

**VILNIAUS UNIVERSITETAS
KAUNO HUMANITARINIS FAKULTETAS**

INFORMATIKOS KATEDRA

Verslo informatikos studijų programa
Kodas 62109P101

MARIUS NARVYDAS

MAGISTRO BAIGIAMASIS DARBAS

**INTERNETINĖS TELEFONIJOS (VoIP) KANALAIS PERDUOTOS KALBOS
KOKYBĖS ANALIZĖ**

Kaunas 2008

**VILNIAUS UNIVERSITETAS
KAUNO HUMANITARINIS FAKULTETAS**

INFORMATIKOS KATEDRA

MARIUS NARVYDAS

MAGISTRO BAIGIAMASIS DARBAS

**INTERNETINĖS TELEFONIJOS (VoIP) KANALAIS PERDUOTOS KALBOS
KOKYBĖS ANALIZĖ**

Leidžiama ginti _____

Magistrantas _____

(parašas)

Darbo vadovas _____

(parašas)

Dr. Doc. Vytautas. E .Rudžionis

(darbo vadovo mokslo laipsnis, mokslo
pedagoginis vardas, vardas ir pavardė)

Darbo įteikimo data _____

Registracijos Nr. _____

Kaunas 2008

TURINYS

TURINYS	3
SANTRUMPŲ SĄRAŠAS	5
PAVEIKSLŲ SĄRAŠAS	6
LENTELIŲ SĄRAŠAS	7
SANTRAUKA	8
ĮVADAS	9
TEORINĖ-ANALITINĖ DALIS	11
1.1 IP telefonijos koncepcija	11
1.2 IP telefonijos paslaugų vartojimas	12
1.3 VoIP protokolo struktūra.....	14
1.3.1. Sesijos inicijavimo protokolas (SIP).....	15
1.3.1.1. SIP komunikavimo modeliai.....	16
1.3.1.2. Realaus laiko transporto protokolas (RTP)	19
1.3.1.3. RTP kontrolės protokolas (RTCP)	19
1.3.1.4. Sesijos aprašymo protokolas (SDP)	20
1.3.2. H.323 protokolas	21
1.3.2.1. H.323 protokolų rinkinys	21
1.3.2.2. H.323 veikimas.....	22
1.3.3. SIP ir H.323 palyginimas	24
1.4 Probleminiai IP telefonijos aspektai.....	25
1.4.1. Uždelsimai (delay)	26
1.4.2. Paketų praradimai (packet loss)	30
1.4.3. Problemų sprendimai, metodai.....	30
1.5 Tyrimo metodologija.....	31
1.5.1. Furje analizė	31
2. SPRENDIMO METODIKA	36
2.1 Eksperimentinių failų įrašymas.....	36
2.2 Eksperimentinių failų apdorojimas	36
2.3 Rezultatų susisteminimas ir analizė	38
3. EKSPERIMENTINIS SKYRIUS	39
3.1 Duomenų rinkimas	39

3.2	Duomenų apdorojimas ir analizė.....	41
3.2.1.	I etapo rezultatai	41
3.2.2.	II-o etapo rezultatai	43
3.2.3.	I-ojo ir II-ojo eksperimento etapų rezultatų palyginimas	46
IŠVADOS IR PASIŪLYMAI.....		49
LITERATŪRA		50
1 PRIEDAS	Duomenų apdorojimo algoritmas	53
2 PRIEDAS	Eksperimentinių failų rodyklė	55

SANTRUMPŲ SĄRAŠAS

IP telefonija – internetinė telefonija

IT – informacinės technologijos

IP – internetinis protokolas

VoIP (voice over internet protocol) – balsas, perduodamas IP protokolu.

PSTN – viešasis perjungiamasis telefono tinklas

PBX – telefoninė biuro stotelė

RTP – realaus laiko transporto protokolas

RTCP – RTP kontrolės protokolas.

DFT – diskrečioji Furje transformacija.

GFT – greitoji Furje transformacija

PAVEIKSLŲ SĄRAŠAS

1 pav. Supaprastinta IP telefonijos schema	12
2 pav. IP telefonijos vartotojų skaičius	13
3 pav. Pajamos iš IP telefonijos	14
4 pav. VoIP protokolas.....	15
5 pav. Tiesioginis SIP komunikavimo modelis.....	16
6 pav. SIP komunikavimo per proksi serverį modelis	17
7 pav. SIP komunikavimo per peradresavimo serverį modelis	18
8 pav. SIP protokolo struktūra.....	19
9 pav. H.323 skambučio valdymas.....	23
10 pav. Užvėlimų susiformavimo sritys tinkle.....	29
11 pav. Diskretinis signalas.....	32
12 pav. Transformuotas signalas	32
13 pav. Diskrečioji Furje transformacija.....	34
14 pav. Algoritmo vykdymo chema	37
15 pav. Eksperimento techninės, programinės įrangos schema	39
16 pav. Vidurkio reikšmių ūselinė diagrama	43
17 pav. Vidurkio reikšmių pasiskirstymo grafikas.....	45
18 pav. II-ojo etapo duomenų ūselinė diagrama	46
19 pav. I-o ir II-ojo eksperimento etapų rezultatai	47

LENTELIŲ SĄRAŠAS

1 lentelė. H.323 protokolo sudėtis.....	21
2 lentelė. SIP ir H.323 palyginimas.....	25
3 lentelė. Uždelsimų specifikacija.....	26
4 lentelė. Glaudinimo Algoritmų sukelti užvėlinimai	27
5 lentelė. Serializavimo proceso sukelti uždelsimai.....	28
6 lentelė. Eksperimentinio failo parametrai	36
7 lentelė. Kompiuterių specifikacijos.....	40
8 lentelė. Eksperimentinės informacijos rinkimas	40
9 lentelė. I-ojo etapo rezultatai	42
10 lentelė. II-ojo etapo rezultatai.....	44
11 lentelė. Eksperimento etapų palyginimas.....	46

SANTRAUKA

NARVYDAS, Marius. (2008) *Quality Analysis of Speech Transmitted by VoIP (Voice Over IP) Channels*. MBA Graduation Paper. Kaunas: Vilnius University, Kaunas Faculty of Humanities, Department of Informatics. 52 p.

SUMMARY

VoIP (voice over IP protocol) is quickly growing and expanding technology. Calls and other services are much cheaper than traditional ones. Nevertheless it meets some quality problems such as packet delay and packet loss.

The object of this paper is to explore voice transmitted by IP channels quality and to conclude about if that voice could be used in voice recognition systems. To complete this object, there are 4 main tasks:

- Find out the technologies and working techniques of the VoIP.
- Determine tools for quality analysis of the transmitted voice
- Build an algorithm which could help to extract useful data from voice signal.
- Summarize the results and conclude about ability to use transmitted voice in voice recognition systems.

There was made 150 transmissions („Skype“ system was used) of the voice during the experiment and all of them was recorded. Fast Fourier transform was used to transform those recording to frequency scale. The quality loss was analyzed; original voice record specter was compared with transmitted voice record specter. The transmissions were divided into two parts. Transmissions was made in 2008 February (1st part) and 2008 May (2nd part).

In the first part the results are almost the same, quality variations are stable (specter difference average is 1,44), all values are between 1,44 and 1,55 (specter difference average value). It was noticed that transmitted voice signal has large quality variations in the second part of the experiment. The quality loss is not stable (specter difference average values are between 0,36 and 1,45) and is very different in the second part. Nevertheless the average value of all specter difference of the 2nd part was 1,09. This means that quality of the transmitted voice got better.

If we want to use voice transmitted by IP channels in voice recognition systems, we should stabilize signal quality loss variations or create model witch could recognize those variations and adjust voice signal for voice recognition.

IVADAS

Internetas bei jo paslaugos – neatskiriama šiuolaikinės visuomenės dalis. Šiuo metu sunkiai įsivaizduojamas yra kompanijų darbas – be elektroninės bankininkystės, deklaracijų, prekybos sistemų ir pan. Viena iš tokių paslaugų yra sparčiai besivystanti internetinė telefonija (IP telefonija) arba VoIP (Voice Over IP – angl.). Esminis ir pagrindinis šios komunikavimo paslaugos pranašumas prieš tradicines priemones – kaina. Tarptautiniai IP telefonijos pokalbių tarifai jau senokai pigumu viršija tradicinės telefonijos įkainius¹, o neretai šie pokalbiai yra visiškai nemokami.

Nepaisant ekonomiškumo, IP telefonijos srityje kyla taip pat nemažai problemų. Kadangi balso informacija yra perduodama paketiniu būdu (SIP, H.323 protokolai) per IP tinklus ir neturi atskiro kanalo duomenų perdavimui, neretai susiduriama su tam tikromis kokybės problemomis. Svarbiausios jų – uždelsimas (vėlinimas) bei paketų praradimas.

Realaus laiko duomenų perdavimo procese egzistuoja toleruotinos paketų vėlinimo ribos (nuo 0 iki 150ms, atskirais atvejais iki 400ms)². Kiekvienas tinklo mazgas sukelia tam tikrus, nuo jo apkrovos, techninių savybių ir pan. priklausančius vėlinimus. Paketų praradimai taip pat gali atsirasti dėl tam tikrų tinklo mazgų savybių (buferio užsipildymo), taip pat dėl patekimo į aklavietę maršrute. Ir vienu, ir kitu atveju klausytojas negali aiškiai girdėti ir suprasti pašnekovo, atsiranda tam tikros pauzės, trikdžiai, trūkinėjimai tarp garsų, kartais komunikavimas gali tapti neįmanomas. Šias problemas vis dar išlieka mokslinių tyrimų objektu.

Realaus laiko paketų uždelsimus (vėlinimus) tyrinėjo D.Lijing, A.Rafik (2003). Jie pasiūlė metodą (formulę), prognozuojantį paketų praradimus bei vėlinimus. M.Hirannaiah, J.Amarnath, R.Pendse (2007) pasiūlė algoritmą, kuris atsiradus vėlinimams automatiškai keistų balso kodavimo algoritmą, H.Sannech, A.Stenger, K.Younes, B.Girod (1996), K.Kondo, K.Nakagawa (2006) pasiūlė metodus, prarastiems paketams ir dėl jų susidariusiems tušties laiko tarpams maskuoti.

Mokslininkai nagrinėję minėtas problemas daugiausiai gilinasi į atkirus IP telefonijos aspektus, siekdami patobulinti pagerinti, minimizuoti neigiamą poveikį (pvz., vėlinimus, paketų praradimą). Šio darbo esmė – IP telefonijos kanalu perduoto balso įrašo kokybės tyrimas, originalaus bei perduoto įrašo kokybiniai skirtumai, todėl darbo problema yra – balso, perduoto IP telefonijos kanalais kokybės nuostoliai. Tyrimo metu bus matuojami kokybės nuostoliai.

Šio darbo objektas – IP kanalu perduoto balso kokybė.

¹ UAB „Penki kontinentai“ 2004m duomenys. Prieiga per internetą <<http://news.penki.lt/news.aspx?Element=News&IMAction=ViewArticle&ArticleID=97992&Lang=LT>>

² Pagal 2003m ITU-T G.114 rekomendaciją

Darbo tikslas – ištirti bei įvertinti IP telefonijos kanalais perduoto balso kokybę ir nustatyti, ar perduotas balso įrašas yra tinkamas naudoti balso atpažinimo sistemose.

Uždaviniai tikslui pasiekti:

- Išsiaiškinti IP telefonijos veikimo principus, technologijas;
- Nustatyti balso, perduoto per IP kanalus, kokybės tyrimo metodus;
- Paruošti algoritmą, padėsiantį sudaryti duomenų rinkinį, skirtą nustatyti kokybės nuostoliams.
- Apibendrinti gautus rezultatus ir suformuoti išvadą apie galimybę IP kanalais perduotą balso signalą panaudoti balso atpažinimo sistemose.

Pirmajame darbo skyriuje nagrinėjama IP telefonijos technologija, galiojantys (naudojami) balso perdavimo IP tinklu standartai. Vėliau bus pereinama prie IP telefonijos problematikos nagrinėjimo, mokslinių tyrimų, metodų problemų sprendimui apžvelgimo. Pirmasis skyrius užbaigiamas tyrimo metodologijos aptarimu, aiškinama, kokie moksliniai metodai bus taikomi tyrime. 2-ajame, sprendimo metodikos, skyriuje pateikiama kaip bus vykdomas eksperimentas, kokie jo etapai. Trečiajame skyriuje pateikiami eksperimento duomenys bei rezultatai.

Darbe daugiausiai naudotasi 2000-2007 metų šaltiniais. Didžioji dalis šaltinių – internetiniai. Nemaža jų dalis – techninė literatūra, apibūdinanti tam tikrus IP telefonijos standartus. 95 proc. šaltinių sudaro įvairūs užsienio autorių tekstai.

Tyrimui atlikti naudojami metodai:

- duomenų analizės metodas - skirtas surinktai informacijai (apie VoIP), sisteminti;
- abstrakcijos, apibendrinimo metodai naudojami darbo išvadų formulavimui;
- visuotinio pažinimo metodas skirtas darbo tikslui, uždaviniams nustatyti bei formuluoti, apibendrinti turimai informacijai.

Darbo metu buvo nustatyti garso signalo, perduodamo per IP kanalus, kokybės nuostoliai, išsiaiškinta, jog jie gali būti stipriai kintantys, nepastovūs. Tyrimas naudingas, norint IP telefoniją pritaikyti balso atpažinimo sistemoms.

Darbą sudaro trys pagrindinės dalys, 52 puslapiai, 10 lentelių, 19 paveikslėlių, 2 priedai.

TEORINĖ-ANALITINĖ DALIS

Šioje dalyje apibrėšime bei detalizuosime analizuojamą problemą, išsiaiškinsime, koku lygiu ir kokie tyrimai yra jau atlikti probleminėje srityje. Taip pat nustatysime, koku požiūriu buvo nagrinėta problema, kas dėl vienokių ar kitokių priežasčių dar nebuvo tyrinėta. Pirmiausiai išsiaiškinsime IP telefonijos vietą šiuolaikinėje IT srityje.

1.1 IP telefonijos koncepcija

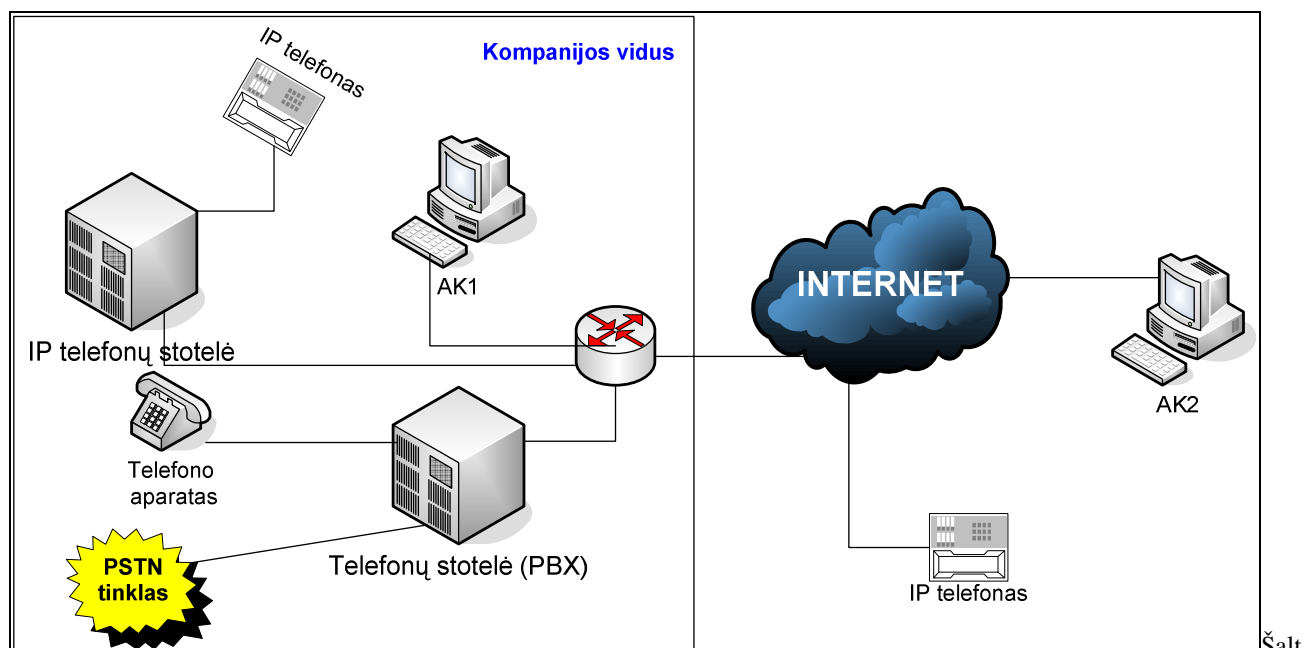
Pirmą kartą balsas VoIP protokolu buvo perduotas 1973 metais ARPANET³ tinklu. 1995-aisiais kompanija „Vocatel“ išleidžia specialią IP telefonijai skirtą programinę įrangą, kuri vėliau yra pritaikoma namų vartotojams. Vartojai mėgėjai pradeda suvokti bei atrasti IP telefonijos pranašumus prieš laidinius telefonus. Komunikavimui panaudojamos kompiuterio garso plokštės, mikrofonai, garso kolonėlės. Pagrindinis tokio komunikavimo būdo privalumas tampa pigūs arba visiškai nemokami pokalbiai tarp vartotojų. Pradėtas naudoti H.323 protokolas balsui perduoti (Barry J. 2004).

IP telefoniją kaip mokslinių tyrimų objektą galima būtų išskaidyti i tris pagrindines sritis: kalbos (balso) skaitmeninis kodavimas, pateikimas, informacijos transportavimas per internetą bei IP telefonijos bendradarbiavimas su nuo senų laikų egzistuojančiu PSTN⁴ tinklu (Montgomery, D., Hall, T.A., 1999).

