

## Diferencijuotų paslaugų srautų aptarnavimo disciplinų analizė

**B. Dekeris, L. Narbutaitė, T. Adomkus**

*Telekomunikacijų katedra, Kauno technologijos universitetas*

*Studentų g. 50, LT-51368 Kaunas, Lietuva, tel. +370 37 300501, faks. +370 37 300502, el.paštas brunonas.dekeris@ktu.lt*

### Įvadas

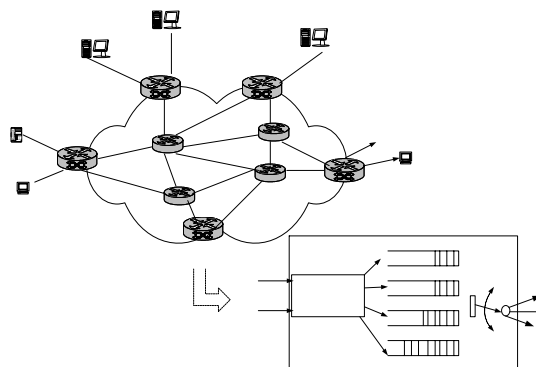
Pažangių telekomunikacijų tinklų technologijų atsiradimas, naujų perdavimo principų taikymas įvairialypėms paslaugoms teikti kelia naujus reikalavimus paslaugų kokybei. Didėjant konkurencijai telekomunikacijų paslaugų rinkoje, operatoriai priversti ieškoti vis naujesnių ir ekonomiškesnių sprendimų, kaip užtikrinti vartotojui reikiamą įvairialypių paslaugų kokybę. Šiuo metu aktualiausias uždavinys – kaip pagerinti paslaugų teikimo IP tinklais kokybę. Kad užtikrintų deramą paslaugų kokybę, tinklas turi adekvačiai reaguoti į jam skirtą paslaugų kuriamą apkrovą, suteikti reikiamą išteklių kiekį [1]. Tai reiškia, kad paslaugos vartotojui tinklas turi užtikrinti pakankamus išteklius ir garantuoti paslaugos kokybę. Išteklių paskirstymas tarp paslaugų vartotojų tinkle reikalauja, kad sistema naudotų eiles, kurių veikimas apibūdinamas tam tikrais našumo rodikliais.

Šiuolaikiniuose duomenų perdavimo tinkluose plačiausiai paplitęs internetinis protokolas (IP) dar negali užtikrinti perdavimo kokybės pasirinkimo galimybių. Todėl šiuo metu IP tinklai sparčiai modernizuojami iš jų originalios architektūros, kai palaikoma tik viena maksimalios pastangos (Best Effort) tipo paslauga, į naują pažangesnę architektūrą, kuri turi galimybę diferencijuoti įvairias paslaugų klases užtikrinant skirtingus aptarnavimo lygius bei geriau išnaudoti IP tinklų išteklius. Pastarųjų metų darbuose išryškėja tendencijos internetu teikiamas paslaugas diferencijuoti pagal vartotojų poreikius. Vienas iš svarbių bruožų, apibūdinančių telekomunikacijų tinklų išteklius ir turinčių įtakos teikiamos paslaugos kokybei, yra diferencijuotų paslaugų panaudojimas interneto tinklams. Dabartinės diferencijuotų paslaugų koncepcijos neatspindi visos paslaugų kokybės QoS (Quality of Services) valdymo struktūros [2,3]. Todėl tinklų, teikiančių kelių klasių paslaugas vienu metu, aprūpinimas – nauja sritis, reikalaujanti tyrimų, kad būtų įvertintas papildomas sudėtingumas dėl galimos skirtingų klasių paslaugų tarpusavio sąveikos. Šio straipsnio tikslas yra diferencijuotų paslaugų klasių aptarnavimo algoritmų analizė ir vertinimas.

Trumpai paanalizuosime diferencijuotų paslaugų domeno struktūrą bei paslaugų klasių aptarnavimo algoritmus.

### Diferencijuotų paslaugų domeno struktūra

Diferencijuotos paslaugos (DiffServ) buvo pasiūlytos siekiant įgyvendinti naujus kokybės reikalavimus IP tinklams. Ši architektūra įvairiems vartotojams siūlo visą grupę skirtingų paslaugų klasių (CoS). Diferencijuotų paslaugų maršrutizatoriaus architektūros schema bei domeno struktūra pateikta 1 pav. [4,6].



1 pav. Diferencijuotų paslaugų domeno struktūra

Pagrindinės diferencijuotos paslaugos maršrutizatoriaus funkcijos, susijusios su srautų aptarnavimo kokybe, yra paketų klasifikavimas bei paslaugų klasių rūšiavimo algoritmo parinkimas priklausomai nuo srautų klasių duomenų ir valdymo būsenos įvertinimo. Palyginti su paprastu IP maršrutizatoriumi, diferencijuotų paslaugų maršrutizatorius palaiko įvairius srautų rūšiavimo ir aptarnavimo algoritmus, kurie naudojami teikiamų paslaugų kokybei valdyti. Diferencijuotų paslaugų domeną (1 pav.) sudaro vidiniai ir ribiniai maršrutizatoriai. Jų struktūros panašios, tačiau ribinių maršrutizatorių atliekamų funkcijų yra daugiau. Jie turi atlikti tikslią įeinančių srautų klasifikaciją, įvertinti atėjusio srauto būklę bei parinkti esamu momentu priimtinausią eilių aptarnavimo algoritmą.

