

**VILNIAUS UNIVERSITETAS  
KAUNO HUMANITARINIS FAKULTETAS**

**INFORMATIKOS KATEDRA**

Verslo informatikos studijų programa  
Kodas 61209P101

**DEIVIDAS KAČERAUSKAS**

**MAGISTRO BAIGIAMASIS DARBAS**

**TINKLO PRALAUDUMO TARP GALINIŲ TAŠKŲ MATAVIMO  
METODAI**

Kaunas 2008

**VILNIAUS UNIVERSITETAS  
KAUNO HUMANITARINIS FAKULTETAS**

**INFORMATIKOS KATEDRA**

Verslo informatikos studijų programa  
Kodas 61209P101

**DEIVIDAS KAČERAUSKAS**

**MAGISTRO BAIGIAMASIS DARBAS**

**TINKLO PRALAUDUMO TARP GALINIŲ TAŠKŲ MATAVIMO  
METODAI**

Leidžiama ginti \_\_\_\_\_

Magistrantas \_\_\_\_\_

Darbo vadovas dr. Rimantas Kavaliūnas

\_\_\_\_\_

Darbo įteikimo data \_\_\_\_\_

Registracijos Nr. \_\_\_\_\_

Kaunas 2008

# TURINYS

<b>SANTRUMPŲ SARAŠAS</b> .....	<b>4</b>
<b>PAVEIKSLŲ SARAŠAS</b> .....	<b>5</b>
<b>LENTELIŲ SARAŠAS</b> .....	<b>6</b>
<b>SANTRAUKA</b> .....	<b>7</b>
<b>ĮVADAS</b> .....	<b>8</b>
<b>1. TINKLO METRIKOS. PRALAUDUMAS IR JO CHARAKTERISTIKOS</b> .....	<b>10</b>
1.1 Pralaidumo apibrėžimas .....	10
1.2 Vienetinės kokybės metrikos .....	11
1.2.1. Pasiekiamumas ir patikimumas .....	11
1.2.2. Vienos krypties vėlinimas (OWD).....	12
1.2.3. Pilnas paketų kelionės laikas.....	13
1.2.4. Vėlinimo sklaida .....	14
1.2.5 Paketų nuostolio dydis .....	15
1.3. Srautai ir algoritmai.....	16
1.4. Skyriaus apibendrinimas .....	17
<b>2. TINKLO PRALAUDUMO MATAVIMO ALGORITMAI IR REIKALAVIMAI</b> .....	<b>18</b>
2.1. Metodų ir įrankių aprašymas .....	19
2.1.1. Pasyvūs matavimo metodai .....	20
2.1.2. Aktyvūs matavimo metodai .....	21
2.2 Aktyvių matavimo metodų rūšys .....	21
2.2.1 Kontrolinių paketų sekų generavimo algoritmai .....	21
2.2.2. Paketų porų dispersija .....	22
2.2.3. Paketų eilių algoritmai .....	25
2.2.4. Apsikraunamosios periodinės paketų eilės (SLOPS).....	25
2.2.5 TCP simuliacijos ir kanalo apkrovimo metodai .....	26
2.3 Programiniai kontrolinių paketų sekų generavimo metodų sprendimai.....	27
2.4 Metodų pritaikomumas .....	28
2.5. Skyriaus apibendrinimas .....	30
<b>3. EKSPERIMENTINĖ DALIS</b> .....	<b>31</b>
3.1. Eksperimentas, paremtas kontrolinių paketų sekų generavimo metodais.....	32
3.1.1. Eksperimento priemonės .....	32
3.1.2. Pathrate aprašymas.....	33
3.1.3. Eksperimentas (Pathrate).....	35
3.1.4. Pathload aprašymas .....	37
3.1.5. Eksperimentas (Pathload).....	37
3.2. Eksperimentas, paremtas kanalo apkrovimo metodais .....	39
3.2.1. Eksperimento priemonės .....	39
3.2.3. Iperf matavimai (TCP režimu) .....	41
3.2.4. Iperf matavimai (UDP režimu) .....	42
3.3. Online matavimai .....	43
3.3.1. Eksperimento priemonės .....	44
3.3.2. Matavimas speedtest.net.....	44
3.3.3. Speedtest.net matavimo rezultatai.....	47
3.3.4. Visualware.com online matavimas .....	48
3.4. Eksperimentų apibendrinimas .....	51
3.5. Skyriaus apibendrinimas .....	52
<b>IŠVADOS</b> .....	<b>54</b>
<b>LITERATŪRA</b> .....	<b>55</b>
<b>PRIEDAI</b> .....	<b>57</b>

## SANTRUMPŲ SARAŠAS

IP – Interneto protokolas  
LAN – vietinis tinklas  
GPRS – paketinis duomenų perdavimas radijo ryšiu  
OWD – vienos krypties vėlinimas  
SNMP – paprastas tinklo valdymo protokolas  
HTTP – hiperteksto siuntimo protokolas  
FTP – failų siuntimo protokolas  
SLOPS – apsikraunančios periodinės paketų eilės  
TCP – siuntimo kontrolės protokolas  
TTL – paketo gyvavimo laikas  
UDP – vartotojo paketinis protokolas  
ICMP – Interneto ryšio kontrolės protokolas  
BTC – tęstinio perdavimo geba  
VoIP – balso perdavimas interneto protokolu  
WAN – didelės aprėpties tinklas  
OS – operacinė sistema  
Ghz – gigahercas  
GB – gigabaitas  
RAM – darbinė atmintis  
JAV – Jungtinės Amerikos Valstijos  
ISDN – integruotų paslaugų duomenų tinklas  
NAT – tinklo adresų transliavimas  
Kbit – kilobitas  
s – sekundė

## PAVEIKSLŲ SARAŠAS

1 pav. Paketo vėlinimas tarp dviejų įrenginių.....	12
2 pav. Paketo pilnas kelionės laikas tarp dviejų įrenginių .....	13
3 pav. Paketų vėlinimo sklaida tarp dviejų įrenginių.....	14
4 pav. Aktyvūs tinklo stebėjimo metodai.....	20
5 pav. Paketų porų dispersija.....	22
6 pav. Paketų tėkmės palyginimas su skysčio tėkme .....	24
7 pav. Kintamo intervalo paketų dispersijos matavimo metodai .....	24
8 pav. Paketų eilių algoritmai.....	25
9 pav. Matuojamo tinklo kanalo savybės .....	33
10 pav. Matuojamo tinklo kanalo savybės .....	40
11 pav. Speedtest.net matuoklio langas .....	44
12 pav. Wireshark paketų gaudyklės rezultatai.....	45
13 pav. Paketų gaudyklės rezultatai .....	46
14 pav. Visualware.com matuoklis .....	49
15 pav. Visualware.com matuoklio rezultatai – sklaidos matavimas .....	49

## LENTELIŲ SARAŠAS

1 lentelė. Matavimo įrankiai.....	27
2 lentelė. Metodų palyginimas .....	29
3 lentelė. Pathrate matavimo rezultatai neapkrautame kanale .....	35
4 lentelė. Pathrate matavimo rezultatai apkrautame kanale .....	36
5 lentelė. Pathrate rezultatų palyginimas.....	36
6 lentelė. Pathload matavimo rezultatai (esant neapkrautam kanalui) .....	38
7 lentelė. Pathload matavimo rezultatai (esant apkrautam kanalui).....	38
8 lentelė. Pathload rezultatų palyginimas.....	39
9 lentelė. Matavimas Iperf (TCP režimas, be apkrovimo) .....	41
10 lentelė. Matavimas Iperf (TCP režimas, su apkrovimu) .....	41
11 lentelė. Matavimas Iperf (UDP režimas, be apkrovimo) .....	42
12 lentelė. Matavimas Iperf (UDP režimas, su apkrovimu).....	42
13 lentelė. Iperf matavimo rezultatų palyginimas .....	43
14 lentelė. Speedtest.net rezultatai, esant neapkrautam kanalui .....	47
15 lentelė. Speedtest.net rezultatai matuojant apkrautą kanalą.....	48
16 lentelė. Speedtest.net rezultatų palyginimas .....	48
17 lentelė. Visualware.com matavimo rezultatai, esant neapkrautam kanalui.....	50
18 lentelė. Visualware.com matavimo rezultatai, esant apkrautam kanalui .....	50
19 lentelė. Visualware.com rezultatų palyginimas.....	51
20 lentelė. Pralaidumo matavimo rezultatų palyginimas. ....	51

Kačerauskas, Deividas (2008) *Network Throughput Measurement Methods*. MBA Graduation Paper. Kaunas: Vilnius University, Kaunas Faculty of Humanities, Department of Informatics.

## **SUMMARY**

The purpose of this work is to make an individual research about existing methods used for network bandwidth measurement, and make practical recommendations regarding usability of these methods for users, accessing networks by different types of connections.

This paper covers: important bandwidth metrics used to describe quality of network connections; different characteristics of bandwidth; theoretical approach to inner workings of existing bandwidth measurement algorithms, and practical testing of software implementing these methods. Recommendations, based on this work, should help network administrators and users to select most effective tools for measuring bandwidth in different types of networks.

## ĮVADAS

Internetas yra komercinė infrastruktūra, kurioje vartotojai moka už priėjimą prie interneto paslaugų tiekėjo ir iš jo gauna priėjimą prie pasaulinio interneto tinklo. Vartotojas turi tiksliai apibrėžtus tik savo prijungimo prie interneto paslaugų tiekėjo parametrus. Ryšio grandinės nuo vartotojo iki jam reikalingo serverio (ar tarp dviejų galinių vartotojų) parametrai nežinomi ir nepastovūs. Todėl internetas ir yra apibrėžiamas kaip negarantuoto duomenų perdavimo, veikiantis „geriausių pastangų“ metodu tinklas.

Toks internetas dažnai netenkina šiuolaikinių verslo poreikių. Daugelyje situacijų reikia turėti žymiai tiksliau apibrėžtus duomenų perdavimo parametrus tarp tam tikrų tinklo galinių mazgų ar vartotojų. Tai yra būtina įmonėje diegiant tokias paslaugas kaip IP telefoniją, vaizdo stebėjimo ar vaizdo konferencijų sistemas. Tiek verslo, tiek individualūs vartotojai, besinaudojantys įvairiomis interneto prieigos formomis realaus laiko komunikacijai, neretai susiduria su ryšio kokybės problemomis. Prieigų tyrimas tinkamais pralaidumo matavimo metodais gali padėti išvengti šių problemų.

Pralaidumo tarp dviejų taškų matavimas yra aktualus diegiant verslo informacinės sistemas, kurių veikimas pagrįstas didelio kiekio duomenų perdavimu riboto pralaidumo tinklais. Populiarėjant balso ir vaizdo duomenų perdavimui internetu vis aktualesnėmis tampa ir kitos pralaidumo metrikos, tokios kaip paketų vėlinimas bei vėlinimo sklaida. Siekiant efektyvaus paslaugų veikimo, būtina surasti tinkamiausius matavimo metodus.

Egzistuoja daugybė pralaidumo matavimo metodikų, mokslinėje literatūroje galima rasti dešimtis matematinių modelių bei algoritmų aprašymų – daugeliui šių algoritmų sukurti įrankiai. Nepaisant jų gausos, praktinis pritaikomumas tampa sudėtingas – tenka ne tik ieškoti tinkamiausio matavimo metodo, bet ir tinkamos programinės įrangos jam įgyvendinti. Šiame darbe siekiama ne tik surinkti teorinę informaciją apie matavimo metodus, bet ir juos išbandyti ir palyginti jų rezultatus, bei pateikti rekomendacijas praktiniam naudojimui.

**Temos aktualumas.** Magistrinio darbo tema yra aktuali organizacijoms, naudojančioms kompiuterinius tinklus didelių duomenų kiekių perdavimui riboto pralaidumo kanale. Tinklo pralaidumo matavimo metodai taip pat yra aktualūs projektuojant vis populiarėjančias garso, vaizdo bei multimedijos sistemas – tam kad jos veiktų patikimai. Be to, populiarėjant mobilioms prieigoms jų vartotojams vis dažniau tenka susidurti su poreikiu efektyviai įvertinti ryšio kokybę.

**Tyrimo objektas** – Tinklo pralaidumo tarp galinių taškų matavimo metodai.



**Darbo tikslas** - Magistrinio darbo tikslas yra ištirti egzistuojančius pralaidumo matavimo metodus, palyginti jau sukurtas programines jų realizacijas, ir pasinaudojus rezultatais, pateikti rekomendacijas jų praktiniam panaudojimui atskirose tinklų grupėse.

**Darbo uždaviniai:**

- Išnagrinėti pralaidumo matavimo metodus, jų veikimo principus.
- Atrasti tinkamiausius naudoti praktikoje, mažiausiai kaštų reikalaujančius metodus.
- Surasti ir palyginti esamas programines realizacijas.
- Pateikti rekomendacijas praktiniam metodų panaudojimui įvairiuose tinkluose:
  - LAN tinkluose
  - Bevielėse interneto priegose
  - Vartotojiškose interneto priegose (DSL)
  - Mobiliosiose interneto priegose (GPRS, 3G)

**Tyrimo metodai:**

- Mokslinės literatūros šaltinių tyrimas ir analizė.
- Internetinių šaltinių analizė.
- Lyginamoji literatūros šaltinių teikiamos informacijos analizė.
- Pilnosios indukcijos metodas panaudotas darbo išvadų formulavimui;
- Palyginimo metodas, kuris buvo naudojamas lyginant matavimo įrankių sistemas.
- Apibendrinimo metodas, kuris buvo naudojamas medžiagos grupavimui ir pateikimui.

**Darbo struktūra ir apimtis**

Darbą sudaro 3 pagrindinės dalys. Apimtis – 64 puslapiai. Darbe yra 20 lentelių, 15 paveikslėlių, 5 priedai.

# 1. TINKLO METRIKOS. PRALAUDUMAS IR JO CHARAKTERISTIKOS

Duomenų perdavimas kompiuteriniais tinklais šiais laikais yra nepakeičiama komunikacijos bei darbo priemonė. Vis dažniau atsiranda poreikis surengti video konferencijas, naudotis internetine telefonija. Svarbu užtikrinti greitą ir saugią duomenų sinchronizaciją. Siekiant sėkmingai ir kokybiškai tai atlikti, reikia įsitikinti ar komunikacinių kanalų kokybiniai parametrai atitinka keliamus reikalavimus. Norint tai įvertinti, reikia nustatyti specifines metrikas, kuriomis būtų galima apibūdinti duomenų perdavimo kanalų kokybę:

- pasiekiamumas ir patikimumas
- vienos krypties vėlinimas
- pilnas paketų kelionės laikas
- vėlinimo sklaida
- paketų nuostolio dydis

## 1.1 Pralaidumo apibrėžimas

Egzistuoja keletas tinklo metrikų, iš kurių viena svarbiausių yra pralaidumas (Bandwidth). Pralaidumas gali būti apibrėžtas kaip: „*duomenų kiekis kuris gali būti perduotas duomenų tinklu per apibrėžtą laiko intervalą*“ .

OGF Network Measurement Working Group (NMWG) [13] skirsto pralaidumą į keturias sub-charakteristikas:

- **Pralaidumo geba** (bandwidth capacity)
- **Pasiekiamas pralaidumas** (achievable bandwidth)
- **Esamas pralaidumas** (available bandwidth)
- **Apkrovimas** (bandwidth utilization)

Kiekviena iš šių charakteristikų gali apibūdinti tiek visą kanalą tarp galinių taškų, tiek atskiras jo dalis.

**Pralaidumo geba** apibūdinama kaip maksimalus įmanomas pralaidumas esant idealioms sąlygoms. Šis dydis nekinta laike.

**Pasiekiamas pralaidumas** - įmanomas pasiekti praktinis pralaidumas.

**Esamas pralaidumas** – charakterizuoja tam tikru laiko metu egzistuojantį esamą laisvą pralaidumą, kurį galime pasiekti esant apkrovimui.

**Pralaidumo apkrovimas** išreiškia kanalo apkrovimą gretutine informacija.

Praktikoje paprastai svarbiausias ir vartotojui labiausiai pastebimas yra esamas pralaidumas.

### **Matuojant pralaidumą efektyviausia naudotis metodais, kurie:**

- Duotų patikimus rezultatus
- Nedarytų įtakos tinkle esantiems duomenų srautams

### **Kokie sunkumai iškyla matuojant tinklo pralaidumą?**

- Interneto evoliucija kaip nepriklausomai besivystančių protokolų, technologijų ir pagrindinių taikymo sričių kompozicija
- Įvairovė, mažas nuspėjamumas
- Sparti evoliucija, pokyčiai, jokios pusiausvyros
- Tiekėjų prioritetų sąrašė tinklo pralaidumo matavimas yra gan žemoje vietoje
- Išteklių ir įgūdžių panaudojami įdomesniems ir didesnę pelną nešantiems dalykams
- Matavimo priemonės neatitinka reikalavimų
- Pastebimos tokios silpnos vietos: operacinės sistemos, siuntėjo ir gavėjo atminties įrenginiai, pritaikomumas, tinklo maršrutizatoriai
- Egzistuoja daugybė matavimo metodų, tačiau praktinis jų pritaikymas dažnai komplikotas

### **Kam reikalingas tinklo pralaidumo matavimas?**

- Tinklo problemų paieškai bei analizei
- Užtikrinti nepriekaištingą diegiamų paslaugų veikimą.
- Garso, vaizdo, telefonijos bet nuotolinio valdymo sistemų kokybės užtikrinimui.

## **1.2 Vienetinės kokybės metrikos**

Kiekvienos programos informacijos srautas duomenų perdavimo kanalu yra individualus. Atlikus duomenų srautų analizę ar tiesiog intuityviai žinant informacijos srautų pobūdį duotame duomenų perdavimo kanale, galima lengvai pasirinkti aktualias vienetines metrikas ir atlikti jų matavimą. Turėdami metrikų skaitines reikšmes, galime nustatyti ir duomenų perdavimo kanalo kokybę. [9]

### **1.2.1. Pasiekiamumas ir patikimumas**

Tai trivialisios ir paprasčiausios metrikos. Pasiekiamumas tarp dviejų sistemų reiškia, jog yra galimybė tarp jų atlikti duomenų perdavimą. Patikimumas dažniausiai yra grindžiamas pasiekiamumo metrikos rezultatais, matavimo metodologija aprašoma RFC 2678 dokumente. [5]

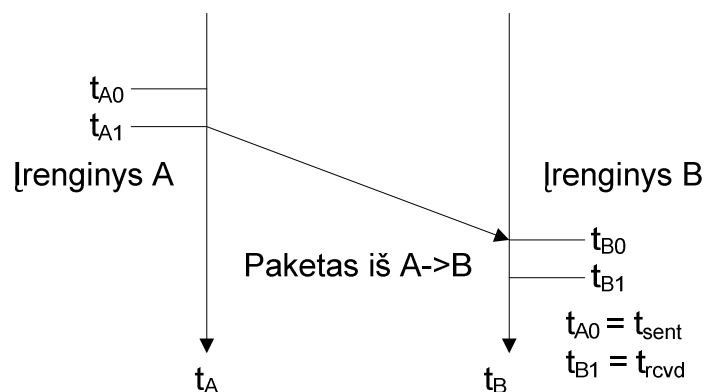
Turint tam tikros laiko atkarpos pasiekiamumo metrikos rezultatus, paprastai galime apskaičiuoti duomenų perdavimo kanalo patikimumą. Apibendrinant galime padaryti išvadą, jog

pasiekiamumas apibūdina duomenų perdavimo kanalo būseną tam tikru laiko momentu, o patikimumas atitinka procentinį dviejų sistemų tarpusavio pasiekiamumą naudojant tam tikrą duomenų perdavimo kanalą.

### 1.2.2. Vienos krypties vėlinimas (OWD)

Vėlinimas apibūdina paketo kelionės laiką nuo išsiuntimo momento iki sėkmingo jo priėmimo nutolusiame taške. Vėlinimas gali daryti skirtingą įtaką specifinių aplikacijų veikimui: jei vėlinimas pastovus ir duomenys siunčiami viena kryptimi, tai, pvz., realaus laiko vaizdo transliacijos kokybė nuo to nenukentėtų, tačiau atsirastų informacijos vėlinimas; jei vėlinimas pastovus, o duomenys siunčiami abiem kryptim, tai, pvz., videokonferencijos metu didelis vėlinimas gali turėti neigiamą įtaką interaktyvumui. Yra nustatyta, jog 200 ms vėlinimas turi dramatišką įtaką vaizdo konferencijos interaktyvumui [6].

