

VILNIAUS UNIVERSITETAS
KAUNO HUMANITARINIS FAKULTETAS

INFORMATIKOS KATEDRA

Verslo informacijos sistemų studijų programa
Kodas 62103S138

ARTŪRAS KOKAS

MAGISTRO BAIGIAMASIS DARBAS

**INTERNETINĖS TELEFONIJS PASLAUGOS KOKYBĖS
TYRIMAS NAUDOJANT NEURONINĮ KLASTERIZATORIŲ**

Kaunas 2008

VILNIAUS UNIVERSITETAS
KAUNO HUMANITARINIS FAKULTETAS

INFORMATIKOS KATEDRA

ARTŪRAS KOKAS

MAGISTRO BAIGIAMASIS DARBAS

**INTERNETINĖS TELEFONIJOS PASLAUGOS KOKYBĖS
TYRIMAS NAUDOJANT NEURONINĮ KLASTERIZATORIŲ**

Leidžiama ginti _____

Magistrantas _____
(parašas)

Darbo vadovas _____
(parašas)

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

Darbo įteikimo data _____

Registracijos Nr. _____

Kaunas 2008

TURINYS

SANTRUMPŲ SĄRAŠAS	4
PAVEIKSLŲ SĄRAŠAS	5
LENTELIŲ SĄRAŠAS	6
ĮVADAS	7
1. BALSŲ PERDAVIMAS IP TINKLAIS	9
1.1. VoIP paslaugos kokybės parametrai	10
1.1.1. Vėlinimas	11
1.1.2. Vėlinimo fliuktacijos	13
1.1.3. Paketų praradimas	13
1.2. Subjektyvūs balso kokybės parametrai	14
1.2.1. MOS – vidutinės nuomonės įvertis	14
2. NEURONINIAI TINKLAI	16
2.1. Dirbtinio neurono modelis	17
2.2. Dirbtinių neuronų tinklų klasifikavimas	19
2.3. Perceptronų tinklas	20
2.3.1. Vienasluoksniai ir daugiasluoksniai perceptronai	20
2.3.2. Perceptronų tinklo struktūros	23
3. ANALITINIS MODELIS TINKLO DARBINGUMUI ĮVERTINTI	25
3.1. Kokybinių tinklo parametrų paruošimas analizei	26
3.2. Būsenų požymių informatyvumą nustatantys metodai	27
3.3. Klasterizacijos metodai	28
3.3.1. Klasterinė analizė be apmokymo	28
3.3.2. Klasterinė analizė su apmokymu	29
3.4. Tinklo darbingumo situacijos įvertinimas	30
3.4.1. Darbingumo situacijos nustatymas, remiantis minimaliu atstumu	30
4. INTERNETINĖS TELEFONIJS PASLAUGOS KOKYBĖS TYRIMAS	32
4.1. Neuroninio tinklo modeliavimas „NeuroSolutions for Excel“ programiniu paketu ...32	
4.2. VoIP QoS įvertinimas, naudojant realiai išmatuotus tinklo kokybinius parametrus	40
IŠVADOS	45
LITERATŪRA	46
SANTRAUKA	48
PRIEDAS nr. 1. Apmokymo ir testavimo duomenų imtys	49
PRIEDAS nr. 2. SLICAN telefoninių stočių funkcijos	52

SANTRUMPŲ SĄRAŠAS

VoIP – balso perdavimas IP tinklais (angl. *Voice Over IP*);

IP – interneto protokolas (angl. *Internet Protocol*);

QoS – paslaugos kokybė (angl. *Quality of Service*);

WAN – didelės teritorijos duomenų perdavimo tinklas (angl. *wide area network*);

MOS – vidutinės nuomonės įvertis (angl. *Mean Opinion Score*);

ACR – absoliutus kategorijos rangavimas (angl. *Absolute Category Ranking*);

ANN – dirbtiniai neuroniniai tinklai (angl. *Artificial Neural Networks*).

MSE – vidutinė kvadratinė paklaida (angl. *Mean square error*).

SIP – sesijos inicijavimo protokolas (angl. *Session Initiation Protocol*).

RDP – nuotolinis darbalaukio valdymo protokolas (angl. *Remote Desktop Protokol*).

PAVEIKSLŲ SĄRAŠAS

1 pav. VoIP realizacija Internete	9
2 pav. Vėlinimų šaltiniai.....	12
3 pav. Klasių atskyrimo grafinis vaizdas.....	17
4 pav. Dirbtinio neurono modelis.....	17
5 pav. Neurono aktyvavimo funkcijos.....	18
6 pav. Elementarus perceptronų tinklas.....	20
7 pav. Dviejų sluoksnių perceptronas.....	22
8 pav. Nuosekli perceptronų tinklo struktūra	23
9 pav. Kryžminė perceptronų tinklo struktūra.....	23
10 pav. Grįžtamųjų ryšių perceptronų tinklo struktūra.....	24
11 pav. Analitinio modelio tinklo darbingumo būsenai įvertinti struktūrinė schema	26
12 pav. VoIP paslaugos kokybės įvertinimo neuroniniu klasifikatoriumi algoritmas	33
13 pav. Sumodeliuotas dviejų paslėptųjų sluoksnių perceptronų tinklas	34
14 pav. Sumodeliuoto neuroninio tinklo struktūra	34
15 pav. MSE kitimas apmokant neuroninį tinklą 1000 iteracijų	36
16 pav. MSE kitimas apmokant neuroninį tinklą 5000 iteracijų.....	36
17 pav. MSE kitimas apmokant neuroninį tinklą 10000 iteracijų.....	36
18 pav. MSE kitimas apmokant neuroninį tinklą 15000 iteracijų.....	37
19 pav. Neuroninio tinklo, apmokyto 1000 iteracijų, testavimas.....	37
20 pav. Neuroninio tinklo, apmokyto 5000 iteracijų, testavimas.....	38
21 pav. Neuroninio tinklo, apmokyto 10000 iteracijų, testavimas.....	38
22 pav. Neuroninio tinklo, apmokyto 15000 iteracijų, testavimas.....	38
23 pav. Tiriamo telekomunikacinio tinklo modelis.....	40
24 pav. Vėlinimo priklausomybė nuo kanalo pralaidumo.....	42
25 pav. Paketų praradimų priklausomybė nuo kanalo pralaidumo	42
26 pav. Vėlinimo fliuktacijų priklausomybė nuo kanalo pralaidumo	42
27 pav. MOS įverčių priklausomybė nuo kanalo pralaidumo.....	44

LENTELIŲ SĄRAŠAS

1 lentelė Rekomendacijos G.114 vienpusio vėlinimo ribos.....	12
2 lentelė MOS balso kokybės matavimo modelis	15
3 lentelė DNT klasifikacija	19
4 lentelė VoIP paslaugos kokybės klasės	35
5 lentelė Neuroninių tinklų apmokymo ir testavimo rezultatų suvestinė.....	39
6 lentelė Išmatuoti VoIP paslaugos kokybiniai parametrai.....	41
7 lentelė MOS kriterijaus įvertinimo trimis metodais rezultatai	43

ĮVADAS

Nuo pat žmonijos atsiradimo pradžios informacijos mainai, ypatingai bendravimas, buvo labai svarbūs kasdieniniame gyvenime. Laikui bėgant, balso perdavimo technologijos vystėsi nuo pačių primityviausių iki tokių, kurias sutinkame ir naudojame šiandien. Šiais informacinės visuomenės laikais, reikiamos informacijos svarba diktuoja sąlygas aukštųjų technologijų vystymuisi, eliminuojant atstumo bei kuo labiau sumažinant perdavimo laiko bei paslaugos kainos faktorius. Šiam modeliui idealiai tinka Internetas.

Nuolatos augantys vartotojų norai ir poreikiai bei ženkliai didėjantis IP tinklų populiarumas kasdieninėse komunikacijose, skatino naujų technologijų, skirtų perduoti balsą, atsiradimą ir tolimesnį telekomunikacinių tinklų vystymąsi bei plėtojimą. Naujovės ir suteiktos naujų paslaugų galimybės smarkiai pakeitė anksčiau vyravusius ryšių standartus. Taip atsirado nauja technologija, kuri balso perdavimui naudoja visame pasaulyje paplitusį paketinių duomenų pernašos tinklą – Internetą. Ji buvo pavadinta VoIP (angl. *Voice Over IP*) – paslauga, skirta balsinės informacijos perdavimui realiaame laike internetu ar kitu IP (angl. *Internet Protocol*) protokolo pagrindu pagrįstu tinklu.

Teikiant IP telefonijos paslaugą yra galimi įvairūs sistemos architektūros variantai. Dėl galimos aparatūrinės ir programinės įrangos komponentų įvairovės bei suderinamumo, sistemos funkcionalumo galimybės yra itin lanksčios vartotojo atžvilgiu. Pagrindinė problema teikiant balso perdavimo paslaugą IP tinklais yra reikiamos kokybės – QoS (angl. *Quality of Service*) lygio užtikrinimas bei palaikymas. Egzistuoja įvairūs objektyvūs ir subjektyvūs kokybės parametrai, atspindintys balso perdavimo paslaugos kokybę. Klasikiniai kokybės užtikrinimo uždavinių sprendimai ir algoritmai dažnai yra neefektyvūs, kadangi sunku pakankamai tiksliai aprašyti realybę, naudojant didesnę parametru kieki, o didinant parametru skaičių modeliavimas tampa brangus ir užima daug laiko. Dėl šių trūkumų vystomos kitokios analitinės technologijos. Vienas iš sprendimų ir yra neuroniniai tinklai, leidžiantys modeliuoti ypač sudėtingas funkcijas. Tai netiesiniai modeliai, naudojami atpažinimo, klasterizavimo ir prognozavimo uždaviniams spręsti. Atsižvelgus į tai, kad VoIP paslaugos kokybei įtaką daro įvairūs parametrai, tikslinga paslaugos kokybės tyrimui pasirinkti neuroninį klasterizatorių. Taigi darbo tikslas ir yra ištirti VoIP paslaugos kokybę naudojant neuroninį klasterizatorių. Kad pasiekti tikslą, stengiamasi išspręsti sekančius uždavinius:

- išnagrinėti balso perdavimo IP tinklais ypatumus;
- atlikti VoIP paslaugos kokybę įtakančių faktorių analizę;
- aptarti dirbtinių neuroninių tinklų modelius bei galimybes;

- sumodeliuoti neuroninį tinklą bei naudojant realiai gautus kokybinius telekomunikacinio tinklo parametrus atlikti VoIP paslaugos kokybės įvertinimą.

Pirmame darbo skyriuje aptariama kaip gali būti organizuojama telefonijos paslauga IP protokolo pagrindu dirbančiuose telekomunikaciniuose tinkluose. Analizuojami didžiausią įtaką VoIP paslaugos kokybei darantys telekomunikacinio tinklo kokybiniai parametrai.

Antroje dalyje, kaip vieni iš galimų VoIP paslaugos kokybės klasterizatorių, nagrinėjami dirbtinių neuronų tinklai. Apžvelgiami jų struktūros ir modeliai bei privalumai lyginant su kitomis priemonėmis, sprendžiant klasifikavimo uždavinius.

Trečiame skyriuje pateikiamas analitinis IP tinklo darbingumo būseną įvertinantis neuroninio tinklo modelis teikiant balso perdavimo paslaugą, kurio pagrindą sudaro dviejų paslėptų sluoksnių perceptronų neuroninis tinklas.

Praktinėje darbo dalyje programinės įrangos paketu *NeuroSolutions for Excel* sumodeliuojamas VoIP paslaugos kokybę prognozuojantis neuronų tinklas. Realizuojamas telekomunikacinio tinklo tarp Vilniaus ir Kauno miestų, kuriuo teikiama VoIP paslauga modelis. Naudojant realiai išmatuotus kokybinius tinklo parametrus atliekamas paslaugos kokybės tyrimas, atliekama gautų rezultatų analizė.

Gauti rezultatai rodo, jog neuronų tinklas puikiai tinka VoIP paslaugos kokybei įvertinti ir tokio tipo neuroninį klasterizatorių, kaip VoIP paslaugos kokybės vertintoją, tikslinga naudoti telekomunikacijų tinklo valdyme, siekiant prognozuoti ar laiku fiksuoti paslaugos kokybės pablogėjimą.

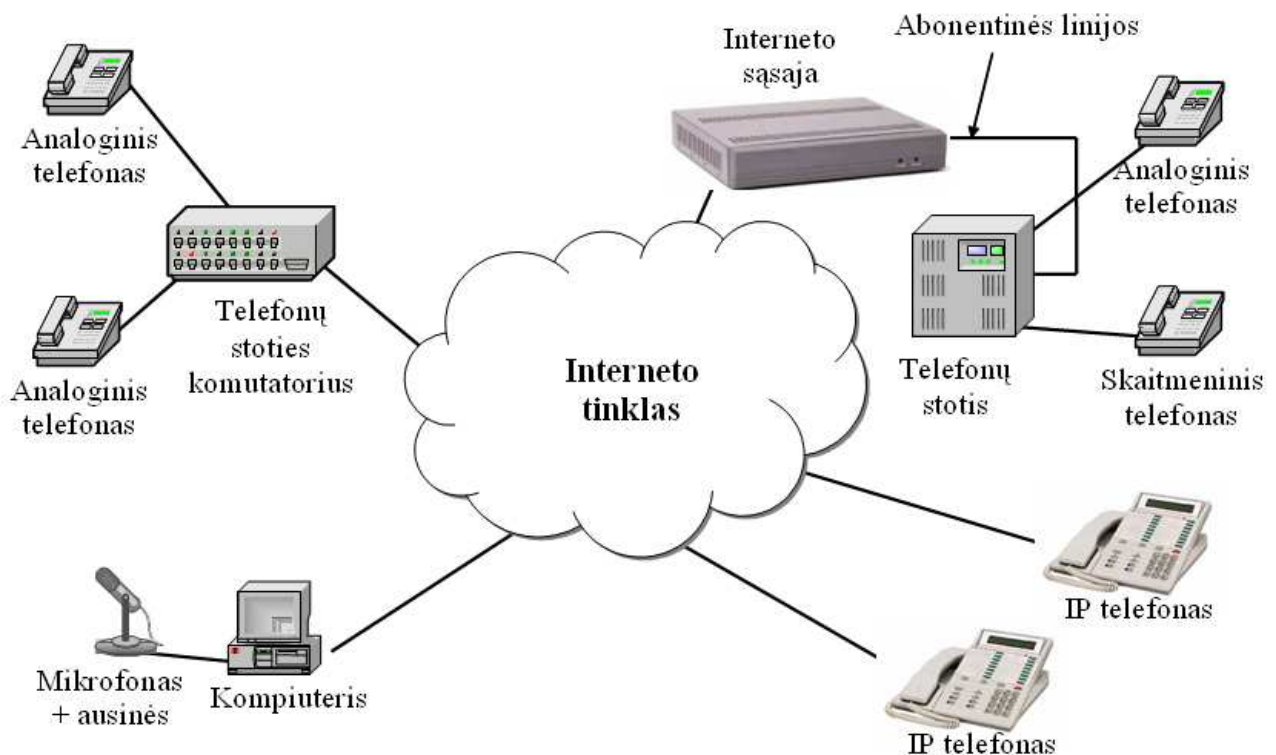
Darbo apimtis yra 40 puslapių. Pateikta 27 paveikslai, 7 lentelės ir 2 priedai. Darbas parašytas remiantis 20 literatūros šaltinių, kurių didžiąją dalį sudaro publikacijos internete. Eksperimentinėje kvalifikacinio darbo dalyje buvo naudotasi 4 programinės įrangos paketais: *NeuroSolutions for Excel*, *Express Talk*, *Wireshark*, *NetLimiter*.

1. BALSŲ PERDAVIMAS IP TINKLAIS

Balso perdavimas per IP tinklus susideda iš keleto etapų. Visų pirma analoginis balso signalas yra diskretizuojamas ir paverčiamas skaitmeniniu signalu. Dėl didelio duomenų kiekio šis signalas būtina koduoti. Kodavimo metu iš signalo pašalinamos pauzės ir nereikalingi triukšmai. Koduoti duomenys yra skaidomi dalimis, tinkamomis gabenti tinklu siunčiamais paketais. Paketai taip pat neša informaciją apie gavėjo adresą, paketo eilės numerį ir papildomus duomenis klaidų korekcijai. Tinklo maršrutizatoriai naudoja šią papildomą informaciją reikiamam gavėjui tinkle surasti ir jam perduoti visus siuntėjo duomenis.

Gavėjo pusėje vyksta atvirkštinis procesas, balsui iš skaitmeninės informacijos išgauti. Paketai pasiekia gavėją skirtinga seka negu buvo išsiųsti (dėl to, kad IP tinklas negarantuoja vėlinimo laiko ir paketai keliauja skirtingais keliais). Šiai situacijai spręsti naudojamas laikinas paketų kaupimas maršrutizatoriaus buferyje, kas leidžia atstatyti paketų eiliškumą ir sinchronizaciją. Jeigu paketų vėlinimas viršija tam tikrą nustatytą trukmę – kai kurie paketai gali būti prarandami. Balso perdavimui IP tinkluose paprastai yra naudojami aproksimaciniai algoritmai, kurie atstato prarastus paketus pagal gautus. Tai sąlygoja nežymių balso iškraipymų atsiradimą [1].

Paveiksle nr. 1 pavaizduota keletas galimų VoIP paslaugos realizacijos Interneto tinkle variantų bei tam naudojama įranga [2].



