

# SAVASTINGUMO ĮTAKOS TINKLO MAZGO DARBUI TYRIMAS

Liudvikas Kaklauskas, Leonidas Sakalauskas

Šiaulių universitetas

## Įvadas

Šiuolaikiniuose kompiuterių tinkluose dažnai pasitaiko apkrovų ir perkrovų, kurias sunku prognozuoti iš anksto. Norint efektyviai valdyti tinklą, būtina stebėti tinklo mazgo apkrovas bei perkrovas, siekti maksimalios aptarnavimo kokybės. Tyrimai patvirtino, kad šiuolaikinio kompiuterių tinklo parametrų modeliavimui netinka klasikiniai Markovo modeliai, pasitelkiami įvertinant klasikinių telefoninių tinklų rodiklius (Taqqu, Teverovsky, 1998). Empiriniai kompiuterių tinklo paketų srauto tyrimai rodo, kad jis pasižymi savastingumu (Kaklauskas, Sakalauskas, 2008, Samorodnitsky, 2006 b). A. Erramilli, O. Narayan ir W. Willinger 1989 m. atliko Ethernet tinklo srauto empirinius tyrimus, kurie patvirtino, kad Ethernet tinklo srauto charakteristikos turi fraktalų savybių bei pasižymi savastingumu (angl. *Self-similarity*) su ilgalaike atmintimi (angl. *Log-range dependence*). Šį darbą vėliau vystė mokslininkai Kaj, Taggu, Samorodnitsky ir daugelis kitų.

Savastingųjų (angl. *self-similarity*) procesų kompiuterių tinkluose tyrimas gali padėti adekvačiai prognozuoti srauto kaitą ir prognozės rezultatus taikyti tinklo pralaidumui didinti bei jo aptarnavimo kokybei (QoS) gerinti reguliuojant paketų užlaikymą, fluktuacijų ribojimą ir paketų praradimą transporto, duomenų bei fiziniame OSI lygmenyse (Kazlauskas, 2003, Pu ir kt., 2006, Plėštys ir kt., 2008).

**Tyrimo tikslas** – ištirti įėjimo (arba aptarnavimo) srauto savastingumo įtaką tinklo mazgo darbui, priklausančią nuo aptarnavimo eilės bei joje taikomos aptarnavimo disciplinos, apkrovos ir aptarnavimo intensyvumo bei savastingumo.

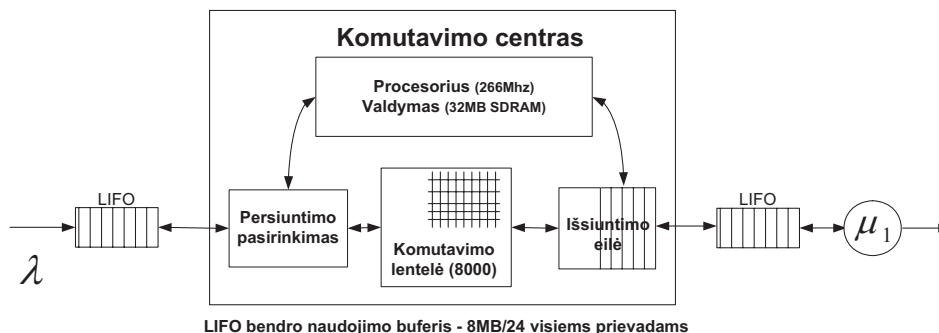
**Tyrimo objektas** – kompiuterių tinklo duomenų srautas.

**Tyrimo metodai:** tinklo modeliavimas, statistinė analizė, loginis apibendrinimas.

Analogiško tyrimo, kuriame būtų analizuojama kompiuterių tinklo srauto savybių įtaka tinklo mazgo apkrovai, Lietuvoje nebuvo atlikta. Tyrimas aktualus tuo, kad įvertinus tinklo srauto savybes galima parinkti optimalią tinklo mazgų įrangą, kuri stabiliai aptarnautų tinklą esant didelėms tinklo perkrovoms. Stabilus kompiuterių tinklo darbas ypač aktualus mokymo įstaigose, kai studijų procese taikomos nuotolinės studijos. Tyrimais nustatyta, kad mokomajam tinklui yra būdingos perkrovos dėl studijų sezoniškumo bei studijavimo ypatumų (Kaklauskas, Sakalauskas, 2008).

## Tinklo mazgo aptarnavimo modelis

Kompiuterių tinklą galima nagrinėti kaip tinklą, sudarytą iš atskirų mazgų (komutatorius, tiltas, maršrutizatorius, serveris), atliekančių informacinių srautų apdorojimo ir paskirstymo funkcijas, ir tinklo klientų, inicijuojančių bei naudojančių šiuos srautus. 1 paveiksle pateikta tinklo komutatoriaus (ProCurve 2650, IEEE-802.3 arba Ethernet standartas), aptarnaujančio nuotolinių studijų tinklo serverius, schema. Ethernet arba IEEE-802.3 standartas plačiai taikomas vietiniuose kompiuterių tinkluose, kai naudojamas daugkartinės prieigos su nešančiojo signalo kontrole ir konfliktų aptikimu metodu (angl. *CSMA / CD – Carrier Sense Multiple Access / Collision Detection*). Ethernet standartas sukurtas 1972 m., o 1980 m. buvo suformuluoti reikalavimai IEEE-802.3 (Kazlauskas, 2003).

