

## Balso perdavimo *Internet* protokolu paslaugos kokybės daugiaoperatorėje terpėje įvertinimas

R. Jankūnienė

Telekomunikacijų ir elektronikos katedra, Kauno technologijos universitetas  
Studentų g. 50, 51368 Kaunas, Lietuva

### Įvadas

Paprastai paslaugą suteikia vienas operatorius. Jis ir atsako už suteiktos paslaugos kokybę. Tačiau šiandieninėje telekomunikacijų rinkoje daugėja situacijų, kai, tenkinant vartotojų reikalavimus, keliamus gaunamos paslaugos kokybei, reikia panaudoti ir kitų operatorių tinklus bei skirtingas technologijas. Tuo atveju užtikrinti paslaugos kokybę būna gana sudėtinga. Išskyla būtinybė nustatyti paslaugos kokybės užtikrinimo ribas tarp operatorių/paslaugos teikėjų, kad būtų tenkinami paslaugai keliami reikalavimai.

Tarptautinės organizacijos, telekomunikacijų kompanijos, mokslo institucijos analizuoja šią kokybės problemą [1–4], dalyvaudamos ir finansuodamos įvairius projektus, kuriuose daug dėmesio skiriama susitarimams, lemiantiems *Internet* protokolo (IP) paslaugų lygį. Šios srities tiriamieji darbai atliekami ir Lietuvoje [5]. Tačiau iki šiol nebuvo analizuotas tikimybinis paslaugos kokybės įvertinimo ir užtikrinimo klausimas daugiaoperatorėje terpėje bei paslaugos kokybės (QoS – Quality of Service) modeliuose, panaudojant atskirų operatorių tinklų kokybės parametrų vertes. Tad tikslas – pasiūlyti analitinį modelį, skirtą telekomunikacijų daugiaoperatorės terpės darbingumui įvertinti, teikiant balso perdavimo *Internet* protokolu paslaugą.

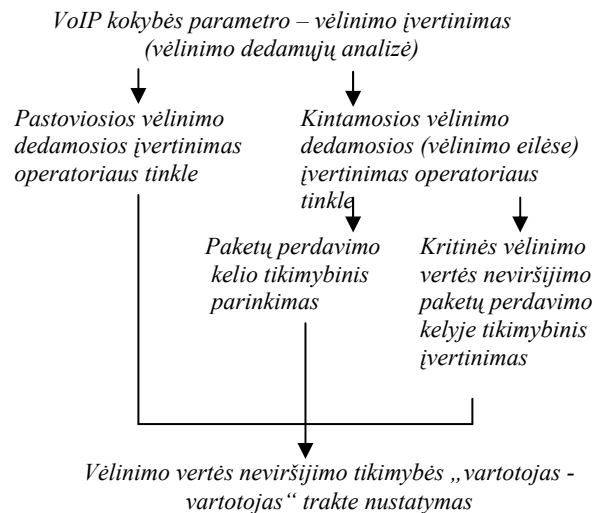
### Paketų perdavimo paslaugos kokybės įvertinimo modelis „vartotojas – vartotojas“ trakte

Tam, kad paslaugos teikėjas, sudarydamas sutartį (SLA – Service Level Agreement) su galiniu vartotoju bei IP tinklų teikėjais, galėtų užtikrinti paslaugos kokybę, reikia sudaryti metodiką, leidžiančią įvertinti tiek savo tinklo, tiek kitų į paslaugos teikimą įtrauktų operatorių tinklų įtaką paslaugos kokybei.

Tad pirmiausia tikslinga nustatyti sujungimo struktūros fizinius elementus, nulemiančius paslaugos kokybės parametrų vertes, jų dedamąsias. Tada pirminis duomenų perdavimo paslaugos teikėjas, žinodamas deklaruojamas SLA susitarimuose kitų operatorių kokybės parametrų vertes bei atsižvelgdamas į esamas kokybės parametrų normas konkrečioms paslaugoms, gali pagrįsti savuosius išsipareigojimus vartotojui.

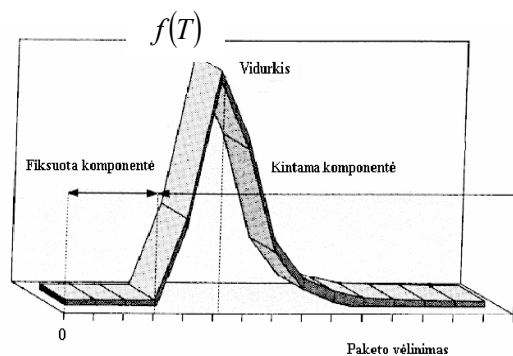
QoS parametrai aprašo ryšio tarp dviejų tinklo taškų kokybę. Nagrinėjant VoIP paslaugos kokybės užtikrinimą,

ypač svarbus kokybės parametras – paketų vėlinimo trukmė (labai jautrus balso duomenys) [6], tad pateikiamas paketų perdavimo vėlinimo trukmės įvertinimo modelis (1 pav.).