1 pav. VoIP realizacija Internete

Interneto sąsaja (*angl. Gateway*) – dvipusė sąsaja, įjungta tarp telefonų stoties (*angl. PBX*) ir IP protokolą naudojančio tinklo. Ši sąsaja atsako už tradicinės telefonijos tinklo ir paketinio IP tinklo sujungimą, todėl galimas skirtingų technologijų tarpusavio ryšys.

Telefonų stoties komutatorius (*angl. Shuttle*) – tai telefonų stotelė ir Interneto sąsaja viename įrenginyje. Tradiciniai telefonų aparatai yra jungiami tiesiogiai prie šio įrenginio.

VoIP paslaugos realizacijai pakanka ir kompiuterio su Interneto prieiga bei prijungtu mikrofonu ir ausinėmis. Šiuo atveju balso paketų siuntimą bei priėmimą kontroliuoja įdiegta programinė įranga, pvz.: „Skype“. Taip pat sistemos realizacija galima naudojant specializuotus IP telefonus.

1.1. VoIP paslaugos kokybės parametrai

VoIP technologijos realizacija reikalauja tam tikrų tinklo resursų. Siekiant užtikrinti nepriekaištingą kokybę, IP tinklo įranga turi užtikrinti ne tik duomenų paketų pristatymą, bet jų pristatymą neviršijant griežtų vėlinimo reikalavimų. Diegiant tinklus, paslaugos kokybė (*angl. Quality of Service*) yra vienas svarbiausių dalykų. Tinklų terminologijoje QoS reiškia garantuojamą duomenų perdavimo tinklo darbo kokybės lygį. Paprasčiau tariant, QoS – tai mechanizmas, užtikrinantis duomenų judėjimą tinklu su minimaliu užlaikymu. Jei QoS tinkle neįdiegta, IP balso skambučių seansai bus nepatikimi, nenuoseklūs, dažniausiai nepatenkinami [3].

VoIP paslaugos kokybės parametrai skirstomi į šias grupes [2]:

- kvietimo sujungimo kokybė;
- kvietimo kokybė;
- nuostoliai;
- juostos plotis arba pralaidumas;
- pasiekiamumas.

Kvietimo sujungimo kokybė yra charakterizuojama rodikliu: kvietimo sujungimo laikas. Tai laiko tarpas nuo galinio vartotojo sąsajos komandos pasiuntimo adresatui iki toninio signalo gavimo (abonentas laisvas, užimtas, tinklo perkrova ir t.t.). Vartotojas šį parametą suvokia kaip paslaugos sugebėjimą greitai reaguoti į kvietimo signalą.

Kvietimo kokybės grupė yra apibūdinama šiais rodikliais: „galinis taškas – galinis taškas“ vėlinimas, „galinis taškas – galinis taškas“ kalbos kokybė. „Galinis taškas – galinis taškas“ vėlinimas - tai laiko tarpas, kurį paketas užima tinkle, kitaip sakant – vėlinimas (*angl. delay*). Kalbos

kokybė apibūdinama vėlinimo laiko tarpo fliktacijomis (angl. *jitter*) - tai nuosekliai perduodamų duomenų paketų vėlinimo laiko svyravimai.

Nuostoliai (angl. *packet loss*) apibūdinami kokybės rodikliu: prarastų paketų skaičius procentais atliekant „galinis taškas – galinis taškas“ sujungimą. Paketai yra prarandami dėl perkrovos tinkle (viršijus buferio apimtį) bei dėl viršytų vėlinimo fliktacijų. Paketų praradimai IP telefonijoje sukelia balso kokybės sumažėjimą, kadangi prarasti balso paketai nepersiunčiami, priešingai nei su duomenimis, kur prarastus paketus galima persiųsti. Todėl prarasti balso paketai iškraipo balsą, jis perduodamas su klaidomis.

Juostos plotis (angl. *Bandwidth*) apibūdina maksimalų duomenų perdavimo greitį, maksimalus naudingų ir neperteklinių duomenų skaičius kuris yra perduotas.

Pasiekiamumas (angl. *availability*) tai parametras taikomas „galinis taškas – galinis taškas“ IP paslaugai, bei atskiroms tinklo dedamosioms. Paslaugos pasiekiamumas yra išreiškiamas paketų pasiekiamumo procentu, t.y. IP paslaugos pasiekiamumo procentu [2].

Paslaugos kokybės parametrai ir jų vertės VoIP paslaugai [4]:

- paketų vėlinimas

vienakryptis vėlinimas (angl. <i>one – way delay</i>)	<150ms
dvikryptis vėlinimas (angl. <i>round trip delay</i>)	<300 ms
- paketų vėlinimo fliktacijos (angl. *jitter*) <20ms
- prarastų paketų procentas (angl. *loss*) <5%
- paslaugos pasiekiamumas (angl. *availability*) >99.95 %

1.1.1. Vėlinimas

Vienas iš pagrindinių parametru, įtakančių bei apsprendžiančių perduodamo balso kokybę yra vėlinimas. Perduodant balsą duomenų perdavimo tinklais, vėlinimo skaitinės vertės visuomet kinta, kadangi perduodami paketai keliauja skirtingais keliais.

VoIP paslaugos vėlinimą apibūdina QoS kokybės parametras „Galas – galas vėlinimas“. Lentelėje nr. 1 pateikta rekomendacijos G.114 numatytos vienpusio vėlinimo ribos [4]:

Rekomendacijos G.114 vienpusio vėlinimo ribos

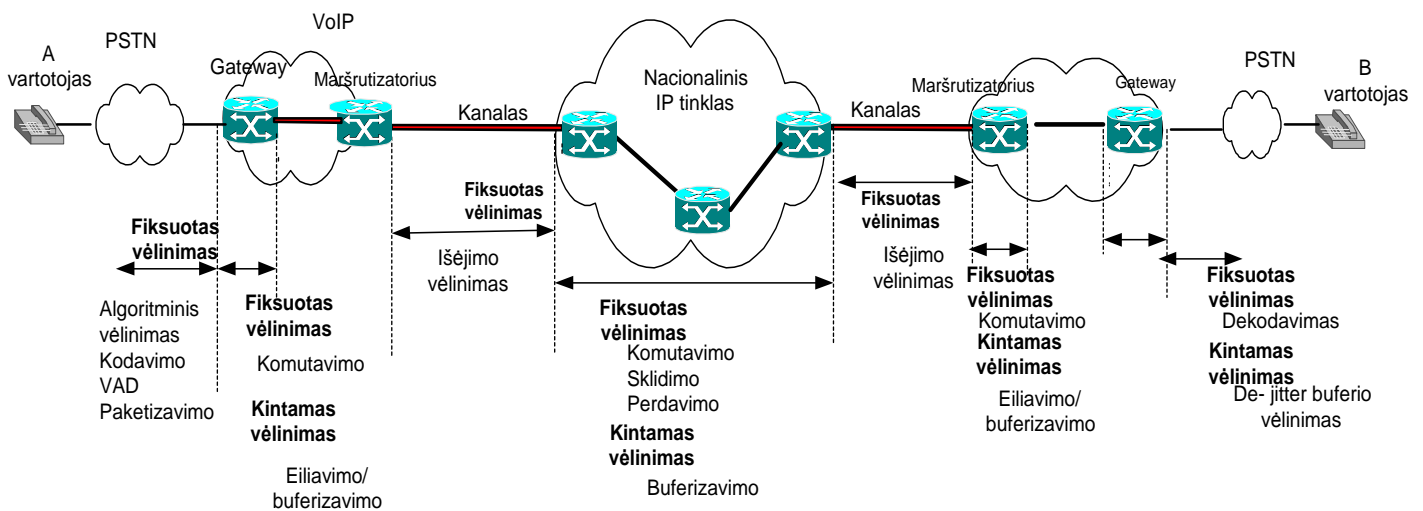
Vienpusis vėlinimas (one way delay)	Vartotojų kokybės priimtumas
0 – 150 ms	Priimtina daugumai vartotojų
150 – 400 ms	Priimtina, bet jau daro poveikį
>400 ms	Nepriimtina

Pagrindinės vėlinimo atsiradimo priežastys yra balso apdorojimas galiniuose taškuose (kodavimas, dekodavimas, skaidymas į paketus) bei paketų užlaikymas keliaujant per IP tinklo maršrutizatorius.

Vėlinimas skirstomas į dvi kategorijas:

- fiksuotą
- kintamą.

Paveiksle nr. 2 pateikti fiksuotų ir kintamųjų vėlinimų šaltiniai [5]:



2 pav. Vėlinimų šaltiniai

Fiksuotas „galinis taškas – galinis taškas“ vėlinimas bet kokiam balso paketui nepriklauso nuo perkrovų tinkle, o yra apsprendžiamas tik fizinės tinklo terpės – egzistuojančių maršrutizatorių skaičiumi ir jų tipais, bei jungiamųjų linijų ilgiu. Maršrutizatoriai daro įtaką paketų apdorojimo laikui. Jungiamosios linijos daro įtaką sklidimo laikui, kuris priklauso nuo jungiamųjų linijų ilgio, bei signalo perdavimo spartos. Fiksuotas vėlinimas pasireiškia:

- kompresijoje;
- tarpiniuose procesuose, galiniuose taškuose;

- jungiamosiose linijose;
- buferizavime;
- dekompresijoje.

Kintamas vėlinimas - vėlinimas, kurio reikšmė priklauso nuo esamos tinklo būklės, t.y. jis atsiranda dėl duomenų eilių susidarymo išėjimo buferiuose į magistralines linijas, per nuoseklias jungtis į WAN (angl. *wide area network*) tinklus. Šis vėlinimas taip pat pasireiškia dėl kintamo paketų dydžio. Vėlinimas sukelia trūkumus kalbėtojo sąveikoje su klausančiuoju, pokalbio dalinį uždengimą ir aidą [5].

1.1.2. Vėlinimo fliuktacijos

Perduodamo balso kokybė taip pat labai priklauso nuo vėlinimo laiko fliuktacijų. Vėlinimo fliuktacija - tai pokytis tarp dviejų paketų judėjimo „galinis taškas – galinis taškas“ vėlinimo reikšmių. Vėlinimo fliuktacija yra paketų atėjimo į jų paskyrimo vietą, nereguliariu intervalu, rezultatas. Vėlinimo fliuktacijos atsiranda nuo susigrūdimų tinkle, laikinio dreifo, maršruto pasikeitimo. IP paketo perdavimo vėlinimo fliuktacijos išreiškiamos kiekvieno IP paketo vėlinimo trukmės pokyčio nuo IP paketų srauto vėlinimo aritmetinio vidurkio (arba pirmo IP paketo perdavimo vėlinimo trukmės) absoliutine reikšme, arba įvertinant tai, kad vėlinimo fliuktacijos yra atsitiktinis dydis, fliuktacijų dydis gali būti išreikštas procentu IP paketų, kurių vėlinimas neviršija užduotų leistinų vėlinimo fliuktacijų ribų. Pvz. $\geq 95\%$ IP paketų vėlinimo fliuktacijos bus $\pm \Delta t$ nuo vidutinio vėlinimo ribose [2].

Rekomenduojama, kad vėlinimo fliuktacija neviršytų 30 ms, kai paketų sugaištas laikas į vieną pusę neviršija 150 ms [4].

1.1.3. Paketų praradimas

Paketinės komutacijos tinklams būdingas paketų praradimas. Jis pasireiškia dėl:

- ryšių kanalų perkrovimo;
- tinklo mazgų apkrovos,
- duomenų kontrolės pralaidumo leistinos ribos viršijimo;
- pernelyg didelio eilių susidarymo;
- maršruto pasikeitimo dėl neveikiančių grandžių.

Paketų praradimai IP telefonijoje sukelia balso kokybės sumažėjimą, kadangi prarasti balso paketai nepersiunčiami, priešingai nei su duomenimis, kur prarastus paketus galima persiųsti. Su balsu taip pasielgti neįmanoma, nes jis perduodamas realiu laiku. Todėl prarasti balso paketai iškraipo balsą, jis perduodamas su klaidomis. Paketų praradimas tampa realia problema, kai peržengiama prarastų paketų 5% riba arba prarandami keli iš eilės einantys paketai. Tuomet nepavyksta išvengti balso kokybės pablogėjimo [2].

1.2. Subjektyvūs balso kokybės parametrai

Balso kokybė gali būti įvertinta pokalbio dalyvių, t.y. ekspertiškai. Tai reiškia, kad balso perdavimo kokybė vertinama subjektyviai. Čia neatsižvelgiama į tinklo įrangos funkcionavimo kokybę. Tai priklauso nuo daugelio faktorių: fiziologijos, aplinkos, kurioje bus kalbama ir pan.

Tad subjektyvūs balso kokybės įvertinimo parametrai skirstomi:

- garsumą – balso girdimumą;
- aidą – „grįžtančią“ kalbą kalbančiajam arba klausančiajam;
- suprantamumą – balso „švarumą“, skaidrumą, iškreipymų nebuvimą;
- sąveiką – asmens arba įrenginio sugebėjimą kalbėtis arba susisiekti su kitu asmeniu ar įrenginiu realiame laike ir veikti pilname duplexiniame režime.

Subjektyvių balso kokybės parametrų įvertinimas aprašomas ITU-T G.107 rekomendacijoje. Šiems subjektyviems balso perdavimo kokybės parametrams įvertinti naudojamas MOS (*angl. Mean Opinion Score*) – vidutinės nuomonės įvertis. Jis trumpai apžvelgiamas sekančiame skyriuje.

1.2.1. MOS – vidutinės nuomonės įvertis

Tai subjektyvus balso kokybės matavimo modelis, kurio esmė yra ta, jog grupei klausytojų nurodoma penkiabalėje vertinimo skalėje įvertinti balso kokybę. MOS skalėje 0 – bloga kokybė, 5 – aukšta kokybė. Vidutinės nuomonės įvertis – tai testo rezultatas, nustatant absoliučius kategorijos rangus – ACR (*angl. Absolute Category Ranking*). Lentelėje nr. 2 pateiktos vidutinės nuomonės įverčių skalė [6]:

MOS balso kokybės matavimo modelis

Vidutinės nuomonės įvertis (MOS)	Balso kokybė	Klausytojo pastangos girdėti garsą
4.5	Puiki	Nereikia pastangų
4.0	Gera	Šiek tiek pastangų
3.0	Vidutinė	Vidutinės pastangos
2.0	Prasta	Daug pastangų
1.0	Bloga	Didžiausios pastangos suprasti, nesuprantama kalba

Vidutinės nuomonės įverčio skalė labai patogi balso perdavimo kokybei įvertinti, būtent ji ir bus panaudota praktinėje darbo dalyje – VoIP paslaugos kokybei prognozuoti, naudojant realiai išmatuotus kokybinius telekomunikacinio tinklo parametrus.

2. NEURONINIAI TINKLAI

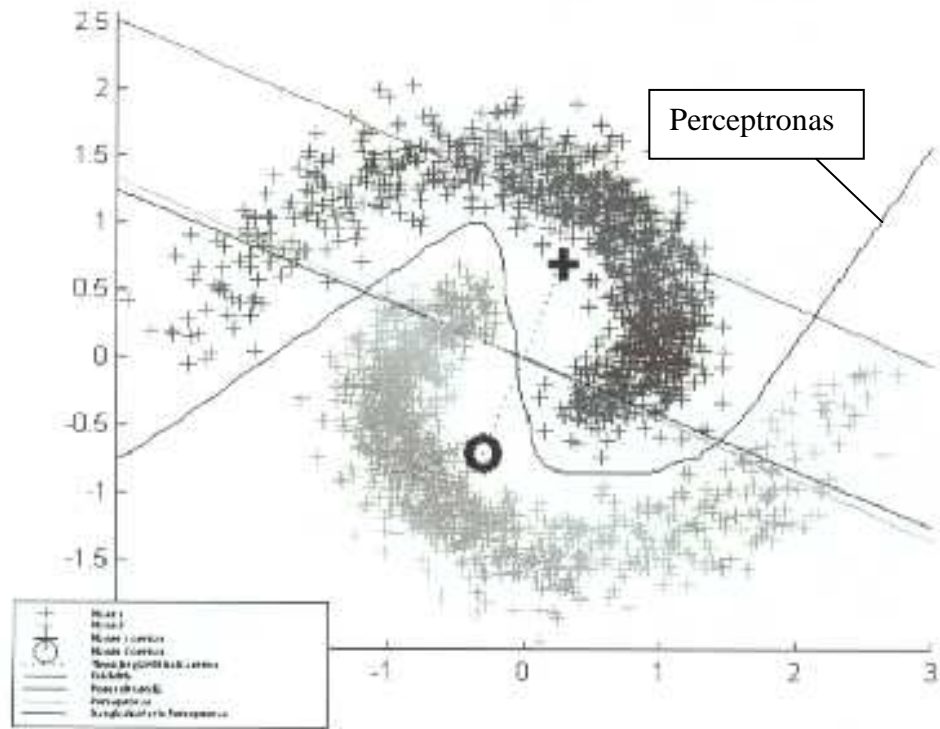
Vieni iš įdomesnių klasterizatorių – klasifikatorių, kurie gali apsimokyti, yra neuroniniai tinklai. Tai netiesiniai modeliai, sėkmingai naudojami atpažinimo, klasifikavimo ir prognozavimo uždaviniams spręsti.