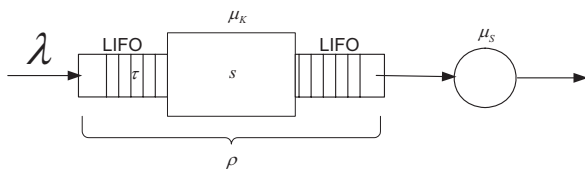


1 pav. Modeliuojamos vieno kanalo aptarnavimo sistemos schema

Kompiuterių tinklu perduodamas duomenų paketas yra laikomas viena paraiška. Kiekviena pa-

raiška tinkle turi savo gyvavimo laiką, kuris patikrinamas tinklo mazge ir, jei laikas yra pasibaigęs,

paraiška naikinama. Siekiant išvengti paraiškų praradimo, tinklo mazguose naudojama buferinė atmintis, kurioje atėję paketai saugomi tol, kol bus aptarnauti (Lemoine ir kt., 2004). 1 paveiksle pavaizduotame komutatoriuje tinklo eilės aptarnavimui taikomas LIFO (angl. *Last-in – First-out*) metodas, aptarnaujantis tinklą pagal principą *paskutinis įėjai, pirmas aptarnaujamas*. Modeliuojamo tinklo kanalo plotį galima apskaičiuoti vidutinį paketo ilgį padalinus iš paketo aptarnavimo laiko ir gautąją reikšmę padauginus iš paketų skaičiaus (Plėštys ir kt., 2008). Bendruoju atveju ši įrenginį galima modeliuoti kaip vienkanalę aptarnavimo sistemą su rekurentiniu įėjimo srautu, bendro pobūdžio aptarnavimo srautu, ribojimais paketų skaičiui buferyje ir aptarnavimo laukimo laikui  $GI / G / 1 // N$  (Олифер ir kt., 2008; Plėštys ir kt., 2008; Rindzevičius, Tervydis, 2003). Vieno kanalo aptarnavimo sistema su LIFO buferiu pavaizduota 2 paveiksle.



2 pav. Vieno kanalo aptarnavimo sistema su LIFO buferiu

Išnagrinėjus statistinę universiteto tinklo apkrovą, nustatyta, kad pagal tinklo apkrovos charakteristikas suformuotos laiko eilutės pasižymi savastingumu (Kaklauskas, Sakalauskas, 2008). Savastingasis simetriškas procesas, pasižymintis begaline dispersija, yra  $\alpha$ -stabilusis procesas (Samorodnitsky, Taggu 1994), jei kiekvienam atsitiktiniam procesui  $Y(t)$  galima aprašyti sunkias uodegas pagal formulę:  $P\{Y(t) > x\} \sim cx^{-\alpha}$ , čia  $x \rightarrow \infty$ ,  $0 < c < \infty$ , tai reiškia, kad kai  $1 < \alpha < 2$  vidurkis yra baigtinis, o kai  $0 < \alpha \leq 1$  – begalinis (Samorodnitsky, 2006 a). Vertinant bet kokią stabilųjį atsitiktinį dydį  $S_\alpha(\beta, \sigma, \mu)$  rekomenduojama įvertinti keturis stabilumo parametrus:  $\alpha$  – stabilumo indeksas  $\alpha \in (0, 2]$ , dar vadinamas uodegų indeksu, nusako proceso pliūpsniškumą;  $\beta$  – asimetrijos indeksas  $\beta \in [-1, 1]$ , nusako proceso poslinkį nulio atžvilgiu;  $\sigma$  – mastelio indeksas,  $\sigma > 0$  ir nusako proceso elementų dydį;  $\mu$  – padėties indeksas  $\mu \in R$ .

Reikia pažymėti, kad toks procesas pasižymi ir Pareto savybe. Mazgo parametrus pažymėti naudojami tokie žymėjimai:  $\lambda$  – įėjimo srauto intensyvumas,  $\mu$  – aptarnavimo srauto intensyvumas,  $\tau$  – aptarnavimo trukmė,  $\rho$  – apkrovos koeficientas,  $\bar{X}$  – vidutinis paketo ilgis,  $s$  – paketo aptarnavimo sparta,  $\bar{T}$  – vidutinis paketo buvimo sistemoje

laikas,  $\bar{W}$  – vidutinis paketo laukimo laikas sistemoje,  $\bar{N}$  – vidutinis paraiškų skaičius sistemoje,  $b$  – prarandamų paraiškų skaičius,  $p_{ppt}$  – paraiškos praradimo tikimybė,  $t_{sp}$ ,  $t_p$  – vidutinis serverio arba tinklo mazgo pilnos apkrovos laikas (Sakalauskas, 2010).

Šiuolaikinių komunikacinių tinklų srautų savybės vertinamos taikant statistinės analizės metodus bei matematinį modeliavimą. Kadangi realaus tinklo srautai pasižymi savastingumu (Kaklauskas, Sakalauskas, 2008), tinklo procesams modeliuoti ir aprašyti yra taikomi netiesinės analizės metodai, įvertinant „sunkias uodegas“ (angl. *Heavy-tail*), apibūdinančias didelius tinklo srautų pliūpsnius.

