

VILNIAUS UNIVERSITETAS
KAUNO HUMANITARINIS FAKULTETAS
INFORMATIKOS KATEDRA

Verslo informatikos studijų programa

Kodas 62109P101

MARIUS RUDEIČIUKAS

MAGISTRO BAIGIAMASIS DARBAS

BALSO TECHNOLOGIJŲ TAIKYMAS VARTOTOJŲ ATPAŽINIMO
UŽDAVINIUOSE

Kaunas 2009

VILNIAUS UNIVERSITETAS
KAUNO HUMANITARINIS FAKULTETAS
INFORMATIKOS KATEDRA

MARIUS RUDEIČIUKAS

MAGISTRO BAIGIAMASIS DARBAS

BALSO TECHNOLOGIJŲ TAIKYMAS VARTOTOJŲ ATPAŽINIMO
UŽDAVINIUOSE

Leidžiama ginti _____

Magistrantas _____
(parašas)

Darbo vadovas _____
(parašas)

Lektorius dr. Kęstutis Driaunys
(darbo vadovo mokslo laipsnis, mokslo
pedagoginis vardas, vardas ir pavardė)

Darbo įteikimo data _____

Registracijos Nr. _____

Kaunas 2009

Turinys

PAVEIKSLŲ SĄRAŠAS.....	5
LENTELĖS	6
SANTRUMPŲ SĄRAŠAS.....	7
ĮVADAS	9
1. ANALIZĖS DALIS.....	11
2. TEORINĖ DALIS	15
2.1. Kalbėtojo atpažinimo principai	15
2.2. Priklausomi nuo teksto kalbėtojo atpažinimo metodai	16
2.2.1. Dinaminiais laiko iškreipimais paremti metodai	16
2.2.2. Markovo modeliu paremti metodai	17
2.3. Nuo teksto nepriklausomi atpažinimo metodai	18
2.3.1. Didelių trukmių statistika paremti metodai	18
2.3.2. Vektorių kvantavimu paremti metodai.....	18
2.3.3. Ergodiko – Markovo modeliu paremti metodai.....	19
2.3.4. Kalbos atpažinimu paremti metodai.....	19
2.3.5. Gauso susimaišymo modeliu paremti metodai	19
2.4. Atsitiktinį tekstą naudojančys atpažinimo metodai	20
2.5. Metodų palyginimas	21
2.6. Eksperimento bendras planas	22
2.7. Duomenų parinkimas	24
2.8. Treniravimas ir testavimas	27

2.9.	Treniravimas	29
2.9.1.	Melų dažnių skalės kepstro koeficientai (MFCC)	29
2.9.1.1.	Skaidymas į freimus.....	29
2.9.1.2.	Langų pritaikymas.....	30
2.9.1.3.	Greitoji Furjė transformacija(FFT)	30
2.9.1.4.	Melų dažnio skalės pritaikymas.....	30
2.9.1.5.	Kepstro transformacija	30
2.9.2.	VQ kodų knygos sudarymas	31
3.	EKSPERIMENTAS	33
3.1.	Duomenų paruošimas.....	34
3.2.	Duomenų parinkimas ir apdorojimas.....	34
3.3.	Treniravimas	35
3.4.	Testavimas	35
3.5.	Rezultatai	37
IŠVADOS	39
LITERATŪRA	40
PRIEDAI	44

PAVEIKSLŲ SĄRAŠAS

1 pav. Kalbėtojo identifikacija	15
2 pav. Kalbėtojo verifikacija	16
3 pav. Markovo grandinės būsenų perėjimo atvaizdavimas grafa	18
4 pav. Kalbėtojo numatoma atpažinimo schema	23
5 pav. LTDIGITS Katalogų schema	25
7 pav. Identifikacijos sistemos testavimo s fazės modulinė schema	27
8 pav. MFCC procesoriaus struktūros blokinė diagrama	29
9 pav. LGB algoritmo schema	32
10 pav. Eksperimento schema	33
11 pav. Testavimo schema	36

LENTELĖS

1. lentelė. Normalizavimo įtaka.....	12
2. lentelė. Tyrimų palyginimas.....	13
3 lentelė. Metodai	21
4 lentelė. Sistemos testavimas	38

SANTRUMPŲ SĄRAŠAS

HMM – paslėptas Markovo modelis (Hidden Markov model);

EER – tai lygus klaidų skaičius apskaičiuojamas $EER = \frac{\text{neteisingai atmestų kreipimusi skaičius}}{\text{iš viso kreipimusi}} = \frac{\text{neteisingai priimtų kreipimusi skaičius}}{\text{iš visų kreipimosi skaičiaus}}$;

DTW – dinaminis laiko iškreipimas (Dynamic time wrapping);

VQ – vektorių kvantavimas;

GMM – Gauso susimaišymo modelis (Gaussian mixture model);

SVM - pagalbinių vektorių mechanizmu (Support Vector Machine)

SANTRAUKA

RUDEIČIUKAS, Marius. (2009) Research of Speakers recognition using voice biometrics. MBA Graduation Paper. Kaunas: Vilnius University, Kaunas Faculty of Humanities, Department of Informatics. 40 p.

SUMMARY

Voice biometric authentication method based on the fact that the human voice itself has a significant amount of information: the language (English, Russian, Lithuanian), speech pathology, sex, emotional status, age. Therefore, as the fingerprints of human voices are different. Although the speaker identification accuracy is lower for fingerprints or retinal scanning, but the speaker recognition hardware is much cheaper, just a simple microphone is needed. This work will review the experiments and studies done in this field. As well as an overview of the main principles and methods of speakers identification. Their operational nature, uses, and the accuracy recognition. So the experiment was developed, which aims to speaker identification. Program operation consists of three main steps: data collection, training and testing. The analysis of the theory resulted in creating a plan of the experiment, which has been realized. Created an authentication program, with the operating principle: taken audio files are processed, the necessary experimental word "one" is cut , and a new sound file is handled (noise and silence reduction, and DC offset elimination). Then, out of testing phase, during which the language model is trained, a VQ code book for each standard. Later, the code book will be used for speaker recognition. Testing at the same loaded the sound files in succession, and the use of VQ code book is calculated using Euclidean distance, the standard test with which the speaker has the smallest distortion is recognized as a speaker.

The Master's thesis consists of 40 pages. This paper includes 4 tables and 11 pictures.

IVADAS

Temos aktualumas. Biometrija, tai sąvoka, kuria vadinamas automatinis žmogaus atpažinimas remiantis jo fiziologinėmis ar elgesio charakteristikomis. Egzistuoja nemažai biometrinių technologijų: veido atpažinimas, pirštų antspaudų atpažinimas, pirštų geometrija, plaštakos geometrija, akies rainelės atpažinimas, kraujagyslių atpažinimas, rašto atpažinimas ir balso atpažinimas.

Biometrinių technologijų naudojimo pranašumas lyginant su standartinėmis slaptažodžių metodais yra tas kad jos pirmiausia reikalauja kad žmogus identifikacijos metu privalo fiziškai būti identifikacijos vietoj, kai tuo tarpu slaptažodį galima perduoti kitam asmeniui. Kitas privalumas yra tas kad asmuo neturi įsiminti jokių sudėtingų tekstu (slaptažodžių) ar nešiotis smart korteles ir panašiai. Be to slaptažodžiai gali būti užmiršti, nulaužti, netyčia išduoti perduoti. Smart kortelės gali būti pavogtos, atimtos ir pamestos, kai tuo tarpu viskas ko reikia biometrinėms technologijoms visad yra kartu ir negali būti pamesta, užmiršta ir panašiai.

Balso atpažinimo biometrinis metodas remiasi tuo kad žmogaus balsas savyje turi nemažą kiekį informacijos: kalba(anglų, rusų, lietuvių), kalbos patologija, lyti, emocinę būseną, amžių. Todėl kaip ir pirštų antspaudai žmonių balsai skiriasi.

Nors kalbėtojo atpažinimo tikslumas yra mažesnis už pirštų antspaudus ar tinklainės skanavimą, tačiau kalbėtojo atpažinimo techninė įranga yra kur kas pigesnė, užtenka paprasto mikrofono. Todėl mano magistro darbui buvo pasirinkta tema : Balso technologijų taikymas vartotojo atpažinimo uždaviniuose

Darbo objektas – kalbėtojo atpažinimas naudojant balso technologijas.

Darbo tikslas – Realizuoti diktoriaus atpažinimo algoritmą naudojant vektorių kvantavimą ir triukšmo šalinimą.

Darbo uždaviniai:

1. Išnagrinėti, kokie balso technologijų metodai ir algoritmai plačiausiai taikomi vartotojų atpažinime, kurie iš jų yra efektyviausi šiandien ir pasiūlyti sprendimą, kurie metodai ir algoritmai galėtų būti pritaikomi vartotojų atpažinimui, pačiam sukurti naujus ar patobulinti jau esančius metodus ir algoritmus.
2. Atlikti informacijos šaltinių tyrimą, išanalizuoti metodus ir algoritmus naudojamus balso technologijose.
3. Atrinkti balso technologijų metodus ir algoritmus tinkančius vartotojų atpažinimui.

4. Praktiškai patikrinti atlikto tyrimo rezultatus:

- a. Sumodeliuoti ir suprojektuoti vartotojų atpažinimo sistemą naudojant balso technologijas.
- b. Realizuoti ir ištestuoti suprojektuotą sistemą.
- c. Patikrinti atpažinimą naudojantis LTDIGITS garsynu.
- d. Ištirti ir įvertinti gautus empirinio tyrimo rezultatus.

1. ANALIZĖS DALIS

Kalbėtojo atpažinimo sistemų pagrindas yra kalbėtojo specifinių žymių išrinkimas, o tai skiriasi nuo kalbos atpažinimo, kur išrenkamos kalbai specifinės žymės. Pirmosios kalbėtojo atpažinimo sistemos kurios buvo pradėtos kurti apie 1970 metus ir rėmėsi kalbos bangų linijiniu prognozavimu (linear prediction) [15,16,17,18]. Taip pat kaip požymis buvo naudojamas kalbos intensyvumas (speech intensity) [19] ir tonas [21,22]. Tuo pat metu buvo pradėti vykdyti ilgalaikių požymių trukmių vidurkių tyrimai (Long-Term Feature Averaging) [23]

Kai –Fu Lee, Hsiao – Wuen Hon 1989 metais pristatė paslėpto markovo modelio (Hidden Markov model HMM) panaudojimą telefoniniam kalbėtojo atpažinimui. Testavimui buvo panaudota TIMIT kalbų duomenų bazė, pasiektas atpažinimo tikslumas 73,80%. [14]

1994 metais buvo Douglas A. Reynolds sukūrė Identifikacijos ir verifikacijos bandomąją sistemą paremtą Gauso mišinių modeliu (Gaussian mixture models (GMM)). Jos testavimui buvo panaudotos kalbų bazės: TIMIT, NITWIT ir Switchboard. Identifikacijos tikslumas panaudojus 168 įrašus iš TIMIT bazės buvo 99,7%, 76,2% NITWIT bazei ir 82,8% 113 įrašų iš Switchboard. Verifikacijos eksperimentų klaidų EER (EER – tai lygus klaidų skaičius apskaičiuojamas EER= neteisingai atmestų kreipimusi skaičius/ iš visų kreipimusi = neteisingai priimtų kreipimusi skaičiui/ iš visų kreipimusi skaičiaus)): 0,3% TIMIT, 5,4% NITWIT ir 7,0% Switchboard. [7]

Q. Jin, T. Schultz, and A. Waibel 2002 pristatė du naujus metodus: MPLM-dec ir MPLM-pp skirtus kalbėtojo atpažinimui telefono ryšiu, nežinant jo kalbos šalies. Kurie pasiekia 96,7 % atpažinimo tikslumą. [12]

W. M. Campbell, J. P. Campbell, D. A. Reynolds, D. A. Jones, and T. R. Leek pristatė naują telefoniniam tinklas skirta nuo teksto nepriklausomą kalbėtojo atpažinimo modelį paremta pagalbinių vektorių mechanizmu Support Vector Machine (SVM). Standartinės sistemų klaidos EER tuo metu buvo nuo 8,75% iki 10,75%, o SVM paremtos tik 3,5%. [9]

Jae C. Oh, Misty Blowers 2005 pristatė genetinio klasifikavimo sistema skirta nuo teksto nepriklausomam atviram kalbėtojo atpažinimui. Tam kad identifikuoti kalbėtoja jo kalbą yra išsaugoma ir ypatybių vektoriai yra perduodami sistemai vienas paskui kita kol yra išsiaiškinamas kalbėtojas, atlikus 100 bandymų kalbėtojas buvo identifikuojamas vidutiniškai per 20 iteracijų. [13]

Ming Liu, Zhengyou Zhang, Mark Hasegawa-Johnson, Thomas S. Huang 2007 atliko bandymus siekdami išsiaiškinti diferencijuoto apmokymo įtaką panaudojant normalizavimą kalbėtojo atpažinimui. Palygintos buvo Gauso mišinių modelio – universalios aplinkos modelio sistema (GMM_UBM framework), Fišerio atraminėmis vektorių mašinomis (Fisher - Support Vector Machine

(SVM)) ir pasikartojantis kohorto modeliavimas (Iterative Cohort Modeling (ICM)). Gauti rezultatai pateikiami lentelėje:

1 lentelė

Normalizavimo įtaka

EER/DCF	Be T-Norm	Su T-Norm
GMM-UBM	10.98%/52.23 ^(10⁻³)	9.21%/34.64 ^(10⁻³)
Fisher-SVM	9.14%/38.27 ^(10⁻³)	8.62%/35.30 ^(10⁻³)
ICM ₀	14.61%/65.47 ^(10⁻³)	11.15%/43.71 ^(10⁻³)
ICM ₂	8.28%/36.35 ^(10⁻³)	8.38%/33.58 ^(10⁻³)
ICM ₄	8.07%/34.36 ^(10⁻³)	8.21%/33.51 ^(10⁻³)

Šaltinis: Ming Liu, Zhengyou Zhang, Mark Hasegawa-Johnson, Thomas S. Huang 2007

Testavimui buvo panaudota 174 kalbėtojai. Duomenų bazėje iš viso buvo įvesta 330 kalbėtojų modelių. Sistemos treniravimui buvo panaudoti telefoniniai pokalbiai kurie truko nuo 60s iki 120s. Testavimo kalba truko nuo 3s iki 120s. [8]

Lentelėje numeris 2 pateikiama tyrimų chronologinė seka. Stulpelis šaltinis parodo šaltinį esantį darbo literatūros dalyje. Stulpelis metodas parodo naudojama tyrimo metodą. Stulpelyje įvedamos kalbos pobūdis yra aprašoma įvedama kalba tyrimui („laboratorija“ – kalba įvesta buvo laboratorijoje, „įrašas“ - kalba imama iš tarptautinių kalbos duomenų bazių ar naudojami įrašyti natūraliomis sąlygomis, „Telefonas“ – naudojami telefoninės kalbos įrašai. Stulpelyje „priklausomybė nuo teksto“ aprašoma ar naudojamas metodas priklausė nuo teksto ar ne. Stulpelis „Imtis“ apibūdina testuojamų kalbėtojų skaičių. Paskutiniame stulpelyje „Klaidos“ aprašoma tyrimo metu gauta klaidos reikšmė EER identifikacijai („I“) arba verifikacijai („V“) ir įvedamai testinės kalbos trukmei.

