XXXIX Simpozijum o novim tehnologijama u poštanskom i telekomunikacionom saobraćaju – PosTel 2021, Beograd, 30. novembar i 1. decembar 2021.

https://doi.org/10.37528/FTTE/9788673954455/POSTEL.2021.018

OSNOVNA SVOJSTVA BPP SAOBRAĆAJA MOBILNIH MREŽA

Bojan Bakmaz, Zoran Bojković, Miodrag Bakmaz
Univerzitet u Beogradu - Saobraćajni fakultet
b.bakmaz@sf.bg.ac.rs, z.bojkovic@yahoo.com, bakmaz@sf.bg.ac.rs

Sadržaj: *BPP saobraćaj podrazumeva multiservisni saobraćaj Bernulijevog, Poasonovog i Paskalovog tipa (definisan pojedinačno u En(g)setovom, Erlangovom i Paskalovom modelu), koji je od velikog interesa za saobraćajno modelovanje aktuelnih mobilnih mreža, pri čemu je Paskalov (negativno binomijalni) model predviđen kao zamena za klasične metode modelovanja prelivnog saobraćaja. Fenomen multiservisnog saobraćaja, uz mogućnost prelivanja i primene raznih tehnika rezervacije resursa definitivno eliminiše ideje eksplicitnog rešavanja jednačina statističke ravnoteže i upućuje na simulacione metode, potom primenu heurističkih metoda, poput Vilkinsonovog ERT metoda, Hejvortovog obrazca, algoritma Kaufman – Roberts-a ili njegove modifikacije.*

Ključne reči: *BPP saobraćaj, multiservisni saobraćaj, prelivni saobraćaj, rezervacija resursa, algoritam Kaufman – Roberts-a*

1. Uvod

Prelivanje saobraćaja je jedan od najpoznatijih i najstarijih kontrolnih mehanizama distribucije saobraćaja u telekomunikacionim mrežama. Primena je bila moguća po uvođenju krozbar komutacionih sistema u hijerarhijske telefonske mreže, početkom druge polovine prošlog veka [1]. Mehanizam je široko korišćen u paketskim mrežama radi optimizacije distribucije saobraćaja pomoću izjednačenja opterećenja individualnih konekcionih puteva. U IT sistemima je od pomoći za organizovanje fajlova, a poslednjih godina je u funkciji povećanja efikasnosti *data* centara (ujednačenje opterećenja i ograničenje potrošnje energije) i *cloud* rešenja.

U optičkim mrežama mehanizam prelivnog saobraćaja je jedan od ključnih, razmatran u ranijoj fazi dimenzionisanja tih mreža (*Optical Burst Switching Networks*). Prelivni saobraćaj se široko koristi i u pristupnim mrežama, primarno u mobilnim mrežama. Glavni razlog uvođenja je optimizacija korišćenih resursa ponuđenih od raznih tehnologija (2G do 5G), koje deluju u istoj oblasti i pripadaju istom operatoru.

Mada su modeli prelivnog saobraćaja uglavnom zasnivani na Poasonovskom pristupu, pažnju je zasluživao i Engsetov model [2], kroz proširenja na Paskalov model i model sa prelivnim saobraćajem [3 - 6]. U radu [12] naveden je solidan pregled matematičkih modela, teorijskih i empirijskih rešenja, vezano za prelivni saobraćaj klasičnih jednoservisnih mreža. Matematički modeli zasnivaju se na višedimenzionalnim jednačinama stanja markovskih procesa i njihovom numeričkom ili eksplicitnom rešavanju. Od empirijskih, inženjerskih metoda najpoznatiji su ERT (*Equivalent Random Traffic*) [1] i FH (Fredricks - Hayward's, Hejvortov) metod [7].