Vienos krypties vėlinimo (OWD) metrika yra ypač aktuali realaus laiko daugialype terpe pagrįstose komunikacijose, kadangi vaizdo ir garso informacijos siuntimas yra vienkryptis duomenų srautas iš siuntėjo gavėjui. Dvikrypčio duomenų srauto atveju (pvz., videokonferencija) ši metrika taip pat yra aktuali, kadangi ji veikia kiekvieną individualių paketų srautą. Pagrindinė problema, kuri išskyla matuojant šią metriką – laiko sinchronizacija klientiniuose įrenginiuose. Siekiant kuo tiksliau ją išmatuoti, reikia kad klientinių įrenginių laikrodžiai būtų labai tiksliai susinchronizuoti. Vienos krypties vėlinimo metrikos matavimo rekomendacijos pateikiamos RFC 2679 dokumente [7].



Šaltinis: [12]

**1 pav., Paketo vėlinimas tarp dviejų įrenginių**

Pateiktoje paketų vėlinimo schemoje matome, jog kiekvienas įrenginys turi nepriklausomas savo laiko tėkmės juostas. Laiko momentu  $t_{A0} = t_{sent}$  programa iš įrenginio A išsiunčia paketą, skirtą įrenginiui B. Paketas patenka į fizinį duomenų perdavimo lygmenį laiko momentu  $t_{A1}$ , kadangi

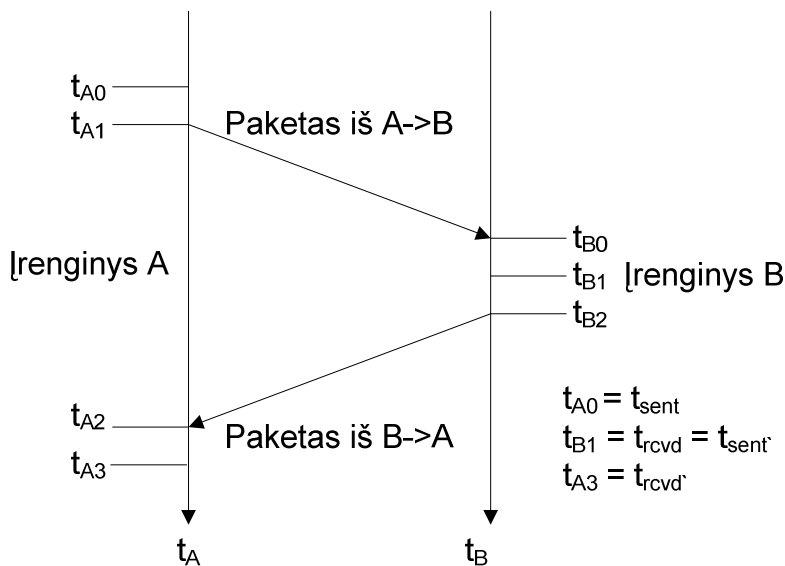
atsiranda šioks toks vėlinimas dėl operacinės sistemos ir tinklo įrangos. Įrenginys B paketą priima laiko momentu  $t_{B0}$  tačiau užfiksuoja paketo gavimo laiką momentu  $t_{B1}$  (tai atsitinka dėl operacinės sistemos ir tinklo įrangos).

Fiksuojant paketo išsiuntimo laiką  $t_{A0}$  ir paketo gavimo laiką  $t_{B1}$  galime lengvai apskaičiuoti paketo vienos krypties vėlinimą:

$$\Delta t_{OWD} = t_{B1} - t_{A0} = t_{rcvd} - t_{sent} \quad [12]$$

### 1.2.3. Pilnas paketų kelionės laikas

Pilnas paketų kelionės laikas aktualus aplikacijoms, kurios veikia užklausa-atsakymas principu. Šiuo principu veikia dauguma plačiai naudojamų interneto paslaugų. Paketo kelionės laikas fiksuojamas nuo paketo-užklauso išsiuntimo iki paketo-atsakymo į paketą-užklausą grąžinimo. Priešingai nei vienos krypties vėlinimo matavimuose, čia naudojamas tik vienas sisteminis laikrodis, tad laiko sinchronizacija tarp įrenginių tampa neaktuali. Šito dėka, tai labiausiai paplitusi ir beveik standartinė metrika duomenų perdavimo kanalų kokybei matuoti. Pilno paketų kelionės laiko metrikos matavimo rekomendacijos pateikiamos RFC 2681 dokumente [8].



Šaltinis: [12]

### 2 pav., Paketo pilnas kelionės laikas tarp dviejų įrenginių

Iš pateiktos schemos matome, jog laiko momentu  $t_{A0} = t_{sent}$  programa iš įrenginio A išsiunčia paketą-užklausą skirtą įrenginiui B. Paketas patenkant į fizinį duomenų perdavimo lygmenį laiko momentu  $t_{A1}$ , kadangi atsiranda šioks toks vėlinimas dėl operacinės sistemos ir tinklo įrangos. Įrenginys B paketą priima laiko momentu  $t_{B0}$  tačiau užfiksuoja jį momentu  $t_{B1}$  (tai atsitinka dėl operacinės sistemos ir tinklo įrangos). Gavęs paketą-užklausą, įrenginys B laiko momentu  $t_{B1}$

išsiunčia paketą-atsakymą, kurį įrenginys A gauna laiko momentu  $t_{A2}$ , tačiau dėl sistemos ir tinklo įrangos sąveikos jį fiksuoja laiko momentu  $t_{A3}$ . Fiksuojant šių procesų laiko žymes, galime paprastai suskaičiuoti visą paketo kelionės laiką:

$$\begin{aligned}\Delta t_{OWD} &= t_{A0} + t_{B1} \\ \Delta t_{OWD'} &= t_{B1} + t_{A3} \\ \Delta t_{RTT} &= \Delta t_{OWD'} + \Delta t_{OWD} = t_{rcvd'} - t_{sent}\end{aligned}\quad [12]$$

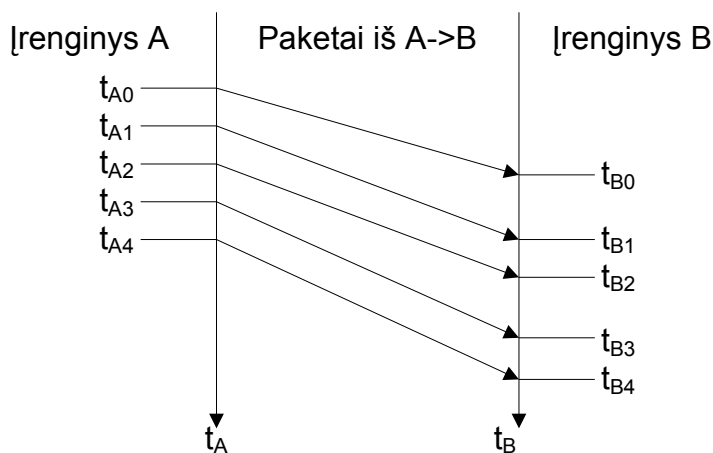
Fiksuojant laiką paketą-užklausą išsiuntusioje ir paketą-atsakymą gavusioje sistemoje dingsta griežtos laiko sinchronizacijos būtinybė.

#### 1.2.4. Vėlinimo sklaida

Duomenų srauto individualių paketų kelionės trukmės variacija gavėjo sistemoje yra vėlinimo sklaida (Jitter). Vėlinimo sklaida gali būti nustatoma dviem būdais:

- paketų užlaikymo tinkle variacijos metodu
- gautų paketų laiko variacijos metodu

Paketų užlaikymo tinkle variacija nustatoma remiantis vienos krypties vėlinimo metrikos (OWD) matavimo rezultatais. Šių rezultatų naudojimas įneša laiko sinchronizacijos problemą, kuri lemia rezultatų patikimumą.



Šaltinis: [12]

**3 pav., Paketų vėlinimo sklaida tarp dviejų įrenginių**

Schemoje matome, jog įrenginys A pastoviai siunčia paketus į įrenginį B, fiksuodamas jų išsiuntimo laiką  $t_{Ai}$ , o įrenginys B fiksuoja jų gavimo laiką  $t_{Bi}$ . Turėdami tokių paketų seriją, galime apskaičiuoti vėlinimo sklaidos reikšmę šiai serijai:

$$\Delta t_{OWDi} = t_{Bi} - t_{Ai}$$

$$\Delta t_{IPDV} = \max_k \left( \left( \frac{\sum_{i=0}^n \Delta t_{OWDi}}{n+1} - \Delta t_{OWDk} \right) \right) [12]$$

Naudojant gautų paketų laiko variacijos metodą, vėlinimo sklaida gali būti nustatyta tiksliau ir paprasčiau. Šio metodo pagrindinis skirtumas yra tai, jog pavieniai paketai yra siunčiami griežtai fiksuotais laiko intervalais, tokiu būdu galima daryti prielaidą jog esant idealiom sąlygom, paketai turėtų atkelti tokiais pat laiko intervalais. Gavęs matavimo paketą, klientinis įrenginys B fiksuoja paketo gavimo laiką  $t_{Bi}$ . Turint testinių paketų seriją, galima paskaičiuoti vėlinimo sklaidą duotai testinių paketų serijai:

$$\Delta t_{gautas\ i} = t_{Bi} - t_{Bi-1}$$

$$\Delta t_{IPDV} = \max_k \left( \left( \frac{\sum_{i=1}^n \Delta t_{gautas\ i}}{n} - \Delta t_{gautas\ k} \right) \right) [12]$$

Šio metodo naudojimas panaikina laiko sinchronizacijos problemą, nes laikas fiksuojamas tik vienoje sistemoje.

### 1.2.5 Paketų nuostolio dydis

Prarastų paketų kiekį tam tikroje laiko atkarpoje nusako paketų nuostolio dydžio metrika. Šios metrikos matavimo metodai pateikiami RFC 2680 dokumente [9]. Paketų praradimas yra labai dažnas reiškinys internete, turintis neigiamą įtaką net tokioms programoms, kurios naudoja specialius algoritmus duomenų praradimo korekcijai atlikti, kadangi prarastą paketą reikia persiųsti iš naujo.

Kodėl naudinga žinoti paketų nuostolio dydį:

- Tam tikros programos nesugeba veikti efektyviai jai paketų nuostolio dydis peržengia optimalią ribą
- Per didelis paketų nuostolio dydis kenkia realaus laiko aplikacijoms
- Kuo didesnis paketų praradimo nuostolis, tuo sunkiau išlaikyti didelę duomenų perdavimo spartą

Rekomenduojama matuoti vienos krypties paketų praradimą, kadangi duomenų perdavimo kelias pirmyn ir atgal gali būti visai skirtingas, asimetrinis [9].

### 1.3. Srautai ir algoritmai

Duomenų srautą charakterizuoja pasirenkamas modelis (apibrėžia į kuriuos paketus orientuotasi) ir atpažinimo priemonė. Duomenų srauto apibrėžimas kinta priklausomai nuo pritaikomumo. Duomenų judėjimo matricai galima naudoti atpažinimo priemones, kurias apibrėžia konkretus šaltinis ir tikslinio tinklo specifikacijos[4].

Dideli srautai – tai tokie srautai, kurie peržengia siuntimui nustatytą ribą per matavimui skirtą laiko intervalą, kuris gali būti viena sekundė, viena minutė ar netgi viena valanda. Techninė ataskaita suteikia alternatyvius apibrėžimus ir algoritmus paremtus didelių srautų apibrėžimo procesu.[4]

Pasibaigus matavimo intervalui idealus algoritmas suteikia informaciją apie visų srautų, kurie peržengė nustatytą ribą identifikacinius elementus ir dydžius. Mažiau idealūs algoritmai gali nuvilti vienu iš trijų būdų: gali neįtraukti kai kurių didelių srautų, gali per klaidą įtraukti kai kuriuos mažus srautus į ataskaitą, gali pateikti netikslius didelių srautų judėjimo paskaičiavimus. Neįtraukti dideli srautai vadinami *false negatives*, maži, per klaidą įtraukti srautai vadinami *false positives*.

Minimalus atminties kiekis reikalingas idealiam algoritmui yra atvirkštinė nustatytos ribos išraiška; gali būti daugiausiai 1000 srautų, kurie naudoja 0,1% jungties. Algoritmo veikimas išmatuojamas keturiomis metrikomis: atmintis lyginama su idealaus algoritmo atmintimi, *false negatives* tikimybė, *false positives* tikimybė, numatomos klaidos judėjimo skaičiavimuose.

Algoritmai, naudojami atpažinti didelius srautus gali būti potencialiai panaudoti išspręsti daugeliui problemų. Skirtinga programinė įranga skirtingai apibrėžia duomenų srautų antraštes. Programinė įranga atlieka tokias funkcijas:

Kintamo dydžio ribos apskaičiavimas: du pagrindiniai tinklo judėjimo įkainavimo faktoriai yra paremti vartojimu (kaina už baitą kiekvienam srautui) ir paremti trukme (fiksuota kaina konkrečiai trukmei). Nors ir vartojimu paremtas įkainavimas reikalingas padidinti naudą, net ir geriausioje savo formoje jis yra nekintantis, nes negalime atsekti visų duomenų srautų esant dideliems greičiams. Geriau naudoti schemą kuri matuoja visus agregatus kurie yra aukščiau Z% visos jungties. Toks judėjimas paremtas suvartojimo įkainavimu, o visas likęs judėjimas paremtas trukmės įkainavimu. Keičiant Z nuo 0 iki 100 galime lengvai judėti nuo suvartojimo įkainavimo iki trukmės įkainavimo.

Realaus laiko judėjimo stebėjimas: dauguma Interneto paslaugų tiekėjų stebi judėjimo pagrindus ieškodami karštųjų taškų tam, kad surasti didelius judėjimo agregatus kurie gali būti nukreipti kitu keliu naudojant tunelius ar kelius per optinius komutatorius tam, kad išvengtų perkrovų. Taip pat Interneto paslaugų tiekėjai turi atsižvelgti į staigius judėjimo link konkreto taško padidėjimus tam, kad nustatyti vykstančią ataką.



Kintamo dydžio eilės valdymas: mažesnėje laiko skalėje, planavimo mechanizmai, siekiantys apytiksliai nustatyti max-min teisingumą, turi atrasti ir „nubausti“ duomenų srautus kurie siunčia daugiau negu jiems leistina[4].

#### **1.4. Skyriaus apibendrinimas**

Duomenų perdavimo kokybė gali būti apibūdinta eile parametrų - pavieniui jie dažniausiai neteikia pakankamai informacijos. Todėl matuojat kokybę svarbu žinoti kurie šių parametrų yra vertingiausi konkrečioje situacijoje.

Informacijos srautas duomenų perdavimo kanalu yra individualus. Atlikus duomenų srautų analizę ar tiesiog intuityviai žinant informacijos srautų pobūdį duotame duomenų perdavimo kanale, galima lengvai atsirinkti aktualias vienetines metrikas ir atlikti jų matavimą. Turėdami metrikų skaitines reikšmes, galime nustatyti ir duomenų perdavimo kanalo kokybę.

Metrikų reikšmingumas labai priklauso nuo to, kokio tipo informacija perduodama tinklu – pavyzdžiui perduodant garsą bei vaizdą realiu laiku itin reikšmingomis tampa vėlinimas bei vėlinimo sklaida. Pastarosios metrikos tampa mažai reikšmingos siunčiant didelius duomenų kiekius, kuriuos nebūtina perduoti realiu laiku.

*Pralaidumo* (bandwidth) charakteristika – viena universalusių įvairiems taikymo atvejams ir svarbiausia dedamoji vertinant duomenų perdavimo kokybę. Pralaidumo matavimui egzistuoja daug skirtingų metodų, kurių duodami rezultatai yra labai nevienodi.

Tolesni skyriai yra skiriami būtent šios charakteristikos matavimo metodų gilesnei analizei, jų efektyvumo ir rezultatų patikimumo tyrimams, skirtingų gaunamų rezultatų priežastims išsiaiškinti.

## 2. TINKLO PRALAUDUMO MATAVIMO ALGORITMAI IR REIKALAVIMAI

Sprendžiant tinklo stebėjimo ir valdymo uždavinius, naudojami įvairūs analizės metodai [11].

1. **Komunikacinės įrangos** (maršrutizatorių, komutatorių) daviklių stebėjimas leidžia operatyviai aptikti įrangos ir kanalų gedimus, stebėti ryšio mazgų ir kanalų būklę bei apkrovas. Tačiau šių metodų informatyvumas nepakankamas tiriant problemas, kurias sukelia ne fizinis įrenginio gedimas, o konfigūravimo klaidos ar kenkėjiškos atakos, kai reikia analizuoti srautų judėjimo parametrus, srautų sudėtį ar virtualių posistemių elgesį.
2. **Aktyvaus stebėjimo metodai** paremti kontrolinių paketų įterpimu į duomenų srautus arba srautų generavimu. Paprasčiausi iš jų, leidžiantys stebėti objektų pasiekiamumo parametrus, plačiai naudojami tinklo veikimo stebėjimui. Duomenų perdavimo kokybės tarp tiriamų tinklo mazgų ar pralaidumo gebos įvertinimui pradedami bandyti naujausiais tyrimais pagrįsti kontrolinių paketų serijų ir sintetinių, bet realistinių srautų generavimo metodai. Tokie matavimai ypač aktualūs duomenų perdavimo kokybei jautrių taikymų (telefonijos, telemedicinos, videokonferencijų) realizavimui, nuosavų ar gautų iš išorinių paslaugų tiekėjų virtualių kanalų pralaidumo analizei, radioryšių sistemos plėtros galimybėms vertinti.
3. Detaliausius duomenis apie tinkle judančių srautų adresatus, dinamiką ir sudėtį gali pateikti **srautų stebėjimo metodai**. Įvairiapusė srautų analizė tiek pagal šaltinių/gavėjų aibes, tiek pagal srautų sudėtį leidžia geriau suprasti vartotojų grupių elgesį tinkluose ir tiksliau numatyti srautų kitimo tendencijas. Labai aktuali antroji kryptis – anomalijų srautuose paieška realaus laiko režime. Tas leidžia nustatyti ne tik duomenų transportavimo sistemos klaidas, bet ir laiku aptikti nepageidaujamas ar kenksmingas operacijas: tinklo šiukšlinimą, tinklo naudojimo taisyklių pažeidimus, servisų blokavimą, tinklo skanavimo bandymus ir kai kurias virusų rūšis.

