

T 180 TELEKOMUNIKACIJŲ INŽINERIJA

## Balso perdavimo interneto tinklu charakteristikų tyrimas

R. Rindzevičius, P. Tervydis

Telekomunikacijų katedra, Kauno technologijos universitetas

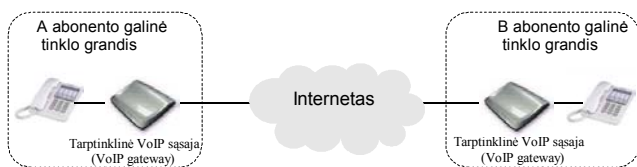
Studentų g. 50, LT-3031 Kaunas, Lietuva, tel. +370 37 300515; el. paštas ramrin@tef.ktu.lt

### Įvadas

Vartotojai vis plačiau naudojami balso perdavimo interneto protokolu – VoIP (Voice over Internet Protocol) veikiančiais tinklais paslauga, nes ji yra palyginti pigi. IP tinklais perduodamo balso kokybė žymia dalimi priklauso nuo IP tinklo našumo ir į jį patenkančio informacijos srauto intensyvumo. Perduoto IP tinklu balso kokybei nusakyti dažnai pakanka dviejų parametų: paketų perdavimo tinklu trukmės, paketų praradimo tinkle tikimybės. Rekomendacijose nurodyta, kad patenkinamai balso kokybei užtikrinti duomenų perdavimo tinkluose viena kryptimi paketų vėlinimas neturi viršyti 180 ms, o paketų praradimo tikimybė - <3%. Realiai veikiančiuose IP tinkluose šių parametų vertės nustatomos pasiunčiant į IP tinklą kontrolinį duomenų paketą, panaudojant tam tikslui testavimo komandą „ping“. Duomenų perdavimo tinkluose atlikti testavimo darbai rodo, kad apie 85% tinklų netenkina balso perdavimui keliamų reikalavimų. Balso perdavimo kokybei IP tinkluose įvertinti naudojami įvairūs matematiniai ir imitaciniai modeliai [3,4,5,6]. Panagrinėsime, kaip balso perdavimo kokybę nusakančių parametų vertės priklauso nuo į IP tinklą patenkančių paketų srauto intensyvumo ir tinklo pralaidumo.

### Balso perdavimo internetu sistemos struktūra

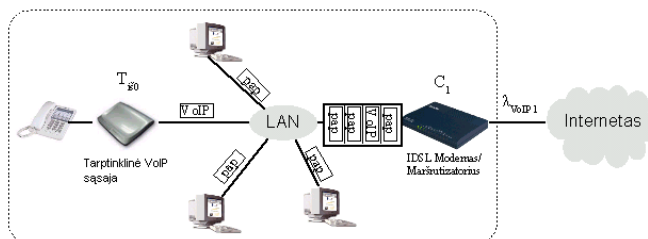
1 pav. pateikta balso perdavimo IP tinklu sistemos struktūrinė schema. IP tinklo galuose statomos tarptinklinės VoIP sąsajos, kurios suderina skirtingas balso perdavimo technologijas: iš vienos pusės - analoginių balso signalą keičia skaitmeniniu, o paskui įkelia jį į IP paketus, tinkamus perduoti internetu, iš kitos pusės – iš priimtų IP paketų duomenų atkuria analoginį signalą. Prie VoIP sąsajų prijungiami analoginiai toninio rinkimo telefono aparatai.



1 pav. VoIP sistemos struktūrinė schema

### Duomenų paketų srautų IP tinkle analizė

Panagrinėkime duomenų paketų IP tinkle srautus, kuriuos sukuria duomenų perdavimo terminalai ir balso šaltiniai. VoIP paketas, išsiųstas iš A abonto tarptinklinės VoIP sąsajos įrenginio, patenka į IP protokolu veikiančią tinklą ir yra nuosekliai perduodamas per daugelį tarpinių interneto mazgų, kol pasiekia adresatą. Tinklo mazguose duomenų paketas sugaišta tam tikrą laiką, kurį sudaro jų laukimo eilėse trukmė (VoIP paketas laikomas buferyje) ir paketo perdavimo ryšio kanalu trukmė. Į tinklo mazgus tuo pačiu metu patenka ir papildomi kitų duomenų perdavimo tinklo šaltinių siunčiami paketai. Mazge duomenų paketas bus prarandamas, kai jo atėjimo momentu mazgo priėmimo buferis bus visiškai pripildytas.