Pagrindinė diferencijuotų paslaugų struktūros idėja – pažymėti atitinkamus paketus, kurie apdorojimo metu turi pirmenybę nepažymėtų paketų atžvilgiu. Paslaugų klasių aptarnavimo algoritmai yra skirstomi į NWC (Non work Conserving) ir WC (Work conserving) [5]. Šios kategorijos skiriasi tuo, kad naudojant NWC kategorijos srautų aptarnavimo disciplinas, kiekviename pakete yra įrašomas

jo išsiuntimo laikas ir jis nebus išsiųstas anksčiau nustatyto laiko, net jei maršrutizatorius yra laisvas, o naudojant WC algoritmus maršrutizatorius visada aptarnaus paketus, jei bent vienas jų yra eilėje. Todėl analizuosime tik WC kategorijos algoritmus, daugiausiai įtakos turinčius srauto vėlinimui ir pralaidai.

### Pralaidos įvertinimas diferencijuotų paslaugų domene

Kompleksinio srauto klasifikavimo specifika diferencijuotų paslaugų tinkle atspindi eilių valdymas. Paketų aptarnavimo algoritmų tikslas – įterpti paketus į vieną iš išėjimo eilių, priklausančių tam pačiam išėjimo portui, pagrįstam PHB (per-hop behavior, liet. šuolio per mazgą elgsena) verte. Norint užtikrinti paslaugos kokybę, minimalūs reikalavimai eilių aptarnavimo algoritmams yra paketų diferencijuotumas ir kiekvieno paketo aptarnavimo lygio užtikrinimas. Be to, algoritmas turi garantuoti paketų aptarnavimo kokybę, priskiriant tam tikrus išteklius arba prioritetą.

Norint užtikrinti reikiamą įvairių tipų srautų paslaugos kokybę (QoS), pirmiausia turime nustatyti reikalingą kanalo arba tinklo pralaidą, priklausančią nuo srauto charakteristikų. Pralaidą įvertinsime susumuodami visą tinkle palaikomą srautą ir gautą pralaidą palyginsime su pralaida, gauta naudojant įvairius aptarnavimo algoritmus ribiniuose ir vidiniuose tinklo maršrutizatoriuose. Tariaime, kad vartotojas – vartotojas vėlinimo trukmė ir kiekvieno tipo srautui garantuojama pralaida yra vienodai pasiskirsčiusios tarp visų mazgų. Tada garantuojama perdavimo sparta  $g_k^{WFQ}$ , esant WFQ (Weighted Fair Queuing) aptarnavimui, išreiškiama taip [7]:

$$g_k^{WFQ} = \max \left\{ \rho_k, \frac{\frac{\sigma_k}{M_T} + L_k}{D_k - \frac{1}{M_T} \sum_{m=1}^{M_T} \frac{L_{\max}}{C^m}} \right\} = \max \left\{ \rho_k, \frac{\frac{\sigma_k}{M_T} + L_k}{D_k} \right\}; \quad (1)$$

čia  $M_T$  – mazgų skaičius maršrute;  $D_k$  – vėlinimas kiekviename mazge;  $L_{\max}$  – maksimalus paketo dydis;  $\sigma_k$  – pliūpsnio dydis.

Skirtingų tipų šaltinių skaičius, kurį palaiko ribinis maršrutizatorius, naudojant WFQ apskaičiuojamas taip:

$$N_k = \left\lfloor \frac{\omega_k \cdot C_{rib}}{g_k^{WFQ}} \right\rfloor; \quad (2)$$

čia  $C_{rib}$  – ribinio maršrutizatoriaus išėjimo kanalo pralaida;  $\omega_k$  –  $k$  tipo srauto skirta kanalo pralaidos dalis. CBQ (Class based Queuing) ir PQ (Priority Queuing) atveju, naudojant  $W$  kokybės klases, ribinio maršrutizatoriaus išėjimo kanalo pralaida apskaičiuojama taip [7]:

$$C_{rib}^{CBQ} = \sum_{p=1}^W \sum_{k \in p} \frac{N_k \cdot \sigma_k + L_{\max}}{D_{p\_klasė}}, \quad (3)$$

$$C_{rib}^{PQ} = \max_{p=1 \dots W} \left\{ \sum_{j=1}^p \sum_{k \in j\_klasė} \frac{N_k \cdot \sigma_k + L_{\max}}{D_{p\_klasė}} + \sum_{j=1}^{p-1} \sum_{k \in j\_klasė} N_k \cdot \rho_k \right\}; \quad (4)$$

čia  $L_{\max}$  – maksimalus paketo dydis;  $D_{p\_klasė} = \min_{k \in p} \{D_k\}$  –  $p$  klasės vėlinimas;  $\rho_k$  – vidutinė paketo perdavimo sparta;  $\sigma_k$  – pliūpsnio dydis.

FIFO atveju ribinio maršrutizatoriaus išėjimo kanalo pralaida apskaičiuojama taip:

$$C_{rib}^{FIFO} = \sum_{k=1}^Q \frac{N_k \cdot \sigma_k}{D_{\min}}; \quad (5)$$

čia  $D_{\min} = \min_k \{D_k\}$  – minimalus vėlinimas.

