

KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS
INFORMATIKOS FAKULTETAS
PROGRAMŲ INŽINERIJOS KATEDRA

Vaidotas Januška

**Mobili duomenų perdavimo kokybės
analizės sistema**

Magistro darbas

Darbo vadovas

dr. R. Kavaliūnas

Kaunas, 2006

KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS
INFORMATIKOS FAKULTETAS
PROGRAMŲ INŽINERIJOS KATEDRA

Vaidotas Januška

**Mobili duomenų perdavimo kokybės
analizės sistema**

Magistro darbas

Kalbos konsultantė

Lietuvių k. katedros lekt.
dr. J. Mikelionienė

2006-05

Vadovas

dr. R. Kavaliūnas

2006-05

Recenzentas

doc. V. Rėklaitis

2006-05

Atliko

IFM-0/2 gr. stud.
Vaidotas Januška

2006-05-29

Kaunas, 2006

SUMMARY

QoS monitoring system.

Every day data communication networks carry more and more information, which sometimes is very important and needs to be delivered in time. To achieve that, data transfer networks must meet quality requirements that are formed in SLA contracts between clients and service providers.

Supplied data transfer link's quality is described by worldwide defined quality metrics, which include: one way delay, IP delay variation, link loss and round trip time. In order to measure these metrics, special software was created during projects "QoS monitoring system" first phase. This paper continues the project and explores available tuning methods for created software including time synchronization and mobility problems in order to provide better accuracy with higher mobility. New system topology and time offset correction using measurement packets were proposed during the analysis part. Possible system improvements were put to test in order to evaluate the efficiency during the experiment.

Turinys

Lentelių sąrašas	5
Paveikslėlių sąrašas	6
1. Įvadas	7
2. Analitinė dalis	8
2.1 Vienetinės kokybės metrikos	8
2.1.1 Pasiekiamumas ir patikimumas	8
2.1.2 Vienos krypties vėlinimas	9
2.1.3 Pilnas paketų kelionės laikas	10
2.1.4 Vėlinimo sklaida	11
2.1.5 Paketų nuostolio dydis	12
2.2 Egzistuojantys sprendimai	12
2.3 Įgyvendinimo problemos	14
2.3.1 Protokolo problemos	14
2.3.2 Tikslaus laiko funkcijos problemos	14
2.4 Išvados	15
3. Projektinė dalis	16
3.1 Sistemos paskirtis	16
3.2 Esminiai reikalavimai	16
3.2.1 Apribojimai sprendimui	16
3.2.2 Svarbūs faktai ir prielaidos	17
3.3 Architektūra	17
3.3.1 Sistemos panaudojimo atvejai	17
3.3.2 Sistemos statinis vaizdas	18
3.3.3 Išdėstymo vaizdas	19
3.3.4 Duomenų bazės vaizdas	20
4. Tyrimo dalis	21
4.1 Sisteminių įrenginių laiko sinchronizacija	21
4.1.1 Programos „ntpd“ ypatybės	22
4.1.2 „Linux“ operacinės sistemos ypatybės	22
4.1.3 Tyrimo išvados	23
4.2 Sistemos mobilumo problema	23
4.2.1 Sistemos topologijos keitimas	24
4.2.2 Laiko korekcija matavimo paketuose	25
4.2.3 Tyrimo išvados	26
5. Eksperimentinė dalis	27
5.1 Sisteminių įrenginių laiko sinchronizacijos eksperimentas	27
5.1.1 Eksperimento priemonės	27
5.1.2 Eksperimento eiga	27
5.1.3 Vertinimo kriterijus	27
5.1.4 Eksperimento rezultatai	28
5.2 Laiko korekcijos metodo eksperimentas	29
5.2.1 Eksperimento priemonės	29
5.2.2 Eksperimento eiga	29
5.2.3 Vertinimo kriterijus	30
5.2.4 Eksperimento rezultatai	30
6. Išvados	33
7. Literatūra	34
8. Terminų ir santrumpų žodynas	36
9. Priedai	37
1 PRIEDAS. Sisteminių įrenginių laiko sinchronizacijos eksperimento papildoma informacija	38
2 PRIEDAS. Laiko korekcijos metodo eksperimento papildoma informacija	41

Lentelių sąrašas

<i>1 lentelė. Matuojamų parametrų sąrašai</i>	13
<i>2 lentelė. Parametrų pateikimo bei specifinių duomenų palyginimas</i>	13

Paveikslėlių sąrašas

<i>1 pav. Paketo vėlinimas tarp dviejų įrenginių.....</i>	<i>9</i>
<i>2 pav. Paketo pilnas kelionės laikas tarp dviejų įrenginių</i>	<i>10</i>
<i>3 pav. Paketų vėlinimo sklaida tarp dviejų įrenginių.....</i>	<i>11</i>
<i>4 pav. Sistemos panaudojimo atvejai</i>	<i>17</i>
<i>5 pav. Sistemos komponentai</i>	<i>18</i>
<i>6 pav. Vartotojo “Inžinierius” veiksmų diagrama.....</i>	<i>19</i>
<i>7 pav. Sistemos išdėstymo vaizdas</i>	<i>20</i>
<i>8 pav. Duomenų bazės vaizdas.....</i>	<i>20</i>
<i>9 pav. GPS ir kompiuterio sąveika.....</i>	<i>21</i>
<i>10 pav. Matavimo procesas tarp įrenginių</i>	<i>23</i>
<i>11 pav. Vieno GPS įrenginio topologija</i>	<i>24</i>
<i>12 pav. Laiko korekcijos metodo schema.....</i>	<i>25</i>
<i>13 pav. Pradiniai laiko poslinkio eksperimento rezultatai</i>	<i>28</i>
<i>14 pav. Galutiniai laiko poslinkio eksperimento rezultatai</i>	<i>28</i>
<i>15 pav. Programos generuojamų UDP paketų struktūra</i>	<i>30</i>
<i>16 pav. Vienos krypties vėlinimas tarp centrinio ir vietinio įrenginių (100 baitų paketai)</i>	<i>31</i>
<i>17 pav. Vienos krypties vėlinimas tarp nutolusio ir centrinio įrenginių (100 baitų paketai)</i>	<i>31</i>
<i>18 pav. Vienos krypties vėlinimas tarp centrinio ir vietinio įrenginių (500 baitų paketai)</i>	<i>31</i>
<i>19 pav. Vienos krypties vėlinimas tarp nutolusio ir centrinio įrenginių (500 baitų paketai)</i>	<i>32</i>

1. Įvadas

Šiuolaikiniai duomenų perdavimo tinklai transportuoja vis didesnius ir įvairesnius informacijos srautus, kurie reikalauja atitinkamų kokybės parametrų. Sukurta mobili duomenų perdavimo kokybės analizės sistema įgalina atlikti naujų bei eksploatuojamų duomenų perdavimo kanalų kokybės įvertinimą. Remiantis egzistuojančių sprendimų patirtimi ir rekomendacijomis, kokybės analizei atlikti pasirinktos šios pagrindines duomenų perdavimo kanalo kokybės metrikos:

- vienos krypties vėlinimas,
- pilnas paketų kelionės laikas,
- vėlinimo sklaida,
- paketų nuostolio dydis.

Pasaulyje kuriant analogiškas sistemas, taip pat ir šio projekto metu, pagrindinis nagrinėtas klausimas yra tokių sistemų rezultatų tikslumas bei būdai tai užtikrinti. Dauguma sistemos matuojamų parametrų yra laiko vienetai, tad tikslumui užtikrinti reikalinga patikima laiko sinchronizacija visuose sistemos įrenginiuose. Remiantis egzistuojančių sprendimų praktika, geriausiai tam tinka GPS sistemos komponentai. Tokio sprendimo naudojimas kiekviename sistemos įrenginyje mažina sistemos mobilumą, kadangi korektiškam GPS sistemos veikimui reikalingos specifinės aplinkos sąlygos. Siekiant padidinti mobilumą ir išsaugoti GPS sistemos teikiamą tikslumą, tyrimo metu buvo pasiūlytas ir eksperimento metu realizuotas skirtingų sistemos įrenginių laiko poslinkio korekcijos metodas. Sistemos komponentų valdymas atliekamas centralizuotai, tai palengvina sistemos valdymą. Rezultatų grafinis pateikimas leidžia aiškiau ir greičiau įsisavinti analizuojamo duomenų perdavimo kanalo kokybės rezultatus. Naudojant sistemą galima atlikti tiek vienkartinį trumpalaikį duomenų perdavimo kanalo įvertį, tiek pastoviai jį stebėti. Kokybės stebėjimo efektyvumui pagerinti sistemoje realizuota automatinė kokybės sutrikimų pranešimų sistema. Kokybės sutrikimas fiksuojamas tada kai viena iš stebimų kokybės metrikų viršija vartotojo nustatytas ribas. Sutrikimo atveju, asmuo, atsakingas už duomenų perdavimo kanalo funkcionavimą, yra informuojamas elektroniniu laišku.

Sistemos panaudojimas esamoje duomenų perdavimo kanalų infrastruktūroje leidžia ne tik stebėti, bet ir prognozuoti būsimas silpnąsias kanalo vietas. Maži periodiniai metrikų matavimams skirti duomenų srautai beveik nedaro įtakos esamų duomenų srautų kokybei, todėl sistemos įdiegimas jau esančioje infrastruktūroje nesukels jokių neigiamų pasekmių.

2. Analitinė dalis

Duomenų perdavimas kompiuteriniais tinklais šiais laikais yra nepakeičiama komunikavimo bei darbo priemonė. 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 kokybę – tuo tikslu buvo suburta IETF IPPM darbo grupė [1]. Tarptautinės organizacijos IETF [2] darbo grupė IPPM [1] unifiko ir pateikė pagrindines duomenų perdavimo kanalų kokybės metrikas:

- pasiekiamumas ir patikimumas [Connectivity Reachability]
- vienos krypties vėlinimas [OneWayDelay]
- pilnas paketų kelionės laikas [RoundTripTime]
- vėlinimo sklaida [Jitter]
- paketų nuostolio dydis [Loss]

Šios metrikos ir jų skaičiavimo būdai aprašomi RFC [3] dokumentuose RFC-2330 [4], RFC-2678[5], RFC-2679[6], RFC-2680[7], RFC-2681[8], RFC-3393[9].

2.1 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 atsirinkti aktualias vienetines metrikas ir atlikti jų matavimą. Turint metrikų skaitines reikšmes, galime nustatyti ir duomenų perdavimo kanalo kokybę.

2.1.1 Pasiekiamumas ir patikimumas

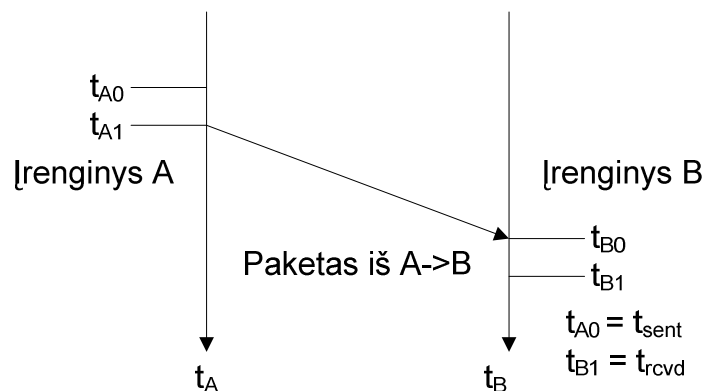
Tai trivialiausios ir paprasčiausios metrikos. Pasiekiamumas tarp dviejų sistemų reiškia, jog yra galimybė tarp jų atlikti duomenų perdavimą. Patikimumas dažniausiai yra grindžiamas pasiekiamumo metrikos rezultatais, matavimo metodologija aprašoma RFC 2678 [5] dokumente.

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 procentinę dviejų sistemų tarpusavio pasiekiamumą naudojant tam tikrą duomenų perdavimo kanalą.

2.1.2 Vienos krypties vėlinimas

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 [10].

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 iškyla matuojant šią metriką – laiko sinchronizacija klientiniuose įrenginiuose. Siekiant kuo tiksliau ją išmatuoti, reikia kad klientinių įrenginių laikrodžiai būtų labai tiksliai susinchronizuoti. Šią problemą nagrinėjo Mills[11] ir pateikė tinklinio laiko protokolą. Vienos krypties vėlinimo metrikos matavimo rekomendacijos pateikiamos RFC 2679 [6] dokumente.



1 pav. Paketo vėlinimas tarp dviejų įrenginių

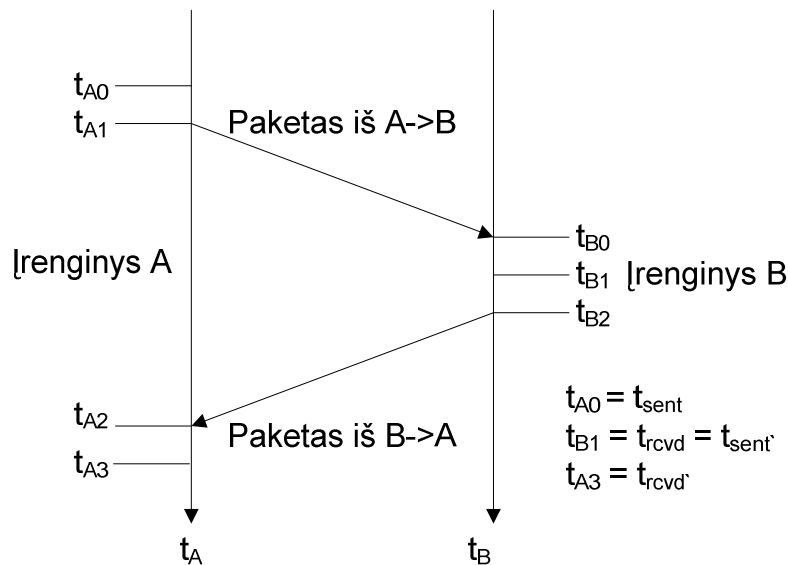
Pateiktoje paketų vėlinimo schemoje (1 pav.) matome, jog kiekvienas įrenginys turi nepriklausomas savo laiko tėkmės juostas. Laiko momentu $t_{A0} = t_{sent}$ programa iš įrenginio A išsiunčia paketą, skirtą įrenginiui B. Paketas patenka į fizinių duomenų perdavimo lygmenį laiko momentu t_{A1} , kadangi 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:

$$\Delta t_{OWD} = t_{B1} - t_{A0} = t_{rcvd} - t_{sent} \quad (1)$$

2.1.3 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 paketa-užklausa gražinimo. 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 [8] dokumente.