Modeli multiservisnog prelivnog saobraćaja aktuelizovani su krajem prošlog veka, uporedo sa uvođenjem prve multiservisne mreže ISDN (*Integrated Services Digital Network*) i teorijski su izazov sve do danas [8]. Iskustva sa jednoservisnim sistemima korišćena su kao polazna za multiservisne sisteme prelivnog saobraćaja (Bernuli-Poason-Paskal) [11]. Rešenje iz [8] predstavlja osnov za formiranje većeg broja naprednijih modela sistema sa prelivnim saobraćajem, kao što su nepotpuna dostupnost sekundarnih resursa, sistem sa multiservisnim Engsetovim tokovima saobraćaja, mogućnosti opsluge elastičnog, kao i adaptivnog saobraćaja.

Radovi [13,14] iznose najnovije domete i rezultate u oblasti modelovanja multiservisnih mreža sa BPP saobraćajem, pri čemu je predstavljena bogata literatura, koja nas uvodi u ovu problematiku. Ovaj rad ima ulogu da akcentuje klasične modele i metode od značaja za istraživanje aktuelnog multiservisnog telekomunikacionog saobraćaja, posebno u mobilnim mrežama, kroz mehanizme prelivanja.

2. Opsluga Engsetovog i Paskalovog toka

Problem opsluge Engsetovog (primitivnog) toka zahteva, kao podvrste simetričnog toka, u potpuno dostupnoj grupi bez čekanja i sa eksponencijalnom raspodelom vremena opsluge po Kendalu, (*M/M/s/s/q*), može se sagledati u okviru opšteg rešenja za proces "nastajanja i nestajanja". Zamenom opšteg parametra dolaznog toka parametrom Engsetovog toka $\lambda_i = (q - i)\alpha$, gde je q broj ravnopravnih izvora saobraćaja, α parametar dolaznog toka po slobodnom izvoru, a i stanje zauzeća sistema, dobija se Engsetova raspodela (Skraćena binomijalna raspodela)

$$b_c\left(q, s, \frac{\alpha}{\mu}\right) = b_t\left(q-1, s, \frac{\alpha}{\mu}\right) = \frac{q-s}{q} b_t. \tag{1}$$

Pokazuje se da, ako za broj izvora imamo $q\to\infty$ i za parametar svakog izvora $\alpha\to 0$, odnosno $q\alpha\to\lambda$, prethodna raspodela prelazi u Erlangovu. Za praktične potrebe to se može prihvatiti već za $q > 15s$.

Gubitak po vremenu (verovatnoća blokiranja) je

$$b_t = p_s = \frac{\binom{q}{s}\left(\frac{\alpha}{\mu}\right)^s}{\sum_{j=0}^{s}\binom{q}{j}\left(\frac{\alpha}{\mu}\right)^j}, \tag{2}$$

dok je gubitak zahteva

$$b_c = \frac{\binom{q-1}{s}\left(\frac{\alpha}{\mu}\right)^s}{\sum_{j=0}^{s}\binom{q-1}{j}\left(\frac{\alpha}{\mu}\right)^j}. \tag{3}$$

Iz gubitaka po vremenu može se dobiti gubitak zahteva i obrnuto, jer važi

$$b_c\left(q,s,\frac{\alpha}{\mu}\right)=b_t\left(q-1,s,\frac{\alpha}{\mu}\right)=\frac{q-s}{q}b_t. \tag{4}$$

Srednji parametar dolaznog toka je

$$\lambda_{sr}=\sum_{i=0}^{s}\lambda_i p_i=\sum_{i=0}^{s}(q-i)\alpha p_i=\alpha(q-y_o). \tag{5}$$

Koristeći činjenicu da za stacionarni proces "nastajanja i nestajanja" važi

$$i\mu p_i=\lambda_{i-1}p_{i-1}, \tag{6}$$

za obavljeni (opsluženi) saobraćaj bi se dobilo

$$y_o=\sum_{i=1}^{s}ip_i=\frac{1}{\mu}\sum_{i=1}^{s}\lambda_{i-1}p_{i-1}=\frac{1}{\mu}\sum_{i=0}^{s-1}\lambda_i p_i=\frac{\lambda_{sr}}{\mu}(1-b_c). \tag{7}$$