Dabar nustatome vidinių maršrutizatorių išėjimo kanalų pralaidą. Minimali reikalinga kanalo  $l(i, j)$  pralaida tarp dviejų vidinių maršrutizatorių porų apskaičiuojama taip [7]:

$$C_{vidaus(i,j)} = N_{rib} \cdot \sum_{k=1}^Q \tau_k^{(x,y)} \cdot N_k^x \cdot g_k; \quad (6)$$

čia  $(x, y)$  – vidiniai maršrutizatoriai, kuriuos pereina srautas nuo mazgo  $x$  iki mazgo  $y$  naudojant  $l(i, j)$  kanalą;  $\tau_k^{(x,y)}$  – srauto dalis, skirta mazgui  $y$ ;  $N_k^x$  – skaičius klasės  $k$  šaltinių, kurie per išorinius maršrutizatorius yra sujungti su vidiniais maršrutizatoriais. Vertė  $g_k$  priklauso nuo srauto aptarnavimo algoritmo ribiniame maršrutizatoriuje. Kai ribinis maršrutizatorius naudoja WFQ,  $g_k$  apskaičiuojama pagal (1) formulę, o kitais atvejais ji išreiškiama taip:

$$g_k = \max \left\{ \rho_k, \frac{\frac{\sigma'_k}{H} + L_k}{D_k} \right\}; \quad (7)$$

čia  $\sigma'_k = \sigma_k + \rho_k D_k^{(rib)}$  – pliūpsnio dydis perėjus ribinį maršrutizatorių;  $H$  – vidinių maršrutizatorių skaičius;  $D_k^{(rib)}$  – vėlinimas mazge, kuris lygus  $D_k$ , kai naudojama WFQ,  $D_{k,p}$ , kai naudojama CBQ, ar PQ ir  $D_{\min}$ , kai naudojama FIFO.

Norėdami apskaičiuoti kiekvieno kanalo  $l(i, j)$  su CBQ, PQ ir FIFO aptarnavimo disciplinomis pralaidą, pirmiausia išreiškiame pliūpsnio dydį bei vidutinę perdavimo kanalui  $l(i, j)$  spartą:

$$\sigma_k^{-(i,j)} = \sum_{(x,y)} \tau_k^{(x,y)} N_k^x \sigma_k^{h(x,y)}, \quad (8)$$

$$\rho_k^{-(i,j)} = \sum_{(x,y)} \tau_k^{(x,y)} N_k^x \rho_k; \quad (9)$$

čia  $h(x, y)$  – pereitų vidinių maršrutizatorių skaičius prieš pasiekiant  $l(i, j)$  kanalą;  $\sigma_k^{h(x, y)}$  – suminis pliūpsnio dydis.

Tada reikalinga kanalo  $l(i, j)$  pralaida tarp vidinių maršrutizatorių kiekvienai aptarnavimo disciplinai išreiškiama taip:

$$C_{vidaus(i, j)}^{CBQ} = N_{rib} \cdot \sum_{p=1}^W \sum_{k \in p} \frac{\sigma_k^{-(i, j)} + L_{\max}}{D_{p\_klasė}}, \quad (10)$$

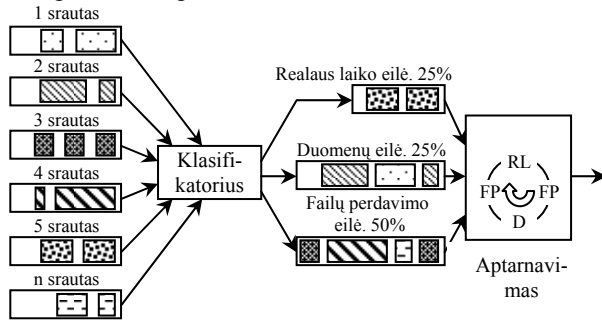
$$C_{vidaus(i, j)}^{PQ} = N_{rib} \cdot \max_{p=1 \dots W} \left\{ \sum_{j=1}^p \sum_{k \in j\_klasė} \frac{\sigma_k^{-(i, j)} + L_{\max}}{D_{p\_klasė}} + \sum_{j=1}^{p-1} \sum_{k \in j\_klasė} \rho_k^{-(i, j)} \right\}, \quad (11)$$

$$C_{vidaus(i, j)}^{FIFO} = N_{rib} \cdot \sum_{k=1}^Q \frac{\sigma_k^{-(i, j)}}{D_{\min}}. \quad (12)$$

Nustatę reikalingą diferencijuoto srauto vėlinimo kanalų pralaidą, paslaugų klasių aptarnavimo algoritams įvertinti sudarysime analitinį bei imitacinį modelius.

### Analitinis trijų klasių diferencijuoto srauto aptarnavimo maršrutizatoriuje modelis

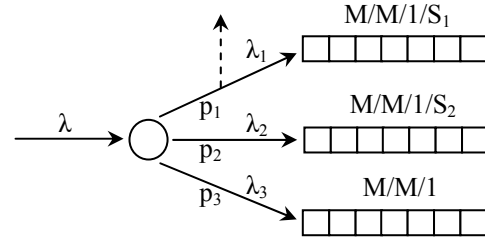
Į analizuojamą maršrutizatorių patenka trijų paslaugos klasių srautai: balsas (1 klasė – realaus laiko), FTP (2 klasė – nerealaus laiko) ir duomenys (3 klasė – maksimalios pastangos). Klase paremtas eilių sudarymo modelis pateiktas 2 pav.