Dirbtiniai neuroniniai tinklai turi keletą apibrėžimų:

- pagal Hecht-Nielsen, 1988. – dirbtinių neuronų tinklas yra lygiagreti bei paskirstyta informacijos apdorojimo struktūra susidedanti iš apdorojimo elementų (AE) (gali turėti lokalią atmintį bei atlikti lokalizuotos informacijos apdorojimą), sujungtų kartu vienakrypčiais signalų kanalais, vadinamais sinapsėmis. Kiekvienas AE turi vieną išėjimą, kuris šakojasi į norimą skaičių šakų (kuriomis perduodamas tas pats AE išėjimo signalas). AE išėjimo signalas gali būti bet kokio reikalingo matematinio tipo. Visas apdorojimo procesas, vykstantis kiekviename AE, turi būti griežtai lokalus, t.y. jis turi priklausyti tik nuo gautų AE įėjimo signalų reikšmių bei AE lokalsios atminties [7];
- pagal Simpson, 1987. – dirbtinių neuronų tinklas yra netiesinis kryptinis grafas su svorius turinčiomis briaunomis, kurios įsimeina pavyzdžius keisdamos briaunų svorius ir turi galimybę atkurti pavyzdžius iš nepilnų ar nežinomų pavyzdžių [7].

Jų struktūra primena biologinius neuroninius tinklus. Šis principas buvo kuriamas, imituojant žmogaus smegenų veikimą - informacijos talpinimą bei paiešką neuronų tinkluose.

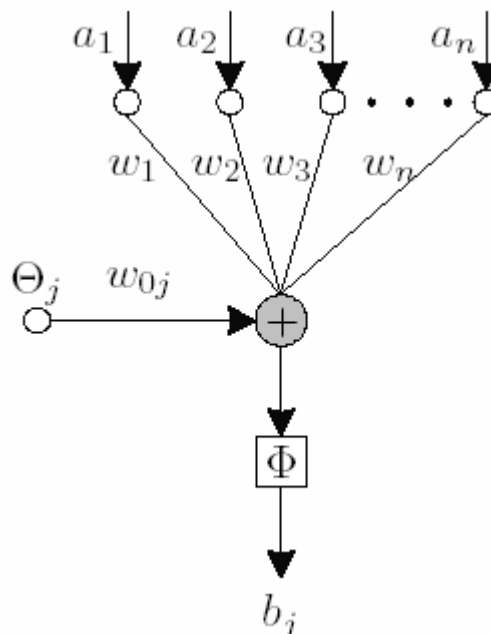
Neuroniniai tinklai sugeba patys modeliuoti sudėtingas funkcines priklausomybes. Todėl sprendžiant daugelį praktinių uždavinių, jų dėka galimas realios situacijos aprašymas dideliu parametru kiekiu, ką sunku padaryti klasikiniiais metodais. Neuroninio tinklo „apsimokymo“ galimybė leidžia sutrumpinti telekomunikacijų tinklo kokybės būsenos nustatymo trukmę ir tam panaudoti mažesnius resursus - tokiu būdu, skaičiavimų savikaina sumažėja, o darbo efektyvumas išauga. Be to, naudojant neuroninį klasterizatorių, šiuo atveju perceptronų neuroninį tinklą – vieną iš neuroninių tinklų rūšių – skirtingai nei tiesinį, gaunamas tikslesnis būsenų klasių atskyrimas [8]. Ši situacija pavaizduota paveiksle nr.: 3:



3 pav. Klasių atskyrimo grafinis vaizdas

2.1. Dirbtinio neurono modelis

1943 - MCCULLOCH, PITTS sukurti pirmieji matematiniai neuronų modeliai. Įrodyta, kad naudojant dirbtinį neuroną su slenkstinėmis aktyvavimo funkcijomis galima sukurti įrenginį, vykdančią bet kokią loginę funkciją. Paprasčiausias dirbtinis neuronas turi įėjimus a , kuriems suteikiami tam tikri svoriai ω bei išėjimą b :



4 pav. Dirbtinio neurono modelis

Dirbtinis neuronas išreiškiamas formule [7]:

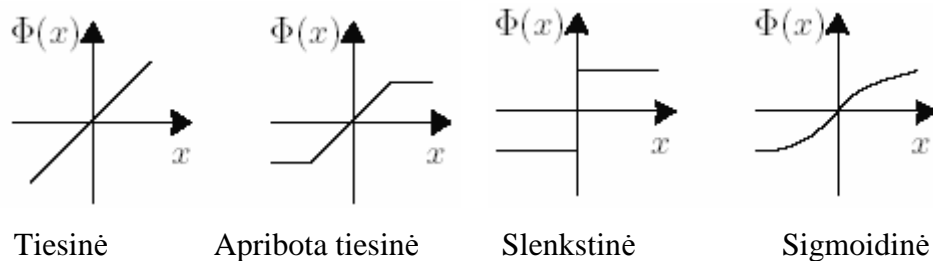
$$b_j = \phi\left(\sum_{i=1}^n \omega_{ij} \cdot a_i - \omega_{0j} \Theta_j\right) = \phi(\omega^T a - \omega_{0j} \Theta_j)$$

čia, ϕ yra bet kokio tipo matematinė funkcija, vadinama neurono aktyvavimo funkcija;

ω - neurono ryšių svorių vektorius, a - įėjimo signalo vektorius;

ω_{0j} - papildomas koeficientas, įvertinantis vidinio nekintamo dydžio signalo Θ_j įtaką neuronui ir vadinamas slenksčiu.

Dažniausiai naudojamos neurono aktyvavimo funkcijos (5 pav.):



5 pav. Neurono aktyvavimo funkcijos

Dažnai dėl struktūros ir sudėtingumo neuroniniai tinklai vadinami „juodąja dėže“. Jų pagrindas - funkcija, įgyjanti reikšmes iš binarinės aibės $\{0, 1\}$. Kadangi veiksmai kompiuteryje pagrįsti binarine algebra, šio principo panaudojimas, pritaikant skaičiavimo mašinas, yra paprastesnis, nei kitų, nes gana efektyviai galima išnaudoti kompiuterio architektūros ypatumus.

Neuroninis tinklas paprastai būna sudaromas iš keleto sluoksnių: įvesties sluoksnio, išvesties sluoksnio ir tam tikro skaičiaus paslėptųjų sluoksnių. Visi neuroninio tinklo mazgai yra glaudžiai vieni su kitais susiję. Įvesties sluoksnyje pateikiama duomenų imtis, aprašanti objektą. Paslėptieji sluoksniai atlieka uždavinio sprendimo metodikos vaidmenį. Išvesties sluoksnyje gaunami rezultatai (pavyzdžiui, numatomas rezultatas sprendžiant prognozavimo uždavinius arba priklausymas tam tikrai klasei sprendžiant klasifikavimo uždavinius).

2.2. Dirbtinių neuronų tinklų klasifikavimas

Šiuo metu yra žinoma virš 50 skirtingų dirbtinių neuronų tinklų. Dėl savo įvairovės bei skirtingų charakteristikų nėra lengva klasifikuoti DNT. Lentelėje nr.: 3 yra pateikta DNT klasifikacija pagal atsako tipą bei apmokymo būdą [7].

3 lentelė

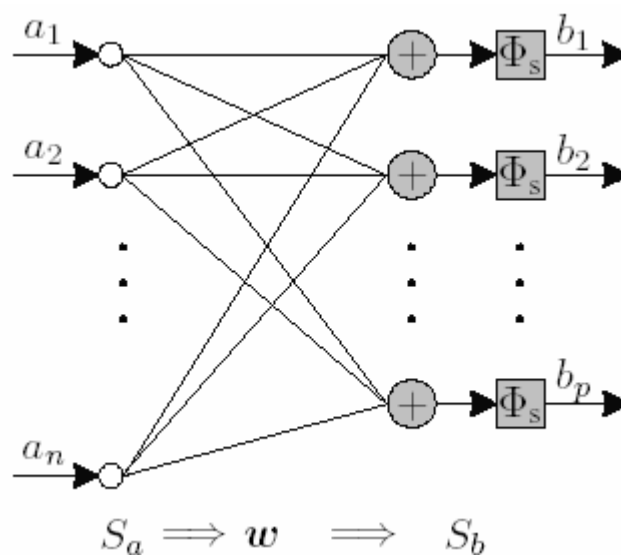
DNT klasifikacija

	Grižtamojo ryšio atsakas	Nuoseklus ryšio atsakas
Be apmokymo	Additive Grossberg Shunting Grossberg Binary Adapt. Resonance Theory Analog Adapt. Resonance Theory Discrete Hopfield Continuous Hopfield Discr. Bidirectional Assoc. Mem. Temporal Associative Memory Adapt. Bidirectional Assoc. Mem. Self – organizing Map Competitive learning	Learning Matrix Counterpropagation Linear Associative Memory Optimal Linear Assoc. Memory Sparse Distrib. Assoc. Memory Fuzzy Associative Memory Driver – Reinforcement Learning
Su apmokymu	Brain – State – in – a – Box Boltzman Mashine Fuzzy Congitive Map Mean Field Anneling Recurrent Cascade Correlation Backpropagation Through Time Real – tiem Recurrent Learning Recurrent Extended Kalman Filter	Perceptron Adaline, Madaline Backpropagation Cauchy Machine Adaptive Heuristic Critic Time Delay Neural Network Associative Reward Penalty Avalanche Matched Filter Backpercolation Artmap Adaptive Logic Network Cascade Correlation Extended Kalman Filter Learning Vector Quantization Probalistic Neural Network General Regresion NN

VoIP paslaugos, teikiamos telekomunikaciniame tinkle, paslaugos kokybės prognozavimui pasirenkamas perceptronų tinklas. Perceptronų tinklai bene plačiausiai paplitę, jų veikimas lengvai suprantamas, puikiai tinka VoIP paslaugos kokybinių parametrų klasterizavimui.

2.3. Perceptronų tinklas

Perceptronų tinklas yra vienas pirmųjų žinomų DNT. Jį sukūrė bei išvystė F. Rosenblatt [9]. Tai elementarus perceptronų tinklas. Elementarus perceptronų (angl. *perceptron*) tinklas yra dviejų sluoksnių artimiausios reikšmės pavyzdžio atitikmens radimo įrenginys, kuris įsimena pavyzdžių poras (A^k, B^k) , $k = 1, 2, \dots, m$ naudodamas perceptrono klaidos korekcijos procedūrą, kur k -toji pavyzdžių pora pateikiama analoginės reikšmės vektoriumi $A^k = (a_1^k, a_2^k, \dots, a_n^k)$ ir dvejetainės $\{-1; +1\}$ reikšmės vektoriumi $B^k = (b_1^k, b_2^k, \dots, b_p^k)$. Elementarus perceptronų tinklas mokomas nerealiame laiko mastelyje, veikia diskrečiame laike ir yra atvaizduojamas dviejų sluoksnių nuoseklių ryšių struktūra.



6 pav. Elementarus perceptronų tinklas

2.3.1. Vienasluoksniai ir daugiasluoksniai perceptronai

Paprastasis perceptronas yra paprasčiausias gyvo organizmo neurono matematinis modelis.

Vienasluoksnis perceptronas yra grupė paprastųjų perceptronų, naudojančių bendrą požymių vektorių. Pas žmogų yra milijardai tarpusavyje sujungtų neuronų. Laikoma, kad gyvuose organizmuose neuronai grupuojasi sluoksniais, o šie savo ruožtu taip pat jungiasi tarpusavyje. Taip susidaro sudėtinga struktūra, skirta apdoroti informacijai. Tuo atveju, kai sluoksninė neuronų struktūra yra imituojama jos matematinio modeliu, kompiuteriu ar elektrinėmis schemomis, vartojamas dirbtinių neuroninių tinklų terminas (angl. *Artificial Neural Networks (ANN)*).

Paprastasis perceptronas sudarytas iš [10]:

- n įvesties (įėjimo) parametru: x_1, x_2, \dots, x_n ;
- perdavimo funkcijos $f=f(x)$;
- vieno išvesties parametro, apskaičiuojamo formule:

$$o = f(\mathbf{V}'\mathbf{X} + c).$$

Dirbtiniuose neuroniniuose tinkluose perceptronų perdavimo funkcijos yra vienodos ir vienas nuo kito perceptronai skiriasi tik svorių $\mathbf{V}' = w_1, w_2, \dots, w_p$ ir poslinkio c reikšmėmis. Klasikiniu atveju perdavimo funkcija yra sigmoidinė, t.y.,

$$f(x) = 1/(1+e^{-x}).$$

Paprastasis perceptronas yra specifinės struktūros diskriminantinė funkcija, x_1, x_2, \dots, x_n yra požymiai, o svoriai ir poslinkis apibrėžia konkrečią diskriminantinės funkcijos išraišką.

Net vienu perceptronu galima atlikti požymių vektorių \mathbf{X} klasifikaciją. Kadangi perdavimo funkcija turi tik dvi stabilias reikšmes - 0 ir 1, klasifikavimo kategorijų (grupių) skaičius lygus 2, o sprendimo taisyklė yra tokia: jei o viršija slenkstinę reikšmę 0.5, \mathbf{X} priskiriamas vienai grupei, priešingu atveju - kitai. Iš čia ir f argumento išraiškos $\mathbf{V}'\mathbf{X} + c$ gauname, kad perceptrono sprendimo skiriamoji riba yra tiesinė. Perceptrono svoriai surandami minimizuojant baudos funkciją, apibrėžtą apmokymo aibėje. Paprasčiausia ir populiariausia yra kvadratinė baudos funkcija [10]:

$$\text{bauda} = 1/(N_1+N_2) \sum_{i=1}^2 \sum_{j=1}^{N_i} (t_j^i - f(\mathbf{V}'\mathbf{X}_j^i + c))^2,$$

čia t_j^i yra tikslo reikšmė duotajam mokymo požymių vektoriui \mathbf{X}_j^i .

Mūsų atveju galima pasirinkti $t_j^1 = 1, t_j^2 = 0$ arba $t_j^1 = 0.95, t_j^2 = 0.05$. Bendru atveju pasirenkamos tikslo reikšmės turi tenkinti nelygybę $0 \leq t_j^i \leq 1$.

Aprašytas perceptronas kiek pasikeistų, jei būtų naudojama kita populiari perdavimo funkcijos išraiška:

$$f^{\tanh}(x) = (e^x - e^{-x}) / (e^x + e^{-x}) = 2f^{\text{sigmoid}}(2x) - 1.$$

Šiuo atveju geriau būtų $t_j^1 = 1, t_j^2 = -1$.

Slenkstinei perdavimo funkcijai:

$$f^{\text{hard}}(x) = 1 \text{ kai } x > 0, f^{\text{hard}}(x) = 0 \text{ kai } x \leq 0$$

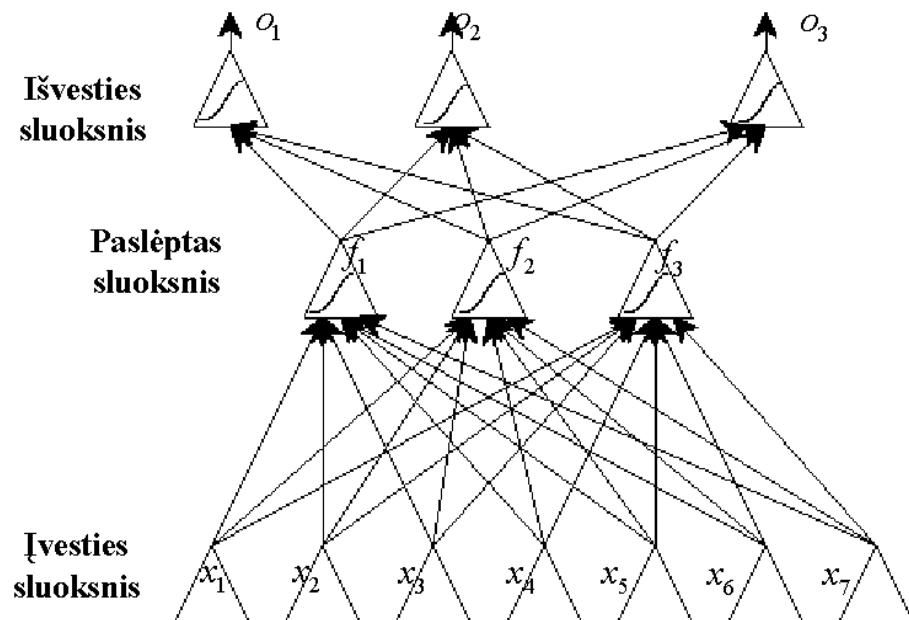
vėl tinka $t_j^1 = 1, t_j^2 = 0$.

Klasikiniu atveju perceptrono svoriai randami gradientiniu metodu minimizuojant baudos funkciją. Tuo tikslu skaičiuojamos baudos funkcijos dalinės išvestinės atžvilgiu ieškomų parametru ir svoriai keičiami tokiu iteraciniu būdu:

$$\mathbf{V}_{t+1} = \mathbf{V}_t - \eta \text{ bauda}_{\mathbf{V}}, c_{t+1} = c_t - \eta \text{ bauda}_c.$$

Čia baudos išvestinė atžvilgiu vektoriaus žymi gradientą. Slenksčio funkcijai šis gradientinis metodas netinka. Kad pradėti iteracinį procesą, reikia apibrėžti pradinius svorius \mathbf{V}_0 ir laisvąjį narį c_0 . Literatūroje rekomenduojama pradines svorių reikšmes imti nedidelius atsitiktinius skaičius [10].