### Tinklo mazgo imitavimo modelis

Imituojant tinklo mazgo darbą kompiuteriu buvo generuojamos trukmių tarp paketų pasirodymo mazge momentų ( $\tau_0, \tau_1, \dots, \tau_n \dots$ ) ir paketų aptarnavimo trukmių ( $x_0, x_1, \dots, x_n \dots$ ) sekos. Pasinaudojant šiomis sekomis apskaičiuojamos paketų aptarnavimo charakteristikos, atsižvelgiant į šių sekų elementų skirstinius bei aptarnavimo tvarką. Buvo tirtas mazgo darbo efektyvumas, kai įėjimo ir aptarnavimo srautai yra Markovo (arba savastingieji). Imituojant Markovo procesą buvo taikomos formulės:

$$\tau_i = -\frac{\ln(\xi_i)}{\lambda}, \quad x_i = -\frac{\ln(\zeta_i)}{\mu}$$

$\xi_i$ ,  $\zeta_i$  yra nepriklausomi, tolygiai pasiskirstę vienetiniame intervale atsitiktiniai dydžiai. Savastingajam procesui imituoti buvo naudojamos formulės:

$$\tau_i = \frac{\alpha \sqrt{\ln(\xi_i) / \ln(\omega_i)}}{\lambda}, \quad x_i = \frac{\beta \sqrt{\ln(\zeta_i) / \ln(\nu_i)}}{\mu}$$

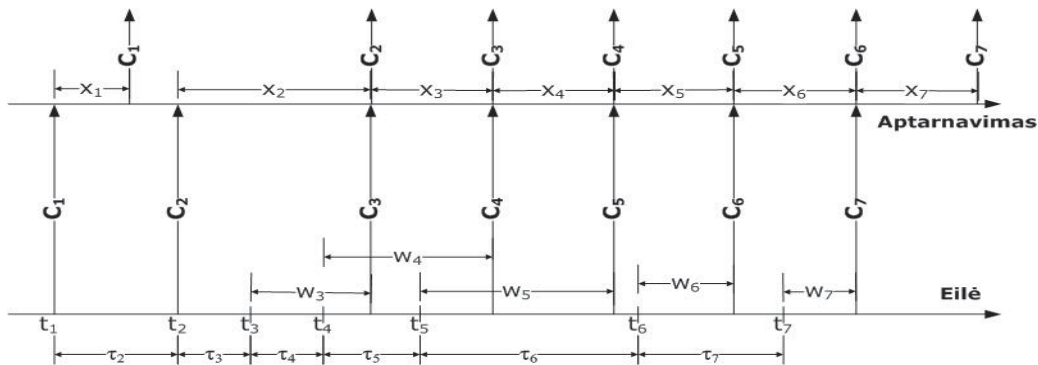
$\xi_i$ ,  $\zeta_i$ ,  $\omega_i$ ,  $\nu_i$  yra nepriklausomi tolygiai pasiskirstę vienetiniame intervale atsitiktiniai dydžiai.

Nesunku apskaičiuoti paraiškų pasirodymo momentų seką:  $t_{n+1} = t_n + \tau_{n+1}$ ,  $t_0 = 0$ . Žinant paraiškos pasirodymo momentą bei aptarnavimo ir laukimo trukmę, galima apskaičiuoti paraiškos išėjimo iš sistemos laiką:  $s_{n+1} = t_{n+1} + w_{n+1} + x_{n+1}$ . Laukimo laikas, atsižvelgiant į aptarnavimo tvarką, yra apskaičiuojamas skirtingai. Jei aptarnavimo tvarka yra FIFO (pirmas atėjo, pirmas aptarnautas), tai laukimo laikas apskaičiuojamas taikant Lindli formulę:  $w_{n+1} = \max[0, \min[w_n + x_n - \tau_{n+1}, w_{lg}]]$ , jei  $N_{n+1} \leq N_{buf}$ , kitaip  $w_{n+1} = 0$  ir paraiška patenka į prarastų paraiškų srautą, čia paprastai priimama, kad pradinio laiko momentu sistema nebuvo apkrauta:  $w_0 = 0$ . Paraiškų skaičių, liekanti sistemoje  $n + 1$  paraiškai išėjus iš sistemos, galima apskaičiuoti rekurentiniu

būdu:  $N_{n+1} = \min[N_{buf}, N_n + v_{n+1} - 1]$ , čia  $v_{n+1}$  yra paraiškų atėjusių į sistemą tarp  $n$ -osios ir  $n + 1$ -osios paraiškų išėjimų, skaičius. Nesunku pastebėti, kad skaičius  $v_{n+1}$  yra lygus atėjimo momentų, patekusių į intervalą nuo  $s_n$  iki  $s_{n+1}$ , skaičiui. Prarastų paraiškų, tarp atėjusių į sistemą tarp  $n$ -osios ir  $n+1$ -osios paraiškų ir prarastų išėjimų, skaičius yra lygus  $L_{n+1} = \max[0, N_n + v_{n+1} - N_{buf} - 1]$ .

3 paveiksle pavaizduota paraiškų aptarnavimo disciplina, kai laukimo eilė FIFO. Čia  $t_1, t_2, \dots, t_n$  yra paraiškų atėjimo laikas į tinklo mazgą,  $x_1, x_2, \dots, x_n$  – paraiškos aptarnavimo laikas,