2 pav. Klase paremtas eilių sudarymo modelis

Remiantis 2 pav. pateiktu modeliu, paketai pirmiausia yra klasifikuojami į įvairias paslaugos klases, paskui išdėstomi į eilę, kuri atitinka nustatytus paketo klasės kokybės reikalavimus. Kiekviena eilė yra aptarnaujama sukimosi ratu principu. Tuščios eilės yra peršokamos. Pirmiausia išanalizuojame supaprastintą struktūrą, kuri pateikta 3 pav. Maršrutizatorius turi tris atskiras eiles, iš kurių dvi yra riboto ilgio: aukščiausio prioriteto eilės ilgis  $S_1$ , vidutinio prioriteto eilės ilgis  $S_2 = 2S_1$ . Į jas patenka tik pažymėti paketai. Trečioji eilė yra žemiausio prioriteto ir neriboto dydžio, ir į ją patenka nepažymėti paketai. Pirmiausia aptarnaujami aukščiausio prioriteto eilėje esantys paketai. Kai joje nebelieka nė vieno paketo pradedami aptarnauti žemesnio prioriteto eilėje esantys paketai ir tik tada, kai abi šios eilės ištuštėja

, pradedami aptarnauti žemiausio prioriteto eilėje esantys paketai. Jeigu bet kuri eilė persipildo, naujai atėję paketai yra tiesiog atmetami.



3 pav. Trijų paslaugos klasių eilių sudarymo struktūra

Įeinantis srautas yra puasoninis su srauto intensyvumu  $\lambda$ . Pažymėti 1 klasės paketai pasirodo su tikimybe  $p_1$ , pažymėti 2 klasės paketai - su tikimybe  $p_2$ , o nepažymėti 3 klasės paketai pasirodo su tikimybe  $p_3$ . Bendra visų paketų pasirodymo tikimybė yra lygi vienetui:

$$p = p_1 + p_2 + p_3 = 1. \quad (13)$$

Į eiles patenkančių srautų intensyvumai:  $\lambda_1 = p_1 \lambda$ ,  $\lambda_2 = p_2 \lambda$  ir  $\lambda_3 = p_3 \lambda$ . Tokiu atveju,  $\rho_1 = \lambda_1 / \mu$ ,  $\rho_2 = \lambda_2 / \mu$ ,  $\rho_3 = \lambda_3 / \mu$  yra pažymėtų ir nepažymėtų eilių apkrovos faktoriai.

Mūsų tikslas – nustatyti sistemoje priimtų  $i$ -tosios klasės paketų vėlinimą  $t_i$  mazge. Aukščiausio prioriteto paraiškoms  $t_1$ , kai  $N_1$  yra paraiškų eilėje skaičius  $t_1$ , randamas remiantis Litlo dėsnium:

$$t_1 = \frac{N_1}{\lambda_1} = \frac{1}{\mu - \lambda_1} \times \frac{1 - (S_1 + 1)\rho_1^{S_1} + S_1 \rho_1^{S_1+1}}{1 - \rho_1^{S_1+1}}. \quad (14)$$

Vidutinio prioriteto paraiškoms  $t_2$ , kai  $N_2$  yra paraiškų skaičius eilėje  $S_2$ ,  $t_2$  apskaičiuojamas taip:

$$t_2 = \frac{N_2}{\lambda_2} = \frac{1}{\mu - \lambda_2} \times \left( \frac{\rho_1^{S_1+1} + 1 - (S_2 + 1)\rho_2^{S_2} + S_2 \rho_2^{S_2+1}}{1 - \rho_1} + \frac{1 - \rho_2^{S_2+1}}{1 - \rho_2^{S_2+1}} \right). \quad (15)$$

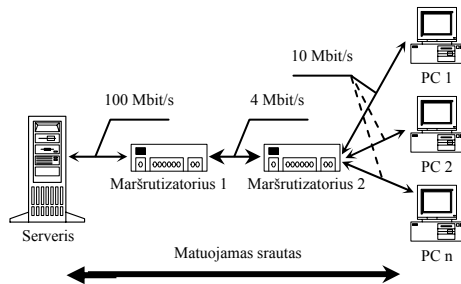
Žemo prioriteto paraiškoms  $t_3$  apskaičiuojamas taip:

$$t_3 \leq t_3^\infty = \frac{1}{\mu} \cdot \left( \frac{\rho_1^{S_1+1}}{1 - \rho_1} + \frac{\rho_2^{S_2+1}}{1 - \rho_2} + \frac{\rho_3}{1 - \rho_3} \right). \quad (16)$$

### Trijų paslaugų klasių srauto aptarnavimo imitacinis modelis naudojant skirtingus aptarnavimo algoritmus

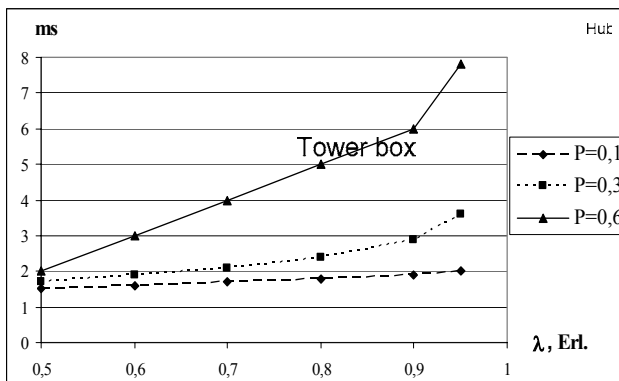
Tinklo modelis sudarytas remiantis paprasta vietinio kompiuterių tinklo (LAN) struktūra (4 pav.). Jį sudaro du Cisco maršrutizatoriai (maršrutizatorius 1 ir maršrutizatorius 2), tarpusavyje sujungti 4 Mbit/s jungtimi, serveris sujungtas 100 Mbit/s jungtimi su maršrutizatoriumi 1, bei asmeniniai kompiuteriai, kurie per tinklo šakotuvą su maršrutizatoriumi 2 yra sujungti 10 Mbit/s jungtimis. Tinklo apkrova sukuriama naudojant tris

skirtingas srauto klases: balsas (pirma klasė), FTP (antra klasė) ir duomenys (trečia klasė). Iš asmeninių kompiuterių perduodamas paketų srautas yra priimamas serveryje. Imitacinis diferencijuotų paslaugų modelis sudarytas bei visas modeliavimas atliktas modeliavimo programa Arena.

