

Proporcinių diferencijuotų paslaugų kokybės įvertinimas

B. Dekeris, R. Rindzevičius, L. Narbutaitė, T. Adomkus

Telekomunikacijų katedra, Kauno technologijos universitetas

Studentų g.50, LT-3031 Kaunas, Lietuva, tel. (8-37)300501; faks. (8-37) 300502, el. paštas brunonas.dekeris@ktu.lt

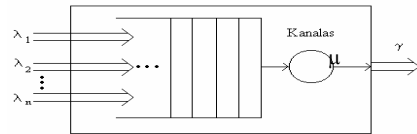
Įvadas

Vienas svarbių bruožų, apibūdinančių telekomunikacijų tinklų resursus ir turinčius įtakos teikiamos paslaugos kokybei, yra diferencijuotų paslaugų panaudojimas interneto tinklams. Dabartinės diferencijuotų paslaugų koncepcijos neatspindi visos paslaugų kokybės QoS (Quality of Services) valdymo struktūros [1,2]. Tuo metu, kai srautas perduodamas IP tinklais iš vieno tinklo taško į kitą, maršrutizavimo kelias bei srauto poreikiai nuolat keičiasi, todėl labai svarbu stebėti vartotojo-vartotojo srauto būseną. Vienu metu teikti keletą skirtingos kokybės paslaugų tame pačiame tinkle yra gana sunki užduotis. Lig šiol dideli tinklai daugiausiai siūlo vienos klasės paslaugas („maksimalių pastangų“ interneto tinkluose), todėl tinklų, teikiančių kelių klasių paslaugas vienu metu, aprūpinimas – nauja sritis, reikalaujanti įvairių tyrimų, kad būtų įvertintas papildomas sudėtingumas dėl galimos skirtingų klasių paslaugų tarpusavio sąveikos. Paslaugų teikėjas gali taikyti dinaminį logiškąjį aprūpinimą ir konfigūravimą (t.y. tinklo resursų arba kokybės paskirstymą tarp klasių), kad išspręstų tinklo ir srauto dinamikos problemas. Pagrindiniai QoS parametrai yra vėlinimas bei nuostoliai (paketų praradimas). Straipsnyje pateiksime proporcinį diferencijuotų paslaugų modelį, kai tinklo srautas skirstomas į klases, pagal srautui keliamus reikalavimus, t.y. pagal vėlinimą arba paketų praradimo lygį. Daugiausia dėmesio bus skiriama proporcinio modelio panaudojimui, diferencijuojant vėlinimą eilėse.

Pirmiausia išnagrinėsime nepirmenybinio prioriteto paraiškų eilės aptarnavimo M/G/1 sistemą.

Nepirmenybinio prioriteto paraiškų eilės aptarnavimo M/G/1 sistemoje analizė

Nepirmenybinio prioriteto atveju aptarnaujama žemesnio prioriteto paraiška, atėjus aukštesnio prioriteto paraiškai, aptarnaujama iki galo. Į M/G/1 sistemą patenka n klasių prioriteto paraiškos. Kiekvienos klasės prioriteto paraiškos patenka į sistemą puasoniniu srautu atitinkamu intensyvumu λ_i ir yra aptarnaujamos tuo pačiu perdavimo kanalu. i -tosios klasės prioriteto paraiškos aptarnavimo trukmė pasiskirsčiusi pagal bendrąjį dėsnį (General), kai vidutinė aptarnavimo trukmė \bar{x}_i ir antrasis momentas \bar{x}_i^2 (1 pav.).



1 pav. M/G/1 nepirmenybinio prioriteto paraiškų aptarnavimo sistema

Paraiškų atėjimo procesai į sistemą tarpusavyje nepriklausomi. Tos pačios klasės prioriteto paraiškos iš buferio yra aptarnaujamos pagal jų atėjimo tvarką.

Suminis paraiškų atėjimo į sistemą intensyvumas

$\lambda = \sum_{i=1}^n \lambda_i$ ir perdavimo kanalo panaudojimo faktorius ρ

tosios klasės prioriteto paraiškomis $\rho_i = \lambda_i \cdot \bar{x}_i$. Tuomet vidutinė bet kurios klasės prioriteto paraiškos aptarnavimo trukmė

$$\bar{x} = \frac{1}{\mu} = \frac{\lambda_1}{\lambda} \cdot \bar{x}_1 + \frac{\lambda_2}{\lambda} \cdot \bar{x}_2 + \dots + \frac{\lambda_n}{\lambda} \cdot \bar{x}_n. \quad (1)$$

Bendras perdavimo kanalo panaudojimo faktorius

$$\rho = \frac{\lambda}{\mu} = \sum_{i=1}^n \rho_i. \quad (2)$$

M/G/1 sistemoje naudojama neribota buferio talpa, todėl stacionarumo sąlygai tenkinti būtina tenkinti sąlygą $\rho < 1$.