Tyrimų palyginimas

šaltinis	Metai	metodas	[v. kalbos pobūdis	Priklausomybė nuo teksto	Imtis	Klaidos (EER)
ATAL [16]	1974	Požymių lyginimas (Pattern match)	Laboratorija	Priklausomas	10	I/2%/0.5s V/2%/1s
Markel ir Davis [24]	1979	Ilgo laikotarpio statistika	Laboratorija	Nepriklausomas	17	I/2% / 39s
Furui [25]	1981	Požymių lyginimas (Pattern match)	Telefonas	Priklausomas	10	V/0,2%/ 3s
Schwartz [26]	1982	Nonparametric pdf	Telefonas	Nepriklausomas	21	I/2,5%/ 2s
Li ir Wrench [35]	1983	Požymių lyginimas (Pattern match)	Laboratorija	Nepriklausomas	11	I/21%/3s V/4%/10s
Doddington [31]	1985	DTW	Laboratorija	Priklausomas	200	V/0,8%/6s
Soong[29]	1985	VQ	Telefonas	10 atskirų vienaženklių skaitmenų	100	I/5%/1,5s I/1,5%/3,5s
Higgins ir Wohlford [34]	1986	DTW	Laboratorija	Nepriklausomas	11	V/10%/2,5s V/4,5%/10s
Attili [30]	1988	Ilgo laikotarpio statistika	Laboratorija	Priklausomas	90	V/1%/3s
Kai –Fu Lee, Hsiao – Wuen Hon [14]	1989	HMM, LPC (linier predictive coding)	Telefonas	Nepriklausomas	180	Tikslumas 73,8%
Higgins [28]	1991	DTW	Įrašas	Priklausomas	196	V/1,7%/10s
Tishby[35]	1991	HMM	Telefonas	10 atskirų vienaženklių skaitmenų	100	V/2,8%/1,5s V/0,8%/3,5s
Douglas A. Reynolds[7]	1994	GMM	Laboratorija	Nepriklausomas	168 168 113	I/0,3% I/5,4% I/7%
Reynolds [33];	1995	GMM	Įrašas	Priklausomas	138	I/0,8%/10s
Reynolds ir Carlson [32]	1995	HMM	Įrašas	Priklausomas	138	V/0,12%/10s
Che ir Lin [37]	1995	HMM	Įrašas	Priklausomas	138	I/0,56%/2,5s I/0,14%/10s V/0,62%/2,5s

2 lentelė(tęsinys)

Colombi [38]	1996	HMM	Įrašas	Priklausomas	138	I/0,22%/10 V/0,28/10s
Reynolds [27]	1996	HMM ir GMM	Telefonas	Nepriklausomas	416	V/13,5%/3s V/7%/10s V/4%/30s
W. M. Campbell, J. P. Campbell ir kiti [9]	2003	SVM	Laboratorija	Nepriklausomas	15	I/3,5%

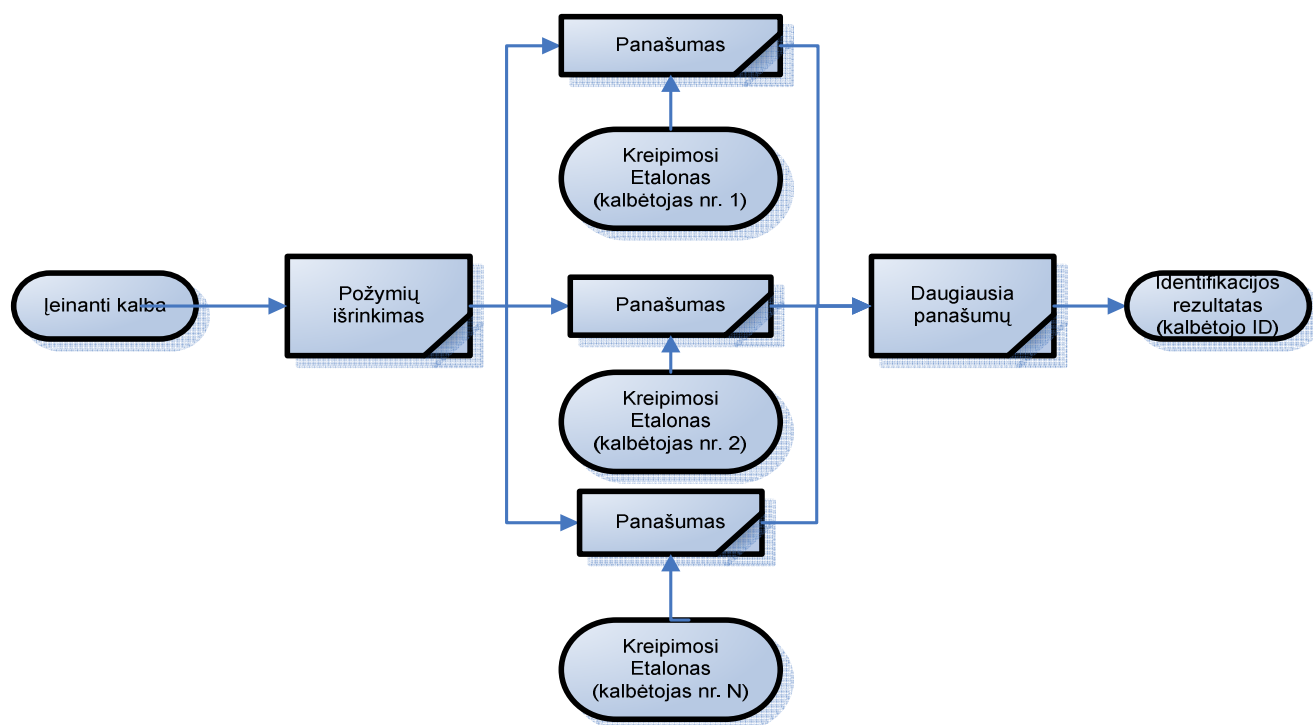
Šaltinis: sudaryta autoriaus

2. TEORINĖ DALIS

2.1. Kalbėtojo atpažinimo principai

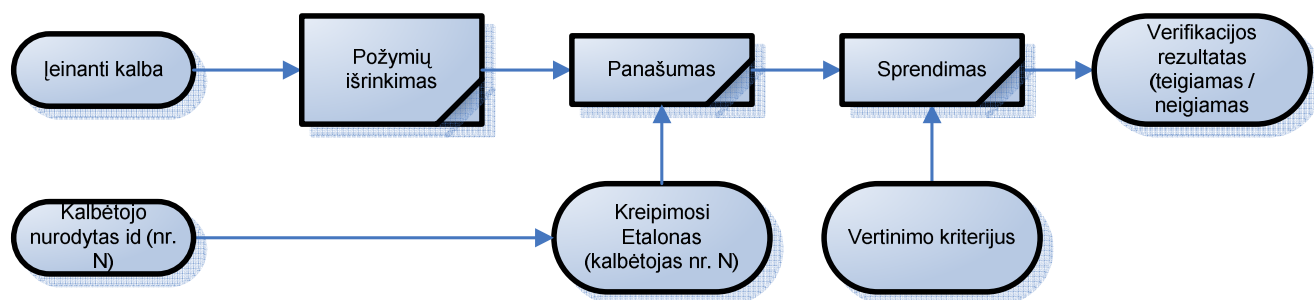
Kalbėtojo atpažinimas, skirstomas identifikaciją ir verifikaciją, yra kalbėtojo automatinis atpažinimas remiantis individualia informacija, esančia jo garso bangose [1]

Pirmam ir antram paveiksluose yra parodyta bazinė struktūra kalbėtojo identifikavimo ir verifikavimo. Kalbėtojo identifikacijos metu yra nustatinėjama kuris iš registruotų (jau įvestų kalbėtojų) kreipiasi, tai yra atviroji identifikacija kai vartotojo tapatybė gali būti nenustatyta t.y. neatitikti nė vieno įvesto vartotojo. Tuo tarpu verifikacijos metu vartotojas prisistato, t.y. nurodo savo tapatybę kuri yra patvirtinama arba atmetama. Dauguma kalbėtojų atpažinimo sistemų ypač komercinėje terpėje yra verifikacinės. [1]



Šaltinis: sudaryta autoriaus pagal Sadaoki Furui 1996

1 pav. Kalbėtojo identifikacija



Šaltinis: sudaryta autoriaus pagal Sadaoki Furui 1996

2 pav. Kalbėtojo verifikacija

Kalbėtojo atpažinimo metodai gali būti išskirti į nuo teksto priklausomus ir nuo teksto nepriklausomus metodus. Pirmas metodas reikalauja kad kalbėtojas pasakytų tokį patį raktinį žodžių junginį ar sakinį (t.y. slaptažodį) koks ir buvo įvestas įvedimo metu, kai tuo tarpu antras metodas nesiremia jokiu specifiniu tekstu. [1]

Abu šitie metodai turi viena bendra trukumą. Šias sistemas nesunku apgauti pasinaudojant įrašyta vartotojo kalba. Siekiant išvengti šitos problemos yra naudojami specialus metodai kaip tarkim atsitiktinai parenkant kiekvieną kartą skirtingus žodžius ar raides iš įvesto teksto ir reikalaujant vartotoją juos pasakyti. Tačiau ir šitas metodas nėra visiškai patikimas kadangi naujausi garso įrašymo įrenginiai gali atkurti žodžius reikalinga seka. [1]

2.2. Priklausomi nuo teksto kalbėtojo atpažinimo metodai

Priklausomam nuo teksto atpažinimui naudojami metodai skirstomi į Dinaminiais laiko iškreipimais DTW (dynamic time warping) ir paslėptu Markovo modeliu HMM (hidden Markov model) paremtus metodus. [4]

2.2.1. Dinaminiais laiko iškreipimais paremti metodai

Dinaminio laiko iškreipimo metodas yra vienas iš seniausių naudojamų metodu kalbėtojo atpažinimui. Jisai buvo plačiai naudojamas iki pritaikant paslėptus Markovo modelius. Dinaminio laiko iškreipimo metodo uždavinys apibūdinamas kaip trumpiausio atstumo radimas tarp saugomo šablono ir įvedamo srauto. Algoritmas lygina juos ne tiesioginiu būdu tai yra nelygina vien įvedamo srauto vertės su šablono verte atitinkamu laiko momentu t , jisai ieško visoje laiko juostoje tam kad sumažintų bendrą skirtumo atstumą Tai ne visada būna tiesinis kelias, tarkim gali būti kad t_1 laiko momentų įvedamo srauto reikšmė gali atitikti reikšmę esančią $t_1 + 5$ laiko momentų šablone, o t_2 laiko reikšmę įvedame

sraute atitiks $t_2 - 3$ šablono reikšmė. Paieškos erdvė yra sustatyta į protingas ribas, žemėlapių sudarymo funkcija nuo įvesties laiko iki šablono laiko turi būti monotoniškai didėjanti (kitaip tariant, įvykių seka tarp įvesties ir šablono yra išsaugota). [6]

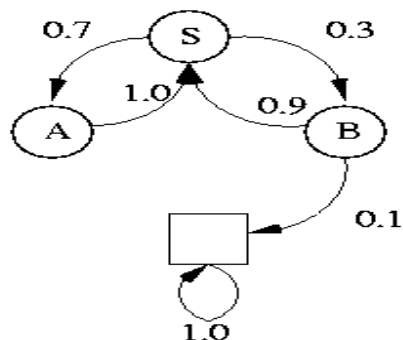
Remiantis šiuo požiūriu, kiekviena kalba yra išreiškiama ypatybių vektorių seka, kitais žodžiais trumpalaikiais spektriniais ypatybių vektoriais, kurie paskui sudedami pagal laiką ir lyginami su turimais modeliais (kadangi naudojamas tas pats tekstas tiek įvedimo metu (kreipimosi modeliu (reference model) sukūrimo tiek identifikacijos metu, tai yra laikoma kad abiejų tekstų ilgiai (laiko atžvilgiu) yra maždaug vienodi (kreipimosi modelio ir identifikavimo metu pateikto)) analizuojant ypatybių vektorių sekų skirtumus naudojant DTW algoritmą. Išreikštas bendras skirtumas tarp analizuojamų kalbų ir yra naudojamas atpažinimo sprendimui priimti. Esant daugiau negu vienam kreipimosi modeliui (reference model) sprendimo priėmimui yra naudojami skirtumų vidurkiai. [4]

2.2.2. Markovo modeliu paremti metodai

Paslėptas Markovo modelis (HMM) gali efektyviai modeliuoti statistines spektrinių požymių variacijas. Metodai paremti paslėptomis Markovo grandinėmis yra naudojami kaip praplėtimas dinaminių laiko iškreipimo metodų ir naudojant juos yra pasiekiamas geresnis atpažinimo tikslumas. [1]

Atsitiktinių dydžių seka $X_1, X_2, \dots, X_n, \dots$ vadiname Markovo grandine, jeigu: $P(X_{n+1} = z \mid X_n = z_n, X_{n-1} = z_{n-1}, \dots, X_1 = z_1) = P(X_{n+1} = z \mid X_n = z_n)$ čia $P(A|B)$ reiškia sąlyginę įvykio A tikimybę, įvykus įvykiui B.

Kitaip tariant, seka X_n yra "trumpos atminties" - jeigu turime visus praeities stebėjimus, tai naudingas yra tik paskutinis. Tokią Markovo grandinę galima vaizduoti kryptiniu grafu, kuriame viršūnės reiškia būsenas, o briaunos - tikimybes pereiti iš vienos būsenos į kitą (jos vadinamos perėjimo tikimybėmis), pvz.:



Šaltinis: sudaryta autoriaus

3 pav. Markovo grandinės būsenų perėjimo atvaizdavimas grafa

Jeigu grandinė turi N būsenų, tai perėjimo tikimybės galima surašyti į $N \times N$ matricą.

2.3. Nuo teksto nepriklausomi atpažinimo metodai

Nuo teksto nepriklausomame kalbėtojo atpažinime, tiek žodžiai tiek ir sakiniai naudojami atpažinimo metu negali būti numatyti. Kadangi negalima modeliuoti ar lyginti kalbos skirtumus žodžių ir sakinio lygyje, buvo sukurtos atpažinimų metodų rūšys: didelių arba ilgų trukmių statistika paremti metodai (Long-Term-Statistics), Vektorių kvantavimu (Vector quantization) paremti metodai, Ergodiko – Markovo modeliu (Ergodic-HMM) paremti metodai, kalbos atpažinimo (Speech-recognition) paremti metodai ir Gauso susimaišymo modeliu paremti metodai (Gaussian mixture models (GMM)) [4,5]

2.3.1. Didelių trukmių statistika paremti metodai

Šitie metodai naudoja ilgalaikę tipinę spektrinių ypatybių statistiką, kaip vidurkis, skirtumas ir t.t. tarp kalbos dalių. Ilgalaikiai spektriniai vidurkiai labai glaustai charakterizuoja kalbėtoją ir todėl jie negali diferencijuoti kalbėtojus tokiu tikslumu kaip modeliai paremti trumpos trukmės spektriniais ypatumais, kurie yra naudojami priklausomam nuo teksto atpažinime [4]

2.3.2. Vektorių kvantavimu paremti metodai

Šie metodai naudoja vektorių kvantavimo įvertinimo kodų knygą, kurioje yra surašyti kalbėtojus reprezentuojantis specifiniai požymiai (akustiniai vektoriai). Kalbėtojo specifinis požymių rinkinys yra generuojamas, klasterizuojant jo įvedamos kalbos spektrinius vektorius. Atpažinimo

stadijoje, įvedama kalba yra vektoriškai kvantuojama naudojant kodinę knygą kiekvieno kreipimosi modelio. Tada yra apskaičiuojamas VQ nukrypimas ir pagal tai yra priimamas atpažinimo sprendimas. [1]

2.3.3. Ergodiko – Markovo modelių paremti metodai

Bazinė struktūra yra tokia pat kaip VQ paremtų metodų, tačiau šiuo atveju Ergodiko - Markovo modelis (Ergodic HMM) yra panaudotos vietoj VQ kodų knygos. Esant ilgai trukmei kalbos signalų parametrų pakitimai yra išreiškiami stochastiniu Markoviano (Markovian) perėjimu tarp būsenų. Šitas metodas naudoja kelių – būsenų Ergodiko – markovo modelį (visi galimi būsenų pasikeitimai yra leidžiami), kalbos segmentų klasifikavimui į vieną iš plačių fonetinių kategorijų atitinkančių HMM būsenas. Po klasifikavimo yra atrenkami atitinkami požymiai. [4]

Įvedimo fazėje, kreipimosi modelis yra sugeneruojamas ir verifikacijos slenkstis yra apskaičiuojamas kiekvienai fonetiniai kategorijai. Verifikacijos fazėje po fonetinio rūšiavimo yra lyginama su kiekvienu kreipimosi modeliu ir verifikacijos balas kiekvienai fonetiniai kategorijai yra apskaičiuojamas. Galutinis verifikacijos balas yra išreikštas svorine linijine kiekvienos kategorijos balų kombinacija. [1]

Šitas metodas buvo išplėstas kombinuojant auto regresinius modelius su paslėptais Markovo grandinės modeliais. Šiuose modeliuose būsenos yra apibrėžiamos kaip linijinė kombinacija auto regresijų šaltinių. [1]

Yra įrodyta kad tolydžios Ergodiko - Markovo modelis yra kur kas labiau pranašesnis už diskretų Ergodiko -Markovo modelį ir kad tolydus Ergodiko HMM metodas yra toks pat tikslus kaip ir vektorių kvantavimo įvertinimo (VQ) metodas, kai yra pakankamai įvestinos informacijos kreipimosi modelyje. Tačiau kai informacijos kiekis yra mažas vektorių kvantavimo įvertinimo(VQ) metodas yra kur kas pranašesnis už tolydų Ergodiko - Markovo modelį. [1]

2.3.4. Kalbos atpažinimo paremti metodai

Vektorių kvantavimu (VQ) ir Markovo modelių (HMM) paremtuose metoduose yra lyginamos kalbėtojo ir kreipimosi modelių fonemų klasės. Kai tuo tarpu kalbos atpažinimo paremtuose modeliuose yra lyginami atskiri fonemų ar fonemų klasių segmentai. [4]

2.3.5. Gauso susimaišymo modelių paremti metodai

Gauso susimaišymo modelių paremti metodai yra panašūs į kodų knygas, kadangi vyksta duomenų klasterizavimas. Pagrindinis skirtumas nuo kitų modelių yra tas kad be vektorių vidurkių yra

dar apskaičiuojama klasterių kovariacijos, kas leidžia sukurti detalesni kalbėtojo modelį esant pakankamam įvedamos kalbos kiekiui. [5]

2.4. Atsitiktinį tekstą naudojantys atpažinimo metodai

Atpažinimo sistema, kuri remiasi atsitiktinį tekstą naudojančiu kalbėtojo atpažinimo metodu, reikalauja kad kalbėtojas kiekviena karta pasakytų naują skirtingą raktinį sakinį ir pripažįsta vartotoją tik tada kada jis pasako tiksliai tą sakinį. Sakinys gali būti pateiktas vartotojui kaip tekstas kompiuterio ekrane arba ištartas sintezuoto balso. Kadangi žodynas yra neribotas, galimi pažeidėjai iš anksto negali žinot kokio sakinio paprašys sistema. Šis metodas netik atmeta neregistruotus kalbėtojus, bet ir registruotus kurie nepasako reikiamo sakinio, taip išvengiant galimo sukčiavimo naudojant įrašytą tekstą.

Šitas metodas naudoja kalbėtojams specifinę fonemą kaip paprastų akustinių vienetų rinkinį. Didžiausia šito modelio problema yra kaip tinkamai sukurti šituos specifinius kalbėtojų fonemos modelius iš išlanksto įvesto teksto, kuris dažniausiai būna mažos apimties. Tam yra naudojami Gauso susimaišymo modelis ir Markovo paslėptų grandinių modelis arba surištų Markovo paslėptų grandinių modelis.