Na bazi (5) i (7) može se izraziti srednji parametar preko gubitaka zahteva

$$\lambda_{sr}=\frac{q\alpha}{1+\alpha(1-b_c)/\mu}, \tag{8}$$

dok bi obavljeni saobraćaj po jednom izvoru bio

$$a_o=\frac{y_o}{q}=\frac{\alpha(1-b_c)}{\mu+\alpha(1-b_c)}. \tag{9}$$

Uočimo da se srednji parametar, zavisno od broja kanala u sistemu, kreće u granicama

$$\lambda_{sr}=\begin{cases} q\alpha, & s=0 \\ \dfrac{q\alpha}{1+\alpha/\mu}, & s\geq q. \end{cases} \tag{10}$$

Pri manjim gubicima b_c Engsetov tok se ponaša kao Bernulijev, dok pri većim poprima svojstva Poasonovog toka (8). U ranijim radovima korišćen je saobraćaj koji odgovara srednjem toku zahteva, međutim, takva definicija saobraćaja se manje koristi, jer po njoj ponuđeni saobraćaj zavisi od stanja sistema i generisanih zahteva u intervalu verovatnog trajanja izgubljenog zahteva.

Opšte prihvaćeno je da se ponuđeni saobraćaj definiše kao saobraćaj koji opslužuje sistem bez gubitaka i koji ne zavisi od parametara sistema. Za ovakav slučaj sistem bi imao q kanala, a ponuđeni saobraćaj bi bio

$$y=\sum_{i=1}^{q}ip_i=\frac{1}{\mu}\sum_{i=1}^{q}\lambda_{i-1}p_{i-1}=\frac{q\alpha}{\mu+\alpha}=qa, \tag{11}$$

dok je njegov gubitak, sada različit od gubitka zahteva,

$$b_y=\frac{y-y_o}{y}=\frac{b_c}{1+\alpha(1-b_c)/\mu}=\frac{\lambda_{sr}}{q\alpha}b_c. \tag{12}$$

Važi relacija $b_t > b_c > b_y$ a primetimo i da je odnos gubitaka saobraćaja i gubitaka zahteva isti kao odnos srednjeg parametra i maksimalnog parametra (za $s = 0$). Ponuđeni saobraćaj je rezultat generisanja zahteva u sistemu bez gubitaka zahteva ($s = q$), u periodima kada izvor nije u zauzeću i tada odgovara srednjem parametru toka zahteva za vreme srednjeg trajanja opsluge (Bernulijev saobraćaj). Povećanje srednjeg parametra sa smanjenjem s nastaje kao rezultat činjenice da se povećava gubitak i da izvori čiji se zahtevi gube zbog zauzeća svih kanala grupe, u toku vremena kad bi se ti zahtevi opsluživali, mogu da generišu nove zahteve (slično ponovljenim). Ovde definisan ponuđeni saobraćaj te zahteve ne uzima u obzir.

U Engsetovom sistemu razlikuju se tri vrste gubitaka, za raziku od Erlangovog sistema sa gubicima, gde je gubitak jedinstven, a PASTA osobina, karakteristična za Poasonov saobraćaj, zamenjuje se opštijom Teoremom nailazaka, po kojoj stanju sistema posmatranog od strane jednog izvora odgovara verovatnoća stanja sistema bez ovog izvora. Ovo se ogleda u formuli za gubitak zahteva (3), gde je verovatnoća gubitka zahteva slučajnog izvora jednaka verovatnoći da preostalih $q - 1$ izvora zauzmu svih s kanala, odnosno gubitku po vremenu.