1 pav. Paketų perdavimo paslaugos vėlinimo parametru atžvilgiu kokybės įvertinimo modelis „vartotojas – vartotojas“ sujungime

Remiantis empiriniais balso perdavimo IP paslaugos duomenimis, nustatyta [6], kad vėlinimas susideda iš pastoviosios ir kintamosios dedamųjų (2 pav.).



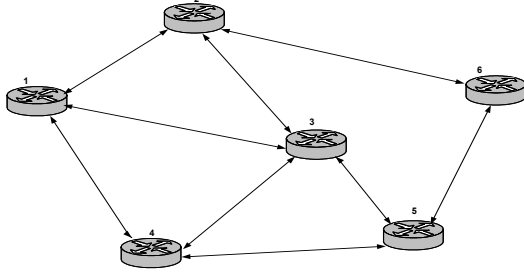
2 pav. Pastovioji ir kintamoji vėlinimo trukmės komponentės

Išanalizavus visas vėlinimo dedamąsias, galutinė (pastovioji) šio parametru vertė apskaičiuojama taip:

$$T_p = T_{kod} + T_{pakt} + \sum_N \left( L \cdot E + \frac{M}{R} + T_{eil} + T_{komi} \right) + T_{dekod} + T_{juti}; \quad (1)$$

čia  $L$  – atstumas tarp gretimų maršrutizatorių;  $E$  – signalo sklidimo linija vėlinimo trukmė, priklausanti nuo perdavimo terpės (paprastai imama  $5 \times 10^{-6}$  s/km);  $M$  – perduodamo paketo ilgis;  $R_{ij}$  – kanalo tarp  $i$  ir  $j$  mazgų perdavimo sparta;  $T_{dekod}$  – paketo dekodavimo vėlinimas (paprastai 10 kartų mažesnė trukmė nei  $T_{kod}$ );  $T_{juti}$  – buferio vėlinimas, kompensuojantis kintamąjį vėlinimą.

Žinodamas konkrečią (3 pav.) tinklo struktūrą, lemiančią paketo perdavimo vėlinimo trukmę, operatorius gali apskaičiuoti garantuojamą vėlinimo trukmę paslaugos vartotojui, t.y. ribinę šio parametro vertę.



3 pav. Operatoriaus tinklo struktūros pavyzdys

Tačiau iškyla išpareigojimų vartotojui pagrįstumo problema, nes negalima teigti, kad vartotojui garantuojama vėlinimo trukmė niekada nebus viršyta. Tai priklauso nuo tinklo būklės (jo apkrovimo) bei pasirinkto maršruto paketams perduoti, kadangi duomenų paketai, siunčiami į tą pačią paskirties vietą, kiekvieną kartą gali pereiti skirtingais keliais (aplanko nevienodą mazgų skaičių). Todėl aktuali ne tik garantuojama vėlinimo trukmė, bet ir būtina apskaičiuoti tikimybę, kad jos vertė nebus viršyta.

Į tinklo mazgą patenkančių balso paketų aptarnavimo procesams analizuoti siūloma taikyti įvairius teorinius modelius – M/M/1, M/D/1, M/G/1 ir t.t. Laikoma [7], kad balso paketai patenka į aptarnavimo įrenginį pagal Puasono skirstinį su intensyvumu  $\lambda$ , o jų aptarnavimo trukmė pasiskirsčiusi eksponentiškai su vidutine verte  $1/\mu$ . Tad VoIP paslaugos paketų vėlinimui maršrutizatoriuje aprašyti tinka tiek M/M/1 sistema, aprašanti mazgą su viena aptarnaujančia linija ir neriboto ilgio buferio eile, tiek M/M/1/S sistema, kai mazge eilės ilgis ribojamas – S–1. Sistema M/D/1 skiriasi nuo M/M/1 sistemos tik determinuota paketo apdorojimo trukme. Nors buferių talpos nebegalinės, tačiau dabartiniu metu joms gerokai išaugus, dėl atminties trūkumo paketų patiriami nuostoliai yra labai nedideli ir todėl jų galima nepaisyti. Tad paketo vėlinimo trukmei tinklo mazguose tikimybiškai įvertinti pakanka paprastesnio M/M/1 modelio. Šis tikimybinis įvertinimas (2) apima: paketo perdavimo kelio, susidedančio iš tam tikro atkarpų skaičiaus, tikimybinį parinkimą bei vėlinimo kritinės vertės neviršijimo konkrečios topologijos tinkle tikimybės apskaičiavimą:

$$P = P[K_i] \cdot P[T \leq T_{kr}]; \quad (2)$$

$$P[K_i] = \frac{\left(\frac{1}{p_i}\right)^{N-i-1}}{(N-i-1)!} \bigg/ \sum_{j=0}^{N-2} \frac{\left(\frac{1}{p_i}\right)^j}{j!} \quad (3)$$

$$P[T \leq T_{kr}] = \sum_{k=1}^{i+1} \psi_k \left(1 - e^{-\beta_k T_{kr}}\right); \quad (4)$$