2 pav. Paketo pilnas kelionės laikas tarp dviejų įrenginių

Iš pateiktos schemos (2 pav.) matome, jog laiko momentu $t_{A0} = t_{sent}$ programa iš įrenginio A išsiunčia paketa-užklausa skirtą įrenginiui B. Paketas patenkant į fizinių duomenų perdavimo lygmenį laiko momentu t_{A1} , kadangi atsiranda šio toks vėlinimas dėl operacinės sistemos ir tinklo įrangos. Įrenginys B paketa priima laiko momentu t_{B0} tačiau užfiksuoja jį momentu t_{B1} (tai atsitinka dėl operacinės sistemos ir tinklo įrangos). Gavęs paketa-užklausa, įrenginys B laiko momentu t_{B1} išsiunčia paketa-atsakyma, kuri 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 :

$$\begin{aligned}
 \Delta t_{OWD} &= t_{A0} + t_{B1} \\
 \Delta t_{OWD'} &= t_{B1} + t_{A3} \\
 \Delta t_{RTT} &= \Delta t_{OWD'} + \Delta t_{OWD} = t_{rcvd} - t_{sent}
 \end{aligned}
 \tag{2}$$

Fiksuojant laiką paketa-užklausa išsiuntusioje ir paketa-atsakyma gavusioje sistemoje dingsta griežtos laiko sinchronizacijos būtinybė.

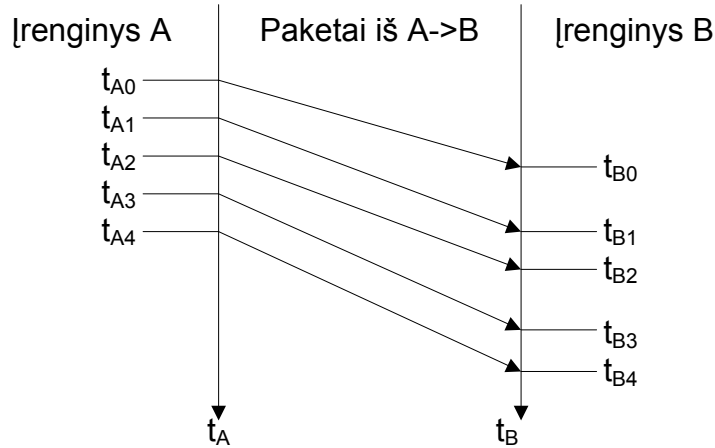
Paprasčiausia šios metrikos realizacija grindžiama ICMP protokolo [12] kontroliniais paketais. Galimos ir sudėtingesnės realizacijos, skirtos įvertinti ir aplikacijų vėlinimą [13].

2.1.4 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.



3 pav. Paketų vėlinimo sklaida tarp dviejų įrenginių

Schemoje (3 pav.) 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:

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

$$\Delta t_{IPDV} = \max_k \left(\left(\frac{\sum_{i=0}^n \Delta t_{OWDi}}{n+1} - \Delta t_{OWDk} \right) \right) \quad (3)$$

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:

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

$$\Delta t_{IPDV} = \max_k \left(\left(\frac{\sum_{i=1}^n \Delta t_{gautas\ i}}{n} - \Delta t_{gautas\ k} \right) \right) \quad (4)$$

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

Vėlinimo sklaida kaip kokybės metrika pirmą kartą buvo pasiūlyta Demichelio [14], o metrikos matavimo rekomendacijos pateikiamos RFC 3393 [9] dokumente.

2.1.5 Paketų nuostolio dydis

Prarastų paketų kiekį tam tikroje laiko atkarpoje nusako paketų nuostolio dydžio metrika. Šios metrikos matavimo metodai pateikiami RFC 2680 [7] dokumente. 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.

Motyvacijos kodėl naudinga žinoti paketų nuostolio dydį [7] :

- tam tikros programos nesugeba veikti efektyviai jai paketų nuostolio dydis peržengia optimalią ribą
- per didelis paketų nuostolio dydis kenkia realaus laiko aplikacijom
- 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 [7]. Dažnai tokia metrika matuojama naudojant RTP [15] protokolą, tačiau galima remtis ir vienos krypties vėlinimo matavimui skirtą srautų informacija, žymint paketų sekos numerius. Ši metrika svarbi visų tipų informacijos srautams kurie keliauja duomenų perdavimo kanalu.

2.2 Egzistuojantys sprendimai

Siekiant realizuoti universalią ir pagrįstą pasaulio praktika duomenų perdavimo kokybės sistemą, buvo atlikta panašių sistemų analizė. Kadangi pavienes metrikas matuojančių sprendimų yra daug, analizės metu buvo atrinktos trys nemokamos ir daugiau nei vieną kokybės metriką matuojančios sistemos. Norint jas palyginti buvo sudaryta ir užpildyta kriterijų lentelė (1 lentelė). Analizės metu taip pat buvo apžvelgti ir komerciniai produktai, tačiau specializuotas programinis produktas nebuvo aptiktas. Egzistuojantys komerciniai sprendimai yra pagrįsti modulinį sistemų projektavimo principais, todėl naudojant trečiųjų pusių kurtus modulius, galima atlikti šiokią tokią metrikų analizę. Kadangi šie sprendimai yra mokami ir jų demonstracinių versijų nėra, analizės metu jie buvo atmesti.

1 lentelė. Matuojamų parametru sąrašai

Sistemos pavadinimas	Matuojama metrika					Pastabos
	OWD	RTT	Jitter	Loss	BW	
RIPE TTM	taip	taip	taip	taip	taip	Gerai išdirbta ataskaitų sistema, kurią galima pirkti visą su GPS įranga ir kompiuteriu arba parsisiųsti veltui sistemą ir surinkti visą sistemą pačiam. Centralizuotas valdymas ir matavimų stebėjimas
ANEMOS	ne	taip	ne	taip	taip	Java© pagrįsta klientinė sąsaja, kuri gana nepatogi. Geras inžinerinis sprendimas turėti „darbuotojus“ (kai stengiamasi išvengti gedimų tinkle). Centralizuotas valdymas ir rezultatų stebėjimas.
SATURNE	taip	ne	ne	taip	ne	Skirta atlikti QoS taisyklių efektyvumo matavimui naudojant CoS žymes. Labai tikslūs matavimai. Centralizuotas valdymas ir rezultatų saugykla

Siekiant įvertinti pačios sistemos veikimo aplinkos ypatybes, buvo sudaryta ir užpildyta papildoma lentelė (2 lentelė).

2 lentelė. Parametru pateikimo bei specifinių duomenų palyginimas

Pavadinimas	Remiasi IPPM	Matavimų pateikimas	Operacinė sistema		Naudoja GPS
			Kliento	Serverio	
RIPE TTM	taip	WWW sąsaja	Bet kokia OS su WWW naršykle	FreeBSD	taip
ANEMOS	taip	WWW sąsaja	Bet kokia OS su WWW naršykle ir JAVA palaikymu	Linux	ne
SATURNE	taip	WWW sąsaja	Bet kokia OS su WWW naršykle	FreeBSD	taip

Analizės metu išaiškėjo, jog geriausiai išbaigtas sprendimas yra RIPE TTM sistema. Ši sistema remiasi IETF IPPM darbo grupės rekomendacijomis ir kartu realizuoja visų siūlomų kokybės metrikų matavimus. Architektūriniu požiūriu sistema naudoja lankstų klientas/serveris metodu pagrįstą sprendimą. Vartotojui pakanka paprasčiausios interneto naršyklės norint peržiūrėti matavimų rezultatus ar atlikti sistemos konfigūraciją. GPS sistemos naudojimas suteikia sistemos matavimams tikslumo ir patikimumo. Tačiau egzistuoja vienas esminis trūkumas – sistemai trūksta lankstumo, kadangi ji sukurta ir pritaikyta darbui su specifine įranga, kuri gana brangi.

2.3 Įgyvendinimo problemos

Kuriant tokio tipo sistemą susiduriama su keleta esminių problemų. Nors pasaulio patirtis rodo, jog jos dalinai jau išspręstos, tačiau vieno bendro sprendimo nėra.

2.3.1 Protokolo problemos

Daugelio kokybės metrikų gavimo būdai yra pagrįsti standartiniais senaisiais interneto protokolais, tokiais kaip ICMP, UDP bei TCP. Šie protokoliai buvo sukurti duomenų perdavimui IP tinklais bei jų kontrolei, o ne tinklų kokybės metrikų matavimo tikslais. Tačiau daugelis pateisina ICMP protokolo naudojimą, nes juo pagrįstos programėlės „ping“ rezultatai duoda preliminarius duomenis apie ryšį ir pilną kontrolinių paketų kelionės laiką. Pateisinamas ir UDP protokolo naudojimas, kadangi šis protokolas turi labai mažą tarnybinę antraštę ir yra vienos krypties protokolas. Išnaudojant šias savybes, tam tikrų metrikų matavimų metu yra generuojamas „lengvas“ UDP paketų srautas su specifine kontroline informacija bei galimas nenaudingos informacijos priedas, kuris suteikia UDP paketui „svorio“ [16]. Papildomas „svoris“ leidžia imituoti įvairių programų tarnybinės informacijos srautus.

Siekiant išvengti protokolų įvairovės ir sukurti unifikuotą specifinį kokybės matavimam skirtą protokolą, IETF IPPM darbo grupė pradėjo modeliuoti IPMP (IP Measurement Protocol) protokolą. Protokolas bus pritaikytas visų IETF IPPM darbo grupės aprašytų kokybės metrikų matavimams. Kol kas protokolas yra tik juodraštinuose („draft“) variantuose.

2.3.2 Tikslaus laiko funkcijos problemos

Siekiant užtikrinti kuo tikslesnius matavimo rezultatus, reikia atsižvelgti į laiko sinchronizavimo funkciją. Daugelio kokybės metrikų skaičiavimas remiasi kontrolinių paketų siuntimo ir gavimo laiko skirtumu. Kadangi gavimo ir siuntimo laikas fiksuojamas skirtingose sistemose, siektina jog jų laiko tėkmės suvokimas būtų kuo tikslesnis.

Išeitis šioje situacijoje yra ganėtinai paprasta – GPS palydovų tinklo paslauga. Naudodami globalų GPS palydovų tinklą ir GPS signalų imtuvus matavimus atliekančiuose įrenginiuose, mes galim turėti labai tikslų laiką, kurio tikslumas siekia nano sekundes [17]. Išanalizuotų esančių analogiškų sistemų sprendimai taip pat naudoja GPS sistemos paslaugą, kuri suteikia sistemoms tikslumą siekiantį vieną mikrosekundę [18].

2.4 Išvados

Analizės metu buvo išnagrinėtos duomenų perdavimo kokybės metrikos, kurios apibrėžtos IETF standartais ir aprašytos RFC dokumentuose. Dauguma programų, surinktų egzistuojančių sprendimų paieškos metu, yra skirtos pavienių metrikų matavimams atlikti, tačiau visas šias metrikas apimančių sprendimų trūksta. Analizuojant metrikų matavimo metodus išaiškėjo, jog matavimam skirtas protokolas IPPM vis dar kuriamas, todėl visi egzistuojantys pavienių metrikų matavimo sprendimai yra pagrįsti kitais interneto protokolais (pvz., ICMP bei UDP). Iš visų analizuotų sprendimų, artimiausias vizijai ir kone geriausiai išbaigtas yra RIPE TTM produktas. Protokolo, skirtu matuoti kokybės metrikas, pasirinkimą lemia IPPM protokolo standarto neišbaigtumas ir egzistuojančių sprendimų patirtis, todėl sistema naudosis UDP bei ICMP protokolais pagrįstus matavimus.

Remiantis analizės metu surinkta informacija, suformuluoti pagrindiniai reikalavimai kuriamai sistemai:

- sistema turi atlikti IETF IPPM darbo grupėje apibūdintų kokybės metrikų matavimus
- sistema turi būti kaip galima mobilesni
- sistema rezultatų tikslumui užtikrinti turi naudoti GPS sistemą
- sistemos valdymas turi būti centralizuotas
- sistemos rezultatai turi būti pateikiami vizualia forma
- sistema turi stebėti duomenų perdavimo kanalo kokybę
- sistema turi pranešti apie duomenų perdavimo kanalo kokybės degradaciją

3. Projektinė dalis

3.1 Sistemos paskirtis

Pasaulyje egzistuoja tiek globalūs, tiek lokalūs tinklai. Kiekviena organizacija stengiasi turėti gerą ir kokybišką ryšį ne tik su kitais tinklais, bet ir savo tinkle užtikrinti kokybišką duomenų perdavimą. Telekomunikacijų rinkoje dirbančioms įstaigoms, tiekiančioms ne tik interneto paslaugą, bet kartu ir duomenų perdavimo paslaugą savo tinklu, ypač aktualu patenkinti vartotojo poreikius.

Poreikiai gali būti nuo pačių paprasčiausių iki labai griežtų, tad siekiant juos įgyvendinti, reikalingas nuolatinis jau eksploatuojamų arba ruošiamų eksploatacijai duomenų perdavimo kanalų kokybės parametrų stebėjimas.

Svarbiausi duomenų perdavimo kanalo kokybės parametrai:

- paketų praradimas,
- paketų pilnas kelionės laikas,
- vėlinimas,
- vėlinimo sklaida.

Duomenų perdavimo kokybės analizės sistemos naudojimas gali atlikti minėtų kokybės parametrų (metrikų) matavimus, stebėti rezultatus ir kokybės degradavimo atveju realiu laiku informuoti apie gedimą atsakingą asmenį.

3.2 Esminiai reikalavimai

3.2.1 Apribojimai sprendimui

Matuojamo duomenų perdavimo kanalo galiniai prieigos taškai informaciją turi pateikti griežtai Ethernet paketais bei naudoti IP adresavimu paremtą duomenų perdavimą.

Siekiant sistemos universalumo, analizuojant duomenų perdavimo kanalo kokybę, būtina remtis IETF IPPM darbo grupės reglamentuotomis metrikomis. Svarbu remtis šiais dokumentais:

1. RFC 2330 – IPPM apžvalga
2. RFC 2678 – Vienos krypties perdavimo vėlinimas
3. RFC 2680 – Vienos krypties duomenų praradimo matavimas
4. RFC 2681 – Pilno paketo kelio vėlinimo matavimas

Sistemos korektiškam darbui reikalingas tikslus laikrodžių sinchronizavimas. Tuo tikslu reikia naudoti GPS pagrįstą laiko nustatymo sprendimą, kuris įgalina sistemos elementus turėti vieną laiko sinchronizacijos šaltinį ir pasiekti lokalaus laiko tikslumą 10-20 mikrosekundžių tikslumu globalaus laiko atžvilgiu. GPS imtuvai turi būti įrengti individualiai kiekvienam sistemos matavimo taškui.