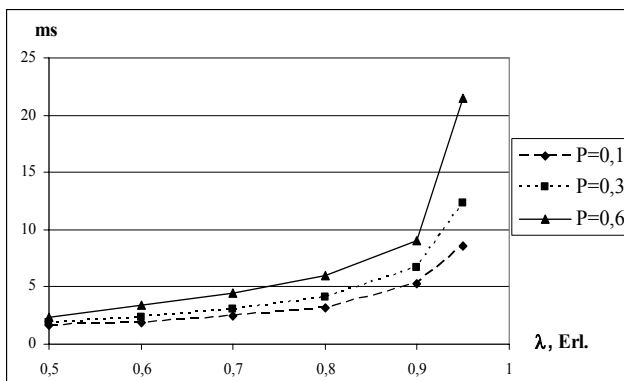


4 pav. Tinklo struktūra

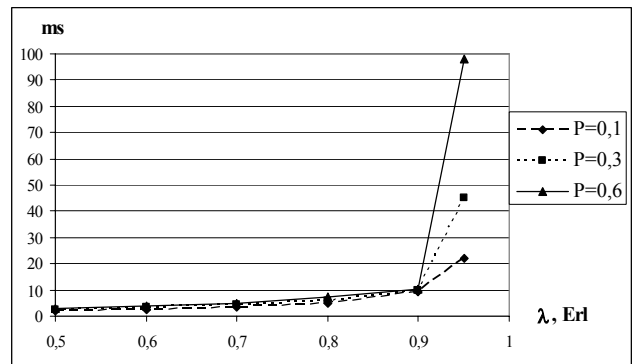
Pirmiausia pateikiame rezultatus, gautus remiantis 4 pav. ir (14), (15) ir (16) formulėmis. Jie yra pateikti 5–7 paveikslėliuose. 5 ir 6 paveikslėliuose matome pažymėtų 1 ir 2 klasių paketų vidutinį vėlinimą, kai  $p = 0,1$ ;  $p = 0,3$ ;  $p = 0,6$ , buferis  $S_1 = 100$ . 8 paveikslėlyje matome nepažymėtų 3 klasės paketų vidutinį vėlinimą, kai  $p = 0,1$ ;  $p = 0,3$ ;  $p = 0,6$ . Sukuriame srauto intensyvumą  $\lambda$ , pavaizduotas  $x$  ašyje, kinta nuo 0,5 iki 0,95, o srauto vidutinis vėlinimas  $t$  pavaizduotas  $y$  ašyje.



5 pav. Vidutinis pažymėtų 1 klasės paketų vėlinimas priklausomai nuo generuojamos apkrovos, kai  $p = 0,1$ ;  $p = 0,3$ ;  $p = 0,6$ , buferis  $S = 100$



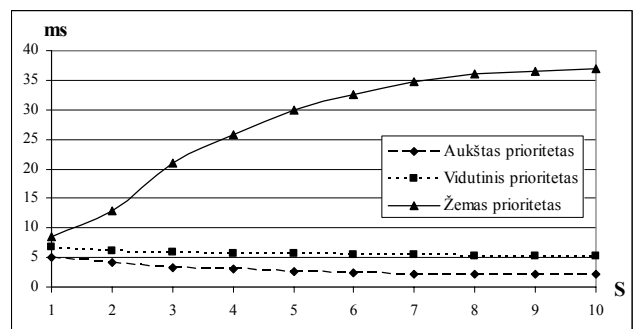
6 pav. Vidutinis pažymėtų 2 klasės paketų vėlinimas priklausomai nuo generuojamos apkrovos, kai  $p = 0,1$ ;  $p = 0,3$ ;  $p = 0,6$ , buferis  $S = 100$



7 pav. Vidutinis nepažymėtų 3 klasės paketų vėlinimas priklausomai nuo generuojamos apkrovos, kai  $p = 0,1$ ;  $p = 0,3$ ;  $p = 0,6$ , buferis  $S = 100$

Kaip matyti iš pateiktų paveikslėlių, aukščiausios kokybės paslaugos maksimalus vėlinimas yra mažesnis už žemiausią prioritetą turinčios paslaugos vėlinimą. Pažymėtų paketų vėlinimas išlieka labai panašus į minimalų vėlinimą. Tačiau nepažymėti paketai yra labai smarkiai vėlinami, nes jie turi laukti deptynerių kartų tol, kol pažymėtų paketų eilės ištuštės. Kadangi pažymėtų paketų srautas didina suminį srautą, dėl to atsiranda skirtingas vėlinimas, priklausantis nuo paslaugos klasės. Gauti rezultatai leidžia įvertinti šį skirtumą. Tai ekvivalentu  $t_1 - t_2 - t_3$ , kur  $t_1$  yra žinomas iš (14) formulės,  $t_2$  – iš (15) formulės, o  $t_3$  gaunamas iš (16) formulės. Pateiktų tinklo paslaugų teikėjas gali naudoti šiuos rezultatus, sprenddamas, kiek išteklių skirti pažymėtam srautui, taip pagrįstai padidinant nepažymėto srauto vėlinimą.

