim za sve saobraćajne klase, reduciranjem verovatnoća gubitaka zahteva sa većim potrebama u opsegu i povećanjem gubitaka zahteva sa manjim potrebama za opsegom, odnosno izjednačava verovatnoće gubitaka svih saobraćajnih klasa.

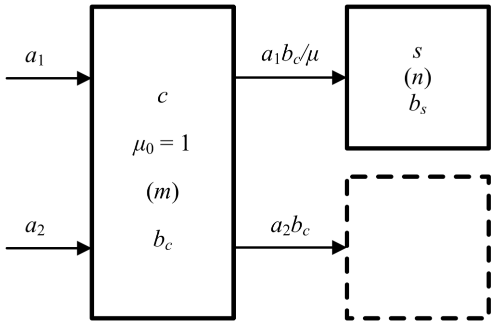
U daljem razmatranju, umesto ovakvog modela, iz potrebe iznalaženja eksplicitnih rešenja, primarna grupa tretiraće se kao klasičan Erlangov model sa dva saobraćaja, pri čemu jedan (ili više njih) ima mogućnost prelivanja, a drugi objedinjuje ostale saobraćaje. Pri ovakvoj pretpostavci brzina posmatranog saobraćaja b_i koristi se kao osnovna. Tada bi kapacitetu linka C odgovarala grupa od $c = C/b_i$ kanala, za ponuđeni saobraćaj imali bi $a_{iu} = a_i + a_2 = \sum_j a_j b_j / b_i$, a gubitak saobraćaja a_i bio bi $H_i = B(c, a_{iu})$. Na ovaj način bi gubitak za saobraćaj manjih brzina bio manji i obratno, za veće brzine veći, što proizilazi iz osobina Erlangove formule. Svojstvo ostalih saobraćaja, koji se normiraju na osnovnu brzinu, je sada neordinarnost, koja dodatno komplikuje problem. Prethodni postupak je empirijski, zaslužuje posebnu proveru i komparaciju sa drugim metodima, a za optimizacione metode predstavlja dobar kvalitativni pokazatelj. Ovakve pretpostavke imaju dodatno opravdanje, ako se novi zahtev tretira u određenom trenutku (dinamički) [4].

5. Model sa promenom intenziteta opsluge u alernativnoj grupi

Problem promene inteziteta opsluge u sekundarnoj grupi tretira se u više radova [5-10], gde su navedene saobraćajne situacije i slučajevi kada je primena ovakvih modela adekvatna. Navedimo i primer pozivnog centra, u kome su operatori, radeći posao različito efikasno, zauzeti različito srednje vreme, ili slučaj kombinacije operatora i interaktivnog govornog automata. Ovi modeli imaju posebnu važnost u slučaju heterogenih mreža, kada se koriste alternativni resursi sa različitim osnovnim brzinama (*basic bandwidth unit*), što direktno menja intezitet opsluge.

Teorijska istraživanja koja slede tretiraju Puasonove tokove i jedinstvene brzine po grupama, sa namerom da se korišćenjem procesa "nastajanja i nestajanja" ("*birth and death*") pokušaju eksplicitno rešiti sistemi jednačina za verovatnoće stanja. Modeli tretiraju dva toka sa intezitetima λ_1 i λ_2, brzine prenosa su iste i odgovaraju osnovnoj brzini b, srednji broj informacionih jedinica po zahtevu je r, a kapacitet resursa C. Resurs predstavlja grupu od $c = C/b$ kanala, intenzitet opsluge je $\mu_o = b/r$, a ponuđeni saobraćaji

$a_i = \lambda_i/\mu_o$, i = 1, 2. Radi prostijeg označavanja može se λ_i izražavati ne po jedinici vremena, nego po srednjem trajanju opsluge $t_o = 1/\mu_o$, pa će saobraćaj ponuđen grupi kanala biti $a_i = \lambda_i$.