Grupė paprastųjų perceptronų, naudojanti tuos pačius įvesties parametrus, sudaro vienasluoksnį perceptroną. Kelių vienasluoksnųjų perceptronų struktūra vadinama daugiasluoksniu perceptronu arba dirbtiniu neuroniniu tinklu. Daugiasluoksniuo perceptrono įvestį sudaro požymių vektoriaus $\mathbf{X} = (x_1, x_2, \dots, x_n)$ komponentės x_1, \dots, x_n . Vieno sluoksnio perceptrono išėjimai (angl. *output*) sudaro kito sluoksnio įėjimą (angl. *input*). Perceptronų sluoksniai tarp įėjimo ir paskutinio vadinami paslėptais (angl. *hidden*). Paveikslas nr.: 7 iliustruoja dvisluoksnį perceptroną su vienu paslėptuoju sluoksniu, požymių vektorių sudaro septyni kintamieji, paslėptąjį sluoksnį sudaro trys perceptronai, o išvesties sluoksnį taip pat trys perceptronai [10].



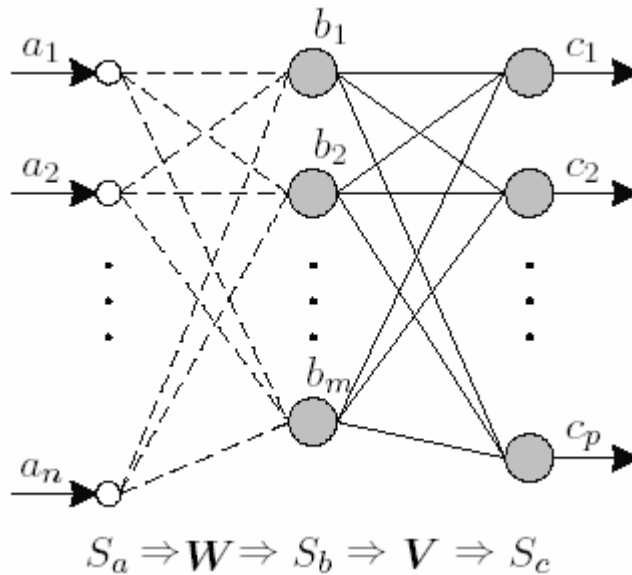
7 pav. Dviejų sluoksnių perceptronas

Paskutiniojo sluoksnio perceptronai naudojami skirtingoms klasėms žymėti. Tipiniu atveju paskutinio sluoksnio perceptronų skaičius yra lygus skaičiui skirtingų klasių (kategorijų), kurias reikia atpažinti. Tarkime, jei reikėtų atpažinti skaitmenis, tai atpažinimui tikslinga būtų pasirinkti daugiasluoksnį perceptroną, turintį 10 išvesties perceptronų.

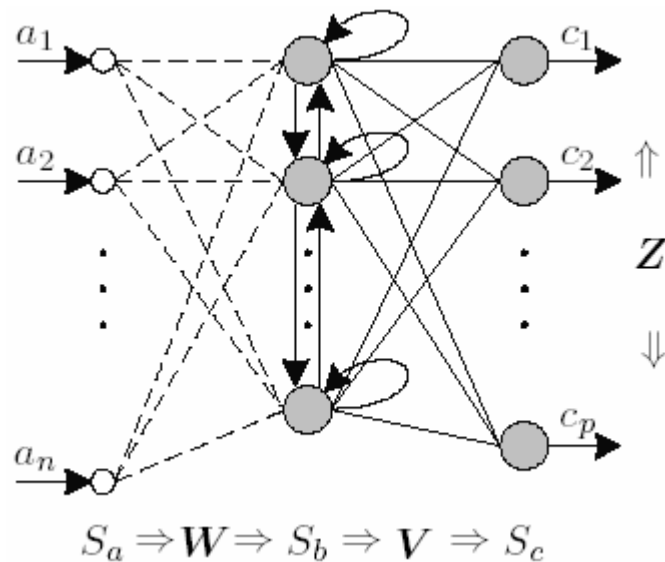
Daugiasluoksniuo perceptrono svoriai taip pat surandami iteraciniu būdu minimizuojant baudos funkciją. Kadangi paslėptųjų sluoksnių perceptronams tiesiogiai nėra kaip parinkti tikslo reikšmes, skaičiuojant gradientą atsiranda tam tikros rekurencijos, vadinamos $t_j^i - f(\mathbf{V}\mathbf{X}_j^i + c)$ paklaidų atgaliniu sklidimu (angl. *Back Propagation*). Naudojant slenkstines funkcijas požymių plokštumoje, grupės skiriančios ribos sudaro laužtę. Jei perdavimo funkcija f yra diferencijuojama, skiriamoji riba neturi aštrių kampų.

2.3.2. Perceptronų tinklo struktūros

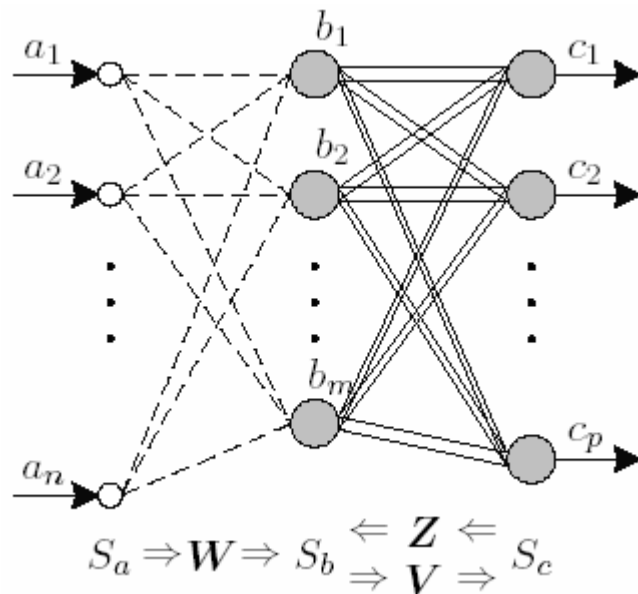
„Principles of Neurodynamics“ (Rosenblatt, 1962) veikalė yra aptariamoms trys pagrindinės perceptronų tinklų struktūros: nuosekli (paveikslas nr. 8), kryžminė (paveikslas nr. 9) ir grįžtamųjų ryšių (paveikslas nr. 10) [11]:



8 pav. Nuosekli perceptronų tinklo struktūra



9 pav. Kryžminė perceptronų tinklo struktūra



10 pav. Grįžtamųjų ryšių perceptronų tinko struktūra

Kokia bebūtų perceptronų tinklo struktūra, ryšiai tarp įėjimo sluoksnio S^a ir paslėptojo sluoksnio S^b yra sudaromi atsitiktiniu būdu, o jų svoriai yra nekintantys. Nuoseklių ar grįžtamųjų ryšių tarp paslėptojo sluoksnio S^b ir išėjimo sluoksnio S^c svoriai yra adaptyvūs, o tuo tarpu vidinių ryšių paslėptajame sluoksnyje S^b svoriai yra nekintantys [11].

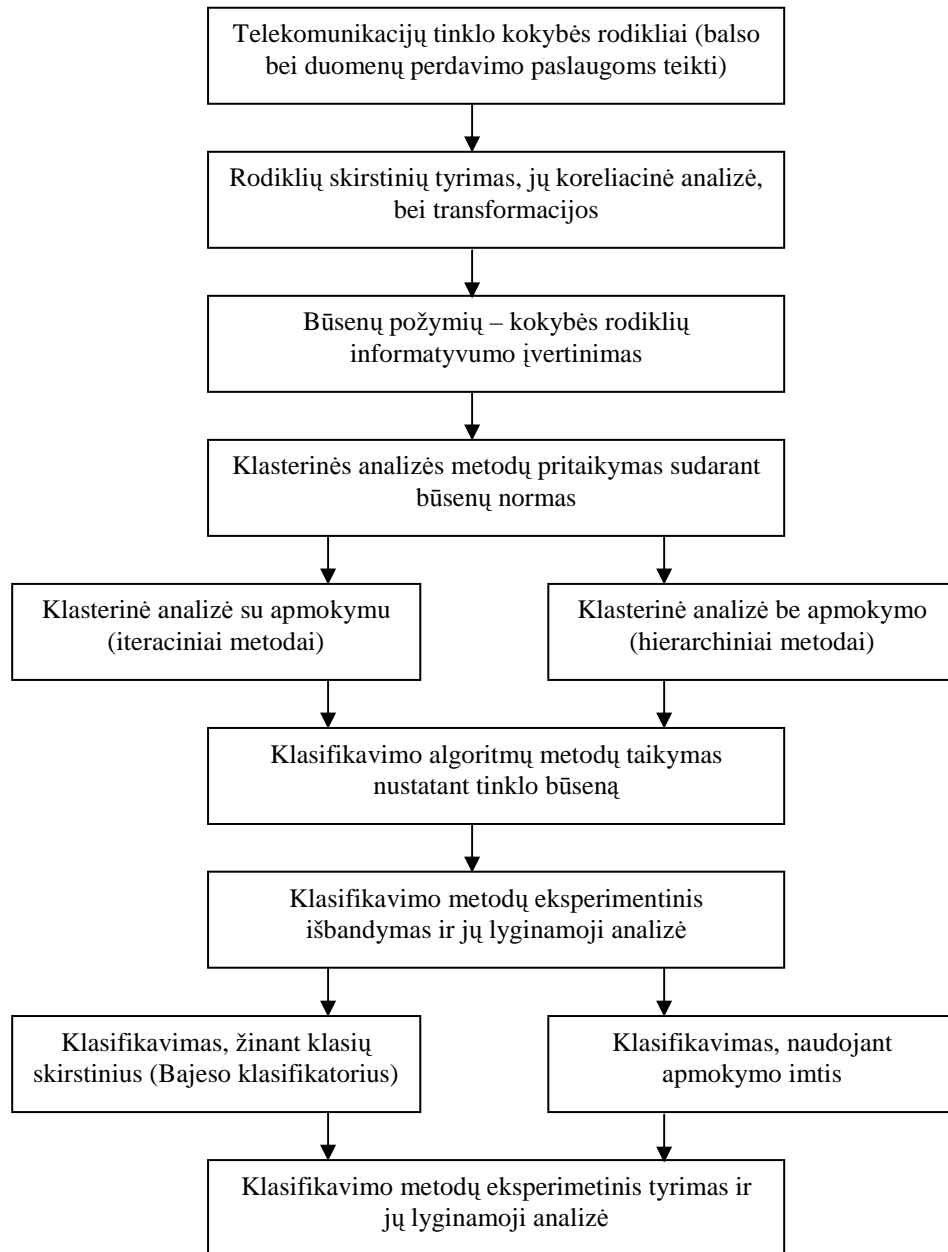
Perceptronų neuroninio tinklo modeliavimui praktinėje darbo dalyje naudosime dažniau pasitaikančią, paprastesnę, nuosekliają perceptronų tinklo struktūrą.

3. ANALITINIS MODELIS TINKLO DARBINGUMUI ĮVERTINTI

Pirminė informacija – ar tinklas veikia gerai, ar patenkinamai, ar blogai – yra svarbi teikiamos paslaugos kokybei užtikrinti. Taigi vietoj visų užregistruotų kokybės rodiklių reikšmių reikalinga kokybinė tinklo būseną.

Telekomunikacijų tinklo darbingumo būsenų atpažinimo sistema susideda iš dviejų pagrindinių komponentų: darbingumo būsenas apibrėžiančių pirminių požymių analizatoriaus bei šių būsenų klasterizatoriaus. Būsenas apibrėžiančių požymių sistemos kokybę įvertinti galima tik atlikus darbingumo būsenos nustatymą.

Visa tai turi atspindėti pateiktas analitinis modelis, pirmiausia aprašantis būsenų normų nustatymą pagal atrinktą informatyviausią požymių poaibį - informatyvius pirminius kokybės rodiklius, taip pat įvertinantis šio poaibio sudedamųjų dalių - kokybės rodiklių, tikimybinis skirstinius, jų tarpusavio koreliuotumą bei parenkantis kaip priemonę būsenų normoms sudaryti tinkamą klasterizavimo metodą. Tad tuo remiantis paveiksle nr.: 11 pasiūlytas tinklo bei jo elementų darbingumo būsenų normoms sudaryti bei darbingumo situacijai įvertinti analitinio modelio algoritmas.



11 pav. Analitinio modelio tinklo darbingumo būsenai įvertinti struktūrinė schema

3.1. Kokybinių tinklo parametrų paruošimas analizei

Dauguma klasikinės statistikos metodų skirti nepriklausomų atsitiktinių dydžių, turinčių normalųjį skirstinį, analizei. Realūs duomenys retai atitinka šiuos reikalavimus, todėl prieš juos apdorojant, reikia atlikti jų transformacijas. Minėtiems reikalavimams užtikrinti nėra formalių metodų, kadangi duomenų prigimtis gali būti labai skirtinga.

Pagrindiniai transformavimo tikslai būtų šie:

1. Skirstinio transformavimas į normalųjį dėsnį. Nagrinėjami rodiklių skirstiniai (dažniausia, histogramų pavidale) ir taikomos žinomos algebrinės funkcijos, pakeičiančios histogramos formą. Dažniausiai taikomos funkcijos: logaritmvimas, šaknies traukimas, ir kt.
2. Atsitiktinių dydžių skalės suvienodinimas. Jei atsitiktinių dydžių reikšmės yra skirtingos eilės skaičiai, tuomet aukštesnių eilių rodikliai dominuos, priimant išvadas bei sprendimus. Priklausomai nuo sprendžiamo uždavinio, ši duomenų savybė gali paslėpti svarbias duomenų savybes, dėl ko bus priimamos klaidingos išvados ir sprendimai. Siekiant išvengti tokių klaidų, atliekamas skalės suvienodinimo transformacijos normavimas (pavyzdžiui: dalinimas iš maksimalios reikšmės; vidurkio atėmimas ir padalinimas iš dispersijos).
3. Atsitiktinių dydžių koreliuotumo mažinimas. Dažnas statistinės analizės metodų reikalavimas – dydžių nekoreliuotumas. Duomenų koreliuotumo galime išvengti analizuodami tik nekoreliuotus dydžius (t.y. apskaičiavus koreliacijas, atmetami koreliuoti dydžiai) arba pritaikius tam tikras transformacijas, panaikinančias dydžių koreliuotumą (pavyzdžiui: dalinimą iš kovariacijos).

3.2. Būsenų požymių informatyvumą nustatantys metodai

Nustatant momentines telekomunikacijų tinklo darbingumo situacijas, neretai neišvengiama klasifikavimo nuostolių dėl egzistuojančio normas atstovaujančių klasių „persidengimo“, t.y. egzistuoja tam tikros neapibrėžties zonos, kai momentinė darbingumo situacija gali būti priskiriama iš karto kelioms būsenų klasėms. Kad to išvengti būtina gerinti klasių atskyrimą. Tam tikslinga mažinti pertekliškumą, parenkant informatyvius darbingumo būsenų klases atstovaujančius kokybės rodiklius. Tam yra naudojami statistiniai būsenų požymių informatyvumą nustatantys metodai [12]:

- kulbako statistikos metodas;
- dviejų binominių skirstinių palyginimo metodas;
- dispersijų palyginimo metodas;
- daugiafaktorinės regresijos metodas.

3.3. Klasterizacijos metodai

Klasterinės analizės metodai skirti tam tikros duomenų struktūros radimui. Pradiniai duomenys suskaidomi į klasterius. Klasteris – panašių objektų grupė.

Skiriami du klasterinės analizės tipai: klasterinė analizė be apmokymo (hierarchiniai metodai) ir klasterinė analizė su apmokymu (iteraciniai metodai).

3.3.1. Klasterinė analizė be apmokymo

Ši klasterizavimo metodų šeima atlieka objektų klasifikavimą, kai nėra mokomųjų imčių.

Duota: n objektų $O_1, O_2, O_3, \dots, O_n$, kurių savybes nusako matrica „objektai-savybės“:

$$X = \begin{pmatrix} x_1^{(1)} & x_1^{(2)} & \dots & x_1^{(p)} \\ x_2^{(1)} & x_2^{(2)} & \dots & x_2^{(p)} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ x_n^{(1)} & x_n^{(2)} & \dots & x_n^{(p)} \end{pmatrix},$$

čia $x_i^{(j)}$ - objekto O_i j -toji savybė, $i = \overline{1, n}$, $j = \overline{1, p}$

arba artumų matrica

$$\rho = \begin{pmatrix} \rho_{11} & \rho_{12} & \dots & \rho_{1m} \\ \rho_{21} & \rho_{22} & \dots & \rho_{2m} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \rho_{m1} & \rho_{m2} & \dots & \rho_{mm} \end{pmatrix}.$$

Kai $m = n$ - poromis palyginami objektai, kai $m = \rho$ - poromis palyginamos savybės.

Klasterizacijos (klasifikavimo be apmokymo) uždavinys – analizuojamą objektų aibę $O = \{O_i\}, i = \overline{1, n}$, užduotą matrica X arba ρ suskaidyti į nedidelį skaičių homogeninių klasių (klasterių).

Klasterinėje analizėje pirmiausia reikia apibrėžti objektų homogeniškumo sąvoką. Tai sunkus uždavinys, nes jam spręsti nėra formalių metodų. Paprastai atstumų matricoje elementai ρ_{ij} apibūdina arba atstumą tarp objektų $d(O_i, O_j)$, arba įvertina jų panašumo (skirtumo) laipsnį $r(O_i, O_j)$ daugiamatėje požymių erdvėje.

Apibrėžiant panašumo laipsnį reikia neužmiršti akivaizdžių reikalavimų:

- $r(O_i, O_j) = r(O_j, O_i)$ (simetriškumas, t.y. panašumas neturi priklausyti nuo to, kuris iš lyginamų objektų imamas pirmuoju, kuris antruoju);
- $r(O_i, O_i) = \max r(O_i, O_j)$ (objektas labiausiai panašus į save).