3.2.2 Svarbūs faktai ir prielaidos

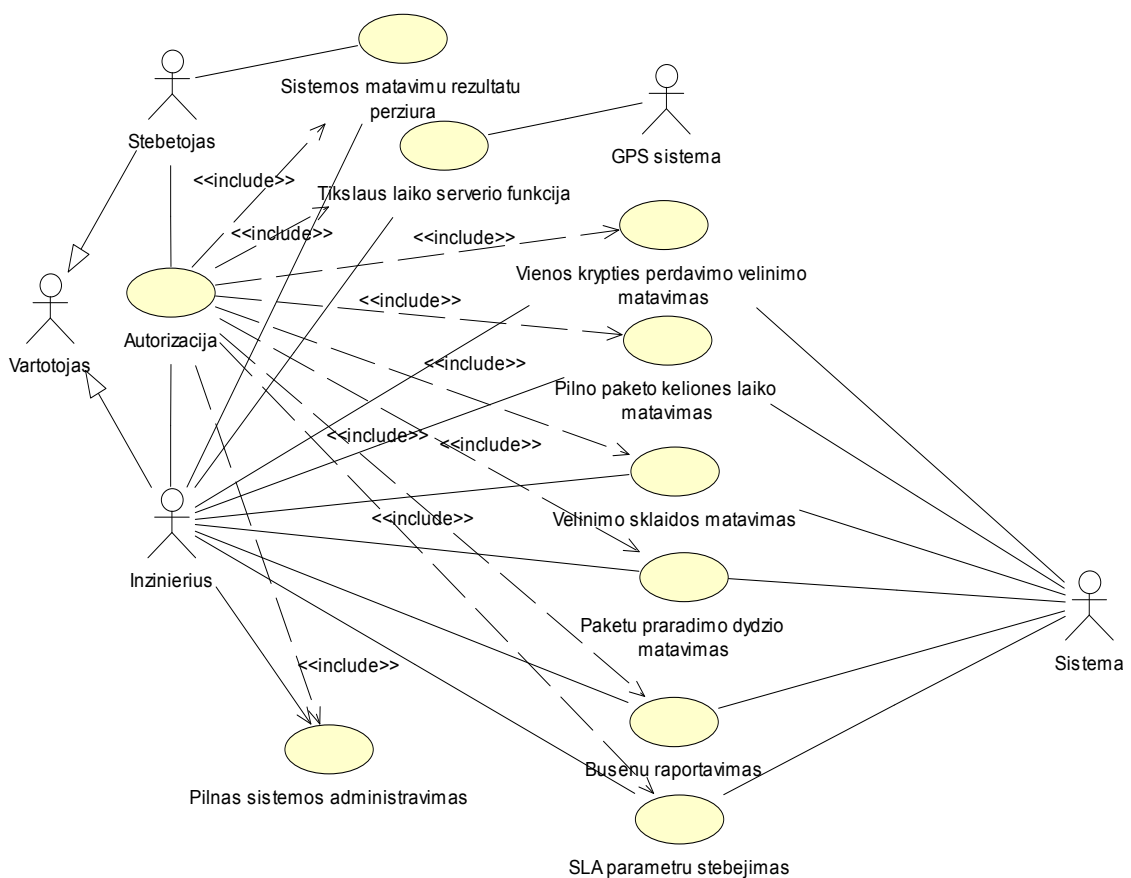
Sistemos patikimas veikimas pagrįstas laiko sinchronizacija fiziškai nutolusiuose sistemos komponentėse (klientas ir serveris šiuo atveju). Laiko sinchronizacija naudoja GPS signalų imtuvus, tad laikinas palydovų išnykimas iš GPS imtuvo horizonto ribų gali sukelti sistemos sinchronizacijos sutrikimus. Tokiu atveju, „ntp“ programinio paketo sudėtingas vidinis laiko tėkmės skaičiavimo algoritmas suveikia kaip atsarginis mechanizmas. Siekiant išvengti GPS palydovų išnykimo iš horizonto problemos, tikslinga įrenginio anteną statyti kiek galima aukščiau virš aplinkinių pastatų, kurie blokuoja horizontą.

Duomenų perdavimo kanalo gedimo atveju, kai sistemos komponentai tarpusavyje nebesusisiekiama, sistemos neveikimas yra pateisinamas tarpinės grandies sutrikimu.

Klientinių įrenginių aptarnavimas priklauso nuo ryšio mazgą aptarnaujančių asmenų, tad jiems būtinos bent jau minimalios žinios apie darbą su personaliniu kompiuteriu (privalumas būtų Linux operacinės sistemos žinios).

3.3 Architektūra

3.3.1 Sistemos panaudojimo atvejai

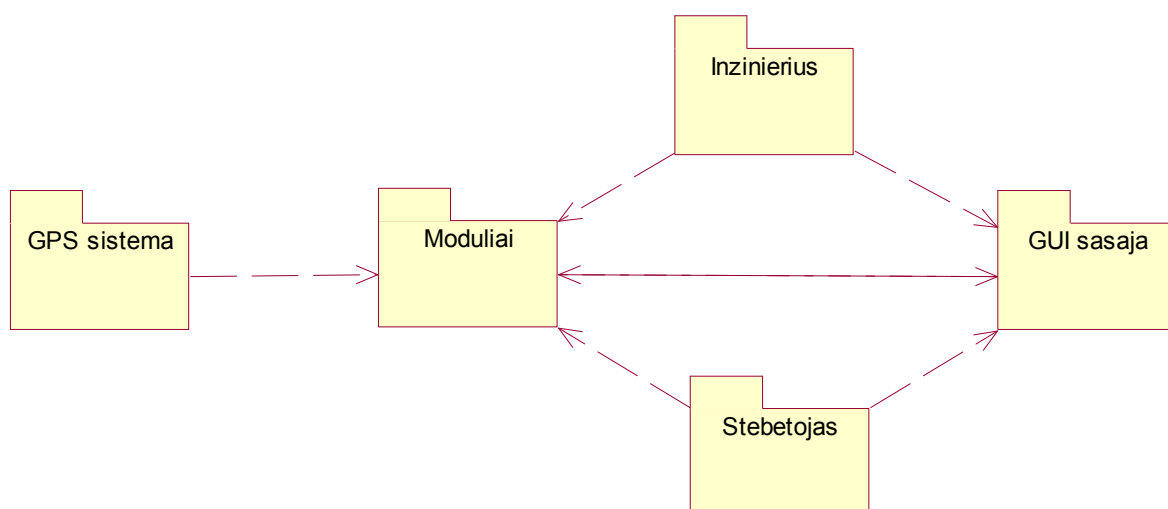


4 pav. Sistemos panaudojimo atvejai

Sistemos panaudojimo atvejų diagramoje (4 pav.) pateikiami esminiai funkciniai reikalavimai sistemai, kurie buvo suformuluoti remiantis poreikių bei nagrinėtų analogiškų sistemų analizės metu. Išskiriami du sistemos vartotojų tipai – stebėtojas ir inžinierius. Inžinieriaus statusą turintys sistemos vartotojai gali pilnai administruoti sistemą, tuo tarpu stebėtojo statusą turintys vartotojai gali tik stebėti jiems priskirtų duomenų perdavimo kanalų kokybės parametrus.

3.3.2 Sistemos statinis vaizdas

Duomenų perdavimo kanalų kokybės analizės sistema suskaidyta į komponentus, kurie pavaizduoti paveikslėlyje žemiau.

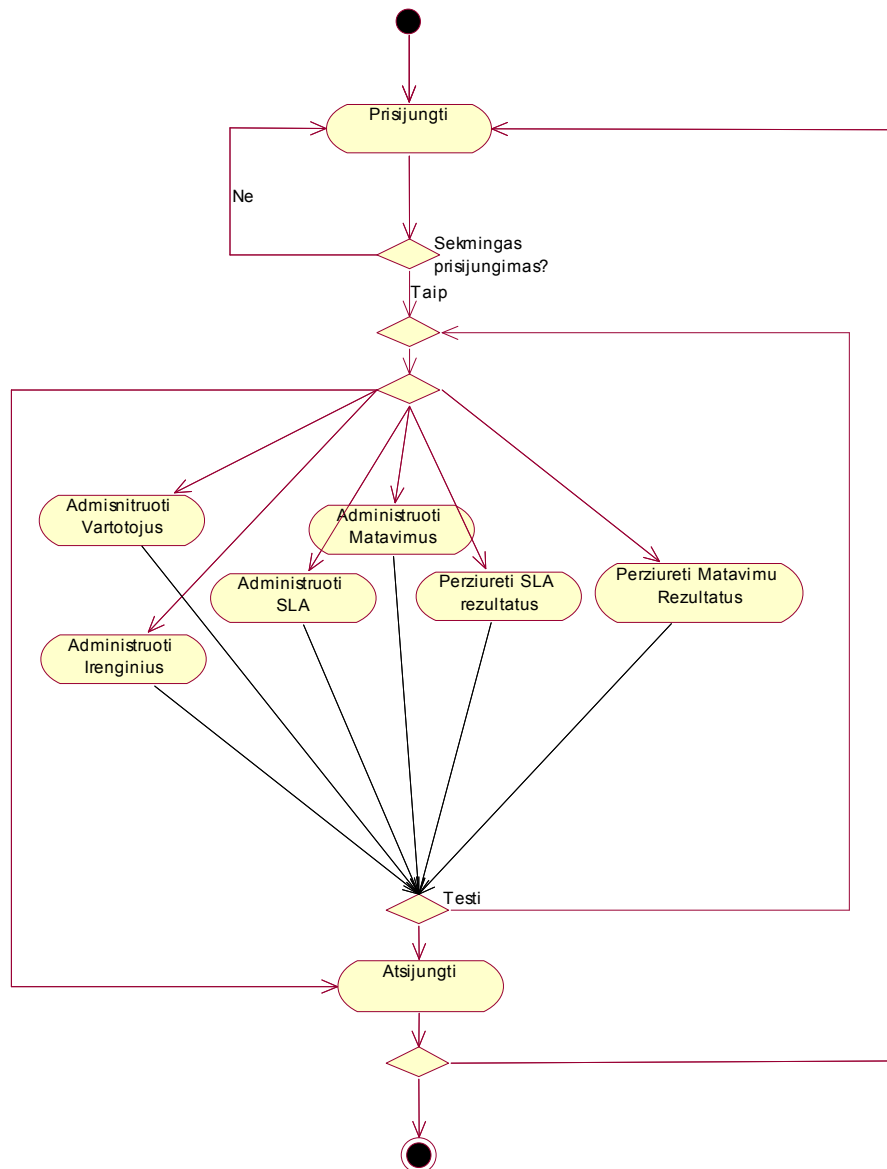


5 pav. Sistemos komponentai

Sistema komponentais sudalinta remiantis panaudojimo atvejų diagrama, siekiant logiškai sudėlioti panaudojimo atvejus realizuojančias klases ir jų ryšius su sistemos aktoriais.

Komponentas „*GUI sasaja*“ (5 pav.) skirtas atlikti sistemos vartotojų sąsajos generavimą. Šio komponento klases naudoja visi komponentai, išskyrus „*GPS sistema*“. Komponentai „*Inzinierius*“ ir „*Stebetojas*“ skirti atitinkamo lygmens sistemos vartotojų sąsajai valdyti. Juose esančios klasės užtikrina, kad atitinkamo lygmens vartotojui bus prieinamos tik jo lygiui skirtos komponento „*GUI sasaja*“ klasės. Duomenų perdavimo kanalų metrikų matavimam skirtos klasės pateikiamos komponente „*Moduliai*“. Šis komponentas vienintelis naudoja komponento „*GPS sistema*“ klases, kurios skirtos tikslaus laiko informacijai gauti.

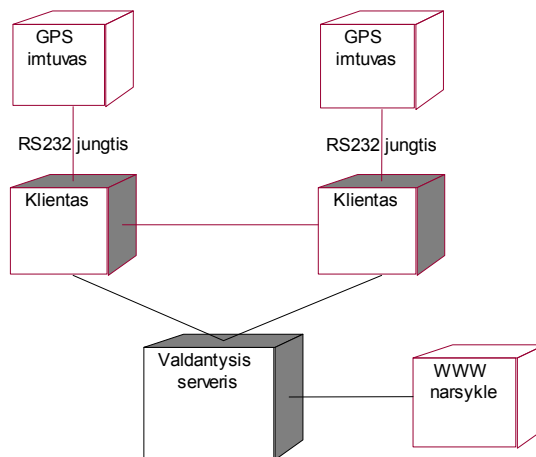
Naudojant komponentų klasėse realizuotus metodus, sudaryta pavyzdinė vartotojo „*Inzinierius*“ veiksmų diagrama (6 pav.). Pateiktoje veiklos diagramoje matyti, jog vartotojas „*Inzinierius*“ gali realizuoti visus jam priskirtus panaudojimo atvejus, kurie patogumo dėlei apjungti į bendras grupes pagal pobūdį.



6 pav. Vartotojo "Inžinierius" veiksmų diagrama

3.3.3 Išdėstymo vaizdas

Paveikslėlyje (7 pav.) pateikiama sistemos išdėstymo schema. Sistemą sudaro trys skirtingos dalys – klientinis įrenginys, valdantysis serverinis įrenginys ir GPS įrenginys. Komunikacija tarp klientinių ir valdančiojo įrenginių atliekama duomenis perduodant *Ethernet* tipo paketus. Naudojami du duomenų perdavimo kanalai – valdantysis ir matavimų. Valdančiuoju kanalu perduodamos komandos naudojant TCP protokolą, o matavimų kanalu siunčiami matavimų paketai naudojant UDP protokolą. GPS įrenginys ir klientinis įrenginys informacija apsikeičia naudojant RS232 tipo sąsaja. Interneto naršyklė yra priemonė, skirta vartotojo bendravimui su sistema naudojant WEB sąsaja.



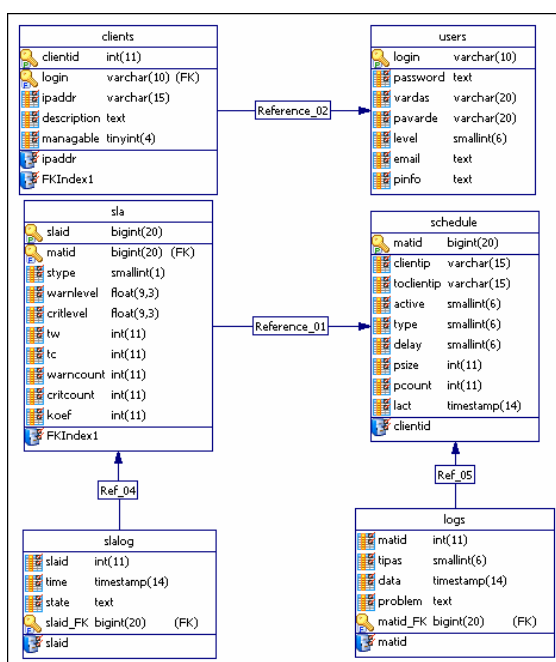
7 pav. Sistemos išdėstymo vaizdas

Panaudojus lygiagrečių procesų metodą, klientas ir valdantysis serveris gali vienu metu aptarnauti daugiau nei vieną kontrolinių duomenų bei daugiau nei vieną matavimų kanalų.