Slika 4. *Model sa promenom inteziteta opsluge*

U prvom modelu (slika 4) postoje i resursi kapaciteta S, sa osnovnom brzinom b_1, koje zauzimaju odbijeni zahtevi saobraćaja a_1, a odgovaraju grupi od $s = S/b_1$ kanala. Intenzitet opsluge je sada $\mu_1 = b_1/r$, međutim, potrebno je posmatrati relativni intenzitet opsluge $\mu = \mu_1/\mu_o$, pošto je λ_i izraženo po srednjem trajanju opsluge. Sistem predstavlja uopšten model sa prelivnim saobraćajem i različitim intenzitetom opsluge u primarnoj i sekundarnoj grupi.

Za rešavanje verovatnoća stanja u primarnoj i sekundarnoj grupi, $p(m, n)$, koristila se tehnika funkcija generatrisa, tako da je za opšti oblik dobijeno [7]

$$p(m,n) = (-1)^n \sum_{k=n}^{s} \binom{k}{n} R_{\mu k}(m) C(k) \ , \tag{5}$$

za m = 0, 1,..., c i n = 0, 1,..., s, gde su

$$R_0(m) = \frac{(a_1 + a_2)^m}{m!} \tag{6}$$

i

$$R_{\mu n}(m) = \sum_{i=0}^{m} \binom{\mu n + i - 1}{i} \frac{(a_1 + a_2)^{m-i}}{(m-i)!}, \qquad n > 0 \ . \tag{7}$$

Uz dalju oznaku $R_{\mu n}(c) = R_{\mu n}$, iz normalizacionog uslova za verovatnoće dobija se $C(0) = 1/R_1$, a iz graničnih jednačina statističke ravnoteže ($m = c$) dobijen je rekurentni obrazac za $C(n)$

$$C(n) = \frac{-a_1}{\mu n} \frac{R_{\mu(n-1)}}{R_{\mu n+1}} C(n-1) - (-1)^{s+n} \binom{s}{n-1} \frac{R_{\mu s}}{R_{\mu n+1}} C(s), \tag{8}$$

pri čemu je

$$C(s) = \frac{\dfrac{(-a_1/\mu)^s}{s! R_{\mu s}} \displaystyle\prod_{i=0}^{s} \frac{R_{\mu i}}{R_{\mu i+1}}}{\displaystyle\sum_{n=0}^{s} \frac{(a_1/\mu)^{s-n}}{(s-n)!} \prod_{i=n+1}^{s} \frac{R_{\mu i}}{R_{\mu i+1}}}, \quad \prod_{i=s+1}^{s} \frac{R_{\mu i}}{R_{\mu i+1}} = 1. \tag{9}$$

Sada se mogu odrediti sve verovatnoće, a gubitak zahteva saobraćaja a_1 u sistemu je

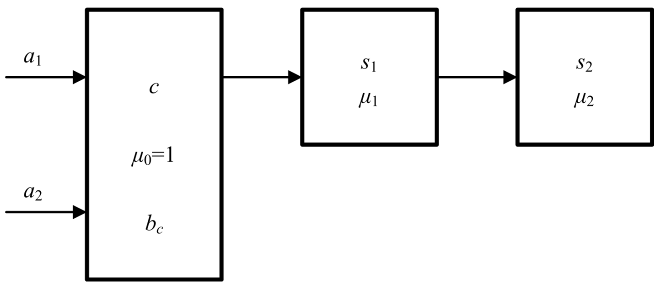
$$b_{cs} = (-1)^s R_{\mu s} C(s) = \frac{\dfrac{(a_1/\mu)^s}{s!}\displaystyle\prod_{i=0}^{s}\frac{R_{\mu i}}{R_{\mu i+1}}}{\displaystyle\sum_{n=0}^{s}\frac{(a_1/\mu)^{s-n}}{(s-n)\,!}\prod_{i=n+1}^{s}\frac{R_{\mu i}}{R_{\mu i+1}}}\,. \tag{10}$$

Gubitak saobraćaja a_2 je gubitak u primarnoj grupi i dobija se pomoću Erlangove formule

$$b_c = \sum_{n=0}^{s} p(c,n) = \frac{R_0}{R_1} = B(c, a_1 + a_2)\,. \tag{11}$$

6. Model sa dve promene intenziteta opsluge

Za analitičko istraživanje od interesa je model kod koga se prelivni saobraćaj opslužuje resursima kapaciteta S_1 i S_2, odnosno preko dve grupe, sekundarne i tercijalne, sa $s_1 = S_1/b_1$ i $s_2 = S_2/b_2$ kanala i sa relativnim intenzitetima opsluge, μ_1 i μ_2. Koristeći tehniku razvijenu u [10] (kao i rešenja za model sa slike 4), moguće je razviti proceduru za eksplicitno određivanje verovatnoća stanja, kao i gubitaka u modelu sa sekundarnom i tercijalnom grupom (Slika 5).