U slučaju kada je $q \leq s$, važi $\lambda_q = 0$, pa je $b_c = 0$. Zamenom $\alpha/\mu = a/(1-a)$ u raspodelu (2) dobija se binomna (za $q = 1$ Bernulijeva) raspodela

$$p_i = \binom{q}{i} a^i (1-a)^{q-i}, \qquad i = 0,1,...,s\,. \tag{13}$$

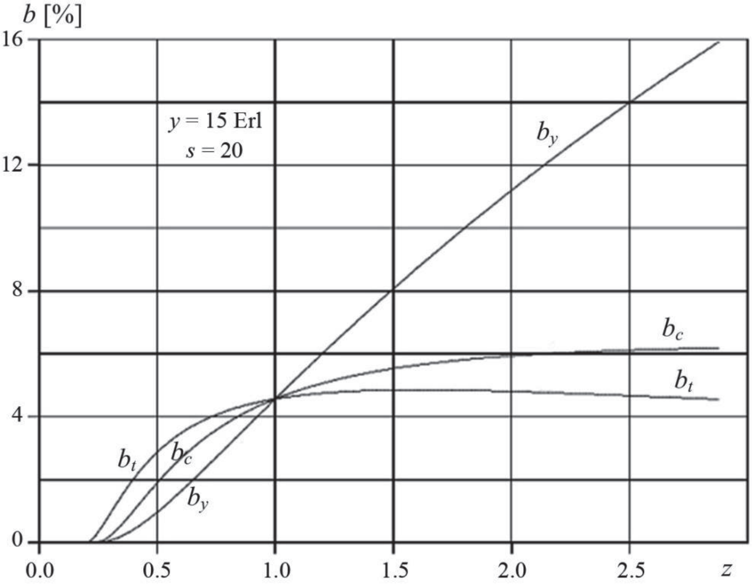
Pri ravnomernom opterećenju svih kanala saobraćaj opslužen jednim kanalom je $\rho = qa/s$, gubici po vremenu su $b_t = a^s = \rho^s$ za $q = s$, a za $s > q$ su nula. Ponuđeni i obavljeni saobraćaji su isti, $y = y_o = qa = s\rho$, sa varijansom $v = qa(1 - a)$, manjom od y.

Moguće je prostiji Erlangov model dovesti u relaciju sa Engsetovim modelom preko vršnog faktora, koji se definiše kao odnos varijanse i srednje vrednosti verovatnoća stanja, $z = v/m$. Ponuđeni saobraćaj, njegova varijansa, a samim tim i vršni faktor, definišu se na dovoljno velikoj grupi, tako da svi ponuđeni zahtevi budu opsluženi. U Erlangovom slučaju to je grupa sa beskonačnim brojem kanala, proces nailazaka je Poasonov, koji formira Čist slučajni saobraćaj tipa I (*Pure Chance Traffic Type* I, PCT-I), sa intenzitetom $m = y = \lambda/\mu$ i $z = 1$. Engsetov model podrazumeva ponuđeni saobraćaj koji se naziva Čist slučajni saobraćaj tipa II (*Pure Chance Traffic Type Two*, PCT-II), često i Bernulijev, koji ima intenzitet $y = q\alpha/(\mu + \alpha) = qa$ (11) i varijansu $v = qa(1 - a)$, dok je vršni faktor manji od jedinice, $z = 1 - a = \mu/(\mu + \alpha) < 1$.

Osim osnovnih formula, za veće vrednosti parametara preporučuju se i rekurentne formule za proračun gubitaka po Erlangovoj formuli, na bazi verovatnoće nižeg stanja ili na bazi gubitka u manjoj grupi, a slično važi i za gubitke u Engsetovom modelu. Alternativno, mogu se koristiti numerički paketi podržani Hipergeometrijskom funkcijom ${}_2F_1$ (Python, MATLAB), u obliku $1/b_c = {}_2F_1\,(1, -s, q\text{-}s, -1/(\lambda/\mu)$.

Za slučaj Skraćene Paskalove (Negativne binomijalne) raspodele, koja se formalno dobija iz Engsetove raspodele odgovarajućom izmenom: q se zamenjuje sa $-q$, a α sa $-\alpha$, pri zauzetih i kanala, parametar je $\lambda_i = (q+i)\alpha$, a vršni faktor $z = \mu/(\mu-\alpha) > 1$.