Supaprastinta IP telefonijos schema pavaizduota 1 pav. Kompiuteris (AK2) arba IP telefonas gali būti prijungti tiesiai prie interneto ir naudojami komunikavimui. Kompiuteris būtinai turi turėti garso plokštę bei garso kolonėles arba ausines. Kitas IP telefonijos tinklo variantas pavaizduotas 1 pav. dešinėje pusėje – kompanijos telefonijos (komunikacinis) tinklas. Jį sudaro IP telefonai, PSTN telefonai sujungti į vieną tinklą. Sujungimas yra realizuojamas per specialias telefonų stoteles (IP telefonų stotelė, PBX) kurios geba valdyti ir nukreipinėti įeinančius bei išeinančius signalus, o taip pat juos transformuoti. Tam, kad galėtų komunikuoti PSTN telefonas su bet kuriuo interneto vartotoju, telefonų stotelė su integruotu arba atskiru įrenginiu paverčia skaitmeninį signalą į analoginį telefono ir atvirkščiai.

³ ARPANET (Advanced Research Projects Agency Network) – JAV gynybos departamento sukurtas kompiuterių tinklas, vėliau išsiplėtęs iki globalaus tinklo – šiuolaikinio internet.

⁴ PSTN (Public Switched Telephone Network) – Viešasis perjungiamasis telefono tinklas – telekomunikacijų tinklas, teikiantis telefono ryšio paslaugas viešiesiems abonentams UAB „Teo“
<http://www.teo.lt/gallery/Dokumentai/DPD/PSTN.pdf>



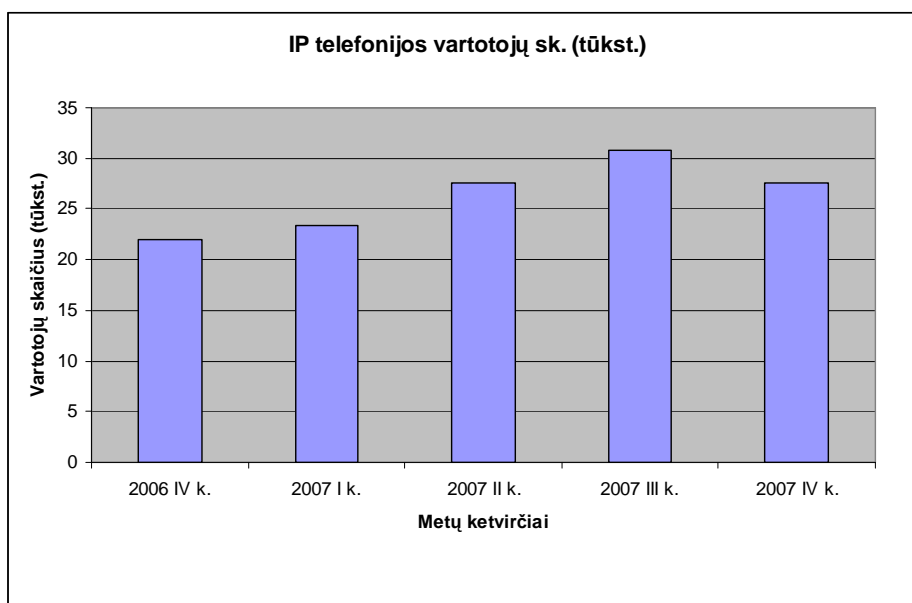
Šaltinis: sukurta autoriaus pagal Check Point Software Technologies Ltd. VoIP. Prieiga per internetą:
 <<http://www.opsec.com/voip/index.html>>

1 pav. Supaprastinta IP telefonijos schema

Be abejo įmanomos yra ir kitokios IP telefonijos schemos nei pavaizduota 1 pav. Vietinis kompiuterių tinklas su visa IP telefonijos infrastruktūra nuo išorės paprastai yra apsaugomas ugniasiene. Skaitmeninio signalo modemai gali būti statomi šalia telefonų stotelių (atskirai nuo jų) ir pan.

1.2 IP telefonijos paslaugų vartojimas

IP telefonijos paslaugų vartojimas Lietuvoje pakankamai sparčiai auga. 2 pav. pavaizduotas komercinės IP telefonijos vartotojų skaičiaus augimas Lietuvos Respublikoje.

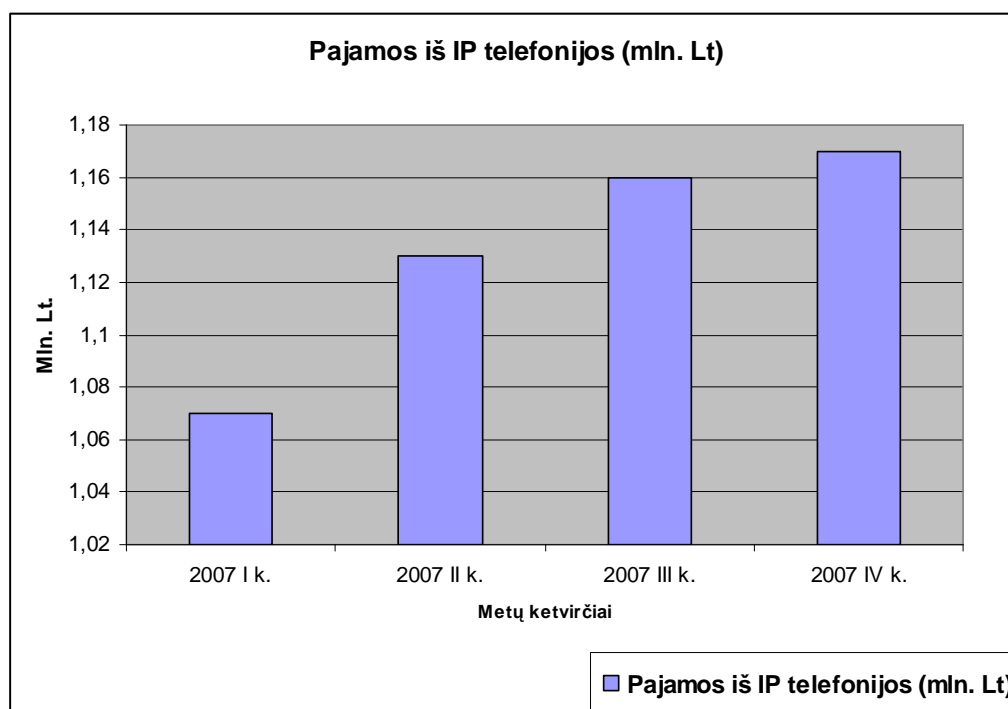


Šaltinis: sukuta autoriaus pagal Lietuvos Respublikos ryšių reguliavimo tarnybos pateiktus duomenis

2 pav. IP telefonijos vartotojų skaičius

Kaip matome grafike (2 pav.) nuo 2006-ųjų metų pabaigos per metus vartotojų skaičius išaugo 5,4 tūkstančiais ir 2007-ųjų metų pabaigoje siekė 27,6 tūkst. Didžiausias IP telefonijos vartotojų skaičiaus augimas vyko 2007-ųjų metų II ketvirtį – 15% ir III ketvirtį – 10proc. 2007 metų pabaigoje IP telefonijos vartotojų skaičius šiek tiek sumažėjo (iki 27,6 tūkst.).

Lietuvos įmonių, teikiančių IP telefonijos paslaugas pajamos taip pat augo. 3 pav. pavaizduotas Lietuvos kompanijų pajamų augimas.



Šaltinis: sukuta autoriaus pagal Lietuvos Respublikos ryšių reguliavimo tarnybos pateiktus duomenis

3 pav. Pajamos iš IP telefonijos

Pagal LR ryšių reguliavimo tarnybos ketvirtines ataskaitas, 2007-aisias metais paslaugų teikėjų pajamos sudarė apie 4,5 mln. Lt. Tai yra 15,2% daugiau nei pajamos, gautos 2006-aisiais metais. Didžiausias pajamų augimas 2007-aisiais metais vyko II-ąjį ketvirtį (3 pav.), taip pat kaip ir vartotojų augimas (2pav.). Nepaisant to, kad 2007 metų paskutinįjį ketvirtį pastebimas IP telefonijos paslaugų vartotojų skaičiaus sumažėjimas, vis dėlto paslaugų teikėjų pajamos didėjo. Tai galima sieti su IP telefonijos paslaugų brangimu, arba šių paslaugų reikšmingumo padidėjimu.

1.3 VoIP protokolo struktūra

VoIP protokolu yra tinklu perduodamas balsas. 4 pav. pavaizduota šio protokolo schema. Ją sudaro protokolų rinkinys kuris realizuoja, transportavimo, skambučio inicijavimo bei paslaugos kokybės užtikrinimo funkcijas (L.Sun 2004, p.15).

Taikymo lygis	Audio/ Video			
	RTP	RTCP	SIP	H.323
Transporto lygis	UDP		TCP	
Tinklo lygis	IP			
Fizinis lygis	Pvz., Ethernet			

Šaltinis: Sun, Lingfen (2004) Speech Quality Prediction for Voice over Internet Protocol Networks

4 pav. VoIP protokolas

VoIP protokolą sudaro sudaro RTP, RTCP protokolai, kurie yra atsakingi už savalaikį informacijos perdavimą ir kokybę, SIP arba H.323 protokolai, kuri yra skirti sesijai (skambučiui) inicijuoti. VoIP protokolų transportavimui naudojami UDP arba TCP/IP protokolai. UDP ir TCP protokolai turi tam tikrus skirtumus. „TCP protokolas užtikrina patikimą duomenų perdavimą, nes siunčia duomenis būdu su ryšio užmezgimu, tuo tarpu UDP neužtikrina patikimo duomenų pristatymo, nes siunčia juos būdu be ryšio užmezgimo“ (O. Ramašauskas 2005). TCP protokolas kontroliuoja paketo pristatymą gavėjui, taip pat paketų perdavimo eiliškumą, perduotos informacijos tikslumą (neiškraipymą). UDP protokolas rūpinasi, kad paketas kuo greičiau pasiektų adresatą ir nekontroliuoja, ar adresatas jį gavo. UDP daugiau naudojamas situacijose kuomet ne tiek svarbu ar atskiri paketai pasiekė adresatą, ar jie yra tikslūs, o greitas ir operatyvus perdavimas (garso, vaizdo transliacijos). Toliau panagrinėsime atskirus IP telefonijos protokolus.

1.3.1. Sesijos inicijavimo protokolas (SIP)

SIP protokolas realizuoja 5-ias ryšio sukūrimo bei nutraukimo funkcijas:

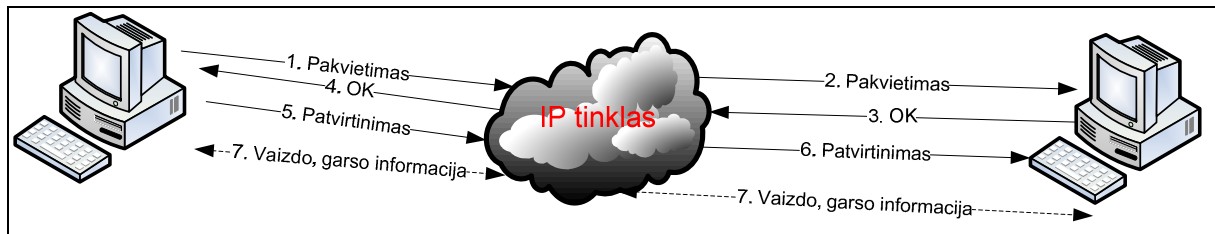
- Vartotojo lokalizacija: galinės vartotojo įrangos, kuri bus naudojama komunikavimui nustatymas.
- Vartotojo pasiekiamumas: atsiliepančiojo pasiruošimo komunikavimui nustatymas.
- Sesijos nustatymas (Session setup): „skambinimas“, abiejų pusių (skambintojo ir atsiliepančiojo) sesijos parametrų nustatymas.
- Sesijos valdymas: sesijos parametrų keitimas įtraukiant duomenų perdavimą, sesijos nutraukimą ir kitų servisų iškvietimą.

Ryšio tarp dviejų vartotojų užmezgimas pavaizduotas 5 pav.

1.3.1.1. SIP komunikavimo modeliai

T.Doumas (2004) išskiria 3 SIP komunikavimo modelius: tiesioginis (vartotojas su vartotoju), darbas per proksi serverį (proxy server), darbas per peradresavimo serverį (redirect server)

5 pav. pavaizduotas tiesioginio darbo tarp vartotojų modelis.



Šaltinis: Doumas, Thomas (2004) Next Generation Telephony: A Look at Session Initiation Protocol

5 pav. Tiesioginis SIP komunikavimo modelis

Tiesioginiame SIP komunikavimo modelyje, sesijos inicijavimas vyksta tiesiogiai tar dviejų vartotojų (5 pav.). Sesijos užmezgimas susideda iš 7 žingsnių:

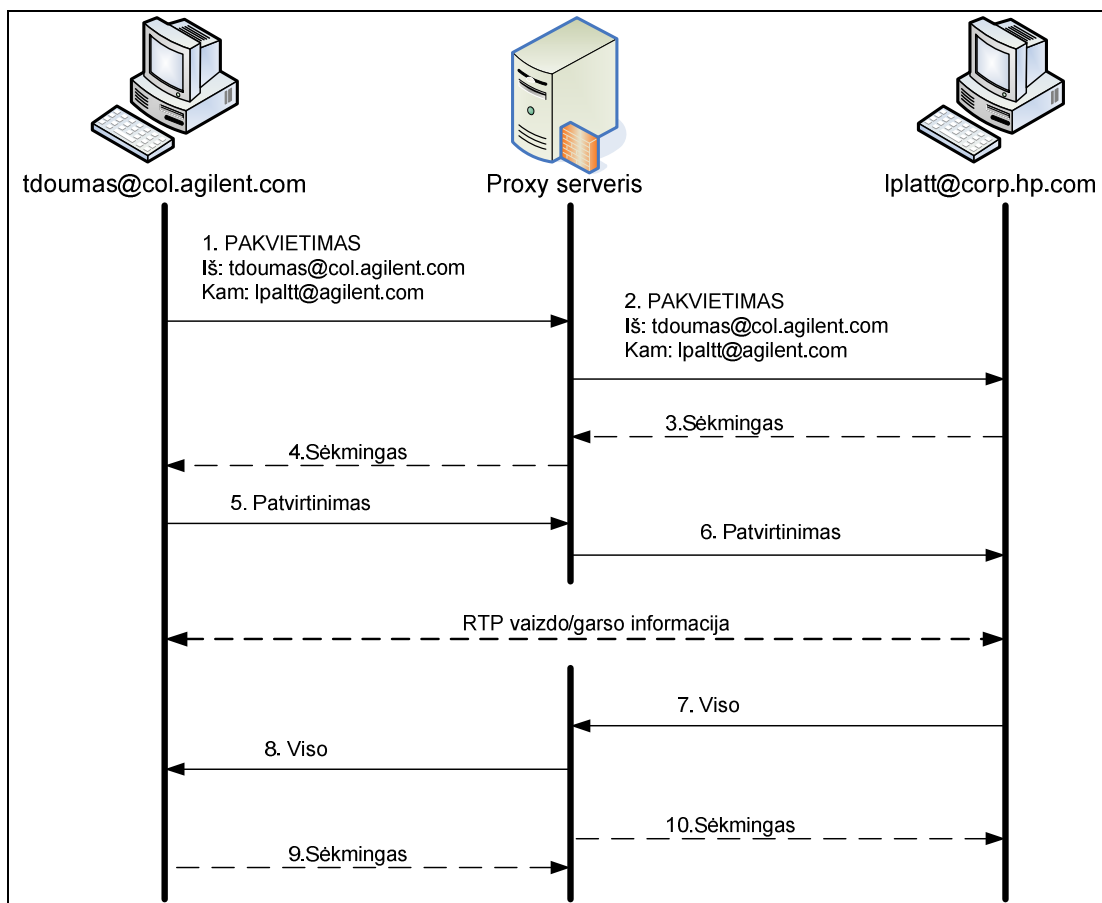
1,2 Pakvietimas – vartotojas siunčia adresatui pakvietimą ryšio užmezgimui

3,4 Adresatas išsiunčia kvietėjui informaciją, kad pakvietimą priėmė (sutinka užmegzti ryšį)

5,6 Kvietėjas siunčia adresatui patvirtinimą, jog gavo jo siųstą informaciją apie sutikimą.

7 Pradedamas apsikeitimas informacija – pokalbis (vaizdo, garso duomenų perdavimas).

Proksi serverio komunikavimo modelyje komunikavimas tarp vartotojų panašus, tačiau tarp dviejų vartotojų įsiterpia proksi serveris (6 pav.)

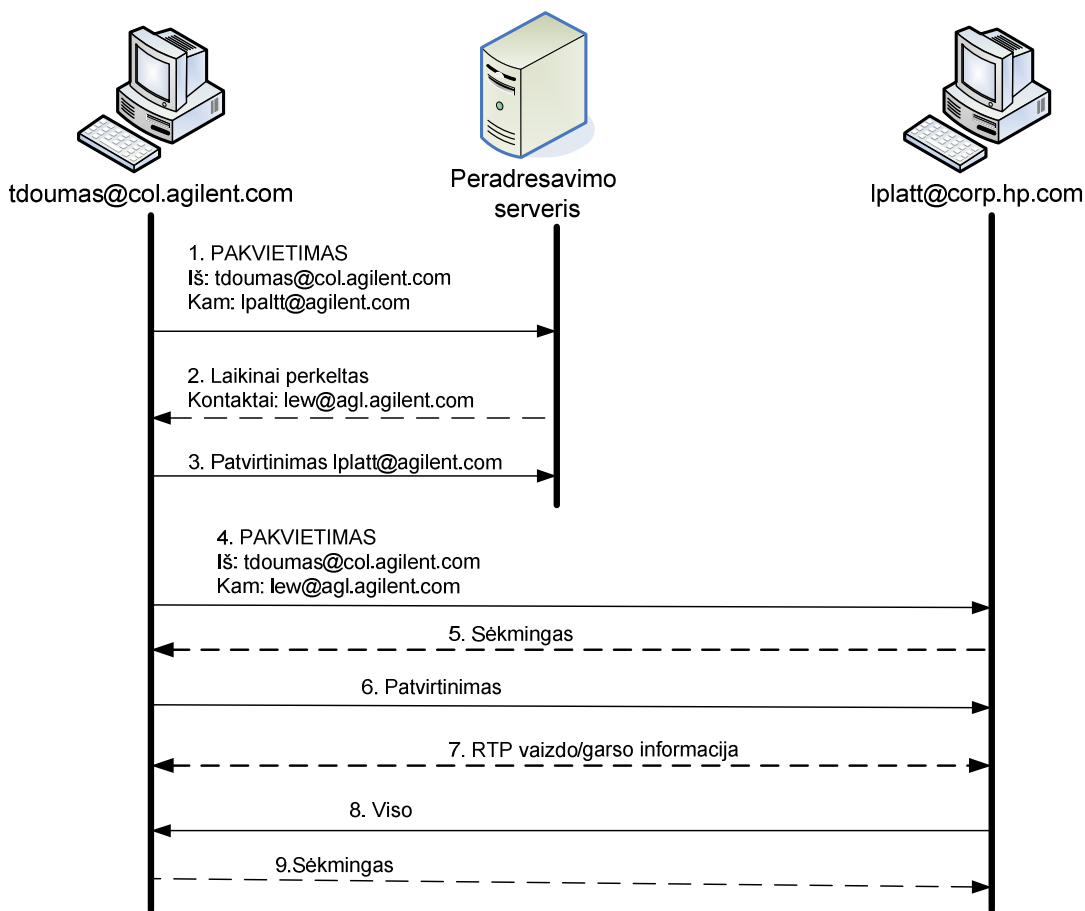


Šaltinis: Doulmas, Thomas (2004) Next Generation Telephony: A Look at Session Initiation Protocol

6 pav. SIP komunikavimo per proksi serverį modelis

SIP proksi serverio modelyje, visą sesijos sukūrimą ir užbaigimą kontroliuoja proksi serveris (kaip ir HTTP proksi serveris HTTP sistemoje), Tik pats vaizdo garso informacijos apsikeitimas vyksta tiesiogiai tarp vartotojų. Šiame modelyje sesijos užmezgimu ir palaikymu (išskyrus patį informacijos perdavimą) rūpinasi proksi serveris.