Atpažinimo etape, sistema suriša fonemos modeliu kiekvieno registruoto kalbėtojo ir sukuria sakinio paslėpta Markovo grandinių modelį, pagal atitinkamą tekstą. Tada yra apskaičiuojamas panašumas tarp pasakytos kalbos ir sugeneruoto sakinio. Jei panašumo lygis yra pakankamai aukštas sistema priima kalbėtoją kaip registruota. [1]

2.5. Metodų palyginimas

3 lentelė

Metodai

Metodas	Teksto naudojimas	Tikslumas	Privalumai	Trukumai
DTW	Priklausomas	Vidutinis	Paprastumas, greitis	Žemas atpažinimo tikslumas lyginant su kitais metodais
HMM	Priklausomas	Aukštas	Geresni rezultatai nei statistinių metodų	Ilga duomenų apdorojimo trukmė, per didelis įvedamos informacijos kiekis mažina tikslumą
Ilgų trukmių statistika	Nepriklausomas	Vidutinis	Paprasti lengvai apskaičiuojami	Glaustas kalbėtojo charakterizavimas, mažesnis tikslumas nei kitų
Vektorių kvantavimas (VQ)	Nepriklausomas	Aukštas	Duoda gerus rezultatus esant mažam įvedamos informacijos kiekiui	Žemas atpažinimo tikslumas rečiau pasitaikantiems parametrams
Ergodiko – Markovo modelis	Nepriklausomas	Aukštas	Atpažinimo tikslumas toks pat kaip ir Vektorių kvantavime	Reikia didelio kiekio įvedamos informacijos sėkmingam veikimui
Gauso susimaišymo modelis (GMM)	Nepriklausomas	Aukštas	Detaliausias kreipimosi modelis	Įvedus per daug informacijos per daug prisitaiko prie duomenų ir tikslumas sumažėja

Šaltinis: sudaryta autoriaus

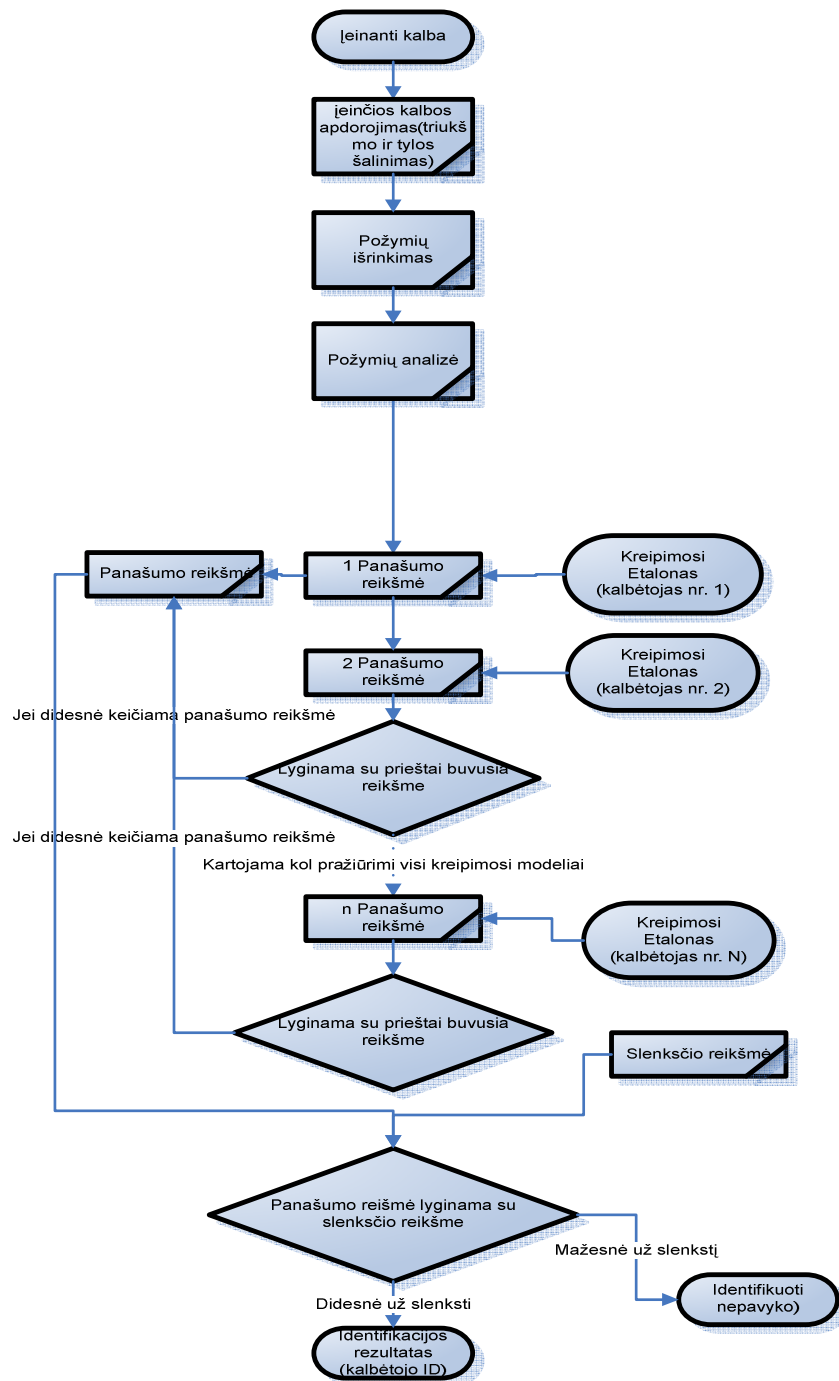
Lentelėje numeris 3 yra parodyti pagrindiniai metodai naudojami kalbėtojo atpažinime. Priklausomi nuo teksto metodai yra kur kas tikslesni už nepriklausomus nuo teksto metodus. Nepriklausomi nuo teksto metodai yra sudėtingesni už priklausomus nuo teksto kadangi skirtumai tarp šablono ir įvedamos kalbos gali būti dideli, tad jie privalo įvertinti galimus skirtumus ir išskirti esminius kalbėtojo kalbos bruožus.

2.6. Eksperimento bendras planas

Eksperimento tikslas sukurti kalbėtojo atpažinimo sistema. Sistemos suplanuoti kūrimo etapai :

- Sistemos projektavimas:
 - Pagrindinių sistemos funkcijų apibrėžimas;
 - Pagrindinių sistemos dalių apibrėžimas :
 - Klientinė dalis (kalbėtojo kalbos įvedimas į sistemą (kalbos pavydžių iš kalbėtojų surinkimui), kalbėtojų identifikavimas)
 - Serverio dalis (įvedamų šablonų (kreipimosi modelių) kalbos analizė, pagrindinių požymių išrinkimas, duomenų bazė kur bus saugomi surinkti įvestų kalbėtojų šablonai (kreipimosi modeliai), įvedamos testinės kalbos analizė, identifikacijos atlikimas);
 - Programinių įrankių parinkimas sistemos realizacijai:
 - Matlab R2007b;
 - Algoritmų ir metodų parinkimas:
 - Eksperimente bus panaudoti:
 - Vektorių kvantavimas;
 - Triukšmo šalinimas (Spektro dalinimas)
- Sistemos kūrimas;
- Sistemos įdiegimas;
- Sistemos testavimas
- Sistemos rezultatų analizė.

Paveiksle Nr. 4 pateikiama numatoma kalbėtojo atpažinimo schema. Kurioje pateikiamas numatomas eksperimente naudoti diktoriaus atpažinimo metodas.



Šaltinis: sudaryta autoriaus

4 pav. Kalbėtojo numatoma atpažinimo schema

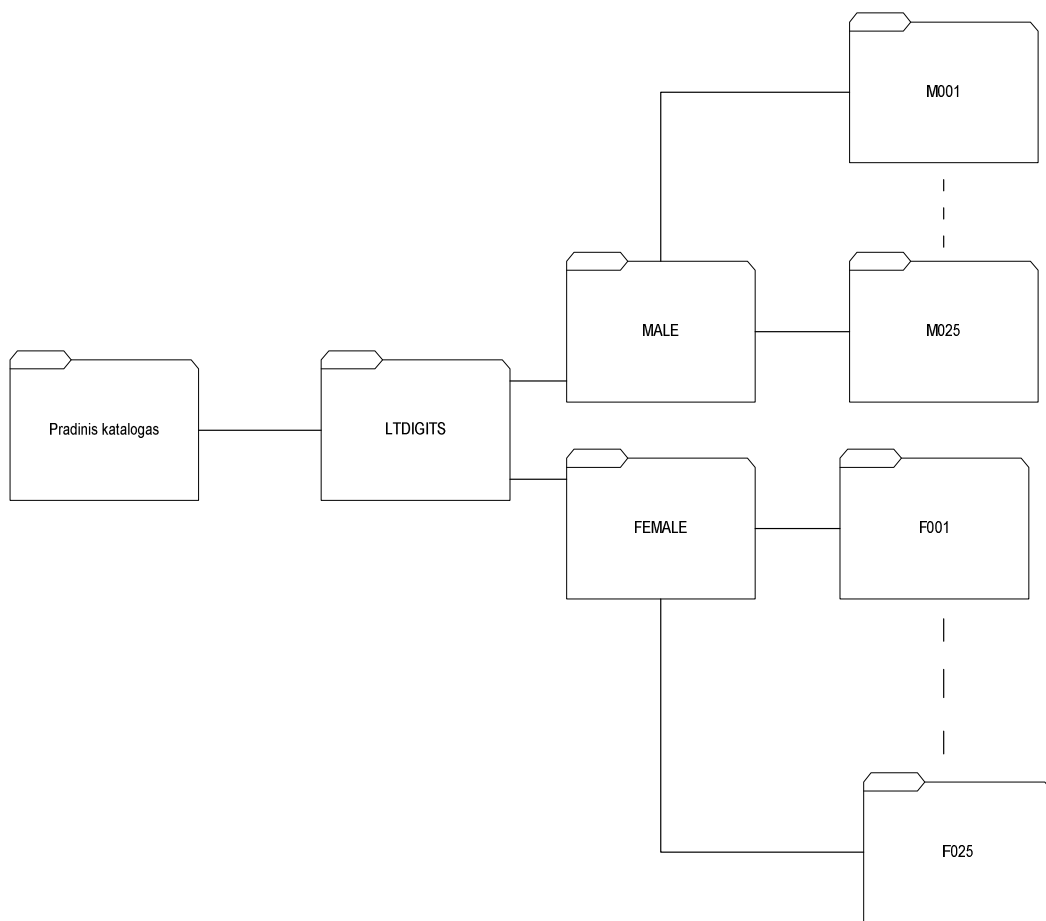
Pirmas žingsnis įvedus kalba yra triukšmo ir tylos pašalinimas. Toliau bus analizuojama kalba panaudojant jau egzistuojančius algoritmus ir išrenkami požymiai. Tada bus lyginama su kiekvienu kreipimosi etalonu: pirmiausia lyginama su pirmu kreipimosi etalonu gaunamas panašumo įvertinimas (bus panaudoti atitikimo procentai), paskui lyginama su sekančiu ir gaunama nauja panašumo reikšmė kuri lyginama su senąja ir jei naujosios reikšmė didesnė už senąją ji yra paimama kaip naujoji panašumo reikšmė ir įsidėmimas naujas raktinis etalonas. Tai kartojama kol praeinamas sulyginimas su visais kreipimosi etalonais. Tada gautoji maksimali panašumo reikšmė yra lyginama su numatytu slenksčiu ir jei ji viršija slenkstį, identifikavimo rezultatas yra laikomas teigiamu ir atrinktas identifikuotas kalbėtojas yra laikomas etalonas su didžiausiu panašumo verte. Jei panašumo vertė yra mažesnė nei numatyta slenksčio reikšmė identifikacija nepavyko – nebuvo rastas kreipimosi modelis atitinkantis kreipėją.

2.7. Duomenų parinkimas

Pirmas eksperimento žingsnis bus duomenų parinkimas eksperimentui. Tyrimui bus naudojamas lietuviškas garsynas LTDIGITS. Tyrimui bus paimta 25 vyrų diktorių kalbos iš garsyno ir tiek pat moterų įrašų. Nors realiai eksperimentui didelės įtakos diktoriaus lytis neturės, bet kad įvertinti lyties įtaką diktorių identifikacijai, buvo nutarta pasirinkti po lygiai vyrų ir moterų diktorių. Taip pat papildomai identifikavimo procese be diktoriaus atpažinimo, tuo pačiu išaiškinti ir jo lyti.

LTDIGITS tai pirmasis sisteminis lietuviškas garsynas. Kuriame saugomi įvairiu diktorių pasakytos 10 frazių. Frazė susideda iš 6 žodžių: pirmos 5 frazės tai skaičių sekos (skaičių pavadinimai: vienas, du, trys, keturi, penki, šeši, septyni, aštuoni, devyni, nulis). 6-8 frazės yra vykdymo komandos (pradėti, baigti, sustoti, pauzė, laukti, tęsti, pirmyn, atgal, į pradžia, į pabaigą, sekantis, perduoti, taip, ne, pagalba, saugoti, start, stop). Devintoji frazė yra sudaryta iš skiemenų kur du nosiniai priebalsiai (m, n) tariami prieš tris kontrastingiausius balsius (a, i, u), tai būtų pavyzdžiui (ma na mu nu mi ni). Dešimtoje frazėje skiemenys kurie buvo panaudoti 9 frazėje yra ištariami kaip rišli frazė (Mikas mato nišoje mūsų namo numerį).

Turimi duomenys bus suskirstyti į 50 diktorių katalogų, atskirai į vyrų katalogus (LTDIGITS\MALE\) ir moterų (LTDIGITS\FEMALE\). Tuose kataloguose kiekvienas diktorius turės savo katalogą Pažymėtą FXYZ moterims arba MXYZ vyrams. F identifikuos moteriškos lyties diktorę, o M vyriškos lyties diktorių. XYZ identifikuos diktoriaus numerį X- visą laiką bus nulis, Y kis nuo 0 iki 2, o Z bus skaičius nuo 0 iki 9. Tai moterims katalogų pavadinimai bus nuo F001 iki F025, o vyrams nuo M001 iki M025. [39]



Šaltinis: sudaryta autoriaus

5 pav. LTDIGITS Katalogų schema

Antras eksperimento žingsnis bus etaloninio žodžio pasirinkimas, juo bus pasirinkti 4 skaičiai nuo 0 iki 9. Eksperimento metu bus vykdoma vartotojo identifikacija iš turimų duomenų bazėje. Vartotojo įvesta kalba pirmiausia bus apdorojama siekiant pašalinti triukšmą ir tylą. Triukšmo šalinimui bus naudojamas spektrinis dalinimo metodas .

Spektrinis dalinimo metodas (Spectral subtraction) buvo pristatytas 1979 metais [41] ir išlieka plačiausiai ir dažniausiai naudojamu būdu triukšmo šalinimui. Paprastoje spektrinio dalinimo formoje, numatytas triukšmo spektras yra ištraukiamas iš triukšmingos kalbos, kad gauti numatyta švarią kalbą, tuo pačiu paliekant kiekvieną spektro komponento fazę nepakeista. Šitas procesas dažnių srityje apsisrašo kaip:

$$S(e^{j\omega}) = G(e^{j\omega})X(e^{j\omega})$$

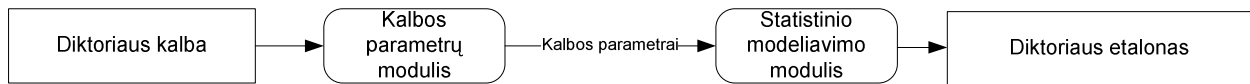
Atėmimas numatyto triukšmo spektro, o ne tikrosios esamos triukšmo vertės sukelia dvi problemas: pirma lieka taip vadinamas plačios juostos triukšmas po apdoravimo ir antra lieka siauri spektriniai spygliai, sukuriantis toninį triukšmą dar kitaip vadinama muzikinį triukšmą. Norint išvengti šių problemų naudojama pakeista naudos funkcija:

$$G(e^{j\omega}) = \max \left\{ \frac{\left(|X(e^{j\omega})|^r - \alpha |N(e^{j\omega})|^r \right)^{\frac{1}{r}}}{|X(e^{j\omega})|}, \beta N(e^{j\omega}) \right\}$$

kur $\alpha > 1$ ir $0 \leq \beta \ll 1$ yra koeficientai, kontroliuojantys atėmimo viršijimą ir triukšmo lygį atitinkamai. Nustatant triukšmo lygio koeficientą $\beta > 0$ šioks toks plačiąjuosčio tinklo triukšmas lieka, kuris mažina muzikinio triukšmo lygį. β konstanta nustatinėjama diapazone 0:005 - 0:1. Didinant atėmimo viršijimo koeficientą, α , mažinama likusį triukšmą, bet gali atsirasti kalbos signalo iškraipymų jei nustatyti aukštą labai koeficientą.

2.8. Treniravimas ir testavimas

Turint diktorių duomenų bazę pirmiausia bus sukuriami kalbėtojų(diktorių) modeliai. Kalbėtojo identifikacinės sistemos susideda iš dviejų pagrindinių fazių:, tai treniravimo fazė ir testavimo fazė. Kiekviena iš tų fazių gali būti atskira nuo bendros sistemos ir būti panaudojama kitose sistemose. Treniravimo fazė parodyta žemiau esančiam paveikslėlyje.