Hierarchiniuose klasterizavimo metoduose dažniausiai naudojami dvejetainiai algoritmai. Jie gali būti dviejų tipų: skaidymo ir apjungimo.

Skaidymo algoritme iš pradžių visi objektai sudaro vieną klasę. Tada pagal pasirinktą metriką toliausiai esantys objektai priskiriami dviems skirtingiems klasteriams. Gauti klasteriai skaidomi toliau, kol kiekvienas objektas sudaro atskirą klasterį.

Apjungimo algoritme iš pradžių visi objektai priskiriami skirtingiems klasteriams. Tada artimiausi pagal pasirinktą metriką klasteriai apjungiami. Apjungimas kartojamas tol, kol lieka vienintelis klasteris. Prie apjungimo algoritmų galime priskirti [13]:

- Average linkage metodas;
- Centroid metodas;
- Tolimiausio kaimyno klasterizacijos metodas;
- EML metodas;
- Artimiausio kaimyno klasterizacijos metodas;
- Ward - minimalios dispersijos klasterizacijos metodas;
- Mišinio klasterinės analizės algoritmas.

3.3.2. Klasterinė analizė su apmokymu

Ši klasterizavimo metodų šeima apima iteracinius klasifikavimo metodus. Iš pradžių, remiantis tam tikrais kriterijais (pvz. ekspertinėmis išvadomis), sudaromi pradiniai klasteriai (dažniausiai nurodant klasterių centrus), tuomet pagal pasirinktą metriką objektai klasifikuojami į užduotus klasterius. Kai visi objektai klasifikuoti, perskaičiuojami klasių centrai pagal priskirtuosius klasteriams stebėjimus ir veiksmai kartojami tol, kol klasterių centrai nusistovi.

Pavyzdžiu gali būti BATCH-K MEANS klasterizavimo algoritmas:

- 1) pasirenkami pradiniai klasterių centrai $\{m_1, m_2, \dots, m_k\}$, čia k – klasterių skaičius;
- 2) kiekvienas stebėjimas priskiriamas vienam iš klasterių (stebėjimas priklauso tam klasteriui, iki kurio centro jo atstumas mažiausias);
- 3) perskaičiuojami klasterių centrai;
- 4) jei kurio nors klasterio centras pasikeičia, grįžtama prie 2 punkto, priešingu atveju klasterių formavimo procesas baigiamas [13].

3.4. Tinklo darbingumo situacijos įvertinimas

Kaip jau buvo minėta aukščiau, pasirinkto klasterizavimo metodo tinkamumo įvertinimui pirmiausia reikia atlikti tinklo darbingumo būsenos nustatymą. Klasifikavimo procese naudojamos tokios sąvokos, kaip panašumas, skirtumas, artumas, giminingumas, homogeniškumas. Taigi klasifikavimo metodai apima tam tikrą matų sistemą objektų tarpusavio santykiams įvertinti. Klasifikavimui, žinant klasių skirstinius, naudojamas Bajeso klasifikatorius. Klasifikuojant, naudojant apmokymo imtis, remiamasi:

- maksimaliu tikėtinumu;
- minimaliu atstumu (Euklido klasifikatorius su svoriu ir be svorio);
- tikimybių santykio apibendrintu nuosekliosios analizės metodu;
- tiksline požymių segmentacija ir „scale“ klasifikatoriumi [14].

Kaip pavyzdį plačiau panagrinėsime tinklo darbingumo situacijos nustatymą, remiantis minimaliu atstumu.

3.4.1. Darbingumo situacijos nustatymas, remiantis minimaliu atstumu

Stebimos darbingumo situacijos daugiamačio vektoriaus priskyrimas būsenos klasei atliekamas, remiantis Euklido ar Machalanobio atstumais [15].

Požymių sistemos vektorius \vec{X} priskiriamas klasei i , kuriai išpildyta sąlyga

$$d_i = \min_j d_j$$

arba

$$\delta_i = \min_j \delta_j.$$

Euklidinis atstumas d_i tarp stebimo vektoriaus \vec{X} ir i -osios klasės nustatomas pagal išraišką

$$d_i = \left[(\vec{X} - \mu_i)(\vec{X} - \mu_i) \right]^{1/2}.$$

Normalinio skirstinio atveju, esant lygioms kovariacinėms matricoms $K_1 = K_2 = K_3$, Bajeso ribinė klaidos tikimybė $P(\varepsilon)$ lygi:

$$P(\varepsilon) = \Phi\left(-\frac{\delta}{2}\right),$$

čia δ - Machalanobio atstumas:

$$\delta = \left[(\bar{X} - \mu_i)^T K_i^{-1} (\bar{X} - \mu_i) \right]^{1/2};$$

μ_i - klasių vidurkių vektoriai.

Apžvelgus analitinį telekomunikacinio tinklo, kuriuo teikiama VoIP paslauga, darbingumo situacijos įvertinimo modelį matoma, kad norint įvertinti VoIP paslaugos kokybę, reikia atlikti daug procedūrų (kokybės rodiklių transformacijas, jų koreliacinę, informatyvumo analizę ir kt.). Tai reikalauja daug skaičiavimo bei laiko resursų. Vienas iš problemos sprendimo būdų galėtų būti neuroninio klasterizatoriaus panaudojimas.

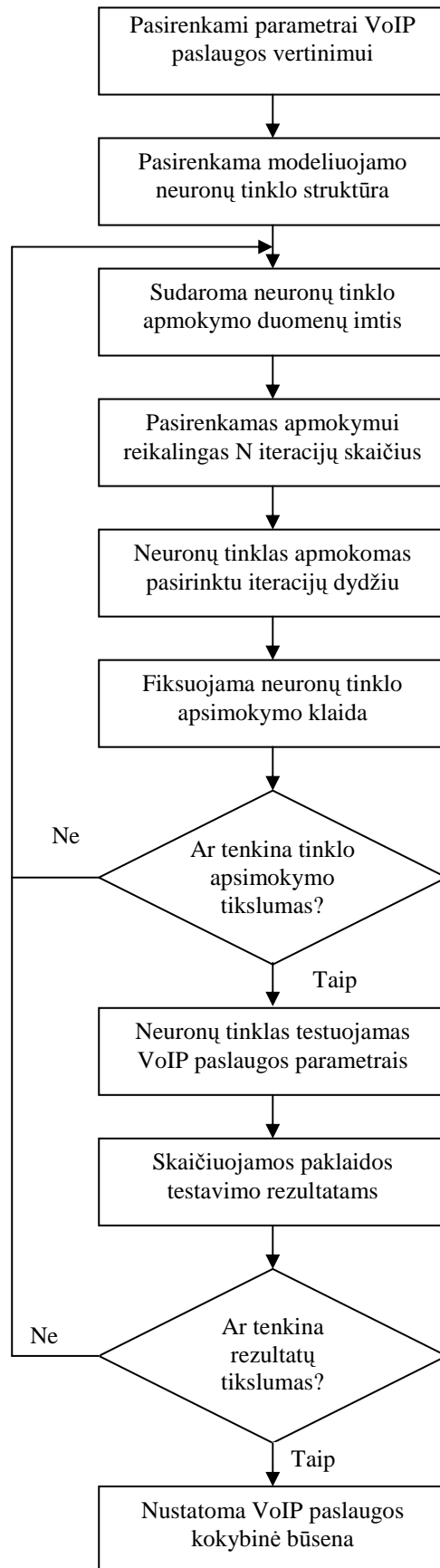
4. INTERNETINĖS TELEFONIJS PASLAUGOS KOKYBĖS TYRIMAS

Šiame darbo etape sudarysime perceptronų neuroninio tinklo modelį, kurį apmokysime keturiais skirtingais iteracijų skaičiais. Atsižvelgiant į apmokytų tinklų apsimokymo ir testavimo paklaidas, bus parinktas optimaliausias tinklo variantas, kuris įvertins VoIP paslaugos QoS, naudodamas tris informatyviausius realiai išmatuotus telekomunikacinio tinklo kokybinius parametrus.

4.1. Neuroninio tinklo modeliavimas „NeuroSolutions for Excel“ programiniu paketu

Telekomunikacinio tinklo darbo įvertinimui, teikiant VoIP paslaugą, pasirenkamas perceptronų tinklas. Tai plačiausiai paplitęs iš neuroninių tinklų, patogus naudoti įvairiems uždaviniams spręsti, taip pat ir diagnozuojant tinklo funkcionavimo kokybę. Tokius tinklus Rosenblattas pavadino perceptronais, sprenddamas klasifikavimo uždavinius. Perceptronų tinklo realizavimui pasirenkamas programinės įrangos paketas *NeuroSolutions for Excel v5.06* [16]. Tai neuronų tinklų realizavimo priemonė, kuri suteikia galimybę simuliuoti įvairius neuroninius tinklus, atsižvelgiant į turimą užduotį ir norimus gauti rezultatus. *NeuroSolutions* paketu bei personalinio kompiuterio pagalba galima realizuoti įvairių tipų neuronų tinklus: *Multilayer Perceptron*, *Generalized Feed Forward*, *Modular Neural Network*, *Jordan/Elman Network* ir kitus.

Neuroninio tinklo modeliavimui bei VoIP paslaugos kokybės įvertinimui sudaromas darbo algoritmas (12 paveikslas):

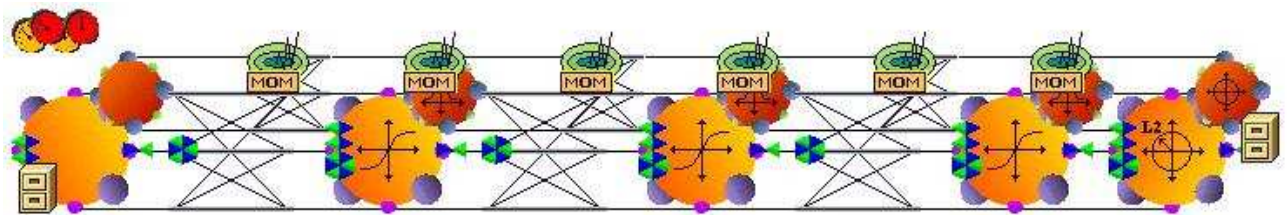


12 pav. VoIP paslaugos kokybės įvertinimo neuroniniu klasifikatoriumi algoritmas

Vertinant VoIP paslaugos kokybę pasirenkami informatyviausi bei didžiausią įtaką darantys kokybiniai telekomunikacinio tinklo parametrai [4]:

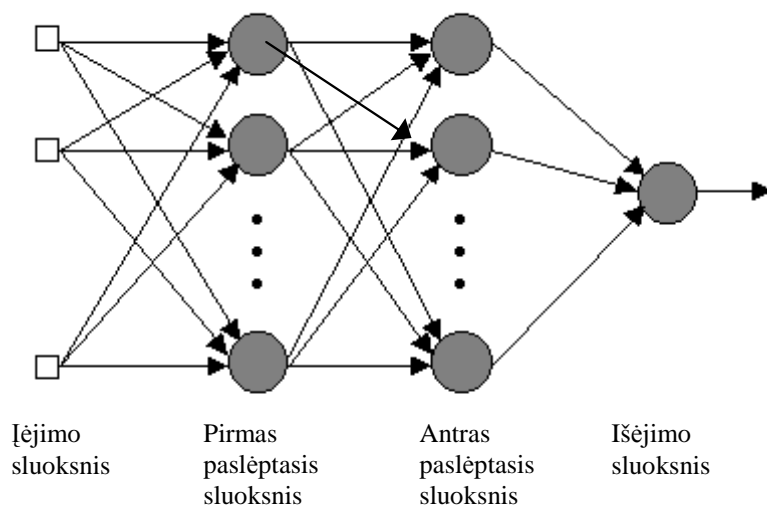
- vėlinimas (angl. *delay*);
- vėlinimo fliuktuacijos (angl. *jitters*);
- paketų praradimai (angl. *packets loss*).

NeuroSolutions for Excel programinio paketo pagalba, realizuojamas dviejų paslėptųjų sluoksnių perceptronų tinklas. Paveiksle nr.: 13 pateiktas šiuo programiniu paketu sumodeliuotas tinklas:



13 pav. Sumodeliuotas dviejų paslėptųjų sluoksnių perceptronų tinklas

Neuronų tinklo sluoksnių skaičius pasirenkamas atsižvelgiant į uždavinio sudėtingumą. Yra įrodyta, kad dviejų sluoksnių perceptronų tinklas gali aproksimuoti bet kokią tolydinę funkciją bei leidžia suteikti skirtingiems parametrms skirtingus svorius [18]. Siekiant gauti tikslus VoIP paslaugos kokybės prognozavimo rezultatus, pasirenkamas dviejų paslėptų sluoksnių perceptronų tinklas, kadangi nagrinėjamam uždaviniui spręsti reikia tinklo, turinčio keletą svorių sluoksnių, nes VoIP paslaugos kokybės parametrai nėra lygiareikšmiai, o pasižymi skirtingu informatyvumu bendrai paslaugos kokybei [19]. Sumodeliuoto neuroninio tinklo struktūra pateikta paveiksle nr.14:



14 pav. Sumodeliuoto neuroninio tinklo struktūra

Modeliuojamas tinklas turi tris įėjimus ir vieną išėjimą. Kiekvienas įėjimas atitinka telekomunikacinio tinklo, teikiant VoIP paslaugą, funkcionavimo kokybinį parametą. Neuroninio tinklo išėjime bus pateikiama MOS reikšmė pagal, kurią bus vertinama bendra VoIP paslaugos kokybė. Taigi sumodeliuotas neuroninis tinklas VoIP paslaugos kokybę vertins pagal vidutinės nuomonės įverčio MOS klases (aukščiau pateikta 2 lentelė).

Neuroninio tinklo išėjime gaunamų rezultatų tikslumui labai didelę įtaką daro teisingas tinklo apmokymas. Reikia teisingai pasirinkti apmokymo imtį, duomenų struktūrą, todėl svarbu apmokymo imtyje numatyti ir įvertinti galimas reikšmių kitimo ribas, tarpusavio parametų priklausomybes. Parenkant duomenis apmokymo imčiai remtasi VoIP paslaugos kokybės parametų teoriniais skaičiavimas, t. y. MOS priklausomybe nuo pasirinktų trijų parametų: vėlinimo, paketų praradimo bei vėlinimo fliuktacijų. Skaičiuodami MOS reikšmes naudojamės internete patalpinta skaičiuokle, kuri ir įvertina teorinę VoIP paslaugos kokybę MOS kriterijumi, pagal įvestas tris nagrinėjamų kokybinių telekomunikacinio tinklo parametų reikšmes [20]. Konkrečias vėlinimo, paketų praradimo bei vėlinimo fliuktacijų reikšmes pasirenkame atsižvelgdami į šių kokybinių parametų teorinius įverčius, užtikrinančius atitinkamą VoIP paslaugos kokybės klasę, lentelė nr.: 4 [17]:

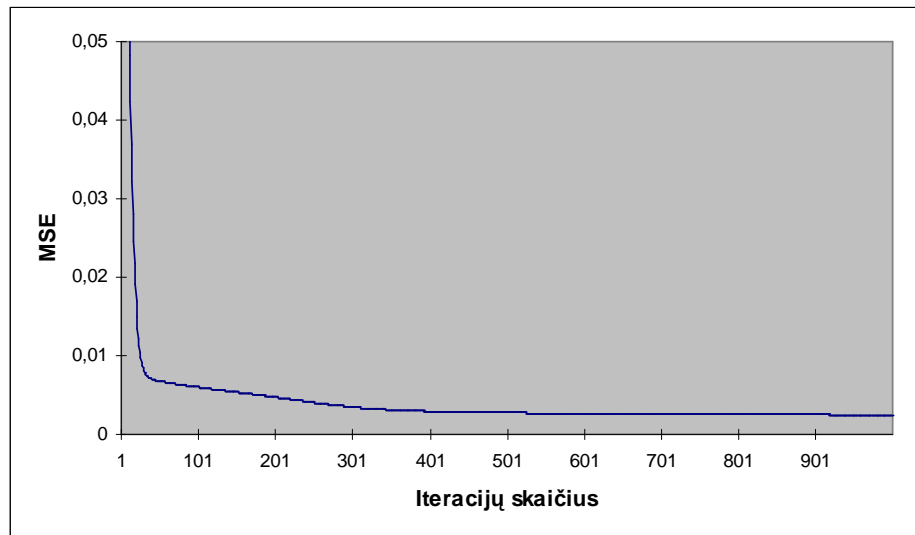
4 lentelė

VoIP paslaugos kokybės klasės

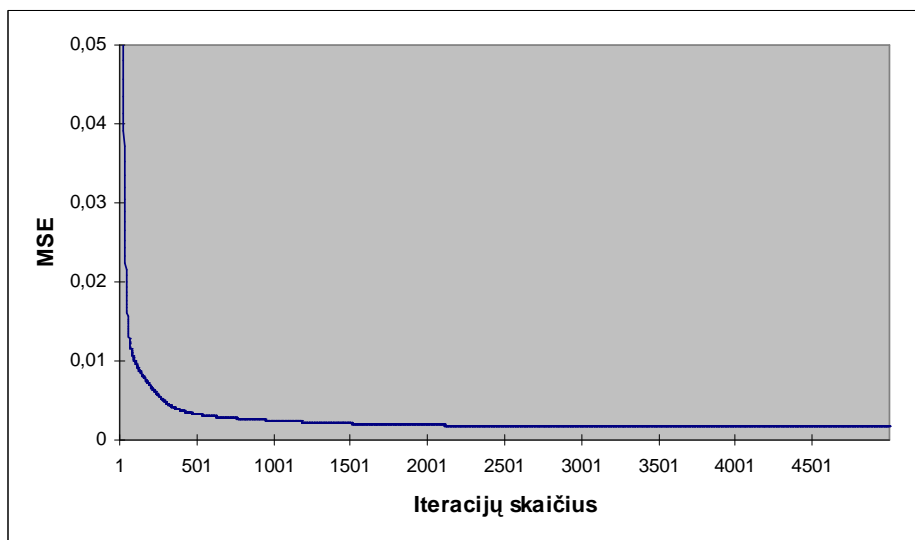
Voip paslaugos kokybės klasė	Vėlinimas (ms)	Vėlinimo fliuktacijos (ms)	Paketų praradimai (%)
Gera	0-150	0-20	0-0,5
Priimtina	150-300	20-50	0,5-1,5
Prasta	> 300	> 50	> 1,5

Vėlinimo duomenų imtį 10ms intervalu sudarome iki 500ms, vėlinimo fliuktacijų 1ms intervalu sudarome iki 50ms bei paketų praradimų duomenų imtį 0,1% intervalu sudarome iki 5%. Paimame po 125 atsitiktines kiekvieno parametro reikšmes iš nurodytos duomenų imties ir aukščiau minima skaičiuokle skaičiuojame MOS įvertį. Taigi turime 125 teorinių duomenų imtį, kurią įvedame į *NeuroSolutions for Excel* programą. Nurodome, jog šių duomenų 20% (25 duomenų imtis) bus panaudoti testavimo imčiai sudaryti, o likę 80% (100 duomenų imtis) – apmokymo imčiai sudaryti. Apmokymo ir testavimo duomenų imtys pateiktos preide nr. 1.