2 pav. A abonto galinės tinklo grandies mazgo struktūra

2 pav. detaliau parodytas A abonto galinės tinklo grandies mazgas. Matome, kad į mazgą, per kurį išeinama į internetą, patenka tiek VoIP, tiek papildomi paketai, kuriuos siunčia kiti šaltiniai – kompiuteriai.

VoIP paketo išsiuntimo iš galinio tinklo mazgo intensyvumas  $\mu_{VoIP}$  priklauso nuo VoIP paketo suformavimo trukmės  $T_{i0}$  išėjimo į internetą mazgo sąsajoje, duomenų perdavimo kanalo spartos  $C_1$  ir nuo VoIP paketo ilgio  $L_{VoIP}$ :

$$\hat{i}_{VoIP} = \frac{1}{T_{i0} + T_{perd}}; \quad (1)$$

čia  $\bar{T}_{perd}$  - vidutinė VoIP paketo perdavimo kanalu trukmė:

$$\bar{T}_{perd} = \frac{\bar{L}_{VoIP}}{C_1}. \quad (2)$$

Vidutinė VoIP paketo buvimo išėjimo 1 mazge trukmė:

$$\bar{T}_{i\bar{d}} = \bar{T}_{i\bar{d}} + \bar{T}_{perd} + \bar{W}; \quad (3)$$

čia  $\bar{W}$  - vidutinė paketo vėlinimo trukmė buferyje.

Papildomų duomenų paketų srauto vidutinį paketo ilgį pažymėsime  $\bar{L}_{pap}$ . Tada šių paketų vidutinė perdavimo trukmė kanale:

$$\bar{T}_{perdp} = \frac{\bar{L}_{pap}}{C_1}. \quad (4)$$

Tai tinklo 1 mazgo išėjimo abiejų tipų paketų išsiuntimo vidutinis intensyvumas:

$$\bar{\lambda}_1 = \frac{p_1 \bar{L}_{VoIP} + p_2 \bar{L}_{pap}}{C_1}; \quad (5)$$

čia  $p_1$  - tikimybė, kad į mazgą patenka VoIP duomenų paketas,  $p_2$  - tikimybė, kad į mazgą patenka papildomas duomenų paketas. Kai į mazgą patenka puasoniniai paketų srautai,  $p_1$  ir  $p_2$  tikimybės tampa proporcingos atitinkamų paketų atėjimo srautų parametrus.

Balso informaciją teikiančių paketų vėlinimo trukmė kitame tranzitiniame tinklo mazge sumažėja VoIP paketo suformavimo trukme, nes tranzitiniuose mazguose ši procedūra neatliekama ir esant laisvam duomenų perdavimo kanalui jie yra siunčiami tinklu link adresato.

Daugelyje duomenų perdavimo tinklų siunčiamiems balso paketams mazguose suteikiamas prioritetas palyginti su į mazgą patenkančiais papildomais paketais. Patekęs į mazgą VoIP duomenų paketas momentu, kai perdavimo kanalas užimtas siunčiamo papildomo duomenų paketo yra priverčiamas buferyje laukti papildomo paketo likusį siuntimo kanalu laiką.

Tarkim, kad siunčiamo papildomo paketo ilgis VoIP paketo atėjimo momentu yra atsitiktinis ir nepriklausomas nuo prieš tai išsiūsto.