Vidutinis būtinas laikas visoms sistemoje esančioms paraiškoms aptarnauti [3]

$$R = \sum_{k=1}^n \rho_k \frac{\bar{x}_k^2}{2\bar{x}_k} = \frac{1}{2} \sum_{k=1}^n \lambda_k \bar{x}_k^2. \quad (3)$$

Aukščiausios 1 klasės prioriteto paraiškoms laukimo eilėje laikui neturi įtakos žemesnės klasės prioriteto paraiškos ir tuomet vidutinis laukimo eilėje laikas:

$$\bar{W}_1 = \frac{R}{1 - \rho_1}. \quad (4)$$

Bendra išraiška vidutiniam laukimo eilėje laikui i -tos klasės prioriteto paraiškai apskaičiuoti:

$$\overline{W}_i = \frac{R}{(1 - \rho_1 - \rho_2 - \dots - \rho_{i-1})(1 - \rho_1 - \rho_2 - \dots - \rho_i)} \quad (5)$$

Proporcinis diferencijuotų paslaugų modelis

Nagrinėjame modelyje paketas yra įkeliamas į buferį. Paketų aptarnavimo disciplina lemia, kuri klasė bus toliau aptarnauta, kad užtikrintų reikiamą vėlinimo diferencijavimą tarp klasių. Proporcingo diferencijavimo modelio būseną, garantuojanti klasės kokybę, susijusia su vėlinimu eilėje ar paketų praradimu, turi būti proporcinga atitinkamiems diferencijavimo parametrams, kuriuos parenka tinklo operatorius. Jeigu q_i yra i -tosios klasės kokybės parametras, tai proporciname diferencijavimo modelyje visoms klasių poroms galioja priklausomybė

$$\frac{q_i}{q_j} = \frac{c_i}{c_j} \quad (i, j = 1 \dots N); \quad (6)$$

čia $c_1 < c_2 < \dots < c_N$ – bendras kokybės diferencijavimo parametras.

Taigi, keičiantis klasės apkrovai, kokybinis klasių tarpusavio santykis nesikeis. Tinklo operatorius gali kontroliuoti siūlomų klasių santykinį kokybės lygį. Jei \overline{W}_i yra i -tosios klasės paketo vidutinė laukimo eilėje trukmė, tada visoms i ir j klasių poroms galioja lygybė

$$\frac{\overline{W}_i}{\overline{W}_j} = \frac{\delta_i}{\delta_j}, \quad 1 \leq i, j \leq N. \quad (7)$$

Parametrai δ yra vėlinimo diferencijavimo parametrai DDP (Delay Differentiation Parameters). Jie parenkami taip, kad aukščiausiai klasei būtų užtikrinamas mažiausias vėlinimas, t.y. $\delta_1 > \delta_2 > \dots > \delta_N > 0$. Proporcinis diferencijuotų paslaugų modelis leidžia lanksčiau teikti diferencijuotas paslaugas. Šis modelis įgalina tinklų operatorius nustatyti klasių kokybės skirtumus pagrįstus jų parinkimo kriterijumi. Viena iš pagrindinių šio modelio savybių yra tai, kad jis nepriklauso nuo klasių apkrovos (pvz., tinklo operatorius nustato, kad vidutinis I klasės paketų vėlinimas yra dvigubai didesnis už II klasės paketų vėlinimą, nesvarbu ar paketo perdavimo trukmė yra sekundžių, ar milisekundžių eilės. Šis modelis tinka ir pliūpsniniam srautui analizuoti.