## 2.1. Metodų ir įrankių aprašymas

Pagal duomenų rinkimo principus matavimo metodus galima skirti į dvi pagrindines grupes:

### **Pasyvūs matavimo metodai:**

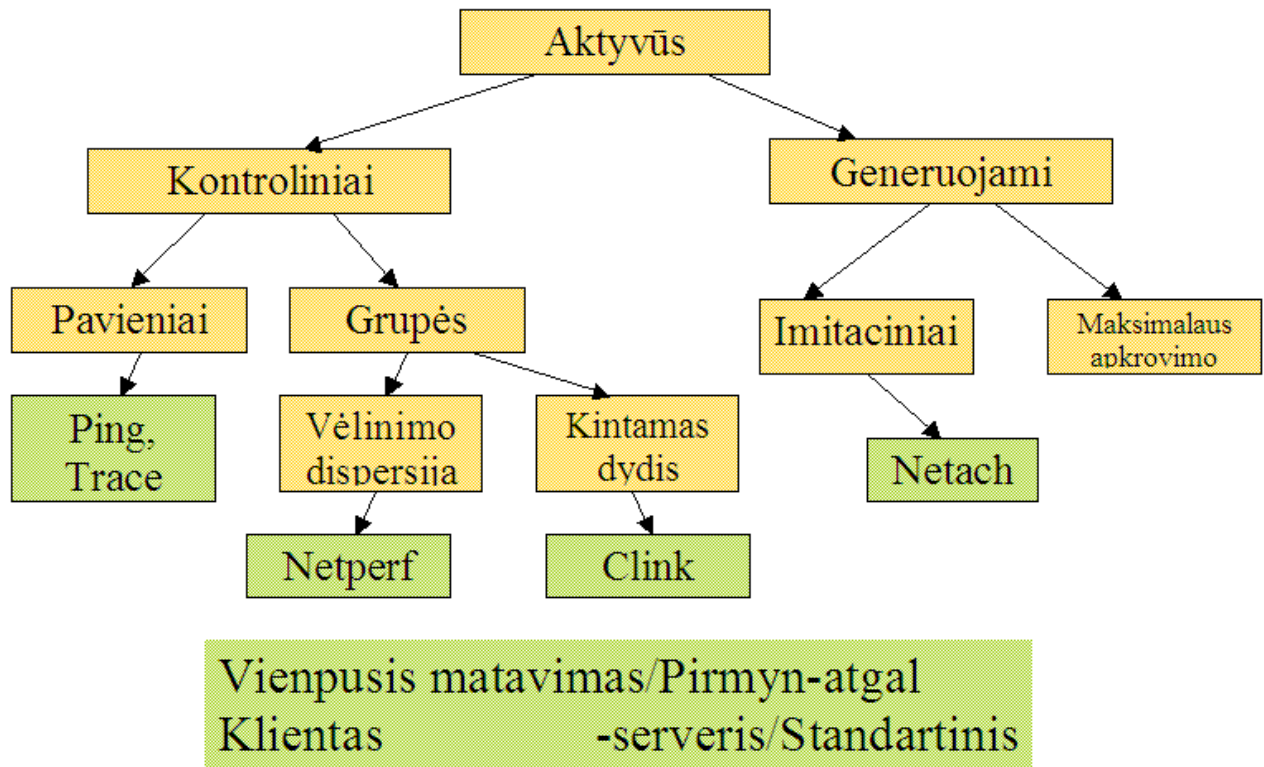
- Duomenų rinkimas iš maršrutizatorių: SNMP, Netflow
- Paketų gaudyklės

### **Aktyvūs matavimo metodai:**

- Aktyvaus srauto generavimas:
  - Iperf, netperf
  - Naudojantis HTTP, FTP ir kitais siuntimo protokolais
- Kontrolinių paketų sekų generavimo algoritmai:
  - Paketų dispersija
  - Paketų eilės
  - Kintamo dydžio paketai
  - SLOPS Apsikraunančios paketų eilės (Self-Loading Periodic Streams)
  - Online matuokliai

4 paveikslėlyje pavaizduota hierarchinė aktyvių tinklo stebėjimo metodų klasifikacija – žemiausiai esantys pavaizduoti žalia spalva.

# Aktyvūs tinklo stebėjimo metodai



Šaltinis: sudaryta autoriaus pagal [14]

4 pav. Aktyvūs tinklo stebėjimo metodai

## 2.1.1. Pasyvūs matavimo metodai

Pagrindinis pasyviųjų matavimo metodų bruožas – rinkti informaciją apie tinkle esančius srautus. Šis rinkimas yra pasyvus – paprastai negeneruojamas joks testavimui skiriamas srautas, išskyrus tarnybinę informaciją kurios pagalba matavimo sistemos dalys (jei jos yra kelios) komunikuoja tarpusavyje.

Egzistuoja keletas įgyvendintų pasyvaus matavimo sistemų, kaip populiariausias iš jų galima paminėti SNMP bei Cisco Netflow.

Paprastas tinklo valdymo protokolas (SNMP) teikia detalią statistiką apie tinklo elementus (maršrutizatorius ir komutatorius), į kurią įeina ir tinklo pralaidumas. Tačiau norint gauti informaciją apie tinklo būseną šiuo metodu, reikia turėti specialų priėjimą, kurio dažniausiai neturi eilinis vartotojas. Šis metodas padeda tinklo inžinieriams analizuoti ir tirti tinklo elgseną. Dauguma tinklų SNMP rezultatų iš maršrutizatorių surinkimui ir atvaizdavimui naudoja Multi Router Traffic Grapher (MRTG)[1].

Paprastiems vartotojams labiau tinka aktyvus pralaidumo matavimas, kuris nereikalauja priėjimo prie maršrutizatorių ir nereikalauja sudėtingų diegimo darbų. Todėl toliau darbe daugiau dėmesio bus skiriama aktyviems matavimo metodams.

### **2.1.2. Aktyvūs matavimo metodai**

Aktyvūs tinklo pralaidumo matavimas yra tinkamas naudoti paprastam vartotojui, nes nereikalauja priėjimo prie maršrutizatorių. Nors pasyvūs matavimo metodai, tokie kaip SNMP gali pateikti detalią statistiką apie tinklo elementus ir pralaidumą, jie paprastai reikalauja papildomų teisių, kurių neturi eilinis vartotojas.

Algoritmai, skirti aktyviai išmatuoti fizinį ir *pasiekiamą* pralaidumą yra tiriami ir tobulinami jau daugybę metų. Yra sukurta daugybė įrankių, tačiau tik keletui jų pavyksta sėkmingai išmatuoti tinklo pralaidumą, ypač tinkluose, greitesniuose nei 100Mbit/s. Pagrindinė to priežastis kodėl daugelis šių algoritmų nepasiekia reikiamo tikslumo yra ta, kad jie neįvertina kompiuterių, kurių pagalba atliekamas matavimas, pajėgumų.

Idealus tinklo pralaidumo matavimo algoritmas turėtų būti nepriklausomas nuo galinio įrenginio pajėgumų. Priešingu atveju matavimo rezultatas gali parodyti ne tinklo, bet pačios matuojančios sistemos pralaidumą.

Daugelis šiuo metu egzistuojančių pralaidumo matavimo algoritmų reikalauja, kad galinio įrenginio sistemos (procesoriaus, įvedimo išvedimo sistemos, tinklo įrenginių ir pan.) pralaidumas būtų didesnis už matuojamo tinklo pralaidumo ribas. Matavimo tikslas turi būti tinklo, o ne pačios sistemos pralaidumo įvertinimas.[10]

## **2.2 Aktyvių matavimo metodų rūšys**

Yra sukurta gana daug aktyvių matavimo metodų, ir nors jų visų veikimo principas yra vienas – sintetinio paketų srauto generavimas, skiriasi šio generuojamo srauto savybės ir matavimo algoritmai. Toliau nagrinėjamos grupės besiskiriančios matavimo principais.

### **2.2.1 Kontrolinių paketų sekų generavimo algoritmai**

Šio aktyvaus pralaidumo matavimo principas remiasi teorija, jog siunčiant kanalu kontrolinius paketus, atskirų paketų ar paketų sekų savybės (tokios kaip vėlavimas, dispersija ir kitos) kinta priklausomai nuo kanalo savybių. Šią įtaką galima išmatuoti ir pasinaudojant matematiniais metodais apskaičiuoti dominančias kanalo pralaidumo metrikas.

Kontrolinių paketų sekų generavimo metodai gali būti skirstomi pagal matavimui naudojamų paketų kiekį  $i$  [3]:

- vieno paketo
- dviejų ir daugiau paketų

**Vieno paketo algoritmai** paprastai naudojami dvejais metodais:

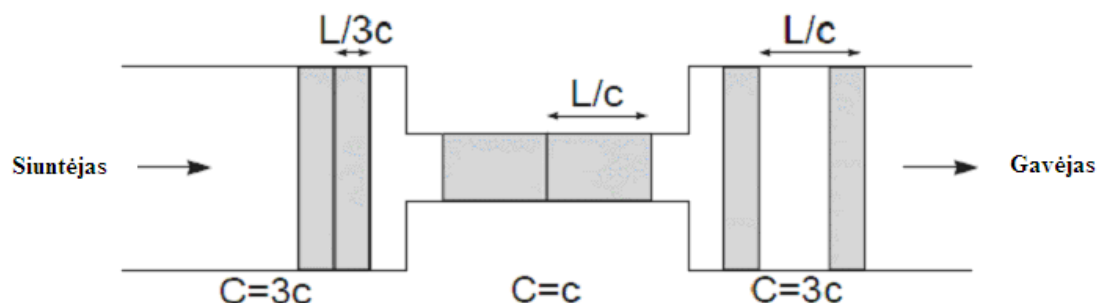
- šuolio (hop) diferencialo
- dydžio diferencialo

**Keleto paketų algoritmų** metodai:

- Dispersijos matavimas.
- Didelio paketų kiekio (bunch) siuntimas.
- Dydžio diferencialo.

### 2.2.2. Paketų porų dispersija

Paketų poros algoritmas remiasi tuo, kad kanale paketai rikiuojasi į eilę vienas paskui kitą siauroje ribotoje juostoje. Paprasčiausias paketų porų algoritmas remiasi faktais, kad jei du paketai siunčiami vienas paskui kitą, jie yra pastatomi į eilę ribotoje juostoje. Jie išeis iš juostos su dispersija  $T$  gauta iš formulės  $T=L/C$ , kur  $L$  yra antrojo paketo dydis ir  $C$  yra ribotos juostos pralaidumas, kitaip sakant apribotos juostos talpa. Jei du paketai yra vienodo dydžio, jų perdavimo vėlavimas toks pats (5 pav.).



Šaltinis: [12]

5 pav., Paketų porų dispersija

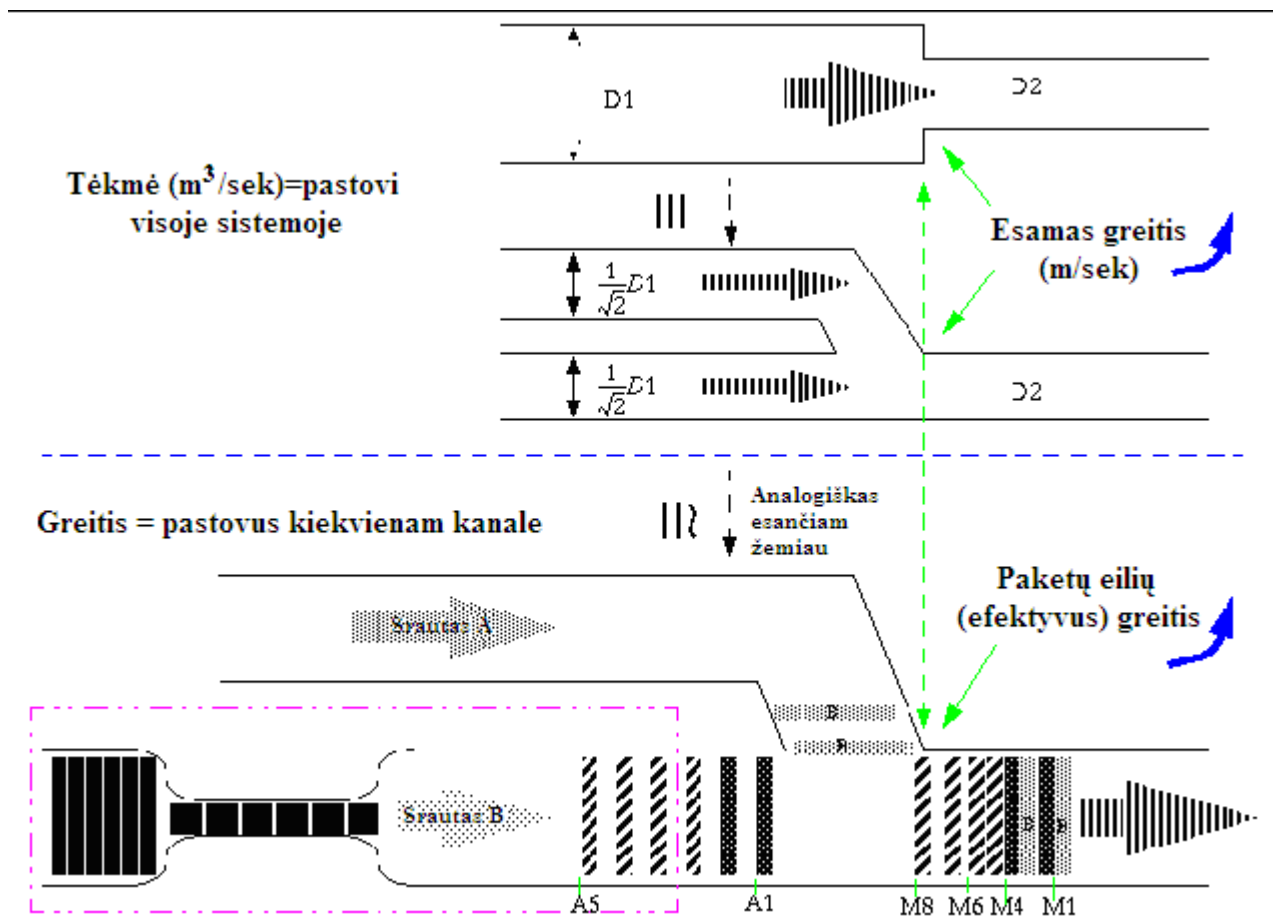
Didesnė talpa nei apskaičiuota būna tada, kai dispersija tarp paketų porų kelyje yra mažesnė nei yra siauros ribotos juostos apibrėžta. Tai gali nutikti tuo atveju kai ribota juosta nėra paskutinė juosta kelyje. Jei pirmas poros paketas sustoja siauroje ribotoje juostoje, kol antras paketas patiria laukimą trumpesnę laiką nei pirmasis (pvz.: kai nėra kryžminio judėjimo paketai yra atmetami tarp poros), dispersija tokiu atveju didėja.

Mažesnė talpa nei apskaičiuota būna tada, kai dispersija tarp paketų porų kelyje yra didesnė nei yra apibrėžta siauros ribotos juostos nesant kryžminiu judėjimui. Dispersijos padidėjimas įvyksta priklausomai nuo paketų kryžminio judėjimo. Tokia situacija gali susidaryti bet kurioje vietoje kelyje: prieš, esant viduje ar už ribotos siauros juostos.

Paketų dispersija atsiranda bet kuriai siunčiamai paketų porai ar paketų eilei. Dispersija matuoti egzistuoja daugybė algoritmų, tačiau plačiausiai yra žinomi trys [12]:

- Dispersijos matavimas tarp paketų poros.
- Dispersijos matavimas tarp paketų eilių.
- Kintamo dydžio atstumų matavimas

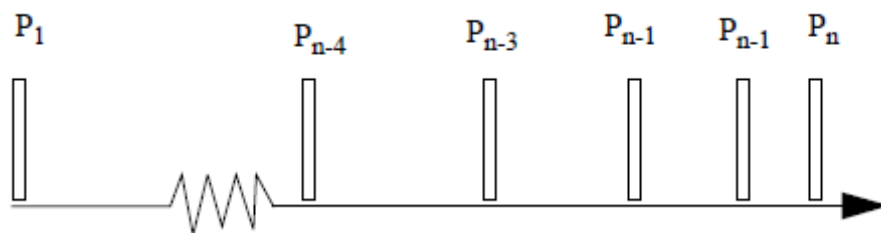
Dispersijos matavimas tarp paketų poros yra pats paprasčiausias šio tipo metodas, jis remiasi dispersijos intervalo tarp dviejų paketų matavimu. Šio metodo trūkumas tas, jog labai trumpą laiko intervalą sunku išmatuoti. Kompiuterių laikrodžiai matuojamo kanalo galuose turi būti tiksliai sinchronizuoti. Kompiuterio resursų trūkumas gali įtakoti matavimo rezultatus. Taip pat matavimo rezultatus gali įtakoti ir gretutinio srauto egzistavimas kanale [3]. Šį trūkumą paketų porų dispersijos atžvilgiu sėkmingai išnaudoja paketų eilių algoritmas. 6 pav. pavaizduota paketų tėkmės analogija su skysčio srautu parodo kokią įtaką gretutinis srautas daro paketų eilėms.



Šaltinis: [3]

6 pav. Paketų tėkmės palyginimas su skysčio tėkme

Kintamo dydžio atstumų matavimas (7 pav.)



Šaltinis: [12]

7 pav. Kintamo intervalo paketų dispersijos matavimo metodai

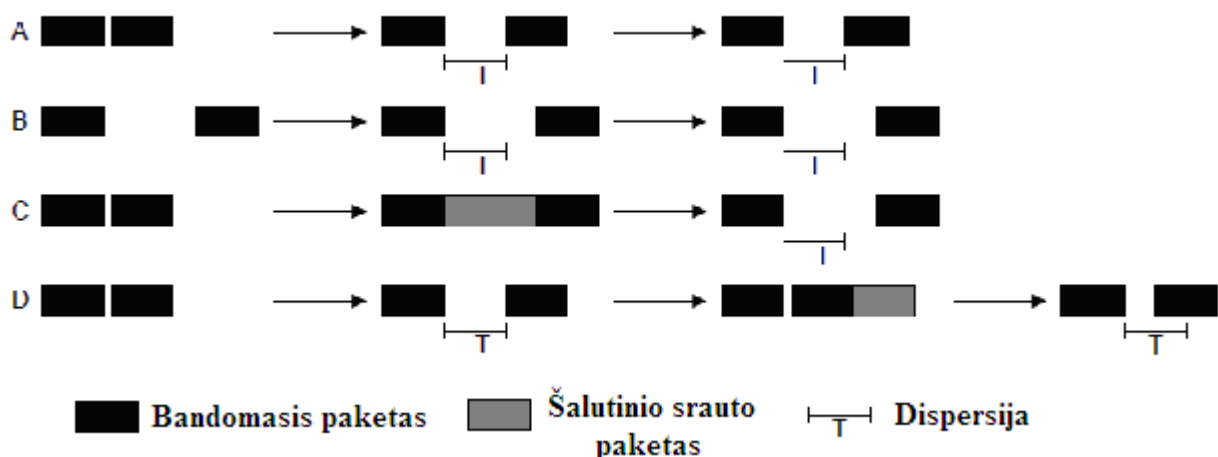


### 2.2.3. Paketų eilių algoritmai

Paketų eilių algoritmai yra panašūs į paketų porų dispersijos algoritmus, tačiau naudoja nebe du paketus, o jų eilę. Algoritmas remiasi teorija, jog du į maršrutizatorių patekę srautai susimaišo – vadinasi iš maršrutizatoriaus išėjusios eilės greitis bus analogiškas kanalo pralaidumui (6 ir 8 pav.)

Lu Xin [13] pabrėžia šiuos paketų porų ir paketų eilių skirtumus:

- paketų eilės gali būti panaudotos matuojant siauriausias vietas daugiakanaliame tinkle, kurio atveju paketų porų metodai nėra efektyvūs.
- paketų eilės gali sumažinti matuojančių kompiuterių laikrodžio rezoliucijos reikalavimus, kuriai paketų poros yra ypač jautrios.
- sudėtingesni matavimo įrankiai kombinuoja tiek paketų eilių tiek paketų porų metodus [13]



Šaltinis: [14]

8 pav., Paketų eilių algoritmai

### 2.2.4. Apsikraunančios periodinės paketų eilės (SLOPS)

Apsikraunančių paketų eilių matavimo metodas remiasi principu, pagal kurį siunčiant paketų srautą greičiu didesniu nei egzistuojantis pralaidumas siauriausioje tinklo vietoje atskirų paketų vėlavimo laiką galima įvertinti. Siunčiant paketus, į kiekvieną jų įrašoma laiko reikšmė, kurią vėliau galima lyginti su kitų paketų laiko reikšmėmis taip nustatant matuojamo pralaidumo reikšmę. Šis metodas plačiai taikomas Pathload įrankyje.

## 2.2.5 TCP simuliacijos ir kanalo apkrovimo metodai

Pagrindinė TCP protokolo idėja – patikimas duomenų persiuntimas. Siunčiami duomenys yra baitų seka, kurios perdavimo patikimumą ir užtikrina šis protokolas, pasinaudodamas kintančio dydžio langais bei srauto reguliavimo mechanizmais. TCP, veikiantis virš IP protokolo, yra vienas populiariausių aukšto lygio persiuntimo protokolų [26].

TCP/IP protokolu paremta didelė dalis internete veikiančios programinės įrangos – kuri tinklo pralaidumą savo atžvilgiu „suvokia“ būtent TCP lygmenyje. Todėl kartais svarbu išmatuoti būtent šio lygmens pralaidumą, jis paprastai ir yra aktualiausias vartotojui.

**TCP simuliacijos** veikia dviem režimais: trumpo gyvavimo (žemo TTL) UDP/ICMP paketų siuntimas arba ICMP aido atsakymų laiko matavimu. Šie režimai simuliuoja TCP protokolo lėtos susijungimo pradžios (slow-start) algoritmą.