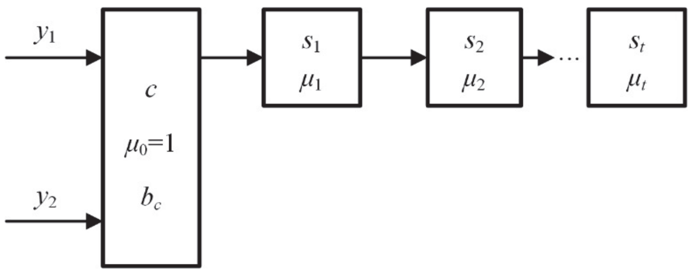
Tri saobraćajna modela, EEP (Engsetov – Erlangov – Skraćeni Paskalov), odnosno tri vrste ponuđenog saobraćaja, BPP (Bernulijev, Poasonov, Paskalov), uključuju sve vrednosti vršnog faktora, $z > 0$ i mogu se koristiti za modelovanje saobraćaja pomoću dva parametra: srednje vrednosti y i vršnog faktora z (odnosno varijanse v). Za proizvoljnu vrednost z broj izvora q generalno postaje necelobrojan. Osnovi parametri performansi za sisteme sa gubicima, b_t, b_c, b_y, jednaki su za Erlangov model, za Engsetov model važi $b_t > b_c > b_y$, dok je za slučaj Skraćene Paskalove raspodele $b_t < b_c < b_y$ (Slika 1).



Slika 1. *Zavisnost gubitaka BPP saobraćaja od vršnog faktora*

3. Generalizovani model jednoservisnog prelivnog saobraćaja

Ovaj model, izložen u [12], bazira se na *birth-and-death* (1+t)-dimenzionalnom procesu i reprezentuje izazov u eksplicitnom rešavanju odgovarajućeg sistema jednačina statističke ravnoteže. Sistem opsluge je sa dva Poasonova saobraćaja, y_1 i y_2, ponuđena primarnoj grupi od c kanala, sa jediničnim intenzitetom opsluge, $\mu_0 = 1$. Odbačeni zahtevi saobraćaja y_1 usmeravaju se sekvencijalno ka t alternativnih grupa, koje imaju $s_1,..., s_t$ kanala, slučajno biranih u grupi, pri čemu su intenziteti opsluge normalizovani i različiti, $\mu_1,..., \mu_t$ (Slika 2).



Slika 2. *Jednoservisni model sa t alternativnih heterogenih grupa*

Iz sistema jednačina statističke ravnoteže, korišćenjem tehnike generišuće funkcije, dobija se opšte rešenje verovatnoća stanja u obliku

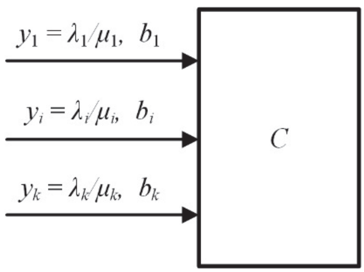
$$p(m,n_1,...,n_t) = (-1)^{n_{1t}} \sum_{k_1=n_1}^{s_1} \binom{k_1}{n_1} ... \sum_{k_t=n_t}^{s_t} \binom{k_t}{n_t} R_{(\mu k)_{1t}}(m) C(k_1,...,k_t), \tag{14}$$

gde su (m, n_1,…, n_t) stanja zauzeća u grupama kapaciteta (c, s_1,…, s_t), $n_{ij} = n_i + \ldots + n_j$ i $(\mu n)_{ij} = \mu_i n_i + \ldots + \mu_j n_j = \mu n$ (n ceo broj dok μ može biti necelobrojno). Parametar $R_{(\,)}$ je eksplicitno određen, dok se koeficijenti $C(\;)$ određuju numerički [12]. Izvedeno je i eksplicitno rešenje za $t = 2$, dok su dotadašnja rešenja važila za $t = 1$ (jedna alternativna grupa, Kosten, Brokmajer, Nil [6]) i proističu iz ovog modela.