Tarkim, šio paketo ilgis gali įgyti vertę iš masyvo  $L'_{papk} = \{1, 2, \dots, L_{pap}\}$ , su vienoda tikimybe

$$p = \frac{1}{L_{pap}}; \text{ čia } L_{pap} - \text{maksimalus papildomo paketo ilgis.}$$

Kai

$L'_{papk} = 0$ , mazgas yra laisvas ir VoIP paketas gali būti iš karto išsiūstas;

$L'_{papk} = 1$ , VoIP paketas turi palaukti, kol mazgas išsiūstas anksčiau atėjusio ir siunčiamo paketo paskutinį baitą;

$L'_{papk} = k$ , VoIP paketas turi palaukti, kol mazgas išsiūstas anksčiau atėjusio ir siunčiamo paketo paskutinius  $k$  baitus;

$L'_{papk} = L_{pap}$ , VoIP paketo atėjimo momentu mazgas tik pradeda papildomo paketo siuntimą.

Vidutinį papildomo paketo ilgį, kurį aptinka perdavimo stadijoje į mazgą atėjęs VoIP paketas, galima apskaičiuoti taip:

$$\bar{L}'_{pap} = \sum_{k=1}^{L_{pap}} k \cdot p. \quad (6)$$

Tikimybę, kad  $k$  kartų pasikartos tas pats  $L'_{papk}$  paketo ilgis iš  $n$  imčių, galima apskaičiuoti Bernulio formule [1]:

$$P_n(k) = C_n^k \cdot p^k \cdot q^{n-k}, \quad (7)$$

čia

$$k = 0, 1, \dots, L_{pap}, \quad q = 1 - p,$$

$$C_n^k = \frac{n!}{k!(n-k)!};$$

$C_n^k$  - derinių iš  $n$  po  $k$  skaičius.

Bernulio paraiškų srautui būdinga tai, kad baigtiniame laiko intervale  $[0, T)$  ateinantis paraiškų skaičius yra fiksuotas (lygus  $n$ ), o paraiškų atėjimo momentai yra nepriklausomi bei tolygiai pasiskirstę per laikotarpį  $[0, T)$ . Bernulio srautui aprašyti naudojama atsitiktinio įvykio „laikotarpiu  $[0, t)$ ,  $t \leq T$  ateis  $k$  paraiškų“ tikimybė  $P_k(0, t)$ . Tikimybė, kad duota paraiška ateis laikotarpiu  $[0, T)$ ,  $t \leq T$ , esant tolygiam paraiškų atėjimo momentų pasiskirstymui, yra lygi  $t/T$ . Tuomet Bernulio paraiškų srautui [3]

$$P_k(0, t) = C_n^k \cdot \left(\frac{t}{T}\right)^k \cdot \left(1 - \frac{t}{T}\right)^{n-k}, \quad (8)$$

$$k = 0, 1, 2, \dots, n; \quad 0 < t \leq T.$$

Nesunku pastebėti, kad  $P_k(0, t)$  išraiška, kai  $n \rightarrow \infty$ , sutampa su Puasono srauto skirstiniu:

$$\lim_{n \rightarrow \infty} P_k(0, T) = \frac{(\lambda T)^k}{k!} \cdot e^{-\lambda T}; \quad (9)$$

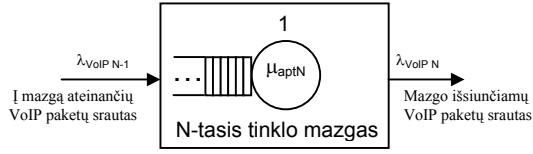
čia  $\lambda$  yra Bernulio srauto parametro vidutinė vertė lygi  $\frac{nP_1}{T}$ , kur  $P_1$  - vienos paraiškos pasirodymo laikotarpis  $[0, T)$  tikimybė. Nagrinėjant šio tipo srautą VoIP paketų perdavimo tinkle ilgais laikotarpiais  $n$  įgauna gana didelę vertę ir šį srautą galima nagrinėti kaip puasoninį.

Kadangi papildomų paketų srautas bendroju atveju pasižymi puasoninio srauto charakteristikomis, tai ir VoIP paketų išsiuntimo į kanalą laiko momentai bus pasiskirstę pagal puasoninį dėsnį, t.y. į kitą tinklo mazgą irgi ateina paprastasis paraiškų srautas, todėl tinklo mazgų paketų vėlinimo trukmės analizei galima panaudoti klasikinį  $M/M/1$  ir  $M/M/1/S$  sistemų modelius.