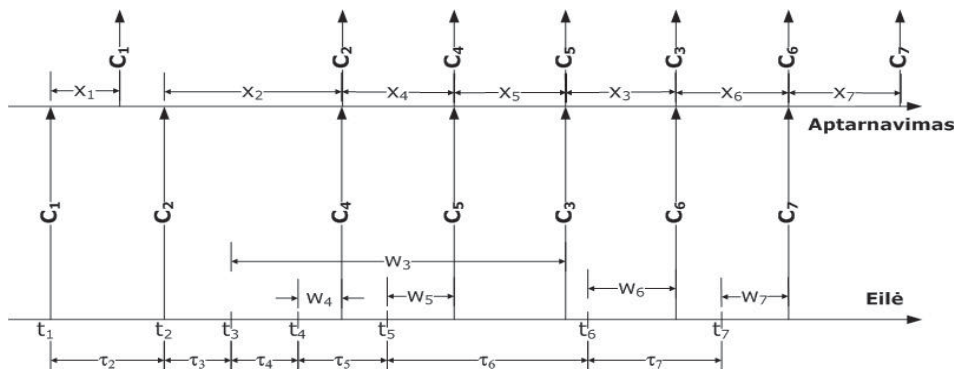
$w_1, w_2, \dots, w_n$  – paraiškos laukimo laikas buferyje, o  $C_1, C_2, \dots, C_n$  – aptarnautų paraiškų išėjimo iš tinklo mazgo laikas. Pirmoji paraiška į tinklo mazgą atėjo  $t_1$  laiku ir iš karto buvo aptarnauta per laiką  $x_1$ , nes tuo metu laukimo eilė buvo tuščia. Jos išėjimo iš sistemos laikas –  $C_1$ , o laukimo laikas  $w_1 = 0$ . Trečioji paraiška atėjo  $t_3$  laiku, kai tinklo mazgas aptarnavo antrąją paraišką, todėl ji turėjo palaukti  $w_3$  laiką buferyje, kol bus laisvas tinklo mazgas. Šios paraiškos išėjimo iš sistemos laikas turės visas tris nenulines dedamąsias  $C_3 = t_3 + w_3 + x_3$ . Analogiškai apskaičiuojamas ir kitų paraiškų išėjimo iš tinklo mazgo laikas.



3 pav. Paraiškų aptarnavimas (FIFO)

Jei aptarnavimo tvarka LIFO (pirmas atėjo, paskutinis aptarnautas), tai laukimo laikas apskaičiuojamas sudėtingiau. 4 paveiksle pateikta paraiškų aptarnavimo laiko diagrama, kai aptarnavimo tvarka LIFO ir ribojama buferio talpa. Matome, kad pirmoji paraiška, atėjusi į tinklo mazgą, bus aptarnauta iš karto. Aptarnavus pirmąją paraišką, į tinklo mazgą laiku  $t_2$  ateina antroji paraiška, kuri iš karto aptarnaujama. Laiko momentais  $t_3$  ir  $t_4$  ateina paraiškos, kurios statomos į LIFO eilę ir saugomos tinklo mazgo buferyje. Tinklo mazgui atsilaivinus, pirmi-

ausia bus aptarnaujama paskutinioji atėjusi paraiška (atėjimo laikas  $t_4$ ). Jos laukimo laikas –  $w_4$ , o aptarnavimo –  $x_4$ . Aptarnaujant ketvirtąją paraišką tinklo mazgą pasiekė dar viena paraiška, kurios atėjimo laikas –  $t_5$ . Dabar ji bus pirmoji LIFO aptarnavimo eilėje ir iš karto bus aptarnaujama tinklo mazge, kai tik jis atsilaivins. Tuo tarpu  $t_3$  laiku atėjusi paraiška lauks ilgiausiai ir bus aptarnaujama tik po penktosios paraiškos, kai į tinklo mazgą neateis naujų paraiškų, o buferyje bus likusi tik ji viena.



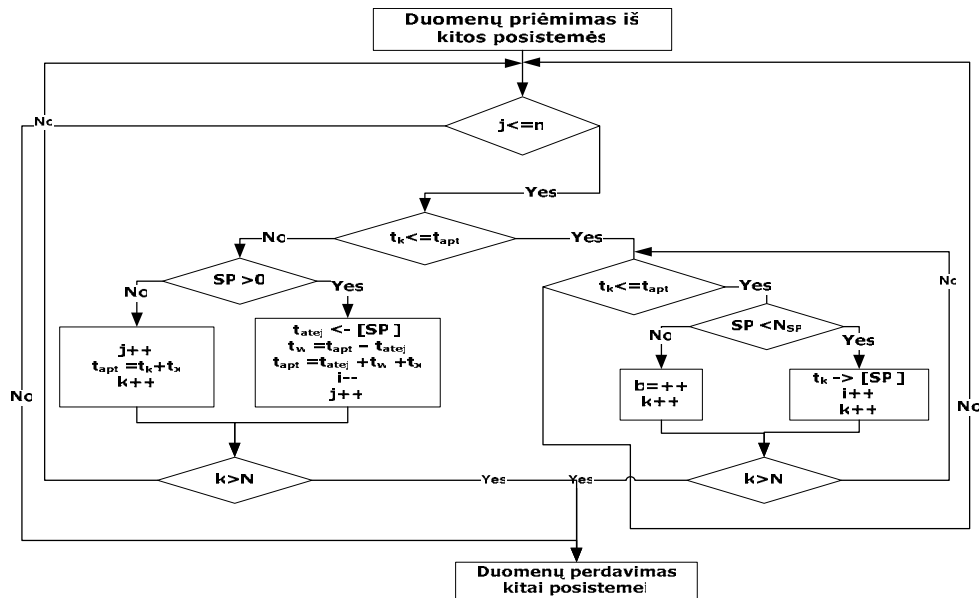
4 pav. Paraiškų aptarnavimas (LIFO)

Sukurta tinklo srauto modeliavimo paketą sudaro tinklo srauto simuliacijos posistemė, tinklo mazgo modeliavimo posistemė, valdymo posistemė bei įvesties / išvesties posistemė. Visos keturios

posistemės yra tarpusavyje susietos ir valdomos naudojant grafinę sąsają arba konfigūracijos failus. Galima aprašyti arba nurodyti duomenų srautų perdavimo tarp posistemių tvarką bei jų formatus.