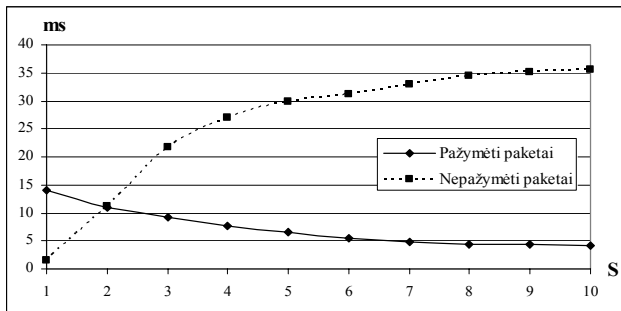
Pažymėtų paketų maksimalūs eilių dydžiai taip pat yra labai svarbus parametras, kuris valdo pažymėtų paketų nuostolių tikimybės ir nepažymėtų paketų vėlinimo suderinimą. Tai pavaizduota 8 paveikslėlyje, kai  $\rho = 0,5$ . Keičiant buferio dydį nuo 1 iki 10 paketų, galima valdyti suderinamumą mažinant pažymėtų paketų nuostolių dydį ir didinant nepažymėtų paketų vidutinį vėlinimą. Buferio dydis, kurį šiuo atveju naudojame, gali būti apskaičiuotas, kad ISP žinotų, kokio dydžio buferį rezervuoti aukščiausios kokybės paslaugai.



8 pav. 1, 2 ir 3 klasių paketų vėlinimo kitimas priklausomai nuo 1 klasės paslaugos buferio dydžio kitimo (atitinkamai didėja ir 2 klasės buferis), kai  $\rho = 0,5$

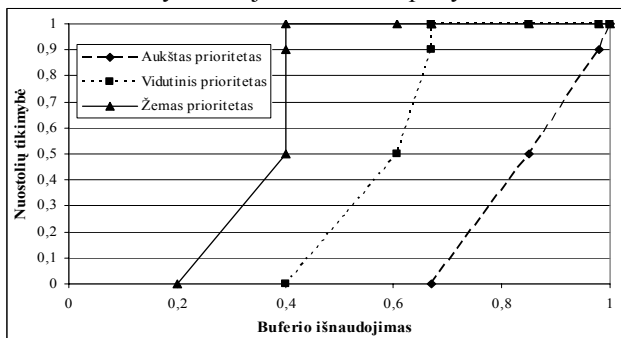
Palyginimui 9 paveikslėlyje pateiktas analogiškas grafikas, tik šiuo atveju nagrinėjamas dviejų prioritetų srautas, t. y. pažymėtas (su prioritetu) ir nepažymėtas (be prioriteto) [3]. Akivaizdu, kad įterpus į sistemą trečiojo

prioriteto srautą (pažymėtą vidutinio prioriteto) daugiausia išauga nepažymėto srauto vėlinimas.



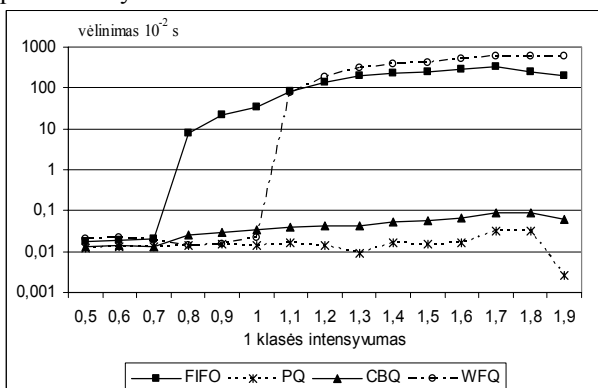
9 pav. Pažymėtų ir nepažymėtų paketų vėlinimo priklausomybė nuo pažymėtiems paketams skirtu buferio dydžio

10 paveikslėlyje parodyta kaip didėja paketų išmetimo tikimybė didėjant buferio užpildymui.

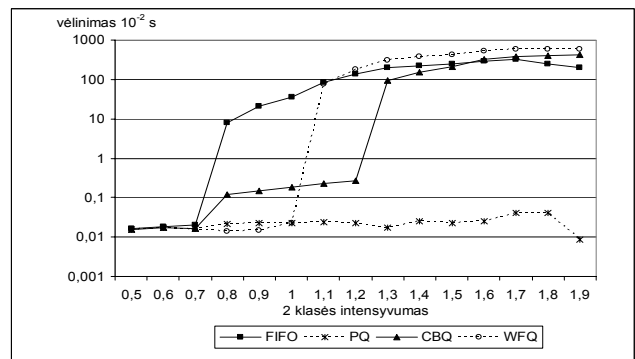


10 pav. Trijų prioriteto klasių paketų atmetimo tikimybė priklausomai nuo buferio užpildymo

Aptarkime gautus rezultatus, kai panaudotos skirtingos eilių aptarnavimo disciplinos. Modeliuojant buvo keičiamas skirtingų paslaugų klasių intensyvumai ir skaičiuojamas gautas vėlinimas esant FIFO, PQ, CBQ ir WFQ aptarnavimo disciplinoms. Pirmiausia buvo analizuojama aukščiausio prioriteto (1 klasės) srauto intensyvumo įtaka kitoms klasėms. Iš gautų rezultatų matyti, kad 2 klasės srauto vėlinimui 1 klasės srauto intensyvumo didinimas beveik neturi jokio poveikio naudojant PQ, CBQ ir WFQ disciplinas. FIFO atveju 1 klasės srauto intensyvumo padidėjimas nuo 0,7 iki 1,9 turi įtakos visų klasių vėlinimo padidėjimui, tačiau 3 klasės srautui ši įtaka yra mažiausia, kadangi jam yra skirta didžiausia kanalo bendro pralaidumo dalis. 11 ir 12 pav. pateiktos gautos 1 ir 2 klasės srauto vėlinimo priklausomybės.