### Balso perdavimo IP tinklu charakteristikų tyrimo analitiniai modeliai

a) Tinklo mazgo analizė, panaudojant  $M/M/1$  modelį:

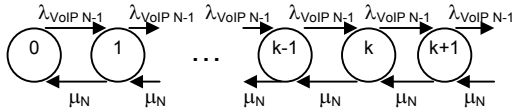
- $M$  – laiko intervalai, tarp gretimų paketų, ateinančių į mazgą, pasiskirstę pagal eksponentinį dėsnį;
- $M$  – mazgo išsiunčiamų paketų perdavimo trukmės kanale pasiskirsčiusios pagal eksponentinį dėsnį;
- $1$  – mazgas išsiunčia paketus vienu kanalu;
- priėmimo mazgo buferio talpa yra neribota.



3 pav. Tinklo  $N$ -tojo mazgo  $M/M/1$  sistemos funkcinis modelis

Į tinklo  $N$ -tąjį mazgą iš  $N-1$  mazgo patenka paprastasis VoIP paketų srautas, kurio intensyvumas  $\lambda_{VoIP N-1}$ , o paketo perdavimo kanalu trukmė pasiskirsčiusi pagal eksponentinį dėsnį parametru  $\hat{\lambda}_N = \frac{1}{T_{perd}}$ . Mazge

vykstančius procesus galime atvaizduoti pasinaudodami Markovo nykimo ir dauginimosi grandine (4 pav.).



4 pav. Markovo procesai  $N$ -tojo mazgo  $M/M/1$  sistemoje

Kad mazge vyktų stacionarus procesas, būtina tenkinti sąlygą  $\check{\epsilon}_{VoIP N-1} < \hat{\lambda}_N$ .

Jeigu ši sąlyga tenkinama, tai tinklo mazgo  $M/M/1$  sistemos būsenos tikimybė

$$P_{kN} = \rho_N^k (1 - \rho_N), \quad k = 0, 1, 2, \dots; \quad (10)$$

čia  $\tilde{\lambda}_N = \frac{\check{\epsilon}_{VoIP N-1}}{\hat{\lambda}_N}$ ,  $P_{kN}$  – tikimybė, kad  $N$ -tajame mazge yra  $k$  paketų.

Pagrindinis parametras, įvertinantis VoIP paketų perdavimą IP sujungimu, yra tų paketų suminė perdavimo tinklu trukmė  $T_{\Sigma}$ . Jei IP sujungimą sudaro  $m$  mazgų, tai suminė paketo perdavimo tinklu trukmė

$$\overline{T_{\Sigma}} = \sum_{k=1}^m \overline{T_{i\delta k}}; \quad (11)$$

čia  $\overline{T_{i\delta F}}$  – VoIP paketo vidutinė vėlinimo trukmė  $k$ -tajame mazge

$$\overline{T_{i\delta N}} = \frac{1}{\hat{\lambda}_N - \check{\epsilon}_{VoIP N-1}}, \quad (12)$$

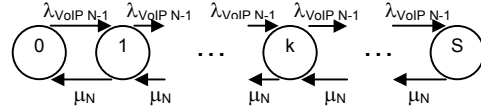
o  $N$ -tojo mazgo išsiunčiamų VoIP paketų intensyvumas

$$\check{\epsilon}_{VoIP N} = \frac{1}{\overline{T_{i\delta N}}}. \quad (13)$$

Skirtingai nuo  $M/M/1/S$  modelio,  $M/M/1$  modelis dėl neribotos buferio talpos nepatiria VoIP paketų praradimų ir apibūdinamas tik paketų laukimo eilėje trukme.

- b) Tinklo mazgo analizė, panaudojant  $M/M/1/S$  modelį:

$M/M/1/S$  sistemos su eile modelyje telpa baigtinis paketų skaičius  $S$ . Pagal šį modelį  $N$ -tajame tinklo mazge vykstantys procesai pavaizduoti Markovo grandine 5 pav.