čia  $P[K_i]$  – tikimybė, kad bus pasirinktas kelias, susidedantis iš  $i$  atkarpų ( $i = 1, \dots, N-1$ );  $N$  – tinklo mazgai, pasižymintys individualiomis eilėmis, iš kurių paketai perduodami į identišką išėjimo linijas;  $p$  – paketo perdavimo krypties pasirinkimo tikimybė;  $P[T \leq T_{kr}]$  – tikimybė, kad paketo vėlinimo trukmė pasirinktame  $i$  atkarpų kelyje neviršys kritinės ( $T_{kr}$ ) vertės;  $\psi_k = \prod_{\substack{j=1 \\ j \neq k}}^n \frac{\beta_j}{\beta_j - \beta_k}$  – koeficientas, apibūdinantis

$k$ -ojo mazgo įtaką bendrajam vėlinimui (remiantis srautų intensyvumų bei apdorojimo sąlygų ( $\lambda$  – paketų atėjimo intensyvumų ir  $\mu$  – jų apdorojimo intensyvumų) skirtumais maršrutizatoriuose).

Taigi, atsižvelgus į tinklo struktūrą, bendroji kritinės vėlinimo vertės neviršijimo tikimybė jame išreiškiama lygtimi:

$$P_\Sigma = \sum_L P_i = \sum_L \left( \frac{\left(\frac{1}{p_i}\right)^{N-i-1}}{(N-i-1)!} \cdot \sum_{k=1}^{i+1} \psi_k \left(1 - e^{-\beta_k T_{kr}}\right) \right); \quad (5)$$

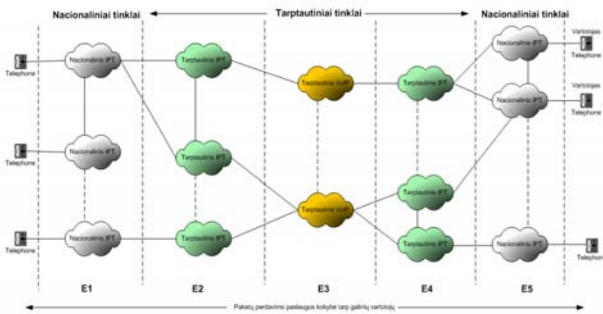
čia  $L$  – konkrečiame tinkle esančių kelių paketams perduoti tarp galinių taškų skaičius;  $L$  nustatomas remiantis konkrečia tinklo struktūra (mazgų jungiamumu, ryšio kryptimis ir t.t.).

Tad operatorius, norėdamas žinoti paketo vėlinimo trukmę savajame tinkle bei įvertinti jo pasiklivimo lygmenį, turi atsižvelgti į duomenų paketų vėlinimo charakteristikos dedamąsias, priklausančias nuo tinklo įrangos – savojo tinklo topologijos (mazgų skaičiaus, jų jungiamumo tarpusavyje, duomenų perdavimo kryptių prioritetų), taip pat įvertinti ir mazgų charakteristikas.

Išanalizavus vieno operatoriaus tinkle atsiradusį vėlinimą ir jį tikimybiškai įvertinus, tolesnis žingsnis būtų viso „vartotojas – vartotojas“ sujungimo paketams perduoti vėlinimo neviršijimo tikimybinis įvertinimas.

Esant daugiaoperatoriam ryšiui (4 pav.), paketai perduodami per daugelį tranzitinių operatorių tinklų, lemiančių paslaugos kokybę galiniam vartotojui. Duomenų perdavimo paslaugos teikėjas pasirašo paslaugos lygio susitarimą su vartotoju, priimdamas išpareigojimus teikiamos paslaugos kokybei. Jei duomenys perduodami

keletu tinklų, pvz., tarptautiniais kanalais, be priimtų savojo tinklo kokybės garantijų (vidutinio ar maksimalaus paketų perdavimo vėlinimo su tam tikru pasiklovimo lygmeniu), paslaugos teikėjas privalo įvertinti ir kitų operatorių teikiamas garantijas, pasirašydamas keletą SLA. Juose operatoriai tiesioginiam paslaugos teikėjui išsipareigoja užtikrinti kokybės parametro – vėlinimo trukmės vidutinę ar maksimalią vertę su tam tikra garantija – pasiklovimo lygmeniu.



Čia E1, E2, E3, E4, E5 – skirtingi sujungimo etapų operatoriai.

4 pav. Paketo perdavimo „vartotojas – vartotojas“ sujungime struktūros pavyzdys

Remiantis pateikta (5) išraiška, parenkamas paketo perdavimo kelias (konkretūs tarptautiniai tranzitiniai operatoriai). Tikslas – rasti kelią, t.y. tranzitinius tinklus paketui perduoti daugiaoperatorėje aplinkoje, kuriais siunčiamas paketas neviršytų nustatytos (norminės) vėlinimo parametro vertės su tam tikru pasiklovimo lygmeniu, teikiant interaktyviąją (VoIP) paslaugą.

Kadangi tinklai (jų funkcionavimas) vieni kitiems įtakos neturi, galiniame paketų perdavimo taške visų tinklų, esančių duomenų perdavimo keliuose, pasiklovimo lygmenys integruojami.

Šio parametro normą galiniam paslaugos vartotojui galima užtikrinti su tikimybe, apskaičiuojama Laplace'o transformacijų, momentus generuojančių funkcijų ar matematinės indukcijos – sąsūkų metodais, [8–9].