7 pav. pavaizduotas SIP veikimas per peradresavimo serverį. Šis modelis paremtas adresų apie klientus saugojimu.

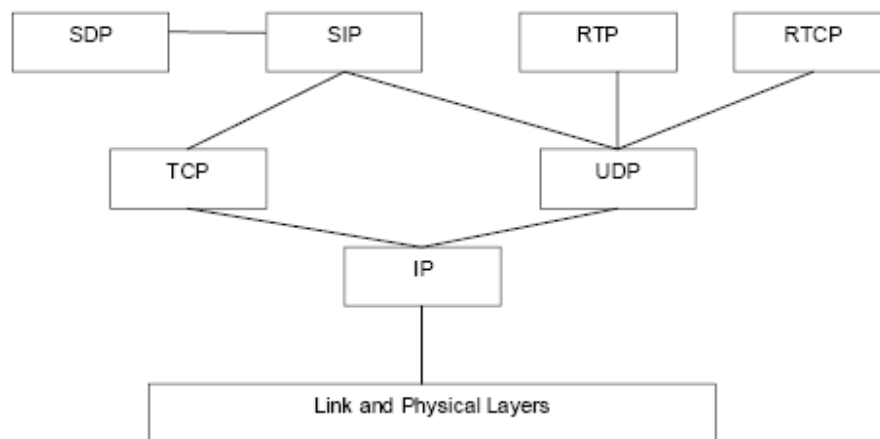


Šaltinis: Doulas, Thomas (2004) Next Generation Telephony: A Look at Session Initiation Protocol

7 pav. SIP komunikavimo per peradresavimo serverį modelis

Peradresavimo serverio modelyje skambintojas kreipiasi į peradresavimo serverį (redirect server), tam, kad gautų adresato kontaktus (7 pav. 1. Pakvietimas). Gavęs duomenis (2 laikinai perkeltas), siunčia peradresavimo serveriui patvirtinimą apie duomenų gavimą (3. Patvirtinimas), tuomet jau tiesiogiai siunčia adresatui pakvietimą (4 pakvietimas) užmegzti sesiją. Kai sesija patvirtinama adresato (6. Patvirtinimas), prasideda informacijos perdavimas (7). Baigus perdavimą, siunčiama pabaigos žinute (8. Viso – angl. Bye) ir patvirtinimas apie sesijos pabaigą (9. Sėkmingas).

8 pav. pavaizduota SIP protokolo struktūra. Ši protokolą sudaro SDP, RTP, RTCP protokolai.



Šaltinis: Doumas, Thomas (2004) Next Generation Telephony: A Look at Session Initiation Protocol

8 pav. SIP protokolo struktūra

Kadangi TCP, UDP IP yra daugiau mažiau bendrieji tinklo protokolai, jų šiame darbe nenagrinėsime. Detaliau panagrinėsime SDP, RTP, RTCP funkcijas.

1.3.1.2. Realus laiko transporto protokolas (RTP)

RTP naudojamas audio/video informacijos perdavimui. Pagrindinės RTP savybės yra eilės numeris, laiko fiksavimas (timestamp) bei duomenų tipas(payload type).

Eilės numeris yra reikalingas gavėjui, kad šis galėtų atsekti paketų eiliškumą, aptikti prarastus paketus bei paleisti audio ar video paketus teisinga tvarka. Tai yra ypatingai svarbu naudojant UDP kadangi nėra garantijos, jog paketai gavėją pasieks (jei iš viso pasieks) ta pačia tvarka kaip jie buvo išsiųsti.

Laiko fiksavimas yra naudojamas tam, kad gavėjas galėtų paleisti srautą, naudodamas tą patį laiko parinkimą (timing) kuris buvo naudotas perdavimo proceso metu. Kritiška padėtis susidaro tuomet, kai paketai, keliaudami tinklu, patiria varijuojančius užvėlinimus. Užvėlinimai įtakoja audio ir video kokybę.

Duomenų tipas nurodo audio ar video kodavimo metodą. Kodavimo metodas parenkamas atsižvelgiant į reikalavimus kokybei arba tinklo apkrovimui (Doumas 2004).

1.3.1.3. RTP kontrolės protokolas (RTCP)

RTCP yra paremtas periodiniu kontrolinių paketų perdavimu visiems sesijos dalyviams. RTCP vykdo šias funkcijas:

- Pagrindinė RTCP užduotis yra teikti informaciją apie duomenų perdavimo kokybę. Tai yra neatskiriama RTP, kaip transportavimo protokolo dalis, susijusi su apkrovimo bei srautų

kontrolės funkcijomis kituose transporto protokoluose. Siunčiant gavimo ataskaitas visiems sesijos dalyviams leidžia vienam, stebinčiam problemas, įvertinti, ar tos problemos yra vietinės, ar globalios. Naudojant tam tikrą duomenų perdavimo mechanizmą, pvz., grupinę transliaciją (multicast), į komunikavimą taip pat gali būti įtraukiamas tinklo paslaugų tiekėjas, kuris, nors ir nėra transliacijos klausytojas, gauna duomenų perdavimo ataskaitas kaip trečioji šalis, kuri prižiūri bei nagrinėja tinklo problemas.

- RTCP gabena RTP šaltiniui nuolatinį transporto-lygio identifikatorių, vadinamą CNAME (canonical name – angl.). Jei sistemoje atsiranda klaida arba programa yra perkraunama, gavėjas reikalauja CNAME tam, kad galėtų sekti kitų dalyvių įvykių eigą. CNAME tai pat reikalingas perduodamo vaizdo ir garso sinchronizavimui.
- Kita RTCP funkcija – pateikti minimalią sesijos kontrolės informaciją, pvz., identifikuoti dalyvį vartotojo sąsajoje. Tai labiausiai naudinga yra nekontroliuojamose sesijose, t.y. ten, kur nebūtina dalyvių narystė. RTCP gali būti apibūdinamas kaip patogus susisiekimo su kitais dalyviais kanalas (Rosenberg, Schulzrinne, Camarillo 2002).

1.3.1.4. Sesijos aprašymo protokolas (SDP)

Sesijos aprašymo protokolas (session description protocol) aprašo daugialypės informacijos sesijas: sesijos pranešimas, sesijos paskelbimas, ir kitų formų multimedia sesijų inicijavimas. SDP savaime neneša garso ar vaizdo informacijos, o padeda abiem komunikuojančioms pusėms „susitarti“, kokia informacija bus keičiamasi, koks jos tipas bei formatas. Sesijos aprašymą sudaro šios dalys:

- Sesijos pavadinimas ir tikslas.
- Sesijos trukmė (laiko tarpas, per kurį sesiją yra aktyvi)
- Daugialypė informacija, kuri sudaro sesiją.
- Informacija kuri reikalinga norint priimti/siųsti tą mediją (adresai, portai, formatai ir pan.).

Taip pat SDP protokolas gali saugoti informaciją apie tinklo apkrovą sesijos metu, asmens atsakingo už sesiją kontaktinius duomenis. Kalbant apie daugialypę (media) informaciją, SDP sesijos aprašyme įtraukiama:

- Informacijos tipas (vaizdas, garsas ir pan.)
- Transportavimo protokolas (RTP/UDP/IP. H.320 ir pan.)
- Informacijos formatas (H.261 video, MPEG video).

SDP protokolas gali dirbti dviem režimais: transliacijos (multicast) – kuomet informacija perduodama keliems gavėjams ir vartotojas su vartotoju (unicast) – kuomet informacija perduodama vienam vartotojui. Transliacijos sesijos apraše saugoma grupės gavėjų, kuriems bus siunčiama daugialypė informacija, adresai bei transportavimo porto informacija, o vartotojo su vartotoju režimo atveju – gavėjo adresas daugialypėi informacijai siūsti ir informacijos perdavimo porto numeris. (Handley, Jacobson, Perkins 2006).

1.3.2. H.323 protokolas

H.323 yra standartas, apibūdinantis komponentus, protokolus, procedūras, kurios teikia realaus laiko vaizdo, garso, duomenų perdavimo paslaugas IP tinklais. H.323 yra ITU-T⁵ rekomendacijų šeimos dalis, vadinama H.32x, kuri yra atsakinga už daugialypės informacijos perdavimo paslaugas įvairiuose tinkluose.

H.323 standartas yra realaus laiko garso, vaizdo ir duomenų perdavimo per paketinius tinklus kertinis akmuo. H.323 gali būti taikomas įvairiose schemose: vien tik garso perdavimo (IP telefonija), garso ir vaizdo perdavimo (vaizdo telefonija), garso ir duomenų, garso ir vaizdo ir duomenų. H.323 gali būti naudojama daugiavartotojiškame komunikavime. H.323 teikia daugybę paslaugų, todėl gali būti labai plačiai taikomas: asmeninio naudojimo, verslo, pramogų sistemose (IEC 2007).

1.3.2.1. H.323 protokolų rinkinys

H.323 sudaro labai didelis protokolų rinkinys, visi standarto protokolai išvardinti 1 lentelėje.

1 Lentelė

H.323 protokolo sudėtis

Protokolas	Funkcija
DVB	Skaitmeninė video transliacija
H.225	Aprašo, kaip siaurajuosčiuose (narrow-band) paketiniuose tinkluose turi būti valdoma garso, vaizdo informacija, tam kad galėtų būti teikiamos pokalbių paslaugos.
H.235	Apsauga, autentifikacija, šifravimas
H.245	Rūpinasi kanalo galimybėmis bei apkrovimu („derasi“ dėl galimybių vykdyti komunikavimą)
H.450.1	Skambinimas (skambučio perdavimas)
H.450.2	Naujo vartotojo prijungimas prie pokalbio
H.450.3	Skambučio peradresavimas, Skambučio peradresavimas kai užimta, skambučio peradresavimas, kuomet neatsiliepiama, skambučio nukreipimas.
H.450.4	Skambučio užlaikymas (pokalbio sustabdymas ir pratęsimas)
H.450.5	Skambučio perkėlimas (call park) – galimybė vartotojui sustabdyti pokalbį prie vieno

⁵ ITU-T – Tarptautinės telekomunikacijų sąjungos (International telecommunication union) padalinys, atsakingas už telekomunikacijos srities standartų kūrimą, priežiūrą ir pan.

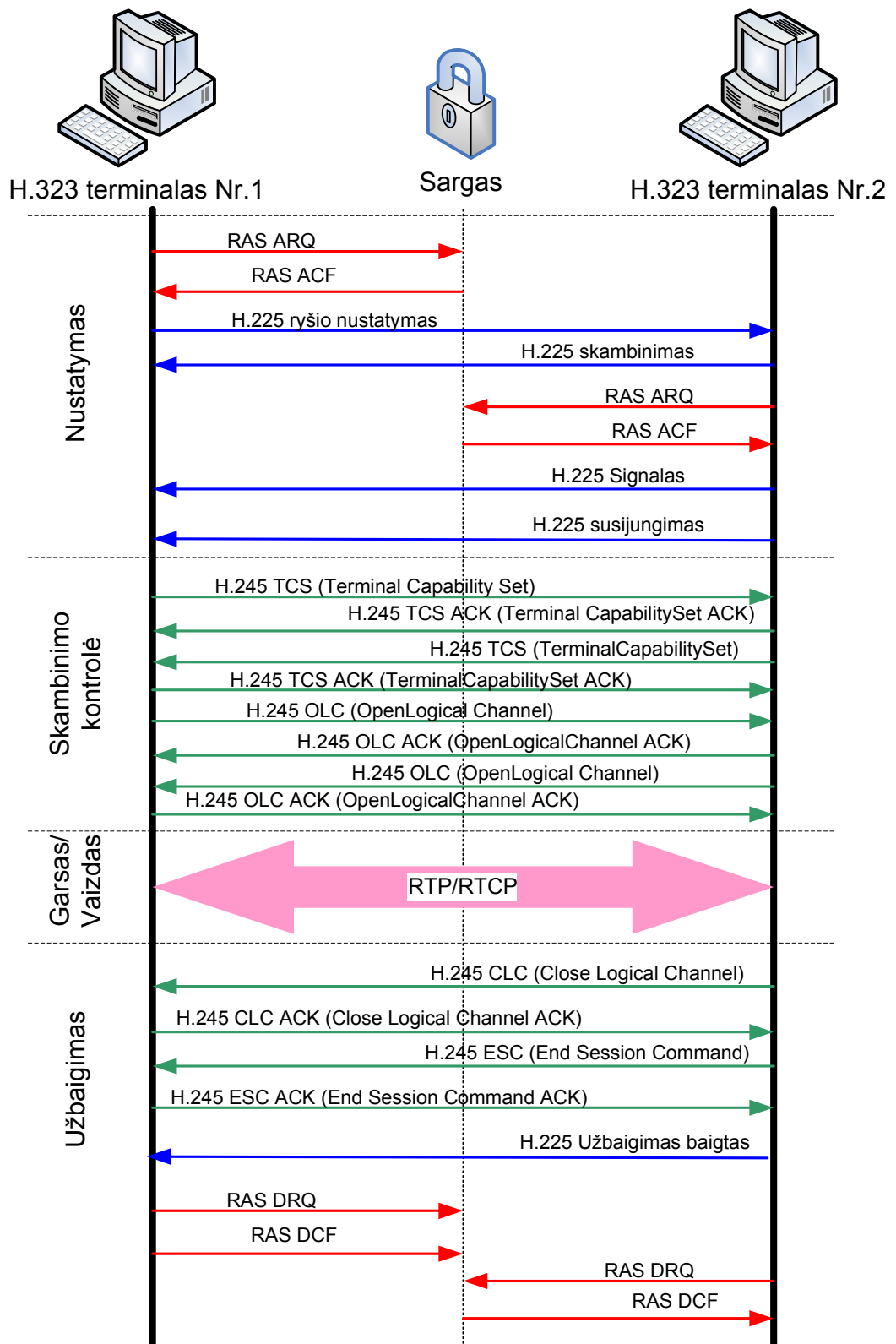
Protokolas	Funkcija
	galinio įrenginio (telefono, kompiuterio) ir pratęsti jį iš kito įrenginio.
H.450.6	Skambučio užlaikymas (jei adresatas kalba, jis mato, jog jam yra skambinama)
H.450.7	Informuoja apie varotojo statusą (vartotojo būsenos pasikeitimą)
H.450.8	Gabena skambinančiojo vardą
H.450.9	Informavimas apie atsilaisvinimą. Jeigu adresatas (A) yra užimtas, skambinantysis (B) yra informuojamas, kuomet A atsilaisvina (nebekalba telefonu). Paslaugą inicijuoja pats skambinantysis (B).
H.450.10	Užtikrina skambučio laukimą. Kuomet adresatas (A) yra užsiėmęs, skambinantysis (B) laukia, kol A kaip nors sureaguos į jį (peradresuos, atmes, pradės pokalbį su juo ir pan.)
H.450.11	Vartotojo įsiterpimo į pokalbį valdymas. Leidžia vartotojui (B) įsiterpti į kitą pokalbį tarp vartotojų A ir C. Jei A yra adresatas, tuomet C vartotojo skambutis gali būti užlaikomas, kol B bendraus su A, taip pat visi trys gali bendrauti konferencijos režimu arba vartotojas C gali tapti tyliu stebėtoju (silent monitoring).
H.450.12	Informacijos apie galinę vartotojų įrangą (programinę, techninę) apsikeitimas.
H.261	Aprašomas vaizdo informacijos srautas transportavimui
H.263	Spec. bitų srauto inkapsuliavimo į RTP protokolą formatas. Priklausomai nuo tinklo paketų dydžio bei „encoding“ informacijai nustatymų inkapsuliavimui naudojamas vienas iš trijų H.263 metodų.
Q.931	Valdo skambučio pradėjimą ir nutraukimą.
RAS	Valdo registraciją, leidimus, būseną.
RTCP	Žr. skyr. 1.3.1.3.
RTP	Žr. skyr. 1.3.1.2.
T.38	Fakso žinutės, perduodamos per IP tinklus protokolas
T.125	Aprašo daugiavartotojišką (multipoint) duomenų perdavimą, konferencijas ir pan.

Šaltinis: sudaryta autoriaus pagal www.protocols.com informaciją.

Kaip matome 1 lentelėje, H.323 standartas skambučių valdymui naudoja kur kas daugiau protokolų nei SIP. Kitame skyriuje panagrinėsime H.323 veikimo principus.

1.3.2.2. H.323 veikimas

H.323 skambučio veikimo principas pavaizduotas 9 pav. Skambučiui vykdyti reikalingi trys elementai: skambinančiojo terminalas (T1), adresato terminalas (T2) bei sargas.



Šaltinis: sudaryta autoriaus pagal VOIP Foro (2006) http://www.voipforo.com/en/H323/H323_example.php

9 pav. H.323 skambučio valdymas

H.323 skambutis galima suskirstyti i 4 fazes (žr. 9 pav.): nustatymas, skambinimo kontrolė, garsas/vaizdas, užbaigimas.