5 pav.  $N$ -tojo mazgo  $M/M/1/S$  sistemos perėjimo iš vienos būsenos į kitą Markovo grandinė

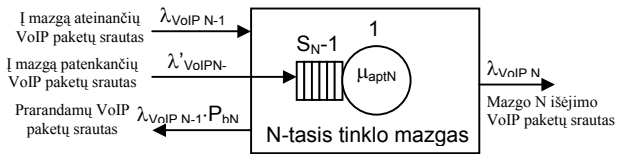
Bet kurios sistemos būsenos tikimybė

$$P_{0N} = \frac{1 - \tilde{\lambda}_N}{1 - \tilde{\lambda}_N^{S+1}}, \quad (14)$$

$$P_{kN} = \tilde{\lambda}_N^k \cdot P_{0N} = \frac{(1 - \tilde{\lambda}_N) \tilde{\lambda}_N^k}{1 - \tilde{\lambda}_N^{S+1}}, \quad k = 1, 2, \dots, S. \quad (15)$$

Paketų praradimą mazge dėl ribotos mazgo talpos nusako tikimybė  $P_{SN}$ .

Kai į  $N$ -tąjį mazgą, kurio priėmimo buferis yra užpildytas, ateina VoIP paketas, jis yra prarandamas. Todėl VoIP paketų srautas pasidalija į du srautus: viena VoIP paketų dalis  $\lambda'_{VoIP N-1}$  intensyvumu patenka į mazgą, o kita dalis intensyvumu  $\check{\epsilon}_{VoIP N-1} \cdot P_{SN}$  neaptarnaujama (6 pav.).



6 pav. Srautų pasiskirstymas  $N$ -tajame mazge  $M/M/1/S$  sistemoje

Į mazgą patenkančių paketų srauto intensyvumas

$$\check{\epsilon}'_{VoIP N-1} = \check{\epsilon}_{VoIP N-1} \cdot (1 - P_{SN}). \quad (16)$$

Mazgo išsiunčiamų VoIP paketų srauto intensyvumas apskaičiuojama pagal (13) išraišką.

Tinklo  $N$ -tojo mazgo paketų aptarnavimo charakteristikos, kai buferio talpa ribota:

- 1) Paketų praradimo tikimybė

$$P_{SN} = \frac{(1 - \tilde{\lambda}_N) \tilde{\lambda}_N^{S+1}}{1 - \tilde{\lambda}_N^{S+1}}. \quad (17)$$

Kai  $\rho_N = 1$ , paketų praradimo tikimybė apskaičiuojama remiantis L'Hospitalio taisykle:

$$P_{SN} = \frac{1}{1 - S_N}. \quad (18)$$

- 2) Vidutinis paketų skaičius  $N$  mazge

$$\overline{N}_N = \frac{\tilde{\lambda}_N}{1 - \tilde{\lambda}_N} - \frac{\tilde{\lambda}_N}{1 - \tilde{\lambda}_N} \cdot (S_N + 1) \cdot P_{SN}. \quad (19)$$

Kai  $\rho_N = 1$ , vidutinis paketų skaičius mazge:

$$\bar{N}_N = \frac{S_N}{2}. \quad (20)$$

3) Vidutinis mazgo kanalu perduodamų paketų skaičius

$$\bar{N}_{SN} = 1 - P_{0N} = \tilde{r}_N (1 - \tilde{r}_N^{S_N}). \quad (21)$$

4) Vidutinis eilėje laukiančių paketų skaičius

$$\bar{N}_{qN} = \bar{N}_N - \bar{N}_{SN} = \frac{\tilde{r}_N^2}{1 - \tilde{r}_N} - \frac{(S_N + \tilde{r}_N) \tilde{r}_N}{1 - \tilde{r}_N} P_{SN}. \quad (22)$$