4. Multibrzinski saobraćaj

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 intenzitet opsluge. Ako je intenzitet nailaska zahteva λ(1/s), a srednja informaciona brzina $v_c = \lambda r$, ponuđeni saobraćaj će imati intenzitet $y = \lambda/\mu = v_c/C$ (E), mada se kao ponuđeni saobraćaj često smatra samo srednja informaciona brzina.

Slučaj resursa kapaciteta C može se tretirati kao celobrojna višestruka vrednost osnovne brzine prenosa b (alokaciona jedinica). Pretpostavljeno je k tokova zahteva, pri čemu za i-ti važi da je Poasonov, 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 $y_i = \lambda_i/\mu_i$. Svaki od tokova ima sopstveni gubitak, uz pretpostavku da se zahtev, koji stigne na resurs, uspostavlja ako ima dovoljno raspoložive prenosne brzine.



Slika 3. *Model opsluge više tokova raznih brzina u sistemu sa gubicima*

Za broj prihvaćenih zahteva m_i , i = 1, ... , k, imamo k – dimenzionalni Markovski proces, sa verovatnoćama stanja sistema oblika

$$p(m_1,...,m_k) = p_0 \prod_{i=1}^{k} \frac{y_i^{m_i}}{m_i!}, \tag{15}$$

gde su

$$p_0^{-1} = p(0,...,0)^{-1} = \sum_c \prod_{i=1}^{k} \frac{y_i^{m_i}}{m_i!} \tag{16}$$

i

$$c = \left\{ (m_1,...,m_k), \quad 0 \le m_i \le \lfloor C / b_i \rfloor, \quad \sum_{i=1}^{k} m_i b_i \le C \right\}. \tag{17}$$

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

$$B_i = \sum_{c_1} p(m_1,...,m_k), \quad c_1 = \left\{ (m_1,...,m_k), \quad \sum_{i=1}^{k} m_i b_i > C - b_i \right\}. \tag{18}$$

Dobijeni su gubici koji imaju sopstvene vrednosti za razne tokove, za razliku od Erlangovog modela gde su ti gubici isti. S druge strane, 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 jednodimenzionalnim Markovskim procesom [9,10].

Prethodno izložen princip naziva se politikom potpunog deljenja resursa, za razliku od recimo politike parcijalnog deljenja, ili potpunog deljenja sa ograničenjem zauzeća, čiji je cilj izjednačenje gubitaka različitih tokova. Jedna od mogućih strategija CAC (*Call/Connection Admission Control*) 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.

5. Multiservisni saobraćaj

Savremene paketske mreže opslužuju više klasa zahteva (poziva). U saobraćajnoj teoriji pretpostavka je da se u multiservisnim sistemima poziv smatra paketskim potokom (*stream*) koji se odnosi na dati servis, a često se naziva i tokom (*flow*). Prema većem broju istraživačkih studija potvrđeno je da tokovi zahteva za veći broj servisa mogu se aproksimirati Poasonovim tokovima. Zahtev klase *i* dodeljuje se određena konstantna bitska brzina b_i, određena na bazi maksimalne brzine ili drugim metodama, koja se u modelima izražava brojem alokacionih jedinica.

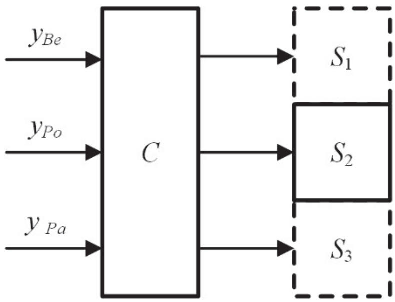
Razlikuje se više vrsta saobraćaja sa prepoznatljivim osobenostima. Kod striming (*streaming*) saobraćaja bitska brzina zahteva, kao i vreme opsluge, nezavisni su od aktuelnog opterećenja mreže. Multiservisne mreže, poput Interneta, sa diferenciranim QoS parametrima, paketske su mreže u kojima su pozivi (zahtevi, tokovi paketa) pod uticajem različitih mehanizama saobraćajnog oblikovanja (*shaping*). Elastični saobraćaj je povezan sa mehanizmom kompresije bez praga, koji se odnosi primarno na servise koji nisu u realnom vremenu, a koriste TCP (*Transmission Control Protocol*) konektivnost. U stanjima sa visokim opterećenjem resursa odsustvo slobodnih alokacionih jedinica radi opsluge novih zahteva dovodi do kompresije svih zahteva koji se u tom trenutku opslužuju. Kompresija se bazira na povećanju vremena opsluge uz istovremeno opadanje broja odobrenih alokacionih jedinica do vrednosti koja dopušta da se opsluži novi zahtev. Modelovanje sistema sa elastičnim saobraćajem bazira se na uvođenju fiktivnih virtuelnih resursa u sistem, što odgovara kompresiji u sistemu sa realnim kapacitetom.