**Kanalo apkrovimas**, kuris kartais dar vadinamas kelio tvindymu, įterpia TCP/UDP paketus į tinklą maksimaliu įmanomu greičiu per apibrėžtą laiko intervalą. Maksimalus pasiektas greitis atspindi pasiekiamo pralaidumo metriką.

Abu metodai, tiek TCP simuliacijos tiek kelio apkrovimas iš dalies yra asocijuoti su **tęstinio perdavimo gebos (BTC)** metrika [13]. Šių metodų privalumas tas, jog galima simuliuoti TCP susijungimus kitais protokolais.

TCP simuliacijos gali būti sėkmingai panaudojami praktikoje matuojant kanalų, kuriuose yra įdiegti TCP srauto ribojimai. Tokiame tinkle simuliuojant TCP srautą UDP arba ICMP paketais galima spręsti apie pasiekiamą TCP pralaidumą.

Kaip atskirą kanalo apkrovimo metodų pogrupį galima išskirti per Web sąsają veikiančius matavimo įrankius. Dažniausiai jie yra pagrįsti TCP srauto simuliacija HTTP protokolu. Internete egzistuoja daugybė šio matavimo būdo paslaugų tiekėjų. Vartotojui šis matavimo būdas yra pats tinkamiausias ir prieinamiausias, nes nereikia įdiegti jokios papildomos įrangos - klientinę dalį atstoja Web naršyklė, palaikanti Java ar Flash technologijas.

Paprastai šiais įrankiais galima išmatuoti pasiekiamą pralaidumą TCP lygmenyje bei paketų vėlinimą, kas aktualiausia naršyklės naudojančioms eiliniams vartotojams. Keletas paslaugų tiekėjų įdiegia ir papildomas matavimo galimybes – panaudotinas tokioms metrikoms kaip UDP sklaidai įvertinti. Tai aktualu internetinei telefonijai (VoIP bei kitiems protokolams). Eksperimentinėje dalyje bus pasinaudota vienu šio tipo matavimu ištiriant sklaidos metriką.

Šio metodo trūkumai:

- Apkraunamas tinklas

- Kanale esantys didelius paketų buferius turintys maršrutizatoriai gali paveikti matavimo rezultata – gauta pralaidumo reikšmė bus didesnė už tikrąją.

### 2.3 Programiniai kontrolinių paketų sekų generavimo metodų sprendimai

Fizinio ir pasiekiamo pralaidumo matavimo algoritmai yra tiriama jau daugelį metų. Yra sukurta daug įrankių:

- Pathload – sukurtas nustatyti pasiekiamą pralaidumą.
- Pathchar – sukurtas nustatyti pralaidumo gebą.
- Clink ir Pchar yra skirtingi Pathchar įgyvendinimo būdai

Kiti įrankiai, tokie kaip bprobe/cprobe, ttcp, iperf, netperf, Sprob, Treno, skirti matuoti fizinį pralaidumą, nors daugelis jų matuoja tik didžiausią įmanomą pralaidumą.

1 lentelėje pateikiami populiariausi kontrolinių paketų sekų metodais pagrįsti įrankiai.

1 lentelė

#### Matavimo įrankiai

Įrankio pavadinimas	Metodas	Protokolas	Metrikos	Kanalas
pathload	SLOPS	UDP	Esamas pralaidumas	Visas kelias
bprobe	Paketų porų	ICMP	Pralaidumo geba	Visas kelias
cprobe	Paketų porų	ICMP	Esamas pralaidumas	Visas kelias
Netest	Paketų porų	UDP	Pralaidumo geba	Visas kelias
Pathrate	Paketų porų, paketų eilių	UDP	Pralaidumo geba	Visas kelias
Pipechar	Paketų eilių	UDP	Esamas pralaidumas	Kanalo dalys
Sprobe	Paketų porų	TCP	Pralaidumo geba	Visas kelias
Treno	TCP simuliacija	UDP, ICMP	Tęstinio perdavimo geba	Visas kelias
ttcp	Kelio tvindymas	TCP, UDP	Pasiekiamas pralaidumas	Visas kelias
iperf	Kelio tvindymas	TCP, UDP	Pralaidumo geba	Visas kelias
Netperf	Kelio tvindymas	TCP, UDP	Pasiekiamas pralaidumas	Visas kelias

Šaltinis: sudaryta autoriaus pagal [13]

Išbandžius daugumą lentelėje pateiktų įrankių paaiškėjo, jog daugelis jų šiuolaikinėse operacinėse sistemose neveikia, arba veikia nepatikimai. Tai reiškia jog praktinis panaudojimas tampa sudėtingas, reikalauja papildomų lėšų operacinių sistemų diegimui.

Žinoma, išanalizavus pralaidumo matavimo metodus, galima programiškai realizuoti savo įrankį, tačiau tai ilgas procesas, reikalaujantis kompiuterių architektūros žinių – dispersijos matavimo metodai remiasi itin trumpo laiko intervalo matavimais. Todėl tolesniam tyrimui pasirinkti jau įgyvendinti įrankiai Patchar ir Pathload, kaip universalieji, veikiantys naujausiose populiariose UNIX operacinėse sistemose (Linux, FreeBSD ir kitose):

Patchar – naudoja paketų porų ir paketų eilių algoritmą kanalo gebos išmatavimui.

Pathload – remiasi SLOPS (apsikraunančių paketų eilių algoritmu)

## 2.4 Metodų pritaikomumas

Tiek pasyvūs tiek aktyvūs matavimo metodai turi savo pritaikymo sritis, kuriose kiekvienas jų gali būti efektyvesnis.

**Pasyvaus matavimo** metodai dažniausiai pritaikomi tinkluose, kurių mazgai (maršrutizatoriai bei komutatoriai) palaiko duomenų rinkimo protokolus (tokius kaip SNMP). Tolesniam surinktų duomenų apdorojimui bei pateikimui paprastai naudojami papildomi serveriai. Tokios sistemos efektyvios ir praktiškai naudojamos dideliuose tinkluose, jos leidžia administratoriams stebėti viso tinklo veiklą vienu metu. Tačiau tokios sistemos diegimas dažnai reikalauja papildomų diegimo kaštų ir administravimo. Kitas potencialus trūkumas – dėl pasyvios prigimties šie metodai duoda ribotą informacijos kiekį, kas gali apsunkinti problemų sprendimą.

**Aktyvaus matavimo** metodai yra universalesni – jie nereikalauja tarpinės tinklo įrangos palaikymo ir paprastai gali būti panaudoti išmatuoti pralaidumui tarp bet kurių dviejų taškų. Daugelis aktyvaus matavimo įrankių pagrįsti kliento-serverio principu. Vadinasi - kiekviename matuojamo kanalo galuose pakanka naudoti specialią programinę įrangą. Aktyvūs matavimo metodai pagal veikimo principus toliau gali būti skirstomi į aktyvaus srauto generatorius ir kontrolinių paketų sumų generatorius. Srauto generatoriai yra šiek tiek populiariesni – tiek Windows tiek UNIX sistemose yra sukurti įrankiai, tokie kaip Iperf bei Netperf. Kitos grupės - kontrolinių paketų sekų generavimo įrankių didžioji dalis išnagrinėtų įrankių yra sukurti tik UNIX sistemoms. Tai šiek tiek apsunkina praktinį kontrolinių paketų sekų matavimo metodų taikymą.

Apibendrinimui 2 lentelėje pateikiamos pagrindinių grupių metodų savybės, trūkumai ir privalumai.

## Metodų palyginimas

Matavimo metodai	Realizacija	Matuojamos metrikos	Teigiamos savybės	Neigiamos savybės
Pasyvūs matavimo metodai	SNMP, Netflow	Esamas pralaidumas (kitos metrikos priklauso nuo realizacijos)	Neapkrauna tinklo papildoma informacija.	Reikalauja papildomų matavimo įrenginių, suderinamumo su maršrutizatoriais. Ribotos matavimo galimybės, tam kad spręsti apie tinklo savybės reikia surinkti didelius duomenų kiekius.
Apkrovimo generavimo metodai	Iperf, Netperf	Pasiekiamas pralaidumas, Paketų vėlavimas, vėlavimo sklaida	Leidžia tiksliai išmatuoti vartotojui suvokiamą pralaidumą, kuris ypač aktualus eiliniam vartotojui. Leidžia išmatuoti vėlavimą bei vėlavimo sklaidą, kas aktualu perduodant duomenis realiu laiku.	Apkrauna tinklą nenaudinga informacija, gali įtakoti kitų tinklu besinaudojančių vartotojų srautus. Matuoja tinklo pralaidumą tik transportiniame lygmenyje
Online matuokliai	Speedtest.net, visualware.com	Esamas pralaidumas, paketų vėlavimas, vėlavimo sklaida	Leidžia efektyviai išmatuoti vartotojui suvokiamą pralaidumą. Reikalauja tik minimalių vartotojo įgūdžių. Matavimui atlikti užtenka naršyklės, palaikančios Java technologiją.	Pralaidumas matuojamas aplikacijų lygmenyje - gauti rezultatai gali tenkinti eilinių vartotojų, tačiau nėra pakankamai detalūs sudėtingesniems matavimams.
Kontrolinių paketų sekų generavimo metodai (paketų porų dispersija, paketų eilės, kintamo dydžio paketai ir kiti)	Pathload,bprobe,cprobe, Netest,Pathrate, Pipechar, Sprobe,TReno	Esamas pralaidumas, pasiekiamas pralaidumas, pralaidumo geba, paketų vėlavimas, vėlavimo sklaida	Neapkrauna tinklo, leidžia išmatuoti tokias tinklo charakteristikas kaip <i>pralaidumo geba</i> , kurias yra sunku išmatuoti kitais metodais.	Reikalauja techninių žinių Dauguma įrankių veikia tik UNIX sistemose

Šaltinis: sudaryta autoriaus

## 2.5. Skyriaus apibendrinimas

Išskirtos dvi matavimo metodų grupės skiriasi savo pritaikymo sritimis:

**Pasyvūs metodai** labiau tinkami taikyti dideliuose valdomuose tinkluose, kadangi reikalauja tarpinių įrenginių palaikymo bei papildomų duomenų apdorojimo bei pateikimo sistemų.

**Aktyvūs matavimo** metodai yra universalesni – jie nereikalauja tarpinės tinklo įrangos palaikymo ir gali būti panaudoti pralaidumui tarp bet kurių dviejų kompiuterinio tinklo taškų išmatuoti. Šiems matavimams pakanka programinės įrangos diegiamos galiniuose matuojamo tinklo taškuose. Todėl toliau darbe dėmesys bus skiriamas būtent aktyviems matavimo metodams.

Aktyvūs metodai pagal siunčiamų duomenų pobūdį savo ruožtu yra skiriami į dvi pagrindines grupes: **aktyvaus srauto** bei **kontrolinių paketų sekų** generavimo metodus.

**Aktyvaus srauto generatoriai** apkrauna tinklą maksimaliu srautu ir matuoja pasiektą pralaidumą. Tai patogiu nes galima išmatuoti vartotojui suvokiamą pralaidumą, tačiau teikiama informacija ribota – yra sunku įvertinti šalutinius srautus, be to naudojant šiuos metodus tinklas apkraunamas nereikalinga informacija, kuri gali įtakoti esamus srautus.

Šiai grupei priskiriami ir online matuokliai, kurių pagalba galima išmatuoti vartotojui suvokiamą pralaidumą TCP lygmenyje. Dėl savo patogumo ir paprastumo naudoti jie gali būti rekomenduojami eiliniam vartotojui – jų efektyvumą patikrinsiu eksperimentinėje darbo dalyje.

**Kontrolinių paketų sekų generavimo** metodai remiasi santykinai nedidelio paketų srauto generavimu, pagal kurio pokyčius apskaičiuojamas tinklo pralaidumas. Todėl tinklas mažai apkraunamas nereikalinga informacija. Be to, kontrolinių paketų sekų generavimo metodai turi galimybę išmatuoti ne tik esamą pralaidumą, bet ir pralaidumo gebą nepriklausomai nuo šalutinio srauto. Dėl šių savybių kontrolinių paketų sumų matavimo metodai būtų labiausiai tinkami naudojimui LAN bei WAN tinkluose. Eksperimentinėje darbo dalyje patikrinsiu šių metodų efektyvumą praktikoje.

### 3. EKSPERIMENTINĖ DALIS

Paskutinėje darbo dalyje literatūroje rasti ir teoriškai išnagrinėti metodai tikrinami praktiškai. Dėl ribotų eksperimentavimo galimybių tyrimui pasirinkti tik trys pagrindiniai metodai, kurie pagal literatūros analizę atrodo labiausiai tinkami praktiniam naudojimui interneto ryšio kokybės matavimams.

Teorinėje dalyje matavimo metodai buvo įvertinti keletu aspektų:

- veikimo principai
- matuojamos metrikos
- tinklo apkrovimas
- patogumas naudoti
- realizacija (įrankių prieinamumas ir patikimumas)
- atitikimas atskirų vartotojų grupių poreikiams

Remiantis šiais įvertinimais tolesnei analizei buvo pasirinkti *aktyvūs matavimo metodai* – kaip teikiantys daugiausiai informacijos apie dominančias tinklo metrikas. Jie taip pat patogūs naudoti praktikoje – jais remiantis yra sukurta daugybė programinių įrankių.

Eksperimentiškai patikrinti pasirinkti tiek *aktyvų srautą (apkrovimą) generuojantys*, tiek savo veikimo principu nuo jų besiskiriantys *kontrolinių paketų sekų generavimu* paremti matavimo metodai. Taip pat eksperimentiškai bus įvertinti ir online matuokliai, kurie nors ir galėtų būti priskirti aktyvų srautą generuojamiems metodams, visgi skiriasi savo įgyvendinimu.

Žemiau yra išvardinti pasirinkti įrankiai ir pagrindinės jų pasirinkimo priežastys:

1. *Pathrate* bei *Pathload* – pasirinkti kaip tinkamiausi sudėtingesniems tinklo matavimams LAN bei WAN tinkluose. Paremti kontrolinių paketų sekų generavimo metodais. Jie yra orientuoti į techninį vartotoją, reikalauja aukšto lygio techninių žinių, paruošti veikti tik UNIX sistemose. Palyginant su kitais kontrolinių paketų sekų generavimo metodus naudojančiais įrankiais, pastarieji nėra pasenę ir pritaikyti veikti didelio pralaidumo tinkluose.

2. *Iperf* – universalus įrankis tinkamiausias simuliuoti TCP bei UDP srautus. Pagrįstas aktyvaus srauto generavimo metodu. Reikalauja vidutinių techninių žinių ir prieinamas ne tik UNIX bet ir Windows sistemose, kas įgalina naudoti matavimui esamas OS. Didžioji dauguma verslo įmonių naudoja būtent Windows operacinę sistemą.

3. *Web sąsajos pagrindu veikiantys (online matuokliai)* – pasirinkti kaip patogiausi ir prieinamiausi eiliniam vartotojui, nereikalaujantys papildomo diegimo ir efektyviai išmatuojančius vartotojui suvokiamą pralaidumą. Pagrįsti aktyvaus srauto generavimo metodais. Tokį pasirinkimą grindžiu tuo jo šiuolaikiniame internete vis labiau pradeda vyrėti HTTP protokolu pagrįstos

sistemos, populiarėja Web 2.0 realizacijos. Kadangi Web 2.0 plačiai taiko HTTP protokolą, kuris savo ruožtu naudoja TCP duomenų persiuntimui, vis aktualiau tampa matuoti būtent pasiekiamą pralaidumą TCP lygmenyje. Tai galima efektyviai atlikti tiek naudojantis Iperf įrankiu tiek su Web sąsają turinčiais matuokliais.

### **3.1. Eksperimentas, paremtas kontrolinių paketų sekų generavimo metodais**

Šiame skyriuje eksperimentiškai patikrinami paketų porų, paketų eilių bei SLoPS matavimo metodai, įgyvendinti įrankiais Pathchar bei Pathrate. Šie įrankiai buvo pasirinkti kaip vieni iš patogesnių naudoti šiuolaikinėse UNIX operacinėse sistemose.

#### **3.1.1. Eksperimento priemonės**

Eksperimento metu buvo naudojami šie komponentai:

Operacinės sistemos Linux, FreeBSD.

Pralaidumui matuoti skirti programiniai paketai:

Pathrate 2.4.1 – naujausia įrankio versija, pateikiama kūrėjo puslapyje [18]

Pathload versija 1.3.2 – naujausia įrankio versija, pateikiama kūrėjo puslapyje [19]

Tcpdump - 3.8.3 – paketų srautų analizavimui.

Operacinių sistemų ir kompiuterių parametrai:

Taškas A:

Linux 2.6.15, procesorius: P5-1.5Ghz 1GB RAM

Taškas B:

FreeBSD 5.5-RELEASE-p8, procesorius: P5-1.3 Ghz, 1GB RAM

Įrankio traceroute pagalba patikrinamas tinklo kanalas tarp taškų A ir B (9 pav.) – matome, jog kelyje egzistuoja 6 maršrutizatoriai, išmatuotas vėlinimo laikas neviršija 2 milisekundžių. Todėl galima spręsti kad tinklas veikia patikimai, tarpiniai maršrutizatoriai matavimams didelės įtakos greičiausiai neturės.



```
10.0.2.100 - PuTTY
root@JuodojiSkyle:/usr/local/src/traffic/pathload_1.3.2# traceroute lbs.ktu.lt
traceroute to lbs.ktu.lt (193.219.160.145), 30 hops max, 38 byte packets
 1 gw5.inturbo.lt (87.247.80.1)  0.809 ms  0.719 ms  0.691 ms
 2 srv-217-17-85-213.mikrovisata.net (217.17.85.213)  0.900 ms  0.897 ms  0.882 ms
 3 out-tc4.mikrovisata.net (217.17.85.143)  0.621 ms  0.622 ms  0.617 ms
 4 srv-217-17-85-197.mikrovisata.net (217.17.85.197)  0.963 ms  0.831 ms  0.823 ms
 5 litnet-mv.mikrovisata.net (217.17.85.254)  1.068 ms  1.042 ms  1.011 ms
 6 193.219.153.21 (193.219.153.21)  1.218 ms  1.147 ms  1.169 ms
 7 193.219.62.66 (193.219.62.66)  1.368 ms  1.475 ms  1.454 ms
 8 * * *
 9 * * *
10 * * *

root@JuodojiSkyle:/usr/local/src/traffic/pathload_1.3.2#
```

Šaltinis: programos veikimo langas

### 9 pav., Matuojamo tinklo kanalo savybės

#### 3.1.2. Pathrate aprašymas

Įrankis – **Pathrate**, yra skirtas matuoti IP lygmens pralaidumo gebos matavimui viena kryptimi nuo siuntėjo A iki gavėjo B. Pabrėžiama, kad plotis nepriklauso nuo kelio apkrovimo. Pralaidumo plotis, kitaip nei pasiekiamas pralaidumas nepriklauso nuo kelio apkrovimo. Pathrate veikia serverio kliento principu: Taške A esantis serveris siunčia duomenis klientui B. Matavimai ir skaičiavimai atliekami taške B. Norint išmatuoti plotį priešinga kryptimi reikia sukeisti vietomis klientinę ir serverinę dalis. Tai svarbu, nes dauguma interneto mazgų yra asimetriniai, pralaidumas iš taško A į tašką B dažniausiai neatitinka pralaidumo iš taško B į tašką A.

Unix sistemose įrankis veikia vartotojo lygmenyje, jam nereikia root privilegijų. Veikimo laikas santykinai ilgas – apie 15 minučių. Ilgą veikimo laiką kūrėjai pasirinko siekdami didesnio tikslumo. Pabrėžtina, kad pralaidumo plotį galime laikyti statišku – jis nekinta laike, ir nėra priklausomas nuo šalutinio srauto. Pokyčius galime pastebėti tik tuomet, kai fiziškai keičiama pati tinklo infrastruktūra ar maršrutizavimo parametrai. Todėl ilgas įrankio veikimo laikas leidžia tiksliai priartinti išmatuotą dydį prie tikrojo.

Svarbu, kad matavimo metu tiek kliento tiek serverio kompiuterių resursai būtų minimaliai apkrauti. Šalia egzistuojantys procesorių ar įvedimo išvedimo įrenginius apkraunantys procesai gali įtakoti vartotojo lygmenyje veikiančio pathrate paketų laiko šampavimo mechanizmą ir iškreipti rezultata.