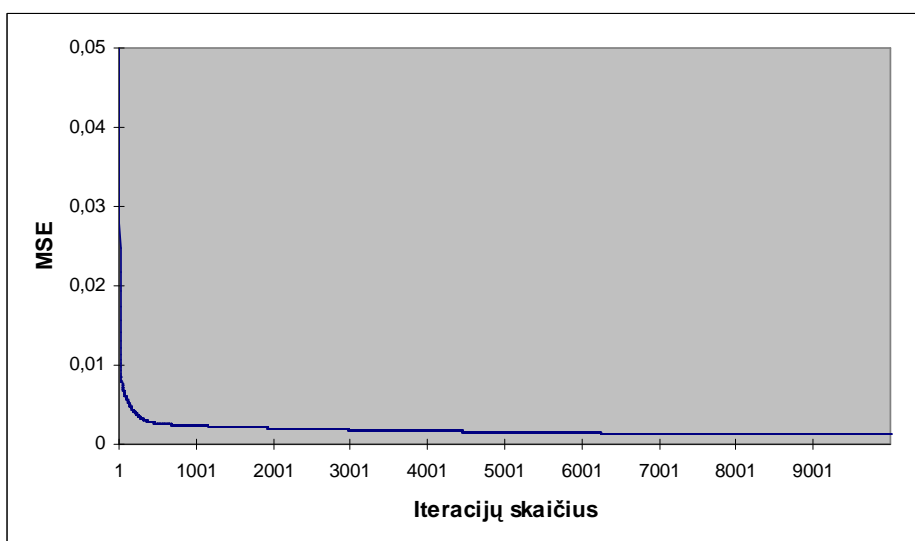
Apmokome sudarytą neuroninį tinklą keturiais skirtingais iteracijų skaičiais – 1000, 5000, 10000 ir 15000 iteracijų. Kaip kinta vidutinės kvadratinės paklaidos MSE (angl. *Mean square error*) apmokant neuroninius tinklus parodyta 15, 16, 17 ir 18 paveiksluose:



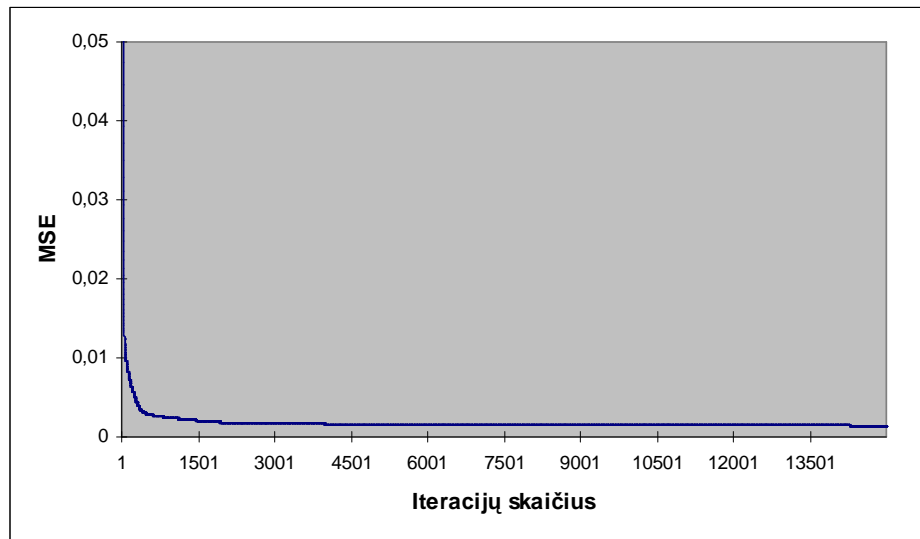
15 pav. MSE kitimas apmokant neuroninį tinklą 1000 iteracijų



16 pav. MSE kitimas apmokant neuroninį tinklą 5000 iteracijų

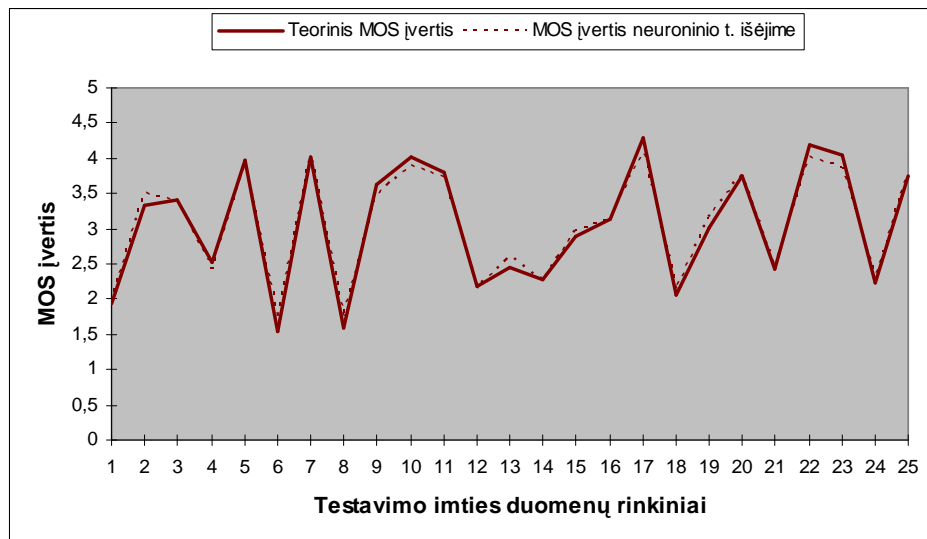


17 pav. MSE kitimas apmokant neuroninį tinklą 10000 iteracijų

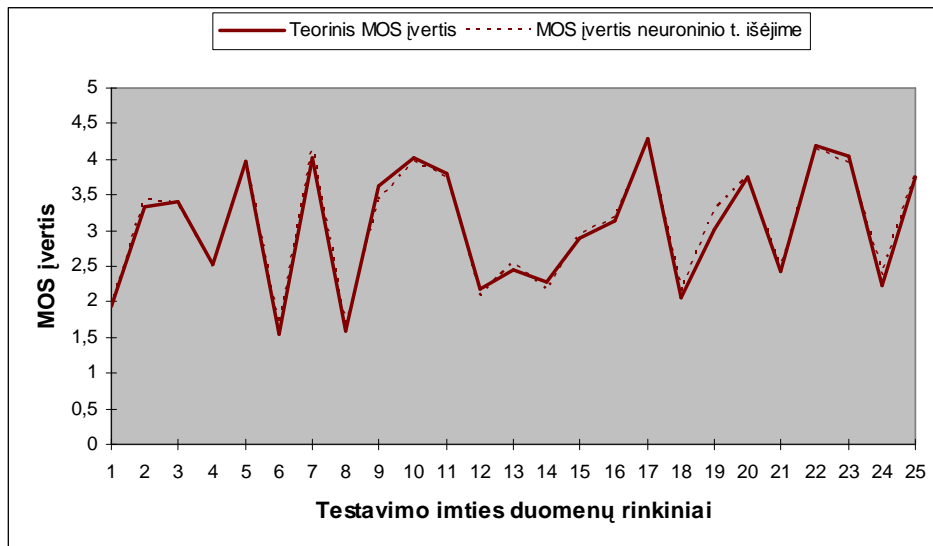


18 pav. MSE kitimas apmokant neuroninį tinklą 15000 iteracijų

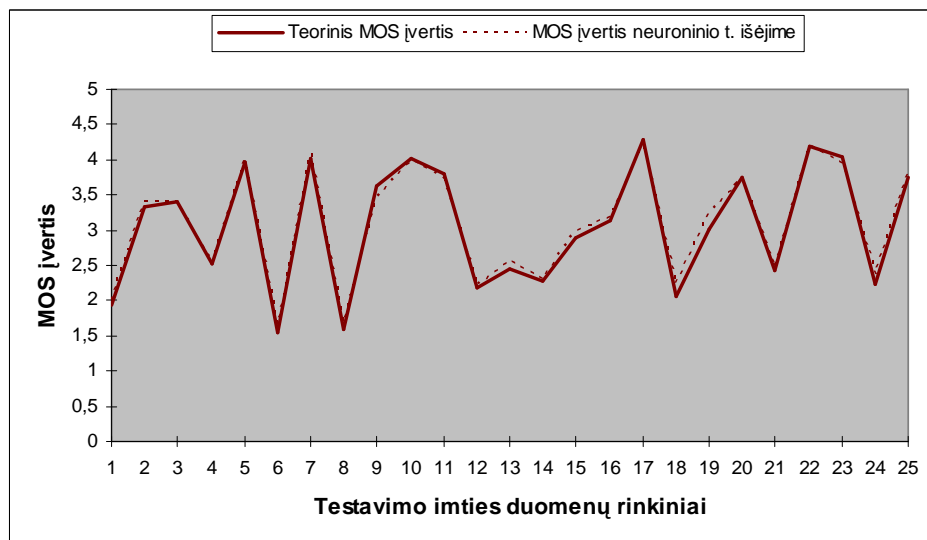
Testuojame sudarytą neuroninį tinklą testavimo imtimi, sudaryta iš 25 teorinių duomenų rinkinių. Kaip sumodeliuoti tinklai prognozuoja MOS reikšmes, lyginant su teorinėmis MOS reikšmėmis iliustruoja 19, 20, 21 ir 22 paveikslai:



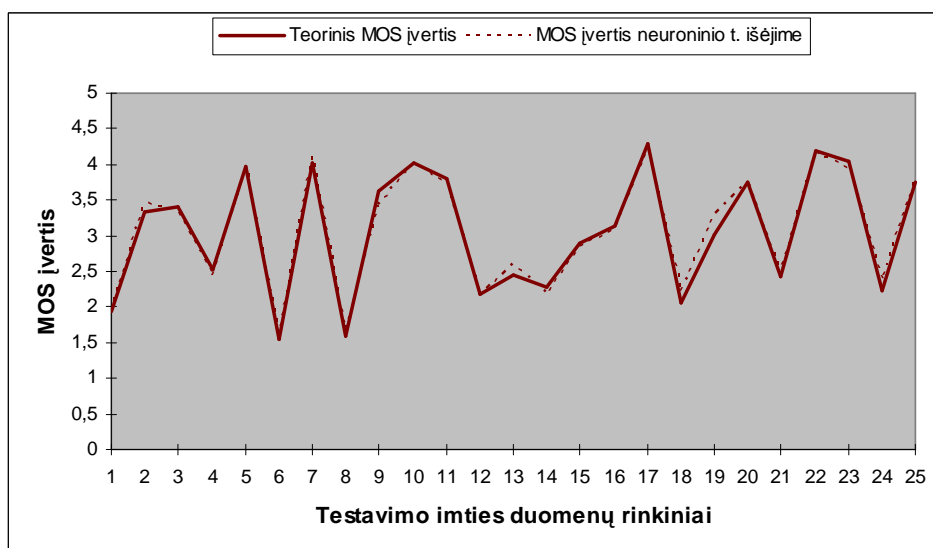
19 pav. Neuroninio tinklo, apmokyto 1000 iteracijų, testavimas



20 pav. Neuroninio tinklo, apmokyto 5000 iteracijų, testavimas



21 pav. Neuroninio tinklo, apmokyto 10000 iteracijų, testavimas



22 pav. Neuroninio tinklo, apmokyto 15000 iteracijų, testavimas

Neuroninių tinklų apmokymo ir testavimo rezultatų suvestinę pateikiame lentelėje nr. 5:

5 lentelė

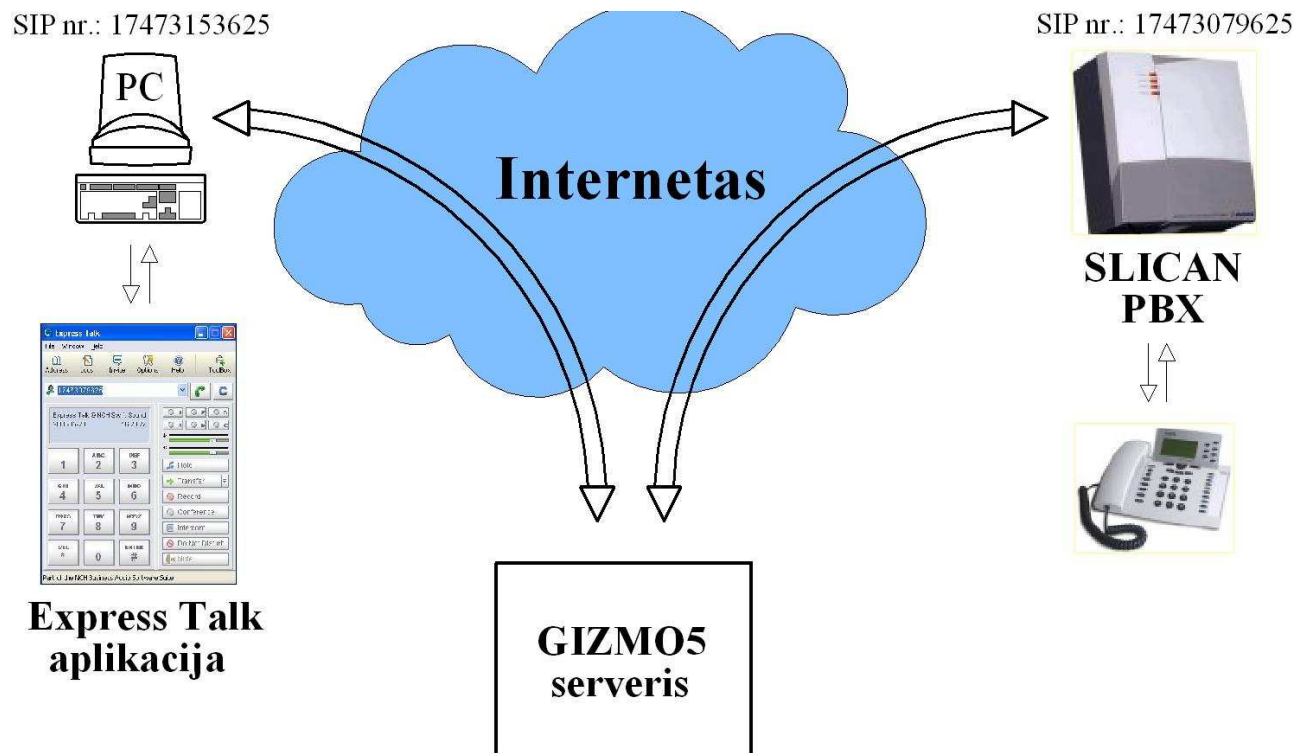
Neuroninių tinklų apmokymo ir testavimo rezultatų suvestinė

Vidutinė kvadratinė paklaida (MSE)	Tinklas apmokytas 1000 iteracijų	Tinklas apmokytas 5000 iteracijų	Tinklas apmokytas 10000 iteracijų	Tinklas apmokytas 15000 iteracijų
MSE apmokymo pabaigoje	0,0025	0,0016	0,0014	0,0014
Testavimo MSE	0,0125	0,0100	0,0079	0,0104

Neuroninį tinklą apmokant iki 10000 iteracijų vidutinė procentinė apmokymo ir testavimo paklaidos mažėja. Toliau apmokant neuroninį tinklą, apmokymo paklaida praktiškai nekinta, tačiau testavimo paklaida, dėl tinklo „persimokymo“ pradeda didėti. Taigi VoIP paslaugos kokybės įvertinimui pasirenkame optimaliausią tinklo modelį – dviejų paslėptųjų sluoksnių neuroninį tinklą, apmokytą 10000 iteracijų.