3.3.4 Duomenų bazės vaizdas

Sistemos vartotojų, klientinių įrenginių ir su matavimais susijusi informacija (išskyrus matavimų rezultatus) saugoma duomenų bazėje (8 pav.). Lentelių pavadinimai logiškai susieti su jose saugomos informacijos turiniu:

- „clients“ – klientinių įrenginių informacija,
- „users“ – sistemos vartotojų atributika,
- „sla“ – matuojamų duomenų perdavimo kanalų kokybės parametrų informacija,
- „schedule“ – matavimams naudojamų parametrų informacija,
- „logs“ – sistemos klaidų informacija,
- „slalog“ – duomenų perdavimo kanalų kokybės degradavimo informacija.



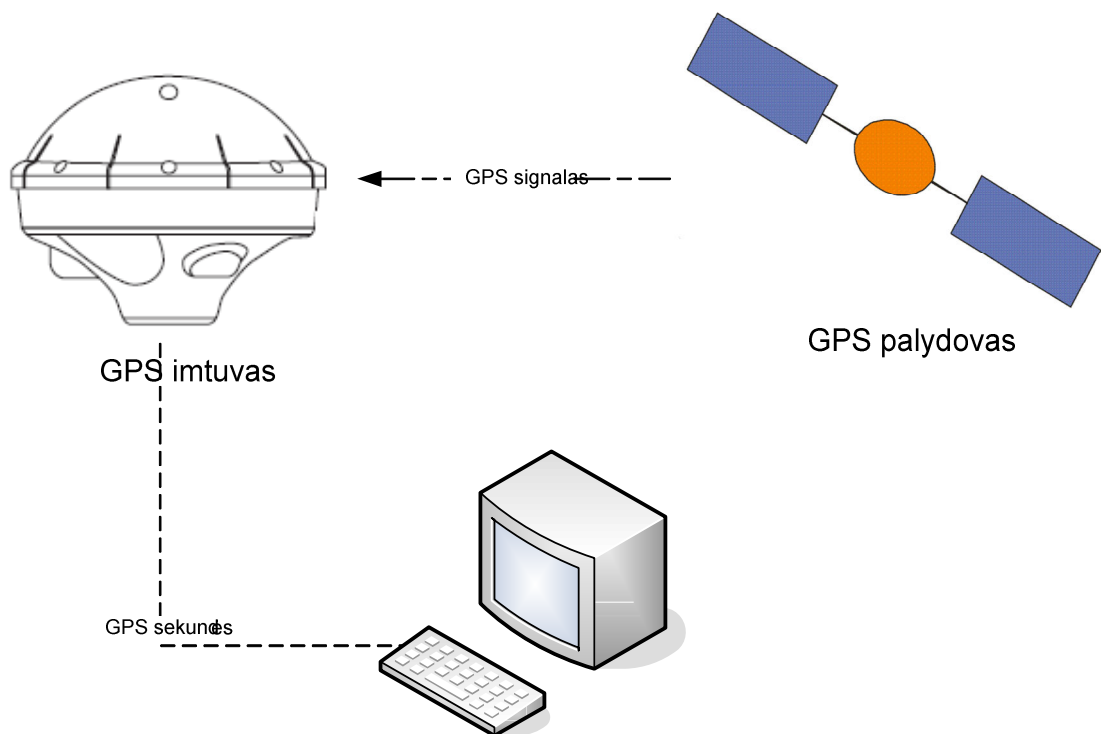
8 pav. Duomenų bazės vaizdas

4. Tyrimo dalis

4.1 Sisteminių įrenginių laiko sinchronizacija

Asmeninį kompiuterį sinchronizuoti GPS signalų pagalba labai paprasta – tereikia įsigyti GPS įrenginį ir įdiegti gamintojo programinę įrangą; tačiau norint įgyti kuo didesnę tikslumą, to nepakanka. Norint, kad sistema būtų kuo tiksliau sinchronizuota, reikia atlikti papildomą tyrimą, kuris apima ne tik naudojamos operacinės sistemos ypatybių įvertinimą bet ir naudojamo asmeninio kompiuterio savybių įvertinimą.

Sistemoje gali būti naudojami tiek stacionarūs kompiuteriai, tiek nešiojami (sistemos mobilumo atžvilgiu tai labai patogi platforma). Šiuolaikiniai nešiojamų kompiuterių procesoriai palaiko kelias taktinių dažnių pakopas, kurių pagalba siekiama sutaupyti elemento energijos kai kompiuteris nėra įjungtas į nuolatinį elektros maitinimo šaltinį. Sistemos procesoriaus taktinis dažnis yra svarbus faktorius lemiantis sistemos laiko tikslumą, todėl reikia kad jis būtų kuo stabilesnis. Procesoriaus taktinio dažnio pakopų kaitos vengimas padeda išlaikyti laiko tėkmės sistemoje stabilumą. Stebėdama taktų skaičių, laiko sinchronizavimo programa gali lengvai pasiekti mikrosekundžių tikslumą, tačiau šis tikslumas yra lokalus. Norint pasiekti globalų sistemos tikslumą, siūloma naudoti jau minėtą GPS sistemą (9 pav.).



9 pav. GPS ir kompiuterio sąveika

4.1.1 Programos „ntpd“ ypatybės

Laiko sinchronizacijai projekte naudojamas atviro kodo programinis paketas „ntpd“, kuris leidžia atlikti lokalaus laiko sinchronizaciją naudojant GPS. Iš GPS įrenginių gaunamos „GPS sekundės“ (9 pav.) suteikia programai galimybę nuolat koreguoti vidinio laikrodžio taktinį dažnį, kad sistemos laikas kuo tiksliau atitiktų globalų laiką. Siekiant optimaliai išnaudoti „ntpd“ reikia iširti šio programinio paketo ir jo API sąsajos galimybes.

Kadangi laiko sinchronizacijos procesas nėra vienintelis operacinės sistemos procesas, jis kaip ir visi kiti sistemos procesai turi laukti savo eilės, kada procesorius įvykdys jo komandas. Tyrimo metu pastebėta, jog esant dideliame sistemos apkrovimui bei skirtingiems procesų prioritetams, laiko sinchronizacijos ir laiko poslinkio rezultatai yra labai nestabilūs. Siekiant užsitikrinti kuo geresnį sinchronizacijos rezultatą numatyta eksperimento metu pasinaudoti programos konfigūracijos faile numatytais direktyvomis „maxpoll“ ir „minpoll“. Šie parametrai nurodo maksimalų ir minimalų laiko intervalą, kurio ribose turi būti atlikta GPS įrenginio apklausa. Įrenginio apklausa operacinėje sistemoje yra traktuojama kaip įvesties/išvesties operacija, kuri reikalauja sisteminio pertraukimo kreipinio, o tai jau naudojamos operacinės sistemos tyrimas.

4.1.2 „Linux“ operacinės sistemos ypatybės

Projekto klientiniai bei valdančiojo serverio įrenginiai naudoja Linux operacinę sistemą. Siekiant kuo tikslesnio laiko sinchronizacijos rezultato naudojant šią operacinę sistemą, buvo atliktas tyrimas. Tyrimo metu remiantis rekomendacijomis buvo keičiami sistemos branduolio parametrai, palaikomų modulių sąrašas bei procesų sąrašas.

Remiantis rekomendacijomis ir atsiliepimais iš Linux operacinės sistemos branduolio buvo pašalintas APIC komponento palaikymas. Šis pašalinimas siejamas su naudoto Linux branduolio APIC sąsajos klaidomis kode, kurios sukelia pertraukimų valdymo problemas.

Kadangi tyrimo metu naudotas kompiuteris buvo nešiojamas, buvo atsisakyta ACPI sąsajos palaikymo. Ši sąsaja įgalina operacinę sistemą reguliuoti procesoriaus taktinį dažnį manipuliudama taktinio dažnio pakopomis, kas (kaip jau minėta anksčiau) turi neigiamą įtaką laiko sinchronizacijos procesui.

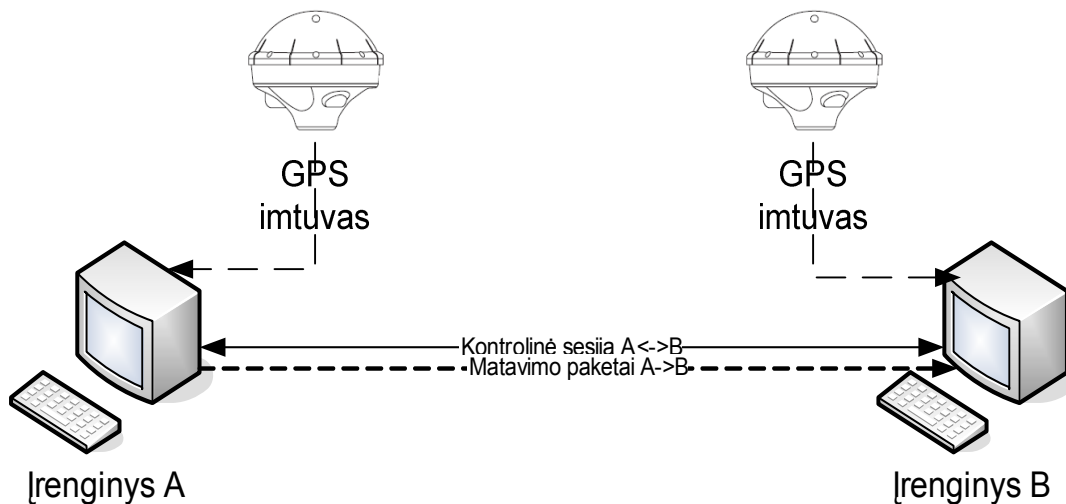
Svarbu sustabdyti visus procesus, kurie gali tam tikrais laiko momentais sugeneruoti daug sisteminių pertraukimo kreipinių. Tačiau tokių procesų sąrašas yra individualus kiekvienai sistemai ir per platus, kad būtų išnagrinėtas šio tyrimo metu. Šis teiginys pateikiamas kaip rekomendacija į kurią verta atkreipti dėmesį jei nebus pasiekti norimi rezultatai.

4.1.3 Tyrimo išvados

Remiantis tyrimo metu surinkta informacija bus atliktas bendras eksperimentas, nes tyrimo metu nagrinėti aspektai yra glaudžiai susiję vienas su kitu. Eksperimento rezultatai pateikiami skyriuje „Eksperimentinė dalis“ o jo metu naudotų programų išeities kodai pateikiami pirmame priede.

4.2 Sistemos mobilumo problema

Duomenų perdavimo kanalų kokybės analizės sistemos rezultatai gaunami atlikus vienetinių kokybės metrikų matavimus (žr. punktą 2.1). Vienetinių kokybės metrikų matavimai atliekami tarp klientinių įrenginių naudojant dvi sesijas (10 pav.). Kontrolinė sesija skirta matavimo valdymui ir matavimo parametrų apsikeitimui tarp įrenginių, o kita sesija skirta siųsti matavimo paketus su specialia informacija paketų antraštėse.



10 pav. Matavimo procesas tarp įrenginių

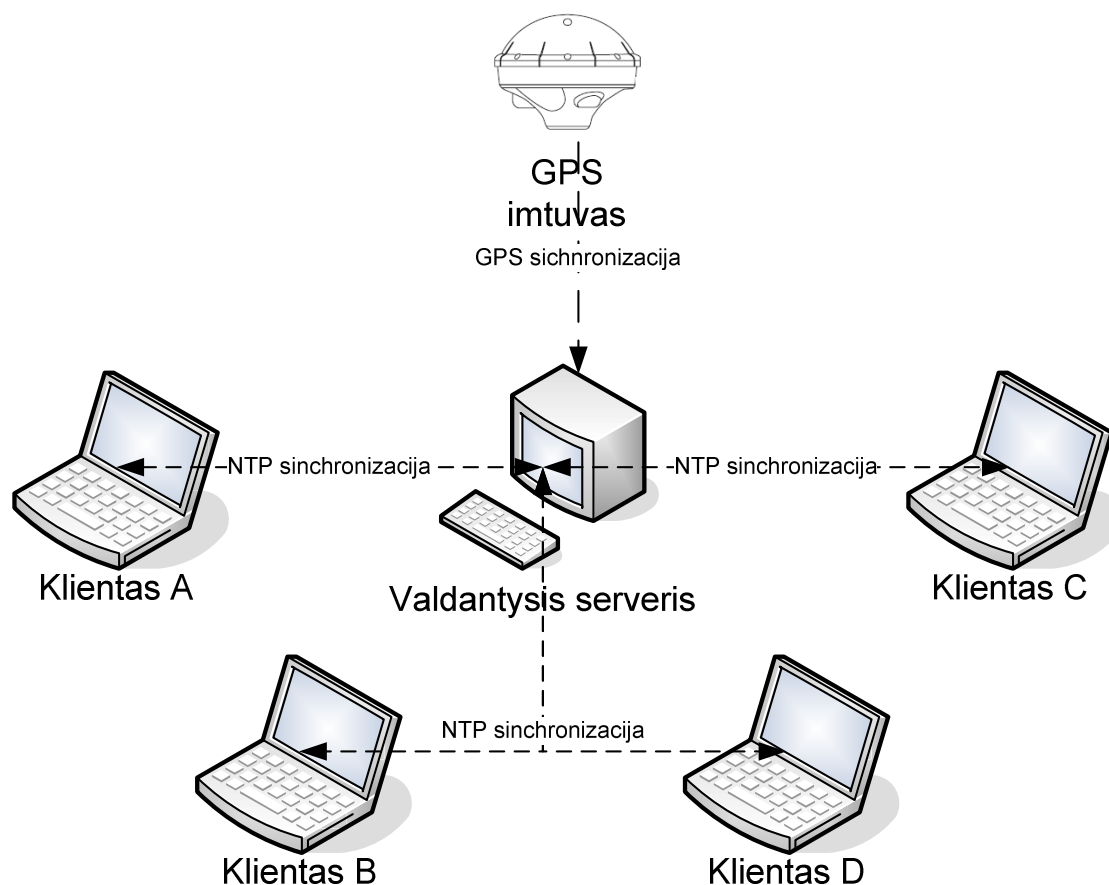
Matavimo paketų seriją sudaro vartotojo nustatytas matavimo paketų kiekis, kurie antraštėje iš vieno įrenginio į kitą yra perneša informacija, reikalingą vienetinių duomenų perdavimo kanalo metrikų skaičiavimui. Svarbiausia matavimo paketų iš siuntėjo gavėjui pernešama informacija yra paketo identifikacinis numeris ir jo išsiuntimo laiko žymė. Už patikimą laiko žymės suteikimą atsakinga „ntpd“ API sąsaja, kuri tiesiogiai bendrauja su sistemos branduoliu bei „ntpd“ procesu. Tikslų laiką šiam procesui leidžia nustatyti sinchronizacija su GPS įrenginiu, kuris keliamais reikalavimais pilnavertiškam funkcionavimui mažina sistemos mobilumą.