Nustatymas

Terminalas (Terminal) ⁶ Nr.1 (T1), naudodamas RAS protokolą užsiregistruoja pas sargą (Gatekeeper)⁷ siųsdamas ARQ (leidimo komunikuoti) ir priimdamas ACF (leidimo suteikimo) žinutes. Gavęs sutikimą, terminalas Nr.1 H.225 protokolu siunčia terminalui Nr.2 (T2) ryšio nustatymo žinutę, prašydamas susijungimo. Šią žinutę sudaro kviečiančiojo vartotojo IP adresas, porto numeris, pseudonimas arba adresato IP adresas ir portas. Savo ruožtu T2 siunčia skambinimo sutikimo žinutę (call proceeding) ir išpėja apie mėginimą vykdyti skambutį. Po to T2, taip pat kaip ir T1, turi užsiregistruoti pas sargą. Signalo žinutė žymi balso generavimo fazės pradžią, o paskutinė susijungimo žinutė apibrėžia terminalų sujungimo pradžią.

Skambinimo kontrolė

Šioje fazėje yra naudojamas H.245 protokolas kanalo deryboms, paklausimo ir patvirtinimo žinutėmis T1 ir T2 nustatomos komunikavimo rolės - vadovas ir dalyvis (master and slave), dalyvių skaičius, audio-video kodavimo formatai. Tuomet, kai derybos jau baigtos, atveriamas komunikavimo kanalas. Pagrindinės, šioje fazėje naudojamos žinutės:

- TerminalCapabilitySet (TCS) – Terminalų, dalyvaujančių pokalbyje galimybių aprašymas.
- OpenLogicalChannel (OLC) – žinutė, skirta aprašyti loginį kanalą (kokia informacija bus primama (duomenų tipas), kaip koduojama).

Garsas/vaizdas

T1 ir T2 komunikuoja per RTP/RTCP protokolą (žr.sk. 1.3.1.2 , 1.3.1.3) – vyksta apsikeitimas garso/vaizdo informacija.

Užbaigimas

Naudodami H.245 protokolo CloseLogicalChannel ir EndSessionComand žinutes, skambinantysis arba atsiliepiantysis terminalai gali inicijuoti komunikavimo užbaigimą. Po to naudojant H.225 ryšys užbaigiamas „Užbaigimas baigtas“(Release Complete) žinute. Pabaigoje visi dalyviai RAS protokolu išsiregistruoja iš sargo (VoIP Foro (2006)).

1.3.3. SIP ir H.323 palyginimas

2 lentelėje pateikiami palyginamieji duomenys apie SIP bei H.323 technologijas.

⁶ Terminalas (angl. Terminal) - komponentas, padedantis užmegzti pokalbį, paprastai tai yra tam tikras programinis paketas (pvz., Microsoft „Netmeeting“).

⁷ Sargas (angl. Gatekeeper) - H.323 dalis, esanti tinkle, atsakinga už adresų transliaciją, H.323 terminalų, sąsajų, valdymo bloką, prijungimą prie LAN (SCOTTY Group plc, 2007).

SIP ir H.323 palyginimas

Požymis	H.323	SIP
Architektūra		
	H.323 apima beveik visas telefonijos paslaugas – aplinkybių pasikeitimo valdymas, konferencijos kontrolė, pagrindinis skambučio kvietimas paslaugos kokybės valdymas, registracija ir pan.	SIP yra modulinis, kadangi jis apima pagrindinį skambučio kvietimą, vartotojo jungimosi vietą bei registraciją. Kitos funkcijos realizuojamos atskirais protokolais
Protokolai	RAS/Q.931	SIP
	H.245	SDP
Skambinimo funkcionalumas		
Skambinimas	Taip	Taip
Skambučio nukreipimas (peradresavimas)	Taip	Taip
Skambučio užlaikymas ir pratęsimas	Taip	Taip
Skambučio perkėlimas į kita įrenginį	Taip	Taip
Pranešimas apie laukiančią žinutę	Taip	Ne
Vardų identifikavimas	Taip	Ne
Konferenciniai pokalbiai	Taip	Taip
Kitos ypatybės		
Saugumas	Realizuota naudojant H.235, gali naudoti SSL transportiniame sluoksnyje	Palaiko skambinančiojo ir atsiliepiančiojo autentifikaciją per HTTP technologijas. Palaiko SSL/TSL, SSH arba S-HTTP. Taip pat SIP gali naudoti autentifikacijai bei šifravimui PGP, S/MIME.
Darbas tarp skirtingų versijų	Problemų nekyla, dirba sklandžiai	Naujesnės SIP versijos gali ignoruoti senesnes, nebenaudojamas funkcijas. SIP tobulinimas paremtas kodo kiekio mažinimu, protokolo supaprastinimu, tačiau dėl to prarandamas skirtingų versijų suderinamumas.
Adresavimas	Suprantamas tiek URL adresavimas, tiek skaitinis	Suprantamas tik URL tipo adresus
Žinučių koduotė	Dvejetainiu formatu	ASCII tekstu, kurį galima perskaityti
VoIP skambučiui reikalingi portai	Iš viso: 5 (Kvietimui, 2RTP, 2 RTCP)	Iš viso: 5 (Kvietimui, 2RTP, 2 RTCP)

Šaltinis: Microtronix Systems LTD. Prieiga per internetą: http://www.microtronix.ca/sip_vs_h323.htm

1.4 Probleminiai IP telefonijos aspektai

Projektuojant IP telefonijos tinklus, svarbu yra suprasti ir identifikuoti problemines sritis, dėl kurių atsiranda kokybiniai signalo nuostoliai. Perduodamo balso kokybę galima būtų apibūdinti kaip funkciją, susidedančią iš keleto esminių faktorių: suglaudavimo algoritmas (compression algorithm); klaidos, freimų praradimai; aidų eliminavimas (echo cancellation) bei uždelsimai (delay) (Cisco Systems Inc. 2007).

L. Sun (2004) IP kanale atsirandančias problemas apibrėžia kaip paketų praradimą (Packet Loss), uždelsimą (delay) bei jo sukeltą signalo virpėjimą (delay variation (jitter)). E. Mahfuz (2001) papildomai, kaip vieną iš per didelio uždelsimo pasekmių įvardija aidą (echo).

1.4.1. Uždelsimai (delay)

Uždelsimas - laikas, per kurį balso signalas pasiekia adresatą. Tarptautinė telekomunikacijų sąjunga (ITU – International Telecommunication Union) reikalavimus (toleranciją) vienakrypčio duomenų perdavimo uždelsimui apibrėžia G.114 rekomendacijose (žr. 3 lentelė).

3 lentelė

Uždelsimų specifikacija

Intervalas (milisekundėmis)	Apibūdinimas
0-150	Priimtinas daugumai vartotojų programų
150-400	Priimtinas, su sąlyga, jog administratorius žino vartotojų galinės įrangos galimybes bei gali įvertinti tokio užlaikymo įtaką signalo kokybei.
Virš 400	Nepriimtinas, tačiau kai kuriais išskirtiniais atvejais toks užlaikymas gali egzistuoti.

Šaltinis: sudaryta autoriaus pagal ITU-T Recommendation G.114 (2003).

Cisco systems išskiria 2 uždelsimų tipus – pastovūs (fixed) ir kintantys (variable).

Pastovus uždelsimas – bendras, tiesioginis viso susijungimo uždelsimas (užlaikymas).

Kintantys uždelsimai atsiranda dėl paketų sankaupos prie magistralinio išėjimo į WAN įrenginių buferių. Šie buferiai sukuria kintamus uždelsimus, vadinamus virpėjimais (jitter).

Toliau panagrinėsime uždelsimų rūšis, nustatysime jų susidarymo vietas.

Kodavimo proceso uždelsimas (Coder process delay)

Šis uždelsimas atsiranda skaitmeniniame signalo procesoriuje, kuriame yra glaudinami PCM diskretų (samples) blokai. Šio uždelsimo trukmė yra kintanti ir priklauso nuo naudojamo kodavimo algoritmo, procesoriaus greičio, procesoriaus buferio užsipildymo lygio. 4 lentelėje pateikiama informacija apie skirtingų garso glaudinimo algoritmų sukeltus užvėlinimus.

Glaudinimo Algoritmų sukelti užvėlinimai

Glaudinimo algoritmas	Dažnis	Reikalingas įrašo ilgis	Trumpiausia (geriausia) užlaikymo trukmė	Ilgiausia (blogiausia) užlaikymo trukmė
ADPCM, G.726	32 Kbps	10 ms	2,5ms	10ms
CS – ACELP, G.729A	8 Kbps	10 ms	2.5ms	10ms
MP – MLQ, G.723.1	6,3 Kbps	30 ms	5 ms	20 ms
MP-ACELP, G.723.1	5,3 Kbps	30 ms	5ms	20 ms

Šaltinis: Cisco Systems, Inc.(2007) Understanding Delay in Packet Voice Networks

Kaip matoma pateiktoje lentelėje, kuo ilgesnis įrašas, tuo labiau yra apkraunamas skaitmeninio signalo apdorojimo procesorius ir dėl to netgi dvigubai išauga užlaikymo trukmė (MP – MLQ, MP-ACELP)

Dekompresijos trukmė paprastai sudaro 10 proc. kompresijos trukmės kiekvienam blokui. Pvz., G.729 metodo dekompresijos trukmė, esant vienam freimui iš trijų blokų būtų: $10\text{ms} * 10\% * 3 = 3\text{ms}$. Dekompresijai skaičiuoti, imama ilgiausia metodo užlaikymo trukmė.

Algoritminis uždelimas

Suspaudimo algoritmas, vykdydamas diskretų bloko N kompresiją, naudoja informaciją apie toliau einantį diskretų bloką N+1. Tai reiškia, jog algoritmas turi turėti „žinių“ apie kitą bloką, tam, kad galėtų tiksliai apdoroti bloką. Šis „pažvelgimas pirmyn“ sukelia papildomą užlaikymą ir yra vadinamas algoritminiu uždelimu (algorithmic delay). Kai kurių suglaudinimo metodų algoritminiai uždelimai:

- G.726 metodams – 0ms
- G.729 metodams – 5ms
- G.723.1 metodams – 7,5ms

Kodavimo proceso uždelimai (suglaudinimo ir dekompresijos uždelimai) bei algoritminiai uždelimai bendrai yra vadinami glaudinimo uždelimais (Coder Delay). Bendras glaudinimo uždelimas yra skaičiuojamas pagal formulę:

$$GU = IUT + (IUT * 0,1) * n + AU$$

Kur GU – glaudinimo uždelimas

IUT – suglaudinimo ilgiausia užlaikymo trukmė

n – blokų skaičius freime

AU – algoritminis uždelsimas.

Paketavimo uždelsimas (Packetization Delay)

Paketavimo užvėlinimas – tai laikas, per kurį į paketą įdedama suglaudinta kalba (balsas). Šis užlaikymas yra diskretų bloko dydžio bei blokų skaičiaus freime funkcija. Tam, jog bendras užvėlinimo laikas neviršytų siūlomų normų, paketavimo užvėlinimas neturėtų viršyti 30ms.

Skirtingais glaudinimo metodais suglaudintų blokų paketavimo greitis taip pat yra skirtingas. Paketavimo greitis yra labai priklausomas ir nuo centrinio procesoriaus. Kuo užvėlinimas yra mažesnis, tuo didesnis yra freimu keitimosi dažnis ir tuo labiau apkraunamas centrinis procesorius (Cisco Systems Inc 2007)..

Serializavimo uždelsimas (Serialization delay)

Serializavimo užvėlinimas – tai laikas, užtrunkamas paketui pastatyti į eilę perdavimui duomenų kanalu (pvz., kabeliu) ir užtikrinti, kad jis bus perduotas toks, koks yra. Serializavimo užlaikymas yra priklausomas nuo dydžio, tai reiškia, kad kuo didesnis paketas, tuo ilgesnė bus serializavimo trukmė.

Serializavimo užvėlinimas interneto šerdyje nebėra toks aktualus, kadangi interneto greičiai auga kur kas greičiau nei paketų dydžiai (Leinen 2006). 5 lentelėje pavaizduota keletas nuo paketų dydžio bei duomenų kanalo pralaidumo priklausančių serializavimo užvėlinimų.

5 lentelė

Serializavimo proceso sukelti uždelsimai

Kanalo pralaidumas	64 kb/s	1 Mb/s	10 Mb/s	100 Mb/s	1 Gb/s
Paketų dydis					
64 baitai	8 ms	0.512 ms	51.2 μs	5.12 μs	0.512 μs
512 baitų	64 ms	4.096 ms	409.6 μs	40.96 μs	4.096 μs
1500 baitų	187.5 ms	12 ms	1.2 ms	120 μs	12 μs
9000 baitų	1125 ms	72 ms	7.2 ms	720 μs	72 μs

Šaltinis: Leinen. S. Serialization Delay Prieiga per internetą: <<http://kb.pert.geant2.net/PERTKB/SerializationDelay>>

Buferizavimo uždelsimas (Queuing/buffering Delay)

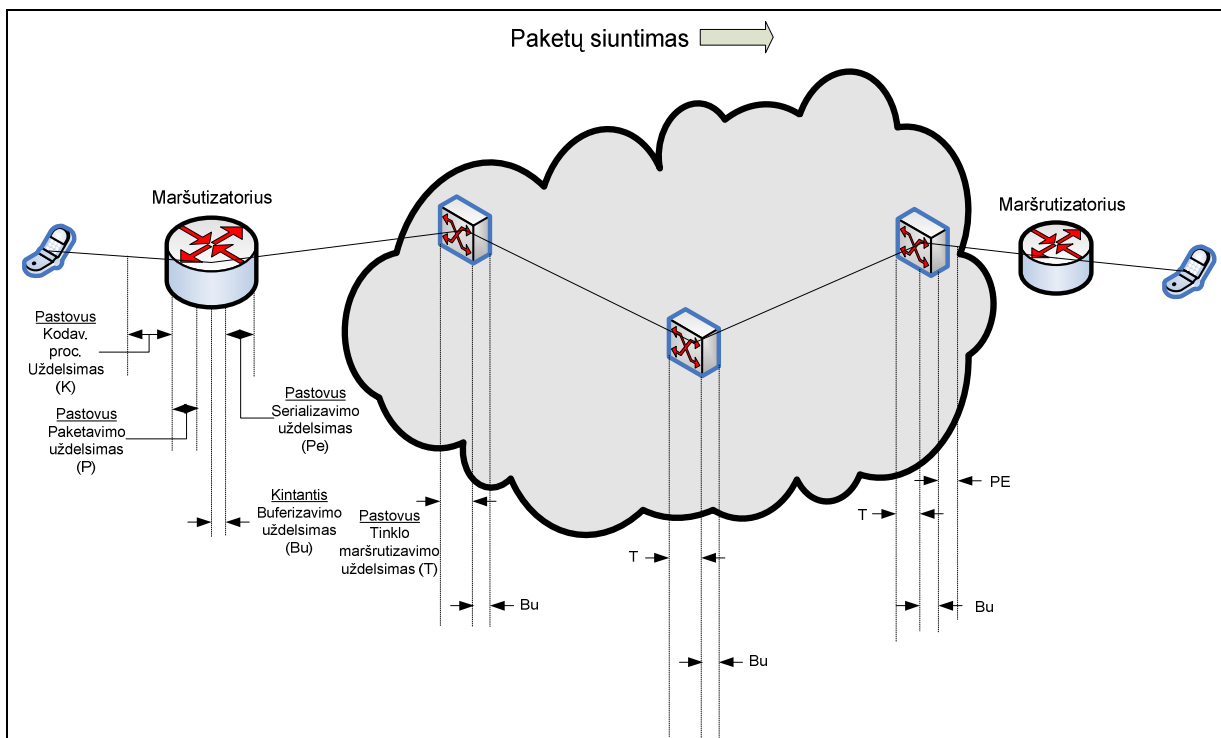
Po suglaudavimo, prie gauto freimo pridama antraštė ir jis pastatomas į eilę perdavimui per tinklą. Balso paketai maršrutizatoriuje turi turėti absoliučią pirmenybę prieš kitus paketus. Balso freimas, laukti gali nebent, kol bus baigtas siųstis duomenų freimas arba, kitu atveju, jei prieš jį esantis freimas yra taip pat balso freimas. Buferizavimo užvėlinimas yra kintantis užvėlinimas ir jis priklauso nuo kanalo greičio ir eilės būsenos.

Projektuojant tinklą, kuriuo bus perduodama daug balso paketų, reiktų atlikti blogiausio balso freimų perdavimo scenarijaus (su maksimalia užlaikymo trukme) paskaičiavimą ir įvertinti ar vartotojus tenkintų bendra gauta užvėlinimų trukmė.

Tinklo maršrutizavimo uždelšimai (Network Switching Delay)

Tai taip pat yra kintantis užvėlinimas. Ši užvėlinimų rūšis susijusi su kliūtimis, kurios atsiranda freimo maršrute. Dėl tinklų skirtingumo, skirtingos tinklų techninės įrangos, iš siuntėjo į adresatą, keliaudamas per globalius tinklus, freimas patiria užlaikymus. Šią užvėlinimų rūšį yra sudėtingiausia apskaičiuoti ir įvertinti (Cisco Systems Inc 2007).

Visų išvardintų užvėlinimų rūšių susiformavimo vietas tinkle pavaizduotos 10 pav.



Šaltinis: Cisco Systems, Inc.(2007) Understanding Delay in Packet Voice Networks

10 pav. Užvėlinimų susiformavimo sritys tinkle

Aidas (Echo)

Aidas susidaro dėl perduoto signalo sujungimo su grįžtamoju kanalu ir pakartotinei pateikimo atitinkamam šaltiniui. Grąžintas signalas “išgirstamas” su pastebimu vėlinimu. Kalbėtoją aidas veikia labiau nei klausytoją. Kalbėtojas gali išgirsti savo balsą po daugiau nei 25ms užlaikymo; tai gali sukelti trukdžius ir pažeisti pokalbio vientisumą (ritmą) (Mahfuz 2001).

1.4.2. Paketų praradimai (packet loss)

Paketai pas adresatą skambučio metu keliauja nepriklausomai vienas nuo kito (nebūtinai tuo pačiu keliu). Paketai gali būti prarandami dviem būdais: dėl aklavietės maršrute arba dėl maršrutizatoriaus persipildymo. (Nortel Networks 2000).