5) Vidutinė paketo buvimo mazge trukmė apskaičiuojama pagal Litlo formulę. Kadangi dalis paketų mazge neaptarnaujama, tai efektyvus paketų atėjimo intensyvumas

$$\lambda_{efN} = \lambda'_{VoIPN-1} = \lambda_{VoIPN-1} (1 - P_{bN}), \quad (23)$$

o vidutinė paketo buvimo mazge trukmė

$$\bar{T}_{i\delta N} = \frac{\bar{N}_N}{\tilde{e}_{efN}} = \frac{1}{\hat{i}_N - \tilde{e}_N} - \frac{S_N \cdot \tilde{r}_N^{S_N+1}}{\tilde{e}_N - \hat{i}_N \cdot \tilde{r}_N^{S_N+1}}. \quad (24)$$

Paketą perduodant per  $m$  mazgų, VoIP paketo vėlinimo trukmė iki  $m$ -tojo mazgo imtinai

$$\bar{T}_{i\delta m} = \sum_{k=1}^m \bar{T}_{i\delta k}; \quad (25)$$

čia  $m$  – tinklo mazgo eilės numeris.

6) VoIP paketo laukimo buferyje trukmė iki jo perdavimo kanalu pradžios:

$$\bar{W} = \frac{\bar{N}_{qN}}{\tilde{e}_{efN}} = \frac{\tilde{r}_N}{\hat{i}_N - \tilde{e}_N} - \frac{S_N \tilde{r}_N^{S_N+1} P_{SN}}{\tilde{e}_N - \hat{i}_N \tilde{r}_N^{S_N+1}}. \quad (26)$$

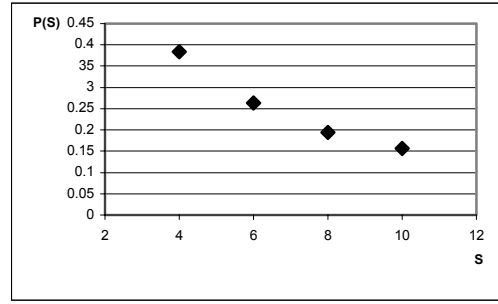
Kiekvieno tinklo mazgo išėjime paketų srauto intensyvumas sumažėja šiame mazge prarastų paketų dalimi, t.y.

$$\tilde{e}_{i\delta OIN} = \tilde{e}_{i\delta OIN} \cdot (1 - P_{SN}). \quad (27)$$

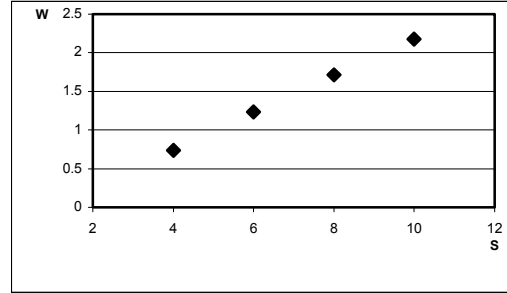
Esant paketų praradimams į kitą tinklo mazgą patenka vis mažesnio intensyvumo duomenų paketų srautas. Balso perdavimo tinklu kokybei įvertinti būtina apskaičiuoti suminę visų tinklo  $m$  mazgų neaptarnautų paketų dalį:

$$P_{S\Sigma} = \sum_{i=1}^m P_{Si}. \quad (28)$$

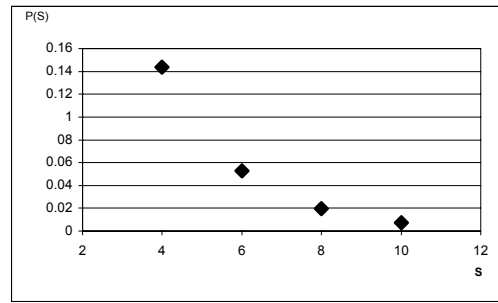
Panaudojant  $M/M/1/S$  modelio parametrų apskaičiavimas išraiškas, atlikti paketų laukimo tinklo buferiuose trukmės ir paketų neaptarnavimo tikimybės trijų mazgų tinkle priklausomybės nuo buferio talpos  $S$ , kai perdavimo kanalai panaudojami skirtingu intensyvumu  $\rho$ , skaičiavimai. VoIP paketai aptarnaujami be prioriteto. Laiko vienetu laikoma vidutinė vieno paketo perdavimo kanalu trukmė. Apskaičiuotos parametrų vertės pateiktos grafikuose. Iš gautų rezultatų matyti, kad siekiant geriau panaudoti tinklo perdavimo kanalus neužtikrinama būtina balso perdavimo kokybė.