Adaptivni saobraćaj je vezan za kompresioni mehanizam pomoću praga, koji se koristi u slučaju izvršenja servisa u realnom vremenu sa podrškom RTP (*Real-Time Transport Protocol*) i RTCP (*Real-Time Control Protocol*). Resursi sistema su podeljeni u oblasti opterećenja (LA, *load area*) ograničene odgovarajućim pragovima zauzeća. Kada posmatrani sistem premaši predefinisni prag zauzeća, novi zahtev biće prihvaćen sa smanjenim, ranije definisanim, brojem alokacionih jedinica, pri čemu ostaje u potpunosti nepromenjeno izvršenje servisa.

Vreme opsluge ne zavisi od opterećenja sistema i identično je za sve oblasti opterećenja. Pretpostavka je da prag kompresionog mehanizma funkcioniše nezavisno u primarnim i sekundarnim resursima, pri čemu se zahtevi prelivaju u nekomprimovanom obliku. Važno je napomenuti da mehanizam kompresije preko praga redukuje bitsku brzinu samo prilikom prihvatanja novog zahteva, dok se ona ne menja u toku opsluge. Za razliku od njih, ranije pomenuti mehanizmi kompresije bez definisanog praga, utiču na zahteve koji su već opsluženi.

6. Multiservisni sistemi sa prelivnim saobraćajem

Priroda multiservisnog saobraćaja je vrlo kompleksna, zahteva slojevitu analizu, a u slučaju modeliranja prelivnog saobraćaja otvara se više izazova. Iskustva sa jednoservisnim modelima su ohrabrujuća, ali više kao potpora sa eksplicitno rešenim modelima i empirijskim rešenjima prihvaćenim u naučnoj praksi. Zapažen je interes za multiservisni saobraćaj tipa BPP, koji uključuju Markovsku međuzavisnost intenziteta saobraćaja i stanja zauzeća resursa. Ovde spomenimo Delbrukov rad [4] od pre više decenija, kojim se pridaje značaj ovoj kombinaciji saobraćaja.



Slika 4. *Osnovni model BPP saobraćaja sa prelivanjem*

Na slici 4 prikazan je BPP model sa prelivnim saobraćajem, za koji postoji interes da se teorijski i simulaciono rešava, uz podrazumevanu potporu iskustava rešavanja jednoservisnih modela.

7. Zaključak

Fenomen prelivnog saobraćaja je sedamdesetak godina pratilac razvoja telefonskih mreža, odnosno tehnike komutacije kola, a i danas nailazimo na slučajeve gde je taj mehanizam neizbežan. Pojava Interneta je pokazala nadmoć neizbežnog tehnološkog razvoja. Problem prelivnog saobraćaja, kao jednoservisnog, je skrajnut, ali je kao multiservisni našao plodno tlo u oblasti mobilnih mreža. Na istraživačima je da kompleksne probleme, ako ne analitički, rešavaju tako što će postojeće prihvaćene modele iskoristiti za lakše razumevanje aktuelnih saobraćajnih problema. Čini se da je BPP kombinacija saobraćaja dobar polaz za to.