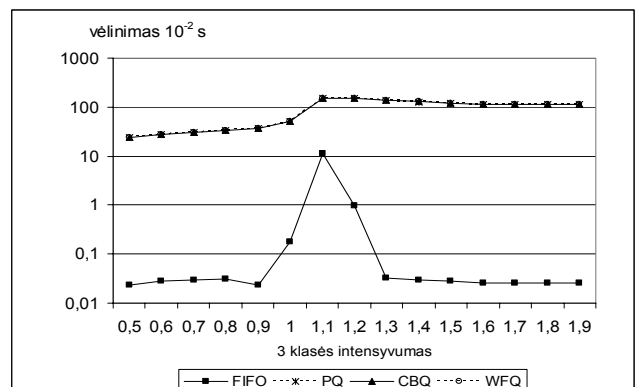


11 pav. 1 klasės srauto vėlinimo priklausomybė keičiant 1 klasės srauto intensyvumą



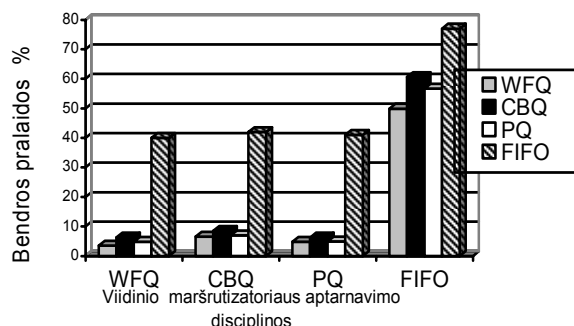
12 pav. 2 klasės srauto vėlinimo priklausomybė keičiant 2 klasės srauto intensyvumą

Analizuojant 11 ir 12 pav., matyti, kad, kintant prioritetingos klasės srauto intensyvumui, tos pačios klasės srauto vėlinimui jautriausios yra FIFO ir WFQ disciplinos. WFQ disciplinos atveju, srauto intensyvumui pasiekus 1, vėlinimas staigiai padidėja dėl staigaus eilės perpildymo. WFQ disciplina pagrįsta griežtu „svorinių“ eilių išrinkimo metodu, todėl vieno ciklo metu nespėjama aptarnauti atėjusio paraiškų srautų, taigi tos paraiškos kaupiasi ir, didinant srauto intensyvumą, vėlinimas dar labiau padidėja. Kintant 2 klasės srauto intensyvumui, gaunama tokia pat situacija kaip ir pirmuoju atveju. Tačiau keičiant 2 klasės srauto intensyvumą, tos pačios klasės srauto vėlinimo padidėjimas pasireiškia ir esant PQ aptarnavimo disciplinai (12 pav.). Naudojant PQ, visuomet pirmiausia yra aptarnaujama aukščiausio prioriteto eilė, kol joje yra paraiškų, o po to tik žemesnio. Todėl kintant 2 klasės srauto intensyvumui nuo 1,2 iki 1,9, vėlinimas staigiai išauga. Keičiant žemiausio prioriteto srauto intensyvumą, PQ, CBQ ir WFQ atvejais jis beveik neturi įtakos nei 1, nei 2 klasės srautų vėlinimui, o FIFO atveju šiems srautams gaunamas didelis vėlinimas. Atvirkščia situacija pastebima analizuojant 3 klasės srauto intensyvumo poveikį 3 klasės srauto vėlinimui (13 pav.).



13 pav. 3 klasės srauto vėlinimo priklausomybė keičiant 3 klasės srauto intensyvumą

Norint užtikrinti reikiamą įvairaus tipo trafiko paslaugos kokybę (QoS) buvo atliktas reikalingos pralaidos apskaičiavimas. Šiuo atveju pirmas maršrutizatorius buvo traktuojamas kaip vidinis, antras – kaip ribinis. Pralaida buvo nustatyta panaudojant (1)–(12) formules, keičiant srautų eilių aptarnavimo disciplinas abiejuose maršrutizatoriuose. Gautas rezultatas pateiktas 14 pav.



14 pav. Pralaidos poreikis, gautas naudojant įvairius aptarnavimo algoritmus ribiniame ir vidiniame maršrutizatoriuje

Iš pateikto grafiko matyti, kad mažiausias kanalo pralaidos poreikis gaunamas derinant prioritetines eilių aptarnavimo disciplinas.

### Išvados

1. Sudarytas analitinis diferencijuoto srauto aptarnavimo maršrutizatoriuje modelis bei pateiktos pralaidos įvertinimo išraiškos skirtingoms eilių aptarnavimo disciplinoms.

2. Išanalizavus gautus modeliavimo rezultatus nustatyta, kad pažymėtų ir nepažymėtų paketų vėlinimo skirtumas yra gana didelis (7,8 karto).