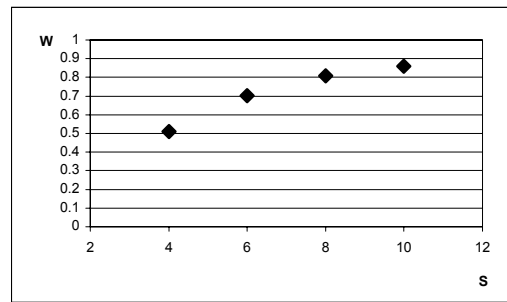
7 pav. Paketų neaptarnavimo tinkle tikimybės priklausomybė nuo  $S$ , kai  $N=3$ ,  $\rho=0,96$



8 pav. Paketų vidutinės laukimo trukmės tinklo mazgų buferiuose priklausomybė nuo  $S$ , kai  $N=3$ ,  $\rho=0,96$



9 pav. Paketų neaptarnavimo tinkle tikimybės priklausomybė nuo  $S$ , kai  $N=3$ ,  $\rho=0,6$



10 pav. Paketų vidutinio laukimo laiko tinklo mazgų buferiuose priklausomybė nuo  $S$ , kai  $N=3$ ,  $\rho=0,6$

Didinant tinklo mazgo buferių talpas, tinkle mažėja neaptarnautų paketų dalis, tačiau esant dideliame paketų srauto intensyvumui neleistinai pailgėja paketų laukimo mazgų buferiuose trukmė.

## Išvados

1. Balso perdavimo interneto tinklu kokybei įvertinti būtina apskaičiuoti viso tinklo sukeliama paketų vėlinimo trukmę, kurios didelę dalį sudaro paketų laukimo mazgų

- buferiuose trukmės, ir paketų neaptarnavimo tinkle tikimybę.
2. Iš apskaičiuotų tinklo paketų perdavimo kokybės charakteristikų matome, kad, kai perdavimo kanalų panaudojimas  $\rho > 0,8$ , neužtikrinama būtina balso paketų perdavimo kokybė.
  3. Didinant mazguose buferių talpas gerokai sumažėja tinkle neaptarnautų paketų dalis, tačiau dėl to iki nepriimtino balsui perduoti dydžio pailgėja vėlinimo trukmė.
2. **Rindzevičius R.** Informacijos srautų pasiskirstymo teorija. Kaunas: Technologija, 1997.- 204 p.
  3. **Diagle J.N., Langford J.D.** Models for Analysis of Packet Voice Communications Systems // IEEE J.Sel.Areas Commun.-1896.-Vol.SAC-4,6.
  4. **Hock Chee Ng.** Queueing Modelling Fundamentals. Chichester, John Wiley&Sons.-1996.-222 p.
  5. **Ye J. Li S.** Analysis of Multimedia Traffic Queues with Finite Buffer and Overload Control // INFOCOM'92.- p 1464-1474.
  6. **Luhanga Ml.** A Fluid Approximation Model of an Integrated Packet Voice and Data Multiplexer // Proc INFOCOM'88.- P. 687-692.

## Literatūra

1. **Aksomaitis A.** Tikimybių teorija ir statistika: vadovėlis aukštųjų mokyklų studentams.- Kaunas, Technologija, 2000.- 344 p.

Pateikta spaudai 2003 03 05

### **R. Rindzevičius, P. Tervydis. Balso perdavimo interneto tinklu charakteristikų tyrimas // Elektronika ir elektrotechnika. – Kaunas: Technologija, 2003. – Nr. 5(47). – P.22–26.**