Vėlinimo trukmė aprašoma gama skirstiniu [6], taigi, norint tikimybiskai įvertinti vėlinimą daugiaoperatorėje terpėje, tikslinga pasinaudoti momentus generuojančiomis funkcijomis, remiantis centrine ribine teorema, teigiančia, kad gana didelio skaičiaus atsitiktinių dydžių sumos pasiskirstymo funkcija, esant labai bendroms sąlygoms (egzistuoja dispersija, Liapunovo trupmena  $L_n \rightarrow 0$ ), galima aproksimuoti normaliuoju skirstiniu, skleidžiant ortogonaliaisiais polinomais (Ermito polinomais). Suminė vėlinimo charakteristikos tankio funkcija išreiškiama eilute:

$$f(x) \approx \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{x^2}{2}} \left( 1 + \frac{\chi_3}{3! \sigma^3} H_3(x) + \frac{\chi_4}{4! \sigma^4} H_4(x) + \frac{\chi_5}{5! \sigma^5} H_5(x) + \dots \right); \quad (6)$$

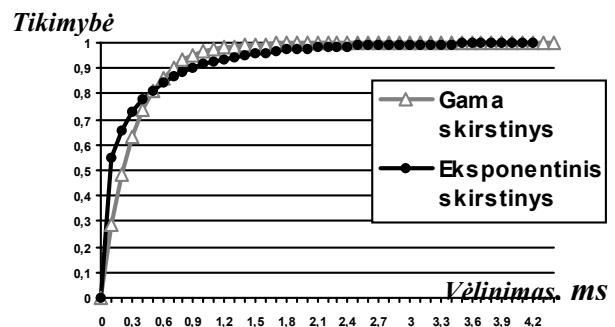
čia  $H_k(x)$  – Ermito polinomai;  $\chi_k$  – pusvariančiai (kumuliantai).

Norint priimti išsipareigojimus VoIP paslaugos kokybei „vartotojas – vartotojas“ sujungime, bendruoju atveju integruojant tikimybinį tankį (6) ieškoma funkcija:

$$P(T \leq T_{kr}) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{T_{kr}} e^{-\frac{x^2}{2}} \left( 1 + \sum_{n=3}^{\infty} \frac{\chi_n}{n! (\sigma^2)^{n/2}} H_n(x) \right) dx. \quad (7)$$

Normalusis skirstinys yra nesunkiai aprašomas vidurkiu ir dispersija. Tačiau realiai narių skaičius – tranzitinių tinklų skaičius paketo perdavimo kelyje yra baigtinis, taigi, parinkus apibrėžtą narių skaičių, suminis skirstinys normaliojo skirstinio formos neišgauna.

Tarus, kad gama skirstinio parametras  $\alpha = 1$ , šis skirstinys tampa eksponentinis (dalinis gama skirstinio atvejis). Šių skirstinių palyginimą iliustruoja 5 pav., kuriame, pateikus konkretų pavyzdį, matyti, kad skirstinių tikimybinės vertės skiriasi tik palyginti nedidelių vėlinimo verčių zonoje (konkrečiu atveju 0 – 2,7 ms) dėl to, kad eksponentės narys tiek eksponentiniame, tiek gama skirstiniuose, didėjant jos laipsnio rodikliui, lemia funkcijos vertę. Įvertinus tai, kad tinklas priklausomai nuo jo dydžio paketą vėlina maždaug 20 ms ir daugiau [1], dėl anksčiau minėtos priežasties ties toleruojamo vėlinimo trukmės atskaita (VoIP – 150 ms) [10] šie skirstiniai sutampa (igyja tą pačią vertę –  $P_{gama} = P_{eksp} = 1$ ).



5 pav. Gama ir eksponentinio skirstinių palyginimas (eksponentinio skirstinio parametras  $\beta = 1$ , gama skirstinio –  $\beta = 1, \alpha = 0,3$ )

Vėlinimo trukmės neviršijimo tikimybei sujungimo gale apskaičiuoti pagal nepriklausomus eksponentinius skirstinius patogiu pasinaudoti matematinės indukcijos (sąsūkų) metodu [8]:

$$(P_1 * P_2)(t) = \int_{-\infty}^{\infty} P_1(t-x) dP_2(x), \quad x \leq t; \quad (8)$$

čia  $P_1, P_2$  – pirmojo ir antrojo operatorių tinklų vėlinimo trukmės tikimybiniai skirstiniai;  $t - x$  – vėlinimo trukmės postūmis (transformacija); argumentas  $t$  yra kritinė (toleruotina) kokybės parametro vertė –  $T_{kr} = 150$  ms [12], interaktyviajai duomenų perdavimo paslaugai (pvz., VoIP).