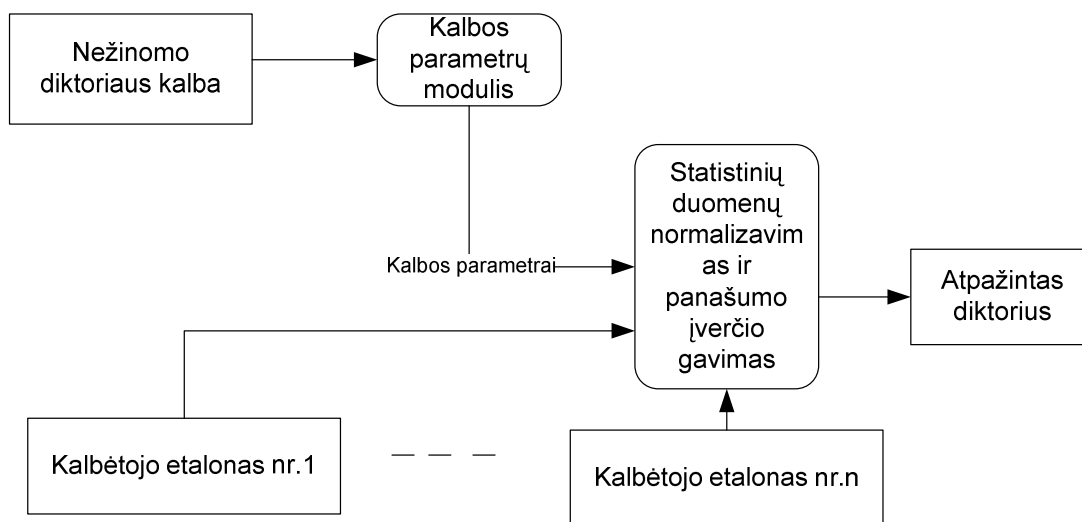


Šaltinis: sudaryta autoriaus

6 pav. Identifikacijos sistemos treniravimo fazės modulinė schema

Pirmas žingsnis yra parametrų ištraukimas iš kalbos signalo, kad juos būtų galima panaudoti statistiniam modeliavimui, antras žingsnis būtų statistinis parametrų apdorojimas ir kalbėtojo statistinio etalono gavimas

Testavimo fazės pradinis žingsniai yra panašus, tai parodyta žemiau esančiam paveiksliuke. Kalbėtojas (diktorius), kuris yra nežinomas, įkalba tam tikrą frazę į mikrofoną. Tada iš kalbos išskiriami kalbos parametrai panaudojant lygiai tą pati kalbos parametrų modulį kaip ir testavimo fazėje. Tada gauti kalbos parametrai perduodami į Statistinių duomenų normalizavimo ir panašumo įverčiu gavimo modulį, kuriame tie parametrai yra apdorojami kol gaunamas Nežinomo diktoriaus etalonas.



Šaltinis: sudaryta autoriaus

7 pav. Identifikacijos sistemos testavimo s fazės modulinė schema

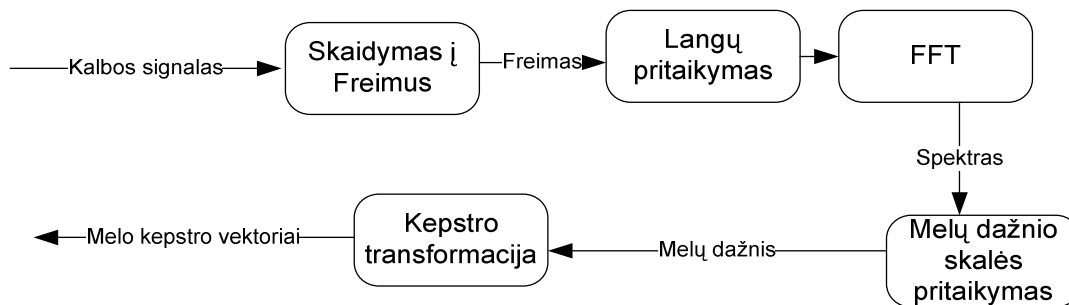
Tada tas modelis paeiliui yra lyginamas su turimais kalbėtojo etalonais, lyginant normalizuojami abudu modeliai ir gaunamas panašumo įvertis. Tada imamas sekantis kalbėtojo modelis iš duomenų bazės. Jisai irgi yra normalizuojamas ir lyginamas su normalizuotų nežinomo kalbėtojo modeliu, tada gaunamas panašumo įvertis bus lyginamas su įsimintu ir jei jis bus didesnis pakeis prieš tai buvusį modelį. Ir tai tesis kol bus peržiūrėti visi turimi diktorių modeliai. Tada galutinis likęs modelis ir bus laikomas nežinomu diktoriumi.

2.9. Treniravimas

Treniravimo metu nuskaityti visi etalonų apdoroti garso failai. Treniravimo fazė susideda iš dviejų dalių: pirma dalis tai kiekvienam etalonui yra suskaičiuojama Melų dažnių skalės kepstro koeficientai (MFCC). Antra dalis tai Vektorių kvantavimo kodų knygos sudarymas.

2.9.1. Melų dažnių skalės kepstro koeficientai (MFCC)

MFCC yra paremta žinomais žmogaus klausos bangų dažnio diapazono apribojimais. Tam naudojami filtrai, kad išrinkti fonetiškai svarbius kalbos parametrus



Šaltinis: sudaryta autoriaus

8 pav. MFCC procesoriaus struktūros blokinė diagrama

MFCC procesoriaus struktūros blokinė diagrama yra duota 11 paveiksliuke. Kalbos įvestis yra tipiška ir rašoma daugiau nei 10000 Hz dažniu. Šis atrankos dažnis buvo pasirinktas, kad sumažintų padarinius analogo-skaitmeniniam pakeitime. Šitie išbandyti signalai gali sugauti visus dažnius iki 5 KHZ, kurie dengia daugumą energijos garsų, kurios gali sukurti žmonės.

2.9.1.1. Skaidymas į freimus

Šitam žingsnyje kalba skaidoma į freimus sudarytus iš N mėginių, gretimi freimai yra atskiriami M ($M < N$). Pirmam freime yra N mėginių. Antras freimas prasideda M mėginių skaičiumi, kurie eina po pirmo freimo ir iš dalies uždengia juos $N-M$ mėginių skaičiumi ir .t.t. Visas procesas tęsiasi kol visa kalba atsiduria vieno ar kelių freimų viduje. Tipinės N ir M reikšmės yra $N = 256$ ir $M = 100$. Tokios jos ir buvo panaudotos eksperimente.

2.9.1.2. Langų pritaikymas

Sekantis žingsnis procese yra langų pritaikymas kiekvienam freimui. Tikslas yra minimizuoti signalo nutrūkimus freimo pradžioje ir gale. Tam yra naudojamas langas skirtas sumažinti spektrinį išskraipymą, kuris mažina signalą iki nulio freimo pradžioje ir pabaigoje. Jei mes nustatysim langą kaip $w(n), 0 \leq n \leq N-1$, kur N yra mėginių skaičius kiekvienam freime, langų pritaikymo rezultatas bus $y_l(n) = x_l(n)w(n), 0 \leq n \leq N-1$. Šitam eksperimente buvo panaudotas tipinis hamingo langas:

$$w(n) = 0.54 - 0.46 \cos\left(\frac{2\pi n}{N-1}\right), \quad 0 \leq n \leq N-1$$

Matlab jau automatiškai turi hamingo funkciją „hamming(n)“, kuri ir buvo panaudota eksperimente.

2.9.1.3. Greitoji Furjė transformacija(FFT)

Kitas MFCC proceso žingsnis yra greitoji Furjė transformacija, kuri konvertuoja kiekvieną freimą iš išskleisto pagal laiką į išskleistą pagal dažnį.

$$X_k = \sum_{n=0}^{N-1} x_n e^{-j2\pi kn/N}, \quad k = 0,1,2,\dots, N-1$$

Rezultatas po šio žingsnio dažnai vadina spektru ar periodograma.

2.9.1.4. Melų dažnio skalės pritaikymas

Žmogaus suvokimas garso dažnių diapazonas yra siauresnis nei įrašomas. O kadangi MFCC siekia atkartoti žmogaus ausies elgsena, tad dažnių diapazonas yra pervedamas į melų skalę.

Mel-dažnio skalė yra linijinis dažnio išdėstymas žemiau 1000 Hz ir logaritminis išdėstymas virš 1000 Hz.

Vienas iš būdų simuliuojant spektrą yra filtrų banko, išsidėsčiusių melų skalėje panaudojimas.

2.9.1.5. Kepstro transformacija

Ir galiausiai šitam etape mel spektras konvertuojamas atgal į laiko ašį. Rezultatas yra vadinamas Melų dažnių skalės kepstro koeficientai (MFCC)

$$\tilde{c}_n = \sum_{k=1}^K (l_0 \tilde{S}_k) \cos\left[n\left(k - \frac{1}{2}\right)\frac{\pi}{K}\right], \quad n=0,1,\dots,K-1$$

S

Ši koeficientų komplektą galima pavadinti akustiniu vektoriumi. Ir taip kiekvienas etalonas yra paverčiamas akustinių vektorių seka.

2.9.2. VQ kodų knygos sudarymas

Sekantis etapas VQ kodų knygos sudarymas kiekvienam kalbėtojui, iš kurio kalbos buvo gauti akustiniai vektoriai. Tam buvo panaudotas LGB algoritmas[40]. Algoritmo pagrindinės procedūros:

1. Sukuriama vieno vektoriaus kodų knyga;
2. Dvigubinama kodų knyga dalinat kiekvieną \mathbf{y}_n :

$$\mathbf{y}_n^+ = \mathbf{y}_n(1 + \varepsilon)$$

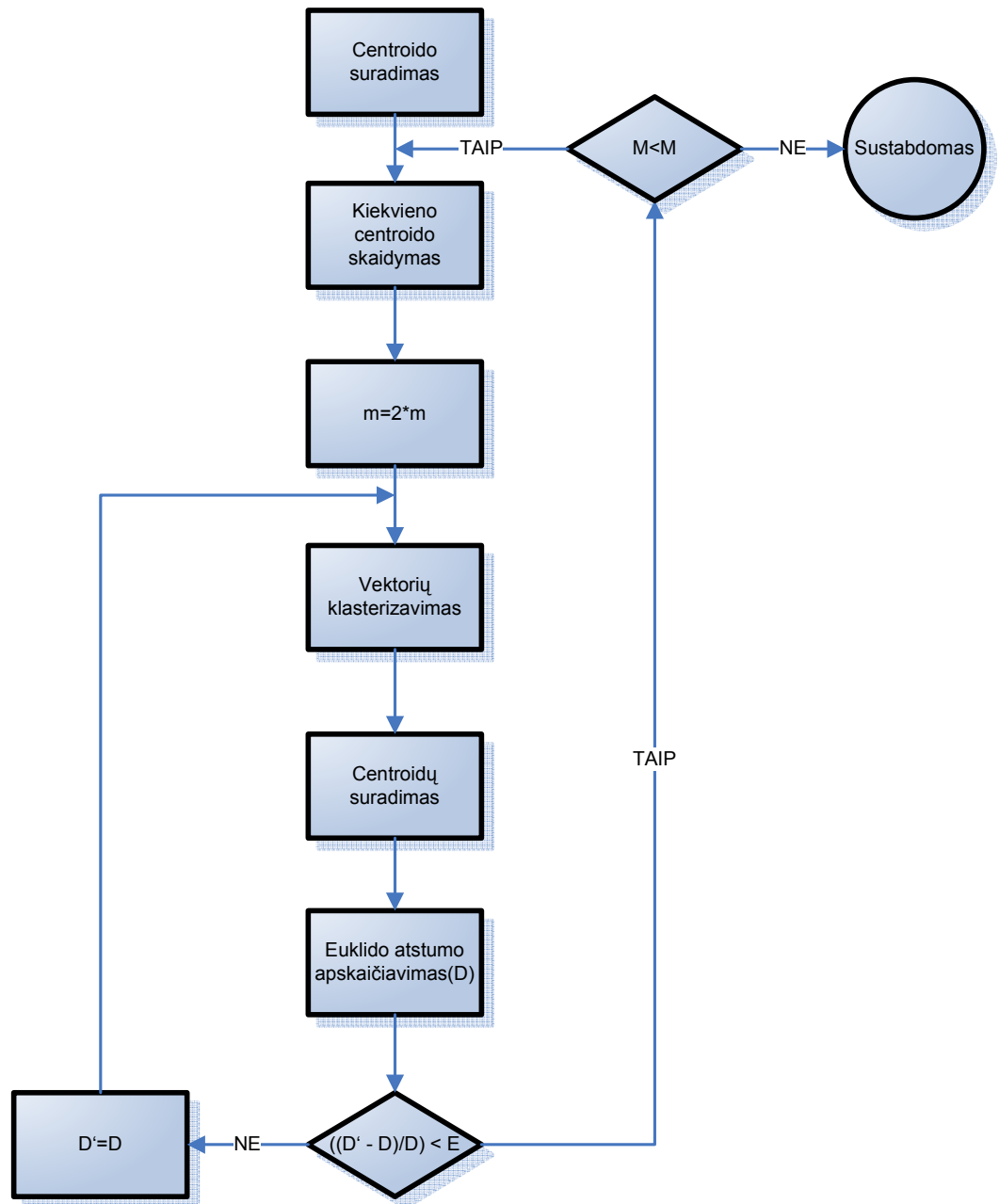
$$\mathbf{y}_n^- = \mathbf{y}_n(1 - \varepsilon)$$

Kur n kinta nuo 1 kodų knygos ilgio, ir ε dalinimosi parametras (eksperimente buvo pasirinkta dažniausiai naudojama $\varepsilon = 0.01$).

3. Artimiausio kaimyno paieška: kiekvienam treniruojamam vektoriui surasti artimiausia kodų knygą kuri yra artimiausia parametų prasme ir priskirti tą vektorių artimiausiam kodiniam žodžiui.
4. Centroidų atnaujinimas: atnaujinam kodinį žodį kiekvienoj celėj panaudodami treniravimo vektoriaus centroidą priskirtą tai celei;
5. Kartojami 3 ir 4 žingsnį kol vidutinis atstumas bus mažesnis už nustatytą slenkstį
6. Kartojami 2, 3 ir 4 žingsniai kol M dydžio kodų knyga yra sukuriama;

LGB algoritmas sukuria M vektoriaus dydžio kodų knygą. Iš pradžių sukuriama 1 vektoriaus kodų knyga, tada ji vis dalinama kol pasiekama reikalinga M vektoriaus kodų knyga.

LGB algoritmo schema pateikiama apačioj:



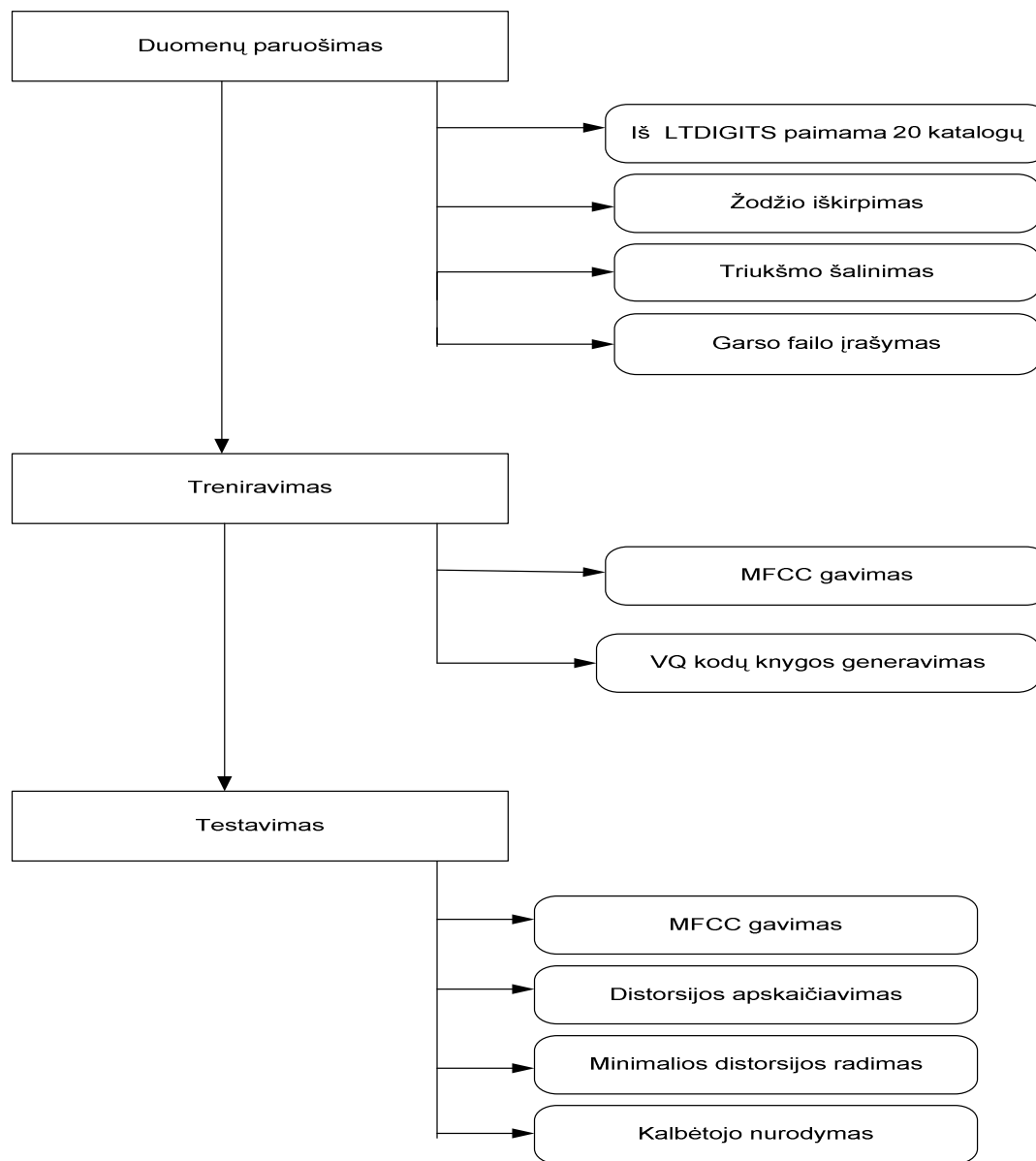
Šaltinis: Y. Linde, A. Buzo & R. Gray 1980

9 pav. LGB algoritmo schema

Paveikslas parodo LGB algoritmo žingsnius. “Vektorių klasterizavimas” yra artimiausio kaimyno paieškos procedūra. “Centroidų suradimas” centroidų atnaujinimo procedūra. “Euklido atstumo apskaičiavimas” sumuoja atstumus artimiausių vektorių, kad patikrintų ar jau reikia baigti procedūrą.