4.2. VoIP QoS įvertinimas, naudojant realiai išmatuotus tinklo kokybinius parametrus

Kokybinių telekomunikacinio tinklo parametrų matavimui naudojamas 256 kb/s spartos duomenų perdavimo kanalas tarp Vilniaus ir Kauno miestų. VoIP QoS įvertinimui tiriamas paketinių duomenų perdavimo tinklo modelis, kuris pavaizduotas paveiksle nr.: 23:



23 pav. Tiriama telekomunikacinio tinklo modelis

Žinybinę telefoninę stotį SLICAN CCT-1668.S prijungiame prie Vilniaus mieste įsikūrusios įmonės UAB „Skaidula“ telekomunikacinio tinklo, turinčio sąsają su internetu. Šią stotelę naujo vartotojo vardu „Skaidula“ užregistruojame VoIP paslaugos tiekėjo GIZMO5 serveryje, kurio adresas: proxy01.sipphone.com. Serveris suteikia unikalų SIP (angl. *Session Initiation Protocol*) numerį: 17473079625. Taigi SLICAN CCT-1668.S telefoninė stotelė dabar turi išorinę paslaugos tiekėjo GIZMO5 miesto liniją, kurios numeris: 17473079625. Šią liniją priskiriame vidiniam SLICAN CCT-1668.S stoties abonentui bei jo telefono aparate nustatome automatinio atsiliepimo funkciją.

Kauno mieste esančiame kompiuteryje, turinčiame sąsają su internetu suinstaliuojame programinį telefoną (angl. *SIP phone*) – programinės įrangos paketas *Express Talk*. Užregistruojame dar vieną SIP vartotoją GIZMO5 serveryje, nauju vartotojo vardu: arturaskokas, kuriam suteikiamas unikalus SIP numeris: 17473153625. Šio vartotojo duomenis suvedame į

programinį telefoną *Express Talk*. Taigi dabar Kaune prie interneto tinklo prijungtas programinis telefonas turi išorinę paslaugos tiekėjo GIZMO5 miesto liniją, kurios numeris: 17473153625.

Nuotoliniu būdu iš Kaino mieste esančio kompiuterio, turinčio sąsają su internetu per RDP (angl. *Remote Desktop Protocol*) prisijungiame prie UAB „Skaidula“ vidinio tinklo kompiuterio, prie kurio prijungta garso kolonėlė yra netoli aukščiau minėto vidinio abonento telefono aparato ir programa *Windows Media Player* atidarome MP3 formato bylą su 10s trukmės aiškiu balso įrašu. Nustatome „repeat“ funkciją.

Iš Kaune esančiame kompiuteryje suinstaliuoto programinio telefono *Express Talk* per liniją, kurios numeris: 17473153625 skambiname Vilniuje esančiam SLICAN CCT-1668.S stoties vidiniam abonentui numeriu: 17473079625. Vidinio abonento telefonas automatiškai atsiliepia ir girdime transliuojamą besikartojantį 10s trukmės balso įrašą.

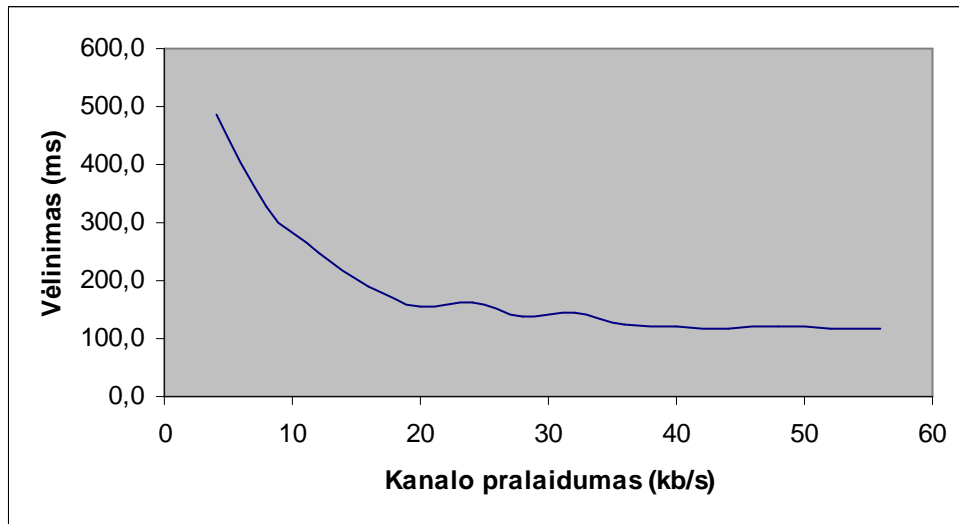
Išmatuojame VoIP paslaugos kokybinius parametrus (vėlinimą, paketų praradimus, vėlinimo fliuktacijas) programiniu paketu *Wireshark*, mažindami ryšio kanalo pralaidumą kas 4 kb/s nuo 56 kb/s iki 4 kb/s programiniu paketu *NetLimiter*. Matavimų duomenys pateikti lentelėje nr. 6:

6 lentelė

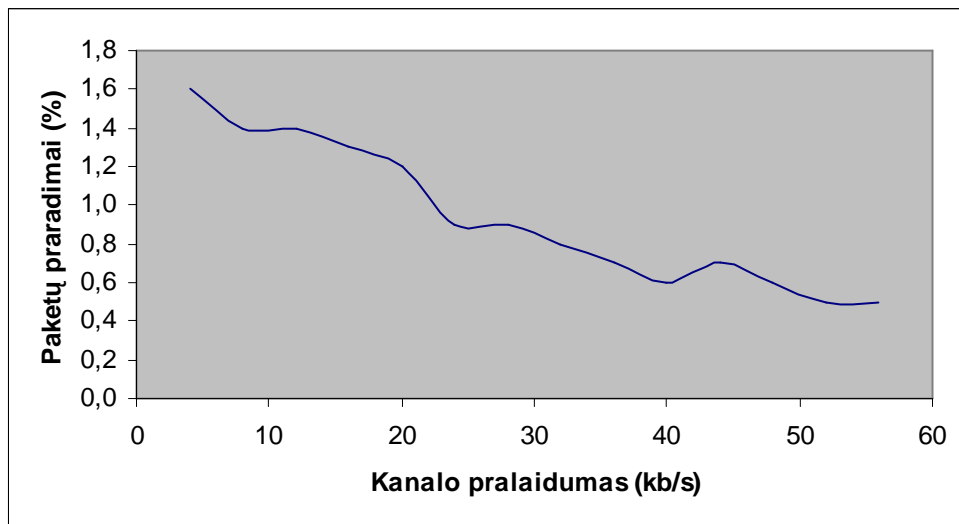
Išmatuoti VoIP paslaugos kokybiniai parametrai

Eil. Nr.	Kanalo pralaidumas (kb/s)	Vėlinimas (delay) (ms)	Paketų praradimai (packet loss) (%)	Vėlinimo fliuktacijos (jitters) (ms)
1	4	484,6	1,6	62,5
2	8	326,4	1,4	41,3
3	12	248,3	1,4	36,1
4	16	191,2	1,3	23,4
5	20	154,7	1,2	18,5
6	24	162,5	0,9	19,7
7	28	139,1	0,9	14,2
8	32	143,2	0,8	15,1
9	36	124,6	0,7	13,4
10	40	121,9	0,6	13,5
11	44	118,0	0,7	12,7
12	48	119,5	0,6	18,9
13	52	115,8	0,5	15,7
14	56	117,1	0,5	14,8

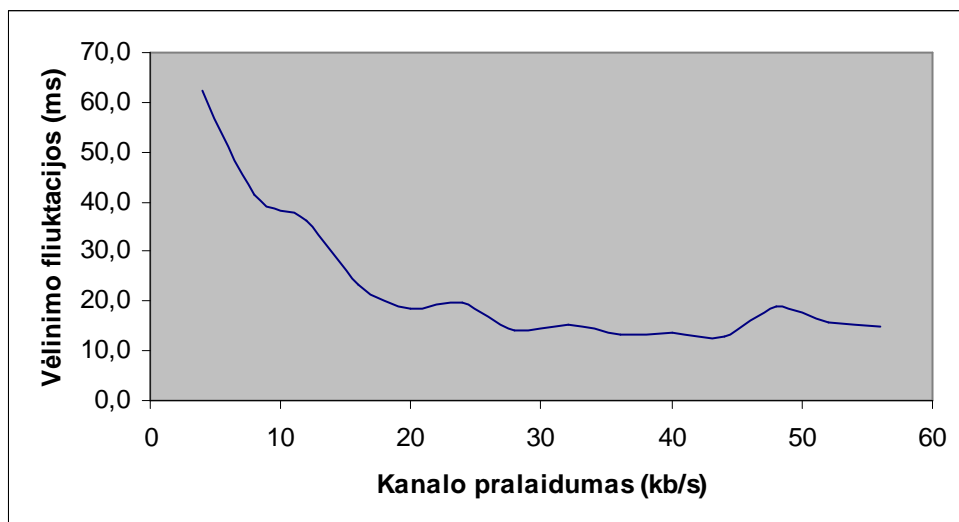
Kokybinių VoIP paslaugos parametrų priklausomybė nuo ryšio kanalo pralaidumo, pavaizduota 24, 25, 26 paveiksluose:



24 pav. Vėlinimo priklausomybė nuo kanalo pralaidumo



25 pav. Paketų praradimų priklausomybė nuo kanalo pralaidumo



26 pav. Vėlinimo fliuktacijų priklausomybė nuo kanalo pralaidumo

Iš paveikslų nr.: 24, 25, 26 matyti, kad ryšio kanalo pralaidumui didėjant iki 48 kb/s vėlinimo ir vėlinimo fliuktacijų priklausomybė nuo kanalo pralaidumo panaši į eksponentinę funkciją, o paketų praradimų priklausomybė nuo kanalo pralaidumo labiau primena tiesinę funkciją.

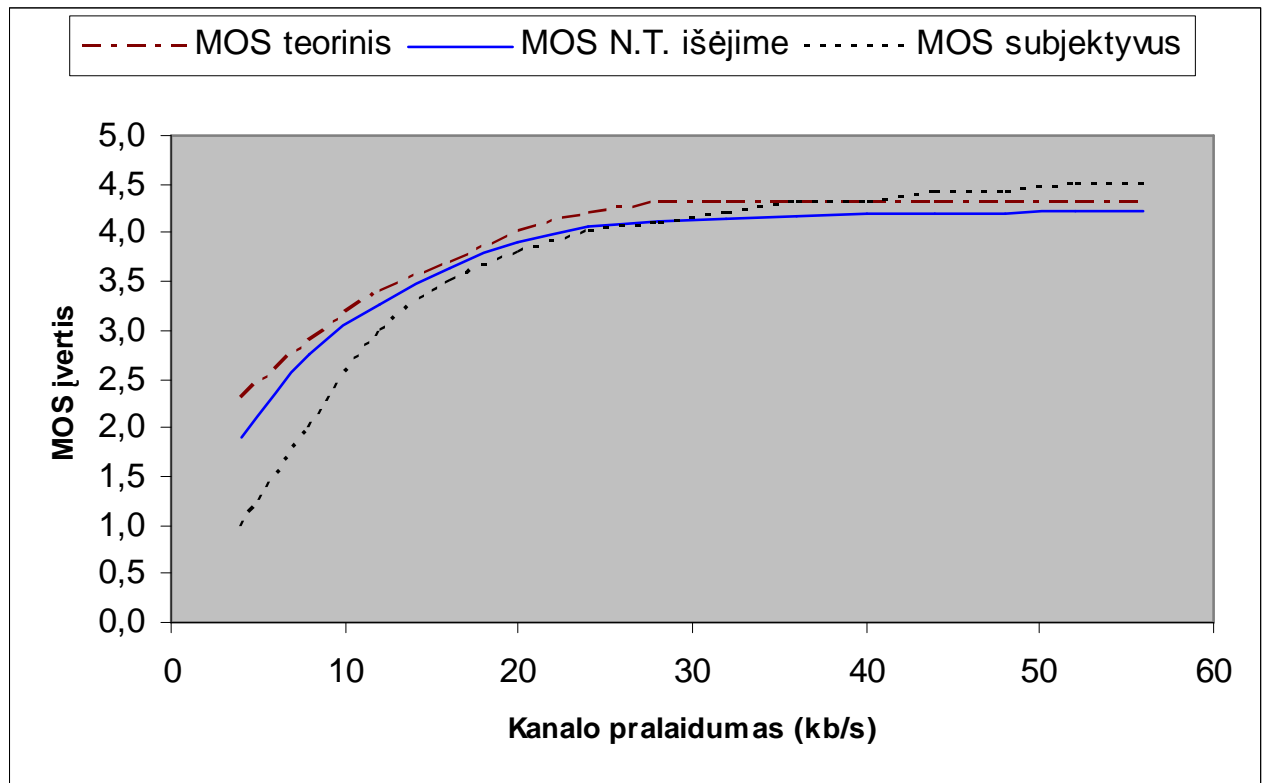
Naudodami išmatuotas kokybinių telekomunikacinio tinklo parametrų reikšmes, įvertiname MOS kriterijų trimis metodais: 1) 4.1 skyriuje aprašytu teoriniu MOS kriterijaus skaičiavimo metodu; 2) sumodeliuotu neuroniniu tinklu; 3) įvertiname MOS kriterijų pagal savo subjektyvią nuomonę (skalėje nuo 1 iki 5, priklausomai nuo girdimos balso kokybės – lentelė nr.: 2). Rezultatai pateikti lentelėje nr. 7:

7 lentelė

MOS kriterijaus įvertinimo trimis metodais rezultatai

Eil. Nr.	Kanalo pralaidumas (kb/s)	MOS teorinis	MOS neuroninio t. išėjime	MOS subjektyvus
1	4	2,3	1,9	1,0
2	8	2,9	2,8	2,0
3	12	3,4	3,3	3,0
4	16	3,7	3,6	3,5
5	20	4,0	3,9	3,8
6	24	4,2	4,1	4,0
7	28	4,3	4,1	4,1
8	32	4,3	4,1	4,2
9	36	4,3	4,2	4,3
10	40	4,3	4,2	4,3
11	44	4,3	4,2	4,4
12	48	4,3	4,2	4,4
13	52	4,3	4,2	4,5
14	56	4,3	4,2	4,5

Kaip kinta teorinių, gautų neuroninio tinklo išėjime bei subjektyvių MOS įverčių reikšmės, priklausomai nuo ryšio kanalo pralaidumo, pavaizduota paveiksle nr. 27:



27 pav. MOS įverčių priklausomybė nuo kanalo pralaidumo

Iš paveikslo nr. 27 matoma, jog MOS įvertis sparčiai didėja, ryšio kanalo pralaidumui didėjant iki 28 kb/s. Šioje dalyje subjektyvaus MOS įverčio reikšmės mažiausios, lyginant jas su teorinėmis bei gautomis neuroninio tinklo išėjime reikšmėmis – reali VoIP paslaugos kokybė pagal subjektyvią nuomonę prastesnė, nei apskaičiuota teoriškai ar gauta neuroninio tinklo išėjime. Apmokytas perceptronų neuroninis tinklas šioje kanalo pralaidumo atkarpoje pateikė MOS reikšmes, artimesnes klausytojo VoIP paslaugos kokybės suvokimui, kas tik įrodo, kad neuroninis tinklas gali tiksliau įvertinti situaciją, nei matematinė funkcija.

Ryšio kanalo pralaidumui esant didesniai, nei 28 kb/s, gerėjantys kokybiniai tinklo parametrai VoIP paslaugos kokybei iš esmės įtakos nedaro, ji išlieka gera – MOS įvertis daugiau nei 4.

IŠVADOS

1. Remiantis darbo teorine dalimi, galima apibendrinti, kad VoIP paslaugos kokybė vertinama tiek objektyviais, tiek subjektyviais parametrais. Labiausiai paslaugos kokybei darantys įtaką parametrai: vėlinimas, vėlinimo fliuktuacijos, paketų praradimai. VoIP paslaugos kokybei vertinti buvo susieti objektyvūs paslaugos kokybės parametrai su subjektyviu vertinimu - MOS.
2. Apžvelgus analitinį telekomunikacinio tinklo įvertinimo modelį, matoma, kad reikiamų matematinių procedūrų (kokybės rodiklių transformacijos, jų koreliacinė, informatyvumo analizė ir t.t.) norint įvertinti VoIP QoS skaičius yra didelis, ir tai reikalauja daug skaičiavimo resursų bei laiko, tad vienas iš būsenos klasifikavimo problemos sprendimo būdų – neuroninio klasterizatoriaus panaudojimas, kurio „apsimokymo“ savybė leidžia sutrumpinti modeliavimo trukmę ir tam panaudoti mažesnius skaičiavimo resursus – tokiu būdu, būsenos įvertinimas supaprastėja.
3. Apmokant neuroninį tinklą pastebėta, jog po tam tikro iteracijų skaičiaus apmokymo vidutinė kvadratinė paklaida (MSE) mažėja labai nežymiai (beveik nekinta), o testavimo pradeda didėti taigi pasirenkamas optimaliausias tinklo apmokymo variantas – perceptronų neuroninis tinklas, apmokytas 10000 iteracijų.
4. Apibendrinant gautų teorinių, neuroninio tinklo išėjime bei subjektyviai įvertintų MOS įverčių priklausomybes nuo ryšio kanalo pralaidumo, galime daryti išvadą, kad taip apmokytas neuronų tinklas puikiai tinka VoIP paslaugos kokybei įvertinti ir tokio tipo neuroninį klasterizatorių, kaip VoIP paslaugos kokybės vertintoją, tikslinga naudoti telekomunikacijų tinklo valdyje, siekiant prognozuoti ar laiku fiksuoti paslaugos kokybės pablogėjimą.