Taip pat didelius užvėlinimus galima vadinti paketų praradimais. Anot R. Rindzevičiaus bei P. Tervydžio (2003) atlikto tyrimo – didinant tinklo mazgo buferių talpas, tinkle mažėja neaptarnautų paketų dalis, tačiau esant dideliame paketų srauto intensyvumui neleistinai pailgėja paketų laukimo mazgų buferiuose trukmė.

1.4.3. Problemų sprendimai, metodai.

Minėtas IP telefonijos problemas tyrė ir analizavo nemažai mokslininkų. Daugialypio duomenų perdavimo realiu laiku kokybės gerinimo metodus tyrinėjo M.F.Ngatman, A.Ngadi, J.M.Sharif.(2008) Jie pasiūlė visus šiuos metodus suskirstyti į tris grupes: kliento pusės metodika, aktyvioji metodika, paketų planavimo metodika.

Kliento pusės metodika – metodai, kurie atlieka kokybės gerinimą kliento pusėje ir nekomunikuoja su pačiu tinklu bei adresatu. Aktyvioji metodika – metodai, kurie paremti iš tinklo gaunama informacija (feedback) apie ryšio, perdavimo kokybę (pvz., RTCP protokolais). Paketų planavimo metodika – metodai paremti “minimalaus pralaidumo aprūpinimu”, reikalingu transliuoti informaciją realiu laiku.

Kalbant apie paketų praradimą, vienas iš pirmųjų metodų – užpildyti tuščią neesančio paketo vietą – “išstempiant” prieš taiėjusių paketų informaciją laiko skalėje, tokiu būdu užpildant tuščią tarpą. Šis metodas buvo pasiūlytas autorių H.Sanneck, A.Stenger, K.Younes, B.Girod 1996m. Kitas metodas – ITU patvirtintas algoritmas, paremtas panašiausių detalių aptikimu jau gautoje informacijoje ir prarasto segmento užpildymu šia informacija. Detalės parenkamos iš prieš taiėjusių freimų, remiantis tuo, jog gretimuose paketuose esančių garsų fizikinės savybės (dažniai, spektrai, tembrai) yra panašios (ITU-T G.711 Appendix I 1999). Pastarąjį metodą šiek tiek patobulino K.Kondo bei K.Nakagawa (2006), spėjamos informacijos, įstatymui į prarasto paketo vietą, suradimui panaudoję tiesinį prognozavimą.

Uždelsimo problema sprendė M. Hirannaiah, Amarnath Jasti bei R.Pendse (2007). Jie pasiūlė kodavimo metodo pakeitimo algoritmą šiai problemai spręsti. Algoritmas paremtas informacijos apie vėlinimus priėmimu ir reagavimu į tai. Jei vėlinimas viršija tam tikrą ribą siuntėjas automatiškai yra

informuojamas ir keičia kodavimo algoritmą į tokį, kurio balso diskretizavimo dažnis yra mažesnis. Tokiu atveju nukenčia garso kokybę, tačiau sumažinamas užvėlinimo laikas. Sumažėjus užvėlinimams, algoritmas vėl yra keičiamas į prieš tai buvusį.

Į pačius balso kokybės tyrinėjimus, metodus, kokybei įvertinti gilinasi L.Ding bei R.A. Goubran (2003). Jie patobulino ITU-T G.107 standarto E-modelį (E-model), skirtą VoIP kokybei įvertinti, įtraukdami į modelio formulę klaidų fiksavimo parametrus.

1.5 Tyrimo metodologija

Visi apžvelgti autoriai gilinasi į tam tikras, konkrečias problemas, susijusias su realaus laiko balso perdavimu. Šis tyrimas – paties perduoto balso (jo įrašo tyrimas). T.y. tyrime bus aiškinamasi koks yra perduoto balso kokybės nuostolis, ar jis yra pastovus, ar kintantis. Tyrimo metu bus matuojama, kiek nukentėjo girdimo balso signalo kokybė galutiniame taške lyginant su pradiniu.

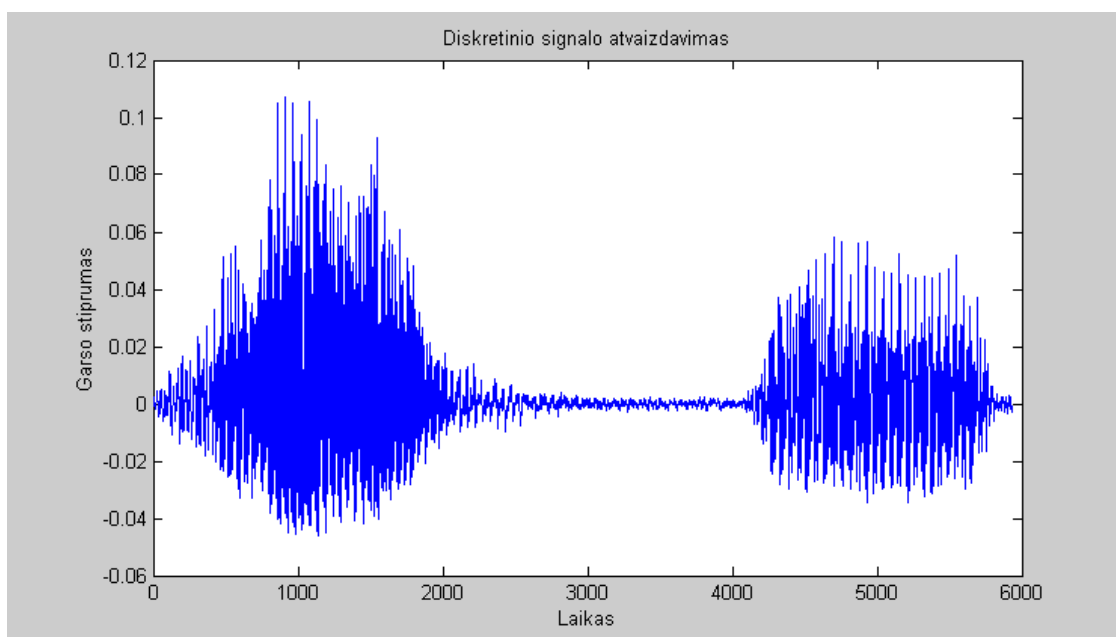
Kadangi daug autorių balso perdavimo kokybę įtakančius veiksnius jau nagrinėjo, kūrė kokybės gerinimui skirtus metodus, ši sritis tyrime nebus liečiama. Žinant balso perdavimo kokybę įtakančius veiksnius, metodus, tyrime bus aiškinamasi perduoto signalo kokybės kiekybinis nuostolis bei jo kitimai.

Kalbant apie IP telefonijos panaudojimą balso atpažinimo sistemose, esminis reikalavimas tokioms sistemoms yra kalbos signalo stabilumas, t.y. gauti bandymų duomenys turėtų vienas nuo kito daug nesiskirti (signalų spektrų vidurkiai - 0,03-0,05). Esant prognozuojamam duomenų iškrypimui, galima būtų kurti modelį, skirtą šių nuokrypių įvertinimui ir taikyti jį balso atpažinimo sistemose.

Tyrimo metu bus vykdomi balso signalo perdavimo per IP tinklą bandymai, daromi balso įrašai, vykdoma jų analizė. Balso įrašo analizei yra naudojami specialūs metodai. Vienas iš jų Furje analizė.

1.5.1. Furje analizė

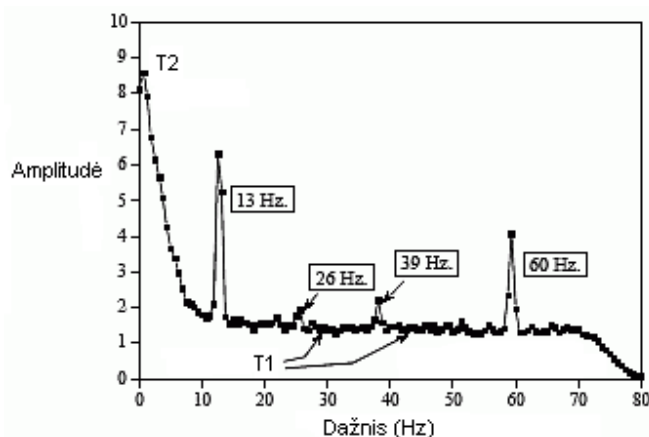
Tyrimo metu buvo įrašinėjami wav formato garso failai. Jų analizei yra naudojama Furje transformacija arba kitaip Furje analizė. Furje analizė – matematinis metodas, paremtas signalo išskaidymu į sinusoides bei kosinusoides (S.W.Smith 1997). Paprastas (diskretinis) garso signalo įrašas nėra tinkamas analizei, nes jis atspindi tik signalo formos (stiprumo) kitimą laike (11 pav.).



Šaltinis: sudaryta autoriaus

11 pav. Diskretinis signalas

Svarbiausia bei naudingiausia signalo informacija yra dažnis, amplitudė bei fazė (Smith 1997). Furje transformacija padeda iš signalo išskirti žemų ir aukštų dažnių informaciją. Žemi dažniai – pagrindinis signalas, aukšti dažniai – triukšmai, detalės, nukrypimai (Sandberg 2001).



Šaltinis: Smith, Steven, W. (1997) *The Scientist and Engineer's Guide to Digital Signal Processing*

12 pav. Transformuotas signalas

12 pav. pavaizduotas Furje metodu transformuotas diskretinis balso signalas. Kvadratėliuose pažymėtas garso dažnis dažnis. T1, T2 – baltasis bei rožinis triukšmai.

Baltasis triukšmas – tai triukšmas, kurio spektras yra plokščias nepriklausomai nuo dažnio. Kiekviena baltojo triukšmo reikšmė – tai atsitiktinė pseudogeneratoriaus išeiga. Rožinis triukšmas (dar vadinamas $1/f$ triukšmu) yra šiek tiek kitoks nei baltasis. Jo energija (amplitudė) yra didžiausia, kai

dažnis yra mažiausias (Kuittinen 1999). Abi šių triukšmų rūšys yra neišvengiamos ir yra generuojamos realaus laiko balso perdavimo kanaluose.

Signalas gali būtų tolydus arba diskretus bei periodinis arba neperiodinis. Pagal signalo rūšį, jo transformavimui yra taikomas vienas iš 4 Furje analizės metodų:

Furje transformacija (Fourier Transform) – neperiodiniam tolydžiam signalui.

Diskrečioji laiko Furje transformacija (Discrete Time Fourier Transform) – neperiodiniam diskrečiajam signalui.

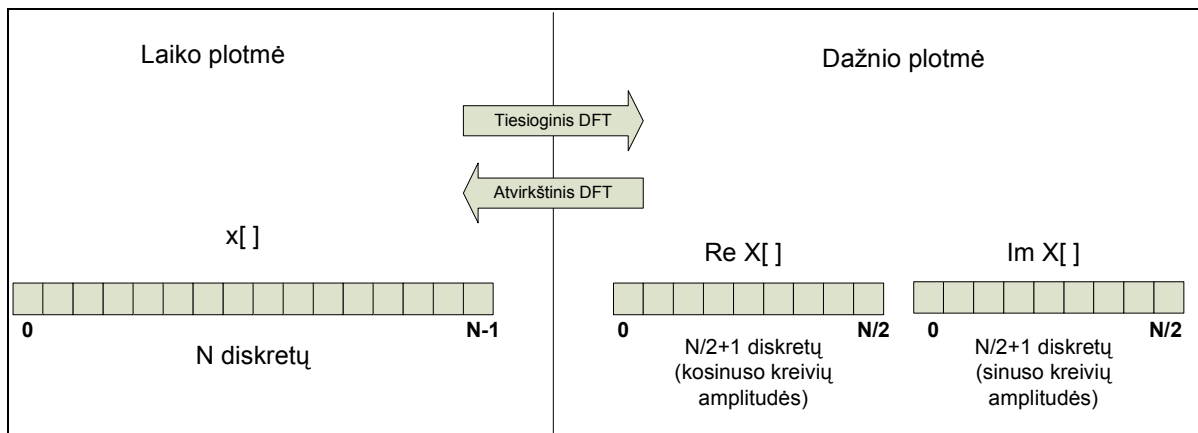
Furje sekos (Fourier Series) – periodiniam tolydžiajam signalui.

Diskrečioji Furje transformacija – periodiniam diskrečiajam signalui.

Mūsų atveju, bus naudojama diskrečioji Furje transformacija, todėl ją panagrinėsime plačiau.

Diskrečioji Furje transformacija

Diskrečioji Furje transformacija išskaido N taškų įėjimo signalą į du $N/2 + 1$ išėjimo signalus. Įėjimo signalas – signalas, kuris bus dekomponuojamas, du išėjimo signalus sudaro sinuso ir kosinuso kreivių amplitudės. Skaičius N apibūdina įėjimo signalo diskretų skaičių. N skaičių paprastai sudaro 128, 256, 512, 1024 ir pan. diskretų, kitaip sakant $N=2^n$, kur n – teigiamas sveikasis skaičius (šiam tyrime naudojamas N yra lygus 256 diskretams ir vadinamas pjūviu). Toks N imamas dėl to, kad skaitmeninė informacija naudoja dvejetainį kodavimą, taip pat efektyviausias iš diskrečiosios Furje transformacijos algoritmų (kuris ir bus naudojamas balso signalo apdorojimui šiame darbe) – Greitoji Furje Transformacija (Fast Fourier Transform) dirba su N , kurį sudaro 2^n diskretų. Mūsų atveju tyrime naudojamų diskretų skaičius $N=256$. 13 pav. pavaizduotas signalo išskaidymo procesas.



Šaltinis: : Smith, Steven, W. (1997) *The Scientist and Engineer's Guide to Digital Signal Processing*

13 pav. Diskrečioji Furje transformacija

Pagrindinis signalas laiko plotmėje pažymėtas $x[n]$. Signalas dažnio plotmėje yra išskaidomas į dvi dalis. Viena jų vadinama realiąja ($\text{Re } X[k]$), kita menamąja ($\text{Im } X[k]$). Realiosios dalies reikšmės – kosinusų kreivių amplitudės, menamosios – sinusų.

Pagrindinės DFT funkcijos yra generuojamos iš šių dviejų lygčių:

$$c_k[i] = \cos(2\pi ki / N) \quad (1)$$

$$s_k[i] = \sin(2\pi ki / N) \quad (2)$$

$c_k[k]$ yra kosinuso kreivė amplitudei, esančiai $\text{Re } X[k]$ dalyje, o s_k – sinuso kreivė $\text{Im } X[k]$ dalyje esančiai amplitudei. Šios abi kreivės galioja kiekvienam N taškui (diskretui) nuo $i=0$ iki $N-1$. Parametras k žymi kiekvienos sinusoidės dažnį.

Iš šių formulių išplaukia abiejų dalių (Re bei Im) apskaičiavimo formulės:

$$\text{Re } X[k] = \sum_{i=0}^{N-1} x[i] \cos(2\pi ki / N) \quad (3)$$

$$\text{Im } X[k] = -\sum_{i=0}^{N-1} x[i] \sin(2\pi ki / N) \quad (4)$$

Formulėse esantis $x[i]$ žymi laiko plotmę, $\text{Re } X[k]$ bei $\text{Im } X[k]$ – dažnio plotmę skaičiuojamas signalas. i yra nuo 0 iki $N-1$, o k – nuo 0 iki $N/2$.

Darbe naudojamame metode šios formulės yra šiek tiek kitokios. Esant diskrečiai Furje transformacijai, reikalinga yra atlikti labai daug iteracijų dažninio spektro apskaičiavimui. Greitoji Furje transformacija leidžia dažninį spektrą apskaičiuoti greičiau (Smith, Steven, W. 1997).

Greitoji Furje transformacija (Fast Fourier Transform)

Greitoji Furje transformacija yra diskrečiosios Furje transformacijos algoritmas, kuris sumažina N skaičiavimo taškų skaičių nuo $2N^2$ iki $2N \log 2N$. Eksperimentinių duomenų transformavimui naudojamo algoritmo pagrindas - Cooley – Turkey GFT (1965) matematinis algoritmas. Greitosios Furje transformacijos formulė:

$$X(k) = \sum_{i=1}^N x(i) \omega_N^{(i-1)(k-1)} \quad (5)$$

Kur

$$\omega_N = e^{(-2\pi i) / N}$$

N – diskretų skaičius

k - transformuoto elemento numeris

i – diskreto numeris

Šia transformaciją atlieka „Matlab“ funkcija `fft()`. Tokiu būdu transformuotas signalas yra tinkamas kokybės nuostolių analizei.

2. SPRENDIMO METODIKA

Tyrimą sudaro 4 etapai:

- Eksperimentinių failų įrašymas.
- Eksperimentinių failų apdorojimas.
- Rezultatų susiteminimas bei analizė.

2.1 Eksperimentinių failų įrašymas.

Eksperimentiniai failai – perduoto balso įrašai. Iš pradžių buvo įrašytas kalbėtojo balsas lokaliajoje sistemoje ir išsaugotas PCM (WAV) formatu. 6 lentelėje yra išvardinti failo parametrai. Lentelėje esantys paryškinti parametrai – failų spec. apdorojimo, kuris paaiškintas 2.2 skyriuje, rezultatas.

6 lentelė

Eksperimentinio failo parametrai

Parametras	Reikšmė
Failo formatas	*.wav
Bitų įrašymo dažnis (Bit Rate)	128kbps
Diskreto (Semplo) dydis(Audio sample size)	16 bit
Audio kanalai	1 (mono)
Diskretizavimo dažnis (Audio Sample rate)	8kHz
Audio formatas (Audio format)	PCM
Trukmė	741 milisekundė
Failo spektro elementu skaičius	6167

Šaltinis: sudaryta autoriaus

Iš viso buvo įrašyta 151 failas, iš kurių 1 – originalus (įrašytas lokaliame kompiuteryje) bei 150 per IP tinklą pertransliuoto originalo įrašai.

2.2 Eksperimentinių failų apdorojimas

Tam, kad būtų galima vykdyti gautų tyrimo duomenų analizę, reikėjo sudaryti specialų algoritmą (žr. 1 Priedas), kuris padėtų išgauti informaciją, reikalingą duomenų analizei. Ruošiantis tyrimui, reikėjo iš bandomųjų failų išgauti reikiamą (naudingą) informaciją.