3. EKSPERIMENTAS

Eksperimento metu buvo sukurta programa, kurios tikslas yra kalbėtojo atpažinimas. Programos veikimas susideda iš trijų pagrindinių žingsnių: Duomenų rinkimo, treniravimo ir testavimo.



Šaltinis: sudaryta autoriaus

10 pav. Eksperimento schema

Duomenų paruošimo etape paimami garso failai iš LTDIGITS garsyno. Paimti garso failai yra apdorojami, iškerpamas reikalingas eksperimentinis žodis „vienas“, bei naujas garso failas yra

apdorojamas (naikinami amplitudės ir DC svyravimai, bei pašalinama tyla ir triukšmas). Tada vykdomas testavimo etapas, kurio metu treniruojamas kalbos modelis, kuriama VQ kodų knyga kiekvienam etalonui. Vėliau kodų knyga bus panaudota kalbėtojo atpažinime. Testavimo metu kraunami tie patys garso failai paeiliui ir panaudojant VQ kodų knygą yra apskaičiuojamas Euklido atstumas, etalonas su kuriuo testuojamas kalbėtojas turi mažiausia distorsiją ir yra atpažįstamas kaip kalbėtojas.

3.1. Duomenų paruošimas

Pirmas eksperimento žingsnis yra duomenų parinkimas eksperimentui. Tyrimui buvo naudojamas lietuviškas garsynas LTDIGITS. Tyrimui paimta 10 vyrų diktorių kalbos iš garsyno ir tiek pat moterų įrašų.

Turimi duomenys yra suskirstyti į 10 diktorių katalogų, atskirai į vyrų katalogus (LTDIGITS\MALE\) ir moterų (LTDIGITS\FEMALE\). Tuose kataloguose kiekvienas diktorius turės savo katalogą Pažymėtą FXYZ moterims arba MXYZ vyrams. F identifikuos moteriškos lyties diktore, o M vyriškos lyties diktorių. XYZ identifikuos diktoriaus numerį X- visą laik bus nulis, Y kis nuo 0 iki 2, o Z bus skaičius nuo 0 iki 9. Tai moterims katalogų pavadinimai bus nuo F001 iki F010, o vyrams nuo M001 iki M010. [39]

Antras eksperimento žingsnis buvo etaloninio žodžio pasirinkimas, juo buvo pasirinktas skaičius „vienas“. Tada iš LTDIGITS žodyno buvo paimti garso failai kuriuose buvo įrašytas reikalingas žodis „vienas“, tada jie buvo apdoroti, t.y. iškerpamas reikalingas kalbos fragmentas(žodis „vienas“), kuris buvo įrašomas, kaip „kalba.wav“.

3.2. Duomenų parinkimas ir apdorojimas

Tada garso filtravimas siekiant apdoroti garsą panaikinant amplitudės netikėtus svyravimus. Siekiant sumažinti amplitudės svyravimus, kalbos matricos reikšmės dauginamos iš dviejų. Toliau vykdomas DC svyravimo (DC offset) panaikinimas. DC offset - tai bangos vidutinė amplitudė. Tad iš garso matricos ir panaikinam vidutinę amplitudę.

```
garsas2 = garsas - mean(garsas);
```

Toliau vykdomas triukšmo šalinimas ir galiausiai apdorotas garsas įrašomas į etalono direktoriją. Šitas garso failas ir bus toliau naudojamas programos atpažinimui.

3.3. Treniravimas

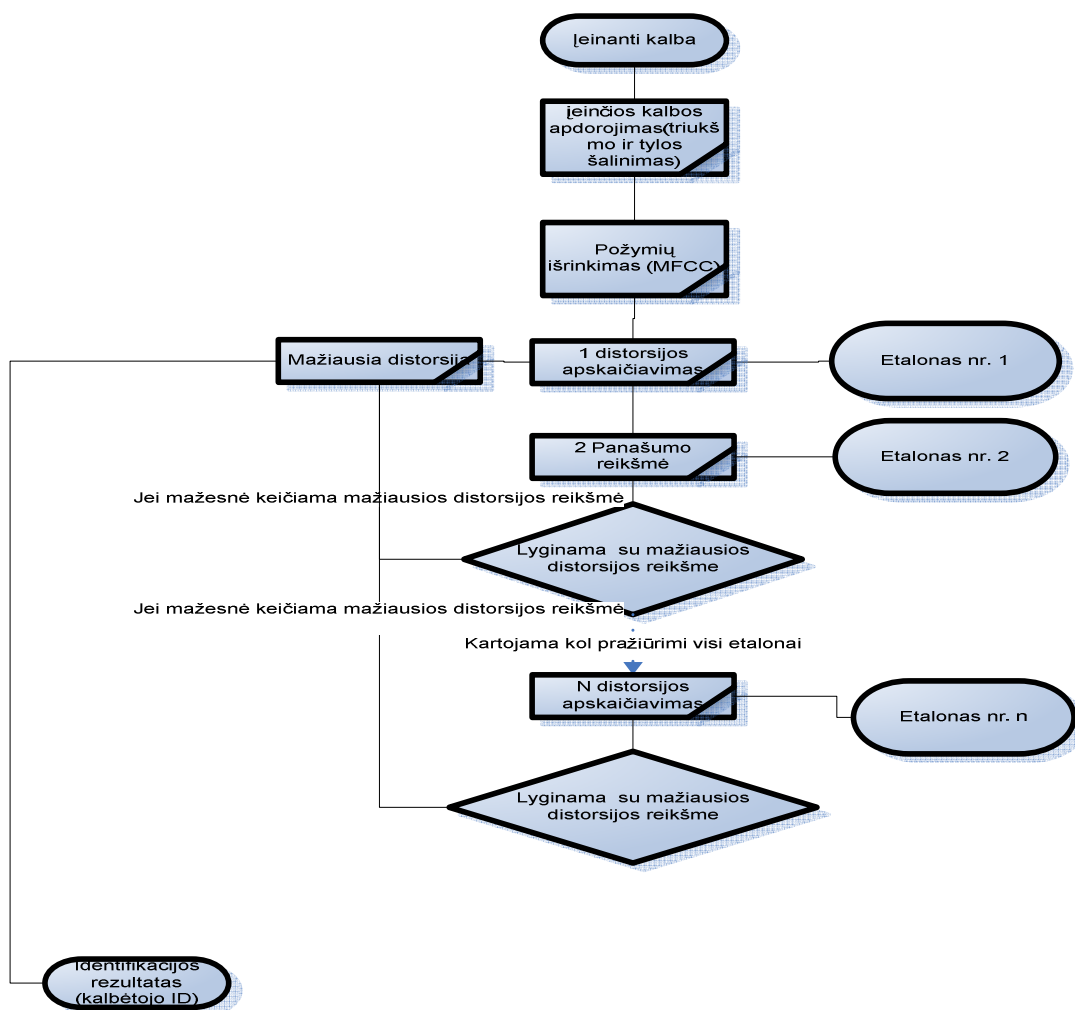
Treniravimo metu nuskaitomi visi etalonų apdoroti garso failai. Treniravimo fazė susideda iš dviejų dalių: pirma dalis tai kiekvienam etalonui yra suskaičiuojama Melų dažnių skalės kepstro koeficientai (MFCC). Antra dalis tai Vektorių kvantavimo kodų knygos sudarymas.

3.4. Testavimas

Testavimo metu kraunami garso failai iš test katalogo. Tie garso failai apdorojami taip pat kaip ir Testavimo fazėje tai yra kiekvieno testojo kalbėtoji yra suskaičiuojama Melų dažnių skalės kepstro koeficientai (MFCC). Tada yra apskaičiuojama Euklido atstumas tarp MFCC kalbėtojo ir Etalonų VQ kodų knygos (d):

$$d = \sqrt{(\Delta x)^2 + (\Delta y)^2} = \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2}.$$

Ir yra ieškomas mažiausias atstumas. Etalonas su kurio kalbėtojo Euklido atstumas yra mažiausias ir yra laikomas Kalbėtoju.



Šaltinis: sudaryta autoriaus

11 pav. Testavimo schema

Testavime buvo panaudota 20 įrašų. Tie patys įrašai buvo panaudoti tiek treniravimo tiek testavimo fazėje. Sistema atpažino visus kalbėtojus. Aišku tam įtakos turėjo tai kad buvo naudojami tie patys garso failai abiem etapams. Nes testuojant sistema su atskiru įvedimu tokių rezultatų sistema nedavė.

3.5. Rezultatai

Pirmame eksperimente buvo panaudota 20 įrašų. Tie patys įrašai buvo panaudoti tiek treniravimo tiek testavimo fazėje. Sistema šiuo atveju atpažino visus kalbėtojus (testas nr. 1, Priedas nr.1).

Sekančiam etape buvo sukurti nauji testiniai failai (žodis „vienas“ buvo iškirptas iš kitų kalbėtojų garso failų). Šįkart sistema antram teste visų kalbėtojų neatpažino (Priedas nr.2). Sistema klaidingai atpažino 4 kalbėtojus, o teisingai atpažino 16. Gautas buvo 80 procentų atpažinimo tikslumas. Tada buvo tikrinama triukšmo ir DC offset svyravimo šalinimo įtaka atpažinimui. Pirmiausia buvo pratestuotas 3 teste atpažinimas be abiejų algoritmų panaudojimo (Priedas nr.3) Atlikus testavimą sistema blogai atpažino tik 2 kalbėtojus ir to rezultate atpažinimo tikslumas pakilo iki 90 procentų. Ketvirtame teste buvo testuojami įrašai su DC offset panaikinimu, bet be triukšmo šalinimo. Testavimo metu sistema klaidingai atpažino tiktais vieną kalbėtoją iš 20 (Priedas nr.4).Iš to galima daryti išvadą kad triukšmo šalinimas nėra reikalingas. Tačiau norit pilnai išsiaiškinti tai buvo didinama eksperimento kalbėtojų skaičius iki 60 (30 moterų ir 30 vyrų): Panaudojus tuos pačius įrašus rezultatas nepakito (5 testas). Sistema atpažino visus kalbėtojus teisingai. Tada panaudojus kitus įrašus testavimui (6 testas) sistema klaidingai atpažino 19 kalbėtojų iš 60, tai yra 68 procentų atpažinimo tikslumas (Priedas nr.5).

Tada buvo testuojami įrašai (8 testas) su DC offset panaikinimu, bet be triukšmo šalinimo(Priedas nr. 7). Rezultatai buvo identiški prieš tai buvusiam testui (Sistema neatpažino tų pačių kalbėtoju kaip ir 7 teste (Priedas nr. 6)). O atpažinimo tikslumas pasiekė 87 procentus (sistema klaidingai atpažino 8 kalbėtojus).

Taip pat buvo įvykdytas testavimas su skirtingu raktiniu žodžiu apmokymui ir testavimui. Apmokymams buvo naudojamas žodis „Vienas“, kai testavimo fazėje buvo naudojamas žodis „Devyni“. Esant tokioms sąlygomis sistema testavime nr. 9 klaidingai atpažino 30 kalbėtojų tai yra puse visų testuojamųjų. Vykdamt dešimtą testą be garso failų apdorojimo sistema klaidingai identifikavo 34 iš 60 kalbėtojų, o tai yra 43 procentai visų kalbėtojų.

Tada buvo testuojami įrašai su DC offset panaikinimu, bet be triukšmo šalinimo(Testas 11). Sistema klaidingai atpažino 32 kalbėtojus, dėl ko atpažinimo tikslumas siekia vos 47 procentus (Priedas nr. 10).

Atlikus 11 testų galima apibendrinti, kad didžiausias tikslumas pasiekiamas tuomet kai yra panaudojami tie patys failai sistemos apmokymui(treniravimui) ir testavimui(atpažinimui), tuomet pasiekiamas 100 procentų atpažinimo tikslumas. Tačiau tai yra tik idealiomis sąlygomis, realybėje retai

kada pavyktų pasiekti tokias sąlygas. Toliau vykdant testavimą nuo teksto priklausomu metodu kai tas pats žodis („Vienas“) naudojamas etalonų kūrimo (sistemos treniravimas) ir atpažinimo (Testavime). Naudojant imtį 20 įrašų geriausius rezultatus gaunama pritaikius DC offset naikinimą, bet be triukšmo šalinimo (95 proc.). Panaudojus 60 įrašų DC offset naikinimas niekuo neišsiskyrė ir gauti rezultatai atitiko gautus be jokio garso apdorojimo atpažinimo (87 proc.). Vykdant atpažinimą nepriklausomą nuo teksto, kai žodis naudojamas sistemos treniravimui ir testavimui yra skirtingi („Vienas“ - treniravimui ir „Devyni“ - testavimui). Geriausi rezultatai buvo gauti naudojant ir DC offset panaikinimą ir triukšmo šalinimą (50 proc.). Prasčiausi rezultatai gauti buvo nenaudojant nė vieno iš minėtų būdų.

4 lentelė

Sistemos testavimas

Nr.	Etalonų sk.	Testuojamų sk.	Apmokymams naudojamas žodis	Testavimui naudojamas žodis	Garso failai	Klaidų sk.	DC offset panaikinimas	Triukšmo šalinimo pritaikymas	Atpažinimo tikslumas
1.	20	20	„Vienas“	„Vienas“	vienodi	0	Taip	Taip	100 proc.
2.	20	20	„Vienas“	„Vienas“	Skirtingi	4	Taip	Taip	80 proc.
3.	20	20	„Vienas“	„Vienas“	Skirtingi	2	Ne	Ne	90 proc.
4.	20	20	„Vienas“	„Vienas“	Skirtingi	1	Taip	Ne	95 proc.
5.	60	60	„Vienas“	„Vienas“	Vienodi	0	Taip	Taip	100 proc.
6.	60	60	„Vienas“	„Vienas“	Skirtingi	19	Taip	Taip	68 proc.
7.	60	60	„Vienas“	„Vienas“	Skirtingi	8	Ne	Ne	87 proc.
8.	60	60	„Vienas“	„Vienas“	Skirtingi	8	Taip	Ne	87 proc.
9.	60	60	„Vienas“	„Devyni“	Skirtingi	30	Taip	Taip	50 proc.
10.	60	60	„Vienas“	„Devyni“	Skirtingi	34	Ne	Ne	43 proc.
11.	60	60	„Vienas“	„Devyni“	Skirtingi	32	Taip	Ne	47 proc.

Šaltinis: sudaryta autoriaus

IŠVADOS

1. Apibendrinus analitinės dalies tyrimus, galima teigti, jog vieno tiksliausio kalbėtojo atpažinimo metodo nėra. Aišku kai kurie yra geresni nei kiti, tačiau geriausių atpažinimo rezultatų pasiekama sujungus kelis atpažinimo metodus.
2. Nors kalbėtojo atpažinimo tikslumas yra mažesnis už pirštų antspaudus ar tinklainės skanavimą, tačiau kalbėtojo atpažinimo techninė įranga yra kur kas pigesnė, užtenka paprasto mikrofono ir tai suteikia plačias pritaikymo galimybes.
3. Apžvelgus pasaulyje šioje srityje atliktus tyrimus, pastebėta, kad šio dešimtmečio tyrimai kalbos biometrijos srityje yra orientuoti ne į kalbėtojo atpažinimo algoritmų tobulinimą, o į garso apdorojimą siekiant panaikinti nereikalingus ir trukdančius pasiekti optimalų atpažinimo tikslumą kliuvinius kaip triukšmas, tyla, prastas mikrofonas, silpnas telefoninis signalas.
4. Buvo atliktas eksperimentas. Eksperimente panaudojant Melo dažnių keprų koeficientus buvo atliktas požymių išskyrimas ir sukurti kalbėtojų akustiniai vektoriai, vėliau naudojant vektorių kvantavimą buvo sukurta vektorių kodų knyga. Kurios pagalba ir vyko kalbėtojo atpažinimas.
5. Eksperimento metu naudojant testavimui ir treniravimui tuos pačius garso failus, sistema atpažino kalbėtojus, be klaidų. Naudojant skirtingus failus sistemos treniravimui ir testavimui (20 failų) buvo gautas 80 procentų tikslumas, sistema atpažino teisingai 16 iš 20 kalbėtojų.
6. Naudojant tą patį žodį „Vienas“ treniravimui ir atpažinimui (iš skirtingų frazių) buvo gautas 68 procentų tikslumas, sistema atpažino teisingai 41 iš 60 kalbėtojų. O nenaudojant triukšmo šalinimo buvo gautas 87 procentų atpažinimo tikslumas (52 iš 60 kalbėtojų).
7. Naudojant skirtingus žodžius treniravimui ir atpažinimui gaunami prastesni rezultatai, nei kitais atvejais (50 procentų atpažinimo tikslumas prieš 87 procentus).
8. Triukšmo šalinimas padeda tikrai esant nuo teksto nepriklausomam atpažinime, kitais atvejais jisai tikrai sumažina atpažinimo tikslumą.