Proporcinio laukimo laiko diferencijavimo modelis

Kaip jau buvo minėta anksčiau, šis modelis leidžia kontroliuoti laukimo laiko intervalus tarp skirtingų trafiko klasių. Proporcinio laukimo laiko diferencijuotoms paslaugoms realizuoti naudojamas laikinis prioritetų skirstymo algoritmas. Šis modelis sprendžia du pagrindinius uždavinius [4,5]:

- užtikrina tinkamą paslaugos diferencijavimą tarp klasių;

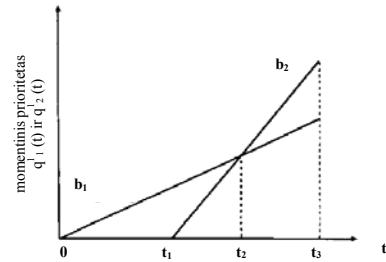
- parodo aiškius klasių kokybės tarpusavio skirtumus.

Proporcinio laukimo laiko prioritetų priklausomumo nuo laiko TDP (Time Dependent Priority) algoritmas bendruoju atveju yra paketų kontrolės algoritmas, kuris

operuoja prioriteto koeficientais b_i , $1 \leq i \leq N$, kur $0 \leq b_1 \leq b_2 \leq \dots \leq b_N$. Koeficientas b_i nusako dinaminį momentinį i klasės paketų prioritetą. Kitaip tariant, jei k -asis i klasės paketas patenka į eilę laiko momentu τ_k , tai jo prioritetą laiko momentu t (kai $t \geq \tau_k$) nusakomas dydžiu $q_i^k(t)$:

$$q_i^k(t) = (t - \tau_k)b_i. \quad (8)$$

2 pav. iliustruoja dviejų klasių TDP [6,7].



2 pav. Dviejų klasių TDP, kai $b_1 < b_2$

Pirmosios klasės paketas į sistemą patenka laiko momentu 0, o antrosios klasės paketas – laiko momentu t_1 ir abu paketai išbūna sistemoje iki laiko momento t_3 . Laiko intervale $(t_1, t_2]$, pirmosios klasės paketas turės aukštesnį prioritetą nei antrosios klasės paketas. Tačiau praėjus laikui $t > t_2$, prioritetas tampa didesnis už b_1 , todėl antrosios klasės paketas įgyja aukštesnį prioritetą. Tarkim, kintamasis $N_i(t)$ žymi i klasės paketus, laukiančius eilėje laiko momentu t . Jei sistema yra pasiruošusi perduoti paketą laiko momentu t , jai belieka kiekvienai klasei atskirai iš eilės nustatyti paketų prioritetą. Apibrėžkime $q_i(t)$ i klasės eilės prioritetą. Kai sistema yra pasiruošusi perduoti paketą, jis renka paketą iš i^* klasės, kur

$$i^*(t) = \arg \max_{i=1 \dots N, N_i(t) > 0} \{q_i(t)\}. \quad (9)$$

Kai sistemoje nėra paketų, ji yra laisva ir aktyvinasi, kai ateina naujas paketas. Reikėtų atkreipti dėmesį į tai, kad TDP algoritmas i klasės paketams suteiks aukštesnį prioritetą, nes jie turi didesnę koeficientą (b_i) negu paketai, priklausantys $j < i$ klasėms.

Tam, kad naudojant proporcinį vėlinimo diferencijavimo modelį būtų galima taikyti ciklinį klasių apklausimo būdą, kas padidina vėlinimo diferencijavimą tarp N klasių, mes įvesime klasės svorio koeficientą, kuriame atsispindi tos klasės aptarnavimo išrinkimo tikimybė įvertinant ir kitų klasių išrinkimo tikimybes. Klasės svorio koeficientas išreiškiamas taip:

$$A_i = p_i \prod_{\substack{j=1 \\ i \neq j}}^{N-1} (1 - p_j); \quad (10)$$

čia p_i – klasės išrinkimo aptarnauti tikimybė.

Klasės svorio koeficiento įvedimas leidžia panaikinti aukščiausios klasės dominavimą kitų klasių atžvilgiu, bei dar geriau atlikti vėlinimo diferencijavimą nepabloginant žemesnio prioriteto klasių aptarnavimo kokybės.