LITERATŪRA

1. UAB „ŽALIASIS NAMAS“ (2007) *Internet telefonijos technologija* [interaktyvus]. Interneto sprendimai [žiūrėta 2007 m. sausio 14 d.]. Prieiga per internetą: <<http://www.zaliasis-namas.lt/Internetas/IPTelefonija/Technologija.htm>>
2. CISCO SYSTEMS Inc. (2007) *Packet Voice Networking* [interaktyvus]. Reference guide [žiūrėta 2007 m. sausio 14 d.]. Prieiga per internetą: <http://www.cisco.com/en/US/products/hw/routers/ps1904/prod_technical_reference09186a0080092035.html>
3. HUDSON G. (2001) *Examining the Cost of Poor Quality in IP Networks* [interaktyvus]. Avici Systems Inc [žiūrėta 2007 m. birželio 5 d.]. Prieiga per internetą: <http://www.avici.com/technology/whitepapers/reliability_series/cost_of_poor_quality.pdf>
4. ITU-T (2003) *One – way transmission time* [interaktyvus]. G.114 recommendation [žiūrėta 2007 m. birželio 5 d.]. Prieiga per internetą: <<http://www1.cs.columbia.edu/~andrea/new/documents/other/T-REC-G.114-200305.pdf>>
5. *Overview of voice over IP*. Technical report MS-CIS-01-31,- Pennsylvania, - 2001, - 36 p.
6. TELCHEMY (2005) *Voice Quality Mesurement* [interaktyvus]. Technical note [žiūrėta 2007 m. birželio 5 d.]. Prieiga per internetą: <<http://telchemy.com/appnotes/TelchemyVoiceQualityMeasurement.pdf>>
7. HAYKIN S. (1999) *Neural Networks: A Comprehensive Foundation*. Prentice-Hall, Upper Saddle River, N.J., 2nd edition.
8. VIDMANTAS A. (2001) *Neuroninio tinklo matematinis modelis*. Tiriamasis darbas, Kaunas, 2001. – 29 psl.
9. ROSENBLATT F. (1962) *Principles of Neurodynamics*. Washington: Spartan Books.
10. BASTYS A. (2007) *Klasifikavimas* [interaktyvus]. Metodinė medžiaga [žiūrėta 2007 m. birželio 5 d.]. Prieiga per internetą: <<http://www.mif.vu.lt/~bastys/academic/ATE/Klasifikavimas/klasifik.htm>>
11. NAVAKAUSKAS D., PAULIUKAS Š., URBANAVIČIUS V., MARTAVIČIUS R. (2007) *Perceptronų tinklo struktūros* [interaktyvus]. Šiuolaikinės SAA priemonės, distancinio mokymo kursas, VGTU, elektronikos fakultetas [žiūrėta 2007 m. gruodžio 29 d.]. Prieiga per internetą: <<http://www2.el.vgtu.lt/ssa/sA4node4.html>>
12. KRUOPIS J. (1977) *Matematinė statistika*. Vilnius: Mokslas. 364 p.
13. GUDONAVIČIUS R., JANKŪNIENĖ R., ŠAFERIS V. (1999) *Klasterinės analizės panaudojimas telekomunikacijų tinklo kokybei nustatyti*. Kaunas: Technologija. 18-20 p.
14. GUDONAVIČIUS R., JANKŪNIENĖ R., SLANYS R. (2001) *Situacijų telekomunikacijų tinkle atpažinimas pagal kokybės požymių sistemą*. Kaunas: Technologija. 58-62 p.

15. ГУДОНАВИЧЮС Р., ШАФЕРИС В., ВИЛКАУСКАС Л. (2000) *Выбор системы информативных признаков для процедур распознавания шумоподобных сигналов*. Kaunas: Technologija. 31-37 p.
16. NEURODIMENSION INC. (2007) *NeuroSolutions v5.06* [interaktyvus]. Free evaluation [žiūrėta 2007 m. gruodžio 29 d.]. Prieiga per internetą: <<http://www.neurosolutions.com/downloads/>>
17. CALYAM P., SRIDHARAM N., MANDRAWA W., SCHOPIS., P. *Performance measurement and analysis of H.323 traffic* [interaktyvus]. The Ohio state univerrisity, Columbus [žiūrėta 2005 m. gegužės 4 d.]. Prieiga per internetą: <<http://www.pam2004.org/papers/222.pdf>>
18. VERIKAS A., GELEŽINIS A. (2003) *Neuroniniai skaičiavimai ir neuroniniai tinklai*. Kaunas: Technologija. 174 p.
19. ITU-T (2005) *The E-Model, a computational model for use in transmission planning* [interaktyvus]. G.107 recommendation [žiūrėta 2005 m. gegužės 4 d.]. Prieiga per internetą: <<http://www1.cs.columbia.edu/~andrea/new/documents/other/T-REC-G.107-200503.pdf>>
20. WALL D. ENTERPRISE (2008) *Mean opinion score calculator* [interaktyvus]. [žiūrėta 2005 m. gegužės 4 d.]. Prieiga per internetą: <<http://davidwall.com/MOSCalc.htm>>

SANTRAUKA

KOKAS, Artūras. (2008) *Investigation of voice over IP quality of service using neural clusterizator*. MBA Graduation Paper. Kaunas: Vilnius University, Kaunas Faculty of Humanities, Department of Informatics. 40 p.

SUMMARY

In the times of informational society the importance of crucial information is the main factor for development of telecommunication sector. The problems to be solved are no longer only the transportation of info anywhere at any instance but also the minimal price to be paid for it. For last decade the technical solution to satisfy these objectives was moving towards IP network. The presenting qualification work is to study the voice transfer on IP network.

First chapter is dedicated to realization of telephony over IP networks. The network parameters with most significance for VoIP quality are analyzed here.

In the second chapter artificial neuron networks are presented as one of the possible VoIP Quality of Service clusterizators. An overview of their structures and modules as well as their advantages over other methods solving classification problems is made here.

The model of artificial neuron network designed to analyze the QoS of voice transmission over IP network is given in chapter three. The model is based over network of perceptrons with two hidden layers.

In the practical part of the work the designing of VoIP QoS forecasting artificial neuron network is made on *NeuroSolutions for Excel* program packet. The model is realized on network between Vilnius and Kaunas cities over which VoIP transmission is taking place. Using data from the real-world parameter measurements the research of QoS is made. Analysis of the results is made at the end.

Results show that artificial neuron network is suitable for evaluation of QoS of VoIP. It is worthy to use this kind of neuron clusterizator like evaluator for QoS of VoIP gaining more control over the network by forecasting or notice at right time the fall of Quality of Service.

Qualification work contains 40 pages including 27 pictures, 7 tables and 20 literature sources.

PRIEDAS nr. 1. Apmokymo ir testavimo duomenų imtys

Pastaba: testavimo duomenų imtis išskirta „Bold“ šriftu.

Eil. Nr.	Vėlinimas (delay) (ms)	Paketų praradimai (packet loss) (%)	Vėlinimo fliktacijos (jitters) (ms)	Vodutinės nuomonės įvertis (MOS)
1	140	3,2	11	3,5
2	370	3,3	29	2,1
3	460	1,9	39	2,4
4	260	1,0	48	3,1
5	80	2,0	40	3,7
6	200	2,7	6	3,5
7	10	2,0	29	3,7
8	110	1,5	34	4,0
9	130	4,6	22	3,2
10	490	1,1	12	2,5
11	280	2,1	4	3,1
12	200	0,9	6	4,2
13	480	1,2	10	2,5
14	470	4,8	45	1,6
15	400	3,1	9	2,2
16	40	1,9	7	4,0
17	340	0,5	44	3,2
18	50	3,6	43	3,5
19	300	0,1	26	3,5
20	70	0,8	49	4,3
21	440	2,3	37	2,2
22	240	0,3	42	3,6
23	160	4,4	15	3,1
24	330	2,9	10	2,8
25	350	4,0	30	2,0
26	140	1,7	13	4,0
27	90	3,0	48	3,4
28	480	1,1	45	2,4
29	100	4,8	4	3,2
30	360	2,2	49	2,3
31	180	0,6	43	3,9
32	390	2,5	27	2,4
33	380	2,9	21	2,4
34	430	1,5	9	2,7
35	390	0,2	19	3,2
36	410	4,4	37	1,7
37	400	2,2	2	2,5
38	190	4,1	2	3,1
39	100	4,2	23	3,2
40	10	1,3	25	4,0
41	180	1,3	16	3,9
42	120	4,3	8	3,2
43	460	5,0	26	1,5
44	210	4,6	14	2,8
45	220	0,7	5	4,1
46	340	0,3	17	3,4

47	150	3,7	18	3,4
48	300	0,8	20	3,6
49	470	4,0	50	1,6
50	350	0,4	1	3,5
51	380	2,4	41	2,3
52	420	3,4	15	2,1
53	80	3,9	40	3,5
54	110	2,8	36	3,7
55	500	4,1	31	1,6
56	500	0,9	23	2,9
57	20	2,7	47	3,7
58	410	0,1	42	3,0
59	450	3,5	25	1,9
60	250	1,4	44	3,2
61	370	4,5	13	2,0
62	440	0,5	24	3,0
63	130	4,2	46	2,9
64	490	2,1	35	2,1
65	290	5,0	1	2,3
66	60	0,7	3	4,3
67	430	1,6	36	2,5
68	220	4,9	22	2,7
69	40	2,8	27	3,7
70	360	2,6	11	2,6
71	230	3,8	3	3,1
72	120	0,6	47	4,2
73	50	2,5	39	3,7
74	260	3,6	24	2,7
75	320	1,8	14	3,1
76	320	2,3	41	2,5
77	190	3,0	16	3,2
78	330	2,6	7	2,8
79	420	4,9	33	1,7
80	60	1,2	46	4,0
81	270	3,3	17	2,7
82	280	1,8	28	3,2
83	170	3,1	32	3,1
84	150	3,2	38	3,2
85	160	4,7	38	2,9
86	290	1,6	12	3,3
87	20	3,5	30	3,5
88	230	1,4	19	3,6
89	310	3,8	35	2,3
90	170	1,7	34	3,7
91	240	1,0	28	3,4
92	30	3,9	33	3,5
93	450	0,4	20	3,0
94	270	2,4	32	2,8
95	250	4,5	31	2,4
96	210	3,4	21	3,0
97	30	3,7	8	3,5
98	70	4,3	18	3,2
99	310	4,7	5	2,4
100	90	0,2	50	4,2

101	340	4,3	36	1,9
102	200	2,2	24	3,3
103	350	0,4	14	3,4
104	240	3,7	47	2,5
105	130	1,5	25	4,0
106	480	4,1	46	1,5
107	40	1,3	3	4,0
108	470	4,2	35	1,6
109	110	2,9	42	3,6
110	200	0,6	23	4,0
111	140	1,7	41	3,8
112	300	4,6	27	2,2
113	460	1,1	40	2,4
114	260	4,8	36	2,3
115	400	1,3	1	2,9
116	440	0,3	3	3,1
117	70	0,7	11	4,3
118	330	4,0	24	2,1
119	50	5,0	22	3,0
120	10	2,5	47	3,7
121	280	4,4	13	2,4
122	120	0,2	44	4,2
123	160	0,8	39	4,1
124	370	3,0	15	2,2
125	80	2,2	31	3,7

PRIEDAS nr. 2. SLICAN telefoninių stočių funkcijos

SERVERIAI IR PABX



SLICAN CCT-1668

ESATE MAŽOS AR VIDUTINĖS ĮMONĖS SAVININKAS?

TUOMET JUMS TIKRAI REIKIA MAŽO, BET TECHNIŠKAI PAŽENGUSIO KOMUNIKACIJOS SPRENDIMO. TAI VISUOTINĖ SISTEMA, KURI UŽAUGS KARTU SU JŪSŲ VERSLU. VIENAS PRODUKTAS, KURIS SUVIENIJA KELIŲ PRODUKTŲ GALIMYBES, APIMDAMAS VOIP IR GSM TINKLŲ SAŠAJAS (GATEWAY), BEI POKALBIŲ ĮRAŠYMĄ. SIŪLOME EKONOMIŠKAI PATRAUKLŲ SPRENDIMĄ, KURIS SUMAŽINS JŪSŲ KOMUNIKACIJOS IŠLAIDAS.

MES TURIME SPRENDIMĄ JUMS IR JŪSŲ ĮMONEI!
RINKITĖS SLICAN CCT-1668!



■ CCT-1668.L



■ CCT-1668.S



■ CCT-1668.EU

NOVATORIŠKI VARTOTOJŲ SPRENDIMAI:

ICD – Intelektualus Skambučių Paskirstymas

Visi įeinantys skambučiai bus automatiškai perduoti apibrėžtam asmeniui ar jūsų įmonės padaliniam. Pavyzdžiui, visi skambučiai iš užsienio šalių bus persiųsti į eksporto skyrių, skambučius iš vidaus rinkos – asmeniui, atsakingam už priskirtą šalies sritį.

PATHFINDER – greita ir efektyvi komunikacija

Dėl unikalios Slican serveryje esančios automatinio skambučių maršrutą nustatančios sistemos, jūsų klientas atskambinant numeriu, kurį rodo telefono aparatas, bus suijungtas tiesiogiai su tuo asmeniu, kuris skambino jam anksčiau.

INVENIO – efektyvi ir šiuolaikinė perdavimo funkcija įeinantiems skambučiams

Pasiūlykite savo klientams kažką daugiau nei standartinę informacinę liniją. Slican Invenio yra patogi ir draugiška vartotojui informacijos ir navigacijos sistema visiems žmonėms, skambinantiems į jūsų įmonę.

VoIP telefonija

Integruotas VoIP modulis Slican serveriuose leidžia naudotis alternatyvių VoIP tiekėjų paslaugomis ir skambinti iš tikrųjų žemomis kainomis. Integruota VoIP tinklų sąsaja (gateway) CCT-1668 serveryje, garantuoja mažą kainą ir aukštą ryšio kokybę.

GSM telefonija

Integruotas GSM tinklų sąsajos modulis yra idealus sprendimas įmonėms, turinčioms savo tinklą. Nuo šiol aukštos kokybės GSM ryšį galima sukurti už žemą kainą išplečiant paprastą telefoninę sistemą.

EbdRec – integruotas pokalbių įrašymas

Visų pokalbių įrašymui ir archyvavimui jums nebereikės pirkti išorinės įrašymo sistemos! Integruotas įrašymo modulis CCT-1668 serveryje yra efektyvus ir patogus vartotojui.

LANKSTI SISTEMA

EFEKTYVI KOMUNIKACIJA

TAUPUMAS

MANO PASIRINKIMAS:



www.slican.com

SLICAN CCT-1668

PARAMETRAI				
PABX tipas		CCT-1668.S	CCT-1668.L	CCT-1668.EU
Standartinė konfigūracija – analoginiai portai		8	16	16
Maksimali talpa	Analoginės miesto linijos (ASS)	16	44	44
	Analoginiai vidiniai abonentai (AB)	32	88	88
	ISDN BRA miesto linijos (vid./išor.)	12/11	12/11	12/11
	ISDN PRA miesto linijos	-	1	1
	VoIP kanalai	8	8	8
	VoIP abonentai	118	118	118
	GSM linijos	2	4	4
	CTS sisteminiai portai	18	18	18
	Pokalbių įrašymo kanalai	12	12	12
Slican įrenginiai		Skaitmeniniai sisteminiai telefonai Slican CTS-202, CTS-202.Plus and CTS-202.IP		
		Slican CTS-232 praplėtimo pultas		
		Slican BRF telefonspynės		
		Multi Audio Box (MAB-1101)		
Programos, skirtos CCT-1668		Slican TelefonCTI.plus / TelefonCTI		
		Slican BillingMAN.plus / BillingMAN		
		Slican PayMAN		
		Slican RecordMAN		
VoIP tinklo sąsajos parametrai		Palaikomi protokolai		
		SIP ir IAX2 (balso kodekai G.711, GSM 6.10 FullRate)		
		Palaikomos trečiųjų šalių programos/ įrenginiai		
		„softphone“ tipo programinis arba aparatinis IP telefonas		
Palaikomi sisteminiai telefonai		Iki 18 Slican CTS-202.IP sisteminiu telefonų ir 100 kito gamintojo		
Darbo režimas		VoIP master arba slave		
Maitinimo šaltinis		~230 V; 50 Hz; < 60 VA	~230 V; 50 Hz; < 120 VA	~230 V; 50 Hz; < 120 VA
Dydis(mm) plotis x aukštis x gylis		250 x 272 x 120	412 x 488 x 120	483 (19") x 178-(4U) x 225
PROTOKOLAI				
Balso perdavimo protokolai		POTS/ ISDN-EDSS1/ SIP v.2.0/ IAX2/ GSM900/1800/ Up0		
Duomenų perdavimo protokolai		CTIP/ USRP/ PayMANP/ HotelP/ TAPI CSTA via OSITRON/ Ethernet		
FUNKCIJOS				
<ul style="list-style-type: none"> • integruoti VoIP ir GSM tinklų sąsajos moduliai • mobilių vartotojų palaikymas: „Universal Message DND“/ „Follow Me“ • galimybė kurti tinklus iš MAC-6400 ir CCT-1668 serverių • vietinis ryšys su kompiuteriu per LAN ar USB • nuotolinis PABX valdymas per modemą ir internetą • vidinė sistemos ir įkrovos įvykių atmintis • PABX vidinių skambučių apmokestinimas • išorinių numerių dubliavimo vidiniais paslauga • bendradarbiavimas su kitų gamintojų PABX'ais, išorine programine įranga bei išorinėmis VoIP tinklo sąsajomis • „pigių minučių“ limito paslauga • vartotojų apskaitos programos 				



RINKITĖS GERESNĖ KOMINIKACIJĄ !