LITERATŪRA

- 1) Speaker recognition [Interaktyvus]. [Paskutinį kartą žiūrėta 2008 01 15]. Prieiga Internetu <<http://cslu.cse.ogi.edu/HLTsurvey/ch1node9.html> >
- 2) Douglas A. Reynolds,, Larry P. Heck,. (2000) „ Automatic Speaker Recognition“. Elektroninė knyga.
- 3) Balso atpažinimo sistemos, technologijos, pritaikymas [Interaktyvus]. [Paskutinį kartą žiūrėta 2008 01 15]. Prieiga Internetu <http://iteksperitas.projektas.lt/index.php?option=com_content&task=view&id=99&Itemid=54>
- 4) Dr. Sadaoki Furui (2000) „Speaker Recognition“, Scholar pedia, pritaikymas [Interaktyvus]. [Paskutinį kartą žiūrėta 2008 01 15]. Prieiga Internetu. <http://www.scholarpedia.org/article/Speaker_recognition>
- 5) Speaker recognition [Interaktyvus]. [Paskutinį kartą žiūrėta 2008 01 15]. Prieiga Internetu < <http://www.speaker-recognition.org/> >
- 6) Dynamic time warping [Interaktyvus]. [Paskutinį kartą žiūrėta 2008 01 15]. Prieiga Internetu <<http://www.cse.unsw.edu.au/~waleed/phd/tr9806/node14.html> >
- 7) Reynolds, Douglas A. (1994): "Speaker identification and verification using Gaussian mixture speaker models", In ASRIV-1994, 27-30.
- 8) Ming Liu, Zhengyou Zhang, Mark Hasegawa-Johnson, and Thomas Huang, "Exploring Discriminative Learning for Text-Independent Speaker Recognition," ICME 2007.
- 9) W. M. Campbell, J. P. Campbell, D. A. Reynolds, D. A. Jones, and T. R. Leek „Phonetic Speaker Recognition with Support Vector Machines „ MMUA 2003.
- 10) Chun-Nan Hsu, Hau-Chung Yu, Bo-Hou Yang, „Speaker verification without background speaker models“, Proceedings of IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP 2003), v. II, pp. 233-236, Hong Kong.
- 11) Robert M. Nickel, „Robust speaker verification with optimal pitch bases expansions“ ACM International Conference Proceeding Series; Vol. 58, Proceedings of the winter international symposium on Information and communication technologies, Cancun, Mexico, SESSION: Artificial intelligence, speech, recognition, and data mining, Pages: 1 - 6, 2004
- 12) Q. Jin, T. Schultz, and A. Waibel, "Speaker Identification using Multilingual Phone Strings", Proceedings of ICASSP, Orlando, Florida, May 2002
- 13) Jae C. Oh, Misty Blowers „Text-independent open-set speaker identification for military missions using genetic rule-based system“ Washington, D.C., MSAEC contributions p. 172 - 174, 2005

- 14) Kai -Fu Lee, Hsiao - Wuen Hon „Speaker-Independent Phone Recognition Using Hidden Markov Models“, IEEE Transactions on acoustics. Speech and signal processing, vol. 31, no. 11, November 1989.
- 15) B.S. Atal and S.L. Hanauer, “Speech Analysis and Synthesis by Linear Prediction of the Speech Wave,” J. Acoust. Soc. Amer. 50(2), 637-655 (1971).
- 16) B.S. Atal, “Effectiveness of Linear Prediction Characteristics of the Speech Wave for Automatic Speaker Identification and Verification,” J. Acoust. Soc. Am., 55(6), 1304-1312 (1974).
- 17) M.R. Sambur, “Speaker Recognition Using Orthogonal Linear Prediction,” IEEE Trans. Acoustics, Speech, Sig. Proc. ASSP-24(4), 283-289 (1976).
- 18) G.A. Mian, “Some Factors Influencing the Performance of a Speaker Recognition System Based on LPC,” IEEE ICASSP, 781-784 (1979)
- 19) R.C. Lummis, “Speaker Verification by Computer Using Speech Intensity for Temporal Registration,” IEEE Trans. Audio Electroacoust. AU-21(2), 80-89 (1973).
- 20) B.S. Atal, “Automatic Recognition of Speakers from Their Voices,” Proc. IEEE, 64(4), 460-475 (1976).
- 21) R.C. Lummis, “Speaker Verification by Computer Using Speech Intensity for Temporal Registration,” IEEE Trans. Audio Electroacoust. AU-21(2), 80-89 (1973).
- 22) J.D. Markel, B.T. Oshika, and A. Gray, “Long-Term Feature Averaging for Speaker Recognition,” IEEE Trans. Acoustics, Speech, Sig. Proc. ASSP-25(4), 330-337 (1977).
- 23) F.K. Soong, A.E. Rosenberg, L.R. Labiner, and B.H. Juang, “A Vector Quantization Approach to Speaker Recognition,” IEEE ICASSP, 387-402 (1985).
- 24) J. D. Markel and S. B. Davis, “Text-independent speaker recognition from a large linguistically unconstrained time-spaced database,” IEEE Trans. Acoust., Speech, Signal Processing, vol. ASSP-27, no. 1, pp. 74–82, 1979.
- 25) S. Furui, “Cepstral analysis technique for automatic speaker verification,” IEEE Trans. Acoust., Speech, Signal Processing, vol. ASSP-29, pp. 254–272, 1981.
- 26) R. Schwartz, S. Roucos, and M. Berouti, “The application of probability density estimation to text independent speaker identification,” in Proc. Int. Conf. Acoustics, Speech, and Signal Processing, Paris, France, 1982, pp. 1649–1652.
- 27) D. Reynolds, “M.I.T. Lincoln Laboratory site presentation,” in Speaker Recognition Workshop, A. Martin, Ed., sect. 5, Maritime Institute of Technology, Linthicum Heights, MD, Mar. 27–28, 1996

- 28) Higgins, L. Bahler, and J. Porter, "Speaker verification using randomized phrase prompting," *Digital Signal Processing*, vol. 1, no. 2, pp. 89–106, 1991.
- 29) F. K. Soong, A. E. Rosenberg, L. R. Rabiner, and B.-H. Juang, "A vector quantization approach to speaker recognition," in *Proc. Int. Conf. Acoustics, Speech, and Signal Processing*, Tampa, FL, 1985, pp. 387–390.
- 30) J. Attili, M. Savic, and J. Campbell, "A TMS32020-based real time, text-independent, automatic speaker verification system," *IEEE Int. Conf. Acoustics, Speech, and Signal Processing*, New York, 1988, pp. 599–602.
- 31) G. R. Doddington, "Speaker recognition—Identifying people by their voices," *Proc. IEEE*, vol. 73, pp. 1651–1664, Nov. 1985.
- 32) D. Reynolds and B. Carlson, "Text-dependent speaker verification using decoupled and integrated speaker and speech recognizers," *EUROSPEECH*, Madrid, Spain, 1995, pp. 647–650.
- 33) D. Reynolds and R. Rose, "Robust text-independent speaker identification using Gaussian mixture speaker models," *IEEE Trans. Speech Audio Processing*, vol. 3, no. 1, pp. 72–83, 1995.
- 34) L. Higgins and R. E. Wohlford, "A new method of text independent speaker recognition," *IEEE Int. Conf. Acoustics, Speech, and Signal Processing*, Tokyo, Japan, 1986, pp. 869–872.
- 35) N. Z. Tishby, "On the application of mixture AR hidden Markov models to text independent speaker recognition," *IEEE Acoust., Speech, Signal Processing*, vol. 39, no. 3, pp. 563–570, 1991.
- 36) K. P. Li and E. H. Wrench, Jr., "Text-independent speaker recognition with short utterances," *IEEE Int. Conf. Acoustics, Speech, and Signal Processing*, Boston, MA, 1983, pp. 555–558.
- 37) Che and Q. Lin, "Speaker recognition using HMM with experiments on the YOHO database," in *Proc. EUROSPEECH*, Madrid, Italy, pp. 625–628, 1995.
- 38) J. Colombi, D. Ruck, S. Rogers, M. Oxley, and T. Anderson, "Cohort selection and word grammar effects for speaker recognition," *IEEE Int. Conf. Acoustics, Speech, and Signal Processing*, Atlanta, GA, 1996, pp. 85–88.

- 39) Driaunys K. (2004) Lietuvių kalbos signalų duomenų bazės LTDIGITS segmentavimas ir statistinis tyrimas. *Informacijos mokslai*. ISSN 1392-0561. Nr. 28. p.87-96.
- 40) Y. Linde, A. Buzo & R. Gray, "An algorithm for vector quantizer design", *IEEE Transactions on Communications*, Vol. 28, pp.84-95, 1980.
- 41) Boll, S. F. „Suppression of Acoustic Noise in Speech Using Spectral Subtraction“, #IEEE_J_ASSP#, Vol. ASSP-27, pp. 113-120, 1979

PRIEDAI

1 PRIEDAS_Pirmojo eksperimento rezultatai (Matlab išvestinis tekstas)	45
2 PRIEDAS_Antrojo eksperimento rezultatai (Matlab išvestinis tekstas).....	46
3 PRIEDAS_Trečiojo eksperimento rezultatai (Matlab išvestinis tekstas).....	47
4 PRIEDAS_Ketvirtojo eksperimento rezultatai (Matlab išvestinis tekstas).....	48
5 PRIEDAS_Šeštojo eksperimento rezultatai (Matlab išvestinis tekstas)	49
6 PRIEDAS_Septintojo eksperimento rezultatai (Matlab išvestinis tekstas).....	50
7 PRIEDAS_Aštuntojo eksperimento rezultatai (Matlab išvestinis tekstas).....	51
8 PRIEDAS_Devintojo eksperimento rezultatai (Matlab išvestinis tekstas)	52
9 PRIEDAS_Dešimtojo eksperimento rezultatai (Matlab išvestinis tekstas).....	53
10 PRIEDAS_Vienoliktojo eksperimento rezultatai (Matlab išvestinis tekstas)	54
11 PRIEDAS_Tyrimo pagrindinės funkcijos tekstas (Matlab m tekstas).....	55
12 PRIEDAS_Treniravimo funkcijos tekstas (Matlab m tekstas)	56
13 PRIEDAS_MFCC koeaficientų gavimo funkcijos tekstas (Matlab m tekstas)	57
14 PRIEDAS_Melių spektro pritaikymo funkcija (Matlab m tekstas)	58
15 PRIEDAS_VQLBG vektorių kvantizavimo funkcija (Matlab m tekstas).....	59
16 PRIEDAS_Testavimo funkcija (Matlab m tekstas)	60
17 PRIEDAS_Euklido atstumo apskaičiavimo funkcija (Matlab m tekstas).....	61

Pirmojo eksperimento rezultatai (Matlab išvestinis tekstas)

```
>> Tyrimas (20,20)
Kraunamas etalonas Nr.1... ...M001
Kraunamas etalonas Nr.2... ...M002
Kraunamas etalonas Nr.3... ...M003
Kraunamas etalonas Nr.4... ...M004
Kraunamas etalonas Nr.5... ...M005
Kraunamas etalonas Nr.6... ...M006
Kraunamas etalonas Nr.7... ...M007
Kraunamas etalonas Nr.8... ...M008
Kraunamas etalonas Nr.9... ...M009
Kraunamas etalonas Nr.10... ...M010
Kraunamas etalonas Nr.11... ...F001
Kraunamas etalonas Nr.12... ...F002
Kraunamas etalonas Nr.13... ...F003
Kraunamas etalonas Nr.14... ...F004
Kraunamas etalonas Nr.15... ...F005
Kraunamas etalonas Nr.16... ...F006
Kraunamas etalonas Nr.17... ...F007
Kraunamas etalonas Nr.18... ...F008
Kraunamas etalonas Nr.19... ...F009
Kraunamas etalonas Nr.20... ...F010
Kalbėtojas M001 atitinka etaloną Nr.1 M001
Kalbėtojas M002 atitinka etaloną Nr.2 M002
Kalbėtojas M003 atitinka etaloną Nr.3 M003
Kalbėtojas M004 atitinka etaloną Nr.4 M004
Kalbėtojas M005 atitinka etaloną Nr.5 M005
Kalbėtojas M006 atitinka etaloną Nr.6 M006
Kalbėtojas M007 atitinka etaloną Nr.7 M007
Kalbėtojas M008 atitinka etaloną Nr.8 M008
Kalbėtojas M009 atitinka etaloną Nr.9 M009
Kalbėtojas M010 atitinka etaloną Nr.10 M010
Kalbėtojas F001 atitinka etaloną Nr.11 F001
Kalbėtojas F002 atitinka etaloną Nr.12 F002
Kalbėtojas F003 atitinka etaloną Nr.13 F003
Kalbėtojas F004 atitinka etaloną Nr.14 F004
Kalbėtojas F005 atitinka etaloną Nr.15 F005
Kalbėtojas F006 atitinka etaloną Nr.16 F006
Kalbėtojas F007 atitinka etaloną Nr.17 F007
Kalbėtojas F008 atitinka etaloną Nr.18 F008
Kalbėtojas F009 atitinka etaloną Nr.19 F009
Kalbėtojas F010 atitinka etaloną Nr.20 F010
>>
```

Antrojo eksperimento rezultatai (Matlab išvestinis tekstas)

```

>> Tyrimas(20,20)
Kraunamas etalonas Nr.1... ...M001
Kraunamas etalonas Nr.2... ...M002
Kraunamas etalonas Nr.3... ...M003
Kraunamas etalonas Nr.4... ...M004
Kraunamas etalonas Nr.5... ...M005
Kraunamas etalonas Nr.6... ...M006
Kraunamas etalonas Nr.7... ...M007
Kraunamas etalonas Nr.8... ...M008
Kraunamas etalonas Nr.9... ...M009
Kraunamas etalonas Nr.10... ...M010
Kraunamas etalonas Nr.11... ...F001
Kraunamas etalonas Nr.12... ...F002
Kraunamas etalonas Nr.13... ...F003
Kraunamas etalonas Nr.14... ...F004
Kraunamas etalonas Nr.15... ...F005
Kraunamas etalonas Nr.16... ...F006
Kraunamas etalonas Nr.17... ...F007
Kraunamas etalonas Nr.18... ...F008
Kraunamas etalonas Nr.19... ...F009
Kraunamas etalonas Nr.20... ...F010
Kalbėtojas M001 atitinka etaloną Nr.1 M001
Kalbėtojas M002 atitinka etaloną Nr.16 F006
Kalbėtojas M003 atitinka etaloną Nr.3 M003
Kalbėtojas M004 atitinka etaloną Nr.4 M004
Kalbėtojas M005 atitinka etaloną Nr.5 M005
Kalbėtojas M006 atitinka etaloną Nr.6 M006
Kalbėtojas M007 atitinka etaloną Nr.1 M001
Kalbėtojas M008 atitinka etaloną Nr.8 M008
Kalbėtojas M009 atitinka etaloną Nr.9 M009
Kalbėtojas M010 atitinka etaloną Nr.10 M010
Kalbėtojas F001 atitinka etaloną Nr.18 F008
Kalbėtojas F002 atitinka etaloną Nr.12 F002
Kalbėtojas F003 atitinka etaloną Nr.18 F008
Kalbėtojas F004 atitinka etaloną Nr.14 F004
Kalbėtojas F005 atitinka etaloną Nr.15 F005
Kalbėtojas F006 atitinka etaloną Nr.16 F006
Kalbėtojas F007 atitinka etaloną Nr.17 F007
Kalbėtojas F008 atitinka etaloną Nr.18 F008
Kalbėtojas F009 atitinka etaloną Nr.19 F009
Kalbėtojas F010 atitinka etaloną Nr.20 F010

```

Trečiojo eksperimento rezultatai (Matlab išvestinis tekstas)

```

>> Tyrimas2(20,20)
Kraunamas etalonas Nr.1... ...M001
Kraunamas etalonas Nr.2... ...M002
Kraunamas etalonas Nr.3... ...M003
Kraunamas etalonas Nr.4... ...M004
Kraunamas etalonas Nr.5... ...M005
Kraunamas etalonas Nr.6... ...M006
Kraunamas etalonas Nr.7... ...M007
Kraunamas etalonas Nr.8... ...M008
Kraunamas etalonas Nr.9... ...M009
Kraunamas etalonas Nr.10... ...M010
Kraunamas etalonas Nr.11... ...F001
Kraunamas etalonas Nr.12... ...F002
Kraunamas etalonas Nr.13... ...F003
Kraunamas etalonas Nr.14... ...F004
Kraunamas etalonas Nr.15... ...F005
Kraunamas etalonas Nr.16... ...F006
Kraunamas etalonas Nr.17... ...F007
Kraunamas etalonas Nr.18... ...F008
Kraunamas etalonas Nr.19... ...F009
Kraunamas etalonas Nr.20... ...F010
Kalbėtojas M001 atitinka etaloną Nr.1 M001
Kalbėtojas M002 atitinka etaloną Nr.2 M002
Kalbėtojas M003 atitinka etaloną Nr.3 M003
Kalbėtojas M004 atitinka etaloną Nr.4 M004
Kalbėtojas M005 atitinka etaloną Nr.5 M005
Kalbėtojas M006 atitinka etaloną Nr.6 M006
Kalbėtojas M007 atitinka etaloną Nr.7 M007
Kalbėtojas M008 atitinka etaloną Nr.2 M002
Kalbėtojas M009 atitinka etaloną Nr.9 M009
Kalbėtojas M010 atitinka etaloną Nr.10 M010
Kalbėtojas F001 atitinka etaloną Nr.11 F001
Kalbėtojas F002 atitinka etaloną Nr.12 F002
Kalbėtojas F003 atitinka etaloną Nr.11 F001
Kalbėtojas F004 atitinka etaloną Nr.14 F004
Kalbėtojas F005 atitinka etaloną Nr.15 F005
Kalbėtojas F006 atitinka etaloną Nr.16 F006
Kalbėtojas F007 atitinka etaloną Nr.17 F007
Kalbėtojas F008 atitinka etaloną Nr.18 F008
Kalbėtojas F009 atitinka etaloną Nr.19 F009
Kalbėtojas F010 atitinka etaloną Nr.20 F010