Tinkle egzistuojant srauto ribojimo mechanizmams dažnai pasitaiko atvejis, kai pralaidumas trumpą laiką gali būti didesnis nei pastovus. Šis pikinis pralaidumas P leidžia trumpai trunkantiems duomenų srautams greičiau perduoti informaciją. Pasiekus fiksuotą trukmę, mechanizmai srautą apriboja ir palaiko žemesniame lygyje S. Tokiuose keliuose, pathrate išmatuota reikšmė parodo pikinį pralaidumą P, ne S.

Matavimams Pathrate naudoja UDP protokolą - portas 48698 gavėjo pusėje. Kontrolės reikmėms pathrate taip pat užmezga ryšį TCP protokolu pasinaudodamas 48699 (siuntėjo pusėje).

Pathrate veikimas pagrįstas keliomis fazėmis:

- 1) Iš pradžių Pathrate suranda maksimalų galimą paketų eilės dydį, kuris efektyviai telpa kanale. Tai daroma siekiant išvengti kelyje esančių buferių perpildymų. Įrankis siunčia vis ilgėjančias eiles, ir sustoja kai aptinka tris paeiliui su pertrūkiais arba kol eilės ilgis pasiekia 50 paketų.
- 2) Tuomet Pathrate paeiliui siunčia ilgėjančias paketų eiles, siekdamas patikrinti ar matuojamas kanalas nedalinamas į lygiagrečius pokanalius bei patikrinti ar kanale nėra srauto ribojimų. Šioje fazėje taip pat patikrinama ar kanalas „lengvai matuojamas“ (lengvai apkrautas). Tokiu atveju Pathrate sustoja išvesdamas galutinį rezultatą.
- 3) Pathrate generuoja dideli paketų kiekį (1000) paketų porų, kurias toliau analizuoja statistiškai, atrinkdamas labiausiai tenkinančias nustatytus vidinius kriterijus. Patikimumui padidinti siunčiami paketai yra kintamo dydžio.
- 4) Galiausiai Pathrate generuoja didelį kiekį (500) ilgų paketų eilių, siekdamas patikrinti 3 fazėje išmatuotą pralaidumo reikšmę. Ši patikrinta reikšmė ir yra galutinis rezultatas. [18]

### 3.1.3. Eksperimentas (Pathrate)

Taške B paleidžiamas Pathrate serveris, į kurį jungiasi klientas iš taško A. Pralaidumas matuojamas kryptimi A->B serveriui generuojant srautą, kurį analizuoja klientas taške B. Be matavimui naudojamų duomenų srautų klientas-serveris taip pat siunčia tarnybinius duomenis užmegztu TCP kanalu.

Atliekama po 10 matavimų, tiek tinklo kanalui esant laisvam, tiek su sukurtu dirbtiniu apkrovimu (tuo tikslu taške A paleidžiamos 3 ftp sesijos, siunčiančios duomenis maksimaliu greičiu iš trečiosios šalies serverio).

Pathrate veikimas pateikiamas 1 priede.

Matavimo rezultatai pateikiami 3 bei 4 lentelėse.

3 lentelė

**Pathrate matavimo rezultatai neapkrautame kanale**

Bandymas	Persiųstas paketų skaičius	Persiųstas duomenų kiekis, baitais	Veikimo trukmė, s	Vidutinis apkrovimas, Mbit/s	Išmatuota pralaidumo reikšmė, Mbit/s
1	12644	1299104	45	0.03	9.92
2	12252	1299038	47	0.03	9.88
3	12422	1299012	45	0.03	9.89
4	11950	1299012	42	0.03	9.86
5	12644	1299104	45	0.03	9.81
6	12134	1299098	45	0.03	9.9
7	12638	1299082	47	0.03	9.91
8	12742	1299104	45	0.03	9.92
9	12684	1299100	45	0.03	9.89
10	12666	1299082	46	0.03	9.93

Šaltinis: sudaryta autoriaus

Apskaičiuojamos vidutinės išmatuoto pralaidumo charakteristikos kanalui esant laisvam:

- Vidutinė išmatuota pralaidumo reikšmė: **9.891 Mbit/s**
- Nuokrypis: **0.11 Mbit/s**
- Nuokrypis procentais: **1.11 %**

## Pathrate matavimo rezultatai apkrautame kanale

Bandymas	Persiųstas paketų skaičius	Persiųstas duomenų kiekis, baitais	Veikimo trukmė, s	Vidutinis apkrovimas, Mbit/s	Išmatuota pralaidumo reikšmė, Mbit/s
1	12234	1299112	45	0.03	9.76
2	12624	1299044	45	0.03	9.88
3	12134	1299022	45	0.03	9.71
4	11950	1299012	44	0.03	9.82
5	12124	1299100	45	0.03	9.81
6	12422	1299088	45	0.03	9.95
7	12422	1299080	46	0.03	9.81
8	12742	1299102	45	0.03	9.87
9	12682	1299202	45	0.03	9.81
10	12450	1299012	45	0.03	9.81

Šaltinis: sudaryta autoriaus

Apskaičiuojamos vidutinės išmatuoto pralaidumo charakteristikos apkrautame kanale:

Vidutinė pralaidumo reikšmė: **9.823** Mbit/s

Nuokrypis: **0.19** Mbit/s

Nuokrypis procentais: **1.93** %

Galutiniai rezultatai pateikiami 5 lentelėje. Iš rezultatų galima spręsti, jog tinklo apkrovimas nedaro didelės įtakos Pathrate matavimo reikšmės pokyčiams. Reikia atsižvelgti į tai, jog Pathrate matuoja pralaidumo gebą, kuri paprastai yra nekintanti. Tinklo apkrovimas šios charakteristikos neįtakoja, tačiau gali iškreipti Pathrate matavimo rezultatus. Vis dėlto matome, jog nuokrypis esant apkrovimui siekia vos 2 % - vadinasi Pathrate naudojama paketų porų bei paketų eilių metodų kombinacija puikiai tinka gebos matavimui.

## Pathrate rezultatų palyginimas

	Pralaidumo reikšmė, Mbit/s	Nuokrypis, %
<b>Be apkrovimo</b>	9.89	1.11
<b>Su apkrovimu</b>	9.82	1.93

Šaltinis: sudaryta autoriaus

Iš rezultatų galima spręsti, jog tinklo apkrovimas nedaro didelės įtakos Pathrate matavimo reikšmės pokyčiams. Reikia atsižvelgti į tai, jog Pathrate matuoja pralaidumo gebą, kuri paprastai yra nekintanti. Tinklo apkrovimas šios charakteristikos neįtakoja, tačiau gali iškreipti Pathrate

matavimo rezultatus. Vis dėlto matome, jog nuokrypis esant apkrovimui siekia vos 2 % - vadinasi Pathrate naudojama paketų porų bei paketų eilių metodų kombinacija puikiai tinka gebos matavimui.

#### 3.1.4. Pathload aprašymas

Įrankis – Pathload, įgyvendina SLoPS (Self Loading Packet Streams) metodą.

Pathload - tai įrankis skirtas **esamam pralaidumui** tarp galinių tinklo taškų S (siuntėjas) ir G (gavėjas) matuoti. Esamas pralaidumas tai maksimalus IP lygmens pralaidumas kurį galima išgauti kelyje nuo taško S iki taško G nesumažinant tinkle esančio gretutinio srauto greičio.

Pathload skaičiavimo algoritmas paremtas SLoPS metodologija. Kai procesas iš taško S siunčia UDP paketų eilę didesniu greičiu nei esamas pralaidumas, santykinis vienos krypties paketų vėlavimas turi pastebimą tendą. Kai eilės greitis yra mažesnis nei esamas pralaidumas – santykinis vienos krypties paketų vėlavimas neturi jokio pastebimo trendo.

Pathload sudarytas iš serverio taške S ir kliento taške G. Serveris siunčia UDP paketų eiles klientui nustatytu greičiu. Pathload siunčia ne vieną paketų eilę o N paketų eilių rinkinį (fleet). Pathload nesprenžia ar pasirinktas greitis (Tr) yra didesnis nei esamas pralaidumas (A) tik pagal vieną eilę. Pathload siunčia pasirinkto skaičiaus N eilių rinkinį taip surinkdamas N pavyzdžių tikrinimui ar pasirinktas pralaidumas (Tr) yra didesnis nei tikrasis esamas pralaidumas (A).

Gavęs pilną eilių rinkinį N, klientas tikrina, ar padidėjo paketų vėlavimas kiekvienoje paketų eilėje. Jei didelė dalis N paketų eilių rodo padidėjusį paketų vėlavimą, sekančio eilių rinkinio greitis sumažinamas. Jei didžioji dalis N paketų eilių nerodo paketų vėlavimo pokyčių, sekančio rinkinio greitis didinamas. Pastebėtas vėlavimas asocijuojamas su norimu išmatuoti pralaidumu [19].

#### 3.1.5. Eksperimentas (Pathload)

Taške B paleidžiamas Pathload serveris, į kurį jungiasi klientas iš taško A. Pralaidumas matuojamas kryptimi A->B serveriui generuojant srautą, kurį analizuoja klientas taške B. Be matavimui naudojamų duomenų srautų klientas-serveris taip pat siunčia tarnybinius duomenis užmegztu TCP kanalu.

Atliekama po 10 matavimų, tiek tinklo kanalui esant laisvam, tiek su sukurtu dirbtiniu apkrovimu (tuo tikslu taške A paleidžiamos 3 ftp sesijos, siunčiančios duomenis maksimaliu greičiu iš trečiosios šalies serverio).

Pathload veikimas pateikiamas 2, 3 prieduose.

6 bei 7 lentelėse pateikiami matavimo rezultatai.

6 lentelė

**Pathload matavimo rezultatai (esant neapkrautam kanalui)**

Bandymas	Persiųstas paketų skaičius	Persiųstas duomenų kiekis, baitais	Veikimo trukmė, s	Apkrovimas, Mbit/s	Išmatuota pralaidumo reikšmė, Mbit/s
1	10311	2527934	23	0.10	8.61
2	8536	2115356	23	0.09	8.48
3	10310	2527852	23	0.10	8.64
4	10304	2527852	23	0.10	8.52
5	10310	2527317	23	0.10	8.6
6	8536	2115356	23	0.09	8.11
7	8540	2115356	23	0.09	8.15
8	10310	2525244	23	0.10	8.12
9	10320	2527934	23	0.10	8.44
10	10322	2527852	23	0.10	8.55

Šaltinis: sudaryta autoriaus

Apskaičiuojamos vidutinės išmatuoto pralaidumo charakteristikos kanalui esant laisvam:

Vidutinė pralaidumo reikšmė: **8.422 Mbit/s**

Nuokrypis: **0.53 Mbit/s**

Procentinis nuokrypis: **6.29 %**

Toliau atlikti matavimai, esant apkrovimui. 7 lentelėje pateikiami matavimų rezultatai

7 lentelė

**Pathload matavimo rezultatai (esant apkrautam kanalui)**

Bandymas	Persiųstas paketų skaičius	Persiųstas duomenų kiekis, baitais	Veikimo trukmė, s	Vidutinis apkrovimas, Mbit/s	Išmatuota pralaidumo reikšmė, Mbit/s
1	12644	3182296	45	0.07	6.52
2	12252	3195133	47	0.06	6.06
3	12422	3182296	45	0.07	6.41
4	11950	2982296	42	0.07	6.22
5	12644	3263261	45	0.07	6.95
6	12134	3182356	45	0.07	6.05
7	12638	3356871	47	0.07	6.51
8	12742	3643132	45	0.08	6.11
9	12684	3135678	45	0.07	6.52
10	12666	3213675	46	0.07	6.51

Šaltinis: sudaryta autoriaus

Apskaičiuojamos vidutinės išmatuoto pralaidumo charakteristikos apkrautame kanale:

Vidutinė pralaidumo reikšmė: **6.86 Mbit/s**

Nuokrypis: **0.89 Mbit/s**

Procentinis nuokrypis: **13.94 %**

Galutiniai rezultatai apibendrinami 8 lentelėje

8 lentelė

### Pathload rezultatų palyginimas

	Pralaidumo reikšmė, Mbit/s	Nuokrypis, %
<b>Be apkrovimo</b>	8.42	6.29
<b>Su apkrovimu</b>	6.39	13.94

Šaltinis: sudaryta autoriaus

Rezultatai rodo, kad:

- Pathload apkrauna kanalą apytiksliai tik keletu procentų matuoto pralaidumo.
- Persiųstas paketų kiekis - apytiksliai 10000 matavimo sesijai, kuri trunka nuo 23 sekundžių neapkrautame kanale. Apkrautame kanale matavimo laikas šiek tiek išauga (iki 47 sekundžių), paketų persiunčiama daugiau.
- Tinklo apkrovimas mažai įtakoja matavimo rezultatų kokybę (8 lentelė).

Vykdamat matavimus, pastebėta programinių klaidų, Pathload beveik 20% paleidimo atveju veikia nekorektiškai, reikalauja vartotojo įsikišimo, apkrauna tinklą nereikalinga informacija. Šios klaidos pastebėtos tik vykdant eksperimentą, literatūroje jos minimos nėra. Todėl galima spręsti kad klaidos kyla dėl programinės realizacijos keblumų eksperimente naudotose operacinėse sistemose. Vis dėlto, šios sistemos – Linux bei FreeBSD yra gana plačiai naudojamos, pastebėtos programinės Pathload klaidos gali trukdyti vykdyti matavimus automatiškai, nereikalaujant vartotojo įsikišimo. Tai sunkina praktinį šio įrankio panaudojimą.

## 3.2. Eksperimentas, paremtas kanalo apkrovimo metodais

Šiuo eksperimentu įvertinamas kanalo apkrovimo metodo veikimas, įgyvendintas Iperf įrankiu. Atliekami matavimai tiek TCP, tiek UDP režimais.

### 3.2.1. Eksperimento priemonės

Eksperimento metu buvo naudojami šie komponentai:

Operacinės sistemos Linux, FreeBSD.

Pralaidumui matuoti skirti programiniai paketai:

Iperf 2.0.4 – Naujausia versija pateikta gamintojo puslapyje [29]

Tcpdump - 3.8.3 – Naudojamas siunčiamų paketų analizei.

### Operacinių sistemų ir kompiuterių parametrai:

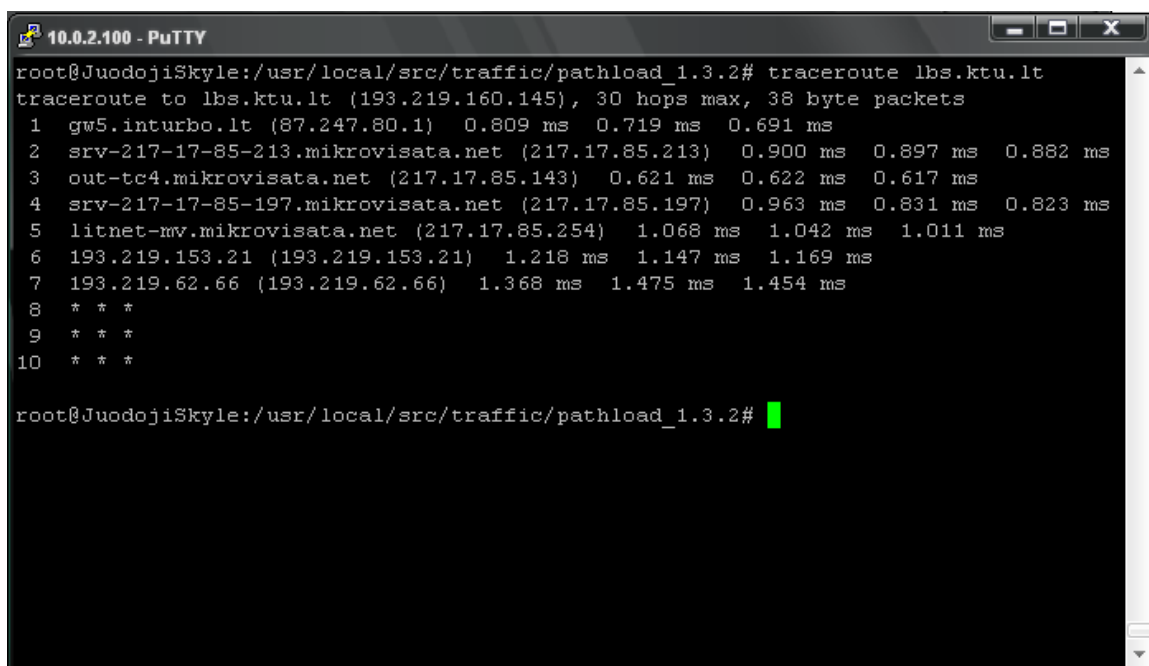
Taškas A:

Linux 2.6.15, Procesorius: P5-1.5Ghz 1GB RAM

Taškas B:

FreeBSD 5.5-RELEASE-p8, Procesorius: P5-1.3 Ghz, 1GB RAM

Įrankio traceroute pagalba patikrinamas tinklo kanalas tarp taškų A ir B (10 pav.) – matome, jog kelyje egzistuoja 6 maršrutizatoriai, išmatuotas vėlinimo laikas neviršija 2 milisekundžių. Todėl galima spręsti kad tinklas veikia patikimai, tarpiniai maršrutizatoriai matavimams didelės įtakos greičiausiai neturės.



```
10.0.2.100 - PuTTY
root@JuodojiSkyle:/usr/local/src/traffic/pathload_1.3.2# traceroute lbs.ktu.lt
traceroute to lbs.ktu.lt (193.219.160.145), 30 hops max, 38 byte packets
 1 gw5.inturbo.lt (87.247.80.1)  0.809 ms  0.719 ms  0.691 ms
 2 srv-217-17-85-213.mikrovisata.net (217.17.85.213)  0.900 ms  0.897 ms  0.882 ms
 3 out-tc4.mikrovisata.net (217.17.85.143)  0.621 ms  0.622 ms  0.617 ms
 4 srv-217-17-85-197.mikrovisata.net (217.17.85.197)  0.963 ms  0.831 ms  0.823 ms
 5 litnet-mv.mikrovisata.net (217.17.85.254)  1.068 ms  1.042 ms  1.011 ms
 6 193.219.153.21 (193.219.153.21)  1.218 ms  1.147 ms  1.169 ms
 7 193.219.62.66 (193.219.62.66)  1.368 ms  1.475 ms  1.454 ms
 8 * * *
 9 * * *
10 * * *

root@JuodojiSkyle:/usr/local/src/traffic/pathload_1.3.2#
```

Šaltinis: programos veikimo langas

### 10 pav., Matuojamo tinklo kanalo savybės

Taške B paleidžiamas Pathrate serveris, į kurį jungiasi klientas iš taško A. Pralaidumas matuojamas kryptimi A->B serveriui generuojant srautą, kurį analizuoja klientas taške B.

Atliekama po 10 matavimų, tiek tinklo kanalui esant laisvam, tiek su sukurtu dirbtiniu apkrovimu(tuo tikslu taške A paleidžiamos 3 ftp sesijos, siunčiančios duomenis maksimaliu greičiu iš trečiosios šalies serverio).

Iperf veikimas pateikiamas 4, 5 prieduose.



### 3.2.3. Iperf matavimai (TCP režimu)

9 lentelė

#### Matavimas Iperf (TCP režimas, be apkrovimo)

Bandymas	Pralaidumo reikšmė, Mbit/s
1	6.24
2	6.43
3	6.51
4	6.32
5	6.11
6	6.05
7	6.01
8	6.67
9	6.72
10	6.81

Šaltinis: sudaryta autoriaus

Apskaičiuojamos vidutinės išmatuoto pralaidumo charakteristikos apkrautame kanale:

Vidutinė matuojamo pralaidumo reikšmė: **6.39 Mbit/s**

Nuokrypis: **0.8 Mbit/s**

Procentinis nuokrypis: **12.53 %**

10 lentelė

#### Matavimas Iperf (TCP režimas, su apkrovimu)

Bandymas	Pralaidumo reikšmė, Mbit/s
1	2.74
2	2.64
3	2.33
4	2.78
5	2.92
6	2.57
7	2.67
8	2.11
9	2.04
10	2.56

Šaltinis: sudaryta autoriaus

Apskaičiuojamos vidutinės išmatuoto pralaidumo charakteristikos apkrautame kanale:

Vidutinė matuojamo pralaidumo reikšmė: **2.54 Mbit/s**

Nuokrypis: **0.88 Mbit/s**

Procentinis nuokrypis: **34.7 %**

### 3.2.4. Iperf matavimai (UDP režimu)

UDP metodu matuotas pralaidumas yra 3.86 Mbit/s didesnis nei TCP metodu. Spėjame kad skirtumas susidaro dėl to, kad kelyje esantys maršrutizatoriai teikia skirtingus prioritetus TCP ir UDP paketų srautams.