5 paveiksle pateiktas vienas iš tinklo mazgo modeliavimo posistemės algoritmų, skirtų tinklo srautui aptarnauti, kai atėjusių paketų eilės buferyje aptarnavimo disciplina yra LIFO. Paveiksle galioja šie žymėjimai:  $N$  – sistemoje sugeneruotų paraiškų kiekis,  $n$  ( $n < N$ ) – numatytų aptarnauti paraiškų kiekis,  $t_k$  – paraiškos patekimo į tinklo mazgo modeliavimo posistemę laikas,  $t_{apt}$  – paraiškos išėjimo

iš tinklo mazgo modeliavimo posistemės laikas,  $j$  ( $j \leq n$ ) – einamu momentu posistemėje aptarnautų paraiškų skaičius,  $k$  ( $k \leq N$ ) – einamu momentu į posistemę atėjusių paraiškų skaičius,  $N_{SP}$  – sistemos buferio talpa,  $SP_i$  – einamu momentu nepanaudota LIFO buferio talpa,  $b$  – prarastų paraiškų kiekis.  $j++$  – reiškia, kad kintamojo reikšmė didinama vienetu, o  $i--$  – mažinama vienetu.



5 pav. Paraiškų simuliacijos algoritmas taikant LIFO eilę

Pagal šį algoritmą į tinklo mazgą atėjusios paraiškos yra aptarnaujamos tol, kol pasiekama tinklo srauto simuliacijos posistemės sugeneruotos eilutės pabaiga ( $N$ -tasis paketas) arba aptarnaujamas nurodytas paraiškų kiekis  $n$ . Sąlyga  $t_k \leq t_{apt}$  tikrina, ar atėjusio į sistemą paketo patekimo į tinklo mazgo modeliavimo posistemę laikas neviršija šiuo metu iš sistemos išeinančio paketo aptarnavimo laiko.

- Jei sąlyga tenkinama, tai atėjęs paketas negali būti aptarnautas, posistemė užimta, todėl jis yra statomas į LIFO eilę, prieš tai patikrinus, ar nėra iki galo užpildytas buferis. Jei buferis užpildytas, tai atėjusi paraiška prarandama.
- Jei sąlyga netenkinama, vadinasi, šiuo metu posistemė yra neužimta ir paketas bus aptarnaujamas, jei buferyje nėra laukiančių paketų. Jei tokių paketų yra, tai jie bus aptarnaujami pirmiau nei naujai atėjęs paketas. Apskaičiuojamas aptarnautos paraiškos išėjimo iš posistemės laikas.

Analogiškai aprašomas ir tinklo mazgo modeliavimo posistemės algoritmas, kai atėjusių paketų buferis organizuojamas taikant FIFO eilę.

## Tyrimo rezultatai

Srauto simuliacijos posistemėje buvo sugeneruotos 1000000 paraiškų turinčios įeinančio / ap-

tarnaujamo srauto laiko eilutės, keičiant šiuos parametrus:

- įeinančio arba aptarnaujamo srauto tipas: Puasono (schemose žymimas P) arba savastingasis (schemose – S);
- iėjimo srauto intensyvumas  $\lambda \in [0,1; 0,2; 0,5; 1; 2; 5; 10; 12; 15; 20; 50]$ ;
- aptarnavimo srauto intensyvumas  $\mu \in [0,1; 0,2; 0,5; 1; 2; 5; 10; 12; 15; 20; 50]$ ;
- savastingosios eilutės stabilumo indeksas  $\alpha \in [1,1; 1,2; 1,3; 1,4; 1,5; 1,6; 1,7; 1,8; 1,9]$ . Būtina pažymėti, kad tokios eilutės pasižymi ilgalaikėmis atmintimis, kuri didėja koeficientui  $\alpha$  artėjant prie vieneto.

Pagal srauto tipą ir aptarnavimo discipliną buvo išskirtos 8 eilučių grupės: PP FIFO (įeinantis srautas Puasono ir aptarnaujamas srautas Puasono, eilės aptarnavimo disciplina FIFO); PP LIFO (įeinantis srautas Puasono ir aptarnaujamas srautas Puasono, eilės aptarnavimo disciplina LIFO); SP FIFO (įeinantis srautas savastingasis ir aptarnaujamas srautas Puasono, eilės aptarnavimo disciplina FIFO); SP LIFO (įeinantis srautas savastingasis ir aptarnaujamas srautas Puasono, eilės aptarnavimo disciplina LIFO); PS FIFO (įeinantis srautas Puasono ir aptarnaujamas srautas savastingasis, eilės aptarnavimas disciplina FIFO); PS LIFO (įeinantis

srautas Puasono ir aptarnaujamas srautas savastingasis, eilės aptarnavimo disciplina LIFO); SS FIFO (įeinantis srautas savastingasis ir aptarnaujamas srautas savastingasis, eilės aptarnavimo disciplina FIFO); SS LIFO (įeinantis srautas savastingasis ir aptarnaujamas srautas savastingasis, eilės aptarnavimo disciplina LIFO).

Tiriant įeinančio ir aptarnaujamo srauto tinklo mazge intensyvumo priklausomybę nuo srauto savybių buvo generuotos laiko eilutės perrenkant visas  $\lambda$ ,  $\mu$  ir  $\alpha$  kombinacijos iš aprašytų aibių. Tinklo mazgo modeliavimo posistemėje nurodyta, kad kiekvienoje sugeneruotoje eilutėje būtina

aptarnauti ne mažiau kaip 100000 įeinančio srauto paketų. Vertinant tinklo mazge aptarnaujamo srauto savybių įtaką aptarnavimo našumui, kiekviena laiko eilutė buvo aptarnaujama keletą kartų keičiant tinklo mazgo parametrus: tinklo mazgo buferio eilės ilgis, kai  $SP_i \in [1; 2; 5; 10; 12; 15; 20; 50; 100; 200; 500]$ ; tinklo mazgo eilės aptarnavimo disciplina FIFO, LIFO.