Literatura

[1] R. I. Wilkinson, "Theories for toll traffic engineering in the U.S.A.", *Bell System Technical Journal*, vol. 35, no. 2. pp. 421-514, Mar. 1956.

[2] T. O. Engset, "The probability calculation to determine the number of switches in automatic telephone exchanges", English translation by E. Jensen, *Telektronikk*, June 1991, pp. 1-5, ("Die Wahrscheinlichkeitsrechnung zur Bestimmung der Wählerzahl in automatischen Fernsprechämtern", *Elektrotechnische zeitschrift*, 1918, Heft 31.)

[3] B. Wallström, "Congestion studies in telephone systems with overflow facilities", *Ericsson Technics*, vol. 22, pp. 187–345, 1966.

[4] L. E. N. Delbrouck, "A unified approximate evaluation of congestion functions for smooth and peaky traffics", *IEEE Transactions on Communications*, vol. 29, no. 2, pp. 85-91, Feb. 1981.

[5] R. Schehrer, "On the calculation of overflow systems with a finite number of sources and full available groups", *IEEE Transactions on Communications*, vol. 26, no. 1, pp. 75-82, Jan. 1978.

[6] V. Iversen, *Teletraffic Engineering Handbook*, Technical Report, Technical University of Denmark, 2010.

[7] A. Fredericks, "Congestion in blocking systems – A simple approximation technique", *The Bell System Technical Journal*, vol. 59, no. 6, pp. 805-827, July-Aug. 1980.

[8] Q. Huang, K. T. Ko, V. B. Iversen, "Approximation of loss calculation for hierarchical networks with multiservice overflows", *EEE Transactions on Communications*, vol. 56, no. 3, pp. 466-473, Mar. 2008.

[9] J. Kaufman, "Blocking in a shared resource environment", *IEEE Transactions on Communications*, vol. 29, no. 10, pp. 1474-1481, Oct. 1981.

[10] J. Roberts, "A service system with heterogeneous user requirements — Application to multi-service telecommunications systems", in *Proc. Performance of Data Communications Systems and their Applications*, G. Pujolle, ed., pp. 423-431, Amsterdam, North Holland, 1981.

[11] M. Stasiak, M. Głabowski, A. Wiśniewski, and P. Zwierzykowski, *Modeling and Dimensioning of Mobile Networks: From GSM to LTE*, Wiley, 2011.

[12] B. Bakmaz, Z. Bojkovic, M. Bakmaz, "Queuing loss models with more alternative heterogeneous groups", *International Journal of Communication Systems*, vol. 31, no. 6, e3522, pp. 1-14, Apr. 2018.

[13] M. Głąbowski, D. Kmiecik, M. Stasiak, "Modelling of multiservice networks with separated resources and overflow of adaptive traffic", *Wireless Communications and Mobile Computing*, vol. 2018, Article ID 7870164, pp. 1-17, Aug. 2018.

[14] M. Głabowski, D. Kmiecik, M. Stasiak, "On increasing the accuracy of modeling multi-service overflow systems with Erlang-Engset-Pascal streams", *Electronics*, vol. 10, no. 4, 508, Feb. 2021.

Abstract: *BPP traffic is by default multiservice traffic of Binomial–Poisson–Pascal type (singularly defined in Engset, Erlang, and Pascal model). It is of great importance for teletraffic modeling in current mobile networks. Here, Pascal (negative binomial) model is contemplated as a substitution for traditional methods in overflow traffic engineering. The phenomenon of multiservice traffic, together with overflow possibility and various resource reservation techniques, obviously eliminates ideas for explicitly solving steady-state equations. On the other hand, simulations methods as well as heuristic methods, such as Wilkinson's ERT method, Fredericks - Hayward's method, Kaufman - Roberts algorithm, together with their modifications are of significance in this field.*

Keywords: *BPP traffic, multiservice traffic, overflow traffic, resource reservation, Kaufman – Roberts algorithm*

BASIC PROPERTIES OF BPP TRAFFIC IN MOBILE NETWORKS

Bojan Bakmaz, Zoran Bojković, Miodrag Bakmaz