11 lentelė

#### Matavimas Iperf (UDP režimas, be apkrovimo)

Bandymas	Pralaidumo reikšmė, Mbit/s
1	7.73
2	7.8
3	7.65
4	7.44
5	7.11
6	7.24
7	7.12
8	7.01
9	7.26
10	7.32

Šaltinis: sudaryta autoriaus

Vidutinė matuojamo pralaidumo reikšmė: **7.37 Mbit/s**

Nuokrypis: **0.72 Mbit/s**

Procentinis nuokrypis: **9.77 %**

12 lentelė

#### Matavimas Iperf (UDP režimas, su apkrovimu)

Bandymas	Pralaidumo reikšmė, Mbit/s
1	3.86
2	3.77
3	3.43
4	3.58
5	3.9
6	3.12
7	3.33
8	3.46
9	3.82
10	3.71

Šaltinis: sudaryta autoriaus

Apskaičiuojamos vidutinės išmatuoto pralaidumo charakteristikos apkrautame kanale:

Vidutinė matuojamo pralaidumo reikšmė: **3.60 Mbit/s**

Nuokrypis: **0.78 Mbit/s**

Procentinis nuokrypis: **21.68 %**

Galutiniai rezultatai apibendrinami 13 lentelėje

13 lentelė

### Iperf matavimo rezultatų palyginimas

	TCP režimas		UDP režimas	
	Pralaidumo reikšmė, Mbit/s	Nuokrypis, %	Pralaidumo reikšmė, Mbit/s	Nuokrypis, %
<b>Be apkrovimo</b>	6.39	12.53	7.37	9.77
<b>Su apkrovimu</b>	2.54	34.70	3.60	21.68

Šaltinis: sudaryta autoriaus

Atlikus matavimus TCP bei UDP režimais bei remiantis 13 lentelėje pateiktais rezultatais galima teigti, kad:

- Tinkle esant apkrovimui matavimų rezultatai tolsta nuo vidutinės reikšmės (didėja nuokrypis)
- Matuojat TCP apkrovimo metodu, pasiekiamas pralaidumas gali būti pervertintas, taip atsitinka dėl to, kad matuojantis TCP sujungimas gali „atimti“ dalį pralaidumo iš gretimai kanale esančių TCP sujungimų.
- TCP bei UDP metodais išmatuotos pralaidumo reikšmės skiriasi, tikėtina jog šis skirtumas atsiranda dėl paketų prioretizavimo tarpiniuose maršrutizatoriuose.

### 3.3. Online matuokliai

Matuojant "online" matuokliais tiek serverinę, tiek klientinę programinę įrangą suteikia matavimo paslaugas teikianti bendrovė, žinomiausios iš jų yra: Speedtest.net; VisualWare.com. Online matuokliai turi teigiamų ir neigiamų savybių: serveriui esant geografiškai toli, matavimo rezultatus gali įtakoti apkrautas kelyje esantis tinklas. Todėl, norint kad matavimas būtų efektyvus, reikia pasirinkti artimiausius serverius. Žinoma, jei vartotojui iš Lietuvos yra aktualus efektyvus tinklo pralaidumas iki JAV, jis gali rinktis toliau, JAV esančius serverius, o ne esančius arčiau - Europoje. Serveriai ne visada yra išdėstyti geografiškai artimoje teritorijoje. Vartotojas, siekdamas išmatuoti pralaidumą šalies teritorijoje, turėtų naudotis vietinio matavimų tiekėjo paslaugomis.

Online matuokliai per pastaruosius keletą metų gerokai patobulėjo. Viena iš populiariausių matavimo paslaugų – speedtest.net pasižymi labai patogia vartotojo sąsaja. Kas itin svarbu –

sistemos kūrėjai pasirūpino daugybe testavimo serverių. Vartotojas visada gali išsirinkti artimiausią – tokiu atveju matavimas bus patikimesnis.

Online matuokliai dėl savo patogumo labiausiai tinkami naudoti paprastam vartotojui besinaudojančiam įvairiomis interneto priegomis: tiek DSL, tiek bevieliais tinklais bei mobiliuoju ryšiu (GPRS, ISDN).

Ekspertiškai bus tikrinamas dviejų pasirinktų (speedtest.net bei visualware.com) matuoklių veikimas DSL priegos taške. Šio tipo priega pasirinkta siekiant įvertinti pralaidumo matavimo metodų galimybes eilinio interneto vartotojo atžvilgiu.

### 3.3.1. Eksperimento priemonės

Eksperimentas pasirinktas vykdyti vartotojiškame priegos taške. Teo.lt interneto priega, dokumentuotoje kaip turinčią 1024 kb/s priėmimo ir 760 siuntimo greitaveiką.

Programinė įranga:

Windows XP Professional operacinė sistema su Firefox 2.0 naršykle.

Wireshark 1.0.0 paketų gaudyklė (sniffer)

### 3.3.2. Matavimas speedtest.net

11 paveikslėlyje pavaizduotas Firefox naršyklėje užkrauta speedtest.net matavimo sąsaja. Mėlynais trikampaiais pažymėti pasirinktini testavimo serveriai, iš kurių sistema pati parenka rekomenduojamą testavimui artimiausią serverį.

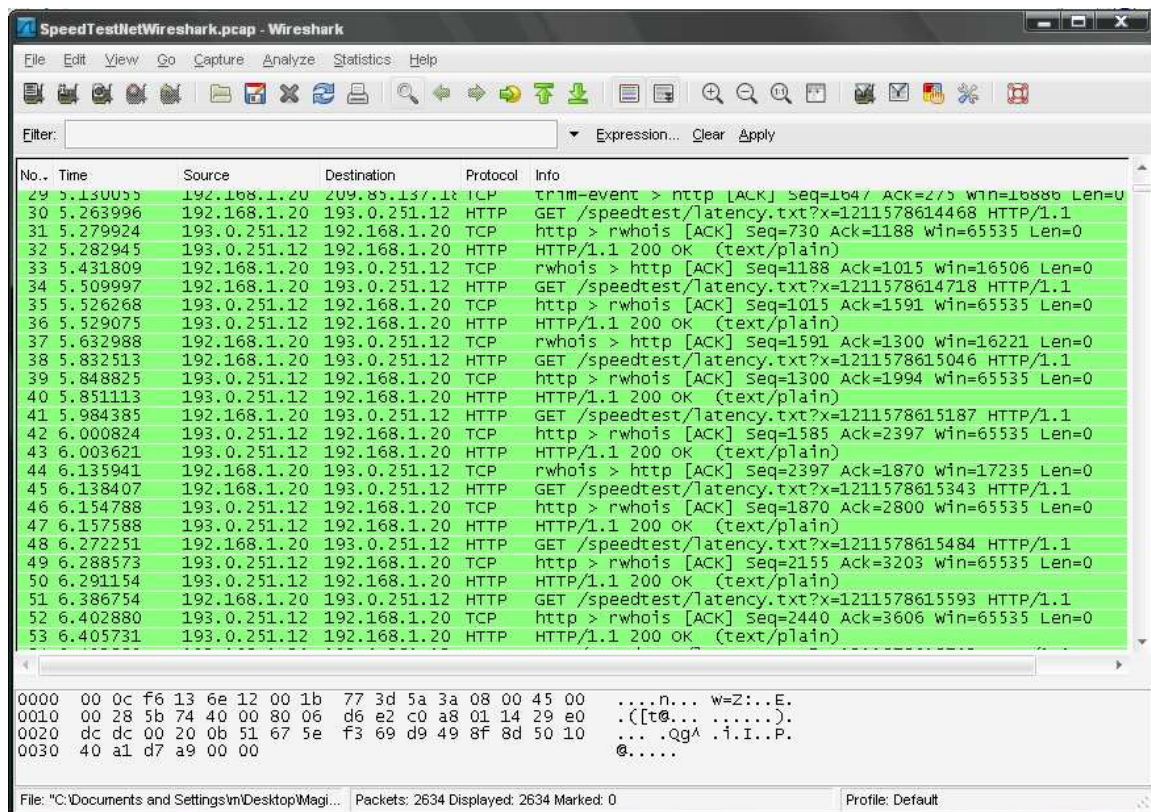


Šaltinis: programos veikimo langas

11 pav., Speedtest.net matuoklio langas

Matuojant online įrankiais paketų srautų stebėjimui kompiuteryje buvo įdiegta Wireshark paketų gaudyklė – kurios pagalba buvo analizuota kiek ir kokių paketų buvo siunčiama matavimo metodu.

12 pav. pavaizduotas šios gaudyklės langas.



Šaltinis: programos veikimo langas

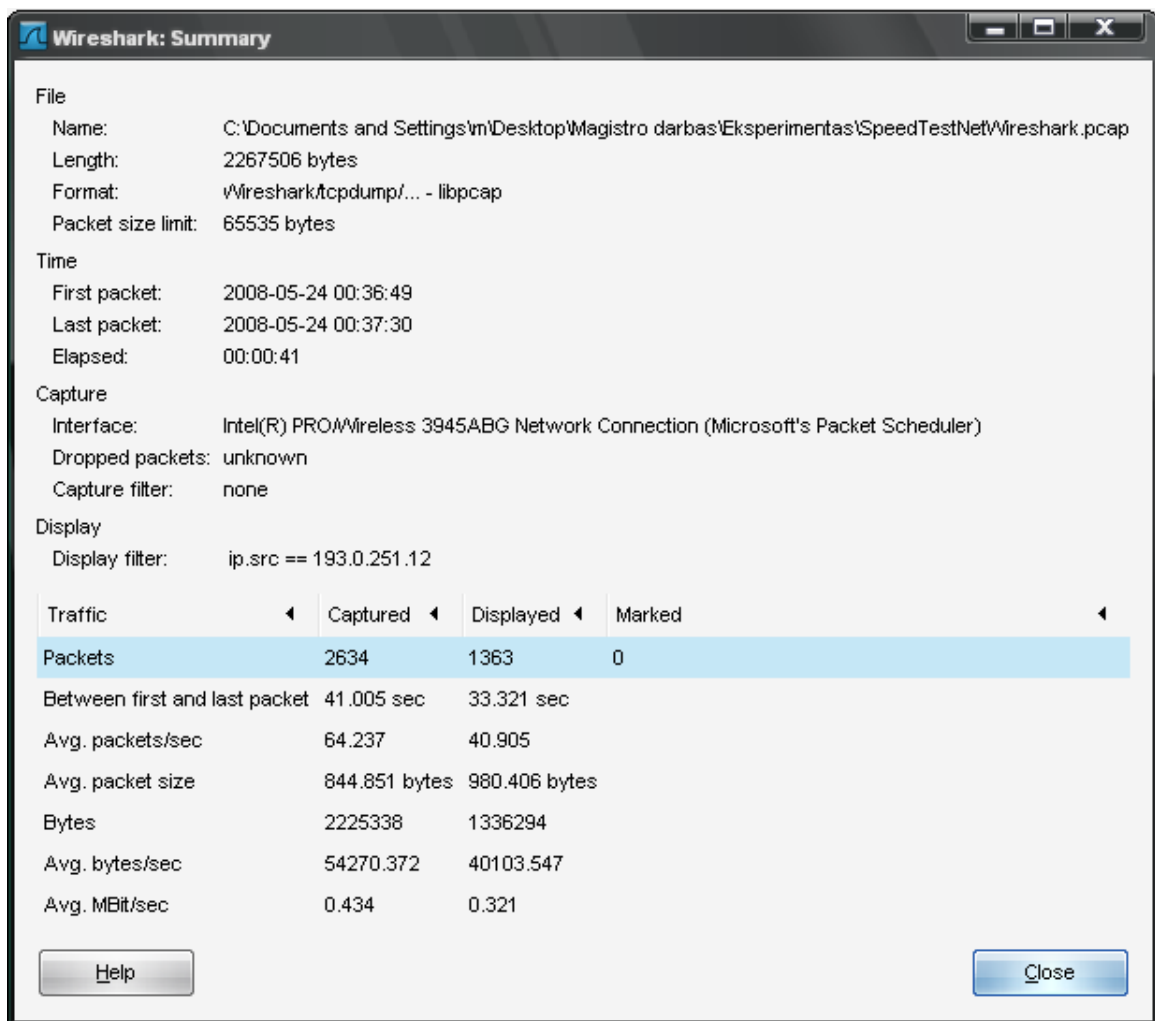
## 12 pav., Wireshark paketų gaudyklės rezultatai

Išanalizavę paketų gaudyklės surinktus duomenis matome:

Testavimui naudojamas serverio vardas yra speedtest.kis.lt, kurio IP adresas: 193.0.251.12

Vartotojo kompiuterio adresas – 192.168.1.20 (kompiuteris yra už DSL maršrutizatoriaus, naudojančio tinklo adresų transliaciją (NAT))

Testavimui naudojamas TCP protokolas, prie serverio jungiamasi HTTP protokolu (TCP portas 80)



Šaltinis: programos veikimo langas

### 13 pav., Paketų gaudyklės rezultatai

Analizuojame paketus, kurių pagalba buvo tiriamas greitis nuo serverio iki kliento (13 pav.). Wireshark leidžia uždėti filtrus, kurių pagalba atrenkame tik reikiamus paketus. Analizuojame informaciją siunčiamą serverio, todėl uždedame filtrą paketams su siuntėjo IP adresu: 193.251.12. Filto atitikmuo Wireshark aplinkoje: ip.src == 193.0.251.12

Persiųstas duomenų kiekis: 1336294 baitai.

Persiųstas paketų kiekis: 1363

Vidutinis paketo dydis – 980 baitų.

Matavimo trukmė: apytiksliai ~33 sekundės.

Pabrėžtina, jog serveris be matavimui siunčiamos informacijos gali siųsti ir tarnybinius paketus, naudojamus sinchronizacijai ir matavimo proceso užmezgimui

### 3.3.3. Speedtest.net matavimo rezultatai

14 lentelėje pateikiami rezultatai, gauti matuojant pralaidumą šiuo matuokliu.

14 lentelė

#### Speedtest.net rezultatai, esant neapkrautam kanalui

Bandymas	Persiųstas paketų skaičius	Persiųstas duomenų kiekis, baitais	Išmatuota pralaidumo reikšmė, kbit/s
1	2634	2225338	1043
2	2655	2235300	1012
3	2564	2225338	1023
4	2620	2225338	1011
5	2680	2225244	1023
6	2680	2225244	1040
7	2684	2225244	1011
8	2612	2225338	1012
9	2622	2225340	1022
10	2690	2225338	1011

Šaltinis: sudaryta autoriaus

Apskaičiuojamos vidutinės išmatuoto pralaidumo charakteristikos esant neapkrautam kanalui:

Vidutinė išmatuoto pralaidumo reikšmė: **1020.8 Kbit/s**

Nuokrypis: **32 Kbit/s**

Procentinis nuokrypis: **3.13 %**

**Speedtest.net rezultatai matuojant apkrautą kanalą**

Bandymas	Persiūstas paketų skaičius	Persiūstas duomenų kiekis, baitais	Išmatuota pralaidumo reikšmė, kbit/s
1	2634	2225338	735
2	2655	2235300	602
3	2564	2225338	730
4	2620	2225438	820
5	2680	2225338	720
6	2680	2225338	820
7	2684	2225338	824
8	2612	2225332	730
9	2622	2225340	791
10	2690	2225380	811

Šaltinis: sudaryta autoriaus

Apskaičiuojamos vidutinės išmatuoto pralaidumo charakteristikos apkrautame kanale:

Vidutinė išmatuoto pralaidumo reikšmė: **758.3 Kbit/s**

Nuokrypis : **222 Kbit/s**

Procentinis nuokrypis: **29.28**

Galutiniai rezultatai apibendrinami 16 lentelėje.

**Speedtest.net rezultatų palyginimas**

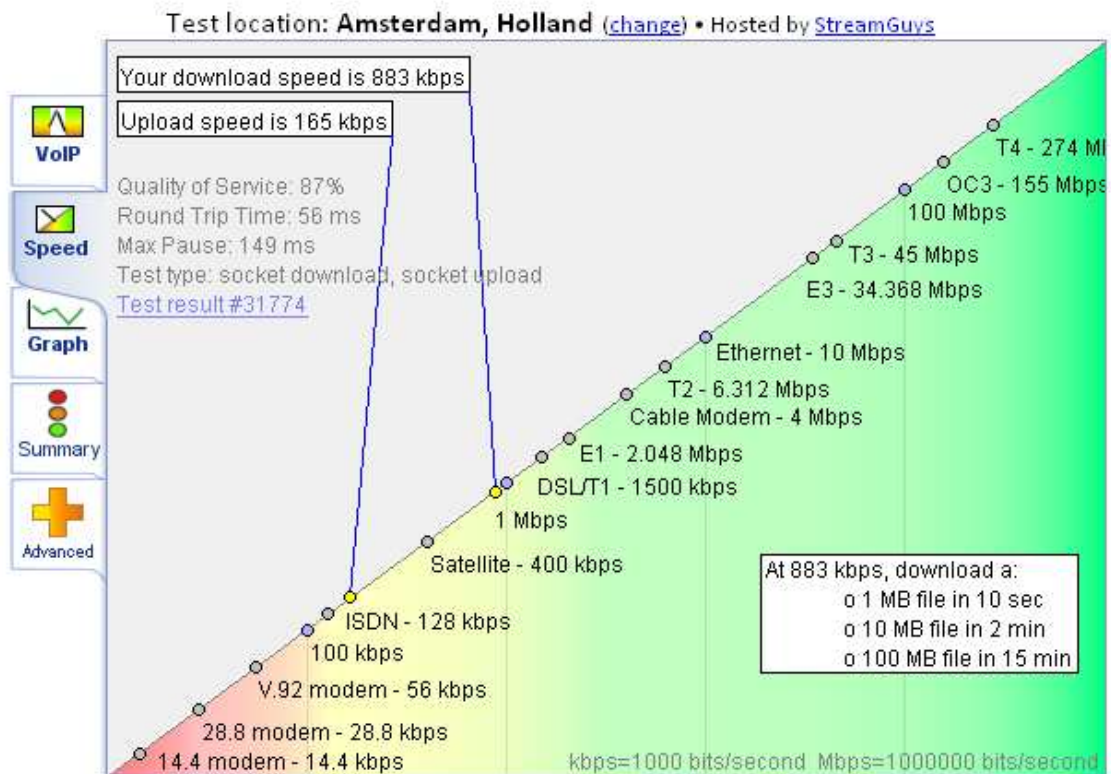
	Pralaidumo reikšmė, Mbit/s	Nuokrypis, %
<b>Be apkrovimo</b>	1020.80	3.13
<b>Su apkrovimu</b>	758.30	29.28

Šaltinis: sudaryta autoriaus

**3.3.4. Visualware.com online matuoklis**

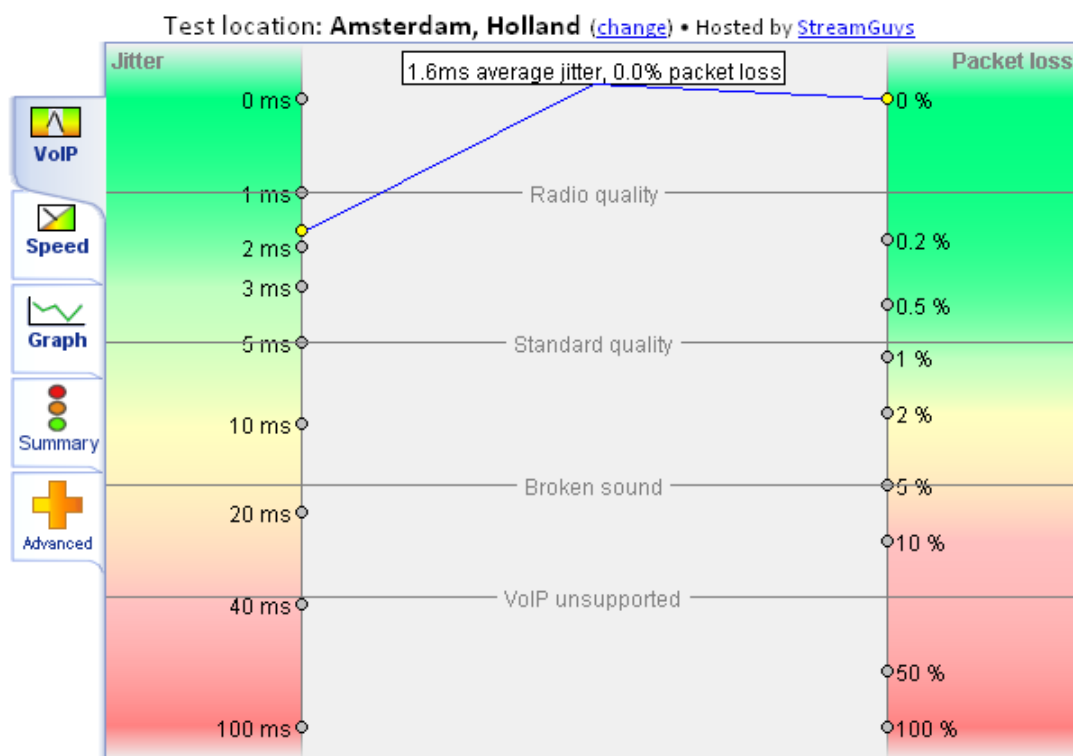
Visualware kompanijos sukurta pralaidumo matavimo sistema išskirtina tuo, jog teikia daug informacijos, ir ja gali pasinaudoti ne tik paprastas vartotojas, bet ir interneto telefonijos (VoIP) sistemas kuriantys specialistai. Matavimo rezultatuose be pralaidumo charakteristikų yra pateikiama sklaidos metrika, paketų praradimo kiekis. Rezultatai pateikiami grafikuose (14-15 pav.), sistema netgi leidžia išsaugoti duomenis Excel formatu tolesnei analizei.