Taip kiekvienai sugeneruotai įeinančio srauto laiko eilutei buvo gauta 11 skirtingų tos pačios eilutės aptarnavimo tinklo mazge rezultatų. Išanalizuotos 6776 sugeneruotos įeinančio srauto laiko eilutės ir gauti 74536 jų aptarnavimo tinklo mazge rezultatai.

1 lentelė. *Tinklo srauto savybių įtakos tinklo mazgo darbui pagal aptarnavimo intensyvumą įverčiai*

Grupė	$\frac{\lambda}{\mu} \leq 1$			$\frac{\lambda}{\mu} > 1$		
	Aptarnavimo tikimybė	Praradimo tikimybė	Buferio užpildymo tikimybė	Aptarnavimo tikimybė	Praradimo tikimybė	Buferio užpildymo tikimybė
PP FIFO	Mažėja	Didėja	Didėja	Mažėja	Didėja	Didėja
PP LIFO	Mažėja	Didėja	Didėja	Mažėja	Didėja	Didėja
SP FIFO	Mažėja	Didėja	Didėja	Mažėja	Didėja	Didėja
SP LIFO	Mažėja	Didėja	Didėja	Mažėja	Didėja	Didėja
PS FIFO	Lėtai mažėja	Nekinta	Nekinta	Lėtai didėja	Lėtai mažėja	Didėja
PS LIFO	Nekinta	Nekinta	Nekinta	Lėtai didėja	Lėtai mažėja	Nekinta
SS FIFO	Nekinta	Nekinta	Nekinta	Lėtai didėja	Lėtai mažėja	Lėtai mažėja
SS LIFO	Nekinta	Nekinta	Nekinta	Lėtai didėja	Lėtai mažėja	Lėtai didėja

Aptarnavimo rezultatų analizei taikyta tiesinė regresija, kai nepriklausomi kintamieji yra: santykis  $\frac{\lambda}{\mu}$ , charakterizuojantis tinklo srautą ( $\frac{\lambda}{\mu} \leq 1$  – eilė tinklo mazge baigtinė, įeinantis srautas nėra intensyvus;  $\frac{\lambda}{\mu} > 1$  – eilė begalinė, įeinantis srautas intensyvus), tinklo mazgo buferio apimtis  $SP_i$  ir laiko eilutės stabilumo indeksas  $\alpha$ , charakterizuojantis jos savastingumą.

Priklausomi kintamieji: eilutės aptarnavimo tikimybė, buferio užpildymo tikimybė ir paketų praradimo tikimybė. Vertinant nepriklausomų kintamųjų  $SP_i$  ir  $\alpha$  sąryšį su kiekvienai eilutei apskaičiuotais įverčiais, atsižvelgta į srauto intensyvumą. Žinoma, kad kai  $\frac{\lambda}{\mu} \in (0,1]$ , tai įeinančio srauto intensyvumas yra mažas. Esant dideliame įeinančio srauto intensyvumui  $\frac{\lambda}{\mu} \in (1,500]$ . Atlikus skaičiavimus, sudarytos trys lentelės.

2 lentelė. *Tinklo srauto savybių įtakos tinklo mazgo darbui pagal mazgo buferio dydį įverčiai*

Grupė	$\frac{\lambda}{\mu} \leq 1$			$\frac{\lambda}{\mu} > 1$		
	Aptarnavimo tikimybė	Praradimo tikimybė	Buferio užpildymo tikimybė	Aptarnavimo tikimybė	Praradimo tikimybė	Buferio užpildymo tikimybė
PP FIFO	Didėja	Lėtai mažėja	Lėtai didėja	Nekinta	Nekinta	Didėja
PP LIFO	Didėja	Lėtai mažėja	Nekinta	Nekinta	Nekinta	Didėja
SP FIFO	Didėja	Mažėja	Nekinta	Lėtai didėja	Lėtai mažėja	Didėja
SP LIFO	Didėja	Mažėja	Nekinta	Lėtai didėja	Lėtai mažėja	Didėja
PS FIFO	Lėtai didėja	Mažėja	Lėtai didėja	Didėja	Mažėja	Didėja
PS LIFO	Didėja	Mažėja	Lėtai didėja	Didėja	Mažėja	Didėja
SS FIFO	Didėja	Mažėja	Didėja	Didėja	Mažėja	Didėja
SS LIFO	Didėja	Mažėja	Didėja	Didėja	Mažėja	Didėja

Kai tinklo mazgo aptarnavimo srautas yra Puasono (žr. 1 lentelę), tai didėjant įeinančio srauto intensyvumui aptarnavimo tikimybė mažėja, o paketų praradimo tikimybė didėja. Kai tinklo mazgo aptarnavimo srautas yra savastingasis, tai paketų aptarnavimo tikimybė nekinta, keičiantis įeinančio

srauto intensyvumui, o tinklo mazgas dirba stabiliau. Kai į tinklo mazgą įeinantis srautas yra savastingasis, tai aptarnavimo tikimybė tinklo mazge nepriklauso nuo įeinančio srauto intensyvumo. Eilės aptarnavimo disciplina LIFO PS tipo sraute užtikrina geresnę aptarnavimo kokybę.