I M/G/1 sistemą patenka i klasę srautas, pasiskirstęs pagal Puasono dėsnį, esant parametrai λ_i , ir i klasės paketų aptarnavimo trukmės nusakomos pirmosios ir antrosios eilės momentais $\overline{\chi}_i$ ir $\overline{\chi}_i^2$. TDP sistemos panaudojimas įvertinamas dydžiu ρ ((2) formulė). Panaudoję gautą i klasės paketų laukimo trukmės išraišką [7] ir įvertinę klasės svorio koeficientą, gauname

$$W_i = \frac{[R_0 / (1 - \rho)] - \sum_{k=1}^{i-1} \rho_k W_k [1 - (b_k / b_i)]}{1 - \sum_{k=i+1}^N \rho_k [1 - (b_k / b_i)]} \times \frac{A_i}{1 - \sum_{\substack{i=1, \\ j=1, \\ j \neq i}}^{N-1} (\rho_i \cdot A_j)}; \quad (11)$$

čia $i = 1, \dots, N$; R_0 - vidutinis laikas, reikalingas visiems sistemoje esantiems paketams perduoti; A_i - klasės svorio koeficientas;

N klasių proporcinis paslaugų diferencijavimas

Panagrinėsime dviejų klasių proporcinį paslaugų diferencijavimą. Dviejų klasių paketų vidutinė laukimo eilėje trukmė, panaudojant (11) išraišką, išreiškiama taip:

- pirmosios klasės

$$W_1 = \frac{[W_0 / (1 - \rho)]}{1 - \rho_2 [1 - b_1 / b_2]} \times \frac{A_1}{1 - \rho_1 A_2}; \quad (12)$$

- antrosios klasės

$$W_2 = ([W_0 / (1 - \rho)] - \rho_1 W_1 [1 - (b_1 / b_2)]) \times \frac{A_2}{1 - \rho_2 \cdot A_1} =$$

$$= \left([W_0 / (1 - \rho)] \cdot \left(1 - \frac{\rho_1 A_1 \cdot [1 - (b_1 / b_2)]}{(1 - \rho_2 \cdot [1 - (b_1 / b_2)]) \cdot (1 - \rho_1 A_2)} \right) \right) \times$$

$$\times \frac{A_2}{1 - \rho_2 \cdot A_1}. \quad (13)$$

Laukimo trukmių santykis tarp pirmosios ir antrosios klasių paketų:

$$r_{1,2}^a = \frac{W_1}{W_2} = \frac{(1 - \rho_2 A_1)}{1 - \rho_1 A_2 - [1 - (b_1 / b_2)]} \times$$

$$\times \frac{1}{(\rho_1 \cdot [\rho \cdot A_1 - \rho_2 \cdot (A_2 - \rho \cdot A_1 \cdot [1 - (b_1 / b_2)])])}; \quad (14)$$

čia b_1 ir b_2 - prioriteto koeficientai.

Bendruoju atveju i - tosios klasės paketų vidutinė laukimo eilėje trukmė

$$W_i = \frac{r_{i,j}^a \cdot A_i \cdot (W_0 / (1 - \rho))}{1 - \sum_{\substack{i=1, \\ j=1, \\ i \neq j}}^N (\rho_i \cdot A_j \cdot r_{i,j}^a)}; \quad i, j = 1, 2, \dots, N. \quad (15)$$

M/G/1 diferencijuotų paslaugų sistemos modelis

Norint surasti prioriteto koeficientus b_i ir b_j reikia sudaryti M/G/1 diferencijuotų paslaugų sistemos imitacinį

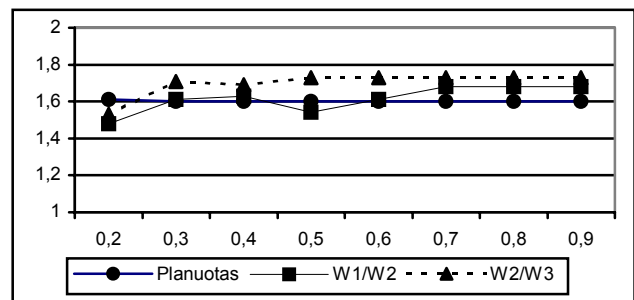
modelį. Mūsų imitacinį modelį sudarys trys šaltiniai, kurie generuoja intensyvumo $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$ srautus. Šis imitacinis modelis realizuotas programų paketu „Arena“. Keičiant ateinančių paraiškų intensyvumą buvo lyginamas gautas laukimo trukmių santykis su planuojamu, įvertinus gautus prioriteto koeficientus. Modelyje panaudoti trijų klasių λ_i intensyvumo paketų puasoniniai srautai. Gauti rezultatai pateikti 1 lentelėje.

