

ŠIAULIŲ UNIVERSITETAS
TECHNOLOGIJOS FAKULTETAS
ELEKTRONIKOS KATEDRA

Tomas Stumbras, Ramūnas Šimkus

LIETUVIŲ KALBOS PRIEBALSIŲ SPEKTRO ANALIZĖ
Magistro darbas

Darbo vadovas:
Doc. dr. G. Daunys

Šiauliai 2010

ŠIAULIŲ UNIVERSITETAS
TECHNOLOGIJOS FAKULTETAS
MECHANIKOS INŽINERIJOS KATEDRA

TVIRTINU

KATEDROS VEDĖJAS

doc. dr. G. Daunys
2010 06

LIETUVIŲ KALBOS PRIEBALSIŲ SPEKTRO ANALIZĖ
Magistro darbas

Recenzentas	Vadovas	
ŠU Technologijos fakulteto elektronikos katedros (parašas) doc. dr. V. Laurutis 2010 06 2010 06	doc.dr.G. Daunys
	Atliko:	
	RM8 gr. stud. T. Stumbras
	RM8 gr. stud. R. Šimkus
	2010 06 07	

ŠIAULIAI, 2010

SUMMARY

In 20th century speech recognition and synthesis became very important part of science. In last 50 years were a lot of researches in speech recognition. And for the moment there are many systems for speech recognition and synthesis for popular European languages, such as French, English, Germanic languages. One of the most important benefits of this is for disabled people to make their life more comfortable and adopt them to normal life, to create new interfaces and possibility to use personal computers for them.

For Lithuanian language need researches, because of our language unique. An aim of research is a spectrum of Lithuanian consonants. Main method is linear prediction is used for finding formants. There are some main methods for speech signals analysis: linear prediction, Fourier transformation, cepstral analysis. For linear prediction are several different algorithms. We used Burg algorithm for finding formants. In this research paper records of words were annotated and analyzed by PRAAT software. Formant movement obtained with same program. Obtained data of research was processed with MATLAB 6.5 software. All consonants were divided to groups, such as voiced and unvoiced, semivowels, plosives and fricatives. In our research was analyzed influence of vowels following after consonant. Obtained data is useful for increasing quality in speech recognition and synthesis.

Paper includes:

1. Speech generation analysis.
2. Spectrum analysis methods.
3. Experiment methodology and results.
4. Experiment data analysis.

TURINYS

1. ĮVADAS.....	5
1.1 DARBO TIKSLAS.....	6
1.2 UŽDAVINIAI.....	6
2. ŠNEKAMOJI KALBA.....	7
2.1 NATŪRALUS KALBOS GENERAVIMAS.....	7
2.2 GARSŲ SKIRSTYMAS.....	8
2.3 PRIEBALSIŲ KLASIFIKAVIMAS.....	9
2.4 KALBOS SIGNALO MODELIAVIMAS TIESINE SISTEMA.....	12
3. FORMANTĖS.....	14
3.1 FORMANTĖS.....	14
3.2 TIESINĖS PROGNOZĖS MODELIS.....	16
3.3 SPLIT LEVINSON.....	19
3.4 MODIFIKUOTAS SPLIT LEVINSON ALGORITMAS.....	20
3.5 BURG ALGORITMAS.....	20
3.6 AUTOKORELIACINIS METODAS.....	23
3.7 KOVARIACINIS METODAS.....	23
3.8 SPEKTRO SKAIČIAVIMAS NAUDOJANT FURJE TRANSFORMACIJĄ.....	24
3.9 BALSIŲ POVEIKIS PRIEBALSIŲ ANTRAJAI FORMANTEI.....	25
4. TYRIMO METODIKA.....	26
4.1 DUOMENŲ RINKIMAS.....	26
4.2 DUOMENŲ APDOROJIMAS.....	28
5. TYRIMO REZULTATAI.....	29
5.1 SPROGSTAMIEJI PRIEBALSIAI.....	31
5.2 PUČIAMIEJI (FRIKATYVINIAI).....	37
5.3 SKLANDIEJI VOKALIZUOTI FRIKATYVINIAI PRIEBALSIAI.....	41
6. IŠVADOS.....	47
7. PRIEDAS 1.....	49
8. PRIEDAS 2.....	54

1. ĮVADAS

20 amžiaus antroje pusėje ypač suaktyvėjo tyrimai kalbančiojo atpažinimo ir kalbos sintezavimo srityje. Jau nuo penktojo dešimtmečio vykdomi tyrimai siekiant sukurti sistemas galinčias atpažinti šnekamąją kalbą. Ypač svarbu šioje srityje yra kokybiškai atskirti kalbos signalus. Aštuntajame dešimtmetyje buvo sukurta eilė požymių išskyrimo metodų. Svarbesni iš jų yra melų skalės keprastas, suvokimu paremta tiesinė prognozė (perceptual linear prediction), delta keprastas ir kiti.[3] Naudojant šiuolaikinę kompiuterinę įrangą, signalų atskyrimo uždavinys gerokai supaprastėja, tačiau vis tiek išlieka labai sudėtingas.

Kalbos sintezatorius yra kompiuterinė sistema, kuri gali atpažinti žmogaus balsą bet kokiame tekste. Sistema gali automatiškai sugeneruoti žmogaus balsą. Viena iš perspektyviausių balso technologijų panaudojimo sričių – įvairūs neįgaliems žmonėms skirti taikymai (akliems ir silpnaregiams, nevaikščiojantiems arba turintiems ribotas judėjimo galimybes). Balso technologijų panaudojimas dažnai yra esminis arba net vienintelis tokių žmonių integravimo į visuomenę būdas. Dar yra daugybė tokių sistemų panaudojimo sričių:

- telefoninių ryšių centrai, automatiškai aptarnaujantys telefoninius pokalbius, atpažįstantys ir suprantantys, ką skambinantis sako;
- automatinės transporto tvarkaraščių užklauso sistemos;
- automobilio mazgų valdymo žmogaus balsu priemonės;
- nenutrūkstamos kalbos atpažinimo sistemos darbui teksto redaktoriams;

Kalbos signalams analizuoti bei atskirti naudojami įvairūs jų požymiai, atsižvelgiama į žmogaus balso trakto padėtis, tariant įvairius garsus, bandoma susieti tokias padėtis su signalų požymiais. Norint sėkmingai atskirti vienus signalus nuo kitų, svarbu yra išsiaiškinti kokie signalų požymiai geriausiai juos apibūdina.

Populiariausioms Europos kalboms (anglų, vokiečių, prancūzų, ispanų, italų) yra sukurtos, naudojamos ir toliau tobulinamos kalbos atpažinimo ir sintezės priemonės, automatinio vertimo sistemos, daugiakalbiai elektroniniai žodynai, daugiakalbiai terminologiniai bankai, specialios kompiuterinės dialoginės sistemos, dideli tekstynai bei garsynai ir t.t. Lietuvių kalba pasižymi sudėtinga archaine žodžių darybos sistema ir įvairiomis kitomis ypatybėmis, darančiomis jos automatinį apdorojimą sudėtingą ir negalima tiesiogiai pritaikyti jau sukurtų sistemų. Konkrečios kalbos savybių panaudojimas yra esminis faktorius gerų kalbos informatizavimo priemonių sukūrimui. Tik tiriant lietuvių kalbos ypatumus ir esamas sistemas kitoms kalboms, galima sukurti naujas sistemas gimtajai kalbai.

1.1 Darbo tikslas

Naudojantis elektroninėmis priemonėmis atlikus eksperimentus ištirti lietuvių kalbos priebalsių spektrą, palyginti su kitų darbų rezultatais.

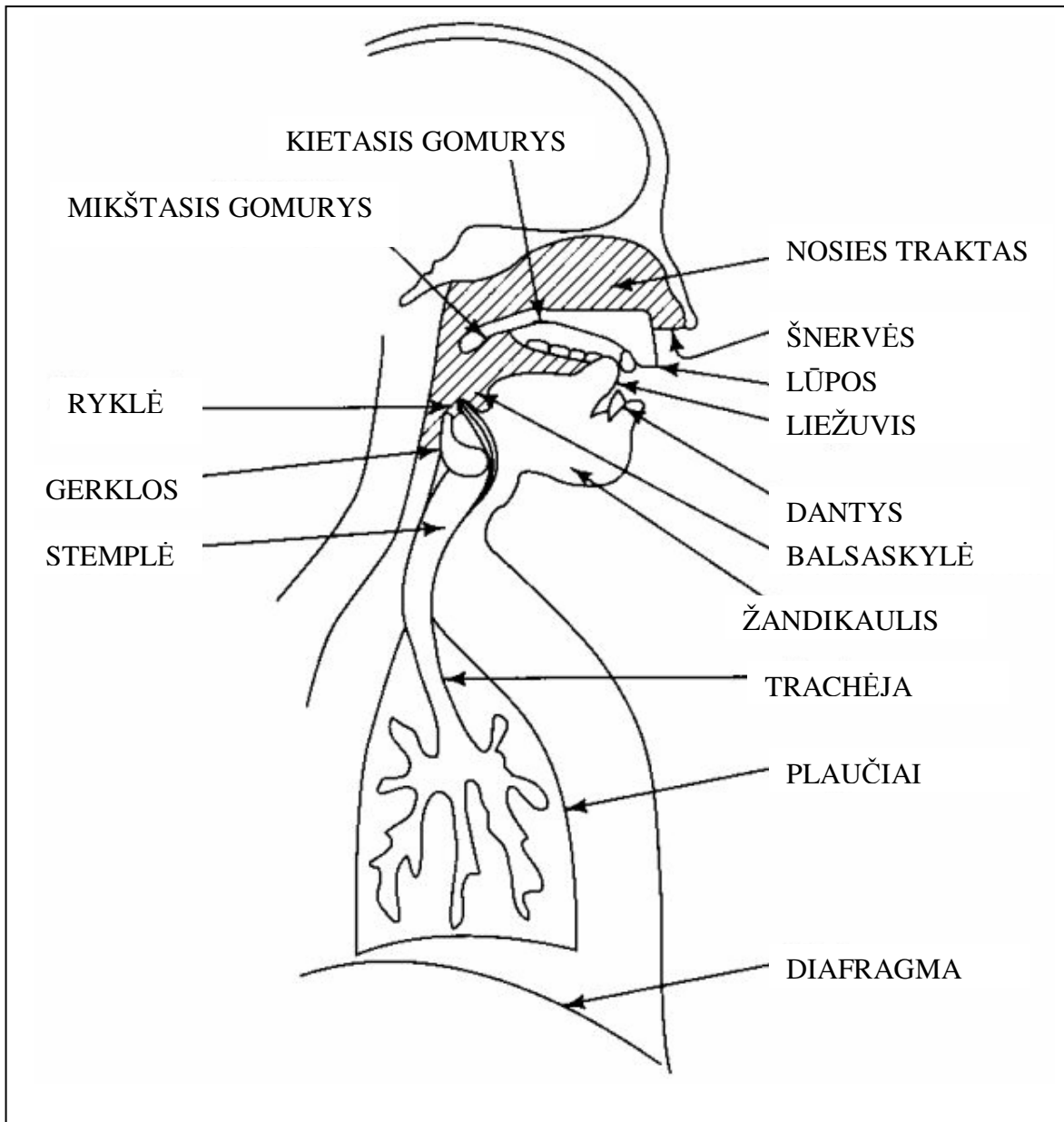
1.2 Uždaviniai

- Išanalizuoti šnekamosios kalbos generavimą.
- Išanalizuoti mokslinius darbus susijusius su priebalsių spektro analize.
- Susipažinti su formančių gavimo metodais.
- Panaudojus vieną iš galimų metodų išskirti ir išanalizuoti lietuvių kalbos priebalsių formantes.
- Balsių einančių po priebalsės įtaka priebalsio formantiniams požymiams nustatymas.

2. ŠNEKAMOJI KALBA

2.1 Natūralus kalbos generavimas

Žmogaus gebėjimas kalbėti yra per amžius susiformavusi komunikavimo priemonė galinti perduoti informaciją, bei emocijas. Kiekvienos šalies ar regiono kalba yra unikali, ji skiriasi ne tik skirtingais naudojamais žodžiais tam pačiam dalykui apibūdinti. Be to pagal regioną priklauso ir tarmė, skirtingai yra ištariamas žodis, skirtingoje žodžio vietoje yra kirčiuojama. Kiekvienas žmogus turi savo balso tembrą, dėl jo kalbos padargų skirtumų nuo kito žmogaus. Pagrindiniai kalbos generavimo padargai yra plaučiai, trachėja, gerklos ir balso bei nosies traktai. Žmogaus kalbos generavimo aparatas pateikiamas paveiksle 1 paveiksle. Oras iš plaučių per trachėją patenka į gerklas. Gerklose balso stygomis gaunami impulsai. Šie impulsai toliau patekę į balso traktą, sudarytą iš ryklės ir burnos ertmės yra tarsi filtruojami ir susidaro kalba. Vidutinis vyro balso trakas yra apie 17 cm ilgio. Kalbant kinta balso trakto forma, priklausomai nuo lūpų, liežuvio, minkštojo gomurio padėties susidaro norimi garsai. Nozalinėms priebalsėms ištarti naudojamas nosies traktas, kurio pradžia yra gomurys, o pabaiga šnervės. Nosies traktas sujungiamas su balso traktu nuleidžiant gomurį. Impulsams iš balso stygų patekus į balso traktą, priklausomai nuo trakto formos suformuojamas norimas garsas, taip nuolat išgaunant garsą po garso yra suformuojami žodžiai. Kai balso stygos yra įtemptos, sudaromi vokalizuoti garsai. Kai balso stygos yra laisvos, oro slėgis arba eina per susiaurėjimą balso trakte ir sudaro nevokalizuosius garsus, arba yra suslegiamas ir staigiai išleidžiamas sukuriant trumpalaikį garsą. [3]



1 pav. Kalbos sudarymo mechanizmas [4]

2.2 Garsų skirstymas

Visi garsai skirstomi į dvi pagrindines klases: balsius ir priebalsius. Visi garsai sukuriama judant orui per burnos ar nosies ertmes, tačiau balsiai yra skambesni, juos tariant sutinkamas mažesnis pasipriešinimas, paprastai jie būna ilgesni už priebalsius. Balsiai yra pagrindinis garso nešėjas. Priebalsiai tariami tam tikru būdu apribojant ar užblokuojant oro srautą, jie gali būti skardūs ir duslūs, kieti ir minkšti. Priebalsiai paprastai funkcionuoja tik prieš balsius ar po jų, nes kai kurių priebalsių

atskirai iš viso neįmanoma išstarti. Kai kuriose kalbose yra garsų, kurie gali būti ir balsiais ir priebalsiais, todėl skaidymas į balsius ir priebalsius yra sąlyginis.

2.3 Priebalsių klasifikavimas

Priebalsiai skirstomi pagal kelis artikuliacinius požymius: oro skverbimosi būdą, artikuliacijos vietą (aktyvųjį ir pasyvųjį kalbos padargą), balso stygų veiklą, minkštumą.

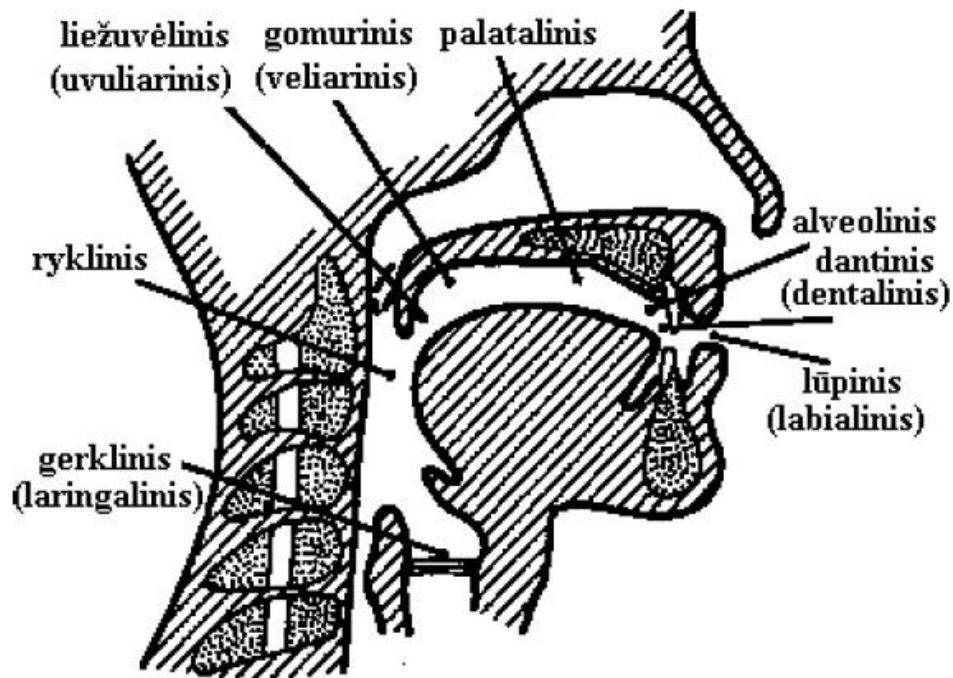
Priebalsių klasifikacija pagal artikuliacinius požymius yra paprastesnė. Klasifikuojama pagal artikuliavimo būdą ir vietą.

Pagal artikuliavimo būdą priebalsiai skirstomi į tris pagrindines grupes:

- 1) Sprogstamieji. Jie sukuriama visiškai nutraukiant oro srautą ir po to staiga atpalaiduojant, pvz., [b], [d], [g], [p], [t], [k], [c], [č];
- 2) Pučiamieji (frikatyviniai) gaunami apribojant oro srautą, tačiau ne visiškai, o tiek, kad susidarytų turbulentinis oro srautas, pvz., [s], [z], [š], [ž],[h],[f];
- 3) Sklandieji vokalizuoti frikatyviniai priebalsiai yra [v], [m], [n], [l], [r], [j]. Jie smulkiau dar skirstomi pagal oro skverbimosi būdą į paprastuosius, nozalius, šoninius ir vibrantinius. Paprastiesiems priskiriami kieti ir minkšti [v] ir [j]. Nosiniams priskiriami [m] ir [n]. Virpamiesiems priskiriamas [r], o [l]šoniniams arba kitaip vadinamiems lateraliniais priebalsiams.

Kai kurie priebalsiai yra kelių priebalsių deriniai. Pvz., afrikatos sudarytos iš sprogstamojo priebalsio ir toje pačioje vietoje artikuluojamo pučiamojo priebalsio. Visi priebalsiai gali būti kieti arba minkšti priklausomai nuo po jo sekančių balsių, išskyrus [j].

Galimos priebalsių artikuliavimo vietos pavaizduotos 2 pav.



2 pav. Artikuliavimo padargai

Pagal artikuliavimo vietą priebalsiai skirstomi į:

- 1) lūpinius, kurie dar skirstomi į abilūpinius [b], [p], [m] ir lūpinius-dantinius (apatinė lūpa prie viršutinių dantų) [v], [f];
- 2) dantinius (liežuvis prie dantų) [T], [ð];
- 3) alveolinius (liežuvio galas prie alveolių) [s], [z], [t], [d];
- 4) retrofleksinius arba alveolo-palatalinius (liežuvio galas atitraukiamas atgal prie kietojo gomurio);
- 5) palatalinius (priekinė liežuvio pagrindo dalis prie kietojo gomurio);
- 6) veliarinius [k], [g], [ŋ];
- 7) glotinius;

Priebalsiai, ypač sprogstamieji tariami žymiai trumpiau nei balsiai. Toliau pateikiama lentelė (1 lentelė) su sprogstamųjų priebalsių vidutinėmis trukmėmis ir dispersija.

1 lentelė. Sprogstamųjų priebalsių vidutinė trukmė [6]

Priebalsiai	p	p'	b	b'	t	t'	d	d'	k	k'	g	g'
Imties dydis	317	136	130	88	396	296	221	211	531	166	232	89
Vidurkis (s)	0,116	0,119	0,096	0,094	0,108	0,119	0,088	0,089	0,121	0,127	0,092	0,091
Stand. nuokrypis	0,019	0,021	0,022	0,023	0,023	0,026	0,024	0,28	0,027	0,022	0,028	0,026
Pasikl. intervalas (95%)	0,114 ÷ 0,118	0,116 ÷ 0,123	0,092 ÷ 0,100	0,089 ÷ 0,099	0,106 ÷ 0,111	0,116 ÷ 0,122	0,084 ÷ 0,091	0,085 ÷ 0,092	0,119 ÷ 0,123	0,123 ÷ 0,130	0,088 ÷ 0,095	0,086 ÷ 0,096
Stjudento kriterijus	1,61<1,97		0,72<1,97		5,84>1,97		0,43<1,97		2,33>1,97		0,23<1,97	
Trukmės santykiai	1:1		1:1		1:1,1		1:1		1:1		1:1	

Tokie garsai kaip L ir R yra sunkiai apibūdinami, nes jie turi ir balsio ir priebalsio savybių. Jie tolygiai pereina balso trakto funkcijoje tarp gretimų fonemų, todėl kontekstas kuriame jie yra labai įtakoja šių garsų akustines savybes. Geriausiai jie yra aprašomi kaip pereinamieji garsai, panašūs į balses.

Nosinės priebalsės M ir N. Šių garsų rezonansiniai dažniai pasireiškia kaip antirezonansiniai arba garso perdavimo sistemos nuliai. Jų signalų kreivės ir sonogramos, nosiniams priebalsiams balsė-nosinis priebalsis-balsė kontekste, yra labai panašios. Spektrogramose galima matyti žemų dažnių energijos koncentraciją, su vidutiniais dažniais, tačiau nėra aiškių pikų. Nozalilinės priebalsės yra tam tikra rezonansų ir antirezonansų kombinacija.

Nevokalizuoti frikatyviniai garsai F S ir Š. Šių garsų spektrų skirtumai yra nesunkiai matomi jų spektrogramose, juos atskirti nėra sunku.

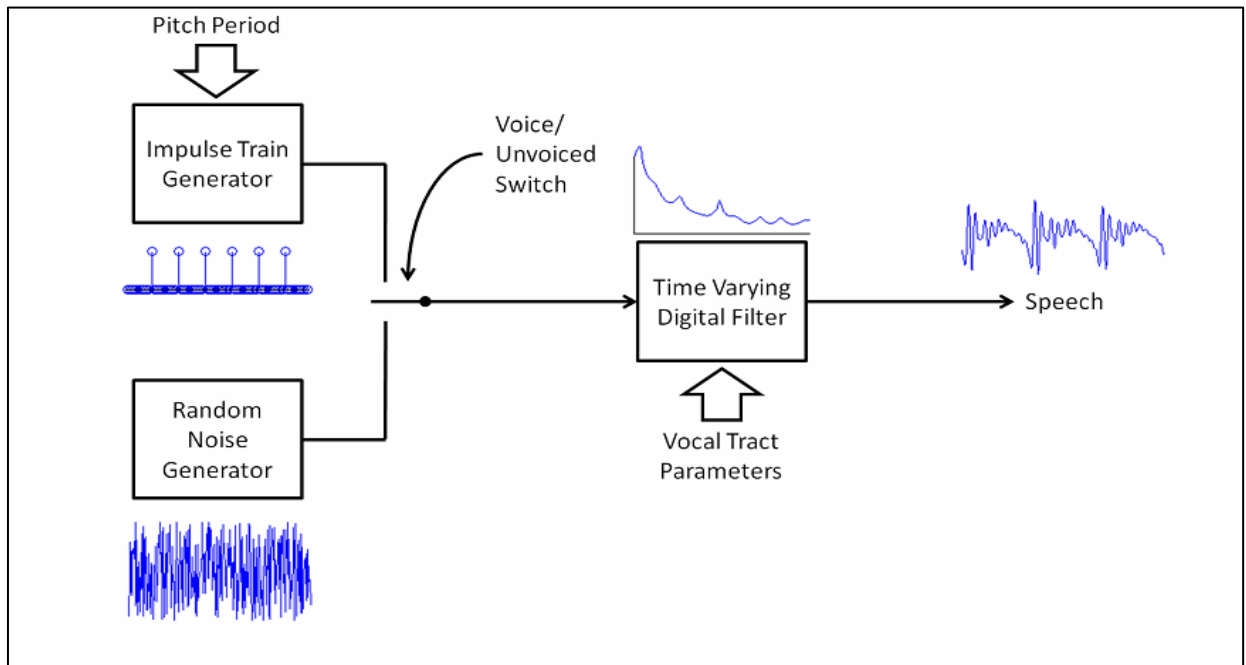
Vokalizuoti frikatyviniai garsai V , Z ir Ž yra nevozalizuočių frikatyvinių garsų dublikatai, ir spektrogramose galima matyti panašumų tarp jų (pvz. V ir F), bet vokalizuoti frikatyviniai priebalsiai skiriasi tuo, kad turi du žadinimo šaltinius jų sukūrimui. Dėl šios priežasties galima tikėtis, kad vokalizuočių frikatyvinių garsų spektrai vaizduoja dvi skirtingas komponentes.

Vokalizuoti sprogstamieji priebalsiai B, D ir G yra trumpalaikiai, nepučiamieji garsai. Šių garsų savybės yra smarkiai įtakojamos balsės, esančios po sprogstamojo priebalsio. Signalų kreivės parodo mažai informacijos apie konkretų priebalsį, nebent jo vokalizuočią sužadintą ir aukšto dažnio energijos trūkumą. Nevokalizuoti sprogstamieji priebalsiai P, T ir K yra panašūs į

vokalizuotus, tačiau nevokalizuotų sprogstamųjų priebalsių per balso trakto uždarymo periodą, kai slėgis auga, balso stygos nevirpa.

2.4 Kalbos signalo modeliavimas tiesine sistema

Akustikos teorijoje teigiama, kad kalbos sudarymas yra tiesinė sistema sudaryta iš šaltinio ir filtrų (3 pav.). Pagal šaltinio-filtro teoriją trumpi kalbos fragmentai gali būti aprašyti nurodant šaltinio ir filtro parametrus.



3 pav. Supaprastintas kalbos modelis .[9]

Šaltinio signalas gali būti vieno iš dviejų tipų: vokalizuotiems garsams tam tikrų dažnių impulsų seka, o nevokalizuotiems šaltinio signalas yra baltas triukšmas. Šitoks šaltinio modelis pagrįstai atitinka tikrą balsaskylės veiklą, nors esant mišriam žadinimo signalui jis nėra atkuriamas tiksliai.

Balso trakto filtras. Balso traktas aprašomas savo rezonansais, kurie vadinami formantėmis. Visi akustiniai vamzdžiai turi natūralius rezonansinius dažnius, kurie priklauso nuo vamzdžio formos. Kalbant keičiama balso trakto forma ir susidaro rezonansai – taip suformuojama kalba ir logiška manyti, kad ji yra statinė trumpais laiko intervalais, maždaug kas 20 ms. Kalbos susidarymas gali būti nagrinėjamas, kaip tiesinė sistema ir analizei gali būti taikomas tiesinės prognozės metodas.

Šios sistemos trūkumas yra toks, kad realus kalbos sudarymas nėra visiškai tiesinis, nes žadinimo signalas ir traktas nėra visiškai atskirai veikiantys, jie vienas kitą įtakoja.

3. FORMANTĖS

3.1 Formantės.

Formantės – tai kalbos trakto rezonansiniai dažniai. Formantę dar galima apibrėžti kaip akustinės energijos koncentraciją apie tam tikrą dažnį kalbos signale. Garso formantės parodo intensyviausius taškus dažnių juostoje (piką), jos pakankamai gerai atsispindi spektrogramose, ypač plačiajuostėse. Formantės numeruojamos nuo žemesnio dažnio ir žymimos F_1 , F_2 , F_3 ir t.t.

Balso traktui esant natūralioje būsenoje, formantės yra išsidėsčiusios kas 1000 Hz pradedant nuo 500 Hz. Taigi $F_1 = 500$ Hz, $F_2 = 1500$ Hz, $F_3 = 2500$ Hz ir t.t. Formantės kinta balso traktui keičiant formą, t.y. tariant skirtingas fonemas. Suaugusiam vyrui, pirmoji formantė kinta intervale nuo 300 Hz iki maždaug 1000 Hz. Antroji formantė gali skirtis nuo 850Hz iki 2500Hz. Lūpų padėtis tariant balsę įtakoja antrąją formantę. Trečioji formantė taipogi yra svarbus nustatant fonemos kokybę kalboje.

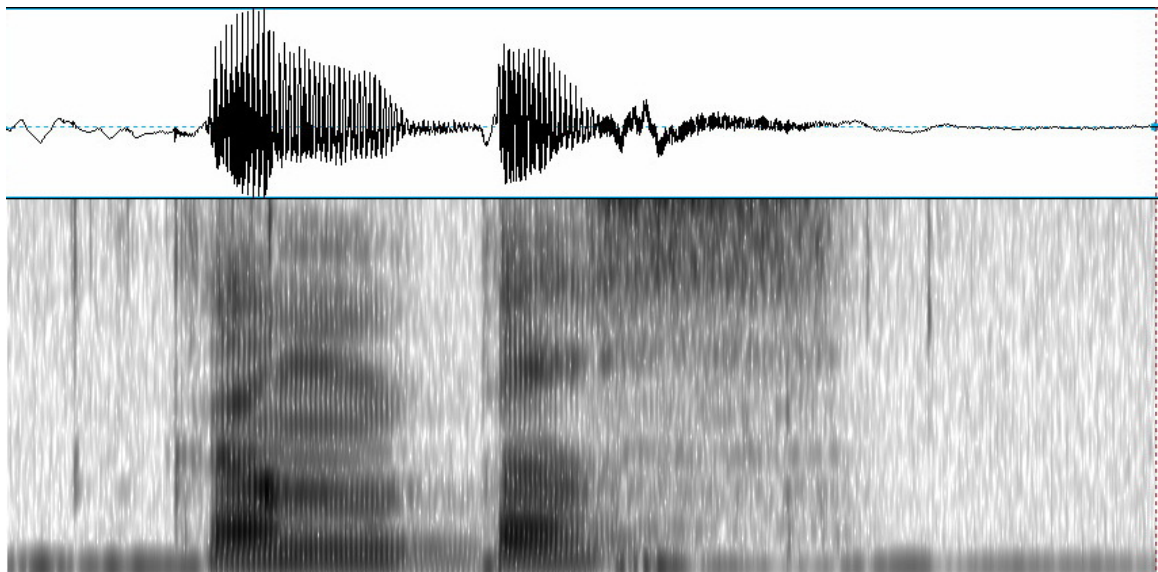
Formantės gerai nusako vokalizuosius garsus, tačiau silpnai vokalizuosius ir nevokalizuosius garsus nusako ne taip patikimai.

Formantės yra gerai matomos spektrinėse diagramose. Spektrinės diagramos apibūdina garsą tik labai trumpame laiko tarpe. Kalbančio žmogaus skleidžiamas garsas kinta laike, todėl kalbai pavaizduoti naudojamos dažnių ir laiko diagramos – spektrogramos. Spektrogramos abscisė yra laikas, ordinatė – dažnių intervalas. Spektrogramoje vaizduojamas kiekvieno dažnio bangų intensyvumas (amplitudė) tam tikru laiko tarpu. Šis intensyvumas vaizduojamas spalvos ryškumu. Kuo tam tikro dažnio bangos amplitudė yra didesnė, tuo tamsesnė intensyvumą nurodanti spalva. Toliau paveiksle 4 pateikiamos anglų kalbos priebalsių formančių kitimo ribos.

Consonant	1st Formant	2nd Formant	3rd Formant	4th Formant
/p/ /t/ /k/ /d/ /b/ /g/	300-400 300-400 200-300		1500-2000 2500-3000 2000-2500 2500-3000 2000-2500 1500-2500	
/m/ /n/ /ng/ (wing)	250-350 250-350 250-350	1000-1500 1000-1500	2500-3500 2000-3000	4500-6000
/f/ /s/ /sh/ /th/ (thin) /h/ /v/ /z/ /TH/ (that)	300-400 200-300 250-350		1500-2000 1500-2000	4000-5000 5000-6000 4500-5500 6000
/ch/ /dg/ (jot)	200-300		1500-2000 2000-3000	4000-5000
/l/ /r/ (err)	250-400 600-800	1000-1500	2000-3000 1800-2400	

4 pav. Anglų kalbos priebalsių formantės. [5]

Plačiai naudojamos plačiajuostės spektrogramos, kuriose intensyvumas vaizduojamas platesnėmis juostomis, taip išryškinant intensyviausių bangų dažnius. Plačiajuostės spektrogramos neatskleidžia detalaus intensyvumo išsibarstymo dažnių juostoje, tačiau jos yra patogesnės formančių nustatymui.



5 pav. Žodžio “kampas ” spektrograma

3.2 Tiesinės prognozės modelis

Tiesinės prognozės kodavimo (TP) teorija pradėta taikyti kalbos atpažinimui prieš daugelį metų. TP modelis palyginus gerai modeliuoja kalbos signalą. Ypač tai yra būdinga vokalizuočių garsų modeliavimui. Sistemos, atitinkančios TP modelį, dažninė reakcija yra gera balso trakto dažninės reakcijos gaubtinės aproksimacija. Nevokalizuotiems ir sprogtamiesiems garsams TP modelis yra mažiau efektyvus, bet dar priimtinas kalbos atpažinimo uždavinių sprendimui. Modelis įgalina pakankamai gerai atskirti balso traktą nuo sužadimo signalo. Dar vienas privalumas yra jo matematiškai tiksli interpretacija ir galimybė jį realizuoti programinės įrangos pagalba. Be to, TP modelio panaudojimas įgalina gauti palyginti gerus kalbos atpažinimo rezultatus.

Pagrindinė TP metodo funkcija yra įvertinti formantes remiantis įrašytu kalbos signalu. Metodo tikslas yra gauti tam tikrą diferencialinę lygtį, kurios esmė yra išreikšti kuo tiksliau eilinę garso slėgio imtį remiantis keliom prieš tai žinomom kalbos signalo reikšmėm. Kadangi naudojama tiesinė aproksimacija, tai gaunama skirtuminė diferencialinė lygtis yra vadinama tiesine prognoze, o pats signalo kodavimo metodas vadinamas tiesinės prognozės metodu.

TP metode daroma prielaida, kad kalbos signalas yra sužadinamas garso šaltiniu patalpintu kintamo skerspjūvio vamzdelio gale. Sužadintos garso bangos plinta vamzdeliu ir išsiveržia į aplinką priešingame gale. Pas žmogų garso šaltinis yra plaučiuose sudarytas atmosferinis viršslėgis ir virpančios balso stygos. Šis šaltinis charakterizuojamas intensyvumu (garsumu) ir dažniu (pagrindiniu

tonu). Gerklės ir burnos kalbos traktas formuoja kintamo skersmens vamzdelį. Kalbos traktas charakterizuojamas rezonansiniais dažniais, vadinamais formantėmis.

Tiesinė prognozės metodu yra įvertinamos formantės, atskiriant juos nuo kalbą generuojančio šaltinio, lemiančio kalbos garsumą ir toną. Formančių eliminavimas iš kalbos signalo kartais vadinamas atvirkštiniu filtravimu, ir likęs signalas vadinamas liekamuoju. Skaičiai aprašantys formantes ir liekamasis signalas gali būti saugojami ir siunčiami atskirai. Kalbos sintezavimas tiesinės prognozės metodu gaunamas apgėžiant metodą: liekamasis signalas tampa kalbos signalą generuojančiu šaltiniu, o iš formančių gaunamas filtras, atspindintis kalbos trakto geometriją. Filtruojant liekamąjį signalą ir gaunamas sintezuotas garsas. Kadangi kalbą generuojantis traktas kinta laike, tiesinė prognozė atliekama trumpais laiko tarpais, vadinamais fragmentais, langais (frames). Kaip taisyklė, vienos sekundės trukmės kalbos signalas skaidomas į 30-50 langų.

TP analizė remiasi prielaida, kad kalbos signalo reikšmę $s(n)$ laiko momentu n galima gana tiksliai išreikšti kaip ankstesnių p laiko momentų reikšmių tiesinę kombinaciją

$$\hat{s}(n) = \sum_{k=1}^p a_k s(n-k), \quad (1)$$

mes žinome, tai galime rasti momentinę klaidą, su kuria šis mūsų modelis prognozuoja seką $s(n)$:

$$\varepsilon(n) = s(n) - \hat{s}(n). \quad (2)$$

Ją galima išreikšti per sistemos žadinimo signalą $u(n)$:

$$\varepsilon(n) = gu(n), \quad (3)$$

čia g – žadinimo signalo perdavimo koeficientas. Iš (1), (2) ir (3) formuliu, gauname

$$s(n) = \sum_{k=1}^p a_k s(n-k) + gu(n). \quad (4)$$

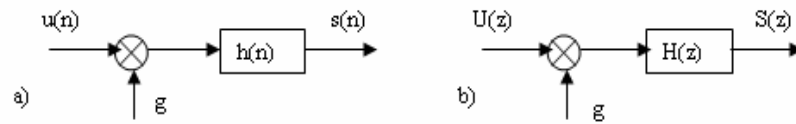
Šios išraiškos z transformacija bus:

$$S(z) = \sum_{k=1}^p a_k z^{-k} S(z) + gU(z). \quad (5)$$

Tokiu būdu, sistemos funkciją gauname:

$$H(z) = \frac{S(z)}{gU(z)} = \frac{1}{1 - \sum_{k=1}^p a_k z^{-k}}. \quad (6)$$

Priklausomybę tarp balso trakta sužadinančio signalo $u(n)$ ir kalbos signalo $s(n)$ galime pavaizduoti grafiškai, kaip parodyta pav. 6 $h(n)$ yra sistemos impulsinė reakcija. Ją galima gauti iš $H(z)$, panaudojus atvirkštinę z transformaciją.



6 pav. Funkcinis ryšys tarp sužadimo signalo ir kalbos signalo: a) laiko, b) z transformacijos srityse [3]

Generuojant nevokalizuotus garsus, balso traktas yra sužadinas triukšmu. Todėl apibendrintas kalbos generavimo modelis atrodytų kaip pavaizduota.

Mūsų tikslas yra rasti tiesinės prognozės koeficientus $\alpha = \{a_1, \dots, a_p\}$ panaudojant kalbos signalo stebėjimus taip, kad mūsų skaitmeninio filtro dažninė reakcija atitiktų analizuojamo kalbos signalo spektrines charakteristikas. Kadangi kalbos signalo spektrinės charakteristikos kinta laike, tiesinės prognozės koeficientai momentu n turi būti įvertinti iš trumpo kalbos signalo segmento, esančio momento n aplinkoje. Vadinasi, reikia ieškoti tokių tiesinės prognozės koeficientų, kurie minimizuotų vidutinę kvadratinę prognozės klaidą trumpame kalbos signalo segmente. Paprastai šitokia trumpalaikė spektrinė analizė yra atliekama gretimiams kalbos signalo segmentams (kadrams), kurių poslinkis vienas kito atžvilgiu yra apie 10 ms[13].

Apibrėžkime trumpalaikius kalbos signalo ir klaidos signalo segmentus momentu n

$$\begin{aligned} s_n(m) &= s(n+m), \\ e_n(m) &= e(n+m). \end{aligned} \quad (7)$$

Tikslas rasti tokius prognozės koeficientus, kurie minimizuotų vidutinę kvadratinę prognozės klaidą momentu n

$$E_n = \sum_m \varepsilon_n^2(m). \quad (8)$$

Perrašykime išraišką (5),

$$\varepsilon(n) = s(n) - \sum_{i=1}^p a_i s(n-i), \quad (9)$$

panaudodami įvestus pažymėjimus 7 gauname

$$\varepsilon_n(m) = s_n(m) - \sum_{i=1}^p a_i s_n(m-i). \quad (10)$$

Tada 8 išraiška atrodys

$$E_n = \sum_m \left[s_n(m) - \sum_{i=1}^p a_i s_n(m-1) \right]^2. \quad (11)$$

E_n išraiška yra kvadratinė funkcija, todėl, kad išspręstume lygtį 11 koeficientų a atžvilgiu, ieškome dalinių išvestinių $\partial E_n / \partial a_i$ ir prilyginame jas nuliui [13]

$$\frac{\partial E_n}{\partial a_i} = 0, \quad i = 1, 2, \dots, p. \quad (12)$$

Gauname p lygčių sistemą:

$$\sum_m s_n(m-k) s_n(m) = \sum_{i=1}^p \hat{a}_i \sum_m s_n(m-k) s_n(m-1), \quad (13)$$

čia \hat{a}_i yra ieškomų koeficientų a_i įverčiai, $k=1, \dots, p$ yra lygties indeksas. Šios išraiškos nariai $\sum_m s_n(m-k) s_n(m-1)$ yra trumpalaikės signalo $s_n(m)$ kovariacijos koeficientai

$$\Phi(k, i) = \sum_m s_n(m-k) s_n(m-1). \quad (14)$$

Panaudoję šį pažymėjimą, 13 išraišką galime perrašyti taip:

$$\Phi_n(k, 0) = \sum_{i=1}^p \hat{a}_i \Phi_n(k, i). \quad (15)$$

Ši išraiška apibrėžia p lygčių sistemą su p nežinomųjų a_i , $i=1, 2, \dots, p$. Vidutinės kvadratinės klaidos E_n įvertį \hat{E}_n gauname įstatę į išraišką 2 vietoj a_i jų įverčius \hat{a}_i ir pertvarkę išraišką laužtiniuose skliaustuose

$$\begin{aligned} \hat{E}_n &= \sum_m \left[s_n(m) - \sum_{i=1}^p \hat{a}_i s_n(m-1) \right]^2 = \\ &= \sum_m s_n^2(m) - \sum_{i=1}^p \hat{a}_i s_n(m) s_n(m-1) = \Phi_n(0, 0) - \sum_{i=1}^p \hat{a}_i \Phi_n(0, i). \end{aligned} \quad (16)$$

Lygčių sistemos sprendimo metodas ir koeficientų $\Phi_n(k, i)$ skaičiavimo metodas kardinaliai priklauso nuo to, koks m diapazonas yra naudojamas kalbos signalo analizei ir koks m diapazonas yra naudojamas vidutinės kvadratinės klaidos skaičiavimui. Priklausomai nuo šių sąlygų, koeficientų $\Phi_n(k, i)$ skaičiavimas susiveda į du metodus: autokoreliacinį ir kovariacinį.

3.3 Split Levinson

Split Levinson algoritmas sukurtas siekiant sumažinti autokoreliaciniame metode naudojamų operacijų skaičių. Naudojant Split Levinson algoritmą TP parametrų įverčiai gaunami tie patys, kaip ir naudojant Levinsono algoritmą, tačiau Split Levinsono algoritmas reikalauja dvigubai mažesnio sandaugų skaičiaus negu Levinsono algoritmas ir to pačio sumų skaičiaus. Esminis skirtumas, kad Split Levinson algoritmas remiasi išsigimusių prognozės polinomų skaičiavimu. Jeigu turime tiesinės prognozės polinomų aibę:

$$A_k(z) = 1 + a_k(1)z^{-1} + a_k(2)z^{-2} + \dots + a_k(k)z^{-k}, \quad k = 1, 2, \dots, p,$$

jie yra surišti priklausomybe

$$A_{k+1}(z) = A_k(z) + \rho_{k+1} z^{-(k+1)} A_k(z^{-1}),$$

kur $\rho_1, \rho_2, \dots, \rho_p$ yra atspindžio koeficientai. Jeigu atspindžio koeficientą ρ_{k+1} mes prilyginsime 1 arba -1, iš (9) gausime du išsigimusius prognozės polinomus

$$\begin{aligned} P_{k+1}(z) &= A_k(z) + z^{-(k+1)} A_k(z^{-1}) = \\ &= 1 + (a_k(1) + a_k(k))z^{-1} + (a_k(2) + a_k(k-1))z^{-2} + \Lambda + (a_k(k) + a_k(1))z^{-k} + z^{-(k+1)} \end{aligned}$$

ir

$$\begin{aligned} Q_{k+1}(z) &= A_k(z) - z^{-(k+1)} A_k(z^{-1}) = \\ &= 1 + (a_k(1) - a_k(k))z^{-1} + (a_k(2) - a_k(k-1))z^{-2} + \Lambda + (a_k(k) - a_k(1))z^{-k} - z^{-(k+1)}. \end{aligned}$$

Polinomas $P_{k+1}(z)$ yra simetrinis, $Q_{k+1}(z)$ - antisimetrinis. Todėl

$$A_{k+1}(z) = 1/2[P_{k+1}(z) + Q_{k+1}(z)].$$

Didinant modelio eilę rekurentiškai skaičiuojami išsigimę prognozės polinomiali ir p -tai eilei TP modelio parametrai surandami iš $p+1$ ir žemesnės eilės išsigimusių prognozės polinomų.

3.4 Modifikuotas Split Levinson algoritmas

Šis algoritmas buvo modifikuotas formančių trajektorijų įvertinimui. Šis algoritmas naudoja Split Levinson algoritmą kiekvienam kalbos signalo kadrui nustatyti fiksuotą spektro maksimumų skaičių. Vietoje šaknų ieškojimo standartiniame TP polinome, kad nustatytume spektro maksimumų vietas, yra konstruojamas taip vadinamasis išsigimęs prognozės polinomas, kurio nuliai yra surandami naudojant iteratyvią procedūrą. Visi šio išsigimusio prognozės polinomo nuliai yra ant vienetinio apskritimo ir rastų spektro maksimumų skaičius visais atvejais yra pusė tiesinės prognozės modelio eilės. Spektro maksimumų vietas yra traktuojamos kaip formantės, surastos naudojant šį algoritmą.

3.5 Burg algoritmas

Įprastas būdas parinkti $(a_n)_{n \in [1, k]}$ yra minimizuojant klaidų kvadratų sumą tarp tikrosios ir aproksimuotos reikšmės. Pavyzdžiui tiesioginės tiesinės prognozei reikia minimizuoti F_k sekančioje formulėje[2]:

$$F_k = \sum_{n=k}^N (x_n - y_n)^2 = \sum_{n=k}^N \left(x_n - \left(- \sum_{i=1}^k a_i x_{n-i} \right) \right)^2 \quad (17)$$

Atgalinei tiesinei prognozei reikia minimizuoti B_k pagal formulę (18):

$$B_k = \sum_{n=k}^N (x_n - z_n)^2 = \sum_{n=k}^N \left(x_n - \left(- \sum_{i=1}^k a_i x_{n-i} \right) \right)^2 \quad (18)$$

Burg idėja paremta Levinson-Durbin rekursija, tačiau su kitais apribojimais. Originaliai

Levinson-Durbin rekursijos koeficientai $(a_n)_{n \in \llbracket 1, k \rrbracket}$ yra sudėti vektoriuje $A_k = \begin{bmatrix} 1 \\ a_1 \\ a_2 \\ \mathbf{M} \\ a_k \end{bmatrix}$ ir invertuotame

vektoriuje $V_k = \begin{bmatrix} 0 \\ a_k \\ \mathbf{M} \\ a_2 \\ a_1 \\ 1 \end{bmatrix}$. Ir rekursijos formulė yra:

$$A_{k+1} = A_k + \mu V_k \quad (19)$$

Burg idėja yra pakeisti μ suskaičiavimo būdą, taip kad netenkintų pradinės uždavinio sąlygos, bet sumažintų bendrą sumą $F_k + B_k$ aprašytą formulėse (17) ir (18).

Perrašom lygtį (17) priimant kad $a_0=1$

$$F_k = \sum_{n=k}^N \left(a_0 x_n + \sum_{i=1}^k a_i x_{n-i} \right)^2 = \sum_{n=k}^N \left(\sum_{i=0}^k a_i x_{n-i} \right)^2 = \sum_{n=k}^N (f_k(n))^2 \quad (20)$$

Pasižymime:

$$f_k(n) = \sum_{i=0}^k a_i x_{n-i} \quad (21)$$

Taip pat pertvarkome formulę (18)

$$B_k = \sum_{n=0}^{N-k} \left(a_0 x_n + \sum_{i=1}^k a_i x_{n+i} \right)^2 = \sum_{n=0}^{N-k} \left(\sum_{i=0}^k a_i x_{n+i} \right)^2 = \sum_{n=k}^{N-k} (b_k(n))^2 \quad (22)$$

$$\text{Kur } b_k(n) = \sum_{i=0}^k a_i x_{n+i} \quad (23)$$

Galiausiai rašome A_{k+1} kaip vektorių koeficientų $(a_n)_{n \in \llbracket 1, k \rrbracket}$, naudojant (19) formulę ir tai kad V_k yra invertuotas A_k , ir priėmę kad $a_{k+1} = 0$ gauname:

$$a_n = a_n + \mu a_{k+1-n} \quad (24)$$

Priėmus kad radome A_k , norėdami suskaičiuoti μ naudojame (20) ir (22) lygtis ir paprasčiausiai musm reikia minimizuoti lygtį:

$$F_{k+1} + B_{k+1} = \sum_{n=k+1}^N (f_{k+1}(n))^2 + \sum_{n=0}^{N-k-1} (b_{k+1}(n))^2 \quad (25)$$

Iš (21) ir (23) gauname:

$$f_{k+1}(n) = \sum_{i=0}^{k+1} a_i x_{n-i} = \sum_{i=0}^{k+1} a_i x_{n-i} + \mu \sum_{i=0}^{k+1} a_{k+1-i} x_{n-i} = f_k(n) + \mu \sum_{j=0}^{k+1} a_j x_{n-k-1+j} \quad (26)$$

Kur

$$f_{k+1}(n) = f_k(n) + \mu b_k(n-k-1) \quad (26)$$

Iš (23) ir (24) gauname:

$$b_{k+1}(n) = \sum_{i=0}^{k+1} a_i x_{n+i} = \sum_{i=0}^{k+1} a_i x_{n+i} + \mu \sum_{i=0}^{k+1} a_{k+1-i} x_{n+i} = b_k(n) + \mu \sum_{j=0}^{k+1} a_j x_{n+k+1-j}$$

Kur

$$b_{k+1}(n) = b_k(n) + \mu f_k(n+k+1) \quad (27)$$

Įstatome (26) ir (27) į lygtį (25) gauname:

$$F_{k+1} + B_{k+1} = \sum_{n=k+1}^N (f_k(n) + \mu b_k(n-k-1))^2 + \sum_{n=0}^{N-k-1} (b_k(n) + \mu f_k(n+k+1))^2 \quad (28)$$

Tai galima minimizuoti randant išvestinę lygią 0 pagal μ .

$$\frac{\partial(F_{k+1} + B_{k+1})}{\partial\mu} = 0 \quad (29)$$

Įstatę išraišką (28) į (29):

$$0 = \frac{\partial \left(\sum_{n=k+1}^N (f_k(n) + \mu b_k(n-k-1))^2 + \sum_{n=0}^{N-k-1} (b_k(n) + \mu f_k(n+k+1))^2 \right)}{\partial\mu}$$

$$0 = 2 \sum_{n=k+1}^N b_k(n-k-1)(f_k(n) + \mu b_k(n-k-1)) + 2 \sum_{n=0}^{N-k-1} f_k(n+k+1)(b_k(n) + \mu f_k(n+k+1))$$

Iš to gauname:

$$0 = \sum_{n=k+1}^N b_k(n-k-1)f_k(n) + \mu b_k(n-k-1) + \sum_{n=0}^{N-k-1} f_k(n+k+1)(b_k(n) + \mu f_k(n+k+1))$$

Todėl:

$$0 = \sum_{n=k+1}^N f_k(n)b_k(n-k-1) + \mu \sum_{n=k+1}^N b_k(n-k-1)^2 + \sum_{n=0}^{N-k-1} f_k(n+k+1)(b_k(n) + \mu \sum_{n=0}^{N-k-1} f_k(n+k+1)^2) \text{ gali}$$

me apskaičiuoti μ pagal formulę:

$$\mu = -\frac{\sum_{n=k+1}^N f_k(n)b_k(n-k-1) + \sum_{n=0}^{N-k-1} f_k(n+k+1)(b_k(n))}{\sum_{n=0}^{N-k-1} f_k(n+k+1)^2 + \sum_{n=k+1}^N b_k(n-k-1)^2}$$

Suprastinę gauname:

$$\mu = -\frac{-2 \sum_{n=k+1}^{N-k-1} f_k(n+k+1)b_k(n)}{\sum_{n=k+1}^N f_k(n)^2 + \sum_{n=0}^{N-k-1} b_k(n)^2} \quad (30)$$

3.6 Autokoreliacinis metodas

Šiame metode yra laikoma, kad už intervalo $0 \leq m \leq N-1$ kalbos signalo reikšmės yra lygios nuliui. Tai yra ekvivalentiška prielaidai, kad kalbos signalas $s(m+n)$ yra padaugintas iš baigtinės trukmės lango $w(m)$, kurio reikšmės yra lygios nuliui už diapazono $0 \leq m \leq N-1$. Tada kalbos signalo imtys, kurios yra naudojamos parametrų vertinimui,

Dėl to dažnai atsiranda didelių prognozės klaidų šioje srityje, ypač vokalizuotiems garsams.

Taip pat srityje $m = N-1, \dots, N-1+p$ irgi dažnai atsiranda didelės prognozės klaidos dėl to, kad kalbos signalas yra prognozuojamas tik pagal keletą (mažiau negu p) ankstesnių kalbos signalo reikšmių. Nevokalizuoti kalbai šios problemos nėra tokios aktualios. Laimei, gerai parinkus lango formą, šias problemas galima išspręsti.

3.7 Kovariacinis metodas.

Kovariaciniame metode yra naudojamas kitas lango funkcijos panaudojimo būdas – fiksuojamas intervalas (kadras) $0 \leq m \leq N-1$, kuriame kvadratinė klaida yra skaičiuojama kaip [14]

$$E_n = \sum_{m=0}^{N-1} e_n^2(m)$$

ir kalbos signalas nedauginamas iš lango funkcijos. Naudojant šį metodą, gauta kovariacinė matrica yra simetrinė ($\Phi_n(i, k) = \Phi_n(k, i)$), bet ne Tioplico. Skirtingai nuo autokoreliacinio metodo, kovariacinės matricos elementai ant įstrižainių nėra vienodi. Ši lygčių sistema gali būti išspręsta naudojant Cholesky dekompozicijos metodą. Kovariacinis metodas skaičiavimo požiūriu yra daug

imlesnis ir todėl rečiau naudojamas. Šis metodas yra panašus į Proni metodą, kur signalas yra aproksimuojamas gęstančiomis eksponentėmis.

3.8 Spektro skaičiavimas naudojant Furje transformaciją.

Kalbos signalą patogiau traktuoti kaip sinusoidinių virpesių su įvairiais dažniais sumą. Signalų spektras nusako, kiek energijos tenka kuriam dažniui. Yra įrodyta, kad žmogaus klausos periferijoje atliekama savotiška spektrinė analizė, todėl spektras yra viena dažniausiai naudojamų kalbos signalo charakteristikų. Spektrui skaičiuoti naudojama diskrečioji Furje transformacija (DFT). Tiesioginė ir atvirkštinė DFT.

$$X(m) := \sum_{n=0}^{N-1} x(n) * e^{-j2\pi nm/N}$$

kur $x(n)$ – kompleksinė įėjimo signalo seka $x_r(n)+i*x_m(n)$, o $X(m)$ – kompleksinis signalo spektras $X_r(m)+i*X_m(m)$.

Nors kalbos signalai paprastai saugomi ne kaip kompleksinių, o kaip realių (ar sveikų) skaičių seka, formaliai juos galima laikyti kompleksinių skaičių seka, kurios menamos dalys lygios 0. Amplitudės spektras apibrėžiamas taip:

$$|X(m)| := \sqrt{X_r^2(m) + X_m^2(m)}$$

Paprastai (ypač grafiniam pavaizdavimui) naudojamas logaritminėje skalėje decibelais išreikštas spektras.

DFT buvo apibrėžta baigtinio ilgio sekai. Už šio intervalo ribų laikoma, kad signalas kartojamas begalinį skaičių kartų. Nagrinėjant realius kalbos signalus taip nebūna, kad signale būtų tik dažniai, kurių periodas tilptų į nagrinėjamą intervalą sveiką skaičių kartų, todėl ties intervalo ribomis atsiranda iškreipymai. Iškreipymams sumažinti signalas nagrinėjame intervale dauginamas iš lango funkcijos, kuri lygi 1 intervalo viduryje ir artėja į 0 intervalo galuose. Populiariausia yra Hemingo funkcija:

$$w_H(k) := 0,54 + 0,46 * \cos \frac{2\pi(k - N/2)}{N}$$

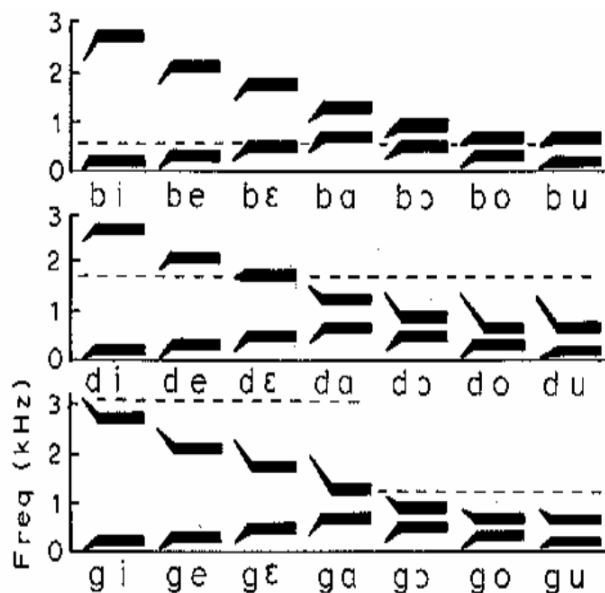
Tiesioginiu būdu skaičiuojant sekos iš N atskaitų DFT reikia sugaišti laiką, proporcingą N^2 . Skaičiavimams pagreitinti buvo sukurti greitosios Furje transformacijos (GFT) algoritmai, sumažinantys laiko sąnaudas iki $N * \log_2 N$. Šie algoritmai remiasi sekos skaidymu ir kai kuriomis kompleksinių skaičių savybėmis. Dauguma GFT algoritmų naudoja sekas, kurių ilgiai $N = 2^r$, r –

natūrinis skaičius. Į tokių paprogramių įėjimą paprastai paduodama sekos $x(n)$ realių ir menamų dalių masyvai, o išėjime tuose pačiuose masyvuose gaunamos spektro taškų realios ir menamos dalys. Įėjime menamų dalių masyvas paprastai užpildomas nuliais.

Pagal A. Lipeikos tyrimų rezultatų išvadas stabiliausios formančių trajektorijos gaunamos naudojant modifikuotą Split Levinson algoritmą ir jo pranašumas būdingas visiems lietuvių kalbos garsams.

3.9 Balsių poveikis priebalsių antrajai formantei

Abi lūpiniai priebalsiai pasižymi lygiu ar besileidžiančiu spektru, alveoliniai priebalsiai – kylančiu spektru, o gomuriniai priebalsiai turi kompaktinį spektrą. Spektro formą keičia ir po priebalsio esantis balsis, ir labiausiai kinta antrosios formantės dažnis[12]. Kituose moksliniuose darbuose sakoma, kad sprogstamojo priebalsio „K“ antrosios formantės dažnis kinta priklausomai netik nuo po jo esančio baltio, dažnis gali didėti arba mažėti ir nuo priegaidės ar prieš priebalsį esančio baltio ilgumo. Išvadose rašoma, kad priebalsio „K“ antrosios formantės dažnį pažemina 100-150Hz užpakalinės eilės balsiai „U“ ir „O“, priešakinis „I“ paaukština šį dažnį 100Hz [7], todėl gaunamas skirtumas tarp antros formantės k priebalsiui priklausomai nuo po jo einančio baltio apie 200-300Hz. Sprogstamųjų priebalsių b, d, g antrosios formantės kitimas nuo po jų sekančio baltio pavaizduotas paveiksle 7. Šių priebalsių antrosios formantės kitimas panašus į aprašytą priebalsio k kitimą. Nosiniai priebalsiai neturintys sproginimo, tačiau pagal artikuliacijos vietą panašiu, kad yra įtakojami po jų einančių baltio. Įtaka nėra tokia stipri, kaip sprogstamiesiems[12].



7 pav. Formančių kitimas priklausomai nuo po jų sekančių baltio [10]

4. TYRIMO METODIKA

4.1 Duomenų rinkimas.

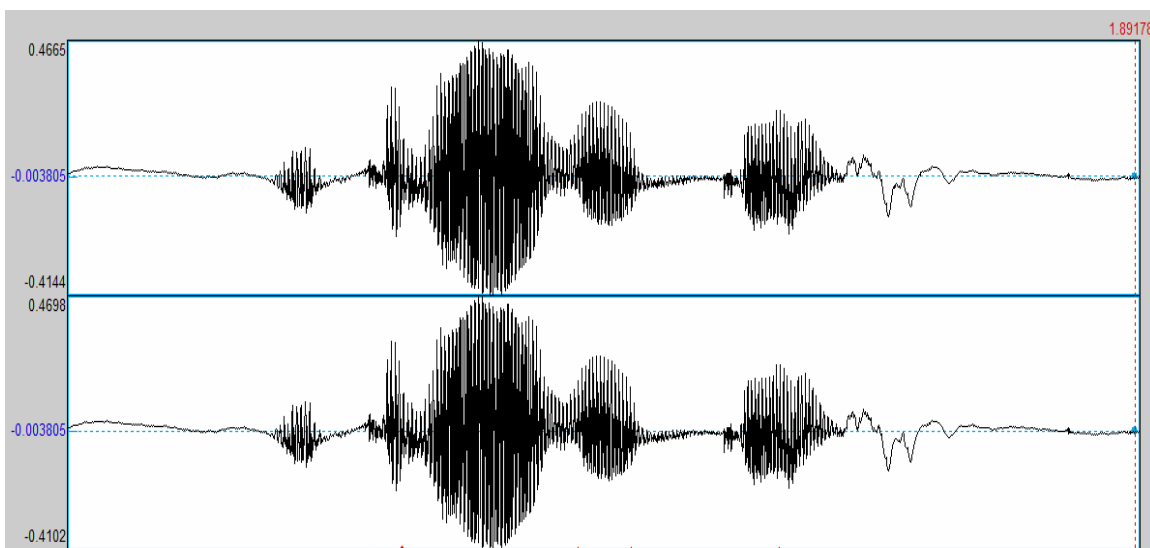
Tyrimui buvo įrašyti 558 labiausiai vartojami lietuvių kalbos žodžiai. Kadangi lietuvių kalboje yra sąlyginai nedaug žodžių kuriuose yra priebalsiai (C), (Č), (J), (H), (F), (Z), (Ž) todėl buvo dar papildomai atrinkta 270 žodžių kuriuose yra aukščiau minėtieji priebalsiai. Visi jie suskirstomi pagal juose esančias priebalses. Gautas žodžių kiekis su atskiromis priebalsėmis pateikiamas lentelėje 2.

Lentelė 2. Ištirtų priebalsių kiekiai

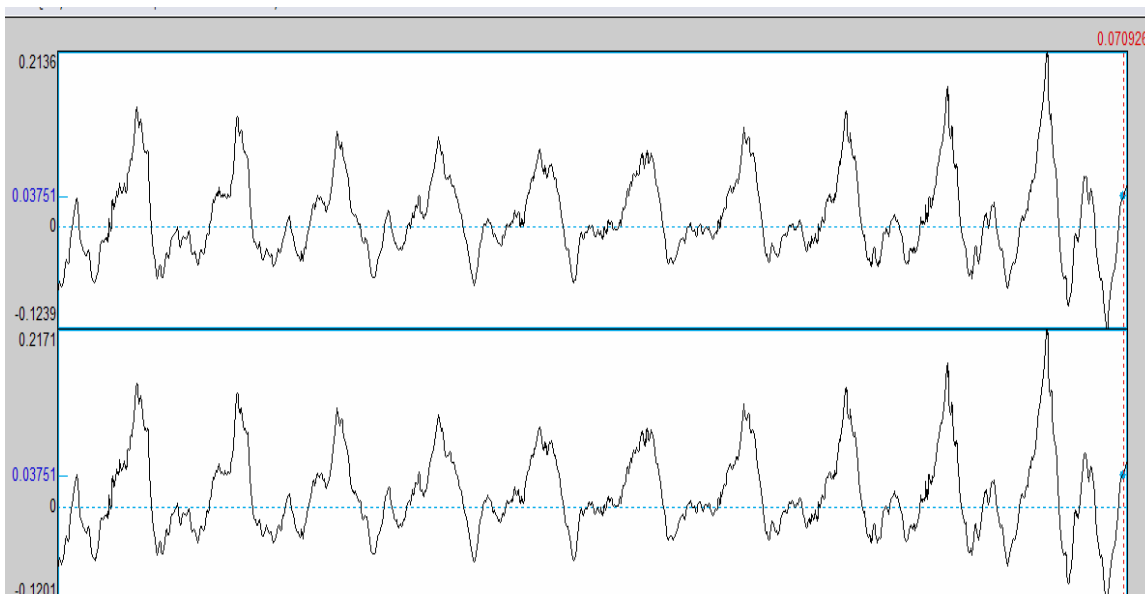
Nr.	Priebalsė	Žodžių kiekis su priebalse
1	B	67
2	C	56
3	Č	55
4	D	93
5	F	51
6	G	94
7	H	31
8	J	66
9	K	103
10	L	121
11	M	92
12	N	102
13	R	135
14	P	97
15	Š	57
16	T	145
17	V	82
18	Z	55
19	Ž	58

Žodžių įrašymui naudotas kompiuterinis mikrofonas, garso plokštė. Failų formatas WAV, diskretizacijos dažnis 44kHz, garso sistema stereo. Įrašyta 44kHz diskretizacijos dažniu, todėl, kad tuos

pačius failus būtų galima panaudoti kitiems tyrimams, kaip aukštos kokybės. Toliau sekę veiksmai buvo priebalsių fonemų kirpimas iš įrašytų žodžių. Tai buvo atliekama rankinių būdu, naudojant PRAAT garso redaktorių. Žodyje pažymint priebalsės vietą ir ji ji buvo įrašoma į kitą naują katalogą kur saugomos vienos rūšies priebalsės. Priebalsė išsaugoma, pavadinimu atitinkančiu žodį iš kurio iškerpama priebalsė. Jei žodyje yra dvi vienodos priebalsės tai prie iškirpto failo pabaigos rašomas skaičius, kuris nusako, kad tai pirmoji ar antroji (iš kairės į dešinę) priebalsė žodyje. Paveiksle 8, pavaizduotas viso žodžio virpesių signalas. Klausantis įrašo, pažymimas norimas priebalsis ir jis iškerpamas su PRAAT programos komanda „Write selected sound to WAV file“. Iškirpto priebalsio „D“ virpesių signalas matomas paveiksle 9.



8 pav. Žodžio atrodyti virpesių signalas. Stereo



9 pav. Iš žodžio „atrodyti“ iškirpta priebalsė „D“. Stereo

Išskirtų priebalsių diskretizacijos dažnis yra pakeičiamas iš 44kHz į 10kHz, naudojant PRAAT programos komandą ir sukurtą skriptą. Skripto kodas pateikiamas pirmajame priede. Toks diskretizacijos dažnio pakeitimas yra rekomenduojamas norint tiksliau išskirti formantes. PRAAT programa naudoja Burg algoritmą formančių nustatymui. Kadangi garso įrašas yra stereo, formantės nustatomos abiemis kanalams ir formančių reikšmės surašomos į tekstinį failą. Kiekvienai priebalsiai yra sukuriamas tekstinis failas su duomenų imtimis. Tai atliekama su PRAAT programa ir jai parašytu skriptu, kuris pateikiamas priede 1.

4.2 Duomenų apdorojimas.

Duomenų apdorojimui naudota MATLAB 6.5 programinė įranga. Formančių duomenų tekstiniai failai buvo rūšiuojami į grupes pagal priebalsio ir po jų sekančią balsę („DA“, „DE“, „DO“) ir panašiai. Iš formančių tekstinio duomenų failo buvo nuskaitytos pirmos trys formantės ir formančių ilgis (B). Priebalsės formantės laiko atžvilgiu buvo susiskirstomi į dvi grupes: priebalsės pradžios ir priebalsės pabaigos. Norėdami gauti tikslesnius rezultatus buvo atmetami formantės kurių ilgis viršydavo 600 ribą. Gauti rezultatai buvo dar karta filtruojami ir atmetamos formantės labai nutolusios nuo duomenų populiacijos vidurkio. Naudojant MATLAB funkcijas („mean“, „std“, „hist“) buvo rasti duomenų imčių vidurkiai, vidutiniai kvadratiniai nuokrypiai, nubraižytos histogramos. Atliktas analitinis duomenų apdorojimas naudojant sjudento testą (ttest2), siekiant palyginti priebalsio pradžios ir pabaigos formančių imčių skirstinius. Buvo gaunamos dvi hipotezių rūšys – nulinė ir alternatyvioji. Nulinė hipotezė (angl. null hypothesis) teigia, kad lyginamų imčių skirstiniai nesiskiria. Ji žymima H₀. Alternatyvioji hipotezė (angl. Alternative hypothesis) teigia priešingai – lyginamų imčių skirstiniai skiriasi ir žymima H₁.

5. TYRIMO REZULTATAI

Bendros vidutinės visų priebalsių formančių reikšmės pateikiamos lentelėse 3, 4, 5, 6, 7. Šiose lentelėse reikšmės pateikiamos priebalsių formančių reikšmės neskirstant jas į kietas ir minkštas pagal jų einantį balsį. Lentelėje pirmiausia pateikiama pradžios formančių reikšmės, sekantčios trys formantės yra pabaigos, žemiau seka palyginimas tarp pradžios ir pabaigos formančių imčių pagal stjudento hipotezę. O galiausiai pateikiami visos iškirptų priebalsių formančių vidurkiai.

3 lentelė. Bendra priebalsių B, C, Č, D formančių vidurkių lentelė. Neskirstant pagal po priebalsio einančias balse.

		B		C		Č		D	
Priebalsio pradžios	F1	280	65	449	152	1776	786	298	79
	F2	1208	202	1538	224	2719	316	1330	244
	F3	2342	209	3128	489	3370	319	2606	155
Priebalsio pabaigos	F1	290	77	517	106	2036	372	282	70
	F2	1220	221	1521	232	2643	173	1333	241
	F3	2349	212	3041	418	3370	227	2626	142
Stjudento testo rezultatai		H 1.0 P 0.041 H 0.0 P 0.486 H 0.0 P 0.600		H 1.0 P 0.002 H 0.0 P 0.392 H 1.0 P 0.001		H 1.0 P 0.000 H 1.0 P 0.000 H 0.0 P 0.985		H 1.0 P 0.000 H 0.0 P 0.886 H 1.0 P 0.040	
Visos priebalsės	F1	286	72	476	139	1913	618	290	75
	F2	1215	213	1531	227	2675	247	1331	242
	F3	2346	210	3076	450	3370	274	2617	148

4 lentelė. Bendra priebalsių F, G, H, J formančių vidurkių lentelė. Neskirstant pagal po priebalsio einančias balse.

		F		G		H		J	
Priebalsio pradžios	F1	490	178	303	60	409	85	389	88
	F2	1365	195	1567	501	1416	246	1891	303
	F3	2708	453	2277	185	2748	560	2454	245
Priebalsio pabaigos	F1	513	181	284	47	432	115	397	102
	F2	1363	175	1587	472	1372	281	1813	239
	F3	2831	482	2267	216	2593	501	2373	193
Stjudento testo rezultatai		H 0.0 P 0.283 H 0.0 P 0.916 H 1.0 P 0.001		H 1.0 P 0.000 H 0.0 P 0.642 H 0.0 P 0.505		H 0.0 P 0.208 H 0.0 P 0.273 H 1.0 P 0.013		H 0.0 P 0.386 H 1.0 P 0.002 H 1.0 P 0.000	

Visos priebalsės	F1	501	180	291	53	424	106	394	97
	F2	1364	184	1579	483	1390	267	1843	268
	F3	2779	473	2272	203	2654	529	2405	218

5 lentelė. Bendra priebalsių K, L, M, N formančių vidurkių lentelė. Neskirstant pagal po priebalsio einančias balse.

		K		L		M		N	
Priebalsio pradžios	F1	833	449	345	58	264	35	281	48
	F2	1741	537	1317	243	1182	121	1166	86
	F3	2914	556	2676	145	2336	202	2504	222
Priebalsio pabaigos	F1	964	446	344	51	270	22	295	40
	F2	1727	547	1321	246	1170	77	1180	96
	F3	3117	577	2702	138	2300	172	2502	239
Stjudento testo rezultatai		H 1.0 P 0.001 H 0.0 P 0.774 H 1.0 P 0.000		H 0.0 P 0.870 H 0.0 P 0.803 H 1.0 P 0.007		H 1.0 P 0.002 H 0.0 P 0.060 H 1.0 P 0.001		H 1.0 P 0.000 H 0.0 P 0.066 H 0.0 P 0.882	
Visas priebalsis	F1	906	452	345	54	267	28	289	44
	F2	1733	542	1319	245	1175	97	1174	92
	F3	3027	576	2691	142	2316	186	2503	232

6 lentelė. Bendra priebalsių P, R, Š, T formančių vidurkių lentelė. Neskirstant pagal po priebalsio einančias balse.

		P		R		Š		T	
Priebalsio pradžios	F1	400	136	347	58	1387	375	679	443
	F2	1252	209	1356	196	2365	339	1863	493
	F3	2659	495	2324	457	3317	402	2927	493
Priebalsio pabaigos	F1	380	129	355	53	1434	347	812	387
	F2	1267	212	1389	200	2313	344	1918	535
	F3	2757	540	2280	411	3252	374	3044	426
Stjudento testo rezultatai		H 0.0 P 0.156 H 0.0 P 0.394 H 1.0 P 0.008		H 0.0 P 0.051 H 1.0 P 0.015 H 0.0 P 0.118		H 0.0 P 0.230 H 0.0 P 0.104 H 0.0 P 0.086		H 1.0 P 0.000 H 0.0 P 0.137 H 1.0 P 0.000	
Visas priebalsis	F1	390	133	352	55	1414	359	757	416
	F2	1261	211	1376	199	2335	342	1895	518
	F3	2717	524	2299	432	3279	387	2995	459

7 lentelė. Bendra priebalsių V, Z, Ž formančių vidurkių lentelė. Neskirstant pagal po priebalsio einančias balse.

		V		Z		Ž	
Priebalsio	F1	306	60	347	60	325	63

pradžios	F2	1198	195	1532	140	1524	177
	F3	2314	225	2742	103	2707	281
Priebalsio pabaigos	F1	315	58	328	60	322	58
	F2	1244	204	1527	135	1518	152
	F3	2294	178	2772	93	2757	220
Studento testo rezultatai		H 1.0 P 0.039 H 1.0 P 0.008 H 0.0 P 0.172		H 1.0 P 0.000 H 0.0 P 0.655 H 1.0 P 0.000		H 0.0 P 0.568 H 0.0 P 0.811 H 0.0 P 0.069	
Visas priebalsis	F1	311	59	337	61	323	60
	F2	1227	202	1529	137	1521	165
	F3	2302	199	2758	98	2735	249

Priebalsiai B, D, G, Z ir Ž ir V turi panašios vertės pirmasias formantes apie 300Hz – 350Hz. C, H, J, P, R, L pirmoji formantė išsibarsčiusi apie 350Hz - 400Hz dažnį. Nosinių M ir N F1 yra iki 250-300Hz. Š F1 yra apie 1400Hz, T – F1 750-850Hz., o priebalsis K F1 reikšmes turi 800-900Hz diapazone.

F2 išsidėstę B, D, G, F, H, L, P, R, V 1500-1600Hz dažnių diapazone. C, G, Z, Ž F2 dažniai yra apie 1500-1600Hz. Žemiausias F2 reikšmes turi M ir N 1100-1200Hz. Aukščiausią antrąją formantę turi Č apie 2600Hz. J ir T antrosios formantės vidutinės reikšmės yra tarp 1800-1900Hz

5.1 Sprogstamieji priebalsiai.

Jie sukuriama visiškai nutraukiant oro srautą ir po to staiga atpalaiduojant. Sprogstamojo vokalizuojo priebalsio „B“ pirmoji formantė (F1) vidutinė reikšmė kinta nuo 273-300Hz priklausomai nuo balsės kuri yra tariama po jos. Skirtumas nėra didelis, todėl galima teigti, kad pirmajai formantei po priebalsės einantis balsis įtakos neturi. Antrosios formantės vidutinės reikšmės kitimas yra nuo 1169 iki 1353. Didžiausia įtaką F2 vidutinei reikšmei turi balsė „I“. Apskritai minkštieji „B“ turi didesnes F2 reikšmes, negu kietieji. Trečiosios formantės kitimas pagal po priebalsės einantį balsį yra labai nedidelis. Formančių kitimas fonemos tarimo metu yra nepastebimas, priebalsės pradžia ir pabaiga turi tuos pačius formančių dažnių vidurkius. Duomenys apie formančių reikšmės pateikiamos 8 lentelėje. Atlikus porinį Studento testą, tarp priebalsio pradžios ir pabaigos formančių, pastebėta, kad imčių vidurkiai nesutampa F1, kai po B seka balsės A ir O, F2 nesutampa kai po B seka E ir Ė balsės. Trečioji formantė visada turėjo nulinę studento hipotezę.

8 lentelė. Priebalsio B formančių vidurkiai

Priebalsis	Formantė	Priebalsio pradžia	Priebalsio pabaiga	Visa Priebalsis
------------	----------	--------------------	--------------------	-----------------

		vidutinė reikšmė	vidutinis kvadratinis nuokrypis	vidutinė reikšmė	vidutinis kvadratinis nuokrypis	vidutinė reikšmė	vidutinis kvadratinis nuokrypis
B(A)	F1 200-600	271	48	310	84	293	73
	F2 900-1800	1183	212	1193	213	1189	212
	F3 2000-2900	2370	200	2399	207	2386	204
B(U)	F1 200-600	286	70	282	69	283	69
	F2 900-1800	1201	187	1144	166	1169	177
	F3 2000-2900	2333	199	2316	208	2323	204
B(O)	F1 200-600	241	27	316	64	279	61
	F2 900-1800	1206	202	1232	311	1219	259
	F3 2000-2900	2294	211	2341	206	2320	206
B(E)	F1 200-600	285	88	281	75	283	81
	F2 900-1800	1140	21	1296	184	1257	173
	F3 2000-2900	2276	203	2284	193	2281	197
B(I)	F1 200-600	305	72	295	103	300	89
	F2 900-1800	1366	219	1338	265	1353	239
	F3 2000-2900	2440	220	2461	233	2451	226
B(Ė)	F1 200-600	272	44	273	54	273	50
	F2 900-1800	1101	51	1234	218	1183	185
	F3 2000-2900	2301	201	2314	187	2308	193

Tai pačiai vokalizuočių sprogstamųjų priebalsių grupei priklauso „D“. Jo formantės pasižymi panašiomis savybėmis. F1 kinta nuo 275Hz iki 316Hz. Galima teigti, kad pirmoji formantė turi tokį pat dažnį kaip priebalsio „B“ ir nėra įtakojamas po jo einančio balsio. Antrosios formantės vidutinės reikšmės kinta 1148-1543 intervale. Ir pastebimas apie 200Hz skirtumas tarp kietųjų ir minkštųjų priebalsių D. Didžiausią įtaką F2 turi balsis „E“. F3 vidutinių reikšmių intervalas yra nuo 2559-2670 skirstant pagal po priebalsio einančią balsę. Skirtumas yra mažas ir įtakos trečiajai formantei aplink esantys balsiai neturi. Tačiau Priebalsio „D“ F3 dažnis didesnis už Priebalsio „B“ maždaug 200-300Hz. Priebalsio formančių kitimas tarimo metu kinta labai nežymiai ir skirtumas yra tik atsitiktinis, lyginant priebalsio pradžios ir pabaigos formantes. Studento nuline hipotezė buvo gauta pirmajai formantei tik su I ir Ė balsiais einančias po priebalsio, antrajai formantei su Y ir Ė, trečiajai formantei su U. Kitais atvejais studento hipotezė buvo alternatyvi H1.

9 lentelė. Priebalsio D formančių vidurkiai

Priebalsis	Formantė	Priebalsio pradžia		Priebalsio pabaiga		Visa Priebalsis	
		vidutinė reikšmė	vidutinis kvadratinis nuokrypis	vidutinė reikšmė	vidutinis kvadratinis nuokrypis	vidutinė reikšmė	vidutinis kvadratinis nuokrypis
DA	F1 200-600	305	90	296	84	300	86
	F2 900-1800	1292	230	1282	222	1287	225
	F3 2200-	2635	151	2638	132	2636	141

	2900						
DU	F1 200-600	275	42	267	41	271	42
	F2 900-1800	1141	144	1175	182	1157	163
	F3 2200-2900	2616	91	2654	107	2638	102
DO	F1 200-600	305	104	293	90	298	96
	F2 900-1800	1134	153	1163	170	1148	160
	F3 2200-2900	2559	128	2559	153	2559	141
DE	F1 200-600	268	40	272	45	271	43
	F2 900-1800	1524	138	1562	112	1543	126
	F3 2200-2900	2660	124	2678	109	2670	116
DI	F1 200-600	344	97	294	79	316	91
	F2 900-1800	1426	234	1467	222	1448	227
	F3 2200-2900	2574	169	2604	150	2588	160
DĖ	F1 200-600	285	56	264	52	275	55
	F2 900-1800	1478	226	1335	252	1424	244
	F3 2200-2900	2575	200	2594	178	2585	189

Trečiasis šiai grupei priklausantis priebalsis „G“. Pirmosios formantės reikšmės yra labai panašios, kaip ir kitų tai pačiai grupei priklausančių priebalsių. Jų supančios balsės pastebimos įtakos neturi pirmajai formantei. Antriosios formantės reikšmės intervale 1195-2122. Skirtumai tarp kietųjų G ir minkštųjų yra dideli, siekia beveik 1kHz. Žemiausia F2 dažniai yra su „U“ ir „O“ balsėmis. Tarpinė F2 reikšmė 1539Hz yra su balse „A“, o visų minkštųjų „G“ (GE, GI, GĖ) antrosios formantės dažnis yra apie 2000Hz. Kalbant apie F3 dažnį, jis yra artimas kitai vokalizuočių sprogstamųjų priebalsių grupei priklausančiai priebalsei „B“. Trečiosios formantės kitimo ribos yra nuo 2227-2474 ir aplink esančios balsės pastebimo įtakos neturi. Lyginant priebalsio formantes pradžioje ir pabaigoje, F1 pastebėtas skirtumas, kai po „G“ eina balsis „O“, tačiau šį skirtumą galima atmesti dėl galimos duomenų klaidos ar dėl Priebalsio iškirpimo netikslumo, nes vidutinis kvadratinis nuokrypis yra didelis. Stjundeto hipotezė alternatyvi(H1), kuri teigia, kad imčių skirstiniai skiriasi. Tarp pradžios ir pabaigos pirmoji formantė su visais kietais G priebalsio variantais. Antrajai formantei atlikus stjudento testą alternatyvi hipotezė(H1) buvo gauta tik su balsiu E, tračiai formantei su A.

10 lentelė. Priebalsio G, formančių vidurkiai

Priebalsis	Formantė	Priebalsio pradžia		Priebalsio pabaiga		Visa Priebalsis	
		vidutinė reikšmė	vidutinis kvadratinis nuokrypis	vidutinė reikšmė	vidutinis kvadratinis nuokrypis	vidutinė reikšmė	vidutinis kvadratinis nuokrypis

GA	F1 200-600	320	65	292	48	302	56
	F2 900-2600	1581	479	1515	427	1539	447
	F3 1500-2900	2312	196	2243	204	2271	204
GU	F1 200-600	323	53	275	54	294	59
	F2 900-2600	1255	358	1173	263	1209	309
	F3 1500-2900	2188	183	2256	191	2227	190
GO	F1	284	60	434	276	354	204
	F2 BE	1208	186	1182	200	1195	190
	F3	2297	325	2511	499	2396	422
GE	F1 200-600	265	27	277	34	273	32
	F2 900-2600	1521	554	2136	137	1953	425
	F3 1500-2900	2249	108	2359	267	2305	212
GI	F1 200-600	263	23	261	29	262	27
	F2 900-2600	2129	294	2117	137	2122	215
	F3 1500-2900	2303	183	2331	238	2316	210
GĖ	F1 200-600	288	40	279	36	283	37
	F2 900-2600	2047	111	2054	291	2052	247
	F3 1500-2900	2362	249	2599	302	2474	294

Lyginant priebalsę P kietąją ir minkštąją galima pastebėti, kad didžiausias skirtumas yra F₂ formantei, siekiantis 500Hz. Kieto priebalsio antroji formantė yra mažesnė ir priebalsio tarimo pabaigoje jis dar sumažėja, o minkšto priebalsio F₂ yra didesnis pradžioje ir į priebalsio tarimo pabaigą dar padidėja. Kieto priebalsio F₂ sumažėja nuo 1200Hz iki 1150Hz, o minkštos padidėja nuo 1300Hz iki 1500Hz. Tarp kietos ir minkštos P F₁ ir F₃ formančių panašių tendencijų nepastebėta. Kaip rodo apibendrinti rezultatai kietos P F₁ vidurkis yra 381 Hz; 283 Hz minkštos P atitinkamai 348Hz; 300Hz; 312Hz. Trečioji formantė kinta tarp 2700-2300Hz.

11 lentelė. Priebalsio P formančių vidurkiai

Priebalsis	Formantė	Priebalsio pradžia		Priebalsio pabaiga		Visa Priebalsis	
		vidutinė reikšmė	vidutinis kvadratinis nuokrypis	vidutinė reikšmė	vidutinis kvadratinis nuokrypis	vidutinė reikšmė	vidutinis kvadratinis nuokrypis
PA	F1	399	140	365	125	381	133
	F2	1202	162	1164	122	1180	141
	F3	2645	484	2713	540	2685	518
PU	F1	286	70	282	69	283	69
	F2	1201	187	1144	166	1169	177

	F3	2333	199	2316	208	2323	204
PO	F1	1132	24	698	439	791	428
	F2	2079	620	1481	569	1665	638
	F3	3361	223	2860	484	2967	485
PE	F1	379	89	314	56	348	80
	F2	1301	271	1543	184	1431	257
	F3	2935	611	2688	533	2804	581
PI	F1	305	72	295	103	300	89
	F2	1366	219	1338	265	1353	239
	F3	2440	220	2461	233	2451	226
PĖ	F1	295	68	326	87	312	80
	F2	1381	276	1417	250	1400	262
	F3	2505	521	2671	555	2601	545

Duslusis priebalsis T minkštos ir kietos pirmoji formantė F_1 kinta nuo 708Hz iki 901Hz. Pirmoji formantė visais atvejais į priebalsio pabaigą padidėja. Stiprus pokytis matomas kaip po priebalses eina balsė „o“ ir sudaro skiemenį „to“. Priebalsio pradžios vidurkis yra 683 Hz, o priebalsio tarimo pabaigoje jis padidėja iki 1002Hz. F_2 vidurkis svyruoja tarp 1800Hz-2000Hz tiek [t], [t̃] priebalsio antrosios formantės dažnis linkęs mažėti tarimo pabaigoje. Išimtis būtų skiemenyje „to“ šiuo atveju F_2 didėja ir pasiekia 2135Hz. Trečioji formantė kaip ir antroji tarimo pabaigoje mažėja išskyrus „to“ ir „ti“ skiemenyse. F_3 vidurkis apie 3000Hz.

12 lentelė. Priebalsio T formančių vidurkiai

Priebalsis	Formantė	Priebalsio pradžia		Priebalsio pabaiga		Visa Priebalsis	
		vidutinė reikšmė	vidutinis kvadratinis nuokrypis	vidutinė reikšmė	vidutinis kvadratinis nuokrypis	vidutinė reikšmė	vidutinis kvadratinis nuokrypis
TA	F1	787	374	840	365	822	367
	F2	1856	515	1824	503	1836	506
	F3	3133	534	3021	402	3065	461
TU	F1	839	284	882	267	865	271
	F2	2049	313	1809	484	1902	436
	F3	3020	402	2984	237	2999	313
TO	F1	683	408	1002	252	901	341
	F2	1999	368	2135	490	2080	447
	F3	2984	426	3175	274	3111	341
TE	F1	797	418	801	368	800	388
	F2	2018	419	1844	500	1919	472
	F3	3124	496	3074	454	3095	471
TI	F1	590	392	797	400	708	409
	F2	1814	511	1948	555	1886	539
	F3	2832	465	3036	447	2949	465

Duslusis sprogstamasis priebalsis K kietas ir minkštas stipriai skiriasi visose formantėse. Kieto priebalsio K F₁ vidurkis 420-520Hz, tarimo pabaigoje formantės dažnis padidėja apie 20-40Hz. Lyginant kieto priebalsio variantus „ka“, „ku“, „ko“ priebalsio pirmosios formantės vidurkis atitinkamai yra 440 - 478 - 497Hz. Minkšto K F₁ pasiskirsto apie 1000Hz. Didelė įtaka yra antrajai formantei, kai po priebalsio eina [E] ir [I] balsės, F2 dažnis yra didesnis apie 1kHz negu tada, kai po tirtąjo priebalsio seka balsiai [A], [O], [U]. Trečioji formantė taipogi yra įtakojamos balsio, kietasis K turi 300-500Hz žemesnį formantės dažnį negu minkštasis K. Pradžios ir pabaigos įverčiai šiek tiek skiriasi dauguma atvejų K pabaigoje turi aukštesnio dažnio formantes.

13 lentelė. Priebalsio K formančių vidurkiai

Priebalsis	Formantė	Priebalsio pradžia		Priebalsio pabaiga		Visa Priebalsis	
		vidutinė reikšmė	vidutinis kvadratinis nuokrypis	vidutinė reikšmė	vidutinis kvadratinis nuokrypis	vidutinė reikšmė	vidutinis kvadratinis nuokrypis
KA	F1	421	106	464	116	440	112
	F2	1406	241	1429	215	1420	226
	F3	2791	542	2980	600	2891	581
KU	F1	466	101	488	141	478	122
	F2	1334	301	1101	140	1175	231
	F3	2671	503	2955	651	2827	602
KO	F1	480	116	516	177	497	147
	F2	1045	166	1112	138	1090	150
	F3	2641	529	3007	545	2859	565
KE	F1	1089	394	1161	605	1126	507
	F2	2213	245	2443	200	2340	247
	F3	3183	425	3321	486	3254	457
KI	F1	1560	136	1333	245	1424	234
	F2	2368	159	2401	222	2390	202
	F3	3605	331	3535	242	3563	275

Pagal eksperimento rezultatus minkšto C priebalsio visos formantės kinta minimaliai. Pirmoji formantė yra apie 500Hz, F2 apie 1500Hz, trečioji formantė 3100Hz. Pagal Sjudento atlikta testą lyginant priebalsio pradžią ir pabaigą parodė, kad formantės nekinta priebalsio tarimo eigoje.

14 lentelė. Priebalsio C formančių vidurkiai

Priebalsis	Formantė	Priebalsio pradžia		Priebalsio pabaiga		Visa Priebalsis	
		vidutinė reikšmė	vidutinis kvadratinis nuokrypis	vidutinė reikšmė	vidutinis kvadratinis nuokrypis	vidutinė reikšmė	vidutinis kvadratinis nuokrypis
	F1	433	95	541	89	469	105

CE	F2	1487	172	1434	166	1459	170
	F3	3131	456	3145	427	3140	437
CI	F1	487	174	509	116	497	150
	F2	1559	237	1559	258	1559	245
	F3	3154	477	3024	399	3079	438

Priebalsio Č pirmoji formantė tarimo eigoje kyla ir dažnis padidėja vidutiniškai apie 300Hz. Antroji formantė linkusi mažėti tarimo metu. Trečioji formantė galima sakyti laiko atžvilgiu nekinta ir vidurkis siekia 3400Hz. Vertinant duomenų histogramas pastebima labai didelė duomenų sklaida pirmajai formantei. Galima teigti, kad pirmoji formantė yra labai netiksli arba ji nesusiformuoja.

15 lentelė. Priebalsio Č formantų vidurkiai

Priebalsis	Formantė	Priebalsio pradžia		Priebalsio pabaiga		Visa Priebalsis	
		vidutinė reikšmė	vidutinis kvadratinis nuokrypis	vidutinė reikšmė	vidutinis kvadratinis nuokrypis	vidutinė reikšmė	vidutinis kvadratinis nuokrypis
ČE	F1	1657	1003	2113	655	1862	884
	F2 BE	2892	159	2761	114	2814	148
	F3	3378	179	3536	127	3449	175
ČIA	F1	1896	718	2145	391	2016	596
	F2 BE	2765	317	2692	137	2723	234
	F3	3489	317	3481	183	3485	261
ČIU	F1	1680	804	1919	266	1811	585
	F2 BE	2606	341	2510	200	2551	273
	F3	3208	277	3252	202	3232	239
ČIO	F1	1536	787	1958	246	1822	523
	F2 BE	2630	227	2600	114	2612	170
	F3	3231	295	3252	226	3245	248
ČI	F1	1788	762	2030	343	1917	590
	F2 BE	2705	322	2631	173	2663	250
	F3	3369	330	3358	228	3363	280

5.2 Pučiamieji (frikatyviniai).

Priebalsis „Z“ yra vokalizuosas frikatyvinis. Pirmosios formantės vidutinis dažnis yra nuo 319 iki 360 priklausomai nuo po jos sekančios balsės. Tačiau skirtumas yra pakankamai maži, tad galima teigti, kad pirmoji formantė yra neįtakojama supančių garsų. Vidutinė antrosios formantės reikšmė yra nuo 1335Hz iki 1973Hz. Tačiau 1973Hz F2 reikšmė yra išskirtinai didelė. Detaliau analizuojant duomenis, matome kad priebalsio Z su po ja sekančios balsės U, antros pusės priebalsio formančių reikšmės yra žymiai aukštesnės nei visų kitų. Nepaisant šio išskiriančio rezultato, matomas skirtumas tarp kietojo „Z“ ir minkštojo. Balsiai „I“ ir „Ė“ aukština F2 dažnį 100-150Hz, negu balsiai „A“ ir „O“.

Lyginant priebalsio „Z“ pradžia ir pabaigą išsiskiria tik minėtas „ZU“ junginys, kitais atvejais priebalsio formantės pradžioje nesiskiria nuo pabaigoje nustatytais formančių dažniais. Trečiosios formantės dažnis svyruoja nuo 2754-3065Hz, tačiau vėlgi pastebima jog priebalsio Z esant junginyje su balse „U“ dažnis skiriasi. Tai gali būti netikslaus kirpimo priežastis. Todėl galima teigti, kad trečiajai formantei įtakos neturi po priebalsio einantis balsis. Pirmosios formantės imtys sutampa su visais balsiais išskyrus I. Stjudento hipoteze yra nulinė antrajai formantei, kai po Z eina balsiai O, I ir Ė. Trečiasios formantės Stjudento hipotezė nulinė tik su balsiais O ir A.

16 lentelė. Priebalsio Z formančių vidurkiai.

Priebalsis	Formantė	Priebalsio pradžia		Priebalsio pabaiga		Visa Priebalsis	
		vidutinė reikšmė	vidutinis kvadratinis nuokrypis	vidutinė reikšmė	vidutinis kvadratinis nuokrypis	vidutinė reikšmė	vidutinis kvadratinis nuokrypis
ZA	F1	351	27	355	39	353	34
	F2 BE	1472	55	1439	36	1453	48
	F3	2748	82	2772	55	2762	69
ZU	F1	391	7	424	31	411	29
	F2 BE	1358	16	2383	819	1973	808
	F3	2862	1	3200	272	3065	267
ZO	F1 200-600	352	39	339	63	345	53
	F2 900-1800	1343	47	1330	47	1335	47
	F3 2500-3100	2829	109	2797	104	2814	107
ZI	F1 200-600	334	61	306	44	319	54
	F2 900-2000	1577	131	1589	112	1583	122
	F3 2500-3100	2735	107	2768	108	2754	109
ZĖ	F1 200-600	369	70	353	76	360	73
	F2 900-2000	1504	150	1505	139	1504	143
	F3 2500-3100	2712	75	2769	62	2743	73

Taip pat vokalizuočių friktyvinių priebalsių grupei priskiriamas „Ž“. Šio priebalsio pirmoji formantė turi vidutinės reikšmės nuo 309Hz iki 452Hz. Atskirti ar kietasis ar minkštasis Ž turi aukštesnę F1 dažnį. Tačiau kietiesiems „Ž“ F1 yra šiek tiek mažesnis priebalsio pradžioje negu pabaigoje. Antrosios formantės dažnis yra stipriai įtakojamas jeigu po jo eina priebalsis „I“. Tiek priebalsio pradžioje tiek pabaigoje. Apskritai minkštasis „Ž“ turi aukštesnio dažnio formantes negu kietasis. F2 vidutinis dažnis kinta ribose nuo 1403Hz iki 2193Hz, priklausomai nuo po priebalsio einančio balsio. Trečiosios formantės dažniai yra pasiskirstę daugmaž vienodai kai po priebalsio eina balsiai U, O, E, I 2900Hz, tik kiek žemesnė F3 reikšmė yra kai po „Ž“ eina balsis „A“. Lyginant pradžia ir pabaigą visos trys pirmosios formantės turi panašius formančių dažnius. Tačiau atlikus palyginimą trečioji formantė priebalsio pradžios ir pabaigos pagal Stjudento testą - hipotezė yra

alternatyvi (H1) kietajam Ž. Studento nulinę hipotezę įrodanti, kad imčių skirstiniai nesiskiria, buvo gauta pirmajai formantei.

17 lentelė. Priebalsio Ž, formančių vidurkiai.

Priebalsis	Formantė	Priebalsio pradžia		Priebalsio pabaiga		Visa Priebalsis	
		vidutinė reikšmė	vidutinis kvadratinis nuokrypis	vidutinė reikšmė	vidutinis kvadratinis nuokrypis	vidutinė reikšmė	vidutinis kvadratinis nuokrypis
ŽA	F1	369	57	395	46	383	52
	F2	1343	209	1457	125	1403	178
	F3	2436	424	2568	250	2511	338
ŽU	F1	336	58	337	57	336	57
	F2	1485	134	1431	182	1455	163
	F3	2748	338	3016	493	2906	453
ŽO	F1	326	275	556	521	452	440
	F2	1542	55	1639	341	1594	254
	F3	2675	601	2957	385	2830	509
ŽE	F1	334	78	323	55	327	66
	F2	1732	80	1782	111	1758	99
	F3	2872	450	2813	360	2839	402
ŽI	F1	314	54	305	48	309	50
	F2	2270	373	2139	319	2193	347
	F3	2968	307	2923	279	2942	291

Priebalsio H formantės pateikiamos lentelėje 18. Pagal lentelės duomenis akivaizdžiai matomas H pradžios ir pabaigos F1 skirtumas su A, U ir I priebalsiais. F1 dažnio ribos yra tarp 400-480Hz. Pagal Studento testą su balsiais A ir U einantis priebalsis H turi skirtingas formantes tarimo metu. Antroji formantė yra nuo 1120Hz iki 1533Hz. Išskirti, kad kietasis ar minkštasis turi aukštesnio dažnio F2 negalima, tačiau su balsiais I, E, A einančiais po H gaunami formnčių įverčiai apie 1500Hz. Kitais atvejais apie 1100-1300Hz. Trečiosios formantės reikšmės nėra įtakotos aplinkos ir turi dažnius 2600-2800Hz. Pagal Studento testą trečioji formantė šio priebalsio tarimo metu išlieka pastovi (Studento testas H0).

18 lentelė. Priebalsio H formančių vidurkiai

Priebalsis	Formantė	Priebalsio pradžia		Priebalsio pabaiga		Visa Priebalsis	
		vidutinė reikšmė	vidutinis kvadratinis nuokrypis	vidutinė reikšmė	vidutinis kvadratinis nuokrypis	vidutinė reikšmė	vidutinis kvadratinis nuokrypis
Ha	F1	411	83	513	120	476	118
	F2	1511	176	1482	159	1492	164
	F3	2621	696	2591	530	2602	591
Hu	F1	249	9	355	26	320	57
	F2	1494	266	1153	166	1308	274

	F3	3064	419	2693	482	2837	488
Ho	F1	415	47	416	78	416	68
	F2	1177	199	1089	152	1120	173
	F3	2690	566	2513	614	2585	597
He	F1	408	67	392	73	397	70
	F2	1339	262	1666	249	1503	301
	F3	2749	539	2571	401	2648	471
Hi	F1	497	93	383	139	426	133
	F2	1525	192	1574	0	1533	174
	F3	2831	329	2975	473	2915	419

Lyginant kietąjį ir minkštąjį F didelių skirtumų nepastebėta. Pirmosios formantės vidurkis kinta nuo 400-500Hz. Bet vidutinis kvadratinis nuokrypis rodo didelę formančių sklaidą, dėl to duomenys gali būti labai netikslūs. F₂ dažnis kietai F priebalsui tarimo pabaigoje mažėja, o minkštos F₂ priebalsio pabaigoje padidėja. Duomenų kvadratinis nuokrypis nėra toks didelis kaip pirmosios formantės. Galima pastebėti histogramoje simetriška duomenų išsidėstymą. F₃ tiek minkšto tiek kieto priebalsio tarimo pabaigoje formantės dažnis padidėja, bet nelabai daug tik iki 10%. Duomenų sklaida simetriška ir koncentruojasi ties 2400-2600Hz. Vertinant visus tris formantes, F₁ dažnis yra labai nepastovus.

19 lentelė. Priebalsio F formančių vidurkiai.

Priebalsis	Formantė	Priebalsio pradžia		Priebalsio pabaiga		Visa Priebalsis	
		vidutinė reikšmė	vidutinis kvadratinis nuokrypis	vidutinė reikšmė	vidutinis kvadratinis nuokrypis	vidutinė reikšmė	vidutinis kvadratinis nuokrypis
FA	F1 200-600	488	260	482	182	486	225
	F2 900-1800	1466	232	1385	156	1416	192
	F3 2000-2900	2589	343	2832	493	2734	453
FO	F1 200-600	498	104	488	109	493	106
	F2 900-1800	1259	162	1224	167	1241	165
	F3 2000-2900	2483	185	2591	264	2543	238
FE	F1	417	118	364	96	396	112
	F2	1323	155	1389	137	1360	148
	F3	2586	185	2651	196	2622	193
FI	F1 200-600	469	174	515	138	493	156
	F2 900-1800	1504	145	1506	138	1505	140
	F3 2000-2900	2501	183	2548	169	2530	175

Pagal gautus rezultatus yra pastebimi skirtumai tarp minkšto ir kieto priebalsio Š. Šio priebalsio pirmoji formantė priebalsio tarimo eigoje kinta nežymiai vidurkis „ša“, „šu“, „šo“ atitinkamai yra 1629Hz, 1383Hz, 1390Hz. Lyginant su minkšta Š „še“ „ši“ atitinkamai 2123Hz, 1750Hz pastebime,

kad minkšto priebalsio Š pirmoji formantė yra didesnis dėl po jo einančio balsio įtakos. F₂ ir F₃ linkusi mažėti tarimo metu tiek minkštame tiek kietame priebalsyje, bet minkšto priebalsio trečioji formantė yra didesnė lyginant su kieto priebalsio Š.

Apibendrinant kieto priebalsio visos formantės yra mažesnės lyginant su minkšto priebalsio, bet priebalsio tarimo eigoje formantės dažnis ryškiai pakinta su balse [E]. Pagal Sjudento lyginamąją hipotezę, kuri yra (H₀) ir įrodo, kad priebalsio pradžios ir pabaigos imčių skirstiniai nesiskiria

20 lentelė. Priebalsio Š formančių vidurkiai

Priebalsis	Formantė	Priebalsio pradžia		Priebalsio pabaiga		Visa Priebalsis	
		vidutinė reikšmė	vidutinis kvadratinis nuokrypis	vidutinė reikšmė	vidutinis kvadratinis nuokrypis	vidutinė reikšmė	vidutinis kvadratinis nuokrypis
ŠA	F1 1000-1900	1654	113	1613	78	1629	95
	F2 900-2800	2210	273	2222	177	2217	221
	F3	3172	282	3082	307	3120	299
ŠU	F1 200-650	1378	151	1387	155	1383	152
	F2 900-1800	2115	387	2010	436	2054	416
	F3 1400-3400	3338	381	3181	381	3251	386
ŠO	F1	1442	144	1340	130	1390	146
	F2	2158	418	1907	428	2022	439
	F3	3194	344	3005	343	3100	355
ŠE	F1 200-650	2373	226	1946	362	2123	375
	F2 900-1800	2928	389	2681	225	2786	327
	F3 1400-3400	3812	564	3655	205	3726	408
ŠI	F1 200-650	1700	265	1777	138	1750	194
	F2 900-1800	2588	148	2576	247	2581	212
	F3 1400-3400	3445	374	3494	238	3477	293

5.3 Sklandieji vokalizuoti frikatyviniai priebalsiai.

Priebalsis V priklauso vokalizuotų frikatyvinių priebalsių grupei. Jo formančių dažniai pateikiami 21 lentelėje. Šio priebalsio pirmosios formantės vidutinė reikšmė yra 256-338Hz. Ryšio tarp kietojo ir minkštojo „V“ F1 dažnių skirtumo nėra, tačiau kiek išskiriantis dažnis gautas su ilgąja balse „Y“. F1 dažnio skirtumų tarp pradžios ir pabaigos galima teigti, kad nėra. Akivaizdžiai matoma, kad kietieji „V“ turi žemesnio dažnio antrąją formantę, negu minkštieji „V“. Kietojo V F2 reikšmės yra nuo 1039Hz iki 1109, o minkštojo V yra 250-300Hz didesnis. Pradžios ir pabaigos skirtumų F2 nėra. Trečioji formantė yra nuo 2147Hz iki 2372Hz, požymių kad skirtusi kietieji ir minkštieji „V“ nėra.

Aukščiausias V priebalsio dažnis yra, kai po jo eina balsis „O“, žemiausias – „U“. Daugeliu atveju Stjudento hipotezė buvo gauta nulinė, todėl galima teigti, kad priebalsio V formantės nekinta ir yra panašios lyginant priebalsio pradžią ir pabaigą.

21 lentelė. Priebalsio V formančių vidurkiai

Priebalsis	Formantė	Priebalsio pradžia		Priebalsio pabaiga		Visa Priebalsis	
		vidutinė reikšmė	vidutinis kvadratinis nuokrypis	vidutinė reikšmė	vidutinis kvadratinis nuokrypis	vidutinė reikšmė	vidutinis kvadratinis nuokrypis
VA	F1 200-550	331	61	343	61	338	61
	F2 900-1300	1075	66	1085	44	1082	54
	F3 1900-2900	2379	217	2353	184	2364	198
VU	F1	312	13	301	25	305	21
	F2 BE	1171	33	1069	62	1109	73
	F3	2123	26	2163	80	2147	65
VO	F1 200-550	272	50	307	54	292	54
	F2 900-1300	1050	87	1031	81	1039	83
	F3 1900-2900	2372	156	2373	139	2372	146
VE	F1 200-400	309	53	307	48	308	50
	F2 900-1800	1382	172	1373	152	1376	158
	F3 1900-2900	2233	176	2271	189	2256	185
VI	F1 200-400	292	53	298	46	296	48
	F2 900-1800	1368	181	1378	125	1375	146
	F3 1900-2900	2301	243	2244	162	2267	200
VY	F1	258	22	255	41	256	35
	F2 BE	1739	445	1521	294	1598	364
	F3	2295	383	2234	215	2258	293
VĖ	F1 200-450	322	65	329	57	326	61
	F2 900-1800	1372	164	1450	150	1426	158
	F3 1900-2900	2260	219	2281	152	2273	181

Priebalsis J turi gana stabilius ir nepriklausomus nuo šalia esančio balsio formantes. Vidutiniai formančių įverčiai pateikiami lentelėje 22.

22 lentelė. Priebalsio J formančių vidurkiai

Priebalsis	Formantė	Priebalsio pradžia		Priebalsio pabaiga		Visa Priebalsis	
		vidutinė reikšmė	vidutinis kvadratinis nuokrypis	vidutinė reikšmė	vidutinis kvadratinis nuokrypis	vidutinė reikšmė	vidutinis kvadratinis nuokrypis
JA	F1 200-650	445	80	465	91	457	87
	F2 900-2200	1817	203	1787	192	1799	196
	F3 2000-3100	2447	203	2404	197	2421	200

JU	F1 200-650	324	56	319	61	321	59
	F2 900-2600	1969	333	1894	251	1922	286
	F3 2000-3400	2500	297	2374	179	2424	240
JO	F1 200-650	347	74	348	70	347	71
	F2 900-2600	1809	306	1693	146	1732	216
	F3 2000-3400	2383	256	2240	139	2299	207
JE	F1 200-650	386	73	423	117	407	101
	F2 900-2600	2028	160	1907	184	1960	181
	F3 2000-3400	2451	262	2317	114	2375	201
JI	F1 200-650	404	59	387	66	393	64
	F2 900-2600	1674	383	1714	333	1701	347
	F3 2000-3400	2469	174	2470	232	2469	210

Nosinėms priebalsems priskiriama priebalsis M. Jos formančių vidutinės reikšmės pateikiamos lentelėje 23. Iš lentelės galima matyti, kad pirmosios formantės dažnis svyruoja nuo 263Hz iki 283Hz, kadangi skirtumas yra mažas, šios nosinės priebalsio F1 dažnio neįtakoja po jos einanti balsė. Tokiu pačiu požymiu pasižymi ir antroji formantė, kuriam įtakos neturi po jo einanti balsė. F2 reikšmės yra 1122-1257Hz. Aukščiausias F2 dažnio vidurkis užfiksuotas, kai po priebalsio eina balsė „E“. Trečioji formantė pagal tyrimo rezultatus svyruoja nuo 2168-2539Hz. Minkštasis M turi nežymiai žemesnes F3 reikšmes, negu kietasis M. Pirmųjų trijų formančių dažniai yra vienodi tiek priebalsio pradžioje tiek pabaigoje. Vertinant pagal Stjudento hipotezę daugeliu atveju ji buvo nulinė, pradžios ir pabaigos formančių duomenų skirstiniai yra panašūs.

23 lentelė. Priebalsio M formančių vidurkiai

Priebalsis	Formantė	Priebalsio pradžia		Priebalsio pabaiga		Visa Priebalsis	
		vidutinė reikšmė	vidutinis kvadratinis nuokrypis	vidutinė reikšmė	vidutinis kvadratinis nuokrypis	vidutinė reikšmė	vidutinis kvadratinis nuokrypis
MA	F1 150-400	271	37	268	26	269	31
	F2 900-1400	1118	64	1124	45	1122	53
	F3 2300-3200	2405	196	2392	146	2398	169
MU	F1 150-400	267	24	270	19	269	21
	F2 900-1400	1161	25	1145	49	1151	42
	F3 2000-3000	2535	165	2542	151	2539	156
MO	F1 180-400	260	26	264	23	263	24
	F2 1000-1400	1163	46	1136	46	1147	48
	F3 2000-3000	2493	184	2430	132	2457	159
	F1 200-600	285	88	281	75	283	81

ME	F2 900-1800	1140	21	1296	184	1257	173
	F3 2000-2900	2276	203	2284	193	2281	197
ME	F1 180-400	254	31	270	16	264	24
	F2 1000-1500	1219	73	1226	66	1224	68
	F3 2000-2800	2228	95	2187	82	2205	90
MY	F1	278	14	275	15	277	15
	F2	1227	59	1223	42	1225	50
	F3	2168	33	2168	54	2168	46
MĖ	F1 180-400	278	27	276	18	277	22
	F2 1000-1500	1135	69	1188	63	1168	70
	F3 2000-2800	2212	79	2158	68	2180	77

Nosinio priebalsio „N“ vidutinės formančių reikšmės pateikiamos lentelėje 24. Šio priebalsio pirmosios formantės reikšmės gautos intervale nuo 261Hz iki 329Hz. Išskirti, kad kietasis ar minkštasis turi aukštesniu F1 dažnius negalima. Lyginant priebalsio pradžia su pabaigą F1 didelio skirtumo pastebėta. Antroji formantė yra nuo 1130Hz iki 1351Hz. Aukščiausias F2 dažnis yra kai, po N eina balsė „E“, tačiau žemiausias F2, priešingai nei daugeliu atveju, yra su balse „I“. Trečiosios formantės vidutinės reikšmės yra 2431Hz – 2633Hz. Nosinių priebalsių pirmųjų dviejų formančių dažniai yra tą pačių dažnių diapazone, tik priebalsio „N“ F3 yra truputi aukštesni, negu kitos nosinės priebalsio M. Tarp priebalsio „N“ pradžios ir pabaigos formančių reikšmingo skirtumo nėra.

24 lentelė. Priebalsio N formančių vidurkiai

Priebalsis	Formantė	Priebalsio pradžia		Priebalsio pabaiga		Visa Priebalsis	
		vidutinė reikšmė	vidutinis kvadratinis nuokrypis	vidutinė reikšmė	vidutinis kvadratinis nuokrypis	vidutinė reikšmė	vidutinis kvadratinis nuokrypis
NA	F1 150-400	296	46	304	39	300	42
	F2 1000-1500	1128	40	1142	38	1136	40
	F3 1800-3500	2497	236	2495	250	2496	244
NU	F1 150-400	250	42	269	27	261	35
	F2 1000-1500	1173	72	1183	60	1179	65
	F3 1800-3500	2504	243	2506	196	2505	217
NO	F1 150-400	267	11	286	42	279	35
	F2 1000-1500	1180	26	1168	44	1172	40
	F3 1800-3500	2586	163	2666	233	2633	208
NE	F1 200-350	258	16	277	21	269	21
	F2 1000-1600	1345	124	1354	122	1351	122
	F3 1800-3200	2620	159	2484	239	2545	217
	F1 200-350	313	18	317	21	315	20

NI	F2	1000-1600	1144	60	1119	49	1130	56
	F3	1800-3200	2430	221	2432	175	2431	195
NĖ	F1	200-500	322	68	336	64	329	66
	F2	1000-1600	1206	60	1267	149	1239	119
	F3	1800-3200	2445	140	2462	220	2454	186

L priebalsio lyginant tarimo pradžioje ir pabaigoje pakinta labai nežymiai. Galima vertinti, kad priebalsis laiko atžvilgiu nepakinta. Lyginant pirmosios formantės kieto ir minkšto priebalsio dideliu skirtumu nėra F_1 vidurkis yra nuo 300Hz iki 380Hz. Šio tyrimo metu didžiausia F_1 vidurkį gavome, kai po L priebalsio sekė balsė “a”, o mažiausia kai “u”. F_2 galima pastebėti skirtumą, nes kietos priebalsio duomenys labiau koncentruojasi ties 1100Hz, o minkštos ties 1500Hz. F_3 galima vertinti yra tokia pati abiem atvejais ir pasiskirstę tarp 2600-2700Hz.

Histogramose pasiskirstė pagal normalųjį skirstinį. Duomenų skirstiniai priebalsio pradžioje ir pabaigoje lyginant buvo lygus, tai priebalsio formantės nekinta tariant priebalsį.

25 lentelė. Priebalsio L formančių vidurkiai

Priebalsis	Formantė	Priebalsio pradžia		Priebalsio pabaiga		Visa Priebalsis		
		vidutinė reikšmė	vidutinis kvadratinis nuokrypis	vidutinė reikšmė	vidutinis kvadratinis nuokrypis	vidutinė reikšmė	vidutinis kvadratinis nuokrypis	
LA	F1	220-800	373	67	380	52	377	58
	F2	980-2000	1106	48	1122	40	1116	44
	F3	2300-3200	2735	125	2764	87	2752	105
LU	F1	220-800	308	46	306	40	307	42
	F2	900-2000	1041	60	1021	42	1029	51
	F3	2500-3200	2758	136	2718	123	2739	130
LO	F1	220-800	341	41	352	30	348	35
	F2	900-2000	1073	49	1063	55	1067	53
	F3	2500-3200	2740	92	2736	88	2738	89
LE	F1	220-800	343	53	342	42	342	46
	F2	900-2000	1485	144	1525	101	1510	119
	F3	2500-3200	2675	121	2658	114	2664	116
LI	F1	220-800	325	49	312	38	317	43
	F2	900-2000	1537	157	1521	147	1528	151
	F3	2200-3200	2648	147	2674	147	2663	147
LĖ	F1	220-800	339	44	331	35	335	40
	F2	900-2000	1556	98	1616	65	1592	85
	F3	2500-3200	2561	95	2670	157	2627	146

Priebalsio R pirmoji formantė F_1 yra tarp 300Hz ir 380Hz. F_2 esant minkštam priebalsiui yra didesnis. Kieto priebalsio atveju kinta tuo 1200-1450Hz. R minkšto 1580-1620Hz. F_3 galima vertinti yra lygios ir pasiekia 2300-2400Hz.

26 lentelė. Priebalsio R formančių vidurkiai

Priebalsis	Formantė	Priebalsio pradžia		Priebalsio pabaiga		Visa Priebalsis	
		vidutinė reikšmė	vidutinis kvadratinis nuokrypis	vidutinė reikšmė	vidutinis kvadratinis nuokrypis	vidutinė reikšmė	vidutinis kvadratinis nuokrypis
RA	F1 200-650	376	62	379	56	378	58
	F2 900-1800	1440	141	1450	123	1446	130
	F3 1400-3400	2307	490	2295	436	2300	458
RU	F1 200-650	310	40	330	29	321	36
	F2 900-1800	1192	102	1184	83	1187	92
	F3 1400-3400	2332	456	2281	431	2306	443
RO	F1 200-650	347	53	369	36	361	44
	F2 900-1800	1218	116	1215	77	1216	95
	F3 1400-3400	2172	483	2029	425	2088	454
RE	F1 200-650	341	60	348	39	346	47
	F2 900-1800	1649	70	1619	71	1625	72
	F3 1400-3400	2315	310	2396	175	2366	236
RI	F1 200-650	340	59	306	57	320	60
	F2 900-1800	1575	79	1619	94	1601	90
	F3 1400-3400	2427	368	2423	322	2425	340
RĖ	F1 200-650	355	30	334	45	343	40
	F2 900-1800	1476	224	1644	94	1579	177
	F3 1400-3400	2543	404	2422	288	2476	348

6. IŠVADOS

Darbe apžvelgtas žmogaus kalbos generavimo aparatas, išanalizuotas tiesinis kalbos generavimo modelis ir jo panaudojimas analizuojant, bei sintezuojant kalbos signalus.

Priebalsių spektro analizės metuose susipažinta su tiesinės prognozės modeliu ir skirtingais algoritmais naudojamais apskaičiuoti tiesinės prognozės koeficientus, pagal kuriuos nustatomi formančių įverčiai. Naudojant PRAAT programinę bei kompiuterinę įrangą, ištirtas lietuvių kalbos priebalsių spektras. Nustatytos formantės.

Analizuojant vieno kalbėtojo priebalsių spektrus nustatyta:

- Skiriasi kietųjų ir minkštųjų priebalsių formančių dažniai. Gaunami žemiausi priebalsių formančių dažniai, kaip po priebalsės eina balsė „O“, o aukščiausi - kai eina balsės „I“, „E“.
- Didžiausią įtaką po priebalsio einantis balsis turi antrosios formantės dažniui. Antrosios formantės dažnis labiausiai kito priebalsėms K, Š, L, G, mažiausiai - H, M, T.
- Po priebalsio einantis balsis mažiausią įtaką santykinai daro trečiosios formantės dažniui.
- Kai kurių priebalsių formančių dažniai yra artimi su anglų kalbos priebalsių dažniais. Geriausiai atitinka nozalinių M ir N priebalsių antrosios formantės dažniai.

Literatūra:

1. <http://cslu.cse.ogi.edu/tutordemos/SpectrogramReading/ipa/formants.html> (2010-05-11)
2. <http://ccollomb.free.fr/technotes/A%20tutorial%20on%20Burg%27s%20method,%20algorithm%20and%20recursion.pdf> (2010-05-12)
3. A. Lipeika. Kalbos organai, kalbos generavimas ir suvokimas. URL: <http://www.mif.vu.lt/~bastys/lipeika/>. (2009-10-17).
4. <http://www.barcode.ro/tutorials/biometrics/img/speech-production.jpg> (2010-05-01)
5. http://www.advancedbionics.com/userfiles/File/LingTestandFormantCard9055139-003_reva-formant_2%282%29.pdf (2010-04-25)
6. http://donelaitis.vdu.lt/publikacijos/Kazlauskiene_Raskinis_KalbuStudijos2006.pdf (2010-05-15)
7. Raškinis A., Dereškevičiūtė S. Spektriniu požymių, atspindinčių gomurinių sprogstamųjų priebalsių sąveiką su po ir prieš juos einančiais balsiais, tyrimas. // Informacinės technologijos ir valdymas, 2007, vol 36, No1, P. 68-75
8. Dereškevičiūtė S., Karlauskienė A. Dusliųjų sprogstamųjų priebalsių spektrinė analizė ir jų sprogoimo trukmė. // Garsas ir jo tyrimo aspektai: metodologija ir praktika. Vilnius: Lietuvių kalbos institutas, 2009. –p 98 – 111.
9. <http://eleceng.dit.ie/papers/92.pdf> p.12(2010-05-12)
10. <http://www.umanitoba.ca/faculties/arts/linguistics/russell/138/sec4/ac-cons.htm>
11. <HTTPS://KEDRAS.MIF.VU.LT/BASTYS/ACADEMIC/ATE/LPC/SIGNAPD.PDF> 2010-05-24
12. Blumstein S.E., Stevens K.N. acoustic invariance in speech production: Evidence from measurement of spectral characteristics of stop consonants.// The journal of the Acoustical Society of America, 1979, vol. 66, No. 4 – P, 1001-1017.
13. Rabiner. L.R, Shafer R.W., Digital processing of speech signals. Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, New Jersey 07632. ISB 0-13-213603-1. –P 396-404

7. PRIEDAS 1

PRAAT programoje naudoti skriptai:

Skriptas skirtas pakeisti diksretizacijos dažniui:

```
Create Strings as file list... list D:\MAGISTRINIS\garsai\Z_ZZ\tik_ZZ\*
numberOfFiles = Get number of strings
for ifile to numberOfFiles
    fname$= Get string... ifile
    Read from file... D:\MAGISTRINIS\garsai\Z_ZZ\tik_ZZ\'fname$'
    Resample... 10000 50

    Write to WAV file... D:\MAGISTRINIS\garsai\Z_ZZ\tik_ZZ\Resample\10khz\'fname$'
    select Strings list
endfor
```

Skriptas skirtas formantų gavimui:

```
Create Strings as file list... list D:\MAGISTRINIS\garsai\J\tik_J\*.wav
numberOfFiles = Get number of strings
for ifile to numberOfFiles
    fname$= Get string... ifile
    Read two Sounds from stereo file... D:\MAGISTRINIS\garsai\J\tik_J\'fname$'
    To Formant (burg)... 0.01 5 5000 0.01 50
    Down to FormantTier
    Down to TableOfReal... yes yes
    select TableOfReal left
    Write to headerless spreadsheet file... D:\MAGISTRINIS\garsai\J\tik_J\'fname$.f1
    select TableOfReal right
    Write to headerless spreadsheet file... D:\MAGISTRINIS\garsai\J\tik_J\'fname$.f2
    select Strings list
endfor
```

MATLAB programoje naudotas skriptas:

Skriptas skirtas priebalsio B, kai po ja seka balsė I. Formančių apdorojimui.

```
clc
clear all
% =====
cd C:\garsai\B\tik_B\Resample\fromantsB\fromants % keičiamas formantų aplankalas
failaif1 = dir('*.f1'); % failai su galune f1
failaif2 = dir('*.f2'); % failai su galune f2

dirv = [failaif1; failaif2];
dirN=numel(dirv);
a=1;

for i = 1:dirN % ieškoti visi b priebalses formantai po kurios seka balsė i.
    if strfind(dirv(i).name, 'bi')>0
        pa(a)=(dirv(i))
        a=a+1;
    end
end

f1pa=[]; f1pa1=[]; f1pa2=[]; f2pa=[]; f3pa=[]; f1p=[];
f2pa=[]; f2pa1=[]; f2pa2=[]; f2pa=[]; f3pa=[]; f1p=[];
f3pa=[]; f3pa1=[]; f3pa2=[]; f2pa=[]; f3pa=[]; f1p=[];

for i = 1:a-1 %skaitomas formantu tekstinis failas

[row,time,f1,b1,f2,b2,f3,b3,f4,b4,f5,b5] = textread( pa(i).name, '%s %f %f %f %f %f %f %f %f %f %f %f', 'headerlines', 1);

f1pa = [ f1 b1];
f2pa = [ f2 b2];
f3pa = [ f3 b3];

[v,n] = size(f1pa);
v1=v/2;
fix(v1);

%== formate padalijame i 2 dalis =====
f1pa1 = [f1pa1; f1(1:v1) b1(1:v1)];
f1pa2 = [f1pa2; f1(v1:end) b1(v1:end)];

f2pa1 = [f2pa1; f2(1:v1) b2(1:v1)];
f2pa2 = [f2pa2; f2(v1:end) b2(v1:end)];

f3pa1 = [f3pa1; f3(1:v1) b1(1:v1)];
f3pa2 = [f3pa2; f3(v1:end) b1(v1:end)];
%=====
```

end

%atmetami formantai su dideliu netikslumu, kai B>600; arba yra labai nutolusi nuo imties vidurkio

% ===== F1

f1pa1b=[];

[m,n] = size(f1pa1);

for i = 1 : m

if (f1pa1(i,2)<600) & (f1pa1(i)<600) & (f1pa1(i)>200)

f1pa1b = [f1pa1b; f1pa1(i)]

end

end

f1pa2b=[];

[m,n] = size(f1pa2);

for i = 1 : m

if (f1pa2(i,2)<600) & (f1pa2(i)<600) & (f1pa2(i)>200)

f1pa2b = [f1pa2b; f1pa2(i)]

end

end

%===== F2

f2pa1b=[];

[m,n] = size(f2pa1);

for i = 1 : m

if (f2pa1(i,2)<600) & (f2pa1(i)<1800) & (f2pa1(i)>900)

f2pa1b = [f2pa1b; f2pa1(i)]

end

end

f2pa2b=[];

[m,n] = size(f2pa2);

for i = 1 : m

if (f2pa2(i,2)<600) & (f2pa2(i)<1800) & (f2pa2(i)>900)

f2pa2b = [f2pa2b; f2pa2(i)]

end

end

%===== F3

f3pa1b=[];

[m,n] = size(f3pa1);

for i = 1 : m

if (f3pa1(i,2)<600) & (f3pa1(i)<2900) & (f3pa1(i)>2000)

f3pa1b = [f3pa1b; f3pa1(i)]

end

end

f3pa2b=[];

[m,n] = size(f3pa2);

for i = 1 : m

if (f3pa2(i,2)<600) & (f3pa2(i)<2900) & (f3pa2(i)>2000)

```

    f3pa2b = [f3pa2b; f3pa2(i)]
end
end

```

```

% braižomos formantų histogramos

```

```

figure(1)
subplot(3,1,1)
hist(f1pa1b)
TITLE('BI pradzia') %pavadinimas
subplot(3,1,2)
hist(f2pa1b)
subplot(3,1,3)
hist(f3pa1b)
figure(2)
subplot(3,1,1)
hist(f1pa2b)
TITLE('BI pabaiga') %pavadinimas
subplot(3,1,2)
hist(f2pa2b)
subplot(3,1,3)
hist(f3pa2b)

```

```

% ieškoma vidutinė reikšmė ir vidutinis kvadratinis nuokrypis (F1 F2 F3)

```

```

f1p = mean(f1pa1b)
f1g = mean(f1pa2b)
f1v = mean([f1pa1b; f1pa2b])
f1pstd = std(f1pa1b)
f1gstd = std(f1pa2b)
f1vstd = std([f1pa1b; f1pa2b])

```

```

f2p = mean(f2pa1b)
f2g = mean(f2pa2b)
f2v = mean([f2pa1b; f2pa2b])
f2pstd = std(f2pa1b)
f2gstd = std(f2pa2b)
f2vstd = std([f2pa1b; f2pa2b])

```

```

f3p = mean(f3pa1b)
f3g = mean(f3pa2b)
f3v = mean([f3pa1b; f3pa2b])
f3pstd = std(f3pa1b)
f3gstd = std(f3pa2b)
f3vstd = std([f3pa1b; f3pa2b])

```

```

%stjudento testai

```

```

[H1,P1,C11,STATS1] = TTEST2( f1pa2b , f1pa1b )
[H2,P2,C12,STATS2] = TTEST2( f2pa2b , f2pa1b )

```

```
[H3,P3,Ci3,STATS3] = TTEST2( f3pa2b , f3pa1b )
```

```
rez = fopen('birezultatai.m','w') %duomenys jrašomi į failą
```

```
fprintf(rez,' pradiza VIDURKIS \n')
```

```
fprintf(rez,' %4.0f \t %4.0f \t \t %4.0f \t %4.0f \t \t %4.0f \t %4.0f \n ', f1p, f1pstd, f1g, f1gstd, f1v, f1vstd )
```

```
fprintf(rez,' %4.0f \t %4.0f \t \t %4.0f \t %4.0f \t \t %4.0f \t %4.0f \n ', f2p, f2pstd, f2g, f2gstd, f2v, f2vstd )
```

```
fprintf(rez,' %4.0f \t %4.0f \t \t %4.0f \t %4.0f \t \t %4.0f \t %4.0f \n ', f3p, f3pstd, f3g, f3gstd, f3v, f3vstd )
```

```
fprintf(rez,' F1 STJUDENTAS H %1.1f P %4.3f Ci %4.3f %4.3f \t\n ', H1, P1, CI1)
```

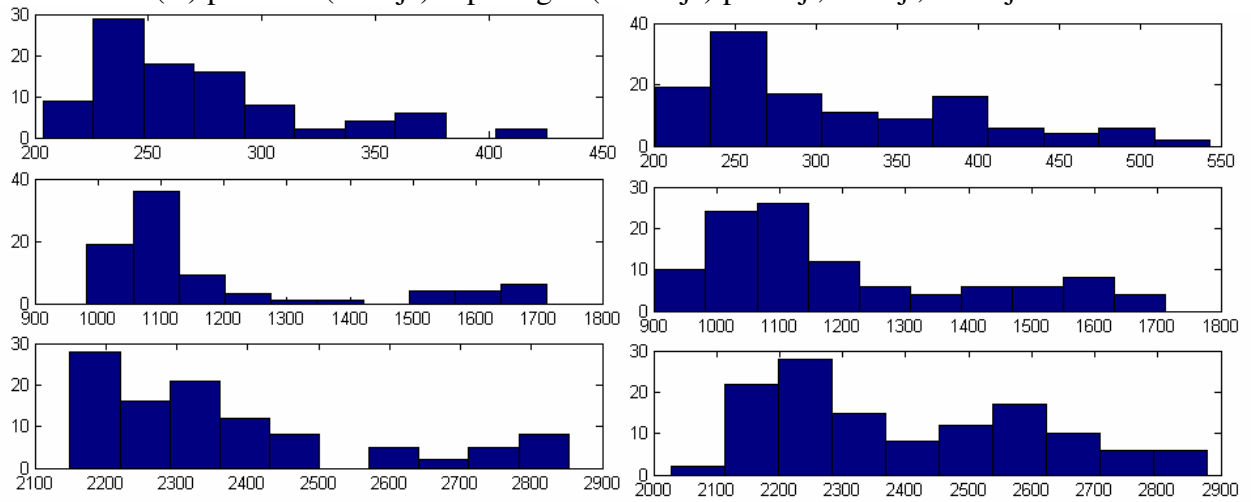
```
fprintf(rez,' F2 STJUDENTAS H %1.1f P %4.3f Ci %4.3f %4.3f \t\n ', H2, P2, CI2)
```

```
fprintf(rez,' F3 STJUDENTAS H %1.1f P %4.3f Ci %4.3f %4.3f \t\n ', H3, P3, CI3)
```

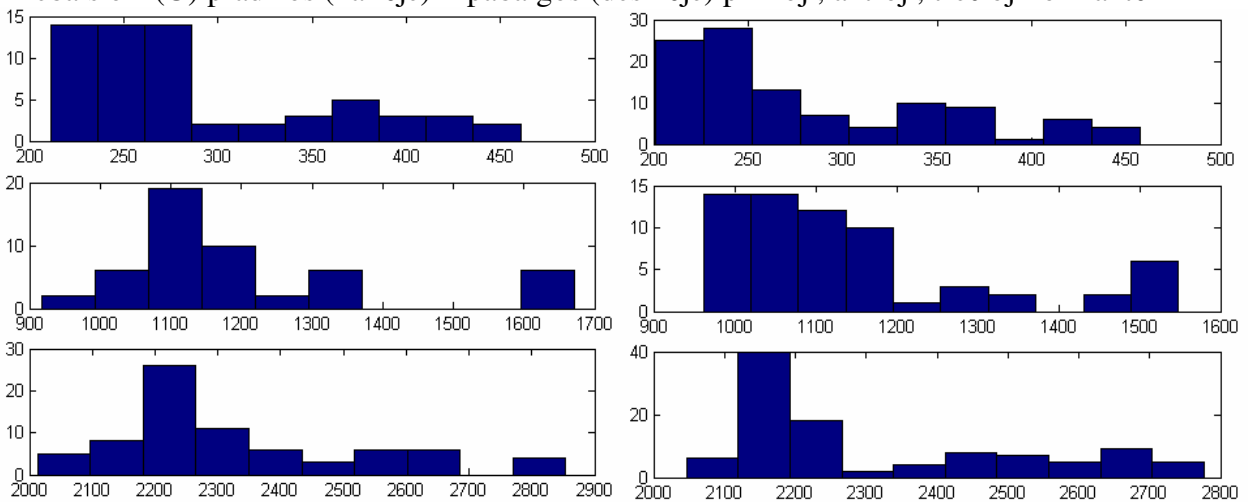
```
fclose(rez)
```

8. PRIEDAS 2

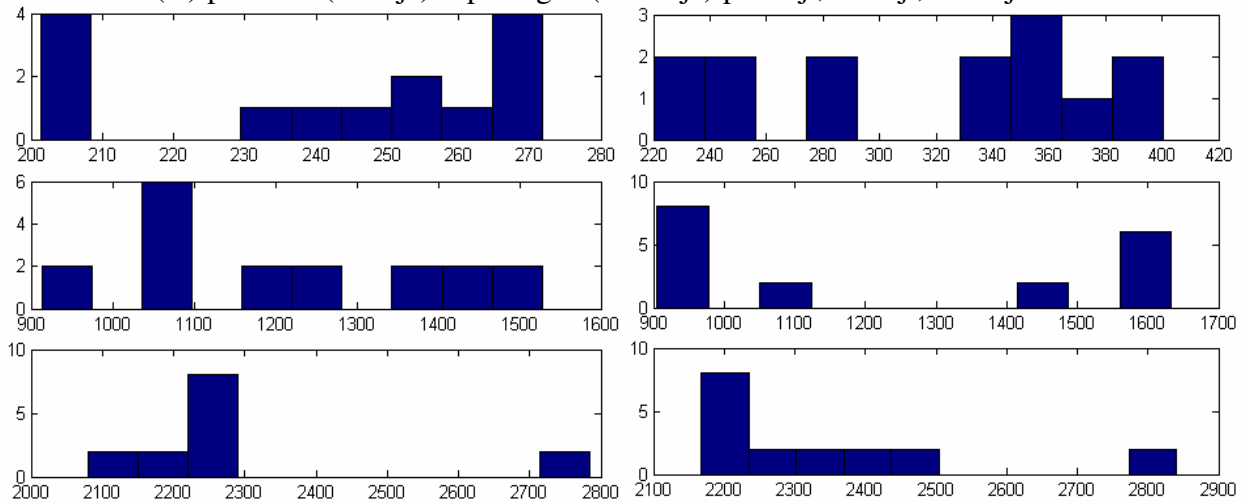
Priebalsio B(A) pradžios (kairėje) ir pabaigos (dešinėje) pirmoji, antroji, trečioji formantė



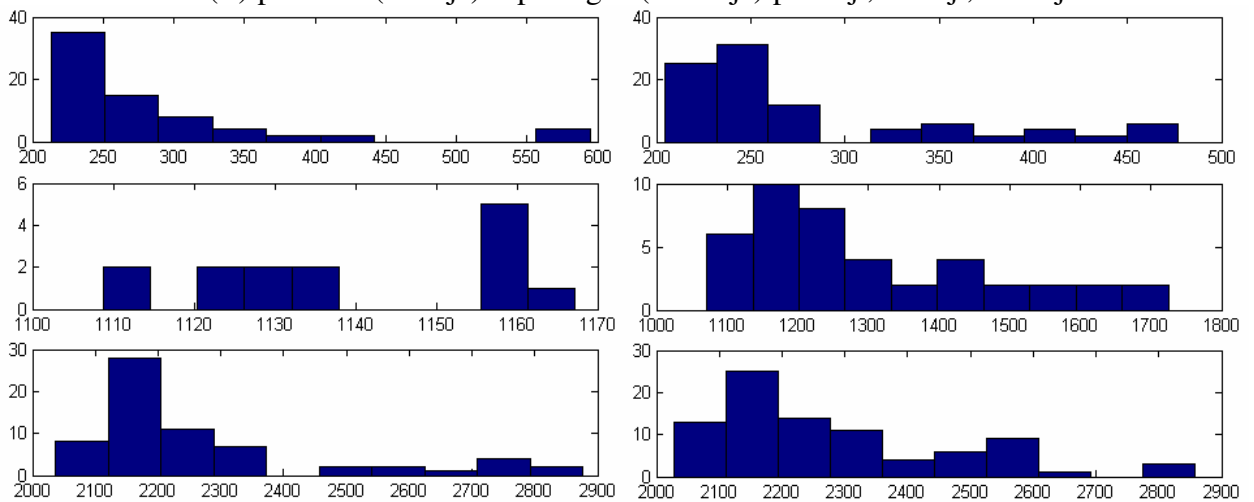
Priebalsio B(U) pradžios (kairėje) ir pabaigos (dešinėje) pirmoji, antroji, trečioji formantė



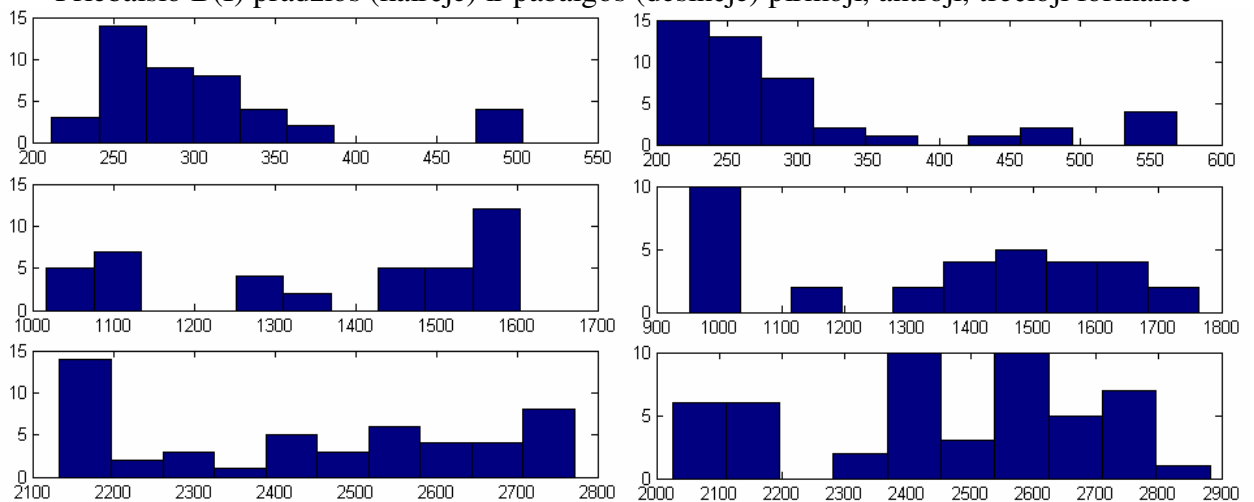
Priebalsio B(O) pradžios (kairėje) ir pabaigos (dešinėje) pirmoji, antroji, trečioji formantė



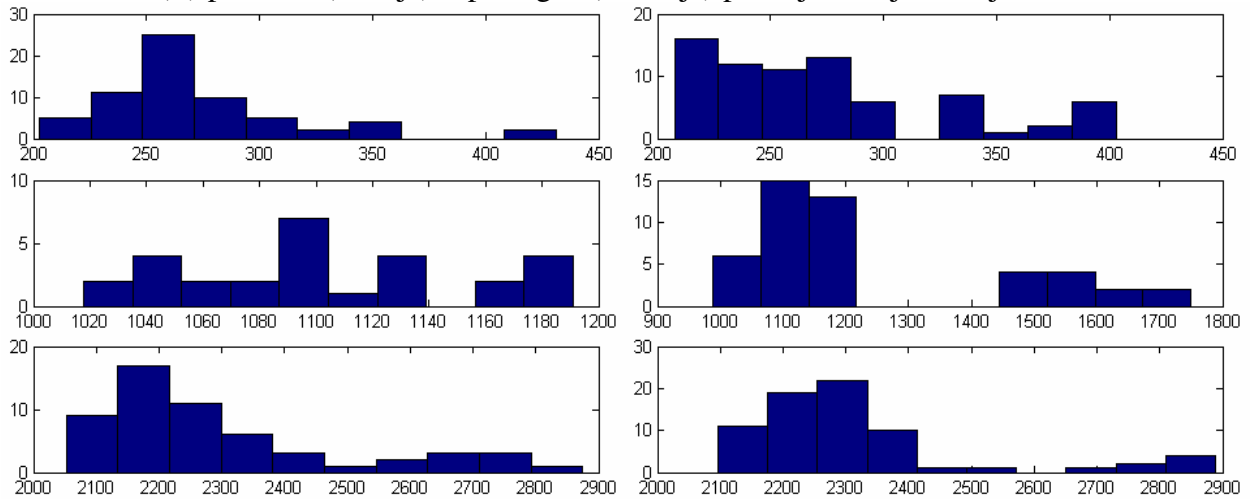
Priebalsio B(E) pradžios (kairėje) ir pabaigos (dešinėje) pirmoji, antroji, trečioji formantė



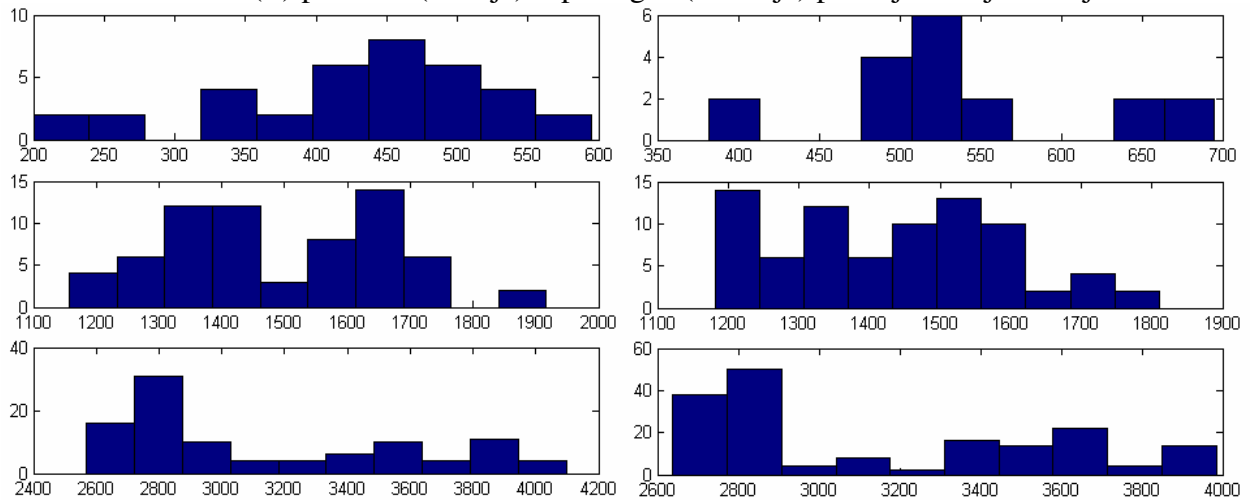
Priebalsio B(I) pradžios (kairėje) ir pabaigos (dešinėje) pirmoji, antroji, trečioji formantė



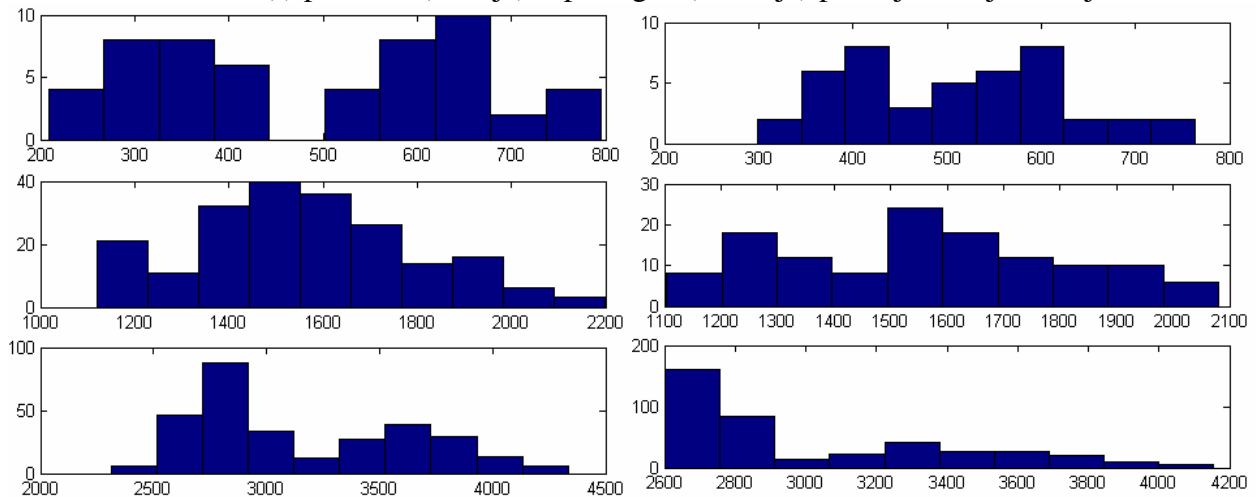
Priebalsio B(Ė) pradžios (kairėje) ir pabaigos (dešinėje) pirmoji antroji trečioji formantės



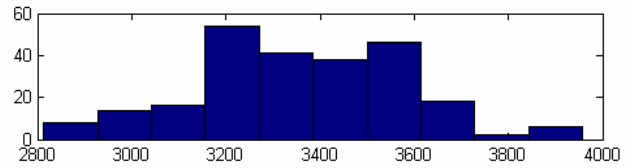
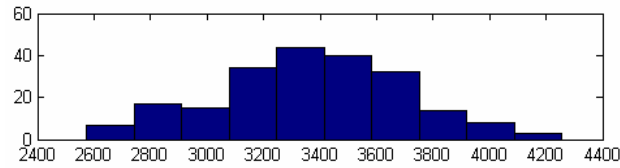
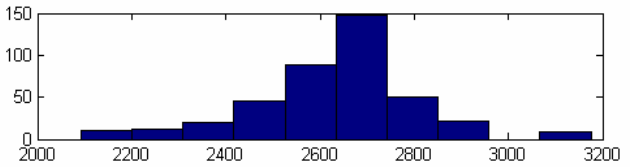
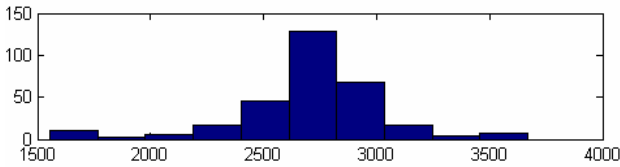
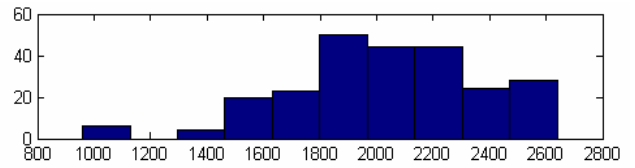
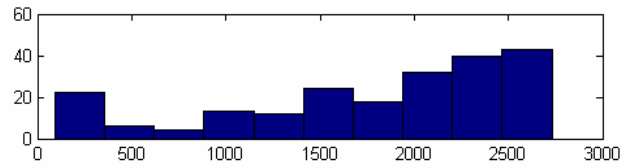
Priebalsio C(E) pradžios (kairėje) ir pabaigos (dešinėje) pirmoji antroji trečioji formantės



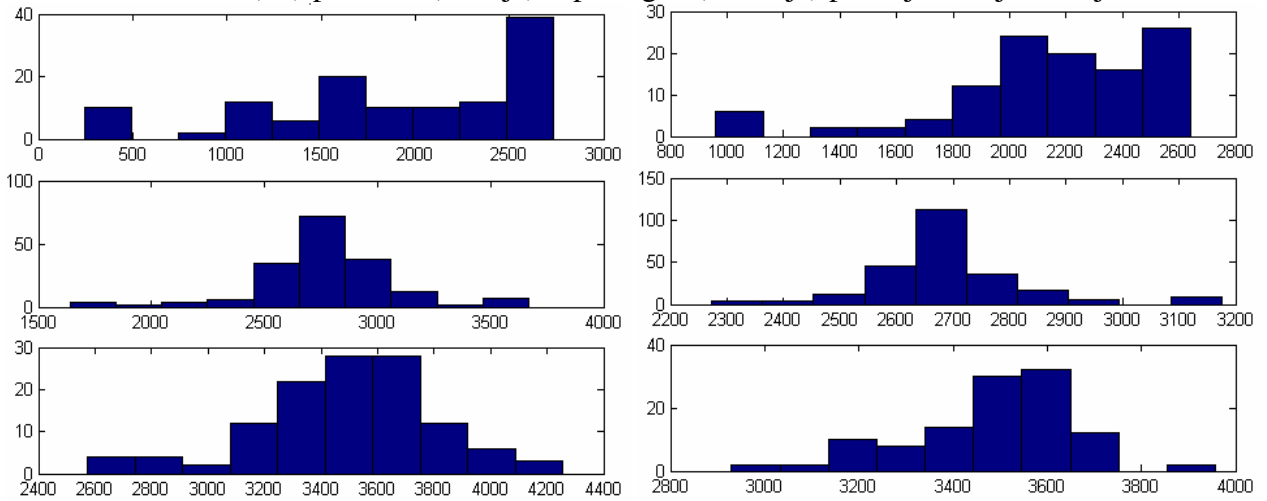
Priebalsio C(I) pradžios (kairėje) ir pabaigos (dešinėje) pirmoji antroji trečioji formantės



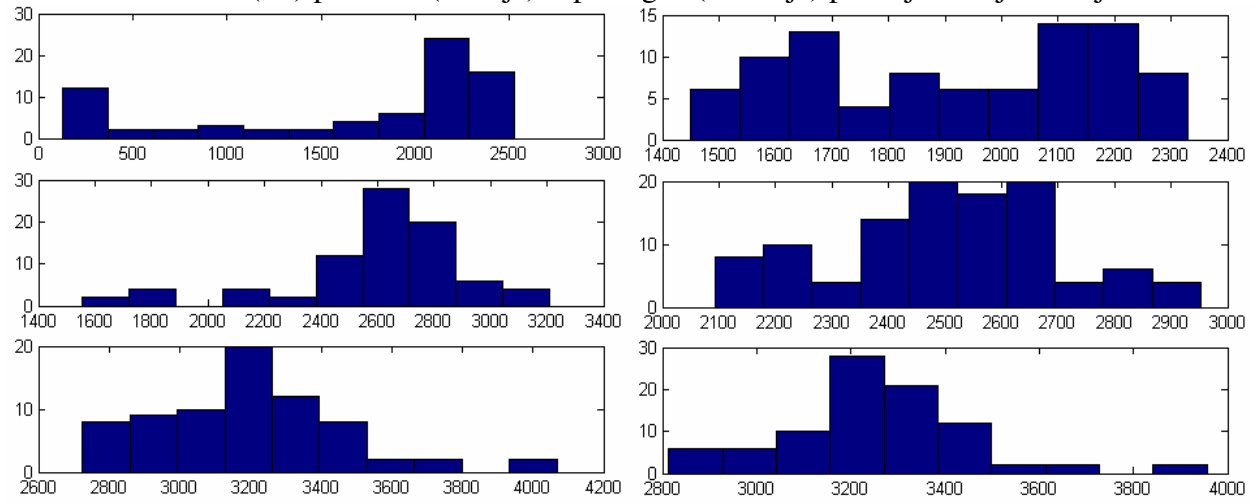
Priebalsio Č(I) pradžios (kairėje) ir pabaigos (dešinėje) pirmoji antroji trečioji formantės



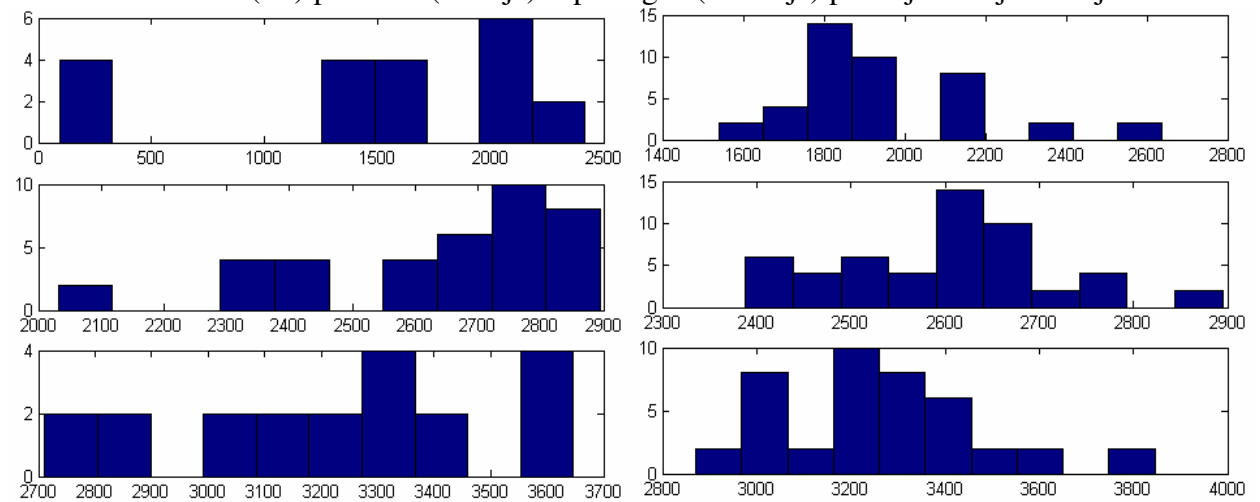
Priebalsio Č(IA) pradžios (kairėje) ir pabaigos (dešinėje) pirmoji antroji trečioji formantės



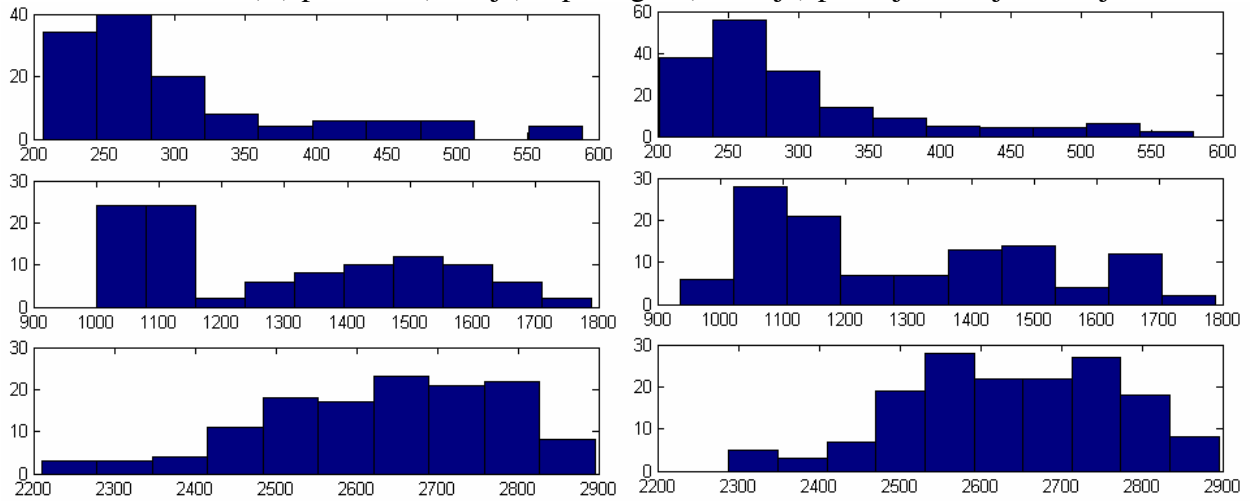
Priebalsio Č(IU) pradžios (kairėje) ir pabaigos (dešinėje) pirmoji antroji trečioji formantės



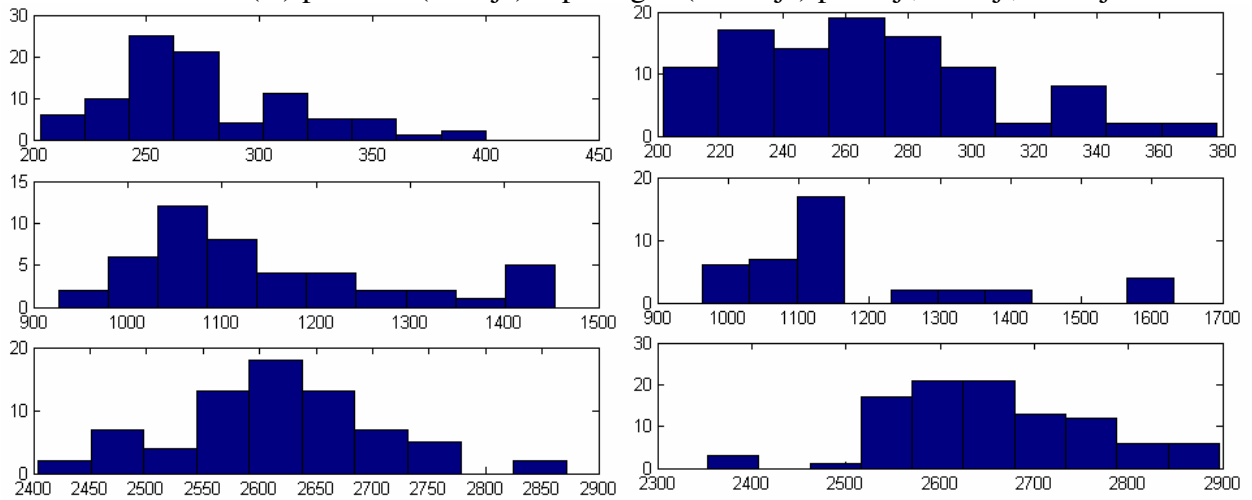
Priebalsio Č(IO) pradžios (kairėje) ir pabaigos (dešinėje) pirmoji antroji trečioji formantės



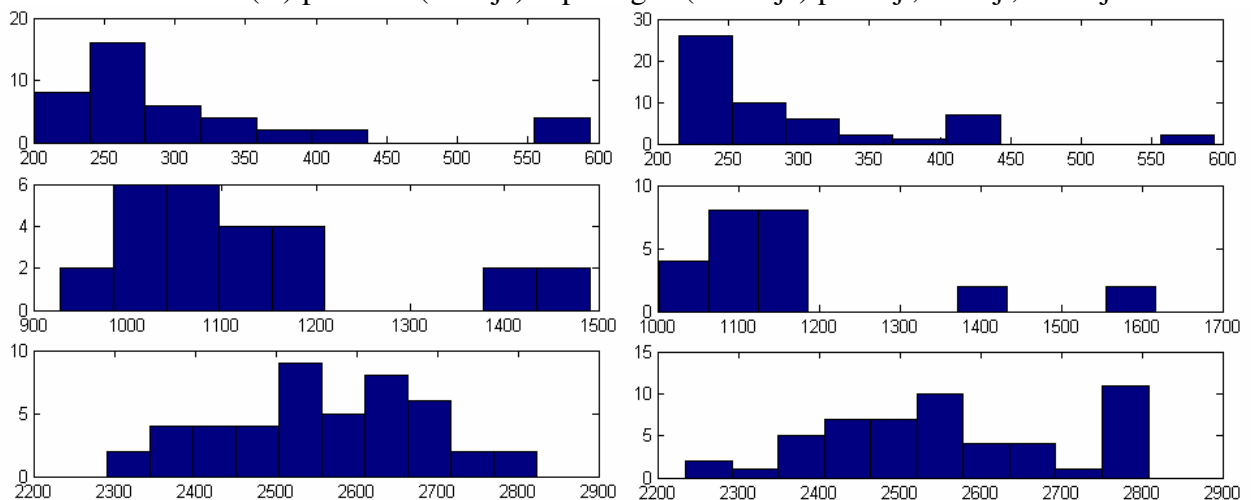
Priebalsio D(A) pradžios (kairėje) ir pabaigos (dešinėje) pirmoji, antroji, trečioji formantė



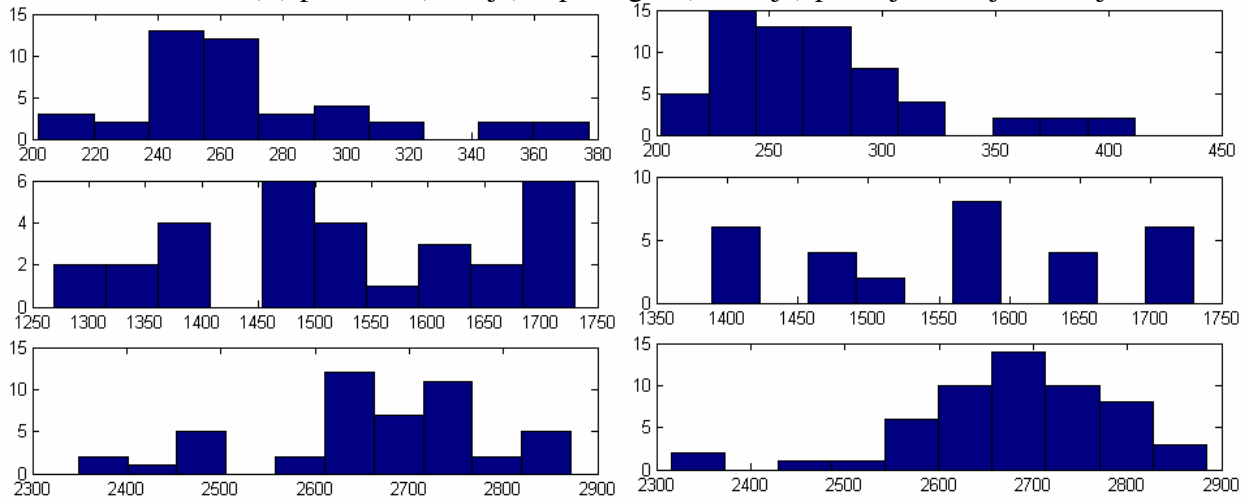
Priebalsio D(U) pradžios (kairėje) ir pabaigos (dešinėje) pirmoji, antroji, trečioji formantė



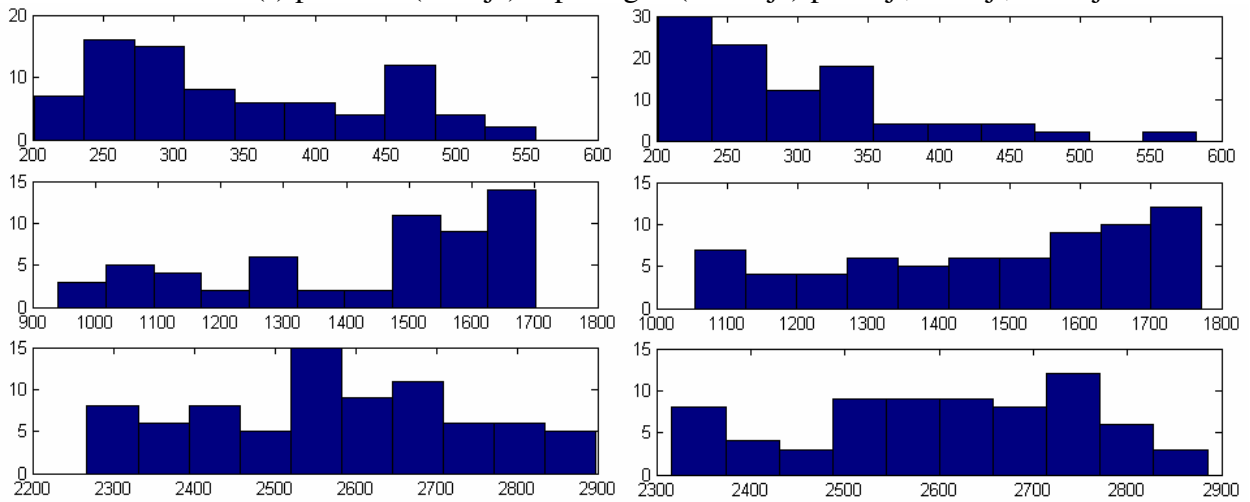
Priebalsio D(O) pradžios (kairėje) ir pabaigos (dešinėje) pirmoji, antroji, trečioji formantė



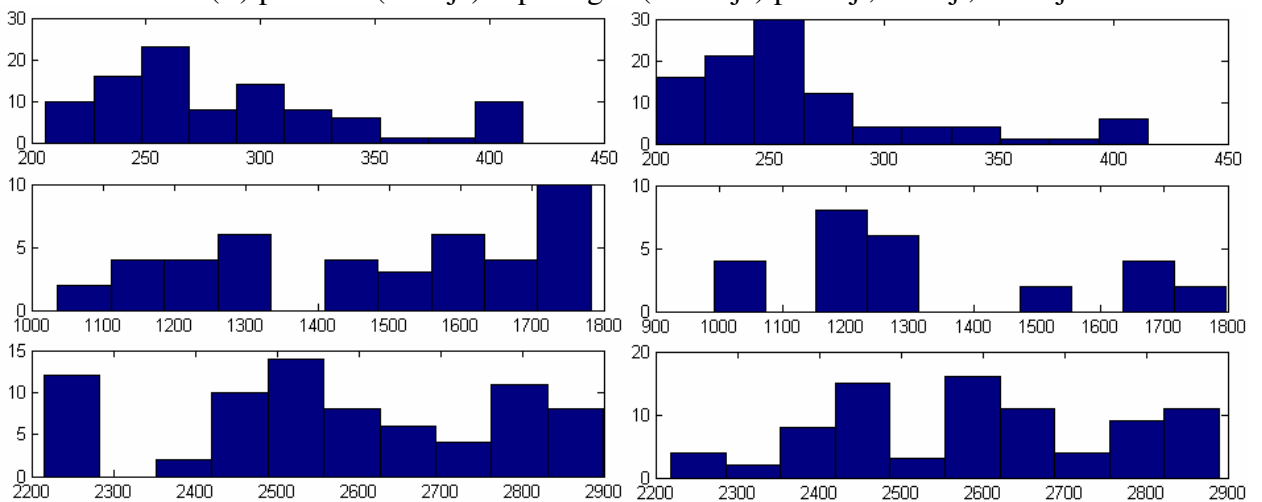
Priebalsio D(E) pradžios (kairėje) ir pabaigos (dešinėje) pirmoji, antroji, trečioji formantė



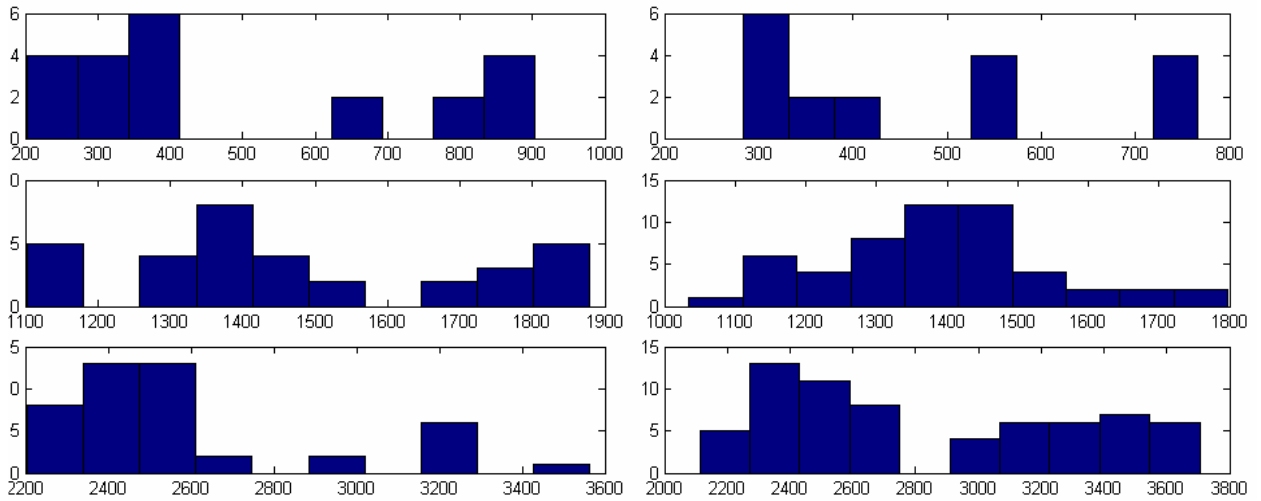
Priebalsio D(I) pradžios (kairėje) ir pabaigos (dešinėje) pirmoji, antroji, trečioji formantė



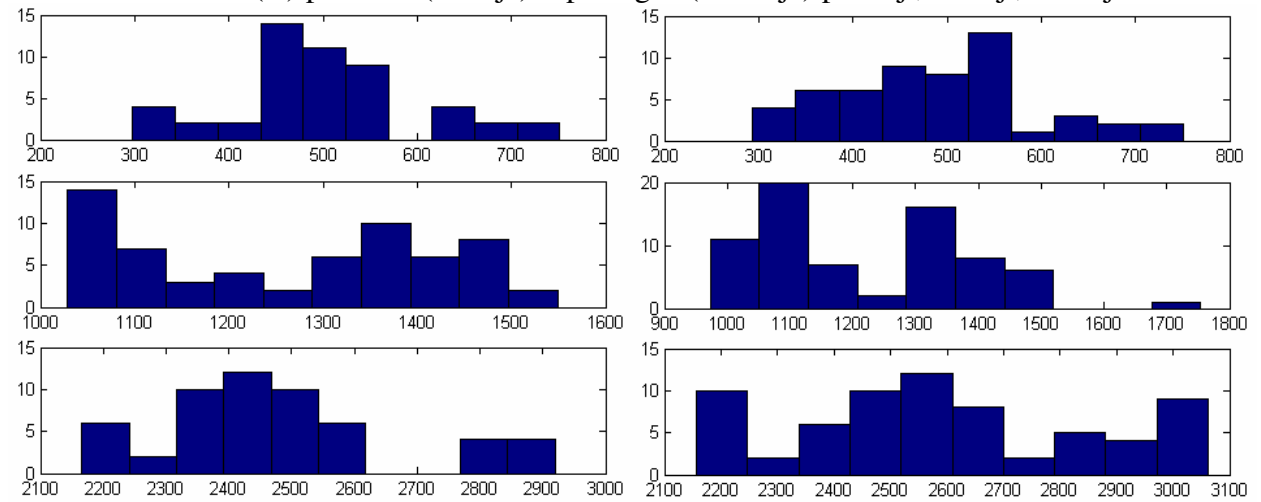
Priebalsio D(Ė) pradžios (kairėje) ir pabaigos (dešinėje) pirmoji, antroji, trečioji formantė



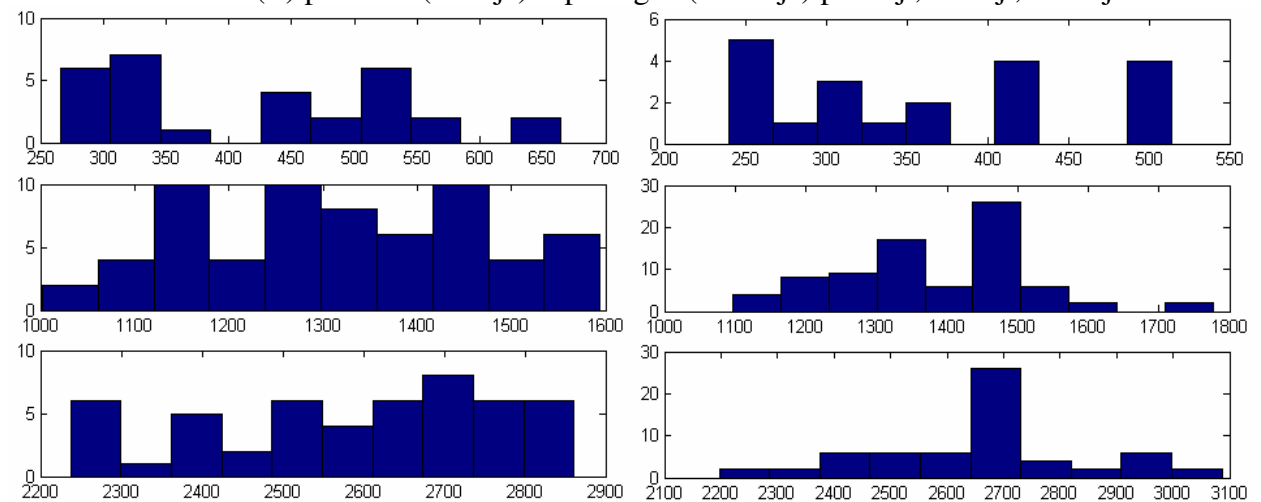
Priebalsio F(A) pradžios (kairėje) ir pabaigos (dešinėje) pirmoji, antroji, trečioji formantė



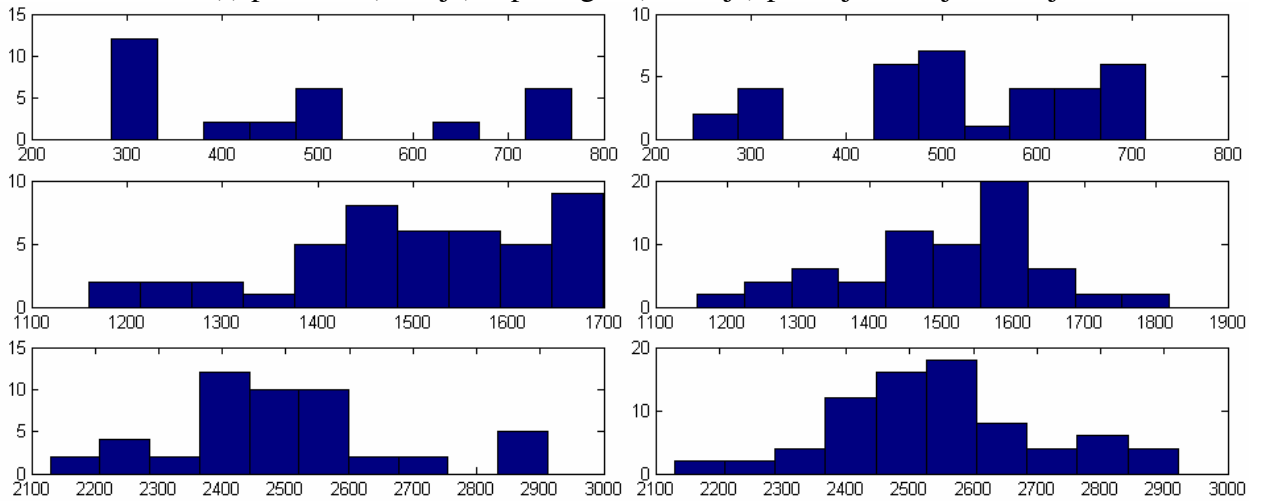
Priebalsio F(O) pradžios (kairėje) ir pabaigos (dešinėje) pirmoji, antroji, trečioji formantė



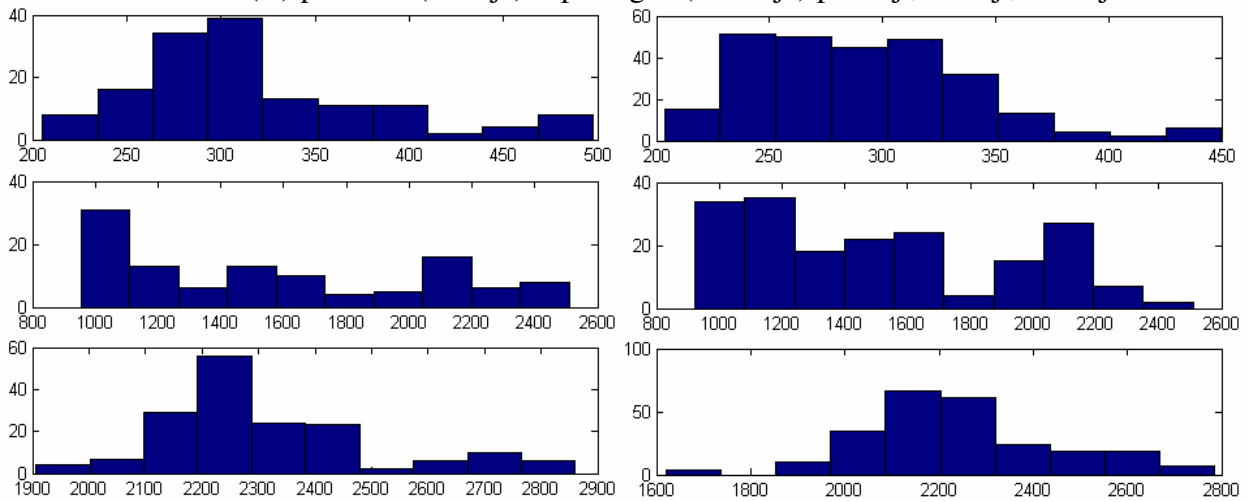
Priebalsio F(E) pradžios (kairėje) ir pabaigos (dešinėje) pirmoji, antroji, trečioji formantė



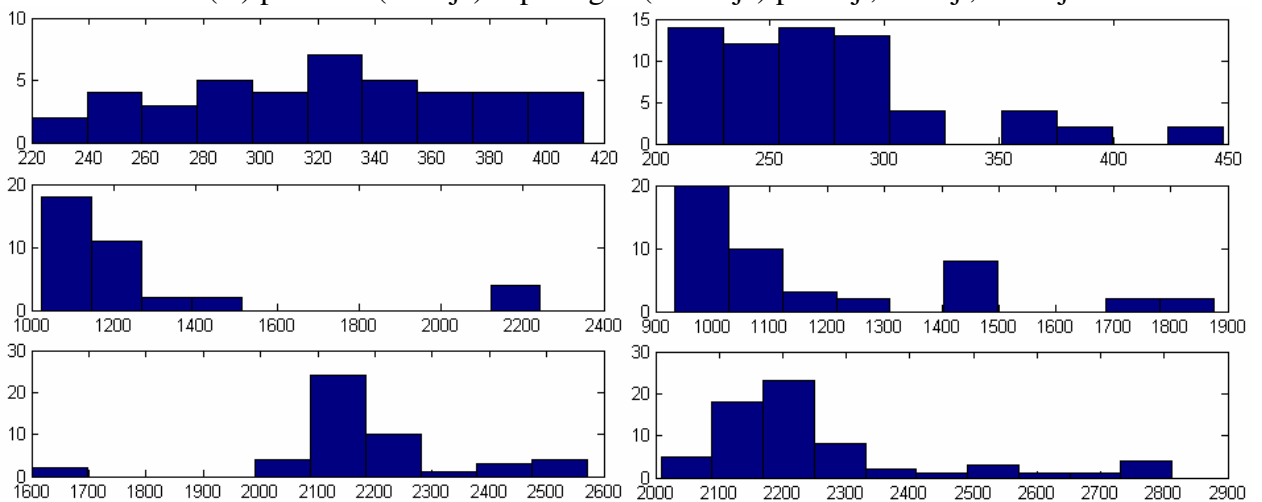
Priebalsio F(I) pradžios (kairėje) ir pabaigos (dešinėje) pirmoji, antroji, trečioji formantė



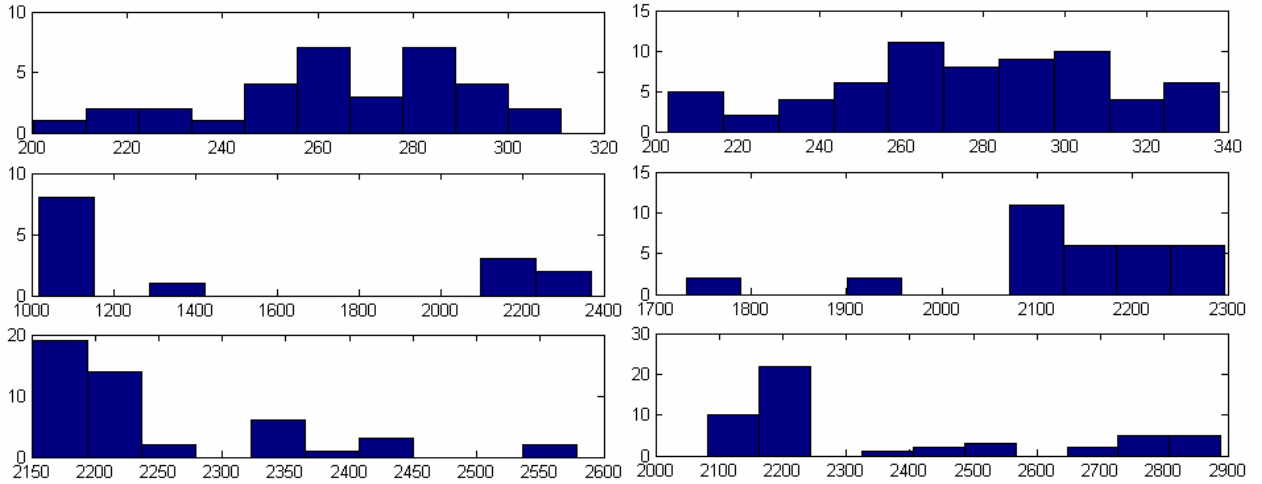
Priebalsio G(A) pradžios (kairėje) ir pabaigos (dešinėje) pirmoji, antroji, trečioji formantė



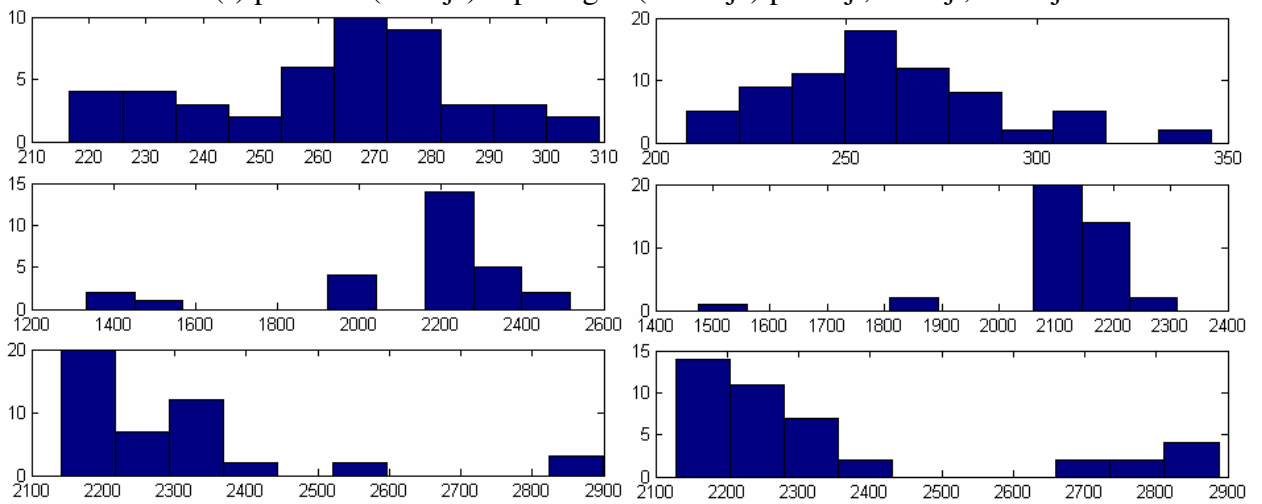
Priebalsio G(U) pradžios (kairėje) ir pabaigos (dešinėje) pirmoji, antroji, trečioji formantė



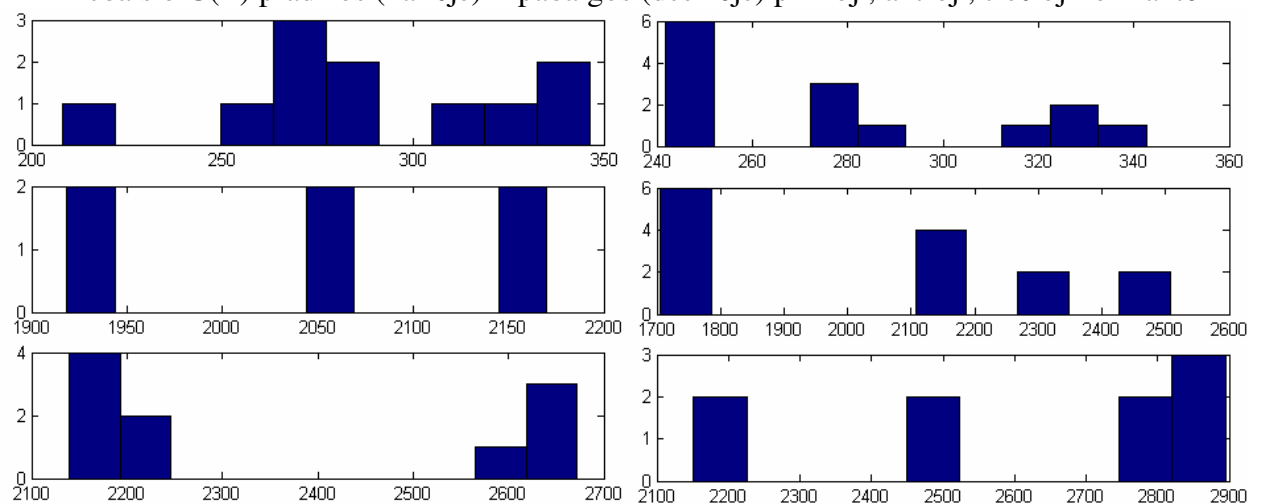
Priebalsio G(E) pradžios (kairėje) ir pabaigos (dešinėje) pirmoji, antroji, trečioji formantė



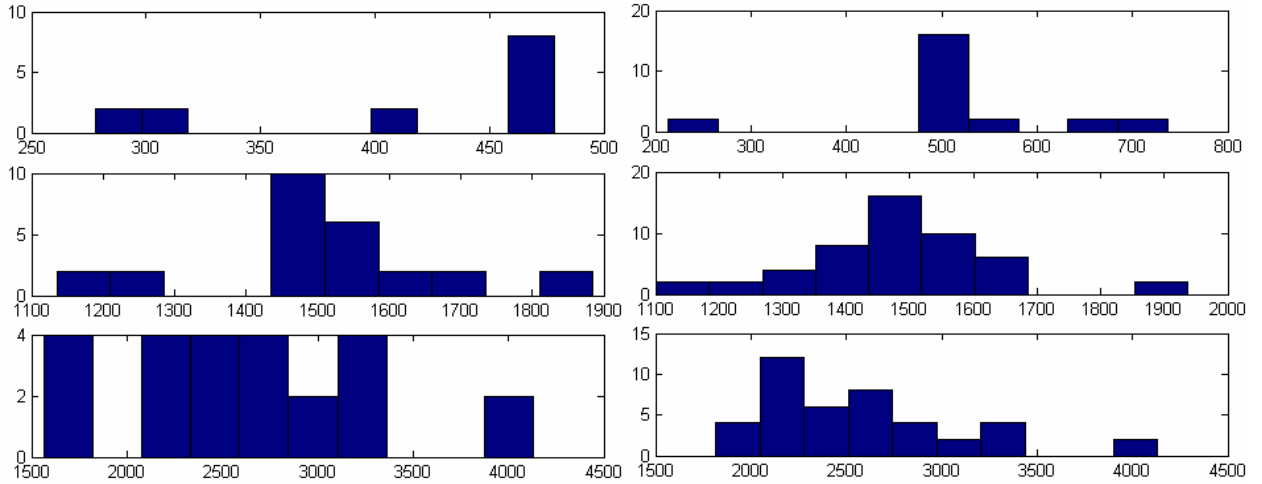
Priebalsio G(I) pradžios (kairėje) ir pabaigos (dešinėje) pirmoji, antroji, trečioji formantė



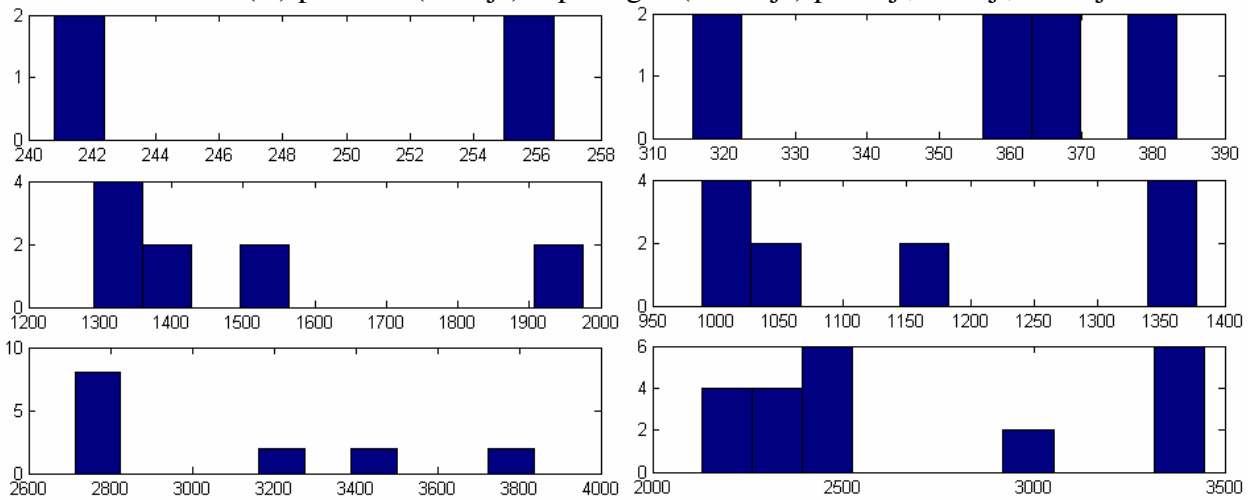
Priebalsio G(Ė) pradžios (kairėje) ir pabaigos (dešinėje) pirmoji, antroji, trečioji formantė



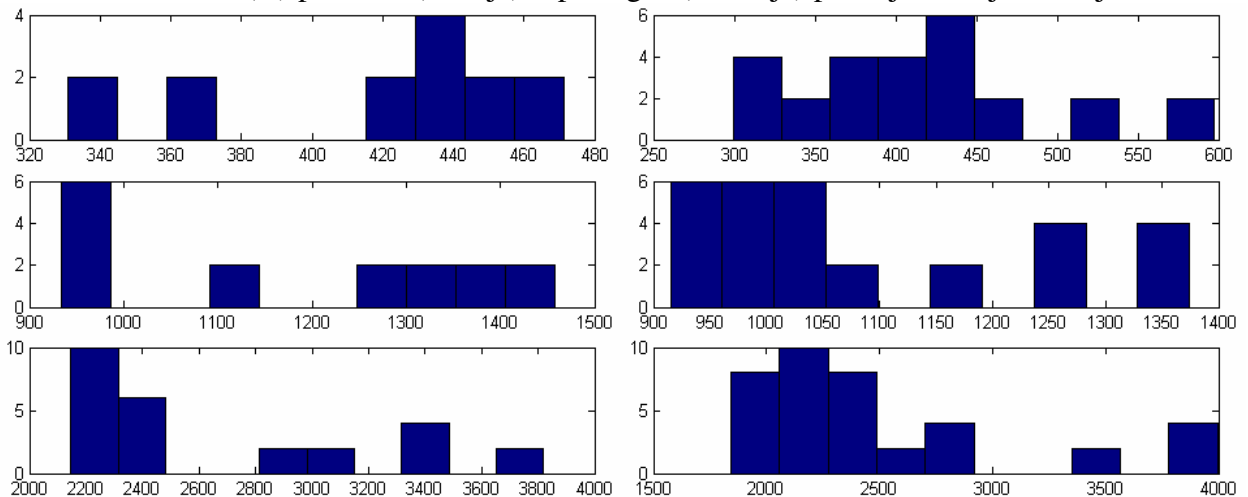
Priebalsio H(A) pradžios (kairėje) ir pabaigos (dešinėje) pirmoji, antroji, trečioji formantė



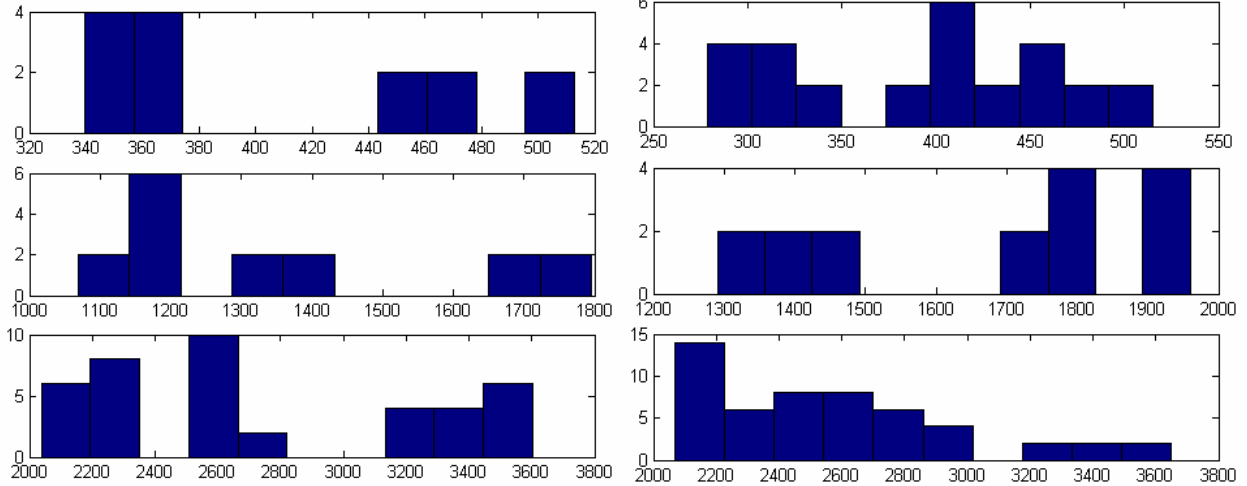
Priebalsio H(U) pradžios (kairėje) ir pabaigos (dešinėje) pirmoji, antroji, trečioji formantė



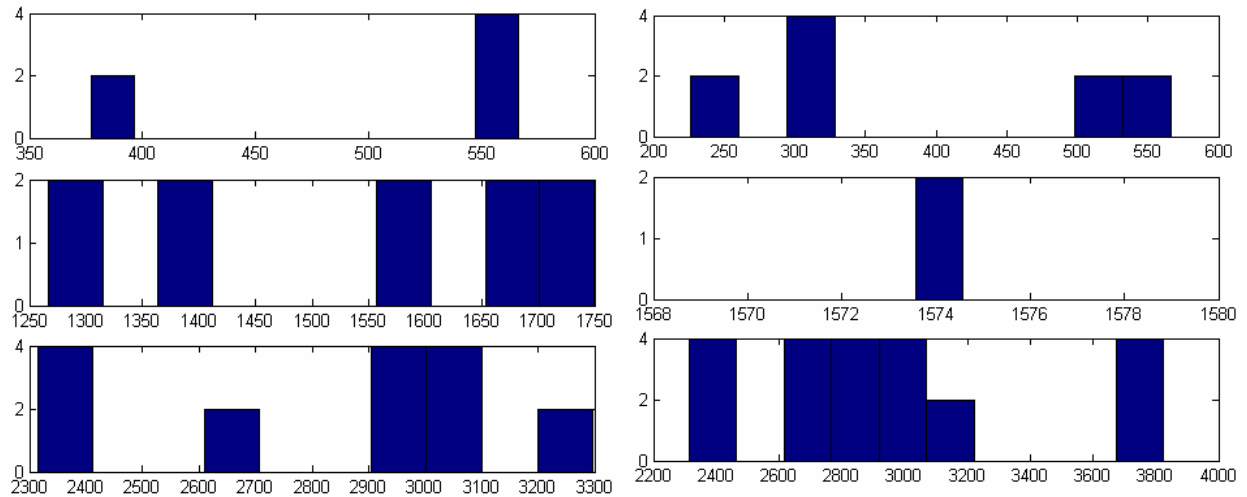
Priebalsio H(O) pradžios (kairėje) ir pabaigos (dešinėje) pirmoji, antroji, trečioji formantė



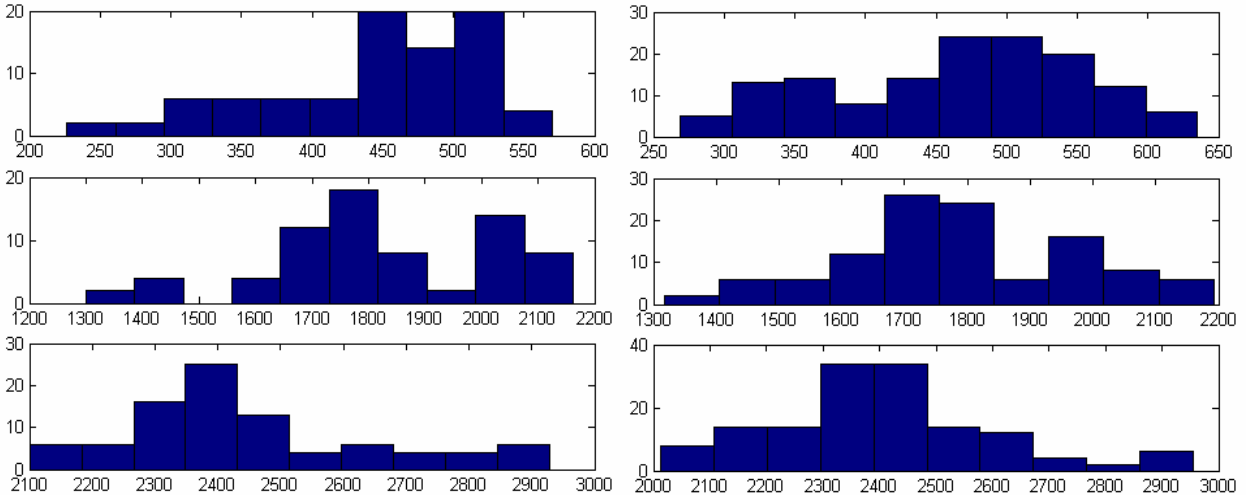
Priebalsio H(E) pradžios (kairėje) ir pabaigos (dešinėje) pirmoji, antroji, trečioji formantė



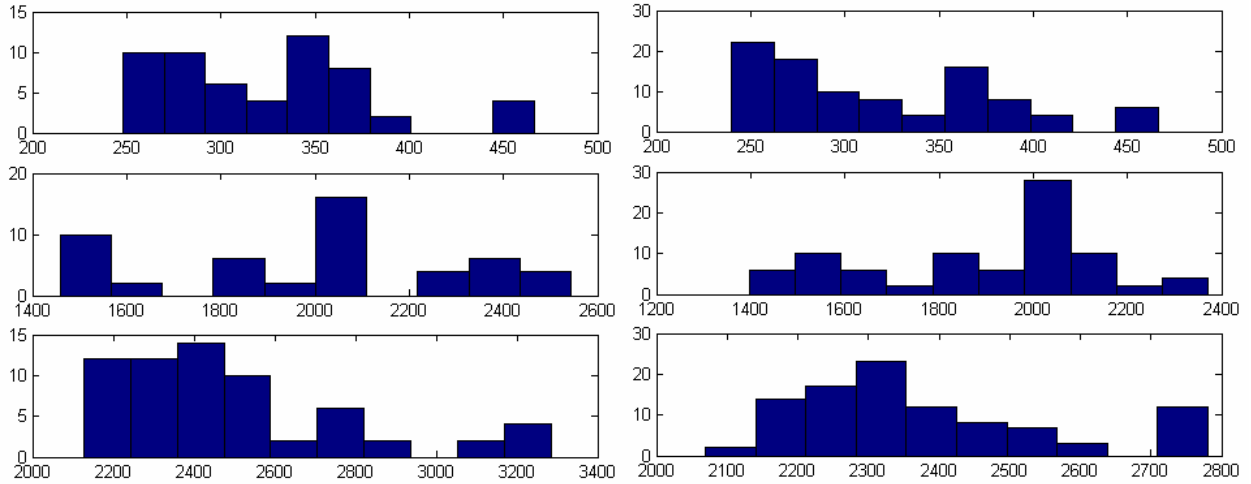
Priebalsio H(I) pradžios (kairėje) ir pabaigos (dešinėje) pirmoji, antroji, trečioji formantė



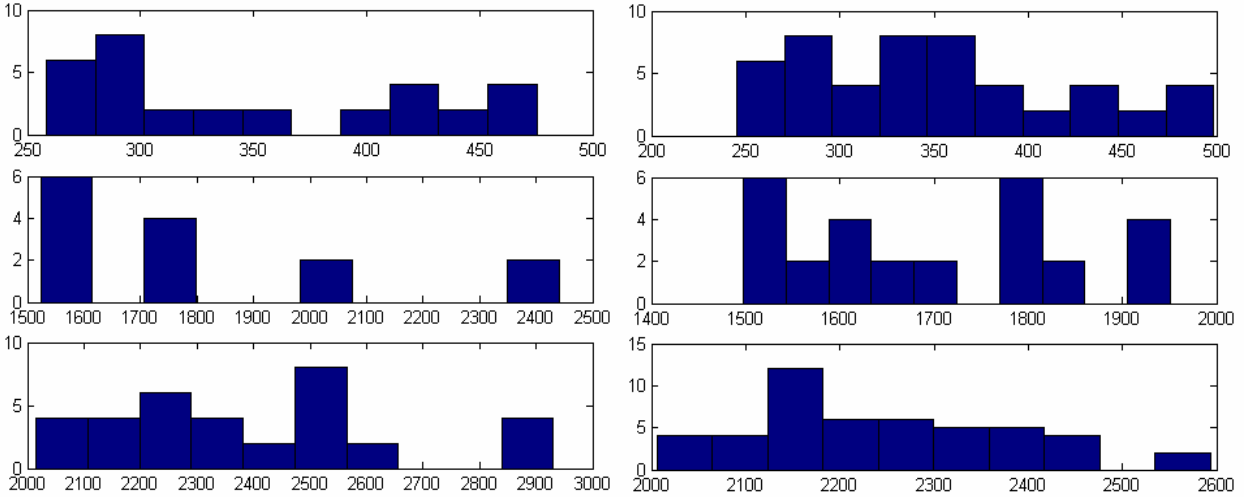
Priebalsio J(A) pradžios (kairėje) ir pabaigos (dešinėje) pirmoji, antroji, trečioji formantė



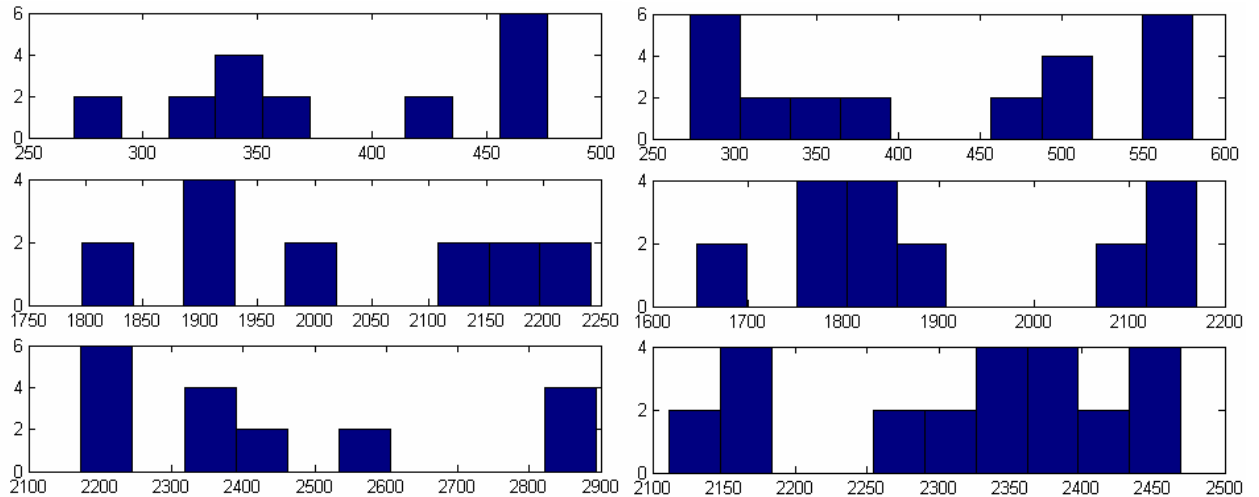
Priebalsio J(U) pradžios (kairėje) ir pabaigos (dešinėje) pirmoji, antroji, trečioji formantė



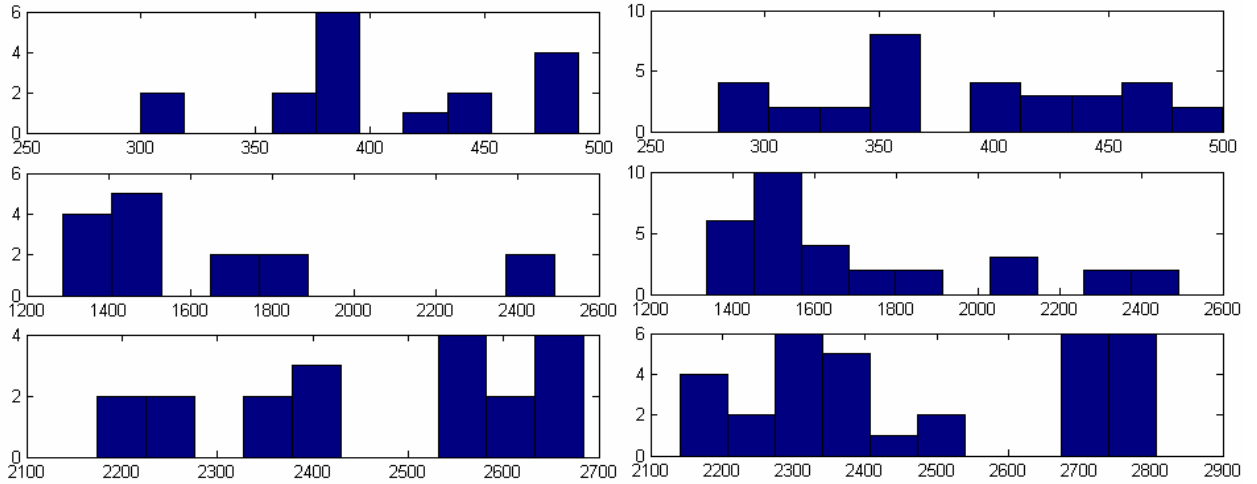
Priebalsio J(O) pradžios (kairėje) ir pabaigos (dešinėje) pirmoji, antroji, trečioji formantė



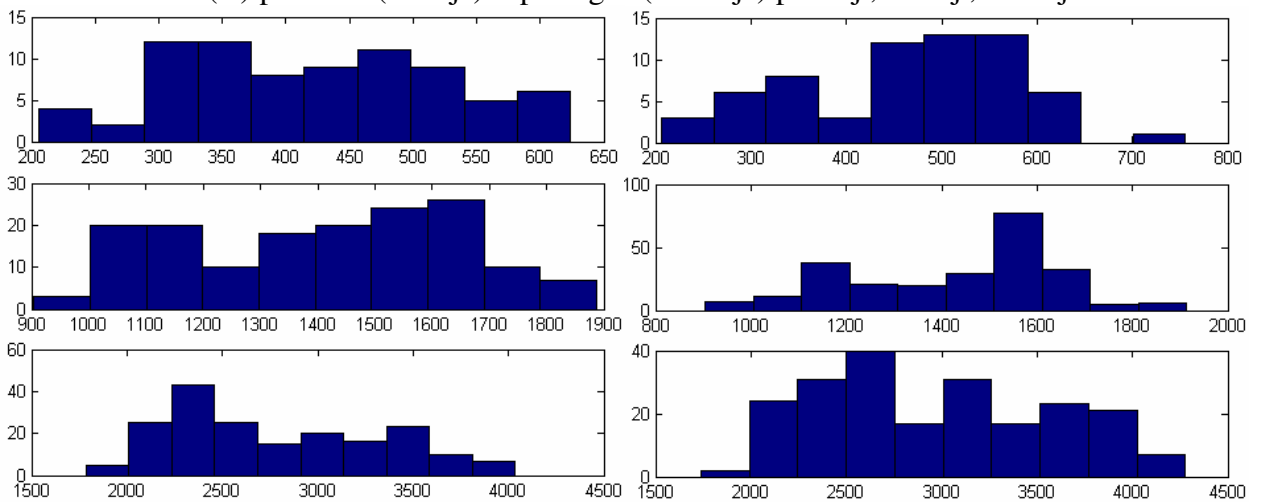
Priebalsio J(E) pradžios (kairėje) ir pabaigos (dešinėje) pirmoji, antroji, trečioji formantė



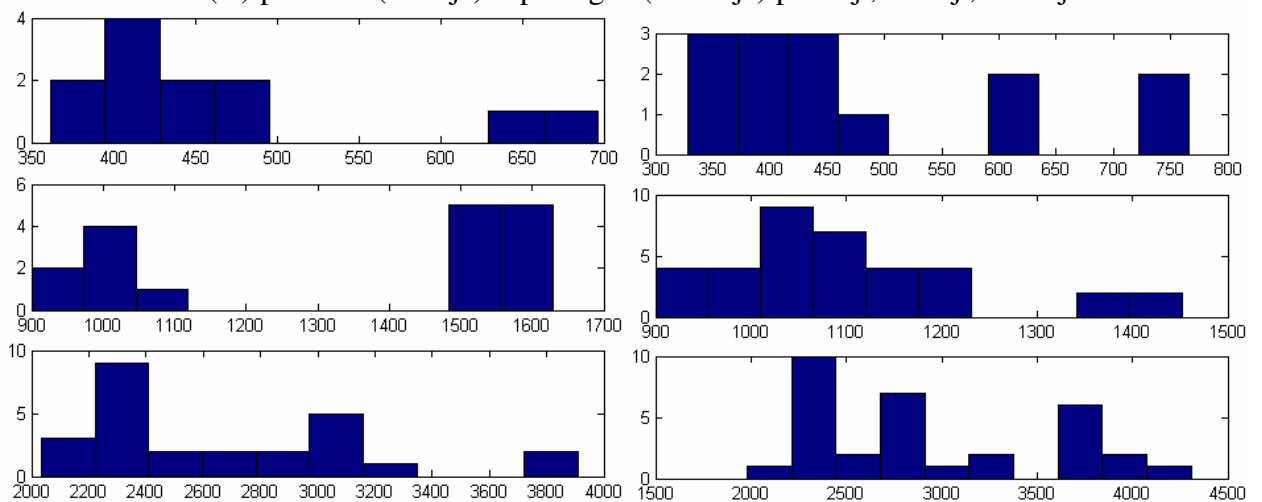
Priebalsio J(I) pradžios (kairėje) ir pabaigos (dešinėje) pirmoji, antroji, trečioji formantė



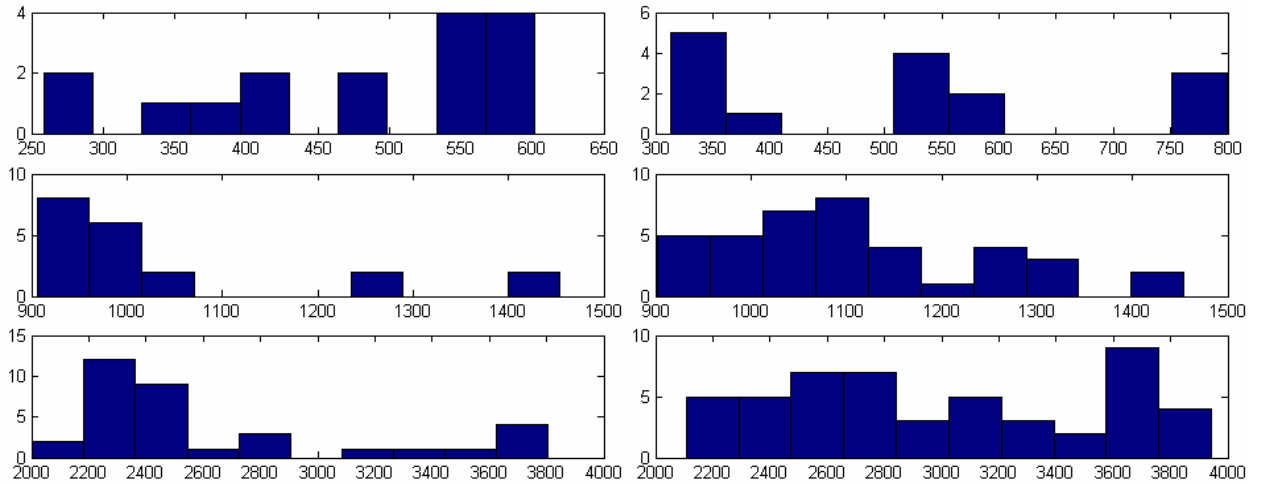
Priebalsio K(A) pradžios (kairėje) ir pabaigos (dešinėje) pirmoji, antroji, trečioji formantė



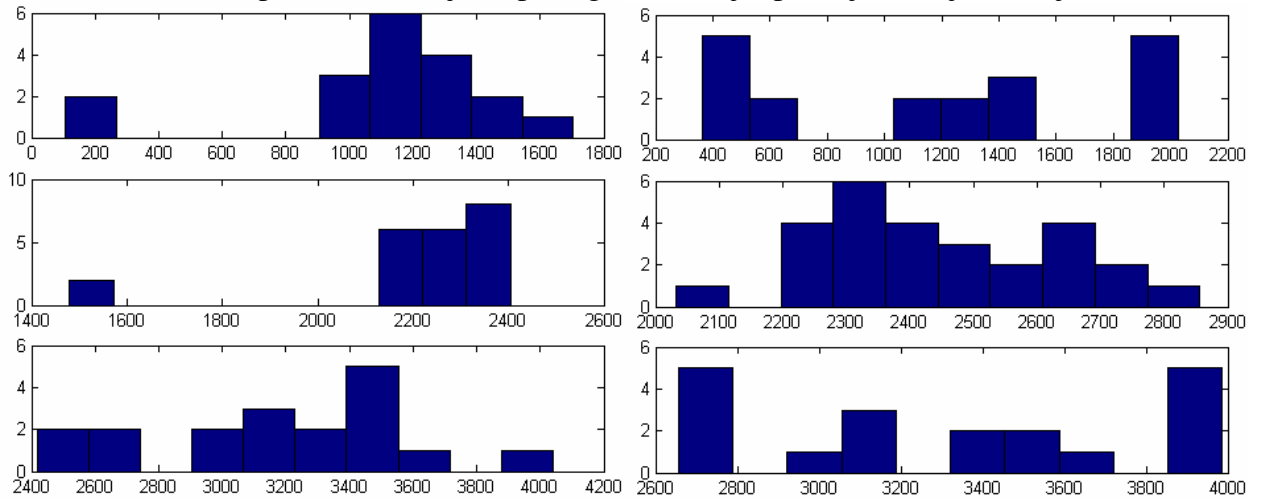
Priebalsio K(U) pradžios (kairėje) ir pabaigos (dešinėje) pirmoji, antroji, trečioji formantė



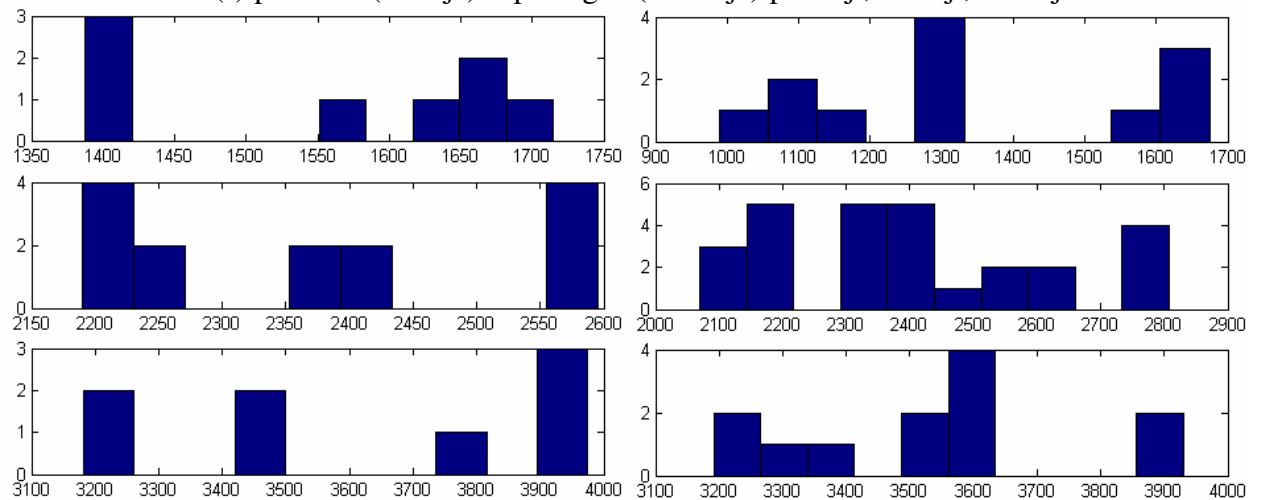
Priebalsio K(O) pradžios (kairėje) ir pabaigos (dešinėje) pirmoji, antroji, trečioji formantė



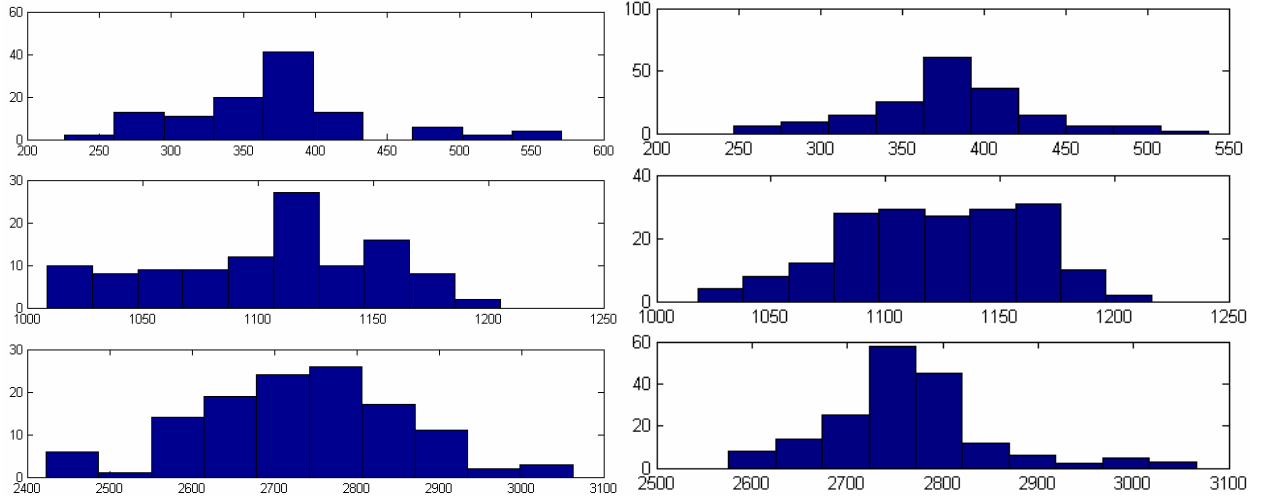
Priebalsio K(E) pradžios (kairėje) ir pabaigos (dešinėje) pirmoji, antroji, trečioji formantė



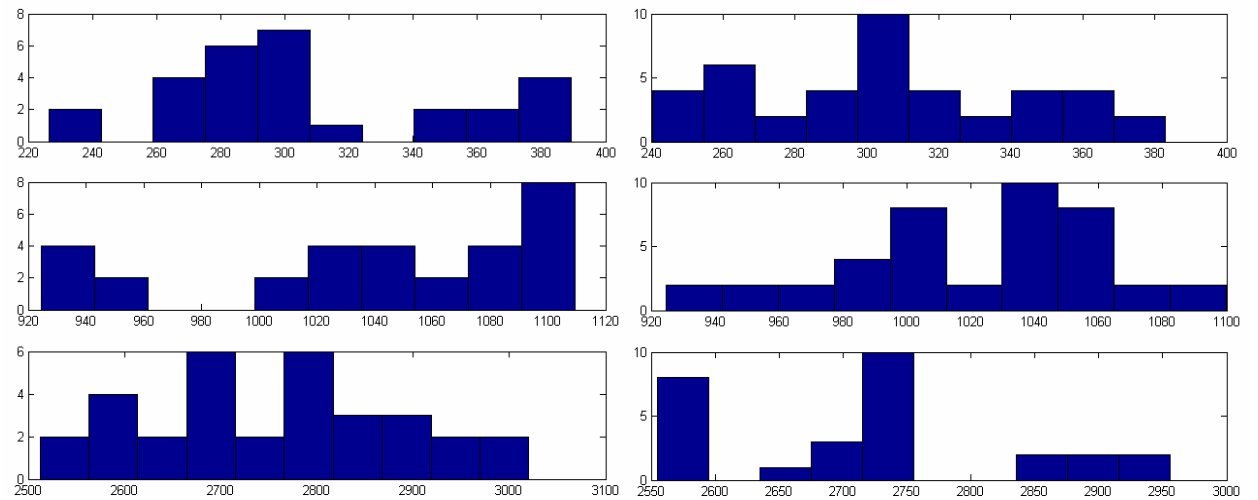
Priebalsio K(I) pradžios (kairėje) ir pabaigos (dešinėje) pirmoji, antroji, trečioji formantė



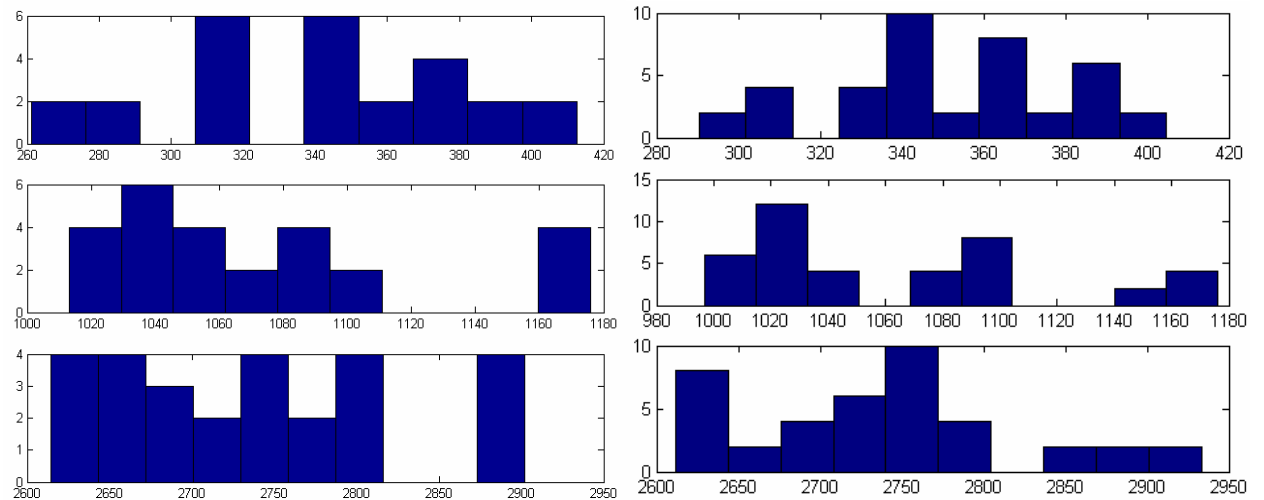
Priebalsio L(A) pradžios (kairėje) ir pabaigos (dešinėje) pirmoji, antroji, trečioji formantė



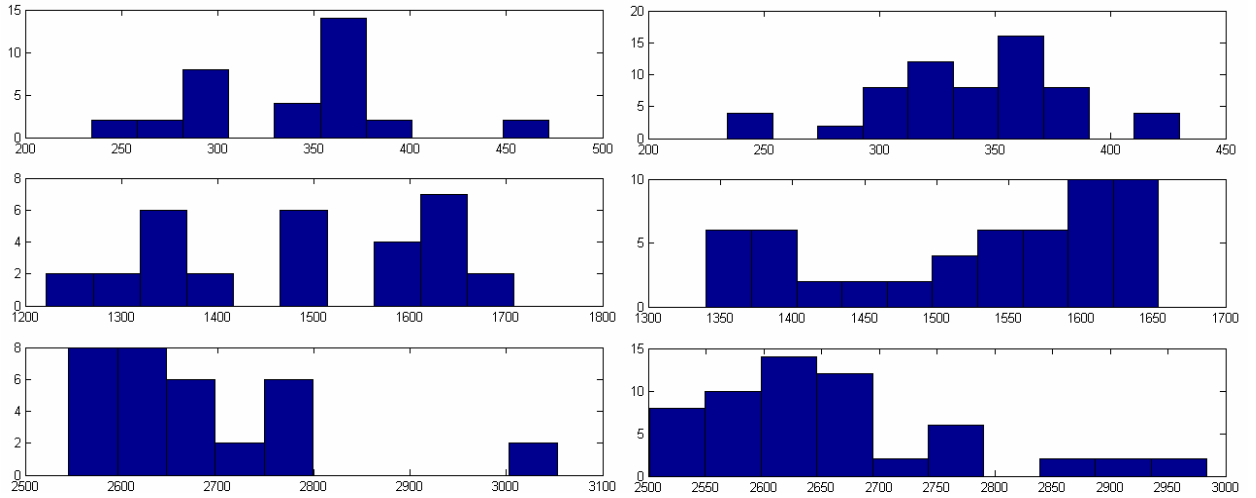
Priebalsio L(U) pradžios (kairėje) ir pabaigos (dešinėje) pirmoji, antroji, trečioji formantė



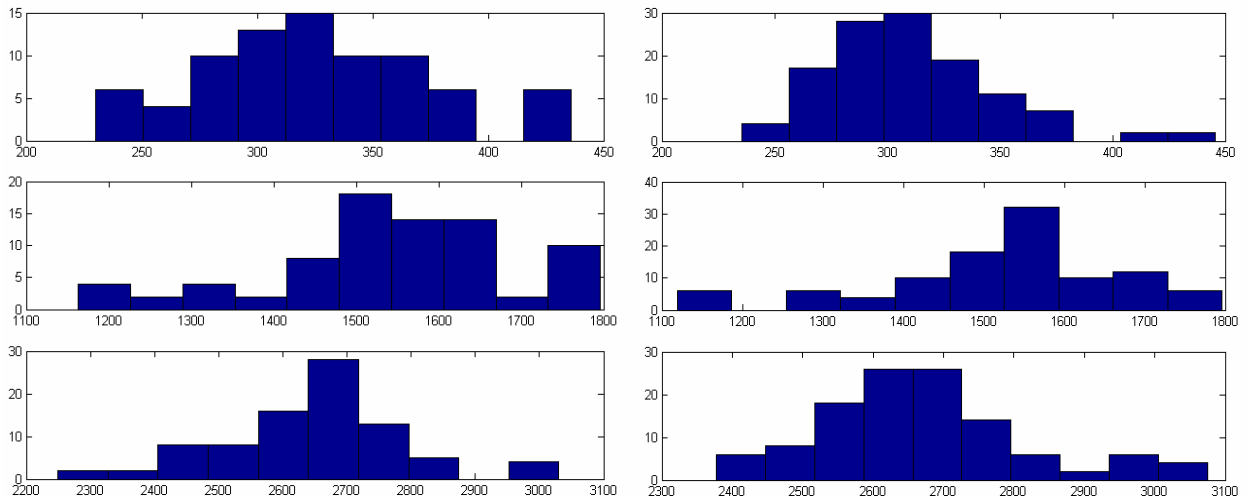
Priebalsio L(O) pradžios (kairėje) ir pabaigos (dešinėje) pirmoji, antroji, trečioji formantė



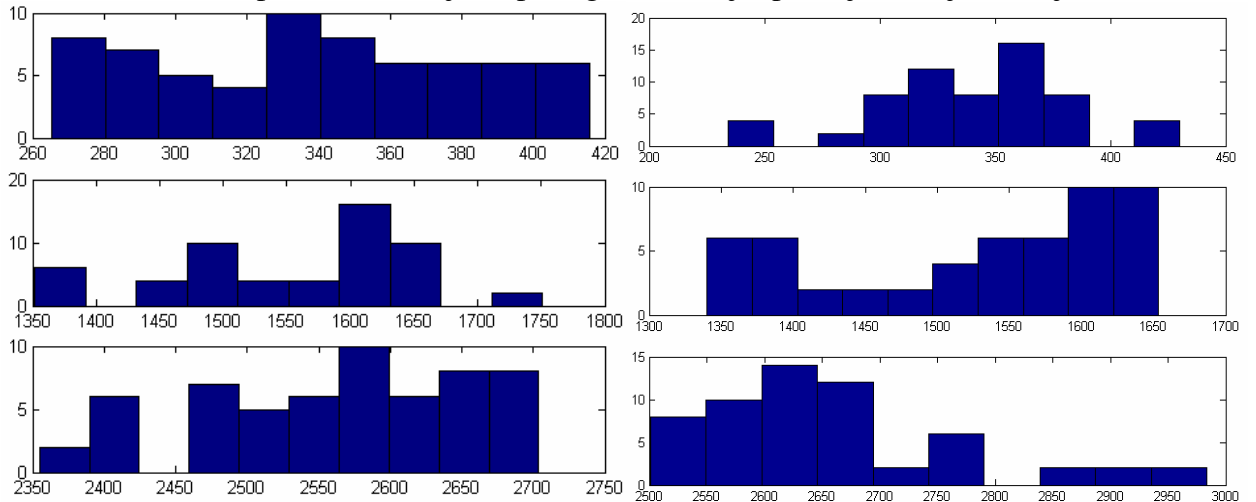
Priebalsio L(E) pradžios (kairėje) ir pabaigos (dešinėje) pirmoji, antroji, trečioji formantė



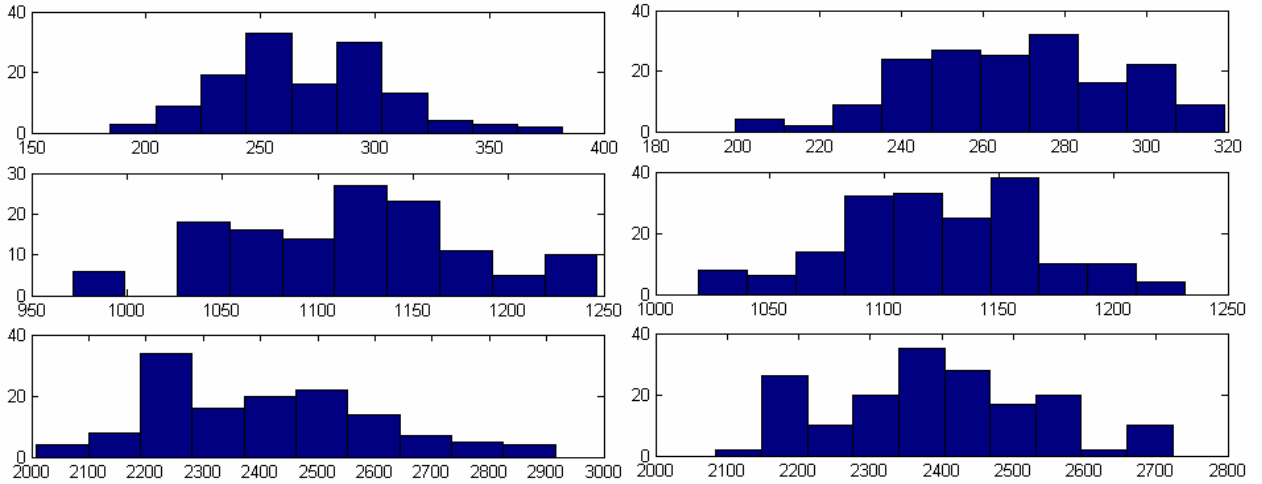
Priebalsio L(I) pradžios (kairėje) ir pabaigos (dešinėje) pirmoji, antroji, trečioji formantė



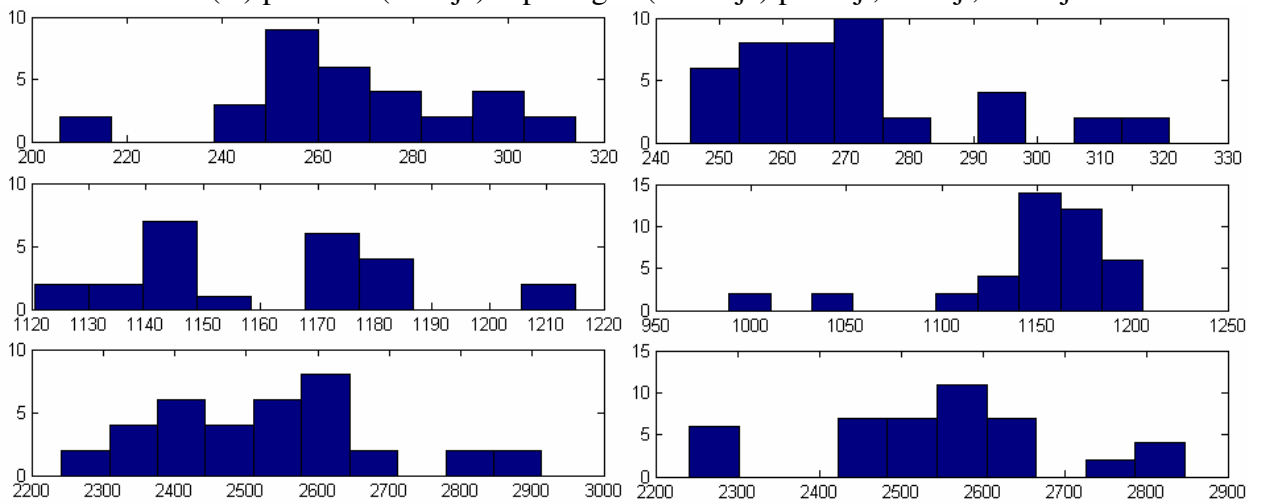
Priebalsio L(Ė) pradžios (kairėje) ir pabaigos (dešinėje) pirmoji, antroji, trečioji formantė



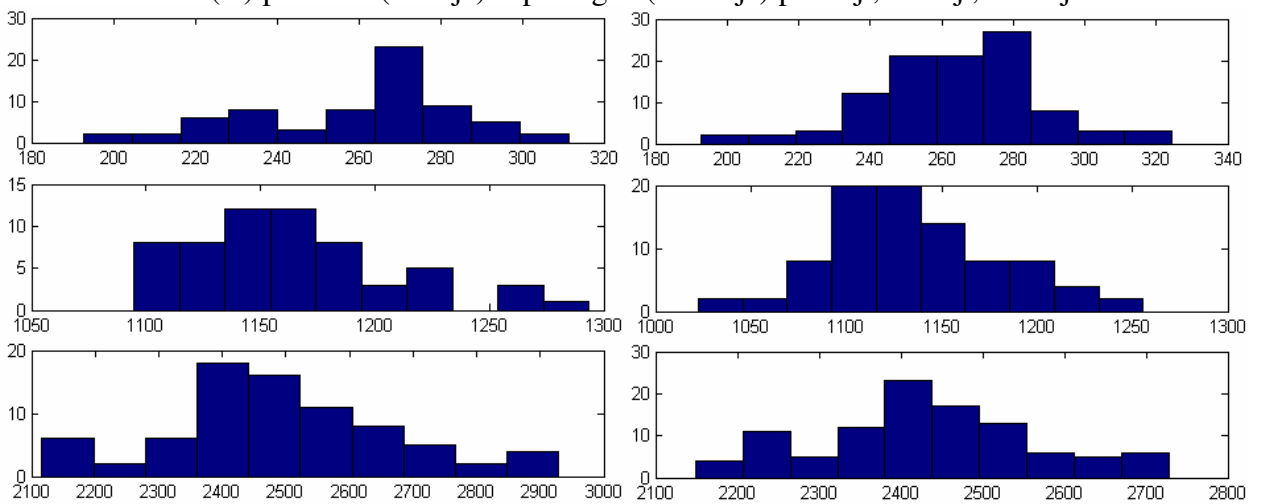
Priebalsio M(A) pradžios (kairėje) ir pabaigos (dešinėje) pirmoji, antroji, trečioji formantė



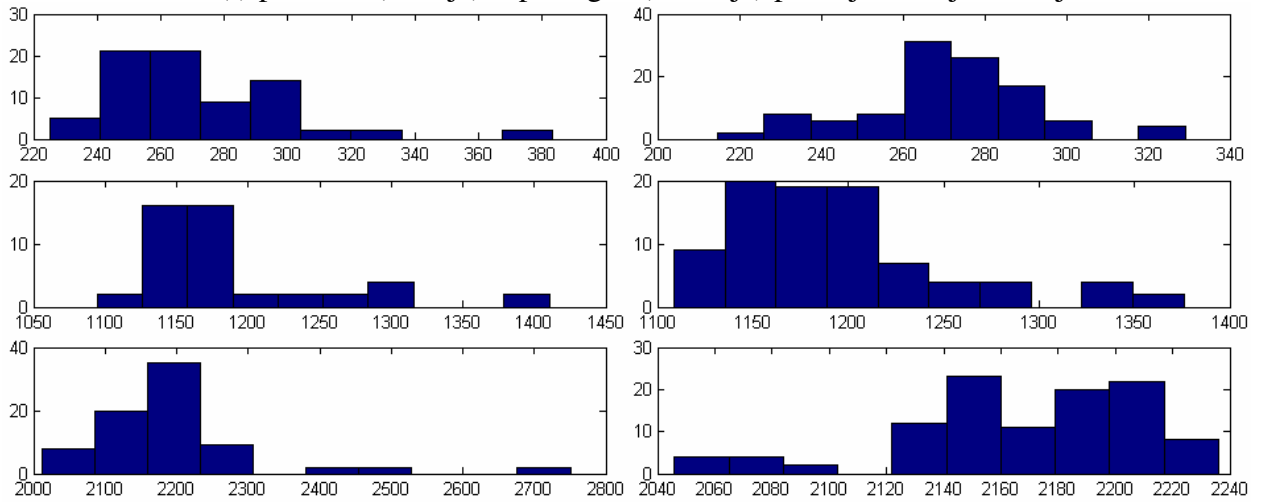
Priebalsio M(U) pradžios (kairėje) ir pabaigos (dešinėje) pirmoji, antroji, trečioji formantė



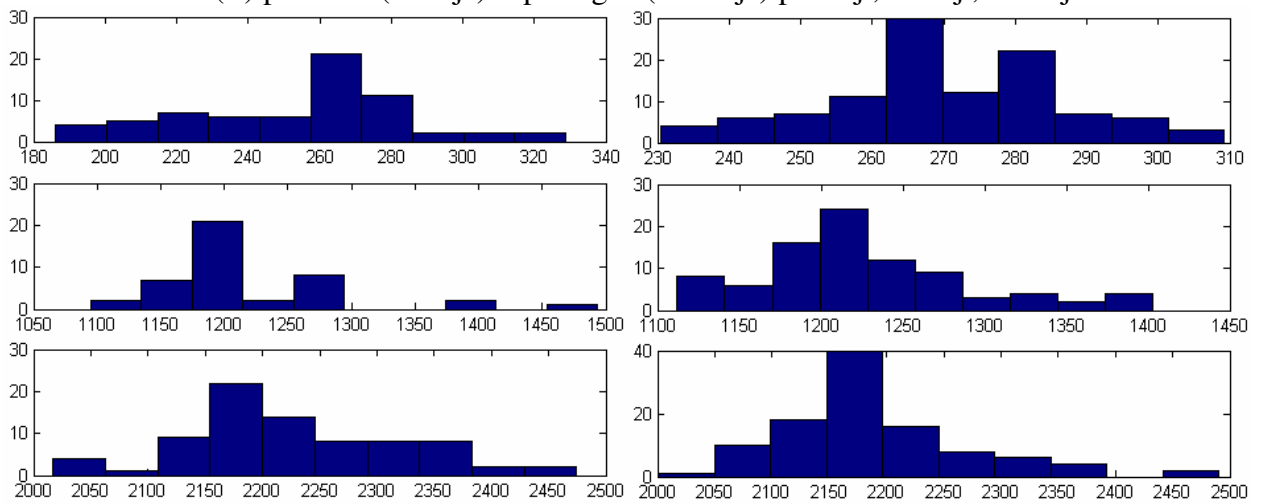
Priebalsio M(O) pradžios (kairėje) ir pabaigos (dešinėje) pirmoji, antroji, trečioji formantė



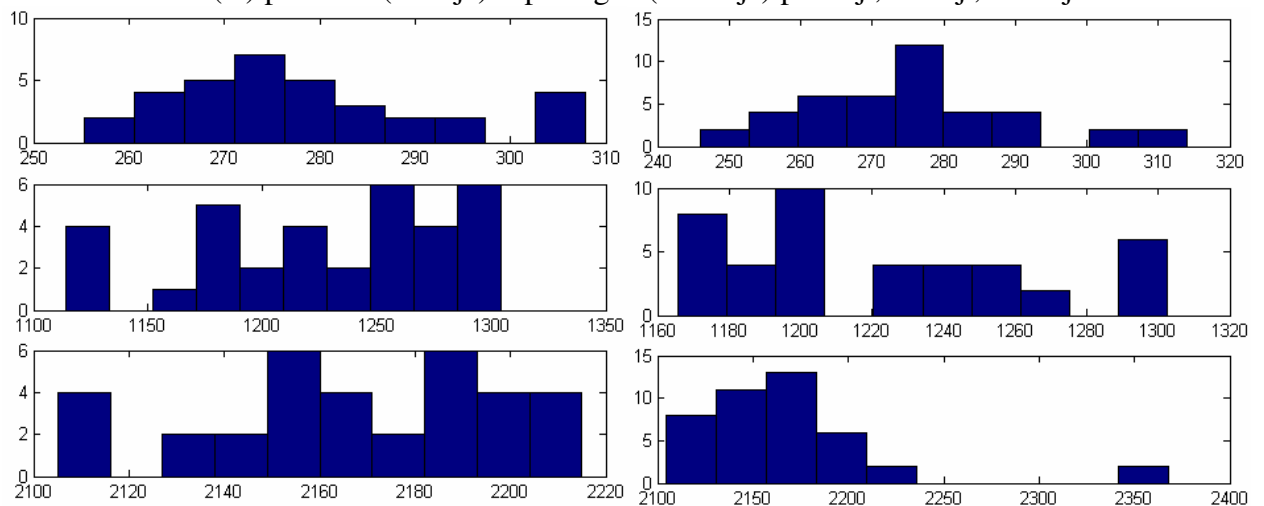
Priebalsio M(I) pradžios (kairėje) ir pabaigos (dešinėje) pirmoji, antroji, trečioji formantė



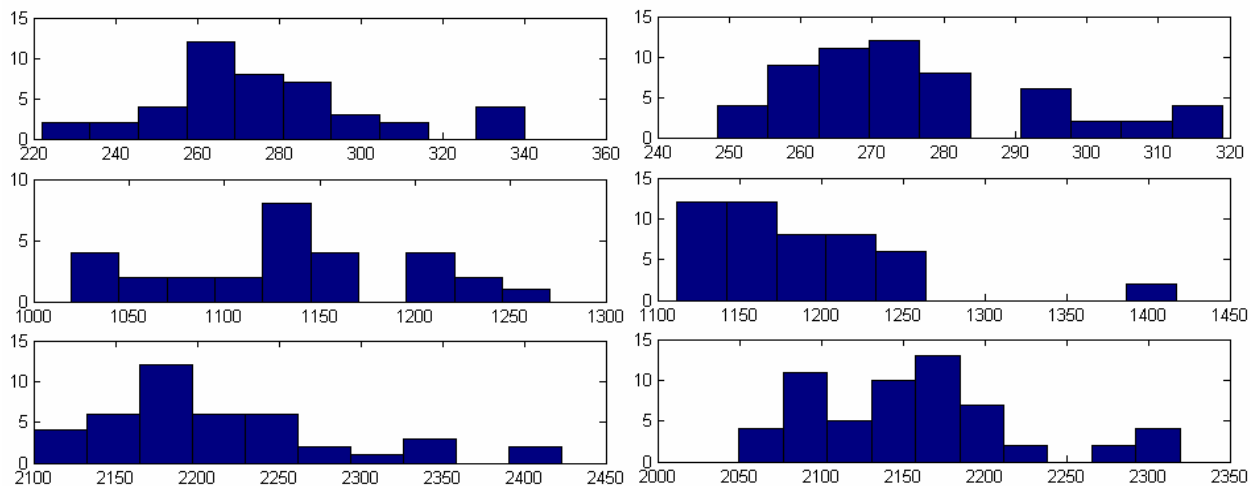
Priebalsio M(E) pradžios (kairėje) ir pabaigos (dešinėje) pirmoji, antroji, trečioji formantė



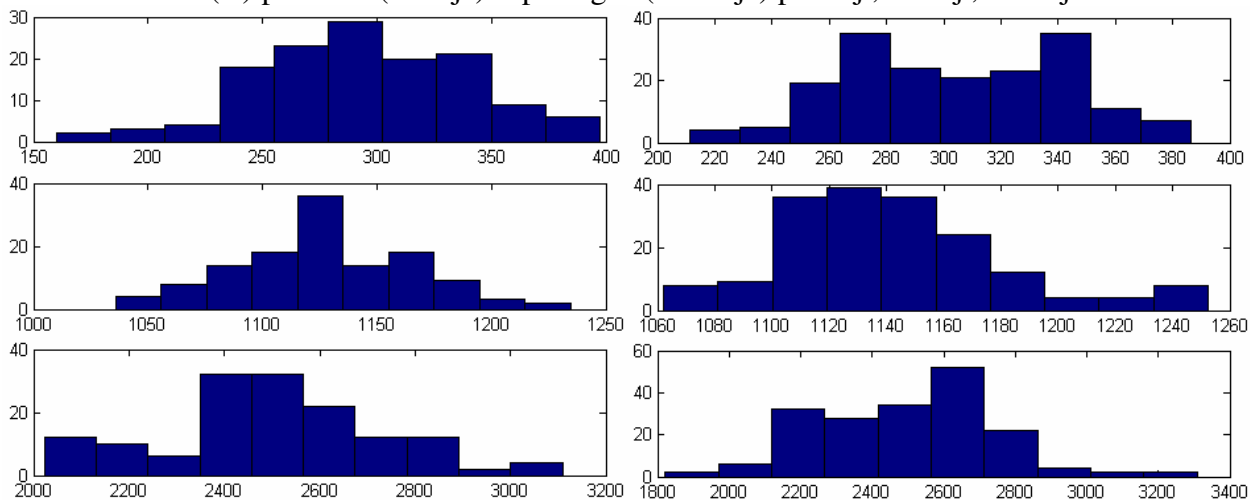
Priebalsio M(Y) pradžios (kairėje) ir pabaigos (dešinėje) pirmoji, antroji, trečioji formantė



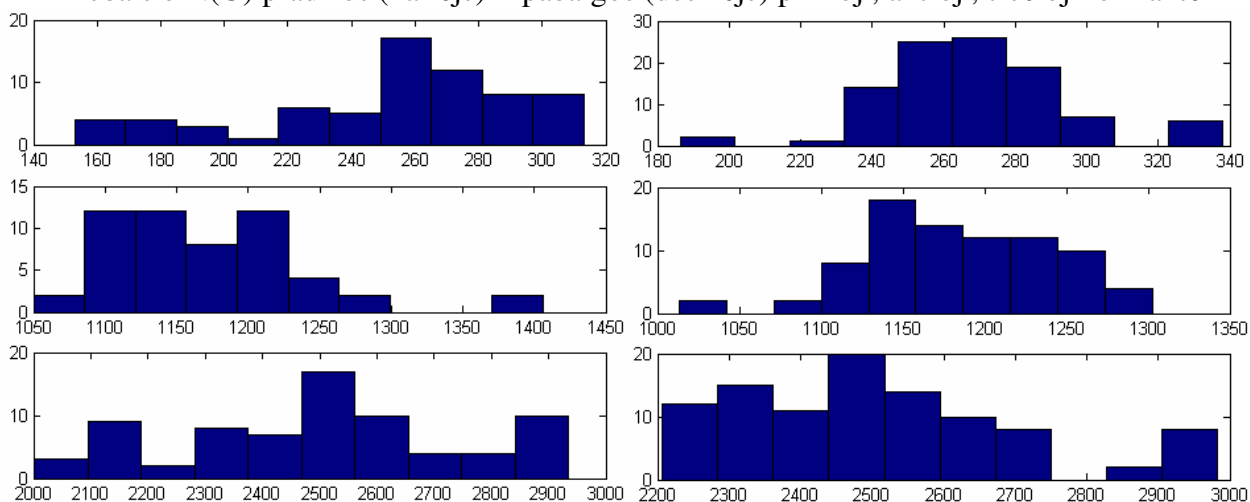
Priebalsio M(Ė) pradžios (kairėje) ir pabaigos (dešinėje) pirmoji, antroji, trečioji formantė



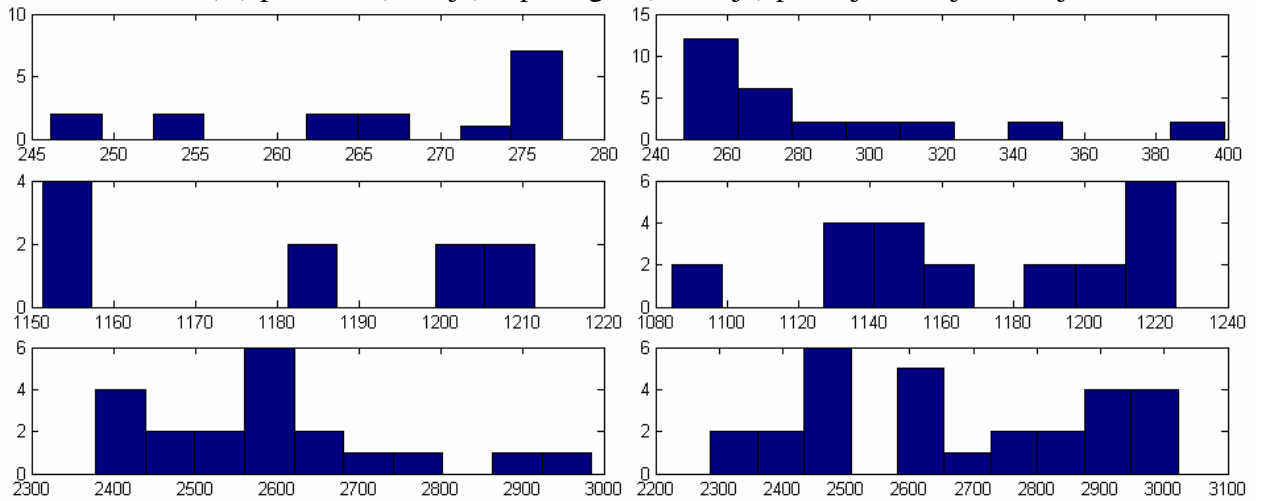
Priebalsio N(A) pradžios (kairėje) ir pabaigos (dešinėje) pirmoji, antroji, trečioji formantė



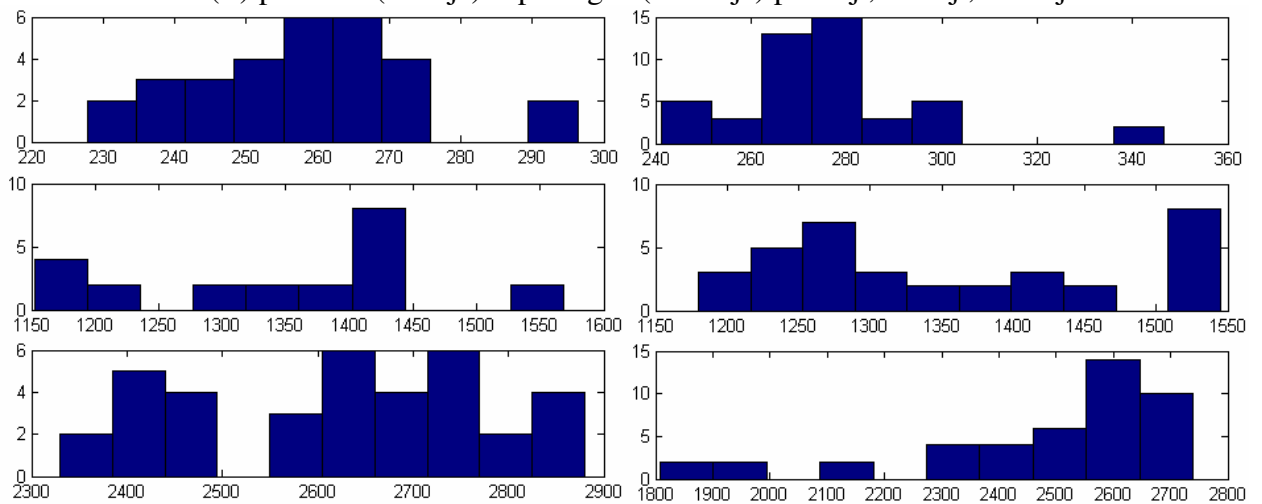
Priebalsio N(U) pradžios (kairėje) ir pabaigos (dešinėje) pirmoji, antroji, trečioji formantė



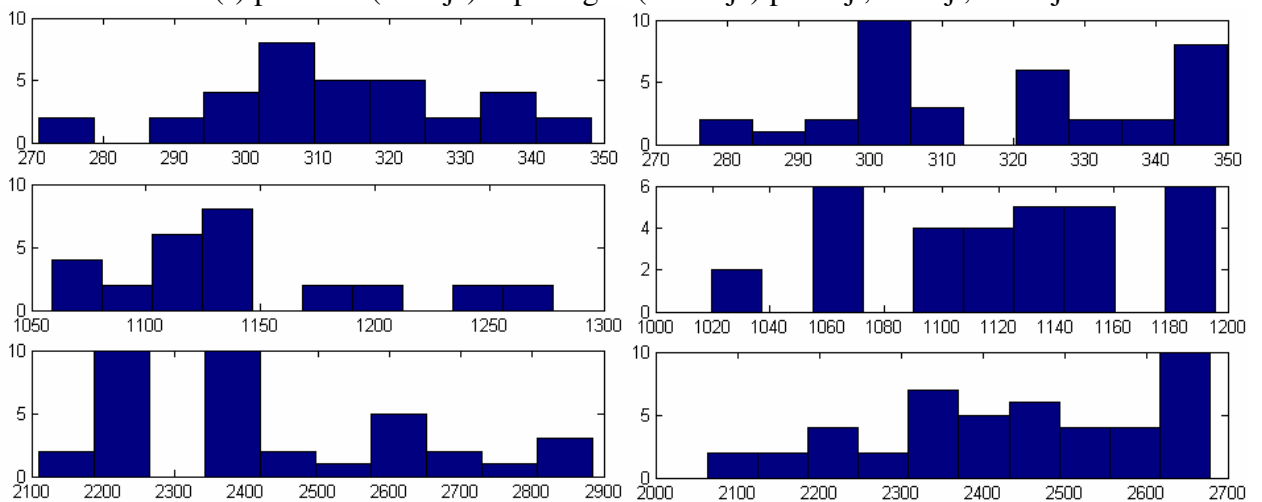
Priebalsio N(O) pradžios (kairėje) ir pabaigos (dešinėje) pirmoji, antroji, trečioji formantė



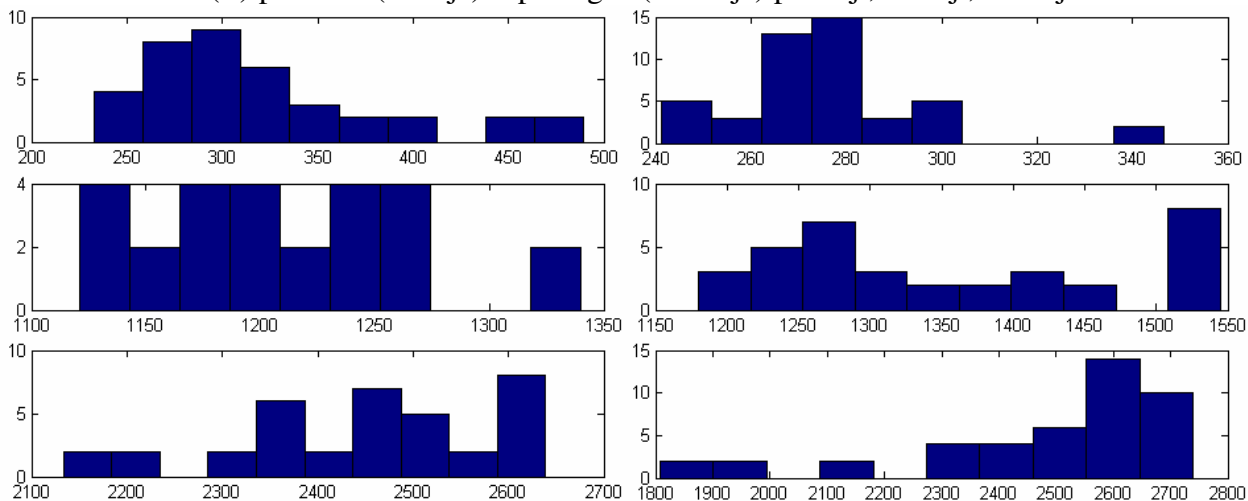
Priebalsio N(E) pradžios (kairėje) ir pabaigos (dešinėje) pirmoji, antroji, trečioji formantė



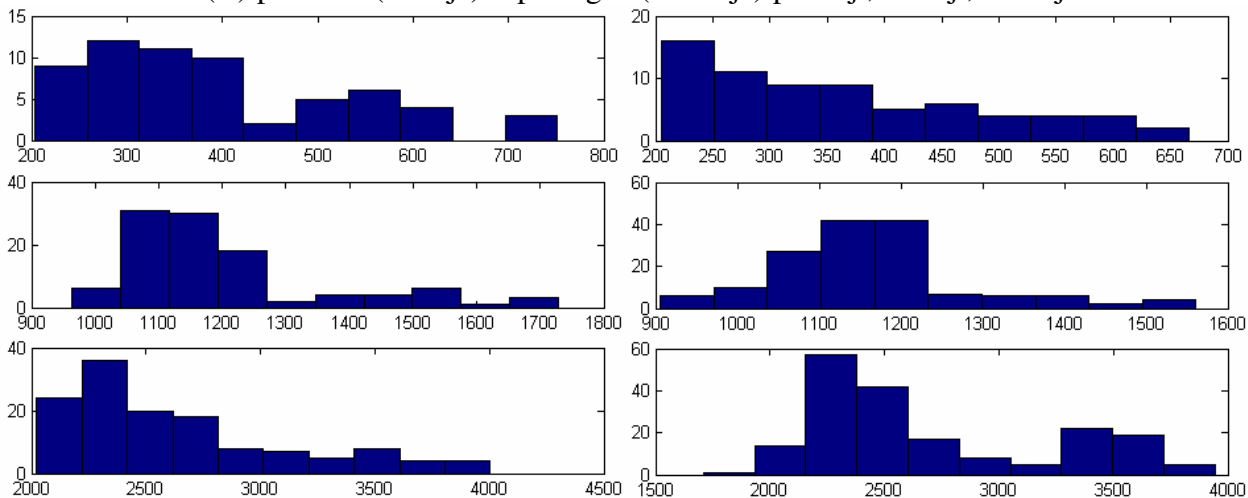
Priebalsio N(I) pradžios (kairėje) ir pabaigos (dešinėje) pirmoji, antroji, trečioji formantė



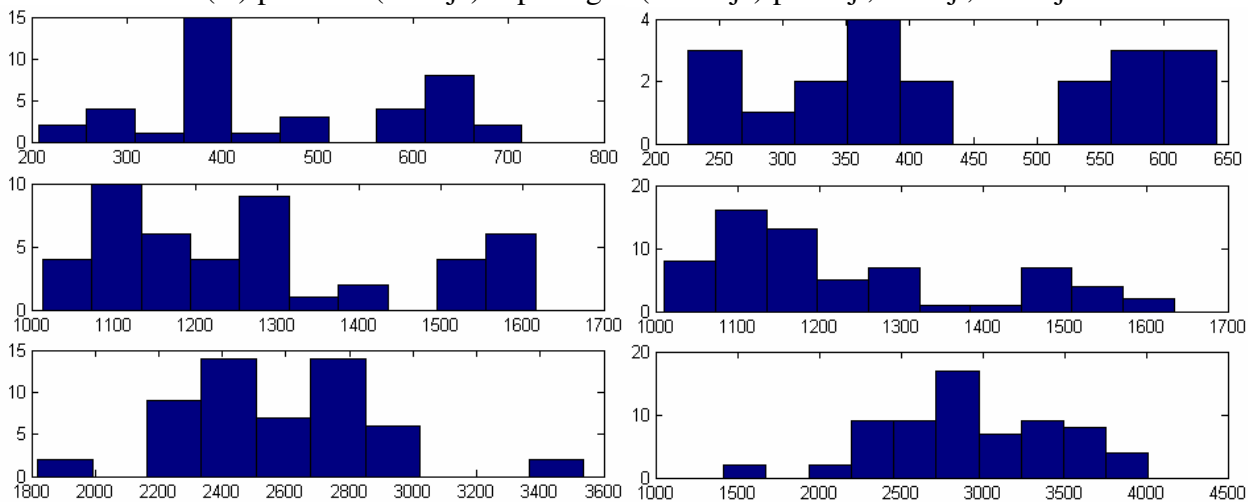
Priebalsio N(Ė) pradžios (kairėje) ir pabaigos (dešinėje) pirmoji, antroji, trečioji formantė



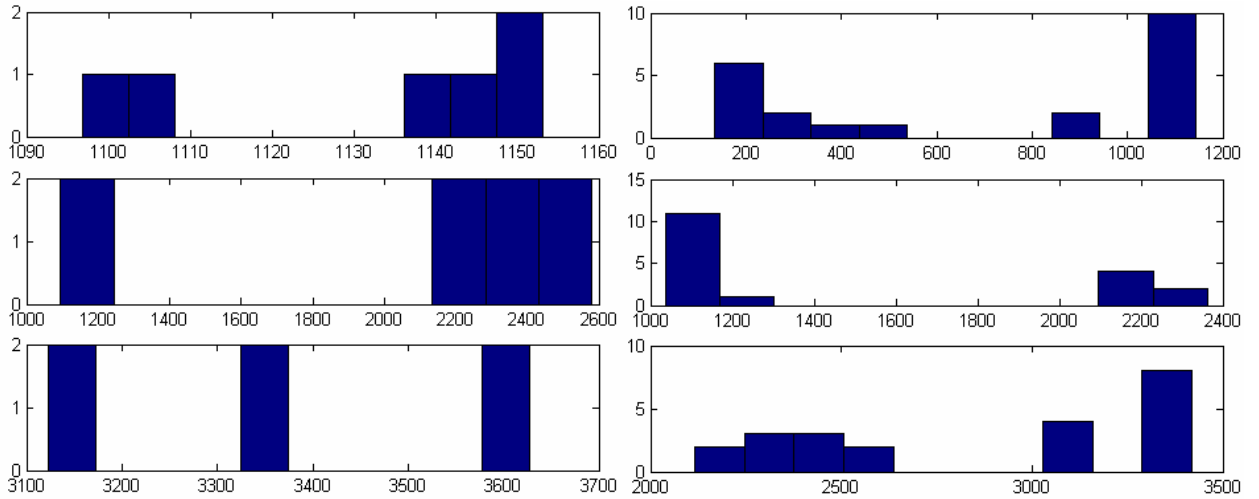
Priebalsio P(A) pradžios (kairėje) ir pabaigos (dešinėje) pirmoji, antroji, trečioji formantė



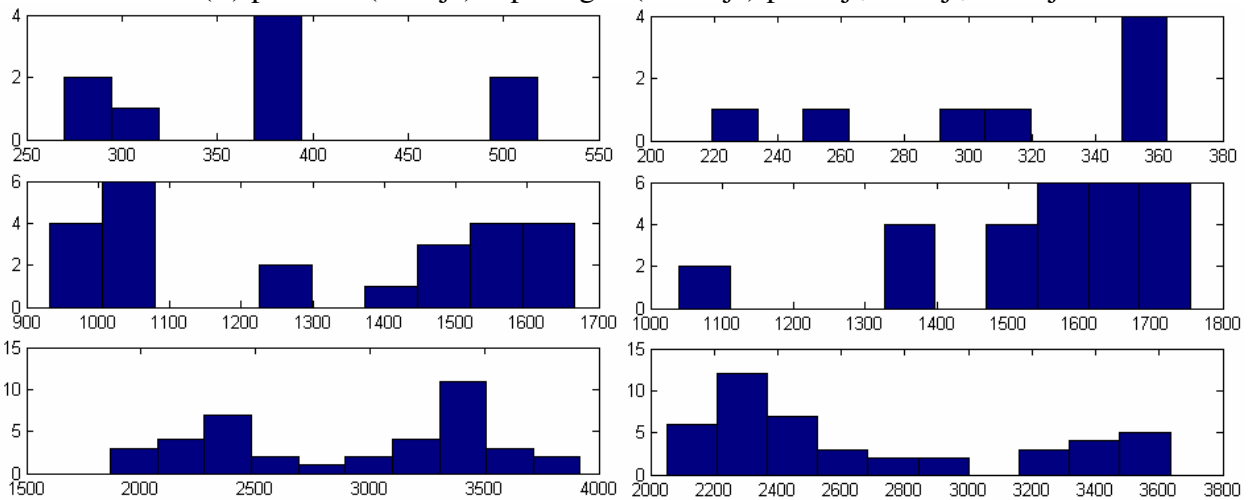
Priebalsio P(U) pradžios (kairėje) ir pabaigos (dešinėje) pirmoji, antroji, trečioji formantė



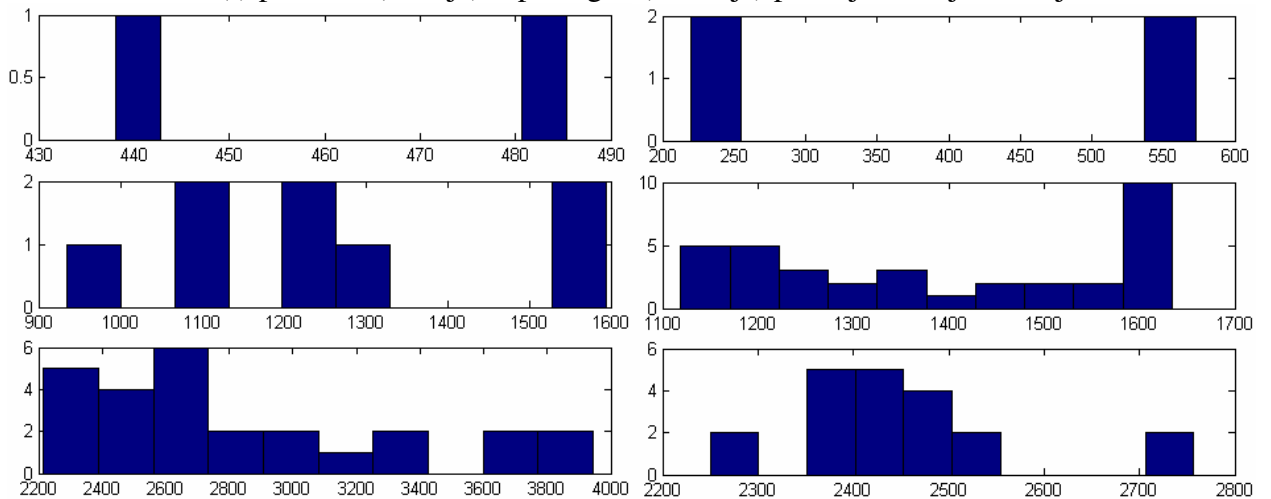
Priebalsio P(O) pradžios (kairėje) ir pabaigos (dešinėje) pirmoji, antroji, trečioji formantė



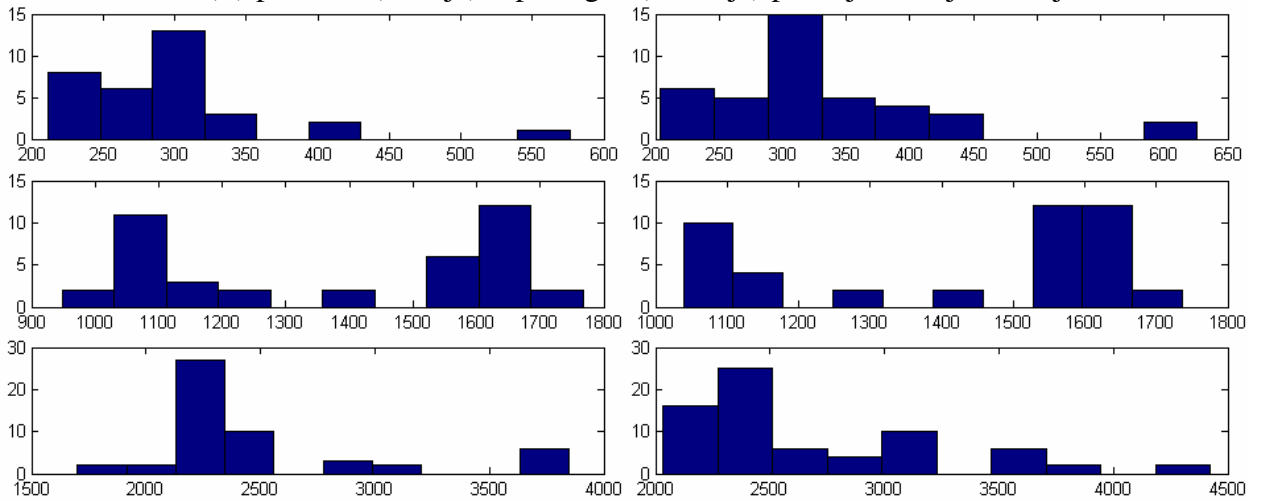
Priebalsio P(E) pradžios (kairėje) ir pabaigos (dešinėje) pirmoji, antroji, trečioji formantė



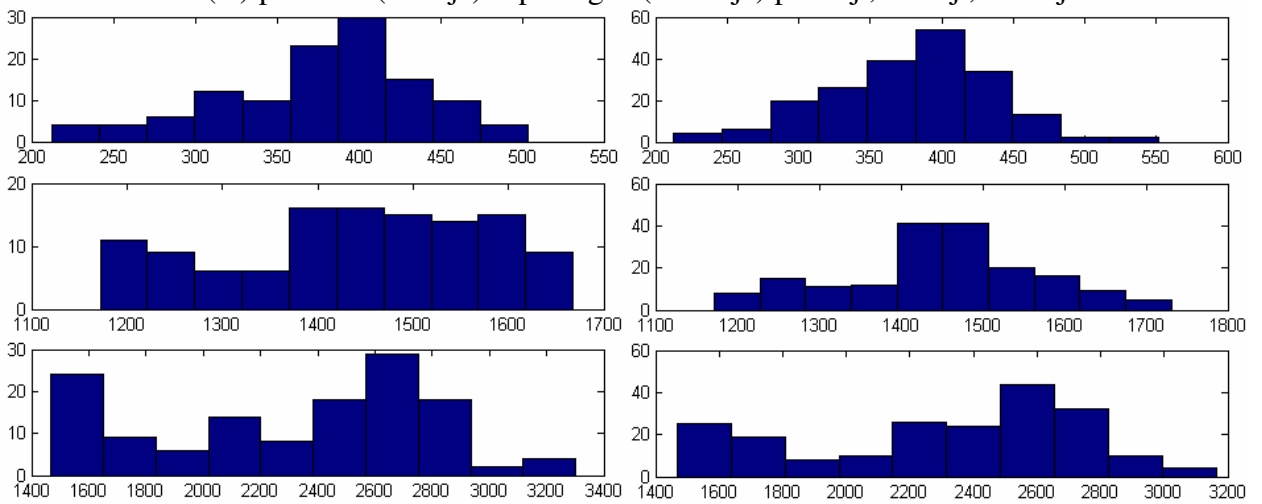
Priebalsio P(I) pradžios (kairėje) ir pabaigos (dešinėje) pirmoji, antroji, trečioji formantė



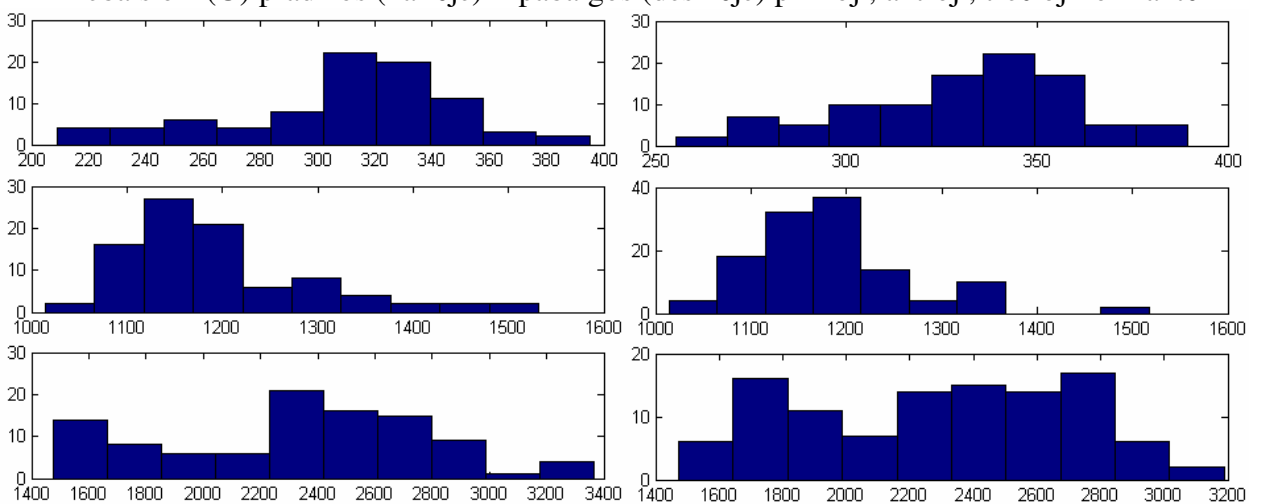
Priebalsio P(Ė) pradžios (kairėje) ir pabaigos (dešinėje) pirmoji, antroji, trečioji formantė



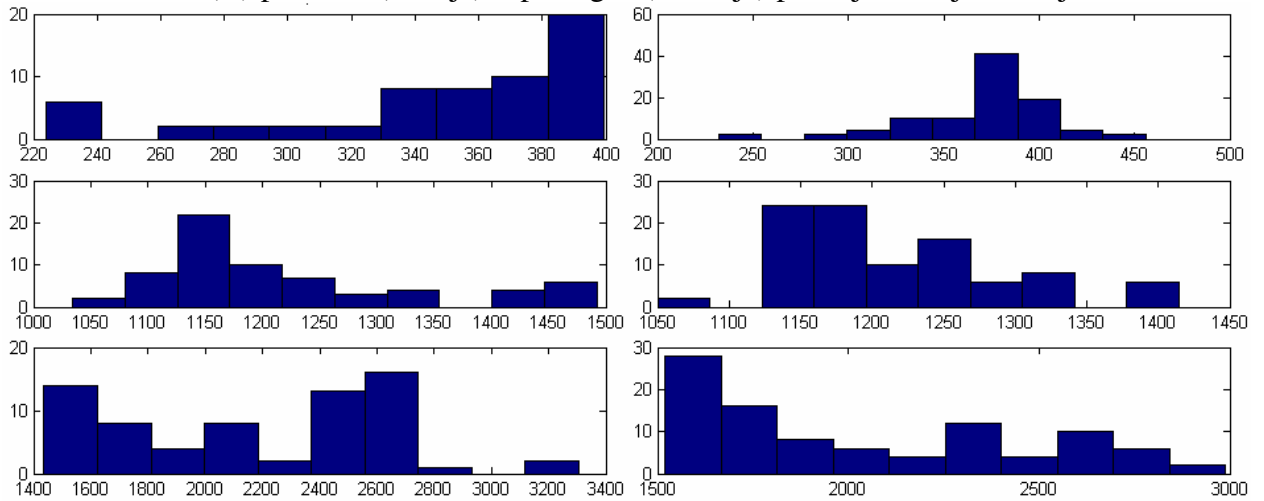
Priebalsio R(A) pradžios (kairėje) ir pabaigos (dešinėje) pirmoji, antroji, trečioji formantė



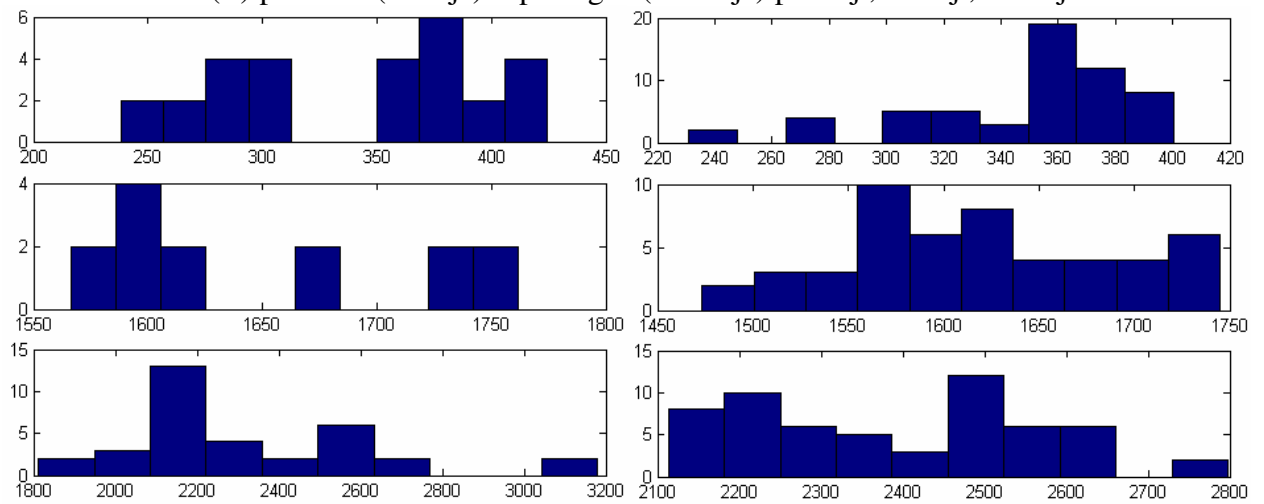
Priebalsio R(U) pradžios (kairėje) ir pabaigos (dešinėje) pirmoji, antroji, trečioji formantė



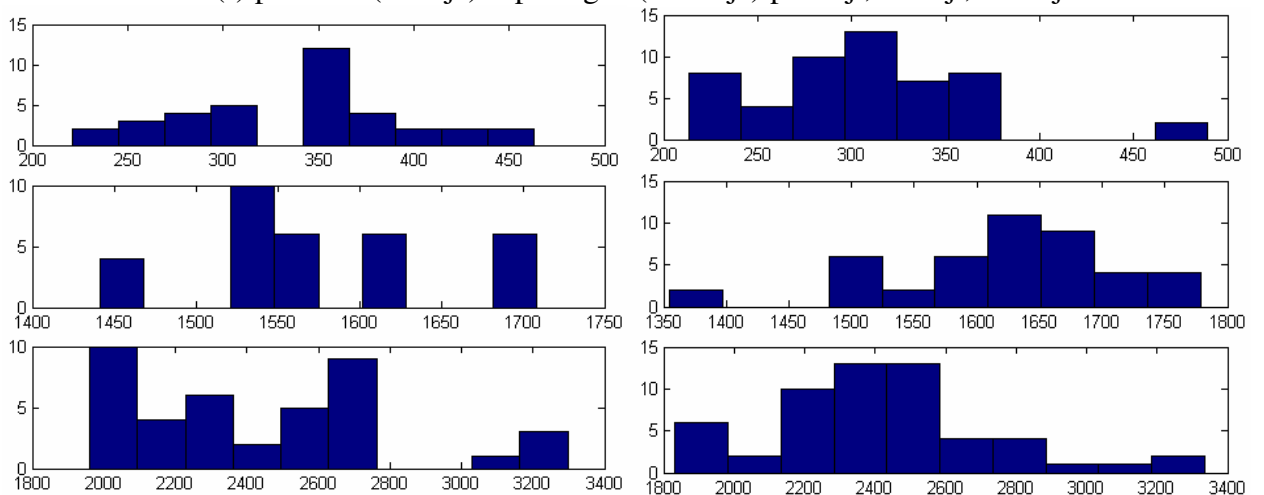
Priebalsio R(O) pradžios (kairėje) ir pabaigos (dešinėje) pirmoji, antroji, trečioji formantė



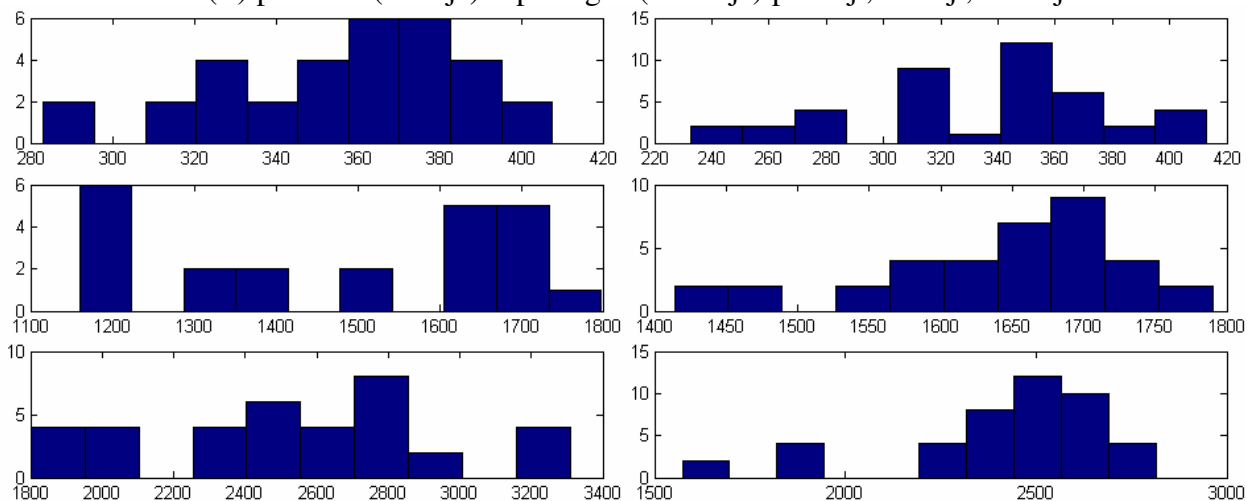
Priebalsio R(E) pradžios (kairėje) ir pabaigos (dešinėje) pirmoji, antroji, trečioji formantė



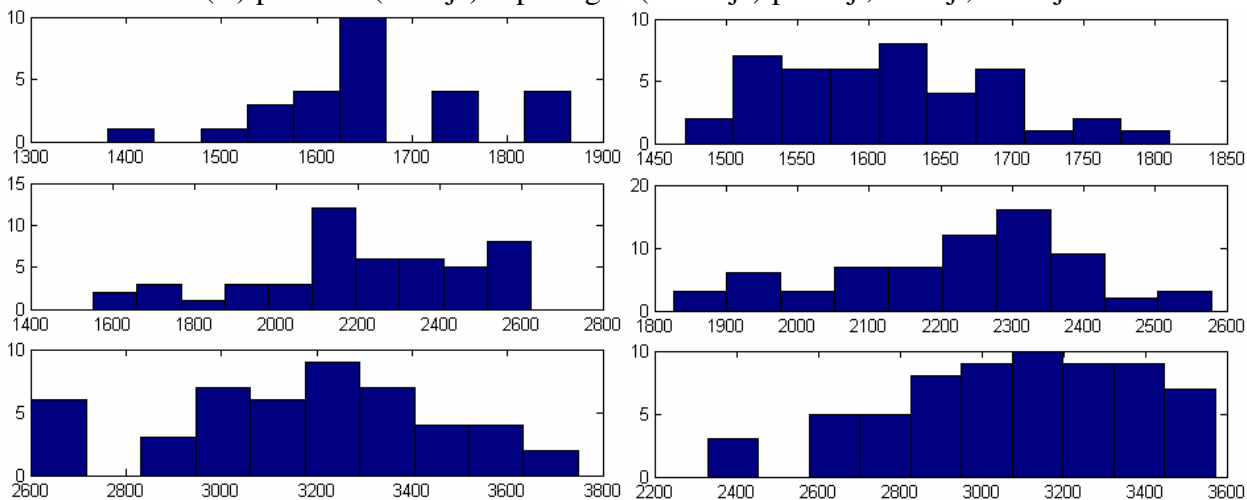
Priebalsio R(I) pradžios (kairėje) ir pabaigos (dešinėje) pirmoji, antroji, trečioji formantė



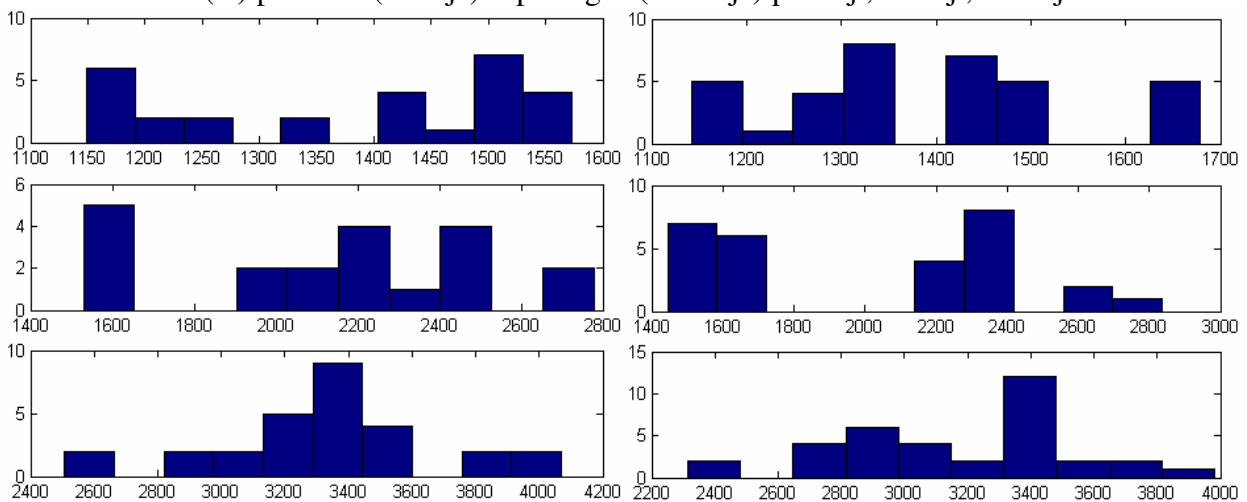
Priebalsio R(Ē) pradžios (kairėje) ir pabaigos (dešinėje) pirmoji, antroji, trečioji formantė



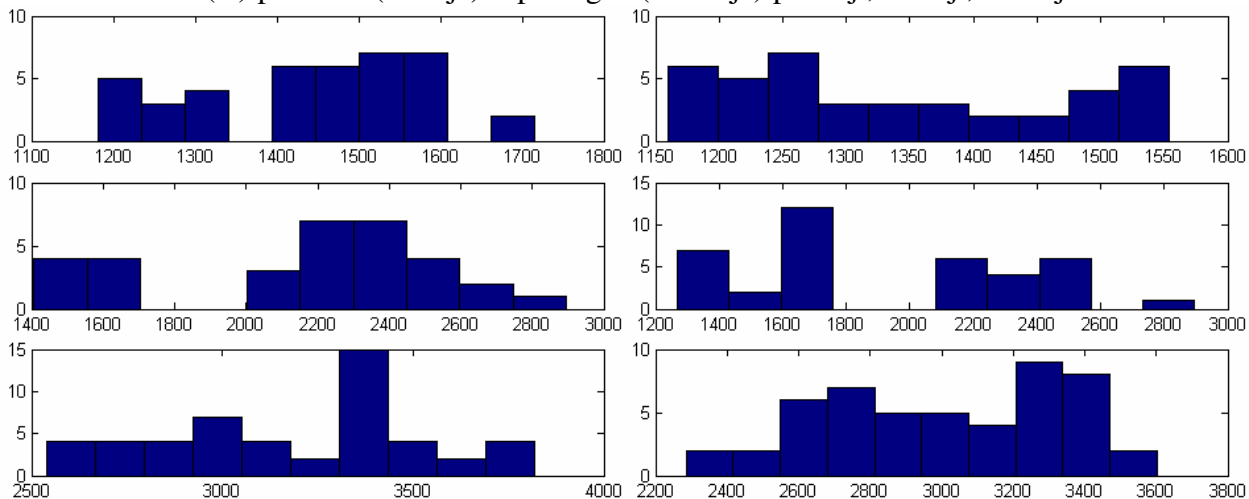
Priebalsio Š(A) pradžios (kairėje) ir pabaigos (dešinėje) pirmoji, antroji, trečioji formantė



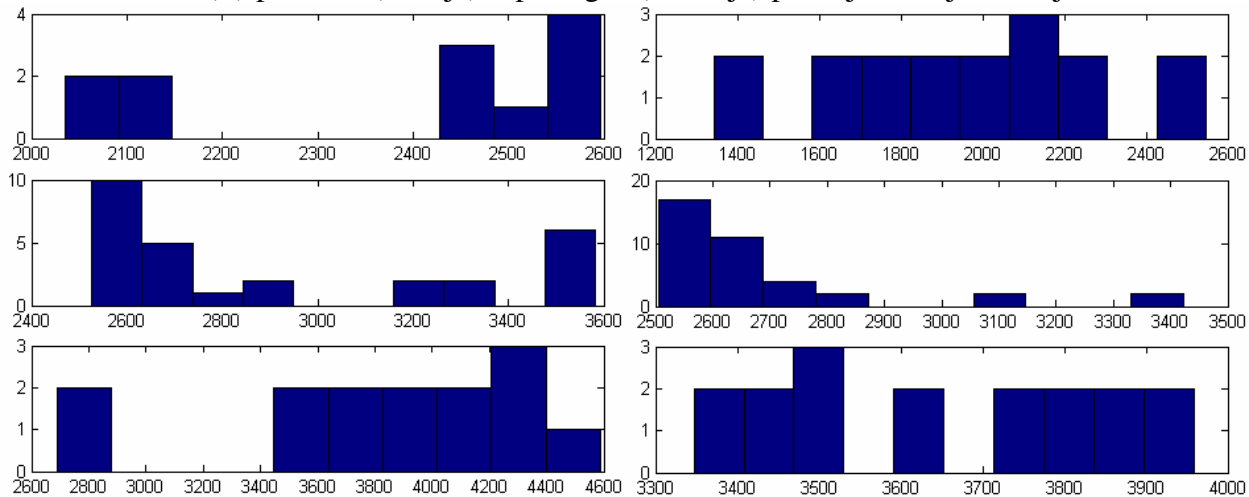
Priebalsio Š(U) pradžios (kairėje) ir pabaigos (dešinėje) pirmoji, antroji, trečioji formantė



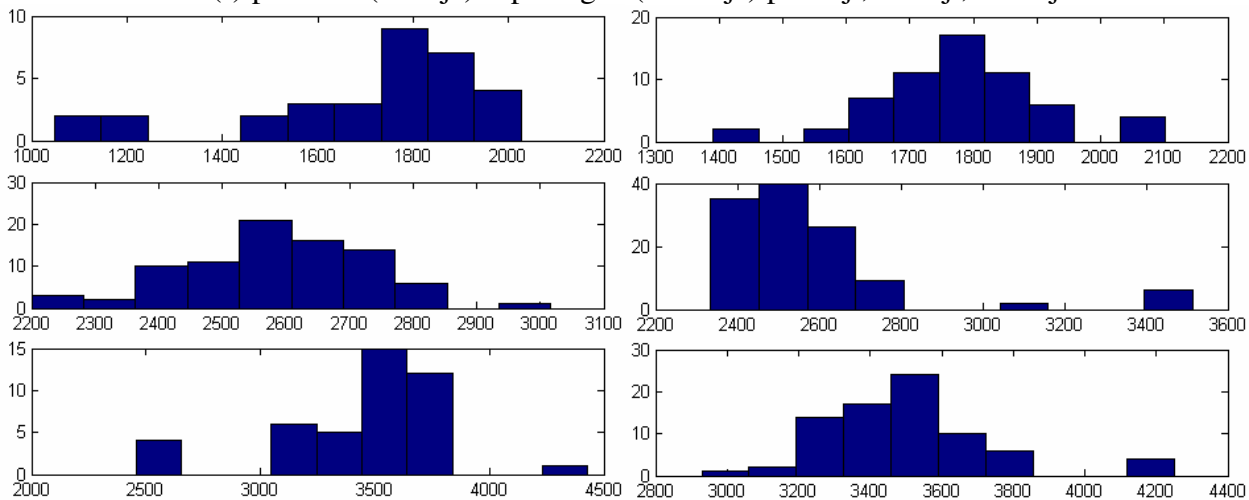
Priebalsio Š(O) pradžios (kairėje) ir pabaigos (dešinėje) pirmoji, antroji, trečioji formantė



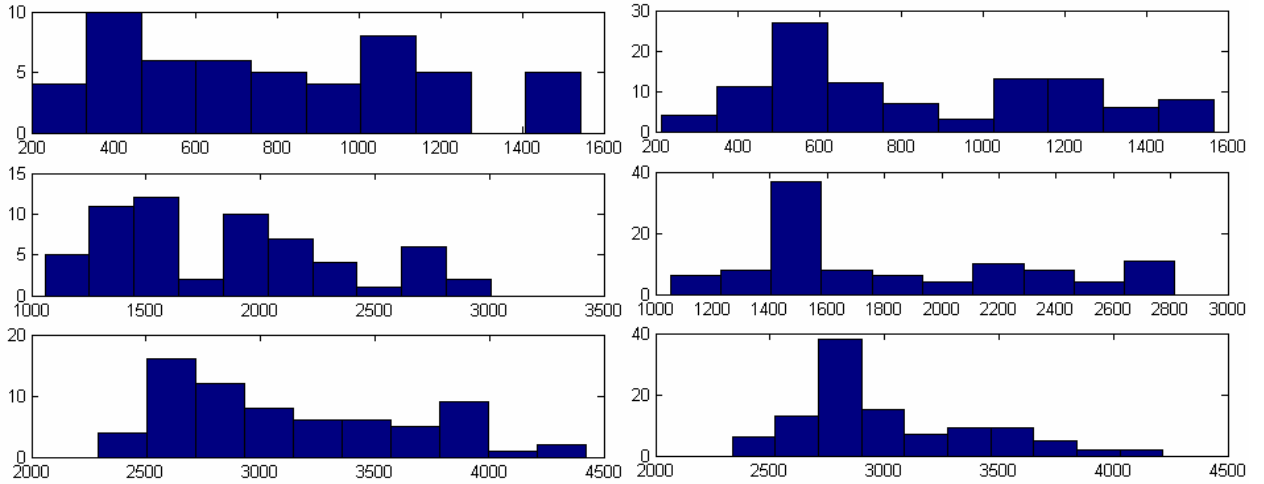
Priebalsio Š(E) pradžios (kairėje) ir pabaigos (dešinėje) pirmoji, antroji, trečioji formantė



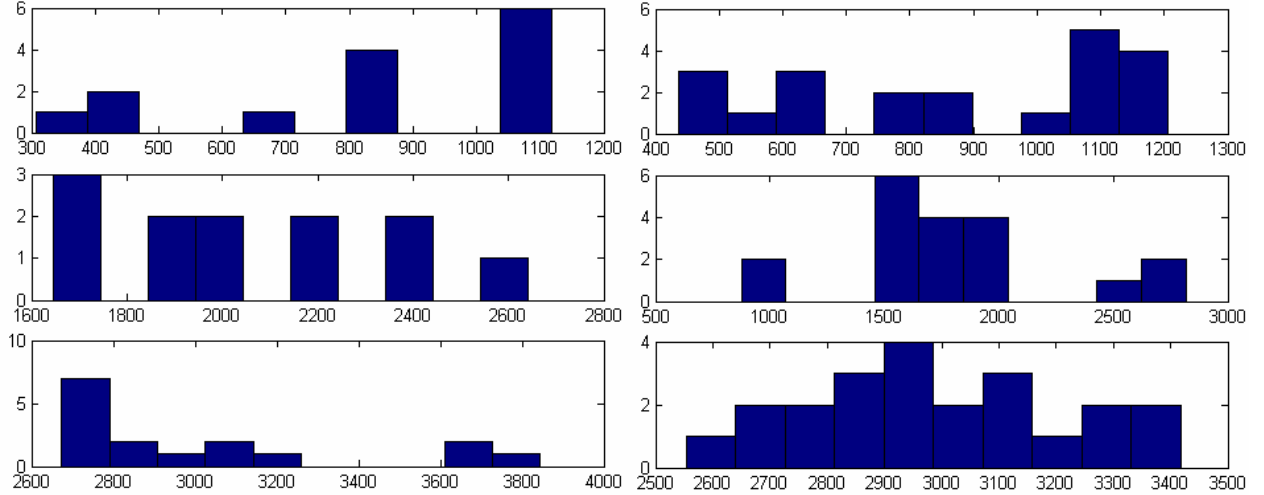
Priebalsio Š(I) pradžios (kairėje) ir pabaigos (dešinėje) pirmoji, antroji, trečioji formantė



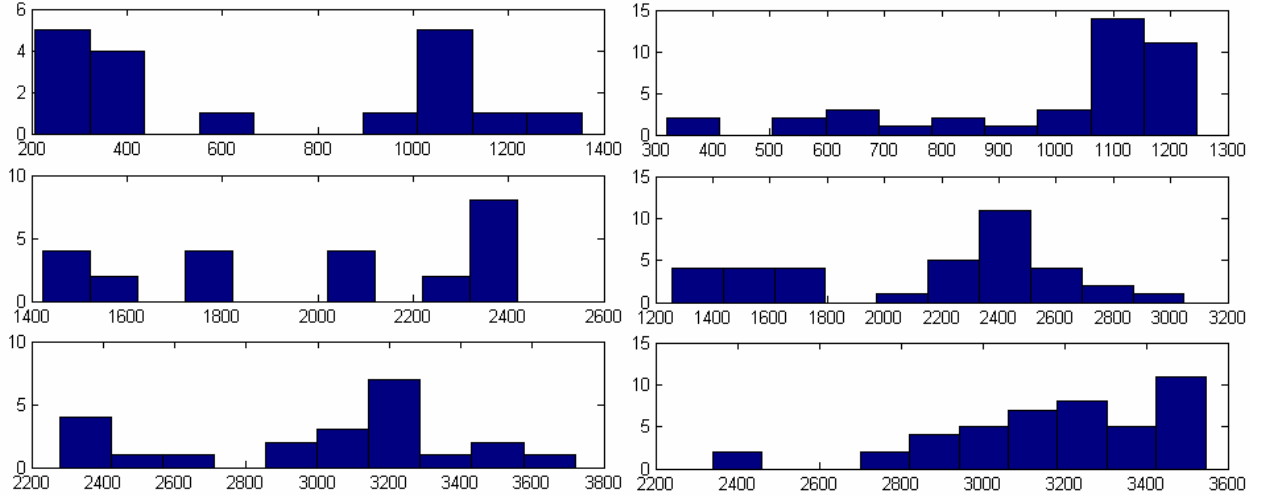
Priebalsio T(A) pradžios (kairėje) ir pabaigos (dešinėje) pirmoji, antroji, trečioji formantė



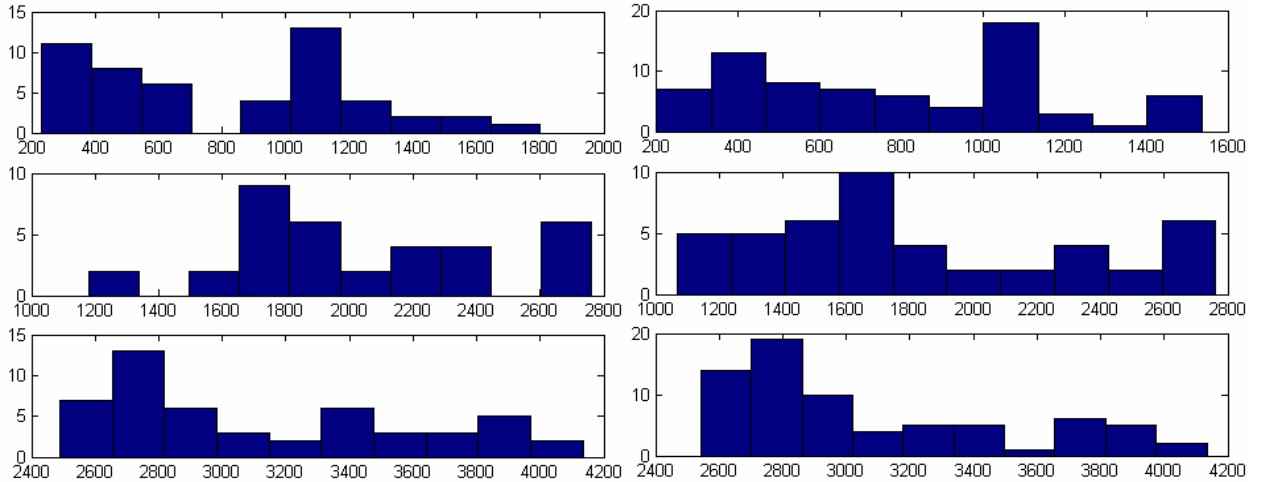
Priebalsio T(U) pradžios (kairėje) ir pabaigos (dešinėje) pirmoji, antroji, trečioji formantė



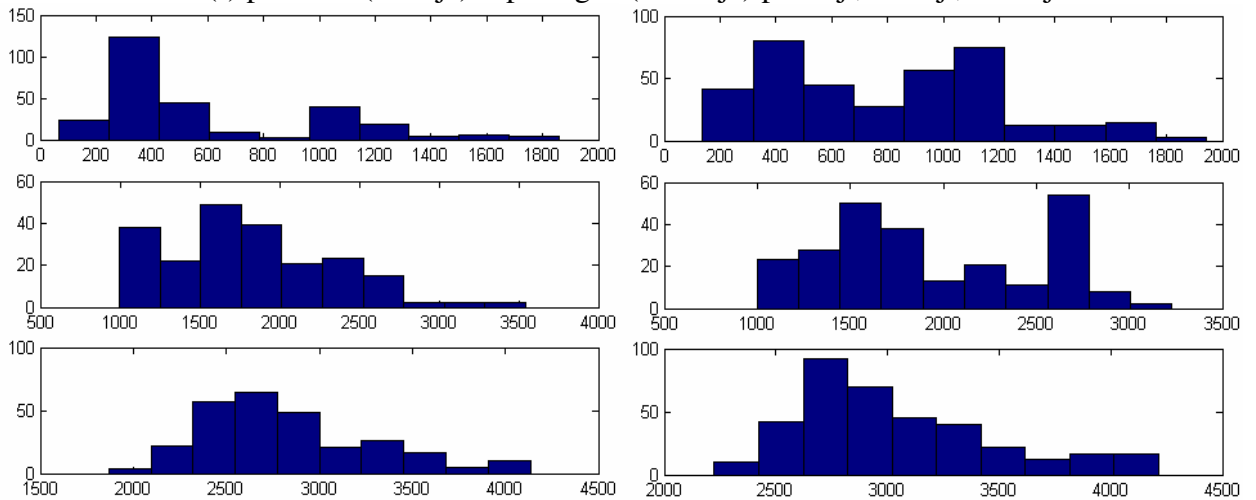
Priebalsio T(O) pradžios (kairėje) ir pabaigos (dešinėje) pirmoji, antroji, trečioji formantė



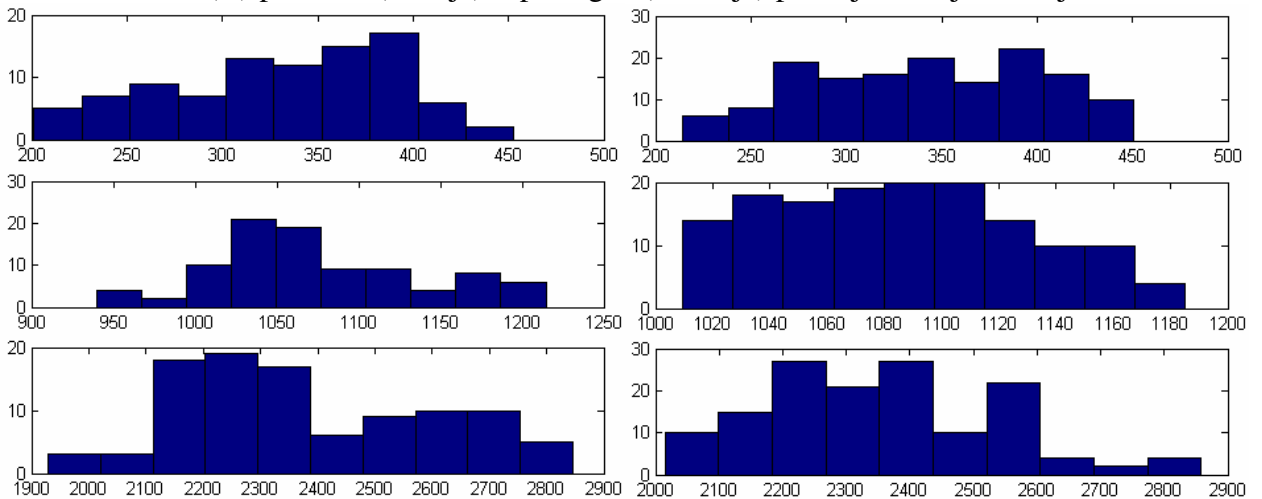
Priebalsio T(E) pradžios (kairėje) ir pabaigos (dešinėje) pirmoji, antroji, trečioji formantė



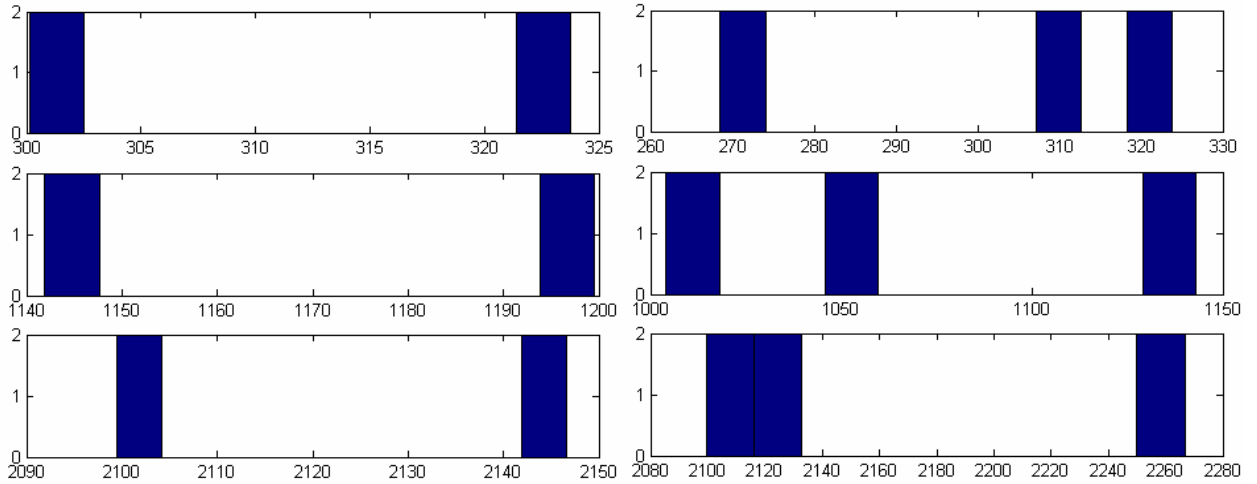
Priebalsio T(I) pradžios (kairėje) ir pabaigos (dešinėje) pirmoji, antroji, trečioji formantė



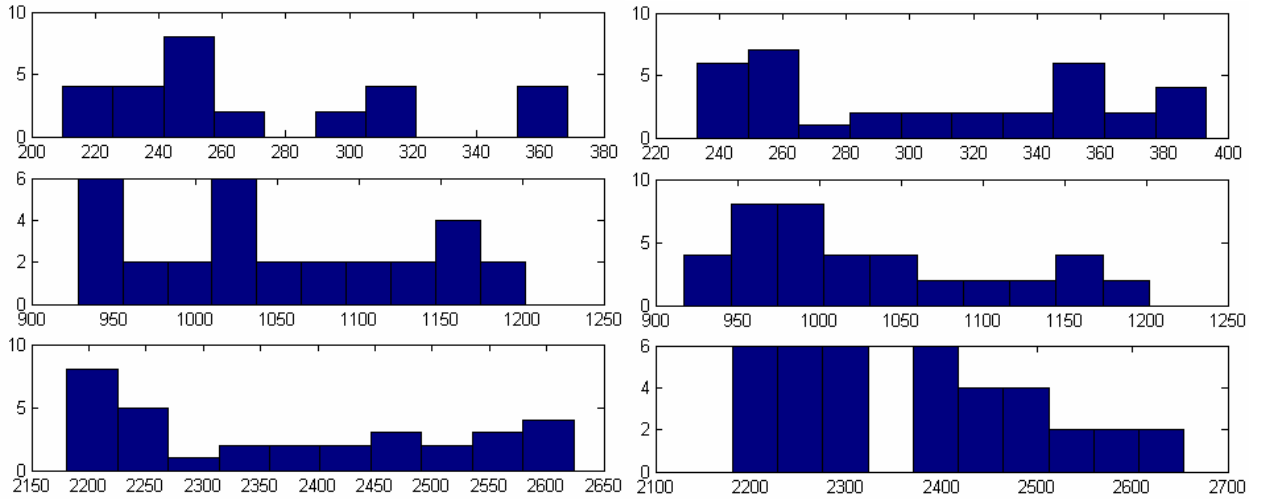
Priebalsio V(A) pradžios (kairėje) ir pabaigos (dešinėje) pirmoji, antroji, trečioji formantė



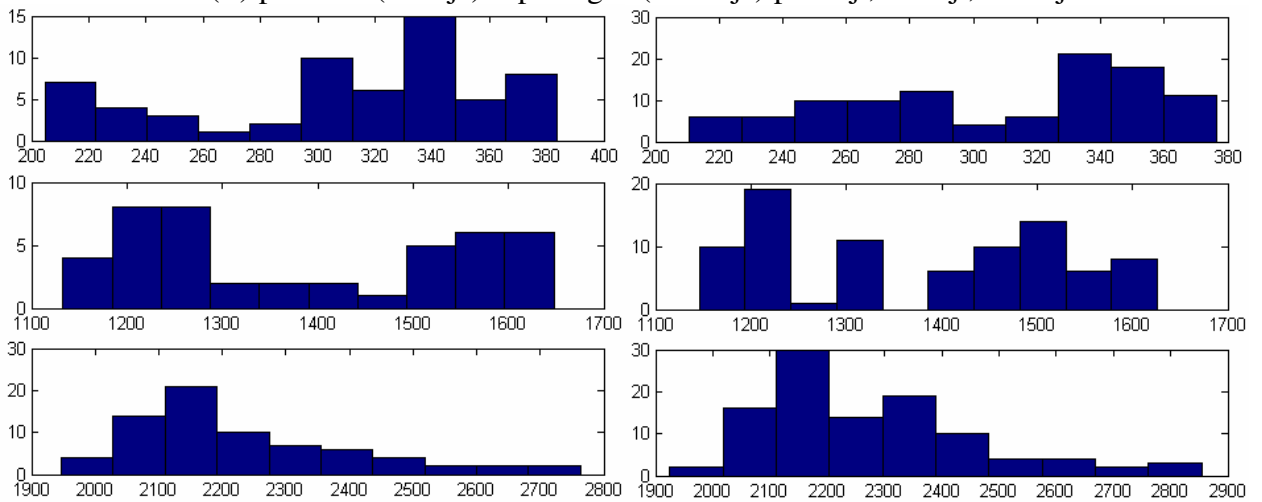
Priebalsio V(U) pradžios (kairėje) ir pabaigos (dešinėje) pirmoji, antroji, trečioji formantė



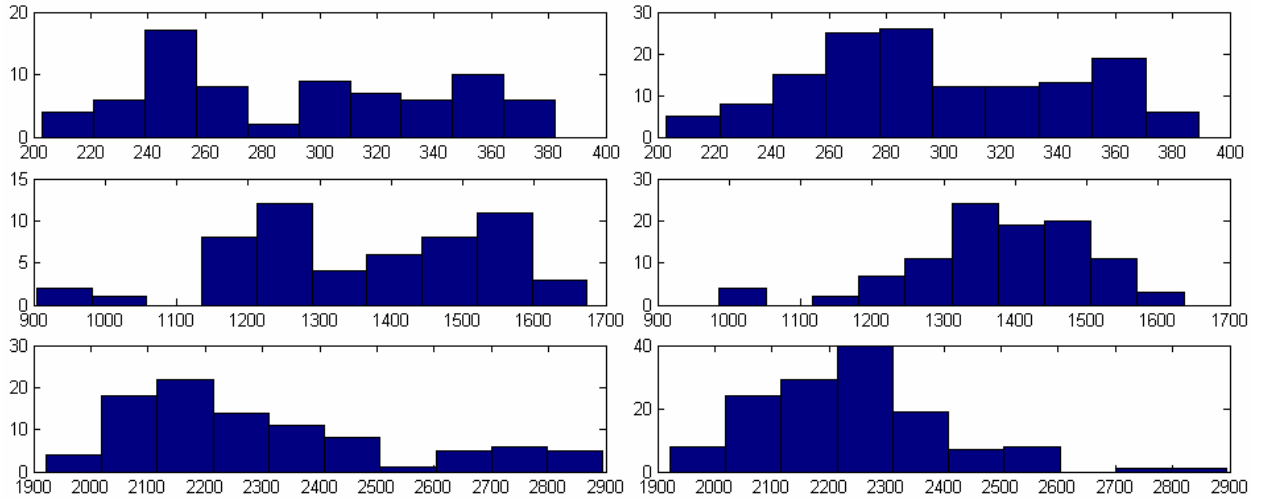
Priebalsio V(O) pradžios (kairėje) ir pabaigos (dešinėje) pirmoji, antroji, trečioji formantė



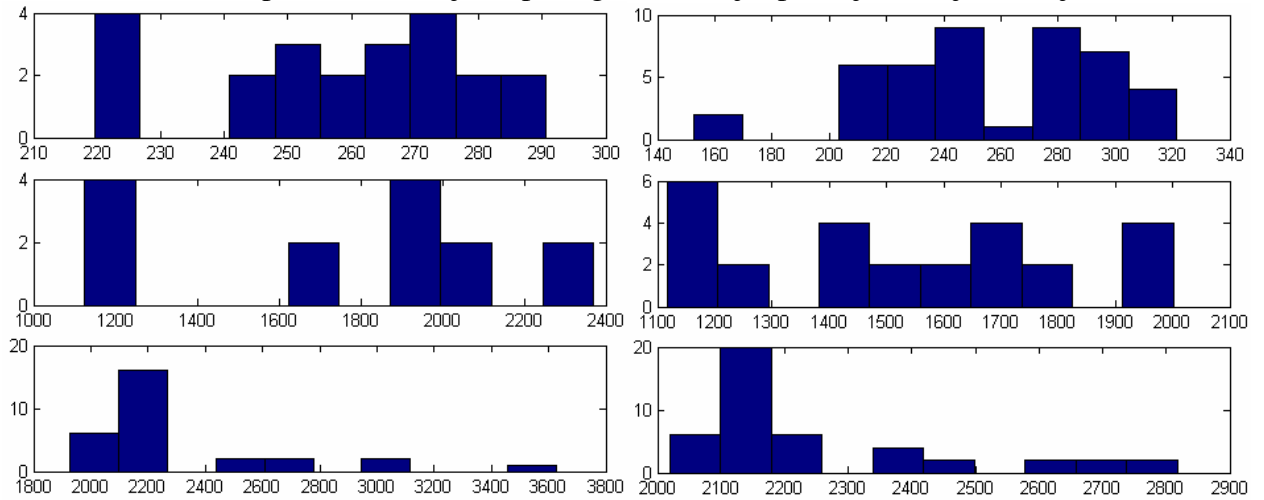
Priebalsio V(E) pradžios (kairėje) ir pabaigos (dešinėje) pirmoji, antroji, trečioji formantė



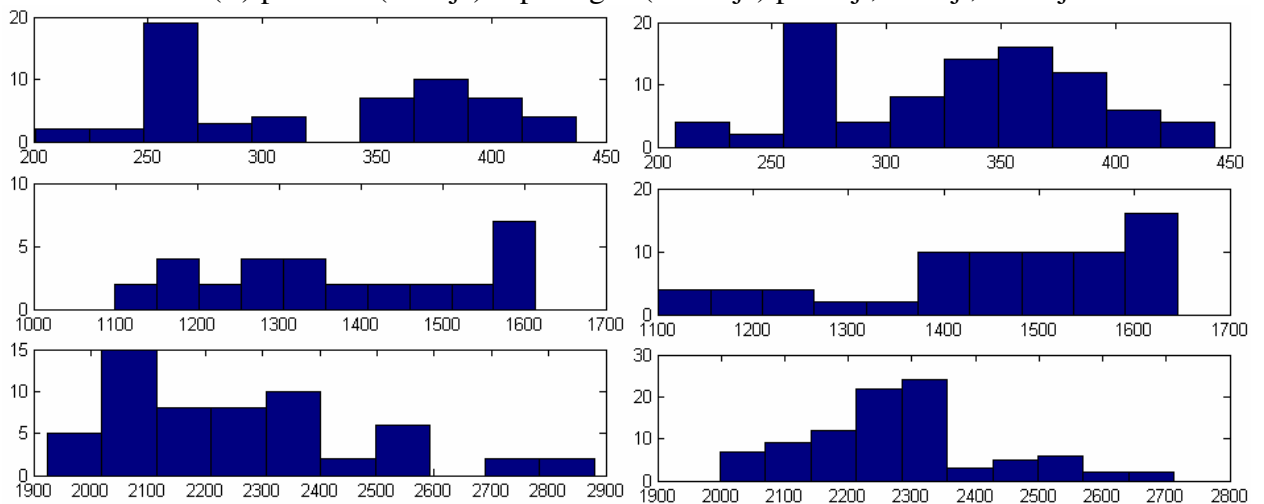
Priebalsio V(I) pradžios (kairėje) ir pabaigos (dešinėje) pirmoji, antroji, trečioji formantė



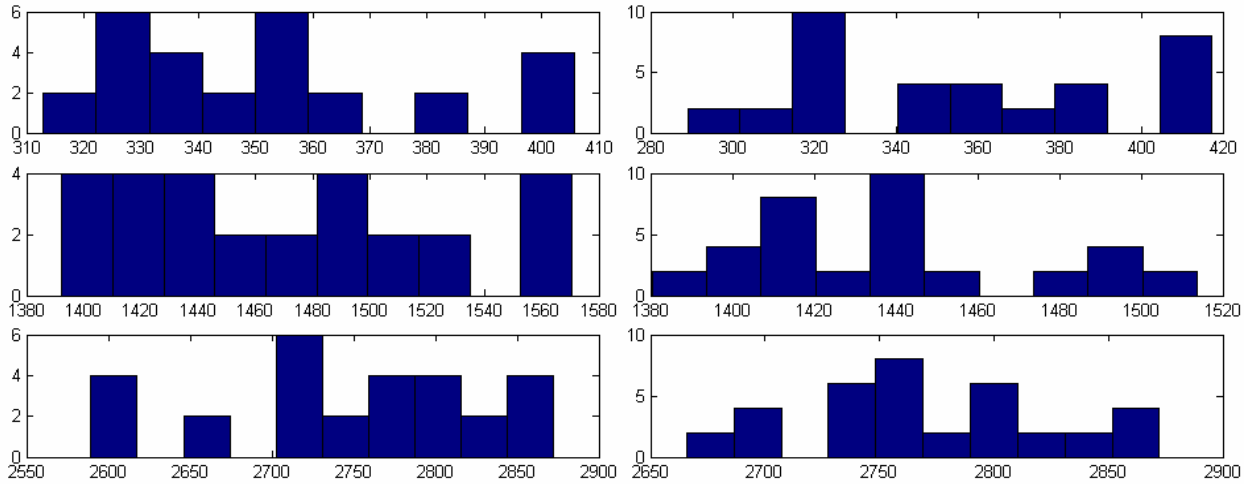
Priebalsio V(Y) pradžios (kairėje) ir pabaigos (dešinėje) pirmoji, antroji, trečioji formantė



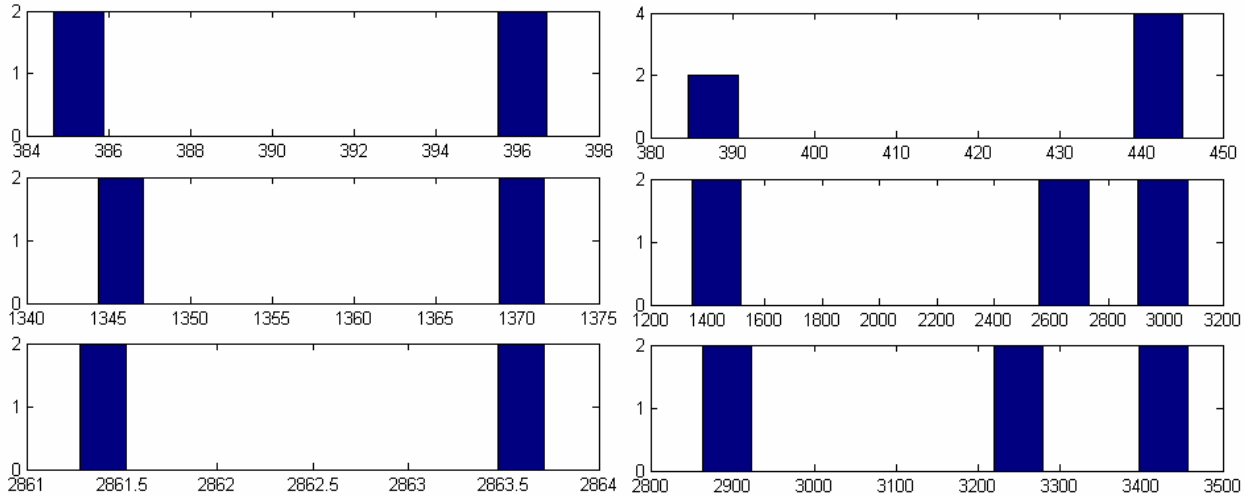
Priebalsio V(Ė) pradžios (kairėje) ir pabaigos (dešinėje) pirmoji, antroji, trečioji formantė