Slika 5. *Model sa dve promene intenziteta opsluge*

Rešenje za verovatnoće stanja sistema je oblika

$$p(m, n_1, n_2) = (-1)^{n_1+n_2}\sum_{k_1=n_1}^{s_1}\binom{k_1}{n_1}\sum_{k_2=n_2}^{s_2}\binom{k_2}{n_2}R_{\mu_1 k_1+\mu_2 k_2}(m)C(k_1,k_2)\,, \tag{12}$$

gde su (m, n_1, n_2) stanja zauzeća u grupama sa brojem kanala (c, s_1, s_2), a $\mu_1 n_1 + \mu_2 n_2 = \mu n$ (radi korišćenja formule (7)). Za koeficijente $C(n_1, n_2)$ važi relacija

$$\begin{aligned} &-(\mu_1 n_1 + \mu_2 n_2)R_{\mu_1 n_1+\mu_2 n_2+1}C(n_1,n_2) = a_1 R_{\mu_1(n_1-1)+\mu_2 n_2}C(n_1-1,n_2) \\ &+ a_1(-1)^{s_1+n_1}\binom{s_1}{n_1-1}R_{\mu_1 s_1+\mu_2 n_2}C(s_1,n_2) + a_1(-1)^{s_1+n_1}\binom{s_1}{n_1}R_{\mu_1 s_1+\mu_2(n_2-1)}C(s_1,n_2-1) \\ &+ a_1(-1)^{s_1+n_1+s_2+n_2}\binom{s_1}{n_1}\binom{s_2}{n_2-1}R_{\mu_1 s_1+\mu_2 s_2}C(s_1,s_2)\,. \end{aligned} \tag{13}$$

Broj jednačina sistema umanjen je (c + 1) puta, odnosno, sveo se na rešavanje (s_1 + 1)(s_2 + 1) jednačina za nepoznate koeficijente $C(n_1, n_2)$. Osim što se zna da je $C(0, 0) = 1/R_1$, može se pokazati da je $C(n_1, 0) = C(n_1)$, $n_1 = 1,\ldots, s_1$, po formulama (8) i (9). Za $n_2 = 1$ relacija (13) može se predstaviti u sažetom obliku

$$C(n_1,1) = A(n_1,1)C(n_1-1,1) + B(n_1,1)C(s_1,1) + D(n_1,1)C(s_1,0) + E(n_1,1)C(s_1,s_2). \quad (14)$$

Korišćenjem (21), za $n_1 = 0, 1,\ldots$, dobija se

$$\begin{aligned} &C(0,1) = D(0,1)C(s_1,0) + E(0,1)C(s_1,s_2),\\ &C(1,1) = A(1,1)C(0,1) + B(1,1)C(s_1,1) + D(1,1)C(s_1,0) + E(1,1)C(s_1,s_2)\\ &\ldots, \end{aligned} \quad (15)$$

odnosno,

$$\begin{aligned} C(n_1,1) = {} & C(s_1,1)\sum_{i=1}^{n_1} B(i,1)\prod_{j=i+1}^{n_1} A(j,1) + C(s_1,0)\sum_{i=0}^{n_1} D(i,1)\prod_{j=i+1}^{n_1} A(j,1)\\ & + C(s_1,s_2)\sum_{i=0}^{n_1} E(i,1)\prod_{j=i+1}^{n_1} A(j,1), \qquad \prod_{j=n_1+1}^{n_1} A(j,1) = 1, \end{aligned} \quad (16)$$

tako da je

$$C(s_1,1) = \frac{C(s_1,0)\sum_{i=0}^{n_1} D(i,1)\prod_{j=i+1}^{n_1} A(j,1) + C(s_1,s_2)\sum_{i=0}^{n_1} E(i,1)\prod_{j=i+1}^{n_1} A(j,1)}{1-\sum_{i=1}^{n_1} B(i,1)\prod_{j=i+1}^{n_1} A(j,1)} = \quad (17)$$

$$= A_1C(s_1,s_2) + B_1C(s_1,0).$$

Na sličan način dobija se $C(s_1, n_2) = A_{n2}C(s_1, s_2) + B_{n2}C(s_1, n_2\text{-}1)$ za ostale n_2.