1 lentelėje pateikiamas vėlinimo neviršijimo tikimybinis įvertinimas, paketus perduodant per skirtingą operatorių tinklų skaičių.

$$P(T \leq T_{kr}) = (-1)^{n-1} \prod_{i=1}^n \beta_i \sum_{j=1}^n \frac{1 - e^{-\beta_i t}}{\prod_{\substack{k=1 \\ k \neq j}}^n (\beta_j - \beta_k)}. \quad (9)$$

Įvertinus galimus paketo perdavimo maršrutus konkrečios topologijos tinkle tarp galinių vartotojų, paskirties taške skaičiuojama visos tinklo struktūros vėlinimo neviršijimo tikimybė [8]:

$$P_{v-v}(T \leq T_{kr}) = \sum_L p \cdot P(T \leq T_{kr}); \quad (10)$$

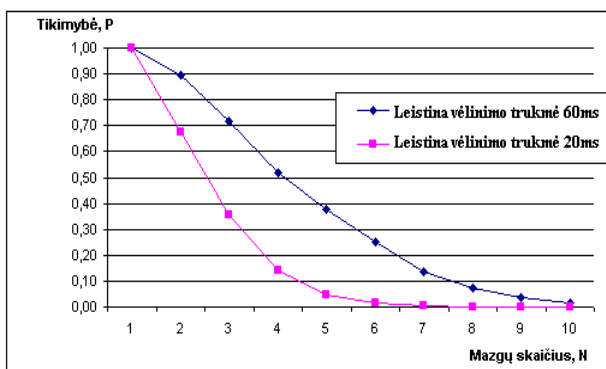
čia  $L$  – galimų paketų perdavimo kelių iš maršruto pradžios į paskirties tašką skaičius;  $p$  – konkrečios išėjimo krypties (kelio) išrinkimo tikimybė;  $P(T \leq T_{kr})$  – vėlinimo neviršijimo garantija tame paketo perdavimo kelyje, apskaičiuojama pagal (9).

**1 lentelė.** Nepriklausomų eksponentinių dydžių tikimybiniai skirstiniai

Tinklų paketo perdavimo kelyje skaičius, $E$	Tikimybiniai skirstiniai
$E = 2$	$\frac{\beta_2(1 - e^{-\beta_1 t})}{\beta_2 - \beta_1} - \frac{\beta_1(1 - e^{-\beta_2 t})}{\beta_2 - \beta_1}$
$E = 3$	$\frac{\beta_2 \beta_3 (1 - e^{-\beta_1 t})}{(\beta_1 - \beta_2)(\beta_1 - \beta_3)} + \frac{\beta_1 \beta_3 (1 - e^{-\beta_2 t})}{(\beta_2 - \beta_1)(\beta_2 - \beta_3)} + \frac{\beta_1 \beta_2 (1 - e^{-\beta_3 t})}{(\beta_3 - \beta_1)(\beta_3 - \beta_2)}$
...	...
$E = n$	$(-1)^{n-1} \prod_{i=1}^n \beta_i \sum_{j=1}^n \frac{1 - e^{-\beta_i t}}{\prod_{\substack{k=1 \\ k \neq j}}^n (\beta_j - \beta_k)}$

## Praktinė dalis

Imitacinio modeliavimo būdu įvertinama paketų perdavimo daugiaoperatorėje terpėje kokybė. Modeliuojama maršruto (trakto mazgų skaičiaus) įtaka balso paketų perdavimo trukmei.



**6 pav.** Paketo perdavimo kelio įtaka kritinei vėlinimo vertei užtikrinti, keičiant leistino vėlinimo ribą

Modeliuojant nustatyta kritinės kokybės parametro – paketų vėlinimo neviršijimo tikimybės priklausomybė nuo tinklo elementų skaičiaus paketų perdavimo kelyje. Iš pateiktų grafinių priklausomybių (6 pav.) matyti, kad, sušvelninus sujungime reikalavimus vėlinimui (padidinus leidžiamą jo kritinę vertę), duomenų paketus galima perduoti garantuojant didesnę pasiklovimo lygmenį vartotojui arba pasirinkti ilgesnį paketų perdavimo kelią, tenkinantį SLA reikalavimus.

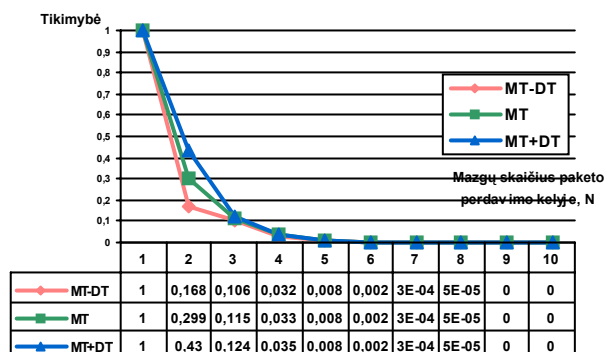
Įvertinus vėlinimo kritinės vertės operatoriaus tinkle neviršijimo tikimybę, išvedamos išraiškos tikimybinio skirstinio sklaidai, t.y. vidurkiui (11) bei dispersijai (12) rasti:

$$MT = \int_0^{T_{kr}} t \sum_{k=1}^{i+1} \psi_k \beta_k e^{-\beta_k t} dt = \sum_{k=1}^{i+1} \psi_k \left(1 - e^{-\beta_k T_{kr}}\right) \quad (11)$$

$$DT = \left( \sum_{k=1}^n \psi_k \beta_k e^{-\beta_k T_{kr}} \right) \times \left( \frac{T_{kr}^3}{3} - T_{kr}^2 \sum_{k=1}^n \psi_k \left(1 - e^{-\beta_k T_{kr}}\right) + T_{kr} \left( \sum_{k=1}^n \psi_k \left(1 - e^{-\beta_k T_{kr}}\right) \right)^2 \right) \quad (12)$$