Tyrimo metu išaiškėjo, jog norint kad GPS įrenginys pilnavertiškai funkcionuotų, reikia, kad jis matytų mažiausiai tris palydovus, o tam reikalingas švarus horizonto vaizdas, kurio neblokotų aukšti pastatai ir kiti trikdžiai (pvz., medžiai). Objektuose, kuriuose buvo ketinama įdiegti bandomuosius sistemos klientinius įrenginius, tokia galimybė neegzistavo arba reikalavo

labai didelių pastangų, kurios būtų vertos tik stacionaraus sistemos patalpinimo atveju. Tačiau ir stacionaraus talpinimo atvejis susidūrė su problema – GPS įrenginio laido limitas yra 60 metrų, kurį viršijus reiktų naudoti papildomus įrenginius, kad sustiprinti signalą. Atsiradus kabelio pailgėjimui, padidėja ir GPS signalo vėlinimas, kurį reiktų apskaičiuoti norint pateikti „ntpd“ konfigūracijos faile.

4.2.1 Sistemos topologijos keitimas

Siekiant padidinti sistemos mobilumą, reikia sukurti sprendimą, kuris leistų išvengti GPS sistemos keliamų reikalavimų. Vienas iš būdų yra atsisakyti GPS įrenginių kiekviename sistemos klientinio įrenginio taške. Remiantis šia idėja, tyrimo metu pasiūlyta nauja sistemos topologija kurią sudaro vienas GPS įrenginiu sinchronizuotas centrinis valdantysis serveris ir prie jo naudojant NTP protokolą sinchronizuoti klientiniai įrenginiai (11 pav.).



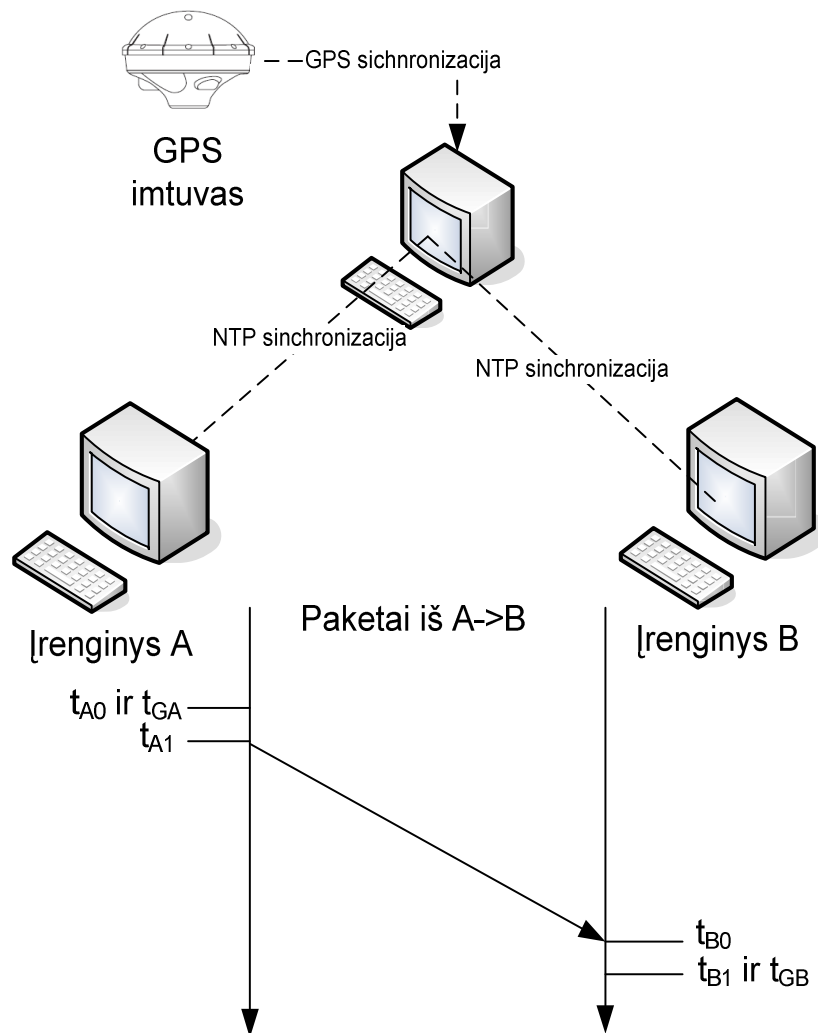
11 pav. Vieno GPS įrenginio topologija

Pateikta topologija (11 pav.) išsprendžia klientinių įrenginių mobilumo klausimą, kadangi laiko sinchronizacijai naudojamas NTP protokolas nekelia ypatingų reikalavimų. Visi klientai globalaus laiko informaciją gauna iš vieningo laiko atskaitos taško, todėl galima daryti prielaidą, kad jų laiko tėkmės suvokimas yra vienodas. Siekiant užtikrinti kuo vienodesnį ir tikslesnį laiko sinchronizavimą, reikia remtis rezultatais kurie buvo gauti atlikus tyrimą, aprašytą 4.1 punkte.

4.2.2 Laiko korekcija matavimo paketuose

Atlikus sistemos topologijos pakeitimą ir panaikinus GPS įrenginius prie klientinių įrenginių gali nukentėti sistemos matavimų rezultatų patikimumas, tačiau remiantis atlikto „ntpd“ ir jo API sąsajos tyrimo (žr. 4.1.1 punktą) rezultatais pasiūlytas laiko korekcijos metodas. Šio metodo įdiegimas ir jo efektyvus panaudojimas reikalauja, kad sistema būtų sukonfigūruota pagal pateiktos naujos topologijos reikalavimus.

Metodas pagrįstas „ntpd“ proceso veikimo savybę fiksuoti sistemos laiko poslinkį nuo globalaus laiko. Kiekvieną kartą laiko sinchronizavimo procesas kreipdamasis į centrinį valdymo serverį gauna naują globalaus laiko reikšmę. Nustatyti sistemoje naują reikšmę akimirksniu būtų nekorektiška, kadangi daugelis aplikacijų gali nustoti veikti dėl staigaus laiko pasikeitimo (pavyzdžiui laikas atsukamas atgal jei sistemos lokalus laikrodis nuskubėjęs į priekį lyginant su globaliu laiku). Vietoj staigaus laiko pakeitimo, „ntpd“ procesas reguliuoja sistemos laikrodžio dažnį. Šio dažnio keitimo pagalba, sistemos laikas „bėga“ greičiau arba lėčiau. Be pagrindinio sistemos laikrodžio, „ntpd“ procesas savyje nuolat suka laiko ciklą, kuris turi atspindėti globalų laiką pagal naujausias gautas korekcijas.



12 pav. Laiko korekcijos metodo schema

Žinant sistemos ir vidinio ciklo (kuris atspindi globalaus laiko tĕkmę) informaciją, galima suskaičiuoti klientinės sistemos laiko poslinkį nuo globalaus laiko kiekvieno paketo generavimo metu. Patiems to daryti nereikia, kadangi tai atlieka speciali „ntpd“ API sąsajos funkcija. Nustatytą sistemos laiko poslinkį viename iš įrenginių reikia perduoti kartu su matavimo paketu į kitą įrenginį, kuriame analogiškas laiko korekcijos veiksmas turi būti atliktas gavus paketą (12 pav.).

Naudojant šią metodiką, vienos krypties metrika būtų apskaičiuojama sekančiai:

$$\Delta t_{OWD} = (t_{B1} - t_{BG}) - (t_{A0} - t_{AG}) \quad (5)$$

t_{B1} – laikas, kada paketo gavimą fiksuoja sistema B,

t_{BG} – B sistemos laiko poslinkis nuo globalaus laiko,

t_{A0} – laikas, kada paketas išsiunčiamas iš sistemos A,

t_{AG} – A sistemos laiko poslinkis nuo globalaus laiko,

t_{A1} ir t_{B0} – laiko momentai kada paketas pakliuvo ir paliko fizinę tinklo terpę.

Pateikta formulė leidžia įvertinti lokalių sistemų laiko poslinkį ir įvertinti paketo vieno krypties vėlinimą globalaus laiko skalėje. Šio metodo panaudojimas nekeičia naudojamų matavimo paketų struktūros, tačiau keičia paketų generatoriaus kodą. Šio metodo realizacija ir jos rezultatai pateikiami eksperimentinėje dalyje.

4.2.3 Tyrimo išvados

Tyrimo metu nagrinėjant sistemos mobilumo problemą pakeista sistemos topologija. Naujos topologijos sistemos rezultatų tikslumui pagerinti pateiktas laiko korekcijos metodas, naudojantis matavimo paketus, taip pat pateiktas metodo panaudojimo pavyzdys bei gairės norint atlikti jo realizaciją. Eksperimentiniai šio tyrimo rezultatai pateikiami „Eksperimentinė dalis“ skyrelyje. Šio tyrimo metu buvo remtasi sisteminių įrenginių laiko sinchronizacijos tyrimo rezultatais (žr. 4.1 punktą).

5. Eksperimentinė dalis

5.1 Sisteminių įrenginių laiko sinchronizacijos eksperimentas

Remiantis sisteminių įrenginių laiko sinchronizacijos tyrimo metu surinkta informacija buvo atliktas eksperimentas, kuriuo buvo siekiama išgauti kuo tikslesnę ir stabilesnę sistemos sinchronizaciją.

5.1.1 Eksperimento priemonės

Eksperimento metu buvo naudojami šie komponentai:

- nešiojamas kompiuteris Dell,
- Trimble Acutime GPS įrenginys,
- atviro kodo laiko sinchronizacijos paketas „ntpd“,
- operacinė sistema „Debian“ pagrįsta Linux branduoliu,
- „gnuplot“ programinė įranga skirta grafikų atvaizdavimui.

5.1.2 Eksperimento eiga

Norint pasiekti kuo didesnę tikslumą, reikia nuosekliai parengti sistemą pagal tyrimo metu surinktą informaciją – nuo „ntpd“ programinio paketo konfigūracijos iki operacinės sistemos ypatybių valdymo:

- nustatyti sistemos laikrodžio poslinkį naudojant ir nenaudojant „ntpd“ konfigūracijos failo direktyvas „maxpoll“ bei „minpoll“,
- nustatyti sistemos laikrodžio poslinkį išjungus branduolio APIC palaikymą,
- nustatyti sistemos laikrodžio poslinkį išjungus branduolio APIC ir ACPI palaikymą,
- nustatyti sistemos laikrodžio poslinkį naudojant priverstinį apklausos mechanizmą bei atjungus sistemos branduolyje APIC ir ACPI palaikymą.

Programinio paketo ir operacinės sistemos ypatybių keitimas aprašomas pirmame priede. Priede taip pat pateikiamas programos, skirtos laiko poslinkio nustatymui, išėities kodas, bei instrukcijos, naudotos grafikų braižymui naudojant „gnuplot“ programą.

Kiekvieno eksperimento etapo poslinkio informacija turi būti fiksuojama valandos laikotarpyje, kas minutę. Tokiu būdu galima lengviau pastebėti laiko poslinkio svyravimus.

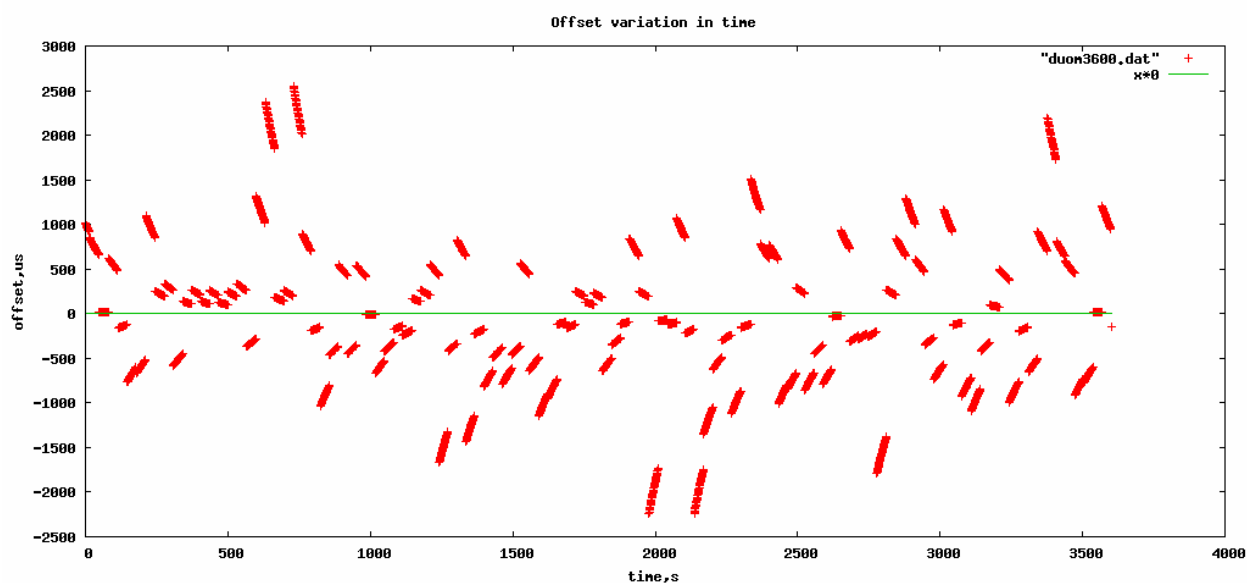
5.1.3 Vertinimo kriterijus

Stabilios sistemos sinchronizacijos rodiklis yra laiko poslinkis tarp lokalaus sistemos laiko ir globalaus laiko. Kuo stabiliau svyruoja šitas poslinkis, tuo stabiliau sinchronizuojama

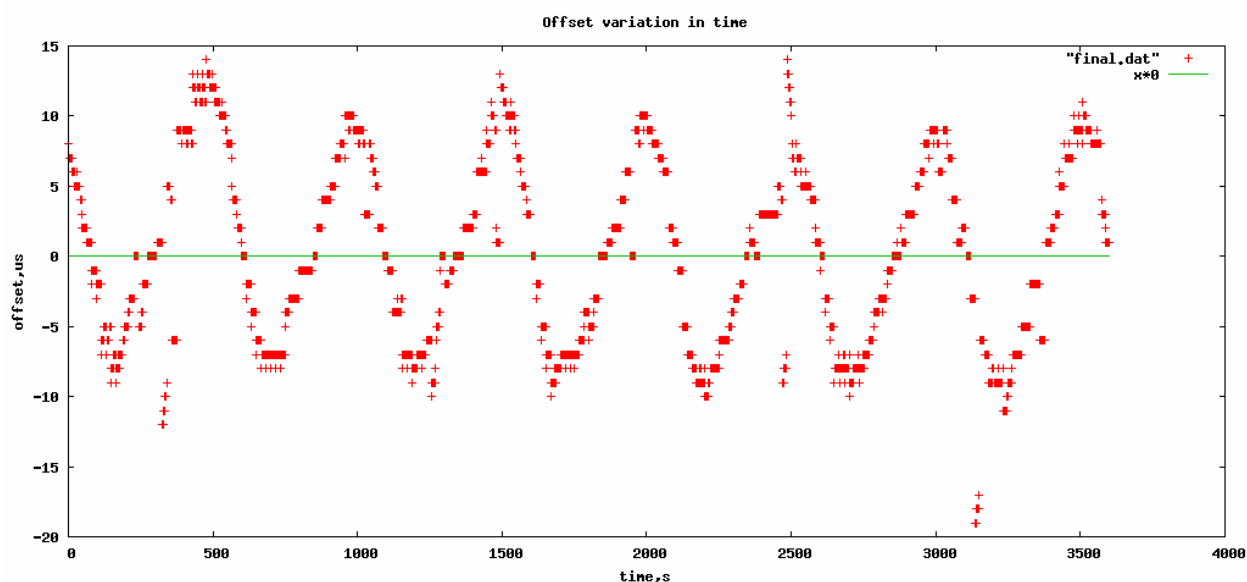
sistema. Remiantis „ntpd“ paketo aprašymu, sistema gali pasiekti 10 mikrosekundžių tikslumą naudojant Trimble Acutime GPS įrenginį. Šis rezultatas yra eksperimento tikslas.