3 lentelė. *Tinklo srauto savybių įtakos tinklo mazgo darbui pagal eilutės stabilumo indeksą įverčiai*

Grupė	$\frac{\lambda}{\mu} \leq 1$			$\frac{\lambda}{\mu} > 1$		
	Aptarnavimo tikimybė	Praradimo tikimybė	Buferio užpildymo tikimybė	Aptarnavimo tikimybė	Praradimo tikimybė	Buferio užpildymo tikimybė
PP FIFO	Nekinta	Nekinta	Nekinta	Nekinta	Nekinta	Nekinta
PP LIFO	Nekinta	Nekinta	Nekinta	Nekinta	Nekinta	Nekinta
SP FIFO	Didėja	Mažėja	Mažėja	Didėja	Mažėja	Mažėja
SP LIFO	Didėja	Mažėja	Mažėja	Didėja	Mažėja	Mažėja
PS FIFO	Lėtai mažėja	Lėtai didėja	Didėja	Mažėja	Didėja	Didėja
PS LIFO	Lėtai mažėja	Lėtai didėja	Didėja	Mažėja	Didėja	Didėja
SS FIFO	Didėja	Mažėja	Lėtai didėja	Didėja	Mažėja	Didėja
SS LIFO	Didėja	Mažėja	Lėtai didėja	Didėja	Mažėja	Didėja

2 lentelėje aprašyta buferio dydžio įtaka tinklo srauto aptarnavimui. Aptarnavimo tikimybė, esant mažam srauto intensyvumui, didėjant buferio dydžiui didėja, nepriklausomai nuo srauto savybių. Taip pat didėja ir buferio užpildymo tikimybė. Buferio eilės aptarnavimo disciplina LIFO geriau aptarnaus tinklo PS tipo srautą.

Visiškai kita situacija, kai tinklo srautas yra intensyvus. Akivaizdžiai matyti, kad didėjant buferio talpai didėja ir įeinančio srauto aptarnavimo tikimybė, o eilės aptarnavimo disciplina jokios įtakos neturi.

3 lentelėje pateikti tinklo srauto aptarnavimo tikimybės įverčiai, atsižvelgiant į laiko eilutės stabilumo indeksą. Būtina pažymėti, kad eilutėms su Puasono tipo aptarnavimo srautu nenustatyta jokia priklausomybė nuo šio indekso. Kai tinklo mazge aptarnaujamas srautas yra savastingasis (PS FIFO, PS LIFO, SS FIFO, SS LIFO), tai didėjant eilutės stabilumo indeksui, aptarnavimo tikimybė didėja. Stipresnė priklausomybė stebima, kai įeinantis ir aptarnavimo srautas yra savastingieji.

## Išvados

Panaudojant sukurtą tinklo srauto modeliavimo paketą ištirta įėjimo bei aptarnavimo srautų savastingumo įtaka tinklo mazgo darbui, atsižvelgiant į aptarnavimo eilės discipliną ir buferio talpą, apkrovos ir aptarnavimo intensyvumus bei savastingumą.

Nustatyta, kad, didėjant tinklo srauto intensyvumui, savastingumu pasižymintis srautas yra aptarnaujamas stabiliai. Aptarnaujant puasoninį srautą,

didėja paketų praradimo tikimybė, didėjant įeinančio srauto intensyvumui. Eilės aptarnavimo disciplina LIFO PS tipo sraute užtikrina geresnę aptarnavimo kokybę.

Didėjant tinklo mazgo buferio talpai, srauto aptarnavimo tikimybė didėja, jei jis pasižymi savastingumu. Buferio eilės aptarnavimo disciplina LIFO geriau aptarnauja PS tipo srautą.

Didėjant savastingosios eilutės stabilumo indeksui, aptarnavimo tikimybė didėja. Stipresnė priklausomybė stebima, kai srautas yra SS tipo.

## Literatūra

1. Kaklauskas L., 2003, *Kompiuterių tinklai*. Šiauliai: ŠU leidykla.
2. Kaklauskas L., Sakalauskas L., 2008, On network traffic statistical analysis. *Liet. mat. rink. LMD darbai*, 48 / 49. P. 314–319.
3. Lemoine É., Pham C. and Lefèvre L., 2004, Packet classification in the NIC for improved SMP-based Internet servers. In *ICN. IEEE*.
4. Plėštys R., Kavaliūnas R., Vilutis G., 2008, *Kompiuterių tinklai*. Kaunas: Technologija.
5. Pu Y. K., Bhatia C., Consel S., Coll C., 2006, Efficient Packet Processing in User-Level OSes: *A Study of UML. Local Computer Networks*, Proceedings 31st IEEE Conference on, 14–16 Nov. 2006. P. 63–70.
6. Rindzevičius R., Tervydis P., 2003, Balso perdavimo interneto tinklu charakteristikų tyrimas. *Elektronika ir elektrotechnika*, Vilnius, Nr. 5 (47).
7. Sakalauskas L., 2010, *Aptarnavimo teorija* (rengiama spaudai).
8. Samorodnitsky G., 2006 a, Long memory and self-similar processes. *Annales de la faculté des sciences*

- de Toulouse Sér. 6; 15 (1). P. 107–123.*
9. Samorodnitsky G., 2006 b, Long Range Dependence. *Foundations and Trends in Stochastic Systems*. Vol. 1, No. 3. P. 163–257.
  10. Samorodnitsky G, Taqqu M. S., 1994, *Stable Non-Gaussian Processes: Stochastic Models with Infinite Variance*. Chapman and Hall, New York.
  11. Taqqu M. S. and Teverovsky V., 1998, Estimating long-range dependence in finite and infinite variance series. R. Adler, R. Feldman and M. S. Taqqu (eds), *A Practical Guide to Heavy Tails: Statistical Techniques for Analyzing Heavy-Tailed Distributions*. P. 177–217. Boston: Birkhauser.
  12. Олифер В. Г., Олифер Н. А., 2008, *Компьютерные сети. Принципы, технологии, протоколы*. 3-е изд.