Šaltinis: programos veikimo langas

**14 pav., Visualware.com matuoklis**



Šaltinis: programos veikimo langas

**15 pav., Visualware.com matuoklio rezultatai – sklaidos matavimas**

**Visualware.com matavimo rezultatai, esant neapkrautam kanalui**

Bandymas	Persiūstas paketų skaičius	Persiūstas duomenų kiekis, baitais	Išmatuota pralaidumo reikšmė, kbit/s
1	2634	2023432	1011
2	2655	2024233	1031
3	2564	2027351	1014
4	2620	2022345	1011
5	2680	2023436	1013
6	2680	2022435	1060
7	2684	2023453	1022
8	2612	2023488	1012
9	2622	2024353	992
10	2690	2023486	1021

Šaltinis: sudaryta autoriaus

Apskaičiuojamos vidutinės išmatuoto pralaidumo charakteristikos esant neapkrautam kanalui:

Vidutinė išmatuoto pralaidumo reikšmė: 1018.7 Kbit/s

Nuokrypis: 30 Kbit/s

Procentinis nuokrypis: 2.94 %

**Visualware.com matavimo rezultatai, esant apkrautam kanalui**

Bandymas	Persiūstas paketų skaičius	Persiūstas duomenų kiekis, baitais	Išmatuota pralaidumo reikšmė, kbit/s
1	2634	2235645	811
2	2655	2225567	642
3	2564	2235468	714
4	2620	2245621	733
5	2680	2235567	784
6	2680	2255546	816
7	2684	2234536	682
8	2612	2223425	785
9	2622	2245102	721
10	2690	2245340	764

Šaltinis: sudaryta autoriaus

Vidutinė išmatuoto pralaidumo reikšmė: 745.2 Kbit/s

Nuokrypis: **129 Kbit/s**

Procentinis nuokrypis: 17.31 %

Galutiniai rezultatai apibendrinami 19 lentelėje.

**Visualware.com rezultatų palyginimas**

	<b>Pralaidumo reikšmė, Kbit/s</b>	<b>Nuokrypis, %</b>
<b>Be apkrovimo</b>	1018.70	2.94
<b>Su apkrovimu</b>	745.20	17.31

Šaltinis: sudaryta autoriaus

**3.4. Eksperimentų apibendrinimas**

Eksperimentiškai patikrinus pasirinktus pralaidumo matavimo metodus buvo gauti rezultatai, leidžiantys įvertinti šių metodų veikimo patikimumą esant įvairiam apkrovimui. Bandant pasirinktus įrankius praktiškai taip pat pastebėti programiniai nesklaidumai, vienas iš įrankių – Pathload veikė nekorektiškai. Tai rodo jog kontrolinių paketų sekų generavimo įrankių veikimas gali būti jautrus operacinėms sistemoms, kas apsunkina praktinį panaudojimą.

20 lentelėje pateikiami apibendrinti matavimų rezultatai. Siekiant įvertinti pralaidumo išmatavimo tikslumą pasirinkta matavimų nuokrypio procentinė išraiška. Matavimų nuokrypis parodo maksimalų pralaidumo reikšmės pokytį dešimtyje atliktų matavimų.

20 lentelė

**Pralaidumo matavimo rezultatų palyginimas.**

<b>Metodas</b>	<b>Matavimo įrankis</b>	<b>Maksimalus matavimų nuokrypis, %</b>		<b>Maksimalus matavimų nuokrypis esant apkrovimui, %</b>	
		<b>TCP</b>	<b>UDP</b>	<b>TCP</b>	<b>UDP</b>
Kanalų apkrovimas (TCP, UDP)	Iperf				
		12.53	9.77	34.7	21.68
Paketų poros, paketų eilės	Pathrate	1.11		1.93	
SLoPS	Pathload	6.29		13.94	
Kanalų apkrovimas (TCP)	Speedtest.net	3.13		29.28	
Kanalų apkrovimas (TCP)	Visualware.com	2.94		17.31	

Šaltinis: sudaryta autoriaus

Iš 20 lentelės matome, jog kanalo apkrovimo metodas įgyvendintas Iperf įrankiu duoda didžiausią nuokrypį – apie 10% neapkrautame kanale bei 20-30% nuokrypį apkrautame kanale.

Panašius rezultatus parodė matavimai online metodu – jų nuokrypis apkrautame kanale svyravo tarp 17-29%. Įvertinant tai, jog šie matavimai buvo vykdomi TCP protokolu, kuris pasižymi automatiniu prisitaikymu prie šalutinių srautų, galima teigti, kad tiek Iperf, tiek online matuokliais buvo gana tiksliai išmatuotas eksperimentinio tinklo *esamas pralaidumas*. Programa (pavyzdžiui naršyklė), naudojanti TCP protokolą „jaustų“ šį pralaidumą ir jo svyravimus.

Pathrate įrankio rezultatai buvo mažai įtakojami kanalo apkrovimo. Apkrautame kanale matavimo reikšmės mažai skyrėsi nuo pralaidumo reikšmių neapkrautame kanale. Buvo matuojama pralaidumo geba, kuri yra pastovi ir nėra įtakojama šalutinių srautų. Todėl galima teigti jog įrankis Pathrate, besiremiantis paketų eilių bei paketų porų metodų kombinacija yra tinkamas efektyviai išmatuoti pralaidumo gebą, nepriklausomai nuo šalutinių srautų.

Pathload, pagrįstas SLoPS metodu, buvo vidutiniškai jautrus tinklo apkrovimui – jo rezultatų nuokrypis siekė 14% apkrautame tinkle. Matuojant Pathload metodu buvo eksperimentiškai nustatytas nedidelis tinklo apkrovimas – siekiantis ne daugiau 5% nuo išmatuotos pralaidumo reikšmės. Nepaisant pastebėtų programinių nesklandumų šis įrankis (bei SLoPS metodologija) rekomenduotinas kaip efektyvus būdas išmatuoti esamą pralaidumą neapkraunant tinklo.

### 3.5. Skyriaus apibendrinimas

Pagal gautus rezultatus galima daryti išvadas, jog patikimiausius duomenis matuojant esama tinklo pralaidumą aplikacijų lygmenyje duoda kanalo apkrovimas TCP bei UDP metodais (Iperf įrankis). Online matuokliai yra paprasti naudoti, tačiau dėl savo ribotumo (pralaidumas matuojamas aukštame lygmenyje, pasinaudojant HTTP protokolu) rekomenduojami naudoti tik pirminei pralaidumo analizei. Siekiant gauti patikimesnius rezultatus reikėtų naudoti kontrolinių paketų sekų generavimo metodus – kombinuojant šiuos metodus įgyvendinančius įrankius Pathrate bei Pathload galima nustatyti kanalo gebą bei egzistuojantį šalutinį srautą.

Apibendrinant teorinio ir eksperimentinio tyrimo rezultatus, pateikiamos šios rekomendacijos:

- **LAN** tinkluose matavimams atlikti tikslingiausia kontrolinių paketų sekų generavimo metodus (paketų dispersijos, paketų eilių, bei apsikraunančių periodinių paketų eilių). Rekomenduojama naudoti įrankius Pathload bei Pathrate. Pathrate pagalba galima efektyviai išmatuoti pralaidumo gebą neapkraunant tinklo nereikalinga informacija. Pathload leidžia įvertinti šalutinį srautą neapkraunant tinklo. Rekomenduojama kombinuoti šiuos įrankius – taip galima išmatuoti dvi tinklo charakteristikas: pralaidumo gebą bei esamą pralaidumą. Norint išmatuoti pralaidumą aplikacijų lygmenyje, galima naudoti tinklo apkrovimo

metodus(įrankis Iperf). Visi aukščiau minėti įrankiai taip pat leidžia įvertinti ir kitas svarbias metrikas – tokias kaip sklaidą, bei paketų vėlavimą bei praradimus.

- **Individualiam vartotojui**, besijungiančiam į internetą mažo pralaidumo priegomis, tokiomis kaip DSL, prieigos pralaidumo įvertinimui rekomenduojama naudoti online matuoklius. Jie efektyvūs, veikia su standartinėmis naršyklėmis ir nereikalauja instaliuoti papildomos programinės įrangos.
- **Bevielės prieigos** pasižymi dinamine struktūra, todėl jose neretai pasireiškia paketų praradimai bei paketų vėlavimas. Patikimiems rezultatams gauti reikalingi daugkartiniai matavimai su skirtingų charakteristikų paketų sekomis. Matuojant bevielės prieigas tampa svarbu įvertinti vėlinimo ir sklaidos metrikas, bei praradimo metrikas. Rekomenduojama naudoti tinklo apkrovimo metodais paremtus įrankius (Iperf), kurie įgalina įvertinti vėlinimo pokyčius apkraunant tinklą pasirinktais paketais.
- **Mobilioms priegoms** yra būdingas pralaidumo nepastovumas, ypač jei klientas juda. Plačiai naudojamuose GPRS, 3G tinkluose kliento prieigos taškui persijunginėjant iš vienos celės į kita gali pasireikšti didelis paketų vėlavimas ir jų praradimas. Rekomenduojama naudoti online matuoklį [visualware.com](http://visualware.com), kuris teikia daug naudingos informacijos apie ryšio kokybę (įvertina sklaidą, pasiekiamumą, vėlavimą bei paketų praradimus).

## IŠVADOS

1. Išstudijavus duomenų perdavimo kokybę apibūdinančiais charakteristikas, nustatyta, jog ryšio kokybę apsprendžia keletas metriku. Jų reikšmingumas priklauso nuo perduodamos informacijos tipo bei tinklo savybių.
2. Darbe išnagrinėti pralaidumo matavimo metodų teoriniai pagrindai, išanalizuoti jų algoritmai ir pateiktas skirtingų matavimo metodų palyginimas.
3. Praktiniam taikymui pasiūlyti aktyvūs matavimo metodai, kurie pagal mokslinės literatūros ir programinių realizacijų analizę įvertinti kaip labiausiai tinkami pralaidumo tarp dviejų taškų matavimui.
4. Rekomenduojami įrankiai Pathload, Pathrate, Iperf, bei online matuokliai įvertinus aktyvių matavimo metodų pagrindu sukurtų programinių realizacijų praktinio panaudojimo galimybes.
5. Įvertinus eksperimentais gautus matavimo rezultatus nustatyta, jog patikimiausius duomenis matuojant esamą tinklo pralaidumą aplikacijų lygmenyje duoda kanalo apkrovimo metodai (Iperf įrankis). Esant galimybėms rekomenduojama taikyti kontrolinių paketų sekų generavimo metodus – pasirinkimą pagrindžiant tuo jog šie metodai leidžia nustatyti kitais metodais sunkiai išmatuojamas pralaidumo charakteristikas, tokias kaip geba.
6. Skirtingoms tinklų grupėms pasiūlyti universaliausius, mažiausius diegimo kaštų reikalaujantys pralaidumo matavimo metodai, bei juos įgyvendinantys įrankiai.:
  - LAN tinkluose sudėtingiems matavimams atlikti pasiūlyti kontrolinių paketų sekų generavimo metodai. Rekomenduota kombinuoti įrankius Pathload bei Pathrate – taip galima išmatuoti dvi tinklo charakteristikas: pralaidumo gebą bei esamą pralaidumą. Matuojant pralaidumą aplikacijų lygmenyje, rekomenduojama naudoti tinklo apkrovimo metodus (įrankis Iperf). Šie aukščiau minėti įrankiai taip pat leidžia įvertinti ir kitas svarbias metrikas – tokias kaip sklaidą, bei paketų vėlavimą bei praradimus.
  - Individualiam vartotojui, mažo pralaidumo prieigomis (DSL), pralaidumo įvertinimui parekomenduota naudoti online matuoklius, grindžiant tuo jog veikia su standartinėmis naršyklėmis ir nereikalauja diegti papildomos programinės įrangos.
  - Bevielėms prieigoms rekomenduota naudoti daugkartinius matavimus su skirtingų charakteristikų paketų sekomis. Matuojant bevielės prieigas tampa svarbu įvertinti vėlinimo ir sklaidos metrikas, bei praradimo metrikas. Rekomenduojama naudoti tinklo apkrovimo įrankius (Iperf), kurie įgalina įvertinti vėlinimo pokyčius.
  - Mobiliosioms prieigoms rekomenduota naudoti online matuoklį [visualware.com](http://visualware.com), kuris teikia daug naudingos informacijos apie ryšio kokybę (įvertina sklaidą, pasiekiamumą, vėlavimą bei paketų praradimus).

## LITERATŪRA

1. SLAC. (2005) Internet Monitoring & Tools [interaktyvus]. Stanford: Stanford Linear Accelerator Center, [žiūrėta 2007-04-17]. Prieiga per Internetą: [http://chep.knu.ac.kr/HEPDG2005/upload/wed\\_s1/cottrell-measure.ppt](http://chep.knu.ac.kr/HEPDG2005/upload/wed_s1/cottrell-measure.ppt)
2. Dovrolis Constantinos, Ramanathan Parameswaran, Moore David. (2005) Packet dispersion techniques and capacity estimation methodology [interaktyvus]. Georgia Tech, University of Wisconsin, CAIDA, [žiūrėta 2007-04-20]. Prieiga per Internetą: [www.caida.org/outreach/papers/2004/ton\\_dispersion/](http://www.caida.org/outreach/papers/2004/ton_dispersion/)
3. Guojun Jin. (2002) Algorithms and Requirements for Measuring Network Bandwidth [pdf]. Kalifornijos universitetas, [žiūrėta 2007-04-20]. Prieiga per Internetą: <http://www.osti.gov/bridge/servlets/purl/813373-EqhJU3/native/813373.PDF>
4. ESTAN CRISTIAN, VARGHESE GEORGE. (2000) New Directions in Traffic Measurement and Accounting: Focusing on the Elephants, Ignoring the Mice [pdf]. University of California, San Diego, [žiūrėta 2007-05-13]. Prieiga per Internetą: <http://www.cs.wisc.edu/~estan/publications/elephantsandmice.pdf>
5. Mahdavi J., Paxson V. (1999) RFC 2678 - IPPM Metrics for Measuring Connectivity [interaktyvus]. Pittsburgh Supercomputing Center, Lawrence Berkeley National Laboratory, [žiūrėta 2007-04-20]. Prieiga per Internetą: <http://www.faqs.org/rfcs/rfc2678.html>
6. Busse, I.; Deffner, B.; ir Schulzrinne, H. (1995) Dynamic QoS Control of Multimedia Applications based on RTP [pdf]. First International Workshop on High Speed Networks and Open Distributed Platforms, St. Petersburg, Russia, [žiūrėta 2007-03-17].
7. Almes G., Kalidindi S., Zekauskas M. (1999) RFC 2679 - A One-way Delay Metric for IPPM [interaktyvus]. Advanced Network & Services, [žiūrėta 2007-04-20]. Prieiga per Internetą: <http://www.faqs.org/rfcs/rfc2679.html>
8. Almes G., Kalidindi S., Zekauskas M. (1999) RFC 2681 - A Round-trip Delay Metric for IPPM [interaktyvus]. Advanced Network & Services, [žiūrėta 2007-04-20]. Prieiga per Internetą: <http://www.faqs.org/rfcs/rfc2681.html>
9. Almes G., Kalidindi S., Zekauskas M. (1999) RFC 2680 - A One-way Packet Loss Metric for IPPM [interaktyvus]. Advanced Network & Services, [žiūrėta 2007-04-20]. Prieiga per Internetą: <http://www.faqs.org/rfcs/rfc2680.html>
10. Guojun Jin Brian L. Tierney. (2003) System Capability Effects on Algorithms for Network Bandwidth Measurement [pdf]. Lawrence Berkeley National Laboratory, [žiūrėta 2007-05-08]. Prieiga per Internetą: <http://acs.lbl.gov/DIDC/papers/imc-2003.pdf>
11. Carey Williamson. (2001) Internet Traffic Measurement [pdf]. Department of Computer Science, University of Calgary, [žiūrėta 2008-02-19]. Prieiga per Internetą: <http://pages.cpsc.ucalgary.ca/~carey/papers/2001/measurements.pdf>
12. Pezaros P. Dimitrios. (2005) Network Traffic Measurement for the Next Generation Internet [pdf]. Lancaster University, England, [žiūrėta 2008-02-19]. Prieiga per Internetą: <http://www.comp.lancs.ac.uk/~dp/thesis/dp-thesis-crc-double.pdf>
13. Xin, Lu. (2004) High-Performance Computing Group [interaktyvus]. Computer Science University of Windsor, [žiūrėta 2008-02-19]. Prieiga per Internetą: <http://web2.uwindsor.ca/courses/cs/aggarwal/HPGCCGroup/Docs/bmetrics.ppt>
14. Prasad R. S., Murray M., Dovrolis C., Claffy K. (2003) Bandwidth estimation: metrics, measurement techniques, and tools [pdf]. CAIDA, [žiūrėta 2008-03-20]. Prieiga per Internetą: <http://www.caida.org/publications/papers/2003/bwestmetrics/bwestmetrics.pdf>
15. Goutelle Mathieu, Primet Pascale. (2003) Study of a non intrusive and accurate method for measuring the end-to-end useful bandwidth [pdf]. École Normale Supérieure de Lyon, [žiūrėta 2008-03-20]. Prieiga per Internetą: <http://lara.inist.fr/dspace/bitstream/2332/862/1/RR2003-48.pdf>