Modeliavimo rezultatai, remiantis (11) ir (12) pateikiami 7 pav. Matyti, kad didesnė skirstinio verčių sklaida yra dviejų mazgų kelyje. Ši tikimybių verčių sklaida mažėja, esant ilgesniems keliams (daugėjant mazgų skaičiui kelyje). Tikimybinės sklaidos vertės mažėjimą galima paaiškinti tikimybių daugyba (remiantis (12)).

Daugiaoperatoriame „vartotojas – vartotojas“ paketo perdavimo kelyje kokybei įvertinti tikslinga pasinaudoti sudaryta vėlinimo trukmės neviršijimo tikimybės skaičiavimo metodika.

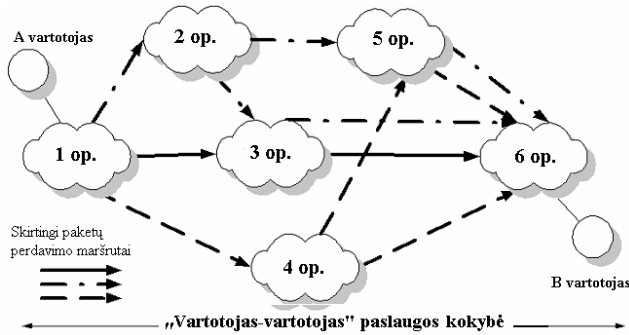


**7 pav.** Sėkmingo paketų perdavimo (leistina riba –  $T = 150$  ms) pasiklovimo lygmens verčių sklaidos ribos

## Įsipareigojimų vartotojui įvertinimo metodika

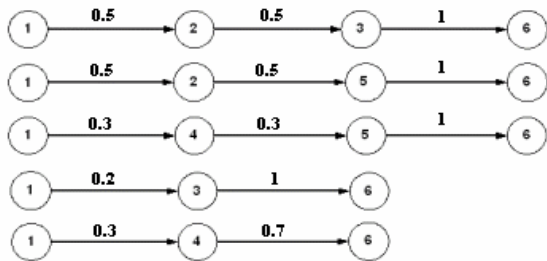
Pasiremsime konkrečia fizine tarptautinio IP tinklo struktūra (8 pav.). Kokybės normos yra nustatomos

kiekvienam IP tranzitinio operatoriaus duomenų perdavimo tinklui, įvertinus fizinę tinklo struktūrą – mazgų skaičių ir pan. Į šias normas įeina vidutinė ar maksimali vėlinimo trukmės vertė su jos neviršijimo tikimybe [11].



8 pav. Daugiaoperatorės paketų perdavimo tarpės struktūros pavyzdys

Tarptautinio sujungimo struktūroje numatomi visi galimi paketų perdavimo į paskirties tašką keliai (9 pav.) bei įvertinama kiekvieno kelio išrinkimo tikimybė.



9 pav. Paketų perdavimo tarp galinių (pvz., 1–6) vartotojų maršrutų parinkimo tikimybės

Dažnai SLA deklaruojamos tik vėlinimo ( $T$ ) ir jo neviršijimo tikimybės ( $P$ ) vertės, tad vėlinimui aprašyti pritaikius eksponentinį skirstinį, nesunkiai galima įvertinti išpareigojimus galiniam vartotojui, kadangi minimas skirstinys aprašomas tik vienu parametru –  $\beta = \mu - \lambda$ .

Iš eksponentinio skirstinio išraiškos (13) išreiškiamas jo parametras  $\beta$  (14):

$$P_i(T \leq T_{kr}) = 1 - e^{-\beta_i T_i}; \quad (13)$$

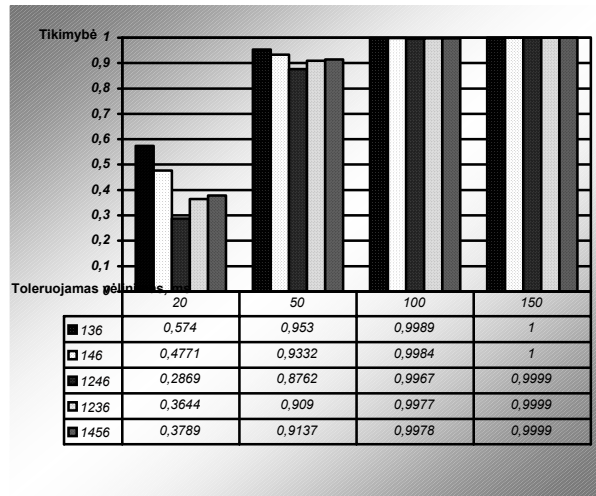
$$\beta_i = -\frac{\ln(1 - P_i(T \leq T_{kr}))}{T_i}. \quad (14)$$

Įvertinus paketo perdavimo kelią (pereitų tranzitinių tinklų skaičių), apskaičiuojamos atitinkamai  $\beta_i$  vertės ir, pasinaudojus pilnutinės tikimybės išraiška (10), gaunama vėlinimo neviršijimo tikimybė paskirties taške (galiniam VoIP paslaugos vartotojui).