Prethodni koeficijenti mogu da se izraze preko $C(s_1, 0)$, kada imamo

$$C(s_1,n_2) = C(s_1,s_2)\sum_{i=1}^{n_2} A_i \prod_{j=i+1}^{n_2} B_j + C(s_1,0)\prod_{i=1}^{n_2} B_i, \qquad \prod_{j=n_2+1}^{n_2} B_j = 1. \quad (18)$$

Ovim su koeficijenti $C(s_1, n_2)$, $n_2 = 1, 2,\ldots, s_2 - 1$,određeni, jer se $C(s_1, s_2)$ može naći preko $C(s_1, 0)$

$$\begin{aligned} C(s_1,s_2) &= C(s_1,s_2)\sum_{i=1}^{s_2} A_i \prod_{j=i+1}^{s_2} B_j + C(s_1,0)\prod_{i=1}^{s_2} B_i\\ &= AC(s_1,s_2) + BC(s_1,0) = \frac{BC(s_1,0)}{1-A}. \end{aligned} \quad (19)$$

Sada se mogu odrediti i svi ostali koeficijenti $C(n_1, n_2)$.

Za ovaj model možemo definisati više saobraćajnih parametara, a najvažniji je gubitak zahteva saobraćaja a_1, koji je u obliku

$$b_{cs12} = p(c,s_1,s_2) = (-1)^{s_1+s_2} R_{\mu_1 s_1+\mu_2 s_2} C(s_1,s_2). \quad (20)$$

Gubitak zahteva saobraćaja a_1 u sekundarnoj grupi je

$$b_{s1} = p(c,s_1)/b_c = (-1)^{s_1} R_{\mu_1 s_1} C(s_1) R_1 / R_0, \quad (21)$$

dok je u tercijalnoj grupi $b_{s2} = p(c, s_1, s_2)/p(c, s_1)$.

Za određivanje gubitaka po vremenu mogu se koristiti izrazi, za primarnu grupu

$$b_{ts1} = \sum_{m=0}^{c}\sum_{n_2=0}^{s_2} p(m,s_1,n_2) = \sum_{m=0}^{c} p(m,s_1) = (-1)^{s_1} R_{\mu_1 s_1+1} C(s_1) \tag{22}$$

i za sekundarnu grupu

$$b_{ts2} = \sum_{m=0}^{c}\sum_{n_1=0}^{s_1} p(m,n_1,s_2)\ . \tag{23}$$

Saobraćaj a_1 je ponuđen primarnoj grupi, dok njegovi zahtevi formiraju saobraćaj ponuđen sistemu

$$a_{1p} = a_1(1-b_c) + a_1 b_c (1-b_{s_1})/\mu_1 + a_1 b_c b_{s_1}/(\mu_1\mu_2)\ . \tag{24}$$