3. Atliktas modeliavimas naudojant skirtingas eilių aptarnavimo disciplinas trijų prioritetų srautams. Nustatytas skirtingų paslaugų klasių intensyvumo poveikis

analizuojamų klasių srautų vėlinimui naudojant FIFO, PQ, CBQ ir WFQ disciplinas.

4. Remiantis gautais rezultatais galima sudaryti skirtingų prioritetų srautų kokybės valdymo algoritmą, užtikrinantį reikiamą paslaugos kokybės lygį.

### Literatūra

1. Rindzevičius R. Teletrafiko teorija. – Kaunas: Technologija, 2003. – 246p.
2. Dekeris B., Rindzevičius R., Narbutaitė L., Adomkus T. Proporcinių diferencijuotų paslaugų kokybės įvertinimas // Elektronika ir elektrotechnika. – Kaunas: Technologija, 2003. Nr. 6 (48).
3. Dekeris B., Adomkus T. Evaluation the Quality of IP Network Using Differentiated Services // Telecommunications and Electronics vol. 3. – Scientific Proceedings of Riga Technical University, 2003. – P 11-16.
4. Armitage G. Quality of services in IP networks. – Indianapolis: MTP, 2001. – 309 p.
5. Liebeherr J., Yilmaz E. Workconserving vs. Non-workconserving Packet Scheduling // IEEE/IFIP proceeding IwQoS, 1999. – 10p.
6. Dovrolis C., Stiliadis D., Ramanathan P. Proportional differentiated services: Delay differentiation and packet scheduling // Proc. ACM SIGCOMM, Aug. 1999. – P. 109–119.
7. Parekh A., Gallager R. Flow control in IP network: Multiple node case // IEEE/ACM Transaction on Network. – Vol. 1, 2001. – 5 p.

Pateikta spaudai 2004 04 02

**B. Dekeris, L. Narbutaitė, T. Adomkus. Diferencijuotų paslaugų srautų aptarnavimo disciplinų analizė // Elektronika ir elektrotechnika. – Kaunas: Technologija, 2004. – Nr. 6 (55). – P. 34–39.**

Šiuo metu aktualiausias uždavinys – kaip pagerinti paslaugų teikimo IP tinklais kokybę. Deramai užtikrinti paslaugos kokybei, tinklas turi adekvačiai reaguoti į jam skirtą paslaugų kuriamą apkrovą, suteikti reikiamą resursų kiekį. Šiame straipsnyje analizuojamas IP tinklo įvairialypių paslaugų kokybės užtikrinimas naudojant diferencijuotas paslaugas. Straipsnyje yra pateiktas analitinis diferencijuoto srauto aptarnavimo modelis maršrutizatoriuje, bei pralaidos įvertinimo išraiškos skirtingoms eilių aptarnavimo disciplinoms. Diferencijuotų paslaugų tinkle kompleksinio srauto klasifikavimo specifiką atspindi eilių valdymas. Todėl sudarytas imitacinis modelis, leidžiantis įvertinti skirtingas eilių aptarnavimo disciplinas trijų prioritetų srautams. Nustatytas skirtingų paslaugų klasių intensyvumo poveikis į analizuojamų klasių srautų vėlinimus naudojant FIFO, PQ, CBQ ir WFQ disciplinas. Il. 14, bibl. 7 (lietuvių kalba; santraukos lietuvių, anglų ir rusų kalbomis).

**B. Dekeris, L. Narbutaitė, T. Adomkus. The Analysis of Service Disciplines of Differentiated Services Flows // Electronics and Electrical Engineering. – Kaunas: Technologija, 2004. – No. 6 (55). – P. 34–39.**

Currently the most relevant problem is how to improve the quality of service in IP networks. In order to secure proper quality of service, the network must react adequately to the service generated load, intended to the network and contribute proper amount of resources. In this paper we analyze the quality assurance of multiple services in IP network using differentiated services. We introduce the analytical differentiated flow service model in the router and propose assumptions to evaluate the different queuing disciplines in this paper. In the differentiated services network the classification particularity of complex flow is reflected by the management of queues. Therefore the imitation model was constructed which allows to evaluate different disciplines which serve queues for three priorities flows. There was estimated the intensity effect of different class services to analyzing classes of flows delays using FIFO, PQ, CBQ and WFQ disciplines. Ill. 14, bibl. 7 (in Lithuanian; summary in Lithuanian, English, Russian).

**Б. Декерис, Л. Нарбутайте, Т. Адомкус. Анализ обслуживания дисциплин дифференциальных услуг потоков // Электроника и электротехника. – Каunas: Технология, 2004. – № 6(55). – С. 34–39.**

В наши дни самая актуальная задача – как повысить качество услуг передаваемых IP сетями. Чтобы обеспечить нужное качество услуги, сеть должна адекватно реагировать на нагрузку, создаваемую услугами для сети, предоставить нужное количество ресурсов. В этой статье анализируется заверение качества разнообразных услуг IP сети, используя дифференциальные услуги. В статье предоставлена аналитическая модель обслуживания дифференциального потока в маршрутизаторе, а также предоставлены выражения оценки проницаемости для различных дисциплин очередей обслуживания. В сети дифференциальных услуг комплексного потока специфика классификации отражает управление очередей. Поэтому составлена имитационная модель, позволяющая оценить различные дисциплины обслуживания очередей для потоков трёх приоритетов. Установлено воздействие интенсивности различных классов услуг на опоздания потоков анализируемых классов используя дисциплины FIFO, PQ, CBQ и WFQ. Ил 14, библи. 7 (на литовском языке; рефераты на литовском, английском и русском яз.).