```

Ketvirtojo eksperimento rezultatai (Matlab išvestinis tekstas)

```

>> Tyrimas(20,20,'test1\Etalonas','kalba4.wav')
Kraunamas etalonas Nr.1... ...M001
Kraunamas etalonas Nr.2... ...M002
Kraunamas etalonas Nr.3... ...M003
Kraunamas etalonas Nr.4... ...M004
Kraunamas etalonas Nr.5... ...M005
Kraunamas etalonas Nr.6... ...M006
Kraunamas etalonas Nr.7... ...M007
Kraunamas etalonas Nr.8... ...M008
Kraunamas etalonas Nr.9... ...M009
Kraunamas etalonas Nr.10... ...M010
Kraunamas etalonas Nr.11... ...F001
Kraunamas etalonas Nr.12... ...F002
Kraunamas etalonas Nr.13... ...F003
Kraunamas etalonas Nr.14... ...F004
Kraunamas etalonas Nr.15... ...F005
Kraunamas etalonas Nr.16... ...F006
Kraunamas etalonas Nr.17... ...F007
Kraunamas etalonas Nr.18... ...F008
Kraunamas etalonas Nr.19... ...F009
Kraunamas etalonas Nr.20... ...F010
Kalbėtojas M001 atitinka etaloną Nr.1 M001
Kalbėtojas M002 atitinka etaloną Nr.2 M002
Kalbėtojas M003 atitinka etaloną Nr.3 M003
Kalbėtojas M004 atitinka etaloną Nr.4 M004
Kalbėtojas M005 atitinka etaloną Nr.5 M005
Kalbėtojas M006 atitinka etaloną Nr.6 M006
Kalbėtojas M007 atitinka etaloną Nr.7 M007
Kalbėtojas M008 atitinka etaloną Nr.8 M008
Kalbėtojas M009 atitinka etaloną Nr.9 M009
Kalbėtojas M010 atitinka etaloną Nr.10 M010
Kalbėtojas F001 atitinka etaloną Nr.11 F001
Kalbėtojas F002 atitinka etaloną Nr.12 F002
Kalbėtojas F003 atitinka etaloną Nr.11 F001
Kalbėtojas F004 atitinka etaloną Nr.14 F004
Kalbėtojas F005 atitinka etaloną Nr.15 F005
Kalbėtojas F006 atitinka etaloną Nr.16 F006
Kalbėtojas F007 atitinka etaloną Nr.17 F007
Kalbėtojas F008 atitinka etaloną Nr.18 F008
Kalbėtojas F009 atitinka etaloną Nr.19 F009
Kalbėtojas F010 atitinka etaloną Nr.20 F010

```


Šeštojo eksperimento rezultatai (Matlab išvestinis tekstas)

Kalbėtojas M001 atitinka etaloną Nr.1 M001
 Kalbėtojas M002 atitinka etaloną Nr.50 M030
 Kalbėtojas M003 atitinka etaloną Nr.3 M003
 Kalbėtojas M004 atitinka etaloną Nr.4 M004
 Kalbėtojas M005 atitinka etaloną Nr.5 M005
 Kalbėtojas M006 atitinka etaloną Nr.6 M006
 Kalbėtojas M007 atitinka etaloną Nr.1 M001
 Kalbėtojas M008 atitinka etaloną Nr.8 M008
 Kalbėtojas M009 atitinka etaloną Nr.9 M009
 Kalbėtojas M010 atitinka etaloną Nr.10 M010
 Kalbėtojas F001 atitinka etaloną Nr.18 F008
 Kalbėtojas F002 atitinka etaloną Nr.12 F002
 Kalbėtojas F003 atitinka etaloną Nr.18 F008
 Kalbėtojas F004 atitinka etaloną Nr.14 F004
 Kalbėtojas F005 atitinka etaloną Nr.15 F005
 Kalbėtojas F006 atitinka etaloną Nr.16 F006
 Kalbėtojas F007 atitinka etaloną Nr.17 F007
 Kalbėtojas F008 atitinka etaloną Nr.18 F008
 Kalbėtojas F009 atitinka etaloną Nr.19 F009
 Kalbėtojas F010 atitinka etaloną Nr.20 F010
 Kalbėtojas M011 atitinka etaloną Nr.21 M011
 Kalbėtojas M012 atitinka etaloną Nr.22 M012
 Kalbėtojas M013 atitinka etaloną Nr.28 M018
 Kalbėtojas M014 atitinka etaloną Nr.24 M014
 Kalbėtojas M015 atitinka etaloną Nr.25 M015
 Kalbėtojas M016 atitinka etaloną Nr.10 M010
 Kalbėtojas M017 atitinka etaloną Nr.6 M006
 Kalbėtojas M018 atitinka etaloną Nr.28 M018
 Kalbėtojas M019 atitinka etaloną Nr.29 M019
 Kalbėtojas M020 atitinka etaloną Nr.30 M020
 Kalbėtojas F011 atitinka etaloną Nr.13 F003
 Kalbėtojas F012 atitinka etaloną Nr.32 F012
 Kalbėtojas F013 atitinka etaloną Nr.33 F013
 Kalbėtojas F014 atitinka etaloną Nr.34 F014
 Kalbėtojas F015 atitinka etaloną Nr.35 F015
 Kalbėtojas F016 atitinka etaloną Nr.36 F016
 Kalbėtojas F017 atitinka etaloną Nr.36 F016
 Kalbėtojas F018 atitinka etaloną Nr.38 F018
 Kalbėtojas F019 atitinka etaloną Nr.39 F019
 Kalbėtojas F020 atitinka etaloną Nr.40 F020
 Kalbėtojas M021 atitinka etaloną Nr.43 M023
 Kalbėtojas M022 atitinka etaloną Nr.44 M024
 Kalbėtojas M023 atitinka etaloną Nr.25 M015
 Kalbėtojas M024 atitinka etaloną Nr.44 M024
 Kalbėtojas M025 atitinka etaloną Nr.1 M001
 Kalbėtojas M026 atitinka etaloną Nr.46 M026
 Kalbėtojas M027 atitinka etaloną Nr.47 M027
 Kalbėtojas M028 atitinka etaloną Nr.48 M028
 Kalbėtojas M029 atitinka etaloną Nr.49 M029
 Kalbėtojas M030 atitinka etaloną Nr.44 M024
 Kalbėtojas F021 atitinka etaloną Nr.51 F021
 Kalbėtojas F022 atitinka etaloną Nr.12 F002
 Kalbėtojas F023 atitinka etaloną Nr.33 F013
 Kalbėtojas F024 atitinka etaloną Nr.54 F024
 Kalbėtojas F025 atitinka etaloną Nr.55 F025
 Kalbėtojas F026 atitinka etaloną Nr.55 F025
 Kalbėtojas F027 atitinka etaloną Nr.59 F029
 Kalbėtojas F028 atitinka etaloną Nr.58 F028
 Kalbėtojas F029 atitinka etaloną Nr.59 F029
 Kalbėtojas F030 atitinka etaloną Nr.58 F028

Septintojo eksperimento rezultatai (Matlab išvestinis tekstas)

Kalbėtojas M001 atitinka etaloną Nr.1 M001
 Kalbėtojas M002 atitinka etaloną Nr.2 M002
 Kalbėtojas M003 atitinka etaloną Nr.3 M003
 Kalbėtojas M004 atitinka etaloną Nr.4 M004
 Kalbėtojas M005 atitinka etaloną Nr.5 M005
 Kalbėtojas M006 atitinka etaloną Nr.6 M006
 Kalbėtojas M007 atitinka etaloną Nr.7 M007
 Kalbėtojas M008 atitinka etaloną Nr.8 M008
 Kalbėtojas M009 atitinka etaloną Nr.9 M009
 Kalbėtojas M010 atitinka etaloną Nr.10 M010
 Kalbėtojas F001 atitinka etaloną Nr.11 F001
 Kalbėtojas F002 atitinka etaloną Nr.12 F002
Kalbėtojas F003 atitinka etaloną Nr.33 F013
 Kalbėtojas F004 atitinka etaloną Nr.14 F004
 Kalbėtojas F005 atitinka etaloną Nr.15 F005
 Kalbėtojas F006 atitinka etaloną Nr.16 F006
 Kalbėtojas F007 atitinka etaloną Nr.17 F007
 Kalbėtojas F008 atitinka etaloną Nr.18 F008
 Kalbėtojas F009 atitinka etaloną Nr.19 F009
 Kalbėtojas F010 atitinka etaloną Nr.20 F010
 Kalbėtojas M011 atitinka etaloną Nr.21 M011
 Kalbėtojas M012 atitinka etaloną Nr.22 M012
Kalbėtojas M013 atitinka etaloną Nr.6 M006
 Kalbėtojas M014 atitinka etaloną Nr.24 M014
 Kalbėtojas M015 atitinka etaloną Nr.25 M015
 Kalbėtojas M016 atitinka etaloną Nr.26 M016
 Kalbėtojas M017 atitinka etaloną Nr.27 M017
 Kalbėtojas M018 atitinka etaloną Nr.28 M018
 Kalbėtojas M019 atitinka etaloną Nr.29 M019
 Kalbėtojas M020 atitinka etaloną Nr.30 M020
 Kalbėtojas F011 atitinka etaloną Nr.31 F011
 Kalbėtojas F012 atitinka etaloną Nr.32 F012
 Kalbėtojas F013 atitinka etaloną Nr.33 F013
 Kalbėtojas F014 atitinka etaloną Nr.34 F014
 Kalbėtojas F015 atitinka etaloną Nr.35 F015
 Kalbėtojas F016 atitinka etaloną Nr.36 F016
Kalbėtojas F017 atitinka etaloną Nr.36 F016
 Kalbėtojas F018 atitinka etaloną Nr.38 F018
 Kalbėtojas F019 atitinka etaloną Nr.39 F019
 Kalbėtojas F020 atitinka etaloną Nr.40 F020
 Kalbėtojas M021 atitinka etaloną Nr.41 M021
 Kalbėtojas M022 atitinka etaloną Nr.50 M030
 Kalbėtojas M023 atitinka etaloną Nr.43 M023
 Kalbėtojas M024 atitinka etaloną Nr.44 M024
 Kalbėtojas M025 atitinka etaloną Nr.45 M025
 Kalbėtojas M026 atitinka etaloną Nr.46 M026
 Kalbėtojas M027 atitinka etaloną Nr.47 M027
Kalbėtojas M028 atitinka etaloną Nr.25 M015
 Kalbėtojas M029 atitinka etaloną Nr.49 M029
 Kalbėtojas M030 atitinka etaloną Nr.50 M030
 Kalbėtojas F021 atitinka etaloną Nr.51 F021
 Kalbėtojas F022 atitinka etaloną Nr.52 F022
Kalbėtojas F023 atitinka etaloną Nr.36 F016
 Kalbėtojas F024 atitinka etaloną Nr.54 F024
 Kalbėtojas F025 atitinka etaloną Nr.55 F025
 Kalbėtojas F026 atitinka etaloną Nr.56 F026
 Kalbėtojas F027 atitinka etaloną Nr.59 F029
Kalbėtojas F028 atitinka etaloną Nr.58 F028
 Kalbėtojas F029 atitinka etaloną Nr.59 F029
Kalbėtojas F030 atitinka etaloną Nr.54 F024

Aštuntojo eksperimento rezultatai (Matlab išvestinis tekstas)

Kalbėtojas M001 atitinka etaloną Nr.1 M001
 Kalbėtojas M002 atitinka etaloną Nr.2 M002
 Kalbėtojas M003 atitinka etaloną Nr.3 M003
 Kalbėtojas M004 atitinka etaloną Nr.4 M004
 Kalbėtojas M005 atitinka etaloną Nr.5 M005
 Kalbėtojas M006 atitinka etaloną Nr.6 M006
 Kalbėtojas M007 atitinka etaloną Nr.7 M007
 Kalbėtojas M008 atitinka etaloną Nr.8 M008
 Kalbėtojas M009 atitinka etaloną Nr.9 M009
 Kalbėtojas M010 atitinka etaloną Nr.10 M010
 Kalbėtojas F001 atitinka etaloną Nr.11 F001
 Kalbėtojas F002 atitinka etaloną Nr.12 F002
Kalbėtojas F003 atitinka etaloną Nr.33 F013
 Kalbėtojas F004 atitinka etaloną Nr.14 F004
 Kalbėtojas F005 atitinka etaloną Nr.15 F005
 Kalbėtojas F006 atitinka etaloną Nr.16 F006
 Kalbėtojas F007 atitinka etaloną Nr.17 F007
 Kalbėtojas F008 atitinka etaloną Nr.18 F008
 Kalbėtojas F009 atitinka etaloną Nr.19 F009
 Kalbėtojas F010 atitinka etaloną Nr.20 F010
 Kalbėtojas M011 atitinka etaloną Nr.21 M011
 Kalbėtojas M012 atitinka etaloną Nr.22 M012
Kalbėtojas M013 atitinka etaloną Nr.6 M006
 Kalbėtojas M014 atitinka etaloną Nr.24 M014
 Kalbėtojas M015 atitinka etaloną Nr.25 M015
 Kalbėtojas M016 atitinka etaloną Nr.26 M016
 Kalbėtojas M017 atitinka etaloną Nr.27 M017
 Kalbėtojas M018 atitinka etaloną Nr.28 M018
 Kalbėtojas M019 atitinka etaloną Nr.29 M019
 Kalbėtojas M020 atitinka etaloną Nr.30 M020
 Kalbėtojas F011 atitinka etaloną Nr.31 F011
 Kalbėtojas F012 atitinka etaloną Nr.32 F012
 Kalbėtojas F013 atitinka etaloną Nr.33 F013
 Kalbėtojas F014 atitinka etaloną Nr.34 F014
 Kalbėtojas F015 atitinka etaloną Nr.35 F015
 Kalbėtojas F016 atitinka etaloną Nr.36 F016
Kalbėtojas F017 atitinka etaloną Nr.36 F016
 Kalbėtojas F018 atitinka etaloną Nr.38 F018
 Kalbėtojas F019 atitinka etaloną Nr.39 F019
 Kalbėtojas F020 atitinka etaloną Nr.40 F020
 Kalbėtojas M021 atitinka etaloną Nr.41 M021
 Kalbėtojas M022 atitinka etaloną Nr.50 M030
 Kalbėtojas M023 atitinka etaloną Nr.43 M023
 Kalbėtojas M024 atitinka etaloną Nr.44 M024
 Kalbėtojas M025 atitinka etaloną Nr.45 M025
 Kalbėtojas M026 atitinka etaloną Nr.46 M026
 Kalbėtojas M027 atitinka etaloną Nr.47 M027
Kalbėtojas M028 atitinka etaloną Nr.25 M015
 Kalbėtojas M029 atitinka etaloną Nr.49 M029
 Kalbėtojas M030 atitinka etaloną Nr.50 M030
 Kalbėtojas F021 atitinka etaloną Nr.51 F021
 Kalbėtojas F022 atitinka etaloną Nr.52 F022
Kalbėtojas F023 atitinka etaloną Nr.36 F016
 Kalbėtojas F024 atitinka etaloną Nr.54 F024
 Kalbėtojas F025 atitinka etaloną Nr.55 F025
 Kalbėtojas F026 atitinka etaloną Nr.56 F026
 Kalbėtojas F027 atitinka etaloną Nr.59 F029
 Kalbėtojas F028 atitinka etaloną Nr.58 F028
 Kalbėtojas F029 atitinka etaloną Nr.59 F029
Kalbėtojas F030 atitinka etaloną Nr.54 F024

Devintojo eksperimento rezultatai (Matlab išvestinis tekstas)

Kalbėtojas M001	atitinka	etaloną Nr.6 M006
Kalbėtojas M002	atitinka	etaloną Nr.12 F002
Kalbėtojas M003	atitinka	etaloną Nr.3 M003
Kalbėtojas M004	atitinka	etaloną Nr.6 M006
Kalbėtojas M005	atitinka	etaloną Nr.10 M010
Kalbėtojas M006	atitinka	etaloną Nr.6 M006
Kalbėtojas M007	atitinka	etaloną Nr.7 M007
Kalbėtojas M008	atitinka	etaloną Nr.8 M008
Kalbėtojas M009	atitinka	etaloną Nr.9 M009
Kalbėtojas M010	atitinka	etaloną Nr.10 M010
Kalbėtojas F001	atitinka	etaloną Nr.11 F001
Kalbėtojas F002	atitinka	etaloną Nr.12 F002
Kalbėtojas F003	atitinka	etaloną Nr.12 F002
Kalbėtojas F004	atitinka	etaloną Nr.35 F015
Kalbėtojas F005	atitinka	etaloną Nr.15 F005
Kalbėtojas F006	atitinka	etaloną Nr.12 F002
Kalbėtojas F007	atitinka	etaloną Nr.33 F013
Kalbėtojas F008	atitinka	etaloną Nr.18 F008
Kalbėtojas F009	atitinka	etaloną Nr.19 F009
Kalbėtojas F010	atitinka	etaloną Nr.20 F010
Kalbėtojas M011	atitinka	etaloną Nr.21 M011
Kalbėtojas M012	atitinka	etaloną Nr.22 M012
Kalbėtojas M013	atitinka	etaloną Nr.44 M024
Kalbėtojas M014	atitinka	etaloną Nr.9 M009
Kalbėtojas M015	atitinka	etaloną Nr.25 M015
Kalbėtojas M016	atitinka	etaloną Nr.10 M010
Kalbėtojas M017	atitinka	etaloną Nr.27 M017
Kalbėtojas M018	atitinka	etaloną Nr.22 M012
Kalbėtojas M019	atitinka	etaloną Nr.29 M019
Kalbėtojas M020	atitinka	etaloną Nr.30 M020
Kalbėtojas F011	atitinka	etaloną Nr.13 F003
Kalbėtojas F012	atitinka	etaloną Nr.13 F003
Kalbėtojas F013	atitinka	etaloną Nr.33 F013
Kalbėtojas F014	atitinka	etaloną Nr.34 F014
Kalbėtojas F015	atitinka	etaloną Nr.33 F013
Kalbėtojas F016	atitinka	etaloną Nr.36 F016
Kalbėtojas F017	atitinka	etaloną Nr.15 F005
Kalbėtojas F018	atitinka	etaloną Nr.13 F003
Kalbėtojas F019	atitinka	etaloną Nr.20 F010
Kalbėtojas F020	atitinka	etaloną Nr.40 F020
Kalbėtojas M021	atitinka	etaloną Nr.41 M021
Kalbėtojas M022	atitinka	etaloną Nr.42 M022
Kalbėtojas M023	atitinka	etaloną Nr.9 M009
Kalbėtojas M024	atitinka	etaloną Nr.12 F002
Kalbėtojas M025	atitinka	etaloną Nr.45 M025
Kalbėtojas M026	atitinka	etaloną Nr.26 M016
Kalbėtojas M027	atitinka	etaloną Nr.25 M015
Kalbėtojas M028	atitinka	etaloną Nr.48 M028
Kalbėtojas M029	atitinka	etaloną Nr.10 M010
Kalbėtojas M030	atitinka	etaloną Nr.34 F014
Kalbėtojas F021	atitinka	etaloną Nr.34 F014
Kalbėtojas F022	atitinka	etaloną Nr.52 F022
Kalbėtojas F023	atitinka	etaloną Nr.53 F023
Kalbėtojas F024	atitinka	etaloną Nr.34 F014
Kalbėtojas F025	atitinka	etaloną Nr.55 F025
Kalbėtojas F026	atitinka	etaloną Nr.55 F025
Kalbėtojas F027	atitinka	etaloną Nr.53 F023
Kalbėtojas F028	atitinka	etaloną Nr.58 F028
Kalbėtojas F029	atitinka	etaloną Nr.59 F029
Kalbėtojas F030	atitinka	etaloną Nr.55 F025