1 lentelė Gauta laukimo trukmės santykio su planuotu palyginimas

Pradiniai duomenys	λ_1	0,45	0,6	0,7
	λ_2	0,25	0,2	0,15
	λ_3	0,1	0,1	0,05
	p_1	0,6	0,6	0,6
	p_2	0,25	0,25	0,25
	p_3	0,15	0,15	0,15
	$r_{i,i+1}^t$	1,1	1,1	1,1
Gauti koeficientai	b_1	5,8	1,9	1,29
	b_2	12,3	3,8	1,69
	b_3	38,9	14,3	3,9
Apaikčiuoti rezultatai	A_1	0,38	0,38	0,38
	A_2	0,08	0,08	0,08
	A_3	0,04	0,04	0,04
	$r_{1,2}^a$	1,079	1,098	1,066
	$r_{2,3}^a$	1,014	1,011	1,006

1 lentelėje pažymėta: $r_{1,2}^a$ - gautas laukimo trukmės santykis; $r_{i,i+1}^t$ - planuotas laukimo trukmės santykis.

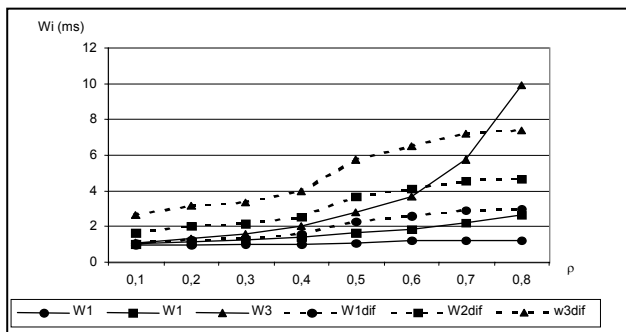
Antrasis modeliavimo eksperimentas atliktas esant skirtingoms sistemos panaudojimo reikšmėms bei panaudojant skirtingas paketų aptarnavimo disciplinas (M/G/1 nepirmenybinę bei M/G/1 proporcinio diferencijavimo). Naudojant M/G/1 proporcinio diferencijavimo sistemą planuotas laukimo trukmės santykis $r_{i,i+1}^t = 1,6$. Gautos priklausomybės pavaizduotos 3 ir 4 paveiksluose. 4 pav. pateiktoje priklausomybėje W_1 - aukščiausios klasės paketai, W_3 - žemiausios klasės paketai.



3 pav. Gautos ir planuotos laukimo trukmės santykio priklausomybė nuo sistemos panaudojimo

Kaip matyti iš 4 pav., panaudojus diferencijavimą su svorio koeficientu A_i , kai sistemos panaudojimas ρ viršija 0,5, galima žymiai sumažinti žemos klasės paketų laukimo trukmę, palyginti su M/G/1 nepirmenybinių paketų aptarnavimu. Taip pat laukimo trukmių santykis tarp klasių

išlieka beveik pastovus kintant sistemos panaudojimui. Proporcinio diferencijavimo panaudojimas įgalina tinklų operatorius nustatyti paslaugos kokybės skirtumus tarp klasių, pagrįstus jų parinkimo kriterijumi.



4 pav. Gautos laukimo trukmės priklausomybė nuo sistemos panaudojimo skirtingos klasės paketams

Išvados

1. Pateiktas proporcinis diferencijuotų paslaugų modelis, leidžiantis tinklo srautą grupuoti pagal klases. Daugiausia dėmesio skiriama proporcinio modelio taikymui diferencijuojant laukimo eilėse trukmę.

2. Gautos matematinės išraiškos paketo laukimo trukmei apskaičiuoti N klasių atveju, papildomai naudojant pasiūlytą klasės svorio koeficientą A_i .

3. Žemesnės klasės prioriteto paraiškos vėlinimas labai padidėja kai sistemos panaudojimas ρ viršija 0,5.

4. Žemesnės klasės prioriteto paraiškos laukimo laikui eilėje sumažinti būtina panaudoti specialius paraiškų aptarnavimo iš eilės algoritmus.