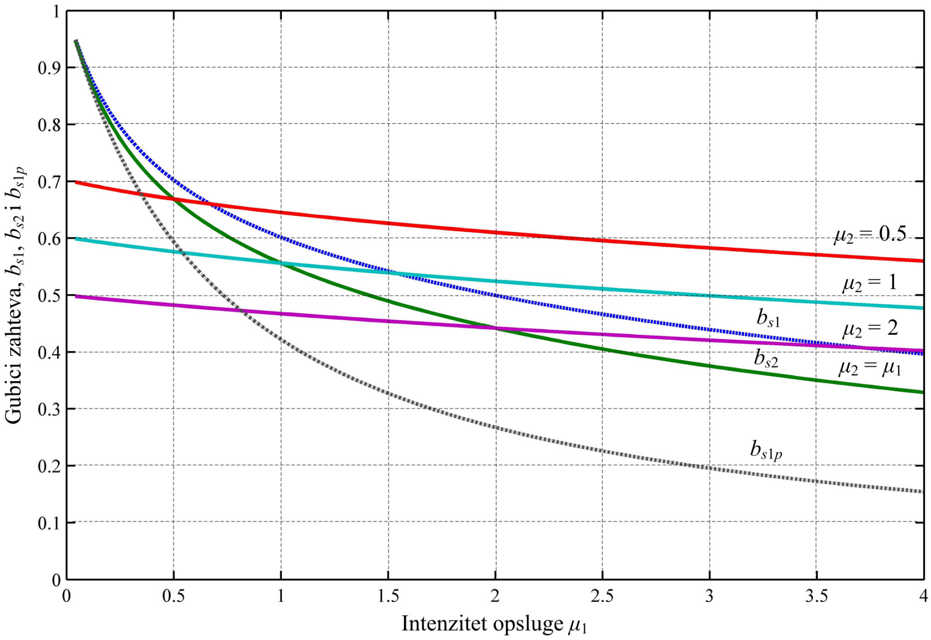
Opsluženi saobraćaj je

$$a_{1o} = a_1(1-b_c) + a_1 b_c (1-b_{s_1})/\mu_1 + a_1 b_c b_{s_1}(1-b_{s_2})/(\mu_1\mu_2)\ . \tag{25}$$

Sada se može odrediti saobraćajni gubitak $b_{a1p} = 1 - a_{1o}/a_{1p}$.

7. Ilustracija parametara modela

Dobijeni teorijski rezultati za model sa dve alternativne grupe omogućuju korektan proračun saobraćajnih parametara, bez posebnih ograničenja. Kao primer, analiziran je prostiji, ali dovoljno ilustrativan slučaj, kada je $c = 10$, $s_1 = 1$ i $s_2 = 1$ kanala.



Slika 6. *Gubici zahteva saobraćaja a_1 u sekundarnoj i ternarnoj grupi*

Grafik na slici 6 ilustruje gubitke zahteva u alternativnim kanalima za saobraćaje a_1 = 6 Erl., a_2 = 2 Erl. i razne vrednosti intenziteta opsluge μ_1 i μ_2. Karakterističan je uzajamni odnos između promene gubitaka b_{s2} i b_{s1} za $\mu_2 = \mu_1$, jer je poznato da se gubici u narednim kanalima, pri uređenom biranju, smanjuju ($b_{s2} < b_{s1}$) i slučaj odgovara prostijem modelu (s = 2, $b_s = b_{s1}b_{s2}$). Međutim, za $\mu_2 \neq \mu_1$ gubitak b_{s2} značajno se razlikuje od vrednosti gubitka za $\mu_1 = \mu_2$ i postoje vrednosti $\mu_1 > \mu_2$ kada gubitak b_{s2} postaje veći od gubitka b_{s1}. Na grafiku se uočava da za μ_1 = 0 tercijalna grupa postaje sekundarna. Prikazana je i promena gubitka u sekundarnoj grupi dobijenog Erlangovom formulom b_{s1p}, ako se prelivni saobraćaj smatra Puasonovim. Odstupanja u vrednostima gubitaka opravdavaju primenu složenijeg modela.

8. Zaključak

Fenomen IP saobraćaja sagledan je sa više aspekata. Analizirane su specifičnosti paketskog saobraćaja, saobraćaja tokova, kao i saobraćaja sesija, odnosno na nivou zahteva. Agregacije i svojstva saobraćaja na paketskom sloju uslovljavaju zakonitosti ponašanja saobraćaja na sloju toka i sloju zahteva. U nameri da se teorijski razreši neki saobraćajni problem od interesa za mreže naredne generacije, iz razloga izvesnosti izbor je pao na modele koji problem tretiraju na nivou zahteva. Modeli multimedijalnog saobraćaja su kompleksni već pri korišćenju jedinstvenog kapaciteta, odnosno jedne grupe, a ovde je namera bila da se sagledaju modeli bitni za hendover, kao i za prelivni saobraćaj, za koji postoji izuzetan interes pri objedinjenju heterogenih mreža.