Dešimtojo eksperimento rezultatai (Matlab išvestinis tekstas)

Kalbėtojas M001 atitinka etaloną Nr.47 M027
Kalbėtojas M002 atitinka etaloną Nr.48 M028
Kalbėtojas M003 atitinka etaloną Nr.10 M010
Kalbėtojas M004 atitinka etaloną Nr.4 M004
Kalbėtojas M005 atitinka etaloną Nr.48 M028
Kalbėtojas M006 atitinka etaloną Nr.6 M006
Kalbėtojas M007 atitinka etaloną Nr.3 M003
Kalbėtojas M008 atitinka etaloną Nr.2 M002
Kalbėtojas M009 atitinka etaloną Nr.3 M003
Kalbėtojas M010 atitinka etaloną Nr.10 M010
Kalbėtojas F001 atitinka etaloną Nr.14 F004
Kalbėtojas F002 atitinka etaloną Nr.12 F002
Kalbėtojas F003 atitinka etaloną Nr.13 F003
Kalbėtojas F004 atitinka etaloną Nr.58 F028
Kalbėtojas F005 atitinka etaloną Nr.20 F010
Kalbėtojas F006 atitinka etaloną Nr.11 F001
Kalbėtojas F007 atitinka etaloną Nr.13 F003
Kalbėtojas F008 atitinka etaloną Nr.35 F015
Kalbėtojas F009 atitinka etaloną Nr.19 F009
Kalbėtojas F010 atitinka etaloną Nr.20 F010
Kalbėtojas M011 atitinka etaloną Nr.21 M011
Kalbėtojas M012 atitinka etaloną Nr.4 M004
Kalbėtojas M013 atitinka etaloną Nr.48 M028
Kalbėtojas M014 atitinka etaloną Nr.3 M003
Kalbėtojas M015 atitinka etaloną Nr.25 M015
Kalbėtojas M016 atitinka etaloną Nr.10 M010
Kalbėtojas M017 atitinka etaloną Nr.6 M006
Kalbėtojas M018 atitinka etaloną Nr.28 M018
Kalbėtojas M019 atitinka etaloną Nr.29 M019
Kalbėtojas M020 atitinka etaloną Nr.30 M020
Kalbėtojas F011 atitinka etaloną Nr.31 F011
Kalbėtojas F012 atitinka etaloną Nr.18 F008
Kalbėtojas F013 atitinka etaloną Nr.35 F015
Kalbėtojas F014 atitinka etaloną Nr.34 F014
Kalbėtojas F015 atitinka etaloną Nr.35 F015
Kalbėtojas F016 atitinka etaloną Nr.36 F016
Kalbėtojas F017 atitinka etaloną Nr.36 F016
Kalbėtojas F018 atitinka etaloną Nr.35 F015
Kalbėtojas F019 atitinka etaloną Nr.39 F019
Kalbėtojas F020 atitinka etaloną Nr.40 F020
Kalbėtojas M021 atitinka etaloną Nr.41 M021
Kalbėtojas M022 atitinka etaloną Nr.3 M003
Kalbėtojas M023 atitinka etaloną Nr.43 M023
Kalbėtojas M024 atitinka etaloną Nr.44 M024
Kalbėtojas M025 atitinka etaloną Nr.7 M007
Kalbėtojas M026 atitinka etaloną Nr.46 M026
Kalbėtojas M027 atitinka etaloną Nr.3 M003
Kalbėtojas M028 atitinka etaloną Nr.48 M028
Kalbėtojas M029 atitinka etaloną Nr.48 M028
Kalbėtojas M030 atitinka etaloną Nr.34 F014
Kalbėtojas F021 atitinka etaloną Nr.51 F021
Kalbėtojas F022 atitinka etaloną Nr.55 F025
Kalbėtojas F023 atitinka etaloną Nr.36 F016
Kalbėtojas F024 atitinka etaloną Nr.54 F024
Kalbėtojas F025 atitinka etaloną Nr.54 F024
Kalbėtojas F026 atitinka etaloną Nr.54 F024
Kalbėtojas F027 atitinka etaloną Nr.59 F029
Kalbėtojas F028 atitinka etaloną Nr.33 F013
Kalbėtojas F029 atitinka etaloną Nr.59 F029
Kalbėtojas F030 atitinka etaloną Nr.55 F025

Vienoliktojo eksperimento rezultatai (Matlab išvestinis tekstas)

Kalbėtojas M001 atitinka etaloną Nr.47 M027
Kalbėtojas M002 atitinka etaloną Nr.48 M028
Kalbėtojas M003 atitinka etaloną Nr.10 M010
Kalbėtojas M004 atitinka etaloną Nr.4 M004
Kalbėtojas M005 atitinka etaloną Nr.48 M028
Kalbėtojas M006 atitinka etaloną Nr.6 M006
Kalbėtojas M007 atitinka etaloną Nr.3 M003
Kalbėtojas M008 atitinka etaloną Nr.8 M008
Kalbėtojas M009 atitinka etaloną Nr.3 M003
Kalbėtojas M010 atitinka etaloną Nr.10 M010
Kalbėtojas F001 atitinka etaloną Nr.14 F004
Kalbėtojas F002 atitinka etaloną Nr.12 F002
Kalbėtojas F003 atitinka etaloną Nr.13 F003
Kalbėtojas F004 atitinka etaloną Nr.58 F028
Kalbėtojas F005 atitinka etaloną Nr.20 F010
Kalbėtojas F006 atitinka etaloną Nr.11 F001
Kalbėtojas F007 atitinka etaloną Nr.13 F003
Kalbėtojas F008 atitinka etaloną Nr.18 F008
Kalbėtojas F009 atitinka etaloną Nr.19 F009
Kalbėtojas F010 atitinka etaloną Nr.20 F010
Kalbėtojas M011 atitinka etaloną Nr.21 M011
Kalbėtojas M012 atitinka etaloną Nr.4 M004
Kalbėtojas M013 atitinka etaloną Nr.48 M028
Kalbėtojas M014 atitinka etaloną Nr.3 M003
Kalbėtojas M015 atitinka etaloną Nr.25 M015
Kalbėtojas M016 atitinka etaloną Nr.10 M010
Kalbėtojas M017 atitinka etaloną Nr.6 M006
Kalbėtojas M018 atitinka etaloną Nr.28 M018
Kalbėtojas M019 atitinka etaloną Nr.29 M019
Kalbėtojas M020 atitinka etaloną Nr.30 M020
Kalbėtojas F011 atitinka etaloną Nr.31 F011
Kalbėtojas F012 atitinka etaloną Nr.18 F008
Kalbėtojas F013 atitinka etaloną Nr.35 F015
Kalbėtojas F014 atitinka etaloną Nr.34 F014
Kalbėtojas F015 atitinka etaloną Nr.35 F015
Kalbėtojas F016 atitinka etaloną Nr.36 F016
Kalbėtojas F017 atitinka etaloną Nr.36 F016
Kalbėtojas F018 atitinka etaloną Nr.35 F015
Kalbėtojas F019 atitinka etaloną Nr.39 F019
Kalbėtojas F020 atitinka etaloną Nr.40 F020
Kalbėtojas M021 atitinka etaloną Nr.41 M021
Kalbėtojas M022 atitinka etaloną Nr.3 M003
Kalbėtojas M023 atitinka etaloną Nr.43 M023
Kalbėtojas M024 atitinka etaloną Nr.44 M024
Kalbėtojas M025 atitinka etaloną Nr.2 M002
Kalbėtojas M026 atitinka etaloną Nr.46 M026
Kalbėtojas M027 atitinka etaloną Nr.3 M003
Kalbėtojas M028 atitinka etaloną Nr.48 M028
Kalbėtojas M029 atitinka etaloną Nr.48 M028
Kalbėtojas M030 atitinka etaloną Nr.34 F014
Kalbėtojas F021 atitinka etaloną Nr.51 F021
Kalbėtojas F022 atitinka etaloną Nr.55 F025
Kalbėtojas F023 atitinka etaloną Nr.33 F013
Kalbėtojas F024 atitinka etaloną Nr.54 F024
Kalbėtojas F025 atitinka etaloną Nr.54 F024
Kalbėtojas F026 atitinka etaloną Nr.54 F024
Kalbėtojas F027 atitinka etaloną Nr.59 F029
Kalbėtojas F028 atitinka etaloną Nr.33 F013
Kalbėtojas F029 atitinka etaloną Nr.59 F029
Kalbėtojas F030 atitinka etaloną Nr.55 F025

Tyrimo pagrindinės funkcijos tekstas (Matlab m tekstas)

```
function Tyrimas(Etal_sk, Test_sk, direktorija, garso_failas )
% Kalbėtojo atpažinimas: Labiausiai atitinkančio modelio paieška
%
% Įvestis:
% Etal_sk : etalonų skaičius
% Test_sk : testuojamų failų skaičius
% direktorija = 'test\Etalonas'; % direktorija iki testuojamų garso failų
% garso_failas = 'kalba5.wav'; % garso failo pavadinimas
%

code = trainx(Etal_sk, garso_failas);

for l = 1:Test_sk

    string_1 = sprintf('%d',l);
    garsas = [direktorija,string_1,\, garso_failas];

    modelio_vardas_failas = [direktorija,string_1,\vardas_pavarde.txt'];
    fid2 = fopen(modelio_vardas_failas, 'r');
    vard_pav_nus = fread(fid2, '*char'); % etalono kalbėtojo vardas ir pavarde
    vardas_pavarde = sprintf('%c', vard_pav_nus);
    fclose(fid2);

    test2(garsas, code, vardas_pavarde)

end
```

Treniravimo funkcijos tekstas (Matlab m tekstas)

```

function code = trainx(n, garso_failas)
% Kalbėtojo atpažinimas: Treniravimo stadija
%
% Įvestis n : etalonų skaičius
%
% Išvedimas:
% code : treniruotų VQ kodų knygos, code(i) yra i tojo etalono kodų knyga
%

k = 16; % reikalingų centroidų skaičius

for i = 1:n % treniruojam VQ kodų knyga kiekvienam kalbėtojui

string_i = sprintf('%d',i);
file = ['train\Etalonas',string_i,'\',garso_failas];

% ===== modelio vardo gavimas
modelis_skaicius = ['Kraunamas etalonas Nr.',string_i];
modelio_vardas_failas = ['train\Etalonas',string_i,'\vardas_pavarde.txt'];
fid2 = fopen(modelio_vardas_failas, 'r');
vard_pav_nus = fread(fid2, '*char'); % modelio kalbėtojo vardas ir pavarde
vard_pav = sprintf('%c', vard_pav_nus);
rodymas = [modelis_skaicius,'... ..', vard_pav];
fclose(fid2);

disp(rodymas);

[s, fs] = wavread(file);

v = mfcc(s, fs); % skaičiuojam MFCC
code{i} = vqlbg(v, k); % Treniruojam VQ kodų knyga
end

```


MFCC koefficientų gavimo funkcijos tekstas (Matlab m tekstas)

```

function r = mfcc(s, fs)
% MFCC
%
% Įvestis: s analizuojamas signalas
% fs
%
% Išvestis: r transformuotas signalas
%
%

m = 100;
n = 256;
l = length(s);

nbFrame = floor((l - n) / m) + 1;

for i = 1:n
    for j = 1:nbFrame
        M(i, j) = s(((j - 1) * m) + i);
    end
end

h = hamming(n);

M2 = diag(h) * M;

for i = 1:nbFrame
    frame(:,i) = fft(M2(:, i));
end

t = n / 2;
tmax = 1 / fs;

m = melfb(20, n, fs);
n2 = 1 + floor(n / 2);
z = m * abs(frame(1:n2, :)).^2;

r = dct(log(z));

```

Melų spektro pritaikymo funkcija (Matlab m tekstas)

```

function m = melfb(p, n, fs)
% MELFB Nustatyti matrica paremta mel-spaced filterbank
%
% Įvestis: p Filtrų banke esančių filtrų skaičius
%      n fft (fast Fourier transform ) ilgis
%      fs sample rate in Hz
%
% Išvestis: x a (sparse) matrica turinti filtro banko aplitudes
%
%      size(x) = [p, 1+floor(n/2)]
%

f0 = 700 / fs;
fn2 = floor(n/2);

lr = log(1 + 0.5/f0) / (p+1);

bl = n * (f0 * (exp([0 1 p p+1] * lr) - 1));

b1 = floor(bl(1)) + 1;
b2 = ceil(bl(2));
b3 = floor(bl(3));
b4 = min(fn2, ceil(bl(4))) - 1;

pf = log(1 + (b1:b4)/n/f0) / lr;
fp = floor(pf);
pm = pf - fp;

r = [fp(b2:b4) 1+fp(1:b3)];
c = [b2:b4 1:b3] + 1;
v = 2 * [1-pm(b2:b4) pm(1:b3)];

m = sparse(r, c, v, p, 1+fn2);

```

VQLBG vektorių kvantizavimo funkcija (Matlab m tekstas)

```

function r = vqlbg(d,k)
% VQLBG Vektorių kvantizavimas panaudojant Linde-Buzo-Gray algoritmą
%
% Įvestis: d treniravimo duomenų vektoriai (vienas stulpelis vienas vektorius )
%   k reikalingų centroidų skaičius
%
% Išvestis: r VQ kodų knyga (k stulpelių , kiekvienas atskiriems
% centroidams)
%
%

e = .01;
r = mean(d, 2);
dpr = 10000;

for i = 1:log2(k)
    r = [r*(1+e), r*(1-e)];

    while (1 == 1)
        z = disteu(d, r);
        [m,ind] = min(z, [], 2);
        t = 0;
        for j = 1:2^i
            r(:, j) = mean(d(:, find(ind == j)), 2);
            x = disteu(d(:, find(ind == j)), r(:, j));
            for q = 1:length(x)
                t = t + x(q);
            end
        end
        if (((dpr - t)/t) < e)
            break;
        else
            dpr = t;
        end
    end
end
end

```

Testavimo funkcija (Matlab m tekstas)

```

function test2(garso_failas, code, vardas_pavarde)
% Kalbėtojo atpažinimas: Labiausiai atitinkančio modelio paieška
%
% Įvestis:
% garso_failas : kelias iki garso failo kuriame įrašytą kalbėtoja yra
% bandoma atpažinti
% code : codebooks of all trained speakers
% vardas_pavarde :
%

[s, fs] = wavread(garso_failas);

v = mfcc(s, fs); % suskaičiuojam MFCC

distmin = inf;
k1 = 0;

for l = 1:length(code) % kiekvienai paruoštai kodų knygai apskaičiuojamas atstumas
d = disteu(v, code{l});
dist = sum(min(d,[],2)) / size(d,1);

if dist < distmin
distmin = dist;
k1 = l;
end
end

string_k = sprintf('%d', k1);
modelis_skaicius = [' etaloną Nr.', string_k];
modelio_vardas_failas = ['train\Etalonas', string_k, \vardas_pavarde.txt'];
fid2 = fopen(modelio_vardas_failas, 'r');
vard_pav_nus = fread(fid2, '*char'); % modelio kalbėtojos vardas ir pavarde
vard_pav = sprintf('%c', vard_pav_nus);
rodymas = [modelis_skaicius, ' ', vard_pav];

msg = sprintf('Kalbėtojas %s atitinka %s', vardas_pavarde, rodymas);
disp(msg);

```

Euklido atstumo apskaičiavimo funkcija (Matlab m tekstas)

```

function d = disteu(x, y)
% DISTEU Euklido atstumai tarp dviejų matricų stulpelių
%
% Įvestis: x, y: dvi matricos kurių stulpeliuose įrašyta vektorių duomenys
%
% Išvestis:
%   d: Elementas d(i,j) yra Euklido atstumas tarp dviejų stulpelių vektorių X(:,i) and Y(:,j)
%
% Note:
%   Euklido atstumas D tarp dviejų vektorių X ir Y :
%   D = sum((x-y).^2).^0.5

[M, N] = size(x);
[M2, P] = size(y);

if (M ~= M2)
    error('Matricų matmenys nesutampa.')
end

d = zeros(N, P);

if (N < P)
    copies = zeros(1,P);
    for n = 1:N
        d(n,:) = sum((x(:, n+copies) - y).^2, 1);
    end
else
    copies = zeros(1,N);
    for p = 1:P
        d(:,p) = sum((x - y(:, p+copies)).^2, 1);
    end
end

d = d.^0.5;

```