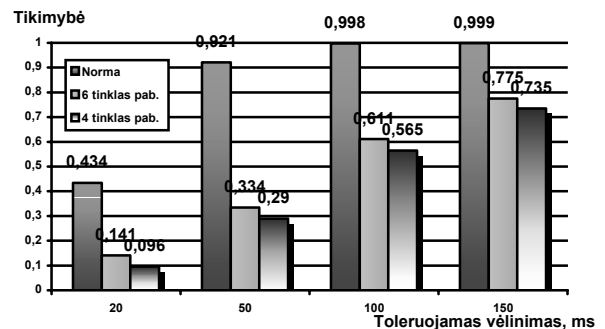
Pasirėmus šiuo pavyzdžiu, patogu ir tikslinga ištirti vėlinimo toleravimo ribos keitimo įtaką pasiklojimo lygmeniui paketų perdavimo maršrutuose – kryptyse, keičiant toleruojamą vėlinimo vertę (10 pav.).

Apskaičiavus bendrąją vėlinimo neviršijimo tikimybę, tam tikruose tranzitiniuose tinkluose modeliuojamas ryšio sąlygų pablogėjimas, pasirenkant didesnes vėlinimo vertes

ar mažesnę jo užtikrinimo tikimybę. Atlikus skaičiavimus, skirstiniai palyginami, nustatant, kiek vienos paketo perdavimo krypties funkcionavimo kokybės pablogėjimas turi įtakos visai tarptautinės struktūros funkcionavimo kokybei (11 pav.).



10 pav. Vėlinimo tolerancija maršrutuose



11 pav. Vėlinimo garantijų užtikrinimas galiniam paslaugos vartotojui

Kai paketo perdavimo kokybė pablogėja, tada arba vėlinimas peržengia toleruotiną ribą dėl per didelio skaičiaus tarpinių operatorių paketo perdavimo kelyje, arba pablogėjus kurio nors tranzitinio operatoriaus tinklo funkcionavimui, neleistinai išauga vėlinimo trukmė ar jos neviršijimo tikimybė neatitinka deklaruotos SLA.

## Išvados

Laplace'o transformacijų metodas įgalina tikimybiškai įvertinti tinklo funkcionavimą ir priimti pagrįstus išpareigojimus dėl paslaugos kokybės.

Išanalizuotos duomenų perdavimo paslaugos kokybės užtikrinimo galimybės daugiaoperatoriame sujungime bei pasiūlytos vėlinimo trukmės tikimybinio įvertinimo analitinės išraiškos, remiantis gama bei eksponentiniais skirstiniais, pasinaudojus momentus generuojančių funkcijų bei matematinės indukcijos – tikimybinų skirstinių sąsūkių metodais. Tačiau, atsižvelgus į tai, kad daugiaoperatorės VoIP paslaugos kokybės vertintojas disponuoja tik dviem parametrais – vėlinimu bei jo neviršijimo tikimybe, pasiūlytas patogus būdas, leidžiantis

eksponentinių skirstinių sąsūkomis įvertinti išpareigojimus galiniam VoIP paslaugos vartotojui.

Kintamosios vėlinimo dedamosios – paketų vėlinimo eilėse – tikimybinių verčių sklaidai nustatyti sudarytos tikimybinio skirstinio vidurkio bei dispersijos išraiškos. Nustatyta, kad tikimybinių verčių sklaida netolygi ir priklauso nuo paketų perdavimo kelio struktūros, t.y. mazgų skaičiaus.

Ištirta kritinės vėlinimo vertės neviršijimo tikimybės priklausomybė nuo tinklo elementų skaičiaus. Modeliavimo rezultatai rodo, kad, padidinus leistiną vėlinimo ribą, padidėja paketų vėlinimo neviršijimo tikimybė tame pačiame paketų perdavimo maršrute.

Nustatyta, kad vėlinimo trukmės padidėjimas vieno tranzitinio operatoriaus tinkle, sutrikus tinklo funkcionavimui, kai turi būti užtikrintos mažos vėlinimo vertės, deklaruojamos SLA, labiau sumažina vėlinimo trukmės neviršijimo tikimybę, palyginti su tuo atveju, kai tinkle leidžiamos didesnės vėlinimo vertės.

Pasiūlyta metodika leidžia paslaugos teikėjui pasirinkti sujungimo operatorius, kad būtų galima užtikrinti vartotojui priimtina interaktyviosios duomenų perdavimo paslaugos (pvz., VoIP) kokybę.