Pirmiausiai, gauti įrašai buvo „apkarpomi“, t.y. paliekama tik garsinė informacija. Įrašas sutrumpinamas iki 741 ms, jame paliekamas tik paties garso signalas, eliminuojant prieš ir po signalo einančias pauzes. Tai atlikta rankiniu būdu, naudojant paketą „Cool Edit Pro 2.0“. Tas pats buvo atlikta ir su originaliu failu. Tokiu būdu kiekvienas iš eksperimentinių failų buvo paruoštas tolimesniam apdorojimui.

Panaudojant The MathWorks Inc. paketą „MatLab 6.1“, buvo sudarytas specialus skriptas, skirtas 150 + 1(originalo) bandomųjų failų apdorojimui.

Algoritmo aprašymas

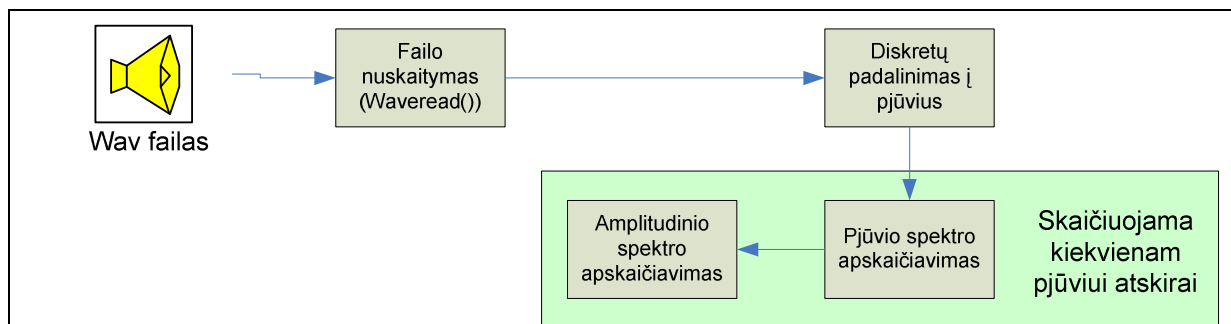
Sudarytą algoritmą galima suskirstyti į keletą etapų:

- Failo nuskaitymas. Wav garso failas yra nuskaitymas ir jo diskretų vektorius yra priskiriamas vidiniam MatLab skripto kintamajam.
- Diskretų vektoriaus padalinimas į pjūvius. Vektorius yra sudalinamas į dalis, kurių kiekvieną sudaro 256 diskretai. Tai yra realizuojama diskretų vektorių transformuojant į matricą $M(i,256)$, kur i – eilučių skaičius. Kitaip sakant, matricą sudaro i skaičius eilučių po 256 diskretus.
- Pjūvio spektro apskaičiavimas. Turimas signalas dabar atspindi garso stiprumo laike pasiskirstymą. Diskretinis signalas nesuteikia naudingos informacijos tyrimui, naudingiau būtų turėti duomenis apie garso stiprumą dažnių skalėje. Tam tikslui naudojama greitoji Furje transformacija (Fast Fourier Transform). Taigi, įvykdę greitąją Furje transformaciją kiekvienam pjūviui, sumoje gauname viso signalo spektrą. Kuris kartu yra ir amplitudinis spektras. Amplitudinis spektras apskaičiuojamas formule:

$$Amp = \sqrt{Re^2 + Im^2}$$

Kur Re – realioji, o Im – menamoji dalys (žr. 1.5.1. skyrių).

14 pav. pavaizduota loginė algoritmo vykdymo schema.



Šaltinis: sudaryta autoriaus

14 pav. Algoritmo vykdymo chema

Apskaičiavus originalo bei 150-ių eksperimentinių signalų amplitudinius spektrus, ieškome spektrų skirtumo. Spektrų skirtumą apskaičiuojame pagal formulę:

$$Sk_n = A - A'_n$$

Kur Sk_n – originalo bei n-ojo bandymų failo amplitudinio spektro skirtumas, A- originalaus failo amplitudinis spektras, A'_n – n-ojo bandymų failo amplitudinis spektras.

Turint spektro skirtumą, skaičiuojama failo spektro vidurkinė reikšmė. Vidurkinės reikšmės apskaičiuotos pagal formulę:

$$Vid_n = \frac{\sum_{i=1}^{6167} (A_i - A'_{ni})}{6167}$$

Vid_n - n-ojo bandymo vidurkio reikšmė.

A_i – Originalaus failo i-oji spektro reikšmė.

A'_{ni} – n-ojo įrašo failo i-oji spektro reikšmė.

2.3 Rezultatų susisteminimas ir analizė

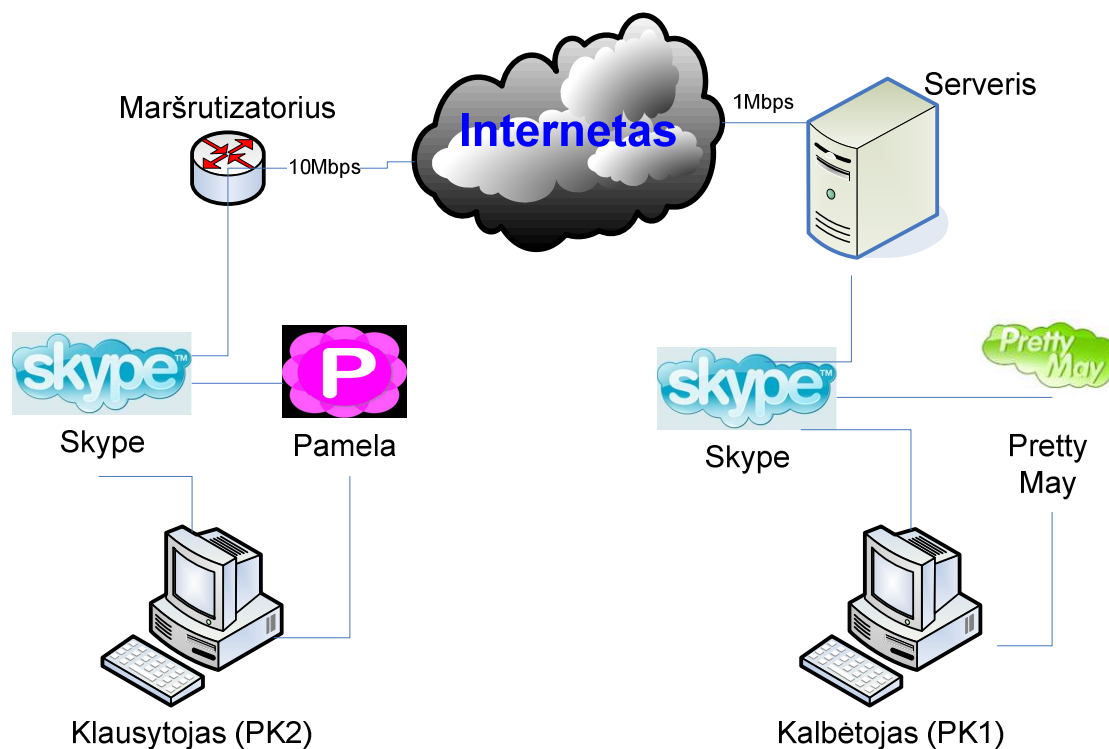
Eksperimentinių failų apdorojimo rezultatas – 150 duomenų bloką kuriu kiekvieną sudaro originalaus bei perduoto failų skirtumai. Tuomet paketo „Statistica“ pagalba, apskaičiuojam kiekvieno duomenų bloko vidurkį, dispersiją bei standartinę nuokrypį. Toliau iš šių gautų duomenų bus vykdoma analizė, formuojamos išvados.

3. EKSPERIMENTINIS SKYRIUS

3.1 Duomenų rinkimas

Duomenys tyrimui (eksperimentiniai failai) buvo renkami naudojant Skype Ltd kompanijos IP telefonijai skirtą produktą Skype 3.6 bei jo papildinius (add-in). Papildiniai yra skirti originalaus failo transliavimui (Pretty May) pašnekovui bei jo įrašymui (Pamela 4.0).

Paketas „Skype“ eksperimentui pasirinktas dėl to, kad jis nemokamas, taip pat, turima daugiausia patirties dirbant su juo. Iš įrašančiųjų programų pagrindinis reikalavimas buvo, kad jos turėtų galimybę nustatyti failo formatą bei kitus parametrus (žr. L1 lentelę). „Skype“ papildinys „Pamela“ būtent ir turėjo šią funkciją. Grotuvų, kurie leistų pokalbio metu pagroti pašnekovui failą per „Skype“ nebuvo, išskyrus šio paketo papildinius, todėl buvo pasirinktas „Pretty May“. 15 pav. pavaizduota failų įrašymui naudotos techninės bei programinės įrangos schema.



Šaltinis: sudaryta autoriaus

15 pav. Eksperimento techninės, programinės įrangos schema

Kompiuteris „kalbėtojas“ (PK1) turi balso įrašo originalą. Naudojantis sistema „Skype“, užmezgamas ryšys tarp „Kalbėtojo“ (PK1) bei „Klausytojo“ (PK2). Nei vienas iš kompiuterių neturi papildomo prijungto mikrofono, tam, kad į perduodamą signalą neįsiliėtų pašalinių garsų.

Naudodamasis papildinyje „Pretty May“ esančiu grotuvu, esant aktyviam pokalbiui, PK1 paleidžia (pagroja) originalųjį failą. Tuo metu PK2, naudodamasis „Pamela“ įrašinėja visą pokalbį. Tokiu būdu padaromi 150 įrašų.

„Klausytojo“ bei „Kalbėtojo“ kompiuterių specifikacijos pateiktos 7 lentelėje. Remiantis 1 skyriuje pateikta informacija, kompiuterių specifikacijos negali sukelti ryškių signalo variacijų, t.y. esant tam tikram skaičiui bandymų, jų rezultato skirtingumas negali priklausyti nuo kompiuterių techninės įrangos. Kaip minėjome didžiausias, signalo kokybę įtakojantis veiksnys yra duomenų perdavimo kanalas, kodavimo technologija. Atliekant eksperimentinių failų įrašymus, abiejų kompiuterių apkrova buvo panaši visų bandymų metu.

7 lentelė

Kompiuterių specifikacijos

	PK1 („Klausytojas“)	PK2 („Kalbėtojas“)
Procesorius	Intel PIV 3GZ	Intel PIV 2,6Gz
Operatyvioji atmintis	2,5GB	512MB
Operacinė sistema	Windows XP Profesional	Windows XP Home Edition

Šaltinis: sudaryta autoriaus

Failų įrašymas buvo vykdomas 5 dienas. 3 dienas 2008m vasario mėn. bei 2 dienas 2008m gegužės mėn. Įrašymo laikas buvo atsitiktinis, – nuo 9:00val iki 19:00val. Tikslūs failų įrašymų kiekiai ir datos išvardinti 8 lentelėje

8 lentelė

Eksperimentinės informacijos rinkimas

Data	Įrašų kiekis
2008 m vasario 22d	20
2008 m. vasario 25 d.	19
2008 m. vasario 26 d.	22
2008 m. gegužės 15 d.	50
2008 m. gegužės 16d.	39
Iš viso: 150	

Šaltinis: sudaryta autoriaus

Failų įrašymo laikas buvo pasirinktas atsitiktinis, siekiant kuo geriau įvertinti kanalo apkrovimo įtaką signalo kokybei. Taip pat failų įrašymas vyko dviem etapais, siekiant nustatyti, ar praėjus tam tikram laiko tarpui, signalo iškraipymai išlieka panašūs. Pirmajame etape, eksperimentas buvo vykdomas tris dienas 2008m vasario mėnesį, ir praėjus beveik trimis mėnesiams – gegužės 15-16 dienomis.

Tyrimo metu nebuvo įvertinta, koks galėtų būti signalo iškraipymas nakties metu, kuomet tikėtina, jog interneto apkrova yra mažiausia.

Eksperto metu įrašyti failai buvo apdoroti pagal 2.2 skyriaus aprašymą, gautos jų spektrų vidurkinės reikšmės.

3.2 Duomenų apdorojimas ir analizė

Duomenims apdoroti buvo naudojami paketai Statsoft „Statistica 6.0“ bei MS „Excel 2003“. Iš „Matlab“ gavus kiekvieno eksperimentinio failo spektro skirtumines reikšmes (Orig. Failas – pertransliuotas failas), programa „Statistica 6.0“ buvo apskaičiuotas kiekvieno failo vidurkis, dispersija, standartinis nuokrypis. Kadangi tyrimas buvo vykdomas dviem etapais (2008m. vasario mėn. ir 2008m. gegužės mėn.), gauti duomenys taip pat bus pateikti kiekvieno etapo atskirai, o po to palyginti tarpusavyje.

3.2.1. I etapo rezultatai

9 lentelėje pateikiami I-ojo eksperimento etapo rezultatai. Iš viso lentelėje pateikta 61 bandymo rezultatai. Kaip matome pagal gautus duomenis, bandymai vienas nuo kito beveik nesiskiria. Visų bandymų vidurkiai yra panašūs. Didžiausia vidurkio reikšmė – 1,482 (B49 failas), mažiausia – 1,350 (B47 failas).

Kuo vidurkio reikšmė yra didesnė, tuo eksperimentinio failo atstumas nuo originalaus yra didesnis, o tai reiškia, jog ir signalo (įrašo) iškraipymas, kokybės nuostoliai yra didesni. Kuo vidurkio reikšmė artimesnė 0, tuo mažiau įrašas skiriasi nuo originalo ir tuo jo kokybė yra geresnė.

I-ojo etapo rezultatai

B.Nr.	Vid.	Disp.	St.n.	Laikas	Data	B.Nr.	Vid.	Disp.	St.n.	Laikas	Data
B1	1,442	14,573	3,817	09:40:19	2008.02.22	B32	1,433	14,512	3,810	09:43:18	2008.02.25
B2	1,417	14,279	3,779	09:40:29	2008.02.22	B33	1,415	14,075	3,752	09:43:27	2008.02.25
B3	1,469	15,204	3,899	10:27:58	2008.02.22	B34	1,468	15,128	3,889	10:27:49	2008.02.25
B4	1,456	14,824	3,850	10:28:08	2008.02.22	B35	1,480	15,339	3,917	10:27:58	2008.02.25
B5	1,479	15,300	3,912	12:47:04	2008.02.22	B36	1,470	15,127	3,889	10:28:08	2008.02.25
B6	1,452	14,796	3,847	12:47:45	2008.02.22	B37	1,428	14,417	3,797	10:28:27	2008.02.25
B7	1,467	15,026	3,876	16:46:02	2008.02.22	B38	1,413	14,050	3,748	10:28:37	2008.02.25
B8	1,462	14,809	3,848	16:46:11	2008.02.22	B39	1,382	13,523	3,677	10:28:57	2008.02.25
B9	1,456	14,752	3,841	16:46:21	2008.02.22	B40	1,479	15,164	3,894	12:47:04	2008.02.26
B10	1,445	14,851	3,854	16:46:48	2008.02.22	B41	1,474	15,101	3,886	12:47:15	2008.02.26
B11	1,418	14,108	3,756	16:46:57	2008.02.22	B42	1,448	14,619	3,823	12:47:42	2008.02.26
B12	1,399	13,814	3,717	16:47:06	2008.02.22	B43	1,443	14,567	3,817	12:47:52	2008.02.26
B13	1,477	15,254	3,906	17:10:48	2008.02.22	B44	1,439	14,643	3,827	12:48:00	2008.02.26
B14	1,458	15,039	3,878	17:10:58	2008.02.22	B45	1,388	13,665	3,697	12:48:18	2008.02.26
B15	1,477	15,337	3,916	17:10:58	2008.02.22	B46	1,389	13,651	3,695	12:48:27	2008.02.26
B16	1,477	15,339	3,916	17:11:08	2008.02.22	B47	1,350	14,032	3,746	14:19:18	2008.02.26
B17	1,442	14,539	3,813	17:11:18	2008.02.22	B48	1,405	13,966	3,737	14:19:37	2008.02.26
B18	1,404	14,023	3,745	17:11:49	2008.02.22	B49	1,482	15,333	3,916	14:21:19	2008.02.26
B19	1,373	13,485	3,672	17:12:09	2008.02.22	B50	1,466	14,921	3,863	14:21:28	2008.02.26
B20	1,359	13,321	3,650	17:12:19	2008.02.22	B51	1,456	14,859	3,855	14:21:48	2008.02.26
B21	1,472	15,225	3,902	09:39:38	2008.02.25	B52	1,432	14,468	3,804	14:22:05	2008.02.26
B22	1,470	15,055	3,880	09:39:38	2008.02.25	B53	1,422	14,233	3,773	14:22:14	2008.02.26
B23	1,457	14,816	3,849	09:39:48	2008.02.25	B54	1,476	15,404	3,925	14:22:41	2008.02.26
B24	1,446	14,572	3,817	09:39:59	2008.02.25	B55	1,367	13,460	3,669	14:22:50	2008.02.26
B25	1,446	14,681	3,832	09:40:09	2008.02.25	B56	1,457	14,772	3,843	14:24:56	2008.02.26
B26	1,434	14,451	3,801	09:40:19	2008.02.25	B57	1,432	14,466	3,803	14:25:24	2008.02.26
B27	1,411	13,972	3,738	09:40:29	2008.02.25	B58	1,380	13,649	3,694	14:26:09	2008.02.26
B28	1,399	13,819	3,717	09:40:39	2008.02.25	B59	1,473	15,094	3,885	14:27:53	2008.02.26
B29	1,477	15,219	3,901	09:42:40	2008.02.25	B60	1,455	14,945	3,866	14:28:32	2008.02.26
B30	1,453	14,782	3,845	09:42:59	2008.02.25	B61	1,436	14,377	3,792	14:28:42	2008.02.26
B31	1,435	14,451	3,801	09:43:09	2008.02.25						