5.1.4 Eksperimento rezultatai

Eksperimento rezultatai pateikiami grafine forma kiekvienam eksperimento eigos etapui. Pateikti du rezultatų grafikai (13 ir 14 pav.) atspindi laiko poslinkio reikšmių svyravimą eksperimento pradžioje bei eksperimento pabaigoje. Aiškiai matyti, jog eksperimento metu panaudojus tyrimo žinias buvo pasiektas užsibrėžtas tikslas – pasiektas stabilus sistemos laiko poslinkio svyravimas kurio amplitudinės reikšmės praktiškai neviršija 10 mikrosekundžių.



13 pav. Pradiniai laiko poslinkio eksperimento rezultatai



14 pav. Galutiniai laiko poslinkio eksperimento rezultatai

Kaip gauti laiko poslinkio reikšmės ir kaip jas atvaizduoti naudojant „gnuplot“ programą, pateikiama pirmame priede. Tarpiniai eksperimento eigoje gauti grafikai taip pat pateikiami pirmame priede.

5.2 Laiko korekcijos metodo eksperimentas

Eksperimento tikslas yra įvertinti laiko korekcijos metodo naudą vienetinės kokybės metrikos matavimo tikslumui. Šis metodas taikomas naujai pasiūlytoje sistemos topologijoje siekiant išlaikyti rezultatų tikslumą.

5.2.1 Eksperimento priemonės

Norint atlikti eksperimentą, reikalingos šios priemonės:

- centrinis vietinis įrenginys su GPS laiko sinchronizacija,
- vietinis klientinis įrenginys su NTP laiko sinchronizacija naudojant centrinį vietinį įrenginį,
- nutolęs klientinis įrenginys su NTP laiko sinchronizacija naudojant centrinį vietinį įrenginį,
- kokybės sistemos modifikuota programinė įranga skirta klientiniam ir centriniam įrenginiams.

5.2.2 Eksperimento eiga

Eksperimentas bus atliekamas naudojant du klientinius įrenginius, kurie nutolę skirtingais atstumais nuo vietinio centrinio įrenginio. Naudojant egzistuojančio tinklo, kuriame įdiegta duomenų perdavimo kokybės analizė sistema, infrastruktūrą, pasirinktos klientinių įrenginių vietos:

- centrinis vietinis įrenginys – LitNET valdymo centras
- vietinis klientinis įrenginys – LitNET valdymo centras
- nutolęs klientinis įrenginys – Panevėžio institutas

Skirtingi atstumai tarp įrenginių reikalingi tam, kad įvertinti laiko korekcijos metodo įtaką skirtingų dydžių metrikom. Atstumas įtakoja paketų kelionės laiką, tad kuo didesnis atstumas, tuo didesnis paketo kelionės laikas (naudojant vienodą duomenų perdavimo kanalo spartą), kuo didesnis paketo kelionės laikas, tuo mažesnę įtaką tikslumui turi laiko korekcijos metodas. Eksperimento eigoje reikia įvertinti laiko korekcijos metodo įtaką matavimams, atliekamiems LitNET tinklo infrastruktūroje, kurio vienos krypties vėlinimo metrikos yra milisekundžių eilės, ir remiantis gautais rezultatais pateisinti arba nepateisinti metodo panaudojimo efektyvumą.

Norint įvertinti efektyvumą reikia atlikti šiuos matavimus:

- vienos krypties vėlinimą tarp vietinio centrinio ir klientinio įrenginių naudojant 100 baitų paketo „svorį“,
- vienos krypties vėlinimą tarp vietinio centrinio ir klientinio įrenginių naudojant 500 baitų paketo „svorį“,

- vienos krypties vėlinimą tarp vietinio centrinio ir nutolusio klientinio įrenginių naudojant 100 baitų paketo „svorį“,
- vienos krypties vėlinimą tarp vietinio centrinio ir nutolusio klientinio įrenginių naudojant 500 baitų paketo „svorį“,

Matavimam atlikti naudojama modifikuota programinė įranga, kuri įvertina matavime dalyvaujančių įrenginių lokalių laikrodžių poslinkį globalaus laiko atžvilgiu. Programa matavimo metu generuoja UDP paketus, kurių struktūra pateikiama žemiau:

Versija	Antraštės ilgis	Serviso tipo žymė	Paketo ilgis		
Identifikacija		Veliavėlės	Fragmento reikšmė		
Paketo gyvavimo laikas	Protokolas	Antraštės kontrolinė suma			
Siuntėjo IP adresas					
Gavėjo IP adresas					
Nustatymai ir kamšalas					
Siuntėjo prievadas		Gavėjo prievadas			
Ilgis		Kontrolinė suma			
Sekos numeris	Paketo laiko žymės		Papildomas svoris		

15 pav. Programos generuojamų UDP paketų struktūra

Paketo laukelyje „Sekos numeris“ yra fiksuojamas sugeneruoto paketo sekos numeris. Laukelį „Paketo laiko žymės“ sudaro du mažesni laukai, kuriuose fiksuojami paketo išsiuntimo bei gavimo laikai, o „svoris“ paketui suteikiamas pildant atitinkamą kiekį baitų iškart po laiko žymės. Paketų generavimo programos naudojimosi instrukcija pateikiama antrame priede.

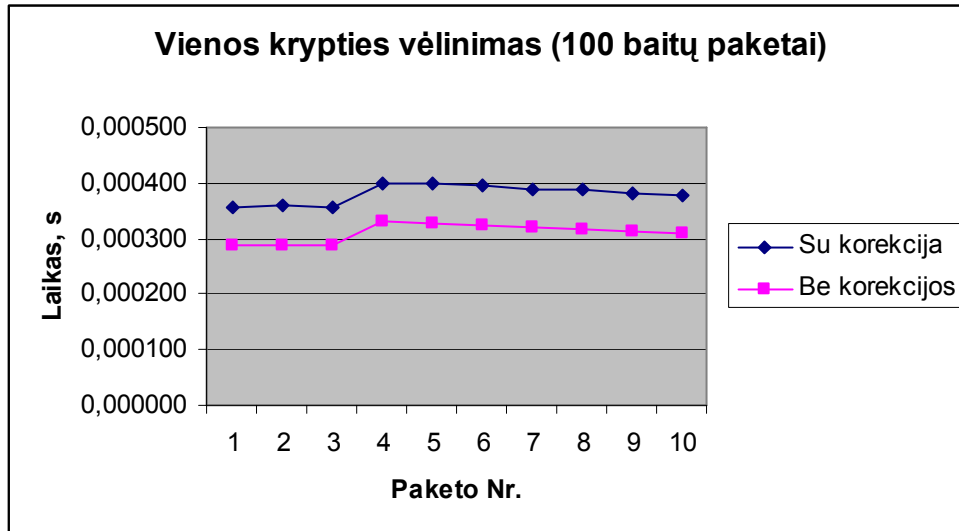
5.2.3 Vertinimo kriterijus

Eksperimento metu reikia nustatyti laiko korekcijos metodo efektyvumą. Efektyvumas įvertinamas stebint gautas vienos krypties vėlinimo metrikas kurios pateikiamos su korekcija ir be korekcijos. Jei korekcija turi svarią įtaką rezultatam – korekcijos naudojimas efektyvus.

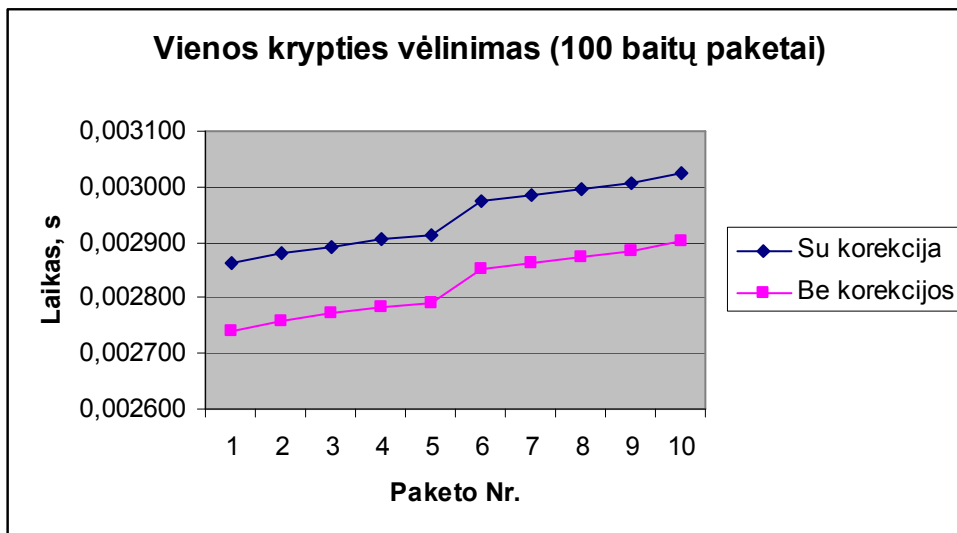
5.2.4 Eksperimento rezultatai

Eksperimento rezultatai yra matavimo metu gautų vienos krypties vėlinimo metriku grafikai, kurie pateikiami su korekcija ir be korekcijos. Grafikuose aiškiai matomas skirtumas tarp reikšmių su korekcija ir be korekcijos (16,17,18 ir 19 pav.).

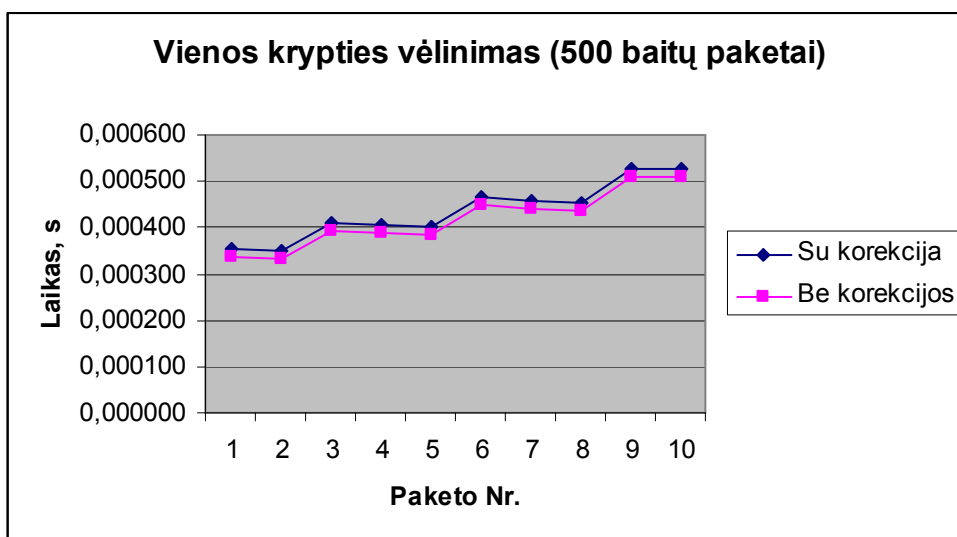
Jei duomenų perdavimo kokybės analizės sistemoje būtų registruotas ir stebimas kanalas tarp centrinio ir nutolusio įrenginio su vienos krypties vėlinimo SLA parametru lygiu 2.8 ms, tai laiko momentu kai buvo siūsti 6, 7, 8 ir 9 paketai, kokybės degradavimas nebūtų užfiksuotas (14 pav.). Jei sistema naudotų koreguotus duomenis, šis kanalo kokybės degradavimas būtų užfiksuotas.



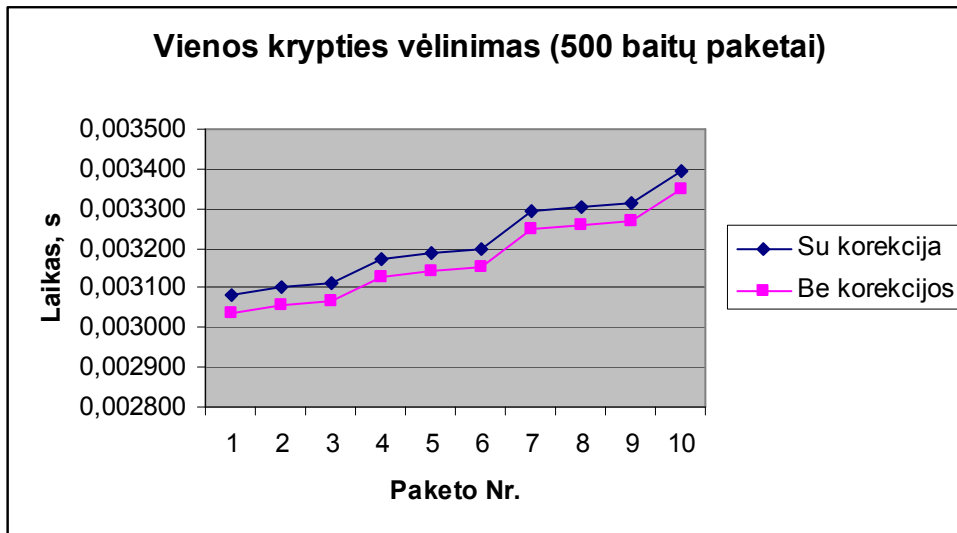
16 pav. Vienos krypties vėlinimas tarp centrinio ir vietinio įrenginių (100 baitų paketai)



17 pav. Vienos krypties vėlinimas tarp nutolusio ir centrinio įrenginių (100 baitų paketai)



18 pav. Vienos krypties vėlinimas tarp centrinio ir vietinio įrenginių (500 baitų paketai)



19 pav. Vienos krypties vėlinimas tarp nutolusio ir centrinio įrenginių (500 baitų paketai)

Remiantis gautais rezultatais galima teigti, jog laiko korekcijos metodo įtaka rezultatam yra svari, nes atliktos korekcijos laiko intervalas eksperimento metu siekė net 0.1 ms intervalą. Realizuotas ir eksperimentu patvirtintas laiko korekcijos metodas įdiegtas duomenų perdavimo kokybės analizės sistemoje.

Eksperimento metu naudotos paketų generavimo programos naudojimosi instrukcijos bei eksperimento metu gauti rezultatai pateikiami antrame priede.