## Literatūra

1. **Rec. ITU-T I.380.** Internet Protocol (IP) Data Communication Service – IP Packet Transfer and Availability Performance Parameters // Recommendation of ITU-T – Geneva: ITU, February 1999. – 26 p.
2. **A Common Framework** for QoS/NP in a Multi-Provider Environment / Eurescom project P806-G1, EqoS. – Heidelberg, 1999. – 56 p.
3. **Service Level Agreements Specification** for IP Premium Service. / SEQUIN project. – 2001. – 23 p.
4. **QoS Control** in SLA Networks / CADENUS Project. – 2001. – 54 p.
5. **Gudonavičius R., Dekeris B., Narbutaitė L., Jankūnienė R., Budnikas A.** Automatizuota telefono tinklo būklės atpažinimo sistema // Elektronika ir elektrotechnika. – Kaunas: Technologija, 2002. - Nr.1(36). – P.7–14.
6. **Kobayashi K., Katayama T.** Analysis and Evaluation of Packet Delay Variance in The Internet. IEICE TRANS. COMMUN. VOL.E85-B, Nr.1 – 2002. – P.35–42.
7. **Yamamoto H., Abe T.** Traffic Control Scheme for Carrier-Seal VoIP Services / IEICE Trans. Commun. Vol. E85-B, No1. – 2002. – P.14–24.
8. **Корн Г., Корн Т.** Справочник по математике для научных работников и инженеров // Москва: Наука, 1973. – 832 p.
9. **Вентцель Е.С., Овчаров Л.А.** Теория случайных процессов и ее инженерные приложения. – Москва: Наука, 1991. – 383 p.
10. **Rec. ITU-T G.114.** One-way transmission time // Recommendation of ITU-T – Geneva: ITU, 1996, – 13 p.
11. **Grgic I., Rohne M.** // Agreements in IP-based Networks // Internet Traffic Engineering, Telekomunik, 2/3. – 2001. – P. 186–211.

Pateikta spaudai 2003 11 18

**R. Jankūnienė. Balso perdavimo Internet protokolu paslaugos kokybės daugiaoperatorėje terpėje įvertinimas // Elektronika ir elektrotechnika. – Kaunas: Technologija, 2004. – Nr. 1(50). – P. 67–72.**

Šiame straipsnyje aptariamas pagrįstų išpareigojimų paslaugos lygio susitarime priėmimas, teikiant vartotojui interaktyvias duomenų perdavimo paslaugas „vartotojas – vartotojas“ daugiaoperatoriame sujungime. Sukurtas analitinis modelis paslaugos kokybės parametrai – toleruojamai vėlinimo trukmei daugiaoperatorėje terpėje tikimybiškai įvertinti ir, remiantis juo, pateiktas praktinis kokybės įvertinimo pavyzdys. Straipsnyje pateiktas matematinis modelis, įvertinantis gama ir eksponentinių skirstinių pasiklovimo lygmenis daugiaoperatorėje struktūroje. Kadangi dažnai daugiaoperatorės VoIP paslaugos kokybės vertintojas disponuoja tik dviem individualų tinklą apibūdinančiais parametrais – vėlinimu bei jo pasiklovimo lygmeniu, pasiūlytas patogus būdas skirstinio parametrai apskaičiuoti, leidžiantis eksponentinių skirstinių sąsūkomis įvertinti pasiklovimo lygmenį galiniam VoIP paslaugos vartotojui. Il. 11, bibl. 11 (lietuvių kalba; santraukos lietuvių, anglų ir rusų k.).

**R. Jankūnienė. QoS Evaluation for Voice Over IP Service in the Multi-Operator Environment // Electronics and Electrical Engineering. – Kaunas: Technologija, 2004. – No. 1(50). – P. 67–72.**

The main question analyzed in this article is estimation of the quality of interactive “user-user” services in the multi-operator structure. The stochastic evaluation of service quality parameter “delay time in limits” in the multi-operator structure and an example of quality estimation according to developed analytical model are presented in this work. The expressions for the estimation of assurance levels of gamma and exponential distributions were derived. Taking into account that the estimator of packets networks service quality in multi-operator environment is often disposing the two parameters only – the delay time and its assurance level of the individual network, the analytical expressions of delay time stochastic evaluations were proposed using probability distributions convolution methods. Ill. 11, bibl. 11 (in Lithuanian; summaries in Lithuanian, English, Russian).

**P. Янкунене. Определение качества VoIP сервиса в многооператорной среде // Электроника и электротехника. – Каунас: Технология, 2004. – № 1(50). – С. 67–72.**

Основной вопрос этой статьи – применение основательных обязательств перед пользователем в сервисном договоре (SLA) для сервиса передачи данных в многооператорной среде. Создана аналитическая модель вероятностного определения параметра качества сервиса, т.е. времени задержки в многооператорной среде. Предложен практический подход к решению этой проблемы. В статье предложена математическая модель для описания гамма и экспонентного распределения доверительных уровней в многооператорной среде. Принимая в учет то, что нередко определитель качества VoIP сервиса владеет только информацией о двух параметрах качества функционирования индивидуальной сети, т.е. времени задержки и ее доверительным уровнем, предложен удобный метод для решения этой проблемы. Ил. 11, библи. 11 (на литовском языке; рефераты на литовском, английском и русском яз.).