16. Cao Le Thanh Man, Go Hasegawa, Masayuki Murata. (2005) An Inline Measurement Method for Capacity of End-to-end Network Path [pdf]. Osaka University, [žiūrėta 2008-03-25]. Prieiga per Internetą: <http://www.nal.ics.es.osaka-u.ac.jp/imtcp/paper/Cao-E2EMON2005.pdf>
17. Dovrolis Constantinos. (2004) Bandwidth Estimation: Measurement Methodologies and Applications [pdf]. CAIDA, [žiūrėta 2008-03-25]. Prieiga per Internetą: [http://www.caida.org/projects/bwest/reports/bwest\\_final04.pdf](http://www.caida.org/projects/bwest/reports/bwest_final04.pdf)
18. Dovrolis Constantinos. Pathrate tutorial [interaktyvus]. Georgia Tech College of Computing, [žiūrėta 2008-05-02]. Prieiga per Internetą: [http://www.cc.gatech.edu/fac/Constantinos.Dovrolis/pathrate\\_tutorial.html](http://www.cc.gatech.edu/fac/Constantinos.Dovrolis/pathrate_tutorial.html)
19. Dovrolis Constantinos. Pathload tutorial [interaktyvus]. Georgia Tech College of Computing, [žiūrėta 2008-05-02]. Prieiga per Internetą: [http://www.cc.gatech.edu/fac/Constantinos.Dovrolis/pathload\\_tutorial.html](http://www.cc.gatech.edu/fac/Constantinos.Dovrolis/pathload_tutorial.html)
20. Mark Allman. (2001) Measuring End-to-End Bulk Transfer Capacity [pdf]. NASA Glenn Research Center, [žiūrėta 2008-05-04]. Prieiga per Internetą: <http://www.imconf.net/imw-2001/imw2001-papers/14.pdf>
21. Konstantinos A. Gotsis, Sotirios K. Goudos, John N. Sahalos. (2005) A Test Lab for the Performance Analysis of TCP Over Ethernet LAN on Windows Operating System [pdf]. [žiūrėta 2008-05-05]. Prieiga per Internetą: <http://ieeexplore.ieee.org/Xplore/login.jsp?url=/iel5/13/30826/01427883.pdf>
22. Mascolo S. End-to-End Bandwidth Estimation in TCP to Improve Wireless Link Utilization [pdf]. Dipartimento di Elettrotecnica ed Elettronica, Politecnico di Bari, Italy, [žiūrėta 2008-05-10]. Prieiga per Internetą: [http://www.cs.ucla.edu/NRL/hpi/tcpw/tcpw\\_papers/EWC02.pdf](http://www.cs.ucla.edu/NRL/hpi/tcpw/tcpw_papers/EWC02.pdf)
23. Brian L. Tierney. (2000) TCP Tuning Guide for Distributed Application on Wide Area Networks [pdf]. Lawrence Berkeley National Laboratory, [žiūrėta 2008-05-10]. Prieiga per Internetą: <http://acs.lbl.gov/TCP-tuning/tcp-wan-perf.pdf>
24. Allen B. Downey. (1999) Using pathchar to estimate Internet link characteristics [pdf]. Colby College, Maine, [žiūrėta 2008-05-18]. Prieiga per Internetą: <http://www.sigcomm.org/sigcomm99/papers/session7-1.pdf>
25. Ashton, Metzler & Associates. (2002) The Three Components of Optimizing WAN Bandwidth [pdf]. Ashton, Metzler & Associates, [žiūrėta 2008-05-18]. Prieiga per Internetą: [http://www.ashtonmetzler.com/BW\\_Optimization.pdf](http://www.ashtonmetzler.com/BW_Optimization.pdf)
26. Ubik Sven, Kral Antonin. (2003) End-to-end Bandwidth Estimation Tools [pdf]. CESNET, [žiūrėta 2008-05-21]. Prieiga per Internetą: <http://www.cesnet.cz/doc/techzpravy/2003/bwest/bwEstTR.pdf>
27. Przybylski Michal, Trocha Szymon. (2001) Network measurement tools tests [pdf]. Poznan Supercomputing and Networking Center, [žiūrėta 2008-05-21]. Prieiga per Internetą: [http://qos.man.poznan.pl/files/measurement\\_full.pdf](http://qos.man.poznan.pl/files/measurement_full.pdf)
28. Tirumala Ajay, Qin Feng, Dugan Jon, Ferguson Jim, Gibbs Kevin. (2003) Iperf – testing the limits of your network [interaktyvus]. Distributed Applications Support Team, [žiūrėta 2008-05-21]. Prieiga per Internetą: <http://dast.nlanr.net/Projects/Iperf/>
29. Šarkiūnaitė Ingrida, Krikščiūnienė Dalia, Simutis Rimvydas. (2007) Magistro baigiamojo darbo rengimo tvarka. Metodiniai nurodymai [pdf]. Vilniaus universitetas, Kauno humanitarinis fakultetas, Informatikos katedra, [žiūrėta 2007-05-15].



## **PRIEDAI**

1 PRIEDAS.....	58
2 PRIEDAS.....	60
3 PRIEDAS.....	61
4 PRIEDAS.....	62
5 PRIEDAS.....	63

# 1 PRIEDAS

## Pathrate

```
lbs.ktu.lt - PuTTY
Erase is backspace.
%./pathrate_snd

Waiting for receiver to establish control stream => OK
Receiver client-87-247-81-66.inturbo.lt starts measurements on Sun Apr 27 05:20:31 2008
8
Measurements are in progress. Please wait..
Receiver terminates measurements on Sun Apr 27 05:21:20 2008
% █
```

```
10.0.2.100 - PuTTY
root@JuodojiSkyle:/usr/local/src/traffic/pathrate_2.4.1#
root@JuodojiSkyle:/usr/local/src/traffic/pathrate_2.4.1# ./pathrate_rcv -v -s lbs.ktu.
lt
    pathrate run from lbs.ktu.lt to JuodojiSkyle on Sun Apr 27 05:59:15 2008
--> Average round-trip time: 1.3ms

--> Minimum acceptable packet pair dispersion: 9 usec
    Train length: 2 ->      9.8 Mbps
    Train length: 3 ->      9.8 Mbps
    Train length: 4 ->      9.7 Mbps
    Train length: 5 ->      9.7 Mbps
    Train length: 6 ->      9.6 Mbps
    Train length: 8 ->      9.8 Mbps
    Train length: 10 ->     9.7 Mbps
    Train length: 12 ->     9.8 Mbps
    Train length: 16 ->     9.7 Mbps
    Train length: 20 ->     9.7 Mbps
    Train length: 24 ->     9.7 Mbps
    Train length: 28 ->     9.7 Mbps
    Train length: 32 ->     9.8 Mbps
    Train length: 36 ->     9.7 Mbps
    Train length: 40 ->     9.8 Mbps
    Train length: 44 ->     9.7 Mbps
    Train length: 48 ->     9.3 Mbps
--> Maximum train length: 48 packets

--Preliminary measurements with increasing packet train lengths--
    Train length: 2 -> 9.8 Mbps 9.8 Mbps 9.8 Mbps 9.8 Mbps 9.9 Mbps 9.8 Mbps 9.8
Mbps
```

```

10.0.2.100 - PuTTY
root@JuodojiSkyle:/usr/local/src/traffic/pathrate_2.4.1#
root@JuodojiSkyle:/usr/local/src/traffic/pathrate_2.4.1# ./pathrate_rcv -v -s lbs.ktu.
lt
    pathrate run from lbs.ktu.lt to JuodojiSkyle on Sun Apr 27 05:59:15 2008
    --> Average round-trip time: 1.3ms

--> Minimum acceptable packet pair dispersion: 9 usec
    Train length: 2 ->      9.8 Mbps
    Train length: 3 ->      9.8 Mbps
    Train length: 4 ->      9.7 Mbps
    Train length: 5 ->      9.7 Mbps
    Train length: 6 ->      9.6 Mbps
    Train length: 8 ->      9.8 Mbps
    Train length: 10 ->     9.7 Mbps
    Train length: 12 ->     9.8 Mbps
    Train length: 16 ->     9.7 Mbps
    Train length: 20 ->     9.7 Mbps
    Train length: 24 ->     9.7 Mbps
    Train length: 28 ->     9.7 Mbps
    Train length: 32 ->     9.8 Mbps
    Train length: 36 ->     9.7 Mbps
    Train length: 40 ->     9.8 Mbps
    Train length: 44 ->     9.7 Mbps
    Train length: 48 ->     9.3 Mbps
    --> Maximum train length: 48 packets

--Preliminary measurements with increasing packet train lengths--
    Train length: 2 ->  9.8 Mbps  9.8 Mbps  9.8 Mbps  9.8 Mbps  9.9 Mbps  9.8 Mbps  9.8
Mbps

```

```

10.0.2.100 - PuTTY

--Preliminary measurements with increasing packet train lengths--
    Train length: 2 ->  9.8 Mbps  9.8 Mbps  9.8 Mbps  9.8 Mbps  9.9 Mbps  9.8 Mbps  9.8
Mbps
    Train length: 3 ->  9.6 Mbps  9.8 Mbps  10.0 Mbps  9.8 Mbps  9.7 Mbps  9.8 Mbps  9.8
Mbps
    Train length: 4 ->  9.8 Mbps  9.8 Mbps  9.7 Mbps  9.7 Mbps  9.7 Mbps  9.7 Mbps  9.8
Mbps
    Train length: 5 ->  9.8 Mbps  9.8 Mbps  9.8 Mbps  9.7 Mbps  9.3 Mbps  9.8 Mbps  9.5
Mbps
    Train length: 6 ->  9.8 Mbps  9.8 Mbps  9.8 Mbps  9.6 Mbps  9.8 Mbps  9.6 Mbps  9.8
Mbps
    Train length: 7 ->  9.8 Mbps  9.8 Mbps  9.6 Mbps  9.8 Mbps  9.7 Mbps  9.7 Mbps  9.7
Mbps
    Train length: 8 ->  9.8 Mbps  9.8 Mbps  9.7 Mbps  9.8 Mbps  9.8 Mbps  9.7 Mbps  9.7
Mbps
    Train length: 9 ->  9.8 Mbps  9.1 Mbps  9.5 Mbps  9.8 Mbps  9.8 Mbps  9.8 Mbps  9.8
Mbps
    Train length: 10 -> 8.5 Mbps  9.8 Mbps  9.8 Mbps  9.6 Mbps  9.6 Mbps  9.8 Mbps  9.7
Mbps

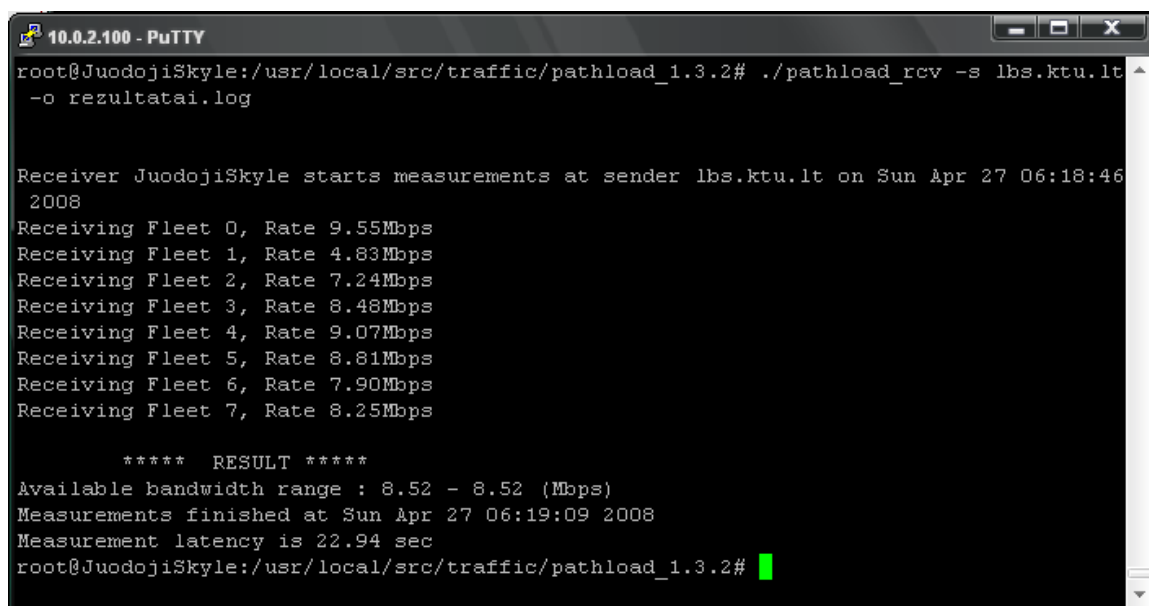
    --> Capacity Resolution:  51 kbps
'Quick Termination' - Sufficiently low measurement noise

--> Coefficient of variation: 0.006
-----
Final capacity estimate :  9.7 Mbps to  9.8 Mbps
-----
root@JuodojiSkyle:/usr/local/src/traffic/pathrate_2.4.1# █

```

## 2 PRIEDAS

### Matavimas su Pathload įrankiu (neapkrautame tinklo kanale)



```
10.0.2.100 - PuTTY
root@JuodojiSkyle:/usr/local/src/traffic/pathload_1.3.2# ./pathload_rcv -s lbs.ktu.lt
-o rezultatai.log

Receiver JuodojiSkyle starts measurements at sender lbs.ktu.lt on Sun Apr 27 06:18:46
2008
Receiving Fleet 0, Rate 9.55Mbps
Receiving Fleet 1, Rate 4.83Mbps
Receiving Fleet 2, Rate 7.24Mbps
Receiving Fleet 3, Rate 8.48Mbps
Receiving Fleet 4, Rate 9.07Mbps
Receiving Fleet 5, Rate 8.81Mbps
Receiving Fleet 6, Rate 7.90Mbps
Receiving Fleet 7, Rate 8.25Mbps

***** RESULT *****
Available bandwidth range : 8.52 - 8.52 (Mbps)
Measurements finished at Sun Apr 27 06:19:09 2008
Measurement latency is 22.94 sec
root@JuodojiSkyle:/usr/local/src/traffic/pathload_1.3.2#
```

### 3 PRIEDAS

#### Matavimas su Pathload įrankiu (esant apkrovimui)



```
10.0.2.100 - PuTTY
root@JuodojiSkyle:/usr/local/src/traffic/pathload_1.3.2# ./pathload_rcv -s lbs.ktu.lt -o
rezultatai_esant_apkrovimui.log

Receiver JuodojiSkyle starts measurements at sender lbs.ktu.lt on Sun Apr 27 06:33:44 200
8
Receiving Fleet 0, Rate 9.21Mbps
Receiving Fleet 1, Rate 3.09Mbps
Receiving Fleet 2, Rate 4.64Mbps
Receiving Fleet 3, Rate 5.43Mbps
Receiving Fleet 4, Rate 5.81Mbps
Receiving Fleet 5, Rate 6.02Mbps

***** RESULT *****
Available bandwidth range : 6.06 - 6.18 (Mbps)
Measurements finished at Sun Apr 27 06:34:10 2008
Measurement latency is 26.10 sec
root@JuodojiSkyle:/usr/local/src/traffic/pathload_1.3.2#
```

## 4 PRIEDAS

### Iperf veikimas TCP režimu

```
lbs.ktu.lt - PuTTY
% ./iperf -s
-----
Server listening on TCP port 5001
TCP window size: 64.0 KByte (default)
-----
[ 4] local 193.219.160.145 port 5001 connected with 87.247.81.66 port 3656
[ ID] Interval      Transfer    Bandwidth
[ 4] 0.0-20.1 sec  6.53 MBytes 2.73 Mbits/sec
[ 5] local 193.219.160.145 port 5001 connected with 87.247.81.66 port 3690
[ ID] Interval      Transfer    Bandwidth
[ 5] 0.0-20.1 sec  6.39 MBytes 2.66 Mbits/sec
[ 4] local 193.219.160.145 port 5001 connected with 87.247.81.66 port 3691
[ ID] Interval      Transfer    Bandwidth
[ 4] 0.0-20.1 sec  6.52 MBytes 2.72 Mbits/sec
^C%
%
```

```
10.0.2.100 - PuTTY
root@JuodojiSkyle:/usr/local/src/traffic/iperf-2.0.4/src# ./iperf -c lbs.ktu.lt
-i2 -t 20
-----
Client connecting to lbs.ktu.lt, TCP port 5001
TCP window size: 16.0 KByte (default)
-----
[ 5] local 87.247.81.66 port 3691 connected with 193.219.160.145 port 5001
[ ID] Interval      Transfer    Bandwidth
[ 5] 0.0- 2.0 sec   712 KBytes 2.92 Mbits/sec
[ ID] Interval      Transfer    Bandwidth
[ 5] 2.0- 4.0 sec   648 KBytes 2.65 Mbits/sec
[ ID] Interval      Transfer    Bandwidth
[ 5] 4.0- 6.0 sec   648 KBytes 2.65 Mbits/sec
[ ID] Interval      Transfer    Bandwidth
[ 5] 6.0- 8.0 sec   680 KBytes 2.79 Mbits/sec
[ ID] Interval      Transfer    Bandwidth
[ 5] 8.0-10.0 sec   696 KBytes 2.85 Mbits/sec
[ ID] Interval      Transfer    Bandwidth
[ 5] 10.0-12.0 sec  648 KBytes 2.65 Mbits/sec
[ ID] Interval      Transfer    Bandwidth
[ 5] 12.0-14.0 sec  640 KBytes 2.62 Mbits/sec
[ ID] Interval      Transfer    Bandwidth
[ 5] 14.0-16.0 sec  712 KBytes 2.92 Mbits/sec
[ ID] Interval      Transfer    Bandwidth
[ 5] 16.0-18.0 sec  648 KBytes 2.65 Mbits/sec
[ ID] Interval      Transfer    Bandwidth
[ 5] 18.0-20.0 sec  648 KBytes 2.65 Mbits/sec
[ ID] Interval      Transfer    Bandwidth
[ 5] 0.0-20.0 sec  6.52 MBytes 2.74 Mbits/sec
root@JuodojiSkyle:/usr/local/src/traffic/iperf-2.0.4/src#
```

## 5 PRIEDAS

### Iperf veikimas UDP režimu

```
lbs.ktu.lt - PuTTY
Erase is backspace.
% ./iperf -s -u
-----
Server listening on UDP port 5001
Receiving 1470 byte datagrams
UDP buffer size: 41.1 KByte (default)
-----
[ 3] local 193.219.160.145 port 5001 connected with 87.247.81.66 port 1034
[ ID] Interval      Transfer      Bandwidth      Jitter    Lost/Total Datagrams
[ 3] 0.0-17.7 sec  8.14 MBytes   3.86 Mbits/sec  9.062 ms  60/ 5808 (1%)
[ 3] 0.0-17.7 sec  61 datagrams received out-of-order
^C%
%
```

```
10.0.2.100 - PuTTY
Report bugs to <iperf-users@lists.sourceforge.net>
root@JuodojiSkyle:/usr/local/src/traffic/iperf-2.0.4/src# ./iperf -c lbs.ktu.lt
-i2 -t 10 -u -b 11M -n 1M
-----
Client connecting to lbs.ktu.lt, UDP port 5001
Sending 1470 byte datagrams
UDP buffer size: 103 KByte (default)
-----
[ 5] local 87.247.81.66 port 1034 connected with 193.219.160.145 port 5001
[ ID] Interval      Transfer      Bandwidth
[ 5] 0.0- 2.0 sec   950 KBytes    3.89 Mbits/sec
[ ID] Interval      Transfer      Bandwidth
[ 5] 2.0- 4.0 sec   953 KBytes    3.90 Mbits/sec
[ ID] Interval      Transfer      Bandwidth
[ 5] 4.0- 6.0 sec   970 KBytes    3.97 Mbits/sec
[ ID] Interval      Transfer      Bandwidth
[ 5] 6.0- 8.0 sec   962 KBytes    3.94 Mbits/sec
[ ID] Interval      Transfer      Bandwidth
[ 5] 8.0-10.0 sec   947 KBytes    3.88 Mbits/sec
[ ID] Interval      Transfer      Bandwidth
[ 5] 10.0-12.0 sec  947 KBytes    3.88 Mbits/sec
[ ID] Interval      Transfer      Bandwidth
[ 5] 12.0-14.0 sec  953 KBytes    3.90 Mbits/sec
[ ID] Interval      Transfer      Bandwidth
[ 5] 14.0-16.0 sec  947 KBytes    3.88 Mbits/sec
[ ID] Interval      Transfer      Bandwidth
[ 5] 0.0-17.6 sec  8.14 MBytes   3.89 Mbits/sec
[ 5] Sent 5809 datagrams
[ 5] Server Report:
[ ID] Interval      Transfer      Bandwidth      Jitter    Lost/Total Datagrams
[ 5] 0.0-17.7 sec  8.14 MBytes   3.86 Mbits/sec  9.061 ms  60/ 5808 (1%)
[ 5] 0.0-17.7 sec  61 datagrams received out-of-order
root@JuodojiSkyle:/usr/local/src/traffic/iperf-2.0.4/src#
```