5. Diferencijuojant žymiai sumažinamas laukimo trukmių skirtumas tarp atskirų klasių paketų.

Literatūra

1. **Dekeris B.** Quality of services (QoS) support for IP networks// Electronics and Electrical Engineering. – Kaunas: Technologija, 2002. - Nr.2 (37). P 40-43.
2. **Dekeris B., Narbutaitė L., Adomkus T.** Internet tinklų pralaidumo ir vėlinimo nustatymas // Elektronika ir elektrotechnika. – Kaunas: Technologija, 2002.-Nr.2 (37).- P 40-43.
3. **Hock Chee Ng.** Queuing Modelling Fundamentals. John Wiley&Sons, Chichester.-1996, 222 p.
4. **Clark D., Fang W.** Explicit allocation of best effort packet delivery service// *IEEE/ACM Trans. Networking*.- 1998.Vol. 6. - P. 362-373.
5. **Dovrolis C., Stiliadis D., Ramanathan P.** Proportional differentiated services: Delay differentiation and packet scheduling// *Proc. ACM SIGCOMM*. –1999.-P. 109-119.
6. **Leung M. K. H., Lui J. C. S., Yau D. K. Y.** Characterization and performance evaluation for proportional delay differentiated services// *Proc. IEEE ICNP*.- Osaka, Japan, Nov. 2000. - P. 295-304.
7. **Leung M. K. H., Lui J. C. S., Yau D. K. Y.** Adaptive proportional-delay differentiated services: Characterization and performance evaluation// Dept of Computer Sciences, Purdue Univ., West Lafayette, IN, Tech. Rep. CS-01-009, June 2001.

Pateikta spaudai 2003 05 05

B. Dekeris, R. Rindzevičius, L. Narbutaitė, T. Adomkus. Proporcinių diferencijuotų paslaugų kokybės įvertinimas// Elektronika ir elektrotechnika. – Kaunas: Technologija, 2003. – Nr.6 (48).— P. 67-70.

Vienas svarbių bruožų, apibūdinančių telekomunikacijų tinklų resursus ir turinčių įtakos teikiamos paslaugos kokybei ir diferencijuotų paslaugų pritaikymas interneto tinklams. Šiame straipsnyje pateiktas proporcinis diferencijuotų paslaugų modelis, kai tinklo srautas yra grupuojamas pagal klases, kurios parenkamos pagal srautui keliamus reikalavimus (vėlinimą ar paketų praradimo lygį). Daugiausia dėmesio skirta proporcinio modelio taikymui diferencijuojant vėlinimą eilėse. Pateiktos matematinės išraiškos, leidžiančios apskaičiuoti paketo laukimo trukmę dviejų ir N klasių atvejais bei įvertinti santykį tarp gautos ir planuojamos laukimo trukmės skirtingų klasių paketų. Pateikti modeliavimo rezultatai. Il 4 bibl. 7 (lietuvių kalba, santraukos lietuvių, anglų ir rusų k.).

B. Dekeris, R. Rindzevičius, L. Narbutaitė, T. Adomkus. Quality evaluation of proportional differentiated services // Electronics and Electrical Engineering. – Kaunas: Technologija, 2003. – No. 6 (48) . — P. 67-70.

Internet applications and users have diverse Quality of Services (QoS) requirements, but current Internet provided only “best-effort” services. Therefore we need new services models for support different requirements of QoS. One of these models is differentiated service model. In this article we propose the Proportional differentiated model as a mean for controllable and predictable differentiation between N offered classes. The idea of proportional differentiation is: the spacing between classes should follow proportional constrains on the class QoS parameters (e.g. delay, loss rate). We analyzed queuing delay differentiation between classes. There are presented formulas for evaluation waiting time for classes i packets and the ratio between target and achieves waiting time. In this paper we also present simulation model and result using these expressions and model. Il.4 ,bibl. 7 (in Lithuanian; summaries in Lithuanian, English, Russian).

Б.Декерис, Р. Риндзевичюс, Л. Нарбутайте, Т. Адомкус. Оценка качества пропорциональных дифференцированных услуг // Электроника и электротехника. –Каунас: Технология, 2003. – № 6(48). — С. 67-70.

Приложения Internet и пользователи имеют разные требования к качеству услуг (QoS), но текущий Internet обеспечивает только услуги "лучшего усилия". Поэтому мы нуждаемся в новых моделях услуг для поддержки различных требований QoS. Одна из таких моделей - дифференцирована сервисная модель. В этой статье мы предлагаем пропорциональную дифференцированную модель для управления и предсказуемого дифференцирования между N предлагаемых классов Идея относительно пропорционального дифференцирования: интервал между классами по QoS параметрам должен быть (например, задержка, норма потерь). Мы анализировали дифференцирование задержки очереди между классами. Представлены формулы для оценки задержки очереди для N классов пакетов и коэффициент между ожидаемым и достигнутым временем задержки. Представлена имитационная модель и результаты, получены используя эти формулы и модель. Ил. 4, библи.7 (на литовском языке; рефераты на литовском, английском и русском яз.).

DOI: 10.5755/j02.eie.11111