Mada u literaturi postoje metode kojima se multiprotočni model svodi na prostiji, ovde se predlaže postupak kojim saobraćaj posmatranog toka definiše osnovnu brzinu, odnosno broj kanala u nekom kapacitetu (opsegu), a svi ostali tokovi svode se na drugi saobraćaj. Odbačeni zahtevi posmatranog saobraćaja upućuju se na alternativne grupe, gde se predviđa menjanje osnovne brzine, odnosno intenziteta opsluge. Pojam opseg na sloju zahteva, za modele sa gubicima, poistovećuje se sa kapacitetom, a preko osnovne brzine sa kapacitetom grupe, odnosno brojem kanala u grupi.

Polazna namera uspešno je okončana analitičkim rešavanjem modela sa dve alternativne grupe. Numerička i grafička analiza pokazala je svrsishodnost korišćenja ovakvih modela. Ovi modeli će koristiti kao polazni u rešavanju složenijih saobraćajnih problema bežičnih mreža, kada su u pitanju postupci hendovera i alternativnog prosleđivanja zahteva, uzimajući u obzir multiprotočnost, odnosno multimedijalnost saobraćaja.

Literatura

[1] ITU-T Recommendation E.526, "Dimensioning a Circuit Group with Multi-slot Bearer Services and No Overflow Inputs," Mar. 1993.

[2] Q. Huang, K. T. Ko, and V. B. Iversen, "Approximation of Loss Calculation for Hierarchical Networks with Multiservice Overflows," *IEEE Transactions on Communications*, vol. 56, no. 3, Mar. 2008, pp. 466–473.

[3] M. Głabowski, K. Kubasik, and M. Stasiak, "Modeling of Systems with Overflow Multi-rate Traffic," *Telecommunication Systems*, vol. 37, no. 1-3, Feb. 2008, pp. 85-96.
[4] B. Bakmaz, M. Bakmaz, "Uticaj saobraćajnih parametara na funkciju boniteta bežične mreže u heterogenom okruženju," *Zbornik radova POSTEL'11*, Saobraćajni fakultet, Beograd, dec. 2011, str. 223-230.
[5] B. Wallström, "Loss Calculations in Certain Overflow Systems Where the Holding Times in Successive Groups Have Different Means," *Proc. ITC-7*, Stockholm, Sweden, June 1973. p. 417/1-9.
[6] H. Akimaru, K. Kawashima, *Teletraffic: Theory and Applications*, Springer-Verlag, 1993.
[7] M. Bakmaz, " Serving System with the Correlated Component of Overflow Traffic Having Changed Serving Intensity", *IEE Proceedings Communications*, vol. 143, no. 1, Feb. 1996, pp. 1-4.
[8] R. Schehrer, "A Two Moments Method for Overflow Systems with Different Mean Holding Times," *Proc. ITC-15*, Washington, DC, USA, Jun. 1997, pp. 1303–1314.
[9] M. Bakmaz, "Analysis of a Model of Two Overflow Traffic Components with Different Serving Intensities," *AEU - International Journal of Electronics and Communications*, vol. 60, no. 1, Jan. 2006, pp. 65-70.
[10] B. Bakmaz, M. Bakmaz, "Solving Some Overflow Traffic Models with Changed Serving Intensities," *AEU - International Journal of Electronics and Communications*, vol. 66, no. 1, Jan. 2012, pp. 80-85.

Abstract: *In this paper the IP traffic classification is carried out, while its elements are explained. The focus is on the traffic models concerning the call level. The basic multiflow model is explained as well as the own solving problem approach for multirate, i.e. multiservice traffic. Model with two Poisson traffics in primary group, whereupon the rejected calls of one of them are directed to two alternative groups in sequence, is investigated. Serving intensity is changed from primary and gets different values in other groups. Generating function technique is used for the analytical solving steady state equations system. This model is applicable in traditional and next generation networks with alternative routing and admission control.*

Keywords: *IP traffic, overflow traffic, changed serving intensity, alternative routing*

THE ANALITICAL SOLUTION OF MODEL WITH CHANGING SERVING INTENSITY AND POSSIBILITY USE IN NEXT GENERATION NETWORKS

Bojan Bakmaz, Miodrag Bakmaz