6. Išvados

Siekiant suprojektuoti ir realizuoti mobilią duomenų perdavimo kanalų kokybės analizės sistemą, kuri būtų moderni ir atitiktų egzistuojančią analogiškų sistemų patirtį, buvo atlikta srities analizė. Analizės metu išnagrinėtos pagrindinės duomenų perdavimo kanalų kokybės metrikos, kurios patvirtintos tarptautinės IETF organizacijos ir aprašytos RFC dokumentuose.

Analizuojant laiko sinchronizacijos problemą, kuri egzistuoja tinklo kokybės metrikų stebėjimo sistemose, pasirinktas GPS sprendimas. Norint pasiekti kuo didesnę sistemos sinchronizacijos tikslumą, atliktas tyrimas bei eksperimentas, kurio metu praktiškai buvo pasiekti įmanomi teoriniai sistemos laikrodžio sinchronizacijos tikslumo rezultatai.

GPS laiko sinchronizacija kiekviename sistemos įrenginyje testavimo metu atskleidė klientinių sistemos įrenginių mobilumo problemą. Šios problemos sprendimui buvo pasiūlytas topologijos pakeitimas bei laiko korekcijos metodas. Eksperimentų metu gauti vienos krypties vėlinimo rezultatai naudojant laiko korekcijos metodą pakeistoje topologijoje įrodė, jog pasiūlyti pakeitimai teigiamai įtakoja sistemos mobilumą bei rezultatų tikslumą.

Remiantis darbe išnagrinėtais principais, realizuota ir eksperimentiškai išbandyta funkcionaliai pilna mobili duomenų perdavimo kokybės analizės sistema. Realizuota sistema gali atlikti duomenų perdavimo kanalo kokybės metrikų matavimus, savarankiškai stebėti jų reikšmes ir kokybės degradavimo atveju informuoti atsakingą asmenį. Sistemos mobilumas leidžia greitai ir efektyviai atlikti naujo duomenų perdavimo kanalo kokybės įvertį, o centralizuoto valdymo principas palengvina sistemos valdymą.

7. Literatūra

- [1] *IP Performance Metrics* [interaktyvus],
<http://www.ietf.org/html.charters/ippm-charter.html> [žiūrėta 2006-03-04]
- [2] *International Engineering Task Force* [interaktyvus], <http://www.ietf.org>
[žiūrėta 2006-03-03]
- [3] *Request For Comments* [interaktyvus], <http://www.rfc-editor.org>
[žiūrėta 2006-03-03]
- [4] Paxson, V.; Almes, G.; Mahdavi, J.; ir Mathis, M.
RFC 2330 - Framework for IP Performance Metrics [interaktyvus],
<http://www.faqs.org/rfcs/rfc2330.html> , 1998 kovas [žiūrėta 2004-11-04]
- [5] Mahdavi, J.; ir Paxson, V.
RFC 2678 - IPPM Metrics for Measuring Connectivity [interaktyvus],
<http://www.faqs.org/rfcs/rfc2678.html> , 1999 rugsėjis [žiūrėta 2004-11-04]
- [6] Almes, G.; Kalidindi, S.; ir Zekauskas, M.
RFC 2679 - A One-way Delay Metric for IPPM [interaktyvus],
<http://www.faqs.org/rfcs/rfc2679.html> , 1999 rugsėjis [žiūrėta 2004-11-04]
- [7] Almes, G.; Kalidindi, S.; ir Zekauskas, M.
RFC 2680 - A One-way Packet Loss Metric for IPPM [interaktyvus],
<http://www.faqs.org/rfcs/rfc2680.html>, 1999 rugsėjis [žiūrėta 2004-11-05]
- [8] Almes, G.; Kalidindi, S.; ir Zekauskas, M.
RFC 2681 - A Round-trip Delay Metric for IPPM [interaktyvus],
<http://www.faqs.org/rfcs/rfc2681.html>, 1999 rugsėjis [žiūrėta 2004-11-05]
- [9] Demichelis, C.; ir Chimento, P.
RFC 3393 - IP Packet Delay Variation Metric for IP Performance Metrics (IPPM)
[interaktyvus], <http://www.ietf.org/rfc/rfc3393.txt> , 2002 rugsėjis [žiūrėta 2006-04-05]
- [10] Busse, I.; Deffner, B.; ir Schulzrinne, H.
Dynamic QoS Control of Multimedia Applications based on RTP ,
*First International Workshop on High Speed Networks and Open Distributed
Platforms, St. Petersburg, Russia, June 1995.*
- [11] Mills, D.
Network Time Protocol (Version 3) Specification, Implementation and Analysis
[interaktyvus], <http://www.ietf.org/rfc/rfc1305.txt> , gegužė 1992 [žiūrėta 2004-11-04]
- [12] Postel, J.
RFC 792 - INTERNET CONTROL MESSAGE PROTOCOL
[interaktyvus], <http://www.ietf.org/rfc/rfc792.txt> , 2002 rugsėjis [žiūrėta 2004-11-05]

- [13] Kamerling, J. Eric.
The Hping2 Idle Host Scan [interaktyvus],
http://www.giac.org/practical/gsec/Erik_Kamerling_GSEC.pdf [žiūrėta 2006-04-14]
- [14] Demichelis, C.
Improvement of the Instantaneous Packet Delay Variation (IPDV) Concept and Applications, Pasaulinis Telekomunikacijų kongresas 2000, Birminghamas, Gegužės 7-12, 2000.
- [15] Schulzrinne, H.; Casner, S.; Frederick, R.; ir Jacobson, V.
RFC 1889 - RTP: A Transport Protocol for Real-Time Applications [interaktyvus],
<http://www.ietf.org/rfc/rfc1889.txt> , sausis 1996 [žiūrėta 2006-04-14]
- [16] Luckie, Matthew J.; McGregor, Matthew J.; ir Braun, H.
Towards Improving Packet Probing Techniques [interaktyvus],
<http://mauras.sc-uni.ktu.lt/~dtroit/qosmon/uploads/docs/probetechniques.pdf>
[žiūrėta 2004-11-09]
- [17] Jaehoon, Jeong; Seungyun, Lee; ir Yongjin, Kim.
Design and Implementation of One-way IP Performance Measurement Tool
[interaktyvus], <http://mauras.sc-uni.ktu.lt/~dtroit/qosmon/uploads/docs/onewayIPPM.pdf>
[žiūrėta 2004-11-09]
- [18] Georgatos, Fotis; Gruber, Florian; Karrenberger, Daniel; ir Susajn, Ana.
Providing Active Measurements as a Regular Service for ISP's [interaktyvus],
<http://mauras.sc-uni.ktu.lt/~dtroit/qosmon/uploads/docs/serviceforISP.pdf>
[žiūrėta 2004-11-10]

8. Terminų ir santrumpų žodynas

BW – *Bandwidth*, pralaidumas

CoS – *Class Of Service*, IP protokolo antraštės žymė

GPS – *Global Positioning System*, tarptautinė globalaus pozicionavimo sistema, leidžianti specialiu įrenginiu nustatyti geografines koordinates (mūsų atveju, laiką taip pat).

ICMP – *Internet Control Message Protocol*, protokolas skirtas valdyti IP protokolu veikiančias aplikacijas

IETF – *International Engineering Task Force*, tarptautinė inžinerijos asociacija, kurios leidžiami standartai apima daug veiklos sričių.

IP – *Internet Protocol*, esminis šiuolaikinio interneto adresavimo protokolas.

IPDV – *IP delay variation*, paketų vėlinimo sklaida

IPMP – *IP Measurement Protocol*, IPPM matavimams kuriamas spec. protokolas

IPPM – *Internet Protocol Performance Metrics*, tai IETF darbo grupė, kuri užsiima IP protokolu perduodamų duomenų kokybės metrikų matavimo metodikų kūrimu.

LOSS – *Loss*, prarastų paketų kiekis

NMEA – *National Marine Electronics Association*, tai tarptautinė jūreivystei skirtų elektroninių įrenginių asociacija, kuri kuria ir patentuoja įvairius technologinius sprendimus.

OS – *Operating System*, operacinė sistema

OWD – *One Way Delay*, vienos krypties paketų vėlinimas

QoS – *Quality of Service*, duomenų perdavimo kokybės paslauga.

RFC – *Request For Comments*, tai dokumentas, kuriame detaliam aprašomas protokolas/metodas/technologija.

RTT – *Round Trip Time*, pilnas paketo kelionės laikas

SLA – *Service Layer Agreement*, tai paslaugos tiekimo sąlygų sutartis.

UDP – *User Datagram Protocol*, IP protokolo tipas

VoIP – *Voice over IP*, balso perdavimas IP tinklais.

VPS – *Variable Packet Size*, pralaidumo matavimo metodikos pavadinimas

9. Priedai

Pirmame priede pateikiama papildoma informacija susijusi su sisteminių įrenginių laiko sinchronizacijos eksperimentu, o antrame priede – laiko korekcijos metodo eksperimentu.

1 PRIEDAS. Sisteminių įrenginių laiko sinchronizacijos eksperimento papildoma informacija

Programinio paketo „ntpd“ konfigūracijos failo „minpoll“ ir „maxpoll“ reikšmės nustato minimalų ir maksimalų laiko intervalus, kurių ribose turi būti atlikta laiko sinchronizacijos užklausa.

Trimble Acutime įrenginio tvarkyklėje pagal nutylėjimą yra nustatytos šios reikšmės:

Lentelė 1. Standartinės "maxpoll" ir "minpoll" reikšmės

```
#define TRMB_MINPOLL 4 /* 16 seconds */
#define TRMB_MAXPOLL 5 /* 32 seconds */
```

Kaip matome, šios reikšmės apibrėžia laiko intervalą nuo 16 iki 32 sekundžių. Įmanomų reikšmių intervalas yra nuo 4 (16 sekundžių) iki 17 (36 valandos). Norint panaudoti šią savybę, reikia reikšmes nurodyti konfigūracijos faile:

Lentelė 2. "ntpd" konfigūracijos failo pavyzdys

```
server 127.127.29.X //naudojam Trimble Acutime tvarkyklę
fudge 127.127.29.X minpoll 4 maxpoll 5 //nurodom maxpoll ir minpoll reikšmes
fudge 127.127.29.X stratum 0 //laiko serverio hierarchijos lygmuo
fudge 127.127.29.X refid GPS //serverio pavadinimas
fudge 127.127.29.X time1 0.020 //signalo velinimo ivertis milisekundemis
```

Sekantis etapas yra operacinės sistemos ypatybių keitimas. Eksperimento metu buvo naudojamas Linux operacinės sistemos branduolys su „lilo“ operacinės sistemos įkrovimo programa, tad ACPI palaikymo branduolyje panaikinimas pateikiamas būtent tokiai operacinės sistemos konfigūracijai:

Lentelė 3. Sistemos įkrovimo programos "lilo" konfigūracijos failo ištrauka

```
# Kernel command line options that apply to all installed images go
# here. See: The `boot-prompt-HOWO' and `kernel-parameters.txt' in
# the Linux kernel `Documentation' directory.
#
# append=""
append="acpi=off"
## šis pakeitimas reikalauja operacinės sistemos perkrovimo
```

Atlikus programos „ntpd“ bei operacinės sistemos pakeitimus, galima pradėti eksperimentą. Paleidus „ntpd“ programą, vartotojui valandos bėgyje minutės intervalais reikia rinkti sistemos laikrodžio poslinkio informaciją. Poslinkio informaciją pateikia „ntptime“ komanda:

Lentelė 4. "ntptime" programos veikimo pavyzdys

```
dtroit@mauras:~$ ntp_time
ntp_gettime() returns code 0 (OK)
time c81ad448.8a207000 Sun, May 21 2006 14:58:00.539, (.539557),
maximum error 13815 us, estimated error 6 us
ntp_adjtime() returns code 0 (OK)
modes 0x0 (),
offset 4.000 us, frequency -39.851 ppm, interval 4 s,
maximum error 13815 us, estimated error 6 us,
status 0x1 (PLL),
time constant 2, precision 1.000 us, tolerance 512 ppm,
pps frequency 0.000 ppm, stability 512.000 ppm, jitter 200.000 us,
intervals 0, jitter exceeded 0, stability exceeded 0, errors 0.
```

Kad nereikėtų šito veiksmo pastoviai atlikinėti, sukurta pagalbinė C programa naudojanti „ntpd“ API sąsaja automatiniam šios informacijos surinkimui:

```

#include <sys/timex.h>
#include <sys/time.h>
#include <stdio.h>
int main(){
int i;
struct timex *adjtm;
adjtm = (struct timex *)malloc(sizeof(struct timex));
struct timeval ts;
for (i=0;i<=3600;i++) {
ntp_adjtime(adjtm);
printf("%i\t%i\n",i, (unsigned int) adjtm->offset);
sleep(1);
} //for
} //main

```

Sukompilavus šį išeities kodą, programa paleidžiama naudojant rezultatų išvesties nukreipimą : “#program > output.file”. Paleista programa automatiškai fiksuos lokalų sistemos laiko nuokrypį ir rezultatą pateiks „output.file“ byloje. Naudojant šioje byloje esančius duomenis ir „gnuplot“ programą gaunami rezultatų grafikai. Pateikiame „gnuplot“ programos komandinės eilutės pavyzdį, kuris sugeneruoja rezultatų grafikus:

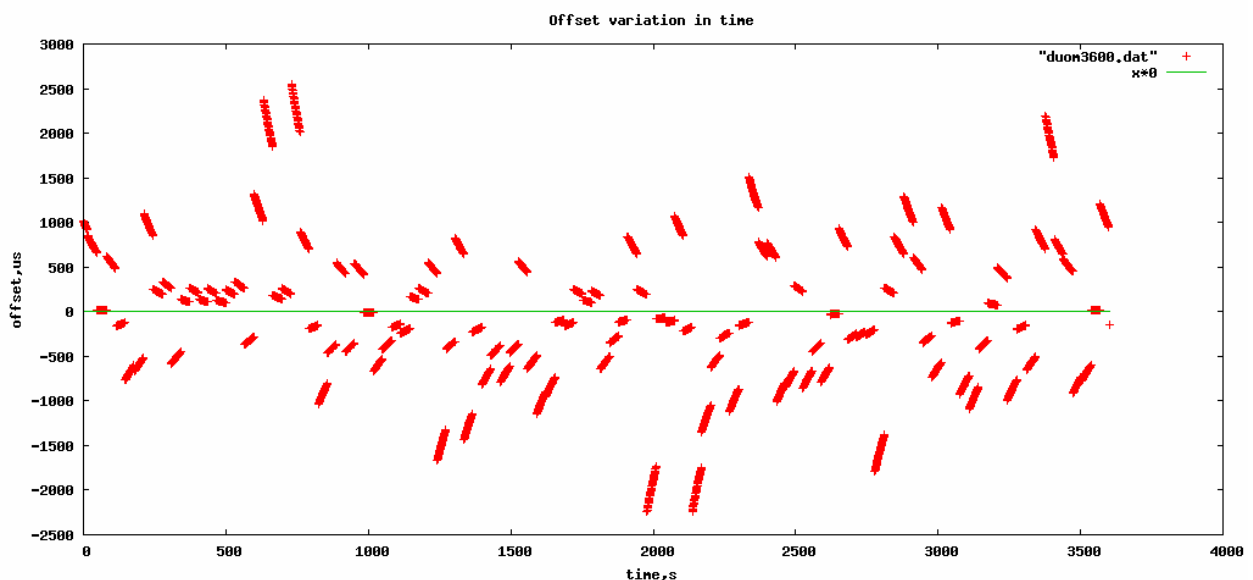
Lentelė 6. Grafikų generavimo programos "gnuplot" komandų seka

```

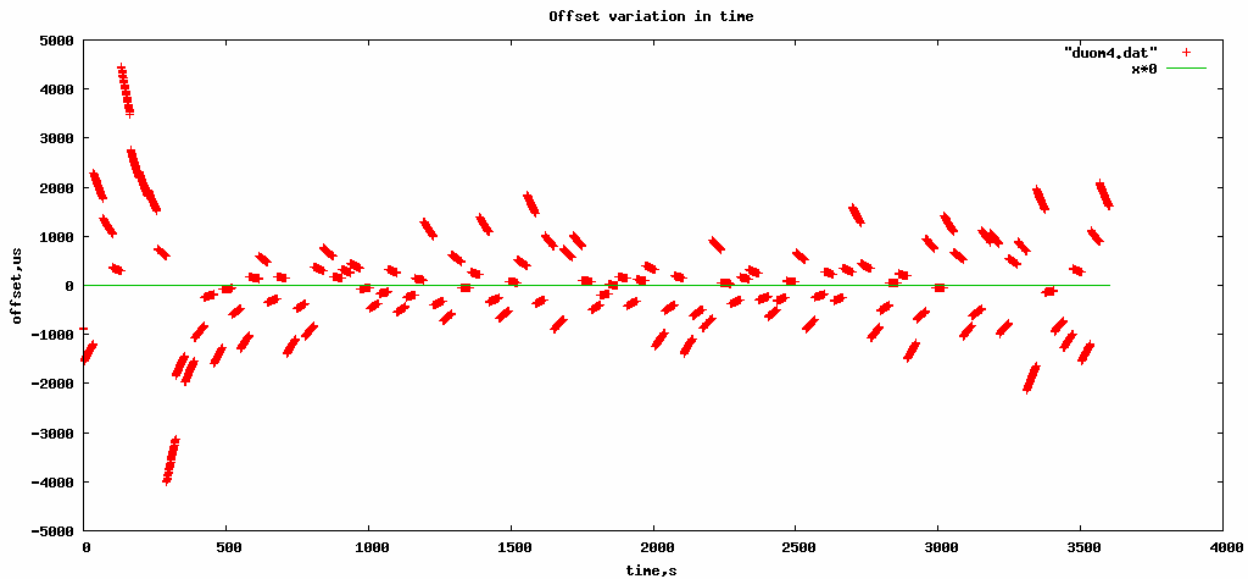
gnuplot> set terminal png transparent size 1024,400
gnuplot> set xlabel "laikas,s"
gnuplot> set ylabel "poslinkis,us"
gnuplot> set title "Pavadinimas grafikos"
gnuplot> set output "rezultatu_failas.png"
gnuplot> plot "output.file",x*0
gnuplot> quit

```

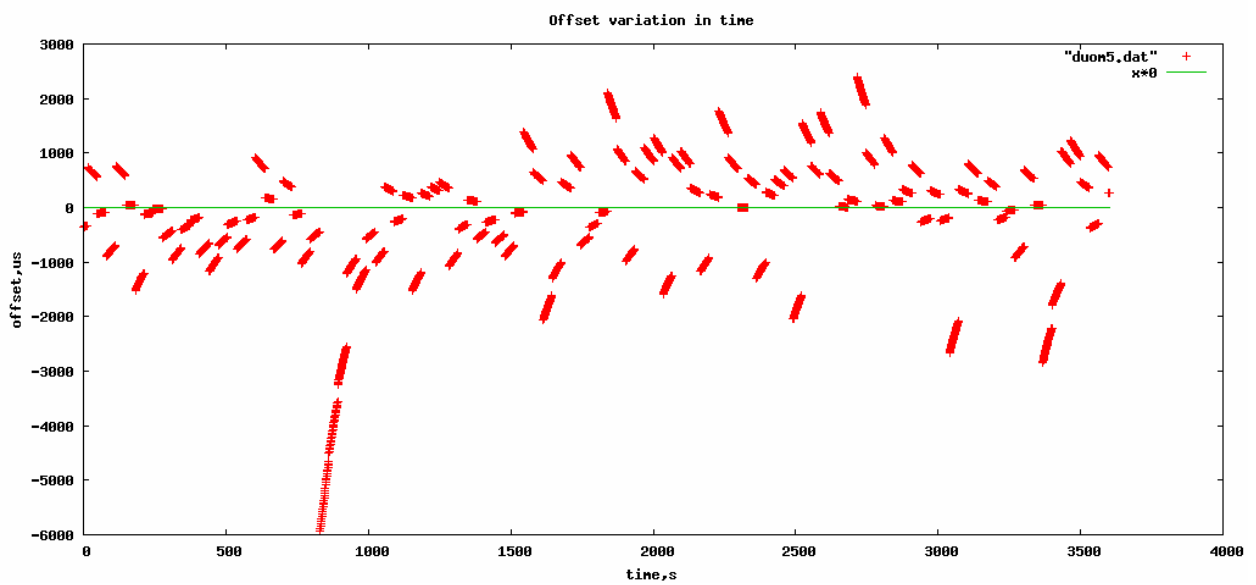
Naudojant pagalbinę programą ir „gnuplot“ buvo gauti eksperimento rezultatų grafikai. Esminiai grafikai pateikiami „Eksperimentinė dalis“ skyrelyje, o čia pateiksime tarpinius eksperimento grafikus, kurie buvo gauti laikantis eksperimento eigos tvarkos.



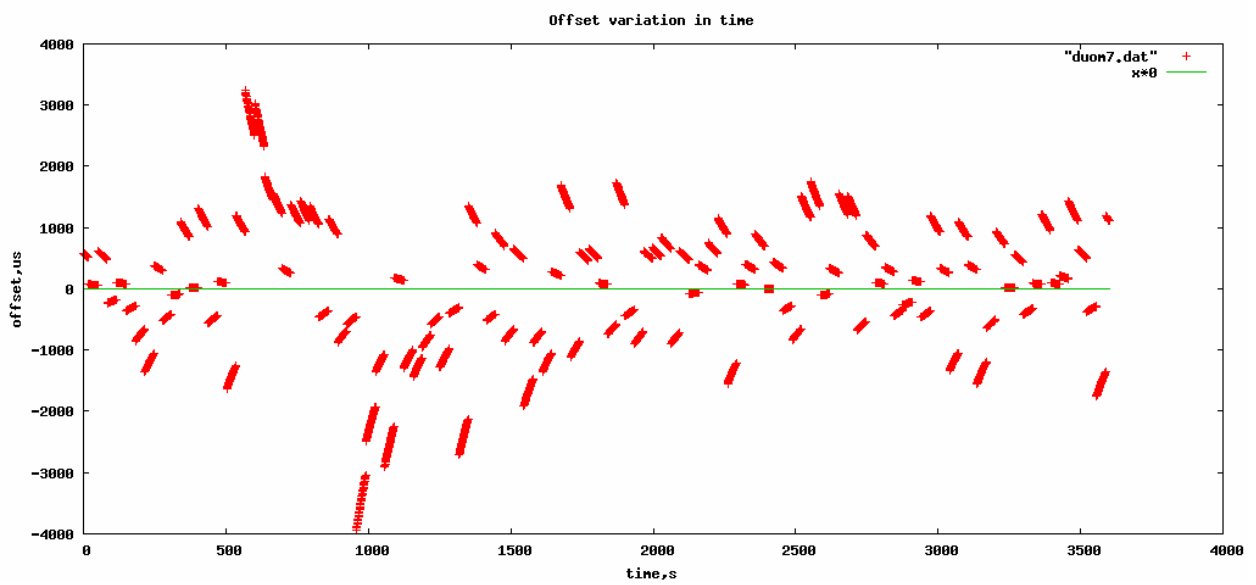
1 pav. Laiko poslinkio rezultatai nenaudojant "minpoll" ir "maxpoll"



2 pav. Laiko poslinkio rezultatai atjungus APIC palaikymą



3 pav. Laiko poslinkio rezultatai atjungus APIC ir ACPI palaikymą



4 pav. Laiko poslinkio rezultatai be APIC, APIC ir "noflushd" proceso

2 PRIEDAS. Laiko korekcijos metodo eksperimento papildoma informacija

Eksperimentui atlikti, buvo modifikuota pradinė projekto metu sukurta paketų generavimo programa. Pakeitimai labai minimalūs ir neturi įtakos generuojamų paketų formatui. Nemokamas išeities kodas bus pateiktas projekto internetiniame puslapyje.

Programa veikia klientas-serveris architektūros pagrindu, todėl ją sudaro dvi dalys – klientinė ir valdančioji. Eksperimento metu naudojama tinklo topologija ir eigos aprašymas paaiškina kokiame įrenginyje kokia programos dalis turi veikti.

Norint atlikti eksperimentą, reikia žinoti programos klientinės ir valdančiosios dalių raktus, skirtus įvairių parametrų nustatymui. Klientinė programa vadinasi „udpgenctrl“, o valdančioji „udpgen“.

1lentelė. "udpgenctrl" raktų sąrašas

```
nevezis:/home/dtroit/qosmon# ./udpgenctrl -h
UDPGenCTRL v 1 usage:
udpgenctrl [options]
    -c      - packet count (default 5)
    -l      - packet size with ip and udp header included (default 100)
    -p      - port of remote udpgen server (default 1121)
    -s      - host where udpgen server is running
    -h      - this help information
    -o      - show time offset
    -v      - verbose mode
```

Standartinė šios programos versija neturi rakto „-o“, kuris leidžia pažiūrėti matavime dalyvaujančių sistemų laiko poslinkius, kurie įrašyti matavimo paketuose.

2 lentelė. "udpgen" raktų sąrašas

```
nevezis:/home/dtroit/qosmon# ./udpgen -h
UDPGen v 1 server usage:
    -d      - run server in daemon mode
    -l      - log server sessions to syslog
```

Eksperimento metu valdančioji programa buvo paleista Panevėžio institute, o klientinė programa paleista iš LitNET valdymo centre esančio valdančiojo serverio:

3lentelė. Paketų generavimo programos rezultatai

```
qosmon@krioklys:~/bin$ ./udpgenctrl -s nevezis -o -c 10 -l 100
1:1148127570.659412(-77)-1148127570.662276(45)
2:1148127570.659433(-77)-1148127570.662314(45)
3:1148127570.659439(-77)-1148127570.662332(45)
4:1148127570.659443(-77)-1148127570.662347(45)
5:1148127570.659448(-77)-1148127570.662362(45)
6:1148127570.659452(-77)-1148127570.662425(45)
7:1148127570.659457(-77)-1148127570.662441(45)
8:1148127570.659461(-77)-1148127570.662457(45)
9:1148127570.659466(-77)-1148127570.662472(45)
10:1148127570.659470(-77)-1148127570.662493(45)
qosmon@krioklys:~/bin$ ./udpgenctrl -s nevezis -o -c 10 -l 500
1:1148127747.66647(0)-1148127747.69731(43)
2:1148127747.66667(0)-1148127747.69770(43)
3:1148127747.66673(0)-1148127747.69787(43)
4:1148127747.66679(0)-1148127747.69853(43)
5:1148127747.66683(0)-1148127747.69870(43)
6:1148127747.66688(0)-1148127747.69887(43)
7:1148127747.66693(0)-1148127747.69985(43)
8:1148127747.66698(0)-1148127747.70001(43)
9:1148127747.66703(0)-1148127747.70016(43)
10:1148127747.66709(0)-1148127747.70102(43)
```

Skaitinės reikšmės gautos viso eksperimento eigoje pateikiamos sekančioje lentelėje:

3 lentelė. Skaitinės reikšmės gautos eksperimento metu

Lokalus klientinis -> lokalus valdantysis (100 baitu paketai)		Su korekcija	Be korekcijos	
0,014686	0,015042	0,000356	0,000286	Poslinkis B = -1us
0,014721	0,015080	0,000359	0,000289	Poslinkis A = -71us
0,014741	0,015097	0,000356	0,000286	
0,014762	0,015163	0,000401	0,000331	
0,014781	0,015180	0,000399	0,000329	
0,014800	0,015195	0,000395	0,000325	
0,014819	0,015209	0,000390	0,000320	
0,014839	0,015226	0,000387	0,000317	
0,014858	0,015241	0,000383	0,000313	
0,014877	0,015256	0,000379	0,000309	
Lokalus klientinis -> lokalus valdantysis (500 baitu paketai)		Su korekcija	Be korekcijos	
0,189649	0,190004	0,000355	0,000338	Poslinkis B = 2us
0,189693	0,190042	0,000349	0,000332	Poslinkis A = -15us
0,189714	0,190124	0,000410	0,000393	
0,189736	0,190143	0,000407	0,000390	
0,189759	0,190159	0,000400	0,000383	
0,189782	0,190247	0,000465	0,000448	
0,189804	0,190263	0,000459	0,000442	
0,189826	0,190279	0,000453	0,000436	
0,189849	0,190377	0,000528	0,000511	
0,189871	0,190396	0,000525	0,000508	
Nutoles klientinis -> lokalus valdantysis (100 baitu paketai)		Su korekcija	Be korekcijos	
0,659412	0,662276	0,002864	0,002742	Poslinkis B = 45us
0,659433	0,662314	0,002881	0,002759	Poslinkis A = -77us
0,659439	0,662332	0,002893	0,002771	
0,659443	0,662347	0,002904	0,002782	
0,659448	0,662362	0,002914	0,002792	
0,659452	0,662425	0,002973	0,002851	
0,659457	0,662441	0,002984	0,002862	
0,659461	0,662457	0,002996	0,002874	
0,659466	0,662472	0,003006	0,002884	
0,659470	0,662493	0,003023	0,002901	
Nutoles klientinis -> lokalus valdantysis (500 baitu paketai)		Su korekcija	Be korekcijos	
0,066647	0,069731	0,003084	0,003039	Poslinkis B = 45us
0,066667	0,069770	0,003103	0,003058	Poslinkis A = 0us
0,066673	0,069787	0,003114	0,003069	
0,066679	0,069853	0,003174	0,003129	
0,066683	0,069870	0,003187	0,003142	
0,066688	0,069887	0,003199	0,003154	
0,066693	0,069985	0,003292	0,003247	
0,066698	0,070001	0,003303	0,003258	
0,066703	0,070016	0,003313	0,003268	
0,066709	0,070102	0,003393	0,003348	