## ANALYSIS OF INFLUENCE OF SELF-SIMILARITY TO A NETWORK NODE

*Liudvikas Kaklauskas, Leonidas Sakalauskas*

### Summary

The article deals with the segment of distance studies' server network characterised by self-similarity. The influence of network flow's characteristics on throughput of a network node is assessed. Application of M/M/m (M/M/1) network model for serving distance studies' servers is analysed. The packet of modelling of a network flow is worked out and prepared for operation; by using it, the self-similar and Poisson type network flows were analysed, influence of different flow's characteristics on efficiency of a serving network node was assessed. The packet for network flow modelling consists of the sub-system of simulation of a network flow, the subsystem of modelling of a network node, the sub-system of control and the sub-system of input/output. 6,776 time series were generated for the research, by indicating different queue parameters. In order to assess the influence of characteristics of the served flow in a network node on efficiency of service for a network node, every time queue was supplied several times with different parameters of queue length and service discipline. The results of 74,536 queues were obtained. The linear regression was applied for analysis of the results, when independent variables were as follows: the intensity of network flow, the size of the network node's buffer and the index of stability of a time queue characterising its self-similarity. The values of dependent variables (probability of queue service, probability of buffer filling and probability of packet loss) were calculated while presenting the results of queue service. While assessing results of the regression analysis, the intensity of the flow was taken into consideration. It was found that when intensity of the network flow increases, the self-similar flow is being steadily served, and probability of packet loss in Poisson type network flow increases. Probability of serving a self-similar flow becomes greater when a service queue of a network node increases, and the buffer length of Poisson type time series makes no influence on quality of service. The discipline of service of time series LIFO ensures better quality of service when the incoming flow is of Poisson type and the serviced one is self-similar. When the stability index of a self-similar queue increases, the probability of service increases. A stronger dependence is observed when the incoming and served flows are self-similar.

**Keywords:** self-similarity, GI/G/1, Poisson flow,  $\alpha$ -stable process, FIFO, LIFO, regression analysis.

## SAVASTINGUMO ĮTAKOS TINKLO MAZGO DARBUI TYRIMAS

*Liudvikas Kaklauskas, Leonidas Sakalauskas*

### Santrauka

Straipsnyje nagrinėjamas nuotolinių studijų serverių tinklo segmentas, pasižymintis savastingumu bei fraktališkumu. Įvertinama tinklo srauto savybių įtaka tinklo mazgo pralaidai. Analizuojamas M/M/m (M/M/1) tinklo modelio taikymas nuotolinių studijų serveriams aptarnauti. Suprojektuotas ir parengtas darbu tinklo srauto modeliavimo paketas, kurį naudojant buvo analizuojami savastingasis ir puasoninis tinklo įėjimo srautai, vertinama skirtingų srauto savybių įtaka aptarnaujančio tinklo mazgo našumui. Tinklo srauto modeliavimo paketą sudaro tinklo srauto simuliacijos, tinklo mazgo modeliavimo, valdymo bei įvesties/išvesties posistemės. Tyrimui sugeneruotos 6776 laiko eilutės su skirtingais parametrais. Siekiant nustatyti tinklo mazge aptarnaujamo srauto savybių įtaką tinklo mazgo aptarnavimo našumui, kiekvienos laiko eilutės aptarnavimas buvo modeliuojamas su skirtingais buferio talpos ir aptarnavimo disciplinos parametrais. Gauti 74536 eilučių aptarnavimo rezultatai. Rezultatų analizei taikyta tiesinė regresija, kai nepriklausomi kintamieji yra tinklo srauto intensyvumas, tinklo mazgo buferio dydis ir laiko eilutės stabilumo indeksas, charakterizuojantis jos savastingumą. Priklausomų kintamųjų reikšmės (eilutės aptarnavimo tikimybė, buferio užpildymo tikimybė ir paketų praradimo tikimybė) buvo apskaičiuotos pagal eilučių aptarnavimo rezultatus. Vertinant regresinės analizės rezultatus atsižvelgta į srauto intensyvumą. Nustatyta, kad didėjant tinklo srauto intensyvumui, stabiliai yra aptarnaujamas savastingumu

pasižymintis srautas, o Puasono tipo tinklo sraute didėja paketų praradimo tikimybė. Savastingojo srauto aptarnavimo tikimybė didėja, didėjant tinklo mazgo aptarnavimo eilei, o Puasono tipo laiko eilutės buferio ilgis aptarnavimo kokybei įtakos neturi. Laiko eilutės aptarnavimo disciplina LIFO užtikrina geresnę aptarnavimo kokybę, kai įeinantis srautas yra Puasono, o aptarnaujamas – savastingasis. Didėjant savastingosios eilutės stabilumo indeksui, aptarnavimo tikimybė didėja. Stipresnė priklausomybė stebima, kai įeinantis ir aptarnaujamas srautai yra savastingieji.

**Prasminiai žodžiai:** savastingumas (angl. *self-similarity*),  $GI \setminus G \setminus 1$ , Puasono srautas,  $\alpha$ -stabilusis procesas, FIFO, LIFO, regresinė analizė.

Įteikta 2010-09-15