Analizuojami duomenų perdavimo tinklo parametrai, turintys esminį poveikį realaus laiko balso perdavimui. Daugiausia dėmesio skiriama paketų neaptarnavimo tinkle tikimybei bei vėlinimo trukmei, nes šie parametrai labai svarbūs perduodant balsą interneto protokolu. Tinklo našumui įvertinti panaudotos klasikinės M/M/1 ir M/M/1/S su eilėmis sistemos. Į tinklo mazgą ateina puasoninis duomenų paketų srautas. Jis aptarnaujamas vienu serveriu, kai paketo perdavimo ryšio kanalu trukmė pasiskirsčiusi pagal eksponentinį dėsnį. Paketų atėjimo į mazgą sparta  $\lambda$  ir paketų perdavimo kanalu intensyvumas  $\mu$  kiekviename mazge nepriklauso nuo paketų skaičiaus jame. M/M/1/S modelio atveju tinklo mazge vienu metu gali būti tik  $S$  duomenų paketų, įskaitant ir kanalu perduodamą paketą. Pateiktos abiejų modelių perėjimo iš vienos būsenos į kitą diagramos. Apskaičiuoti tinklo mazgo našumo rodikliai, svarbūs VoIP perdavimui: vidutinė paketo laukimo buferyje trukmė, paketo neaptarnavimo tikimybė, vidutinis ryšio kanalu perduodamų paketų skaičius, vidutinis paketų skaičius buferyje. Įvertinta tinklo, turinčio  $N$  mazgų, paketo vėlinimo trukmė ir paketo neaptarnavimo tikimybė. Grafikuose pateikti tinklo parametrų apskaičiavimo rezultatai. Il.10, bibl.6 (lietuvių kalba; santraukos lietuvių, anglų, rusų k.).

### **R. Rindzevičius, P. Tervydis. Investigation of the Voice Transmission Characteristics over Internet // Electronics and Electrical Engineering. – Kaunas: Technologija, 2003. – No. 5(47). – P. 22-26.**

There are examined the data transmission network parameters, important to support real-time voice traffic. Focused purely on the network packet loss probability and delay, that is critical to VoIP operation. For network performance analysis is used the classical M/M/1 and M/M/1/S queueing systems. Data packets to the network node arrive according Poisson process and are served by a single server with an exponential transmission time distribution. The packet arrival rate  $\lambda$  and packet transmission rate  $\mu$  in each node do not depend upon the number of data packets in the network node. In M/M/1/S model, the node can accommodate only  $S$  data packets including the one being in transmission. The state transition diagrams for both models are taken. The various network node performance measures important to VoIP operation, such as an average waiting time spent in the queue, the packet loss probability, the average number of packets in the waiting queue, the average number of packets at the transmission facility are computed. End to end path delay and packet loss probability is estimated for network consisting  $N$  nodes. Some calculated network performance measures are presented. Ill. 10, bibl. 6 (In Lithuanian; summaries in Lithuanian, English, Russian).

### **Р. Риндзявичюс, П. Тервидис. Исследование характеристик передачи голоса по интернету // Электроника и электротехника. – Каунас: Технология, 2003. – № 5(47). – С. 22-26.**

Анализируются параметры сети передачи данных влияющие на передачу голоса реального времени. Основное внимание уделено на вероятность потерь пакета данных и время задержки пакета в сети, так как эти характеристики особо важны при передаче голоса интернетным протоколом. Для оценки производительности сети используются классические M/M/1 и M/M/1/S модели систем с очередями. На узел сети поступает пуассоновский поток пакетов, обслуживаемый одним сервером при экспоненциальном времени передачи пакета по каналу связи. Интенсивность поступления пакетов  $\lambda$  и интенсивность передачи пакетов  $\mu$  в каждом узле не зависит от числа пакетов имеющихся в нём. Для M/M/1/S модели в узле связи одновременно могут находиться  $S$  пакетов данных, учитывая и пакет данных передаваемый по каналу связи. Для обеих моделей приведены диаграммы переходов системы из одного состояния в другое. Рассчитаны основные характеристики узла сети важные для передачи голоса по интернету: среднее время ожидания пакета в очереди, вероятность потерь пакета, среднее число пакетов в очереди, среднее число пакетов передаваемых по каналу связи. Дана оценка времени задержки и вероятности потерь пакета в сети состоящей из  $N$  узлов. Результаты расчётов представлены в графиках. Ил. 10, библи. 6 (на литовском языке; рефераты на литовском, английском и русском яз.).