Šaltinis: sudaryta autoriaus

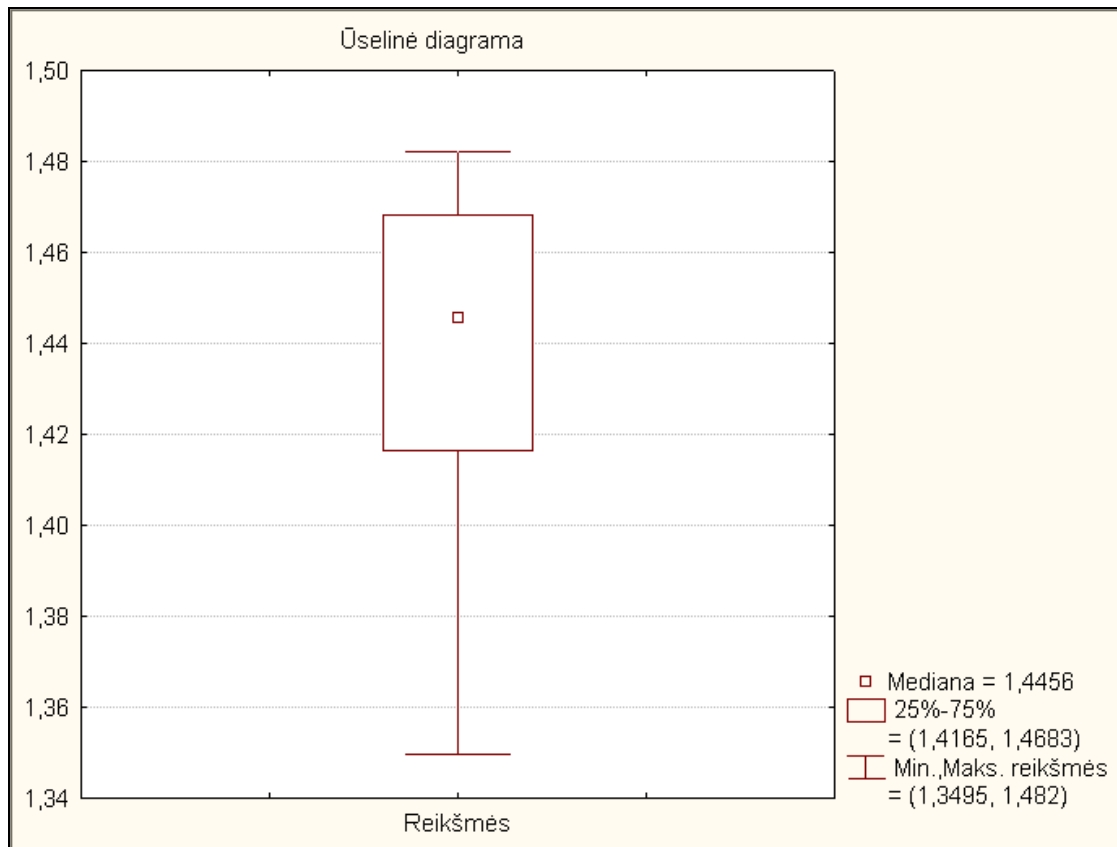
B.Nr. – bandymo numeris

Vid. – vidurkis

Disp. – dispersija

St.n. – standartinis nuokrypis

Taip pat nėra matyti aiškaus duomenų priklausomumo nuo laiko arba datos. 16 pav. pavaizduotas ūselinė gautų vidurkinių reikšmių diagrama.



Šaltinis: sudaryta autoriaus

16 pav. Vidurkio reikšmių ūselinė diagrama

Kaip matome diagramoje, vidurkinių reikšmių mediana yra ties 1,4456 reikšme. Taip pat reikšmių aibė nėra pasiskirsčiusi pagal normalųjį skirstinį, kadangi 50 proc. visų reikšmių yra tarp 1,4165 bei 14683. Iš šio fakto galime daryti išvada, jog reikšmių išsibarstymas y ašies atžvilgiu nėra didelis, o tai reiškia, jog atlikus 61 matavimą (eksperimentą), signalo kokybiniai nuostoliai yra panašūs visais atvejais. Tai leidžia spręsti, jog komunikuojant VoIP pagalba, visais atvejais galime tikėtis panašių kokybės nuostolių. Ar šie nuostoliai išlieka stabilūs ir II-ojo eksperimento etapo metu, aprašyta 3.2.2 skyriuje.

3.2.2. II-o etapo rezultatai

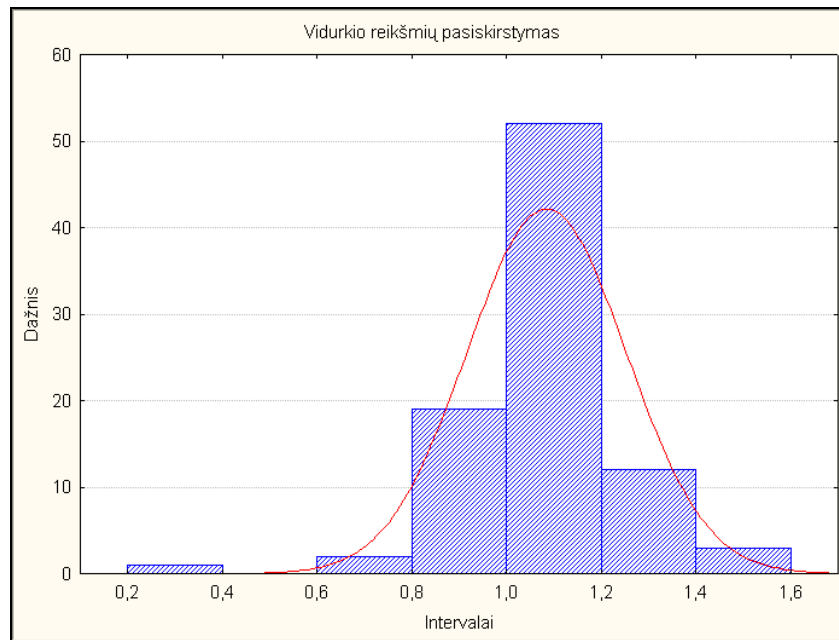
II-ojo etapo metu, norėta patikrinti, ar po tam tikro laiko tarpo (beveik 3 mėn.) nepasikeitė perduodamo signalo kokybės nuostoliai, ir ar tyrimo rezultatai išlieka tokie patys. II-ojo etapo rezultatai pavaizduoti 10 lentelėje

II-ojo etapo rezultatai

B.Nr.	Vid.	Disp.	St.n.	Laikas	Data	B.Nr.	Vid.	Disp.	St.n.	Laikas	Data
B62	1,454	14,686	3,832	10:47:47	2008.05.15	B107	1,138	10,224	3,197	18:35:28	2008.05.15
B63	1,438	14,371	3,791	10:48:12	2008.05.15	B108	0,984	8,510	2,917	18:35:44	2008.05.15
B64	1,426	14,150	3,762	10:48:34	2008.05.15	B109	1,133	10,171	3,189	18:35:57	2008.05.15
B65	1,400	13,820	3,717	10:48:45	2008.05.15	B110	1,011	9,291	3,048	18:36:11	2008.05.15
B66	1,393	13,848	3,721	10:48:55	2008.05.15	B111	0,853	6,986	2,643	18:36:24	2008.05.15
B67	1,399	13,626	3,691	10:49:05	2008.05.15	B112	0,977	8,923	2,987	10:45:30	2008.05.16
B68	1,380	13,376	3,657	10:51:07	2008.05.15	B113	1,041	9,721	3,118	10:45:41	2008.05.16
B69	1,309	12,674	3,560	10:51:19	2008.05.15	B114	1,115	10,152	3,186	10:45:52	2008.05.16
B70	1,366	13,073	3,616	10:51:47	2008.05.15	B115	1,140	10,366	3,220	10:46:06	2008.05.16
B71	1,368	13,099	3,619	10:52:02	2008.05.15	B116	1,211	11,146	3,339	10:46:20	2008.05.16
B72	1,096	9,797	3,130	13:29:13	2008.05.15	B117	1,119	9,945	3,154	10:46:35	2008.05.16
B73	1,168	10,991	3,315	13:31:58	2008.05.15	B118	1,064	9,240	3,040	10:46:48	2008.05.16
B74	1,020	8,824	2,970	13:32:08	2008.05.15	B119	1,078	9,832	3,136	12:12:31	2008.05.16
B75	1,060	9,188	3,031	13:32:30	2008.05.15	B120	1,125	10,289	3,208	12:12:43	2008.05.16
B76	0,746	6,512	2,552	13:32:41	2008.05.15	B121	1,023	9,305	3,050	12:12:55	2008.05.16
B77	1,172	10,922	3,305	13:36:16	2008.05.15	B122	0,964	8,711	2,951	12:13:08	2008.05.16
B78	1,056	9,148	3,025	13:36:27	2008.05.15	B123	1,115	10,290	3,208	12:13:20	2008.05.16
B79	0,813	9,105	3,017	13:36:38	2008.05.15	B124	0,970	8,501	2,916	12:13:33	2008.05.16
B80	1,078	9,641	3,105	13:36:49	2008.05.15	B125	0,852	7,866	2,805	12:13:49	2008.05.16
B81	1,001	8,562	2,926	13:37:02	2008.05.15	B126	1,100	9,646	3,106	14:05:37	2008.05.16
B82	0,836	7,020	2,650	13:37:16	2008.05.15	B127	0,357	9,418	3,069	14:05:49	2008.05.16
B83	1,148	10,334	3,215	14:23:36	2008.05.15	B128	1,125	10,603	3,256	14:06:01	2008.05.16
B84	1,143	10,474	3,236	14:23:51	2008.05.15	B129	1,207	11,214	3,349	14:06:12	2008.05.16
B85	1,060	9,295	3,049	14:24:06	2008.05.15	B130	1,110	9,939	3,153	14:06:25	2008.05.16
B86	0,999	8,437	2,905	14:24:20	2008.05.15	B131	0,977	8,740	2,956	14:06:37	2008.05.16
B87	1,095	9,682	3,112	14:24:33	2008.05.15	B132	1,106	10,365	3,220	14:06:49	2008.05.16
B88	1,028	8,883	2,980	14:24:46	2008.05.15	B133	0,930	8,375	2,894	14:07:44	2008.05.16
B89	0,825	6,952	2,637	14:24:58	2008.05.15	B134	1,138	10,297	3,209	14:07:55	2008.05.16
B90	1,051	9,629	3,103	14:54:51	2008.05.15	B135	0,945	8,422	2,902	14:08:07	2008.05.16
B91	1,157	10,574	3,252	14:55:03	2008.05.15	B136	0,994	8,413	2,901	16:21:09	2008.05.16
B92	1,023	9,017	3,003	14:55:17	2008.05.15	B137	1,120	10,046	3,170	16:21:22	2008.05.16
B93	0,997	9,186	3,031	14:55:32	2008.05.15	B138	1,103	9,974	3,158	16:21:36	2008.05.16
B94	1,059	9,558	3,092	14:55:44	2008.05.15	B139	1,209	11,189	3,345	16:21:51	2008.05.16
B95	1,045	9,962	3,156	14:55:57	2008.05.15	B140	1,224	11,468	3,386	16:22:03	2008.05.16
B96	1,046	9,572	3,094	17:15:04	2008.05.15	B141	1,085	9,709	3,116	16:22:17	2008.05.16
B97	1,170	10,609	3,257	17:15:20	2008.05.15	B142	0,987	9,624	3,102	16:22:29	2008.05.16
B98	1,036	8,849	2,975	17:15:35	2008.05.15	B143	0,764	6,717	2,592	16:31:02	2008.05.16
B99	0,876	7,213	2,686	17:15:49	2008.05.15	B144	1,052	9,365	3,060	17:31:33	2008.05.16
B100	1,135	10,206	3,195	17:16:04	2008.05.15	B145	1,100	9,935	3,152	17:31:46	2008.05.16
B101	1,193	12,109	3,480	17:16:18	2008.05.15	B146	1,097	9,820	3,134	17:31:58	2008.05.16
B102	0,898	7,988	2,826	17:16:33	2008.05.15	B147	1,136	10,618	3,258	17:32:13	2008.05.16
B103	1,070	9,549	3,090	17:16:46	2008.05.15	B148	1,168	10,748	3,278	17:32:27	2008.05.16
B104	1,185	10,777	3,283	18:34:46	2008.05.15	B149	1,134	10,533	3,245	17:32:41	2008.05.16
B105	1,052	9,175	3,029	18:34:57	2008.05.15	B150	1,253	11,688	3,419	17:32:52	2008.05.16
B106	0,927	7,970	2,823	18:35:11	2008.05.15						

B.Nr. – bandymo numeris
Vid. – vidurkis
Disp. – dispersija
St.n. – standartinis nuokrypis

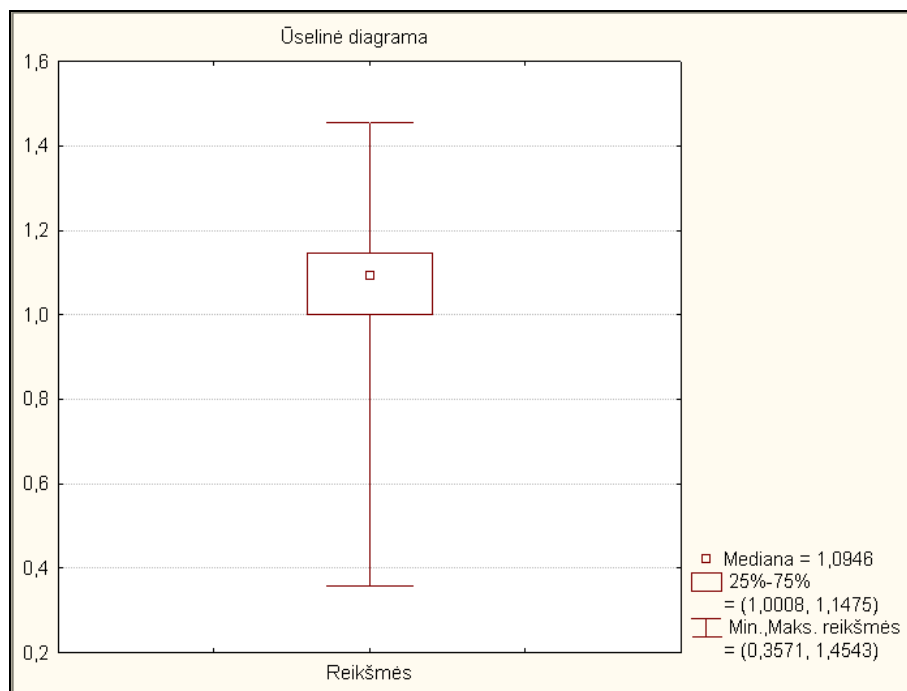
II-ojo eksperimento etapo rezultatai labai skiriasi nuo pirmojo. 17 pav. pavaizduotas II-ojo etapo vidurkių reikšmių pasiskirstymo grafikas.



Šaltinis: sudaryta autoriaus

17 pav. Vidurkių reikšmių pasiskirstymo grafikas

Kaip matome II-ojo etapo duomenys pasiskirstę pagal beveik taisyklingą normalųjį skirstinį. Tai reiškia, jog reikšmių išsibarstymas ir variacijos yra kur kas didesnės. Šį faktą patvirtina 18 pav. pavaizduota ūselinė diagrama. Kaip matome atstumas tarp didžiausios (1,454) ir tarp mažiausios (0,357) reikšmės yra pakankamai didelis (1,1).



Šaltinis: sudaryta autoriaus

18 pav. II-ojo etapo duomenų ūselinė diagrama

Nors pusė visų reikšmių yra intervale nuo 1 iki 1,15, tačiau likusios reikšmės yra pernelyg toli viena nuo kitos y ašies atžvilgiu, todėl galime daryti išvadą, jog II-ojo eksperimento etapo signalo kokybė yra nepastovi ir labai kintanti kiekvieno bandymo metu. II- ojo etapo duomenys labai skiriasi nuo pirmojo etapo duomenų.

3.2.3. I-ojo ir II-ojo eksperimento etapų rezultatų palyginimas

I-ojo II-ojo eksperimentų etapų rezultatai pakankamai skirtingi. 11 lentelėje pateikiami palyginamieji etapų duomenys.

11 lentelė

Eksperimento etapų palyginimas

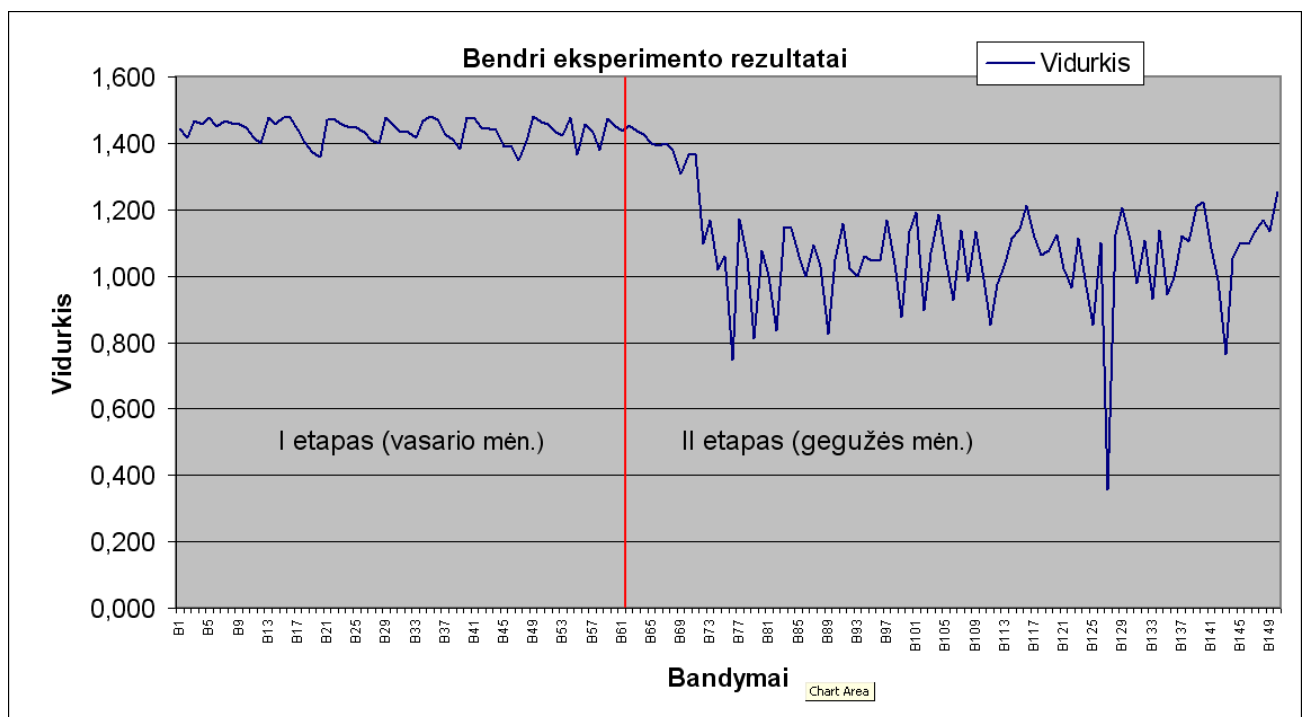
Vidurkio reikšmių rodiklis	I etapas	II etapas
Vidurkis	1,44	1,09
Min reikšmė	1,35	0,36
Maks. reikšmė	1,48	1,45
50% reikšmių intervalas	1,42 -1,47	1,00 -1,48
Standartinis nuokrypis	0,034	0,168
Dispersija	0,0012	0,03

Šaltinis: sudaryta autoriaus

Kiaip matome 11 lentelėje, skirtumas tarp etapų rezultatų yra pakankamai ryškus. II etape atlikti bandymai buvo kokybiškesni, tai įrodo II-ojo etapo vidurkis - 1,09. Skirtumas tarp I-ojo ir II-ojo etapo vidurkių - net 0,35, todėl galime daryti išvadą, jog po trijų mėnesių pertraukos, perduodamo garso kokybė ženkliai pagerėjo, o taip pat sumažėjo kokybiniai signalo nuostoliai.

Nepaisant kokybės pagerėjimo, I-ojo etapo rodikliai yra žymiai stabilesni nei II-ojo. Kur kas mažesnis reikšmių išsibarstymas yra pastebimas I-ojo etapo duomenyse, kur skirtumas tarp didžiausios bei mažiausios reikšmės (0,13 prieš 1,09), taip pat 50% reikšmių intervalas (0,05 prieš 0,48) yra žymiai mažesni. Dėl šios priežasties galime daryti išvadą, jog vasario mėnesį duomenų kanalo apkrova buvo didesnė, tačiau pakankamai stabili bei nekintanti, o gegužės mėnesį, situacija pasikeitė – nors perduodamo signalo kokybė pagerėjo, situacija duomenų perdavimo terpėje tapo kur kas dinamiškesnė. Tai įrodo bandymų rezultatai.

19 pav. pavaizduotas bendras abiejų etapų gautų rezultatų grafikas, kuriame matomas aiškus skirtumas tarp jų.



Šaltinis: sudaryta autoriaus

19 pav. I-o ir II-ojo eksperimento etapų rezultatai

Kaip matome 19 pav. signalo kokybė gegužės mėnesį ženkliai pagerėjo (bandymų vidurkiai pasislinko arčiau 0), tačiau signalas tapo sunkiau prognozuojamas ir mažiau stabilus.

Norint formuoti IP telefonijos panaudojimo balso atpažinimo sistemose modelį, reikėtų įvertinti galimas tinklo apkrovas. Esant tokiems stabiliems rezultatams, kokie buvo vasario mėnesį, atsižvelgti į

duomenų kanalo, apkrovą nereikėtų, nes signalas yra daugmaž vienodas visais atvejais, tačiau sprendžiant iš gegužės mėn duomenų, kuomet situacija tinkle aiškiai pasikeitė, modeliuojant IP telefonijos pritaikymo balso atpažinimui sistemą, būtina įvertinti duomenų kanalo apkrovą.

Atsižvelgiant į gautus tyrimo rezultatus ir norint IP telefoniją taikyti balso atpažinimo technologijose, reikėtų atlikti papildomą tyrimą, kuris padėtų nustatyti, kokioms sąlygoms esant, kokiais laiko momentais pasireiškia signalo iškraipymo skirtumai. Taip pat reikėtų paanalizuoti ir surasti objektyvias signalo kitimo priežastis.

IŠVADOS IR PASIŪLYMAI

1. Egzistuoja dvi pagrindinės IP telefonijos technologijos – H.323 bei SIP. Technologijos turi panašumų bei skirtumų. Panašumai - skambučių valdymo funkcijos – skambučio užlaikymas, peradresavimas, laukimas, transportavimo protokolai – UDP; skirtumai - naudojami protokolų rinkiniai – H.323 naudoja H.450 protokolų rinkinį, H.323 skirtingos versijos sklandžiai dirba tarpusavyje, SIP – atsiranda trikdžių.
2. Moksliniai tyrimai yra susiję su balso perdavimo per IP kokybės gerinimu. Pagrindinės kokybės problemos susijusios su paketų praradimu, vėlinimais, aidu atsiradimas. Moksliniai tyrimai vykdomi visose iš šių sričių.
3. Eksperimento metu buvo įrašyta 150 per „Skype“ sistemą pertransliuotų failų. Garso įrašų apdorojimui sudarytas „Matlab“ algoritmas, naudodamas Furje analizę, transformuoja kiekvieną garso signalą į dažninį spektrą.
4. Eksperimentą sudarė du etapai - 2008m vasario mėn (61 failas) ir 2008m gegužės mėn.(89 failai). I-ojo etapo rezultatų vidurkis – 1,44, antrojo 1,09. Vasario mėn. darytų įrašų kokybė mažai skiriasi, vidurkių išsibarstymo ribos - nuo 1,44 iki 1,35, gegužės mėn rezultatai labai skiriasi vienas nuo kito, minimalios ir maksimalios vidurkio reikšmės skirtumas viršija 1. Tai rodo, jog signalo kokybė yra nepastovi ir nevienoda, todėl galime daryti išvadą, jog situacija duomenų perdavimo kanale nėra stabili, o smarkiai kintanti.
5. Norint IP telefonijos kanalu perduotą signalą naudoti balso atpažinimo sistemose, reiktų įvertinti tinklo apkrovą, apkrovos dinamiškumą ir jos sąlygotus iškraipymus. Sudarant duomenų paruošimo balso atpažinimo sistemai modelį, reiktų įvertinti jame duomenų kanalo būseną bei apkrovą, kadangi pagal tyrimo rezultatus, iškraipymai, kokybės nuostoliai gali būti labai dinamiški.
6. Prieš projektuojant balso atpažinimo sistemą, naudojančią IP telefonijos signalą, reiktų atlikti papildomą tyrimą, kuris padėtų nustatyti, kokioms sąlygoms esant, signalo kokybė esti nepastovi, smarkiai varijuojanti, kas sukelia tokius nevienodus balso signalo iškraipymus.

LITERATŪRA

Mokslinės literatūros sąrašas

1. Cooley, J. W., Tukey J. W. (1965) *Algorithm for the Machine Calculation of Complex Fourier Series*. Mathematics of Computation, Vol. 19, No. 90 (Apr., 1965), pp. 297-301.
2. Ding L., bei Goubran R.,A. (2003) *Speech Quality Prediction in VoIP Using the Extended E-Model*. Global Telecommunications Conference, 2003. GLOBECOM '03. IEEE, Volume: 7, On page(s): 3974- 3978 vol.7. ISBN: 0-7803-7974-8
3. Hirannaiah M., Amarnath Jasti, Pendse R. (2007) *Influence of Codecs on Adaptive Jitter Buffer Algorithm*. Vehicular Technology Conference, 2007. VTC 2007 Fall. 2007 IEEE 66th Volume, Issue, p.2015 - 2019
4. Kondo, K., Nakagawa, K. (2006) *A Speech Packet Loss Concealment Method Using Linear Prediction*. IEICE Transactions on Information and Systems Volume E89-D, Number 2 p. 806-813
5. Kuittinen, P. (1999) *Noise in Man-generated Images and Sound*. [interaktyvus]. Media Lab, Helsinki University of Technology (HUT) [žiūrėta 2008 m. gegužės 2 d.]. Prieiga per internetą: < <http://mlab.taik.fi/~eye/mediaculture/noise.html> >
6. Mahfuz E., (2001) *Packet Loss Concealment for Voice Transmission over IP Networks*. Nepublikuota mokslų daktaro disertacija. Montreal. 18 p.
7. Ngatman, M.F., Ngadi, A., Sharif J.M.(2008) *Comprehensive Study of Transmission Techniques for Reducing Packet Loss and Delay in Multimedia over IP*. IJCSNS International Journal of Computer Science and Network Security, VOL.8 No.3, March 2008. p.292-299.
8. Ramašauskas, Olegas (2005) *Kompiuterių tinklai* [interaktyvus].Klaipėda: Klaipėdos universitetas, [žiūrėta 2008m. Balandžio 23d.]. Prieiga per internetą: <<http://ik.ku.lt/lessons/konspekt/tinklai/index.htm>>
9. Rindzevičius, R., Tervydis, P. (2003) *Balso perdavimo interneto tinklu charakteristikų tyrimas*. Elektronika ir elektrotechnika. Nr.5(47) p.22-26, ISSN 1392-1215
10. Sandberg, Kristian (2001), *An Overview of Fourier Analysis for Signal Processing*. [interaktyvus] Dept. of Applied Mathematics, University of Colorado at Boulder. [žiūrėta 2008 m. gegužės 2 d.]. Prieiga per internetą: < <http://amath.colorado.edu/courses/3310/OLDER/2001fall/Improc/Webpages/fourier/> >
11. Sanneck, H., Stenger, A., Ben Younes, K., Girod, B. (1996) *A new technique for audio packet loss concealment*. Global Telecommunications Conference, GLOBECOM apos;96.

apos;Communications: The Key to Global Prosperity
Volume , Issue , 18-22 Nov 1996 Page(s):48 – 52

12. SCOTTY Group plc (2007) *Glossary* [interaktyvus]. [žiūrėta 2008 m. Balandžio 27 d.]. Prieiga per internetą: <<http://www.scottysgroup.com/glossary?b=G>>
13. Smith, Steven, W. (1997) *The Scientist and Engineer's Guide to Digital Signal Processing*. San Diego: California Technical Publishing. p.141-242. ISBN 0-9660176-3-3
14. Sun, Lingfen (2004) *Speech Quality Prediction for Voice over Internet Protocol Networks*. Nepublikuota mokslų daktaro disertacija. Plymouth. 198 p.

Informacijos šaltinių sąrašas

15. Cisco Systems, Inc.(2007) *Understanding Delay in Packet Voice Networks* [interaktyvus]. White papers, Document ID:5125.[žiūrėta 2008 m. balandžio 27 d.]. Prieiga per internetą: <<http://www.cisco.com/warp/public/788/voip/delay-details.html>>
16. Doumas, Thomas (2004) *Next Generation Telephony: A Look at Session Initiation Protocol*. Agilent Technology, Network Systems Test Division 2004
17. H.323 Protocols Suite [interaktyvus]. [žiūrėta 2008 m. Balandžio. 27d.]. Prieiga per internetą: <<http://www.protocols.com/pbook/h323.htm#T38>>
18. Handley M., Jacobson V., Perkins C. (2006) *RFC 4566 - SDP: Session Description Protocol* [interaktyvus]. Internet Engineering Task Force (IETF) working group, University of Glasgow [žiūrėta 2008m. Balandžio 24d.]. Prieiga per internetą: <<http://tools.ietf.org/html/rfc4566>>
19. International Engineering Consortium (IEC) H.323 Definition and Overview [interaktyvus]. [žiūrėta 2008 m. balandžio 26 d.]. Prieiga per internetą: <<http://www.iec.org/online/tutorials/h323/index.html>>
20. International Telecommunication Union (2003) Series G: Transmission systems And Media Digital Systems And Networks. ITU-T Recommendation G.114 [interaktyvus]. Switzerland, Geneva. [žiūrėta 2008 m. balandžio 27 d.]. Prieiga per internetą: <http://www1.cs.columbia.edu/~andrea/new/documents/other/T-REC-G.114-200305.pdf>
21. ITU-T Recommendation G.711 Appendix I, (1999) *A high quality low-complexity algorithm for packet loss concealment with G.711*. [interaktyvus]. [žiūrėta 2008 m gegužės 5 d .]. Prieiga per internetą: <http://www.itu.int/rec/dologin_pub.asp?lang=e&id=T-REC-G.711-199909-I!AppI!PDF-E&type=items>

22. Jackson, Barry. (2004) *History of VoIP*. [interaktyvus] University of Texas at Dallas. Dallas [žiūrėta 2008m kovo 31d.] Prieiga per internetą: <http://www.utdallas.edu/~bjackson/history.html>.
23. Leinen, S. (2006) *Serialization Delay* [interaktyvus]. [žiūrėta 2008 m gegužės 2 d.]. Prieiga per internetą: <<http://kb.pert.geant2.net/PERTKB/SerializationDelay>>
24. LR ryšių reguliavimo tarnyba *Elektroninių ryšių sektoriaus periodinės ataskaitos* [interaktyvus]. [žiūrėta 2008m balandžio 14d.] Prieiga per internetą: <http://www.rrt.lt/index.php?1654375079>
25. Montgomery, Doug and Hall, Timothy A. (1999) *Test and Measurement of Voice over IP technologies*. [interaktyvus] National Institute of Standards and Technology. [žiūrėta 2008 m. gegužės 05 d.]. Prieiga per internetą: < http://w3.antd.nist.gov/Overview/voip_sans_.pdf>
26. Nortel Networks (2000) *Packet Loss and Packet Loss Concealment* [interaktyvus]. [žiūrėta 2008 m gegužės 2 d.]. Prieiga per internetą: < http://www.nortel.com/products/01/succession/es/collateral/tb_pktloss.pdf>
27. Rosenberg J., Schulzrinne H., Camarillo G. (2002) *RFC 3261 - SIP: Session Initiation Protocol* [interaktyvus]. Internet Engineering Task Force (IETF) working group [žiūrėta 2008m balandžio 23d.]. Prieiga per internetą: < <http://www.packetizer.com/rfc/rfc3261/>>
28. Voip Foro (2006) *Voip Protocols* [interaktyvus]. [žiūrėta 2008 m. Balandžio 27 d.]. Prieiga per internetą: <http://www.voipforo.com/en/H323/H323_example.php>

Duomenų apdorojimo algoritmas

```

close all;
clear all;

%-----Pertransliuotas failas
pv1='B21.wav'
[failas1,FS,NBITS]=WAVREAD(pv1);
[eilutes1,stulpeliai1]=size(failas1)
dydis1=eilutes1*stulpeliai1
pjuviu_skaicius1=dydis1/256
apvalintas_pj_sk1=round(pjuviu_skaicius1)+1

for I = 1:apvalintas_pj_sk1,
    for J = 1:256,
        Supjaustytas1(I,J) = failas1(J);

        end
        amplitud_spektras1(I,:)=abs(fft(Supjaustytas1(I,:))); % skaiciuojam amplitudini
spektra
    end
    sk1=1;
    for I = 1:apvalintas_pj_sk1,
        for J = 1:256
            spektr1(sk1)=amplitud_spektras1(I,J); %Matrica transformuojam i vektoriui
            sk1=sk1+1;
        end
        sk1=sk1+1;
    end

%-----Originalus failas-----
pvor='l2n.wav'
[failasor,FS,NBITS]=WAVREAD(pvor);
[eilutesor,stulpeliaior]=size(failasor)

```

```

dydisor=eilutesor*stulpeliaior
pjuviu_skaiciusor=dydisor/256
apvalintas_pj_skor=round(pjuviu_skaiciusor)+1

for I = 1:apvalintas_pj_skor,
    for J = 1:256,
        Supjaustytasor(I,J) = failasor(J);

        end
        amplitud_spektrasor(I,:)=abs(fft(Supjaustytasor(I,:)));           % skaiciuojam
amplitudini spektra
    end
    skor=1;
    for I = 1:apvalintas_pj_skor,
        for J = 1:256
            spektror(skor)=amplitud_spektrasor(I,J); %Matrica transformuojam i vektoriui
            skor=skor+1;
        end
        skor=skor+1;
    end

    %-----

    skirtuminis(1,:)=spektror-spektror; %apskaiciuojamas spektru skirtumas
    skirtuminis_trans=skirtuminis.';   %transformuojam matrica
    write2excel('d1.xls',0,'[2,1]:[6168,1]',skirtuminis_trans); %signalu skirtuma ikeliam i

```

Excel

Eksperimentinių failų rodyklė

B.Nr.	F.V.	B.Nr.	F.V.	B.Nr.	F.V.	B.Nr.	F.V.
B1	C15	B39	C4	B77	C36	B114	C73
B2	C16	B40	C135	B78	C37	B115	C74
B3	C17	B41	C136	B79	C38	B116	C75
B4	C18	B42	C137	B80	C39	B117	C76
B5	C19	B43	C5	B81	C40	B118	C77
B6	C20	B44	C6	B82	C41	B119	C78
B7	C110	B45	C138	B83	C42	B120	C79
B8	C111	B46	C139	B84	C43	B121	C80
B9	C112	B47	C140	B85	C44	B122	C81
B10	C113	B48	C141	B86	C45	B123	C82
B11	C114	B49	C142	B87	C46	B124	C83
B12	C115	B50	C143	B88	C47	B125	C84
B13	C116	B51	C7	B89	C48	B126	C85
B14	C3	B52	C144	B90	C49	B127	C86
B15	C11	B53	C8	B91	C50	B128	C87
B16	C117	B54	C145	B92	C51	B129	C88
B17	C118	B55	C9	B93	C52	B130	C89
B18	C12	B56	C146	B94	C53	B131	C90
B19	C13	B57	C147	B95	C54	B132	C91
B20	C14	B58	C148	B96	C55	B133	C92
B21	C1	B59	C149	B97	C56	B134	C93
B22	C119	B60	C10	B98	C57	B135	C94
B23	C120	B61	C150	B99	C58	B136	C95
B24	C121	B62	C21	B100	C59	B137	C96
B25	C122	B63	C22	B101	C60	B138	C97
B26	C123	B64	C23	B102	C61	B139	C98
B27	C124	B65	C24	B103	C62	B140	C99
B28	C125	B66	C25	B104	C63	B141	C100
B29	C126	B67	C26	B105	C64	B142	C101
B30	C127	B68	C27	B106	C65	B143	C102
B31	C128	B69	C28	B107	C66	B144	C103
B32	C2	B70	C29	B108	C67	B145	C104
B33	C129	B71	C30	B109	C68	B146	C105
B34	C130	B72	C31	B110	C69	B147	C106
B35	C131	B73	C32	B111	C70	B148	C107
B36	C132	B74	C33	B112	C71	B149	C108
B37	C133	B75	C34	B113	C72	B150	C109
B38	C134	B76	C35				

B.Nr. - Eksperimento numeris (naudojamas šiame darbe)

F.V. - *.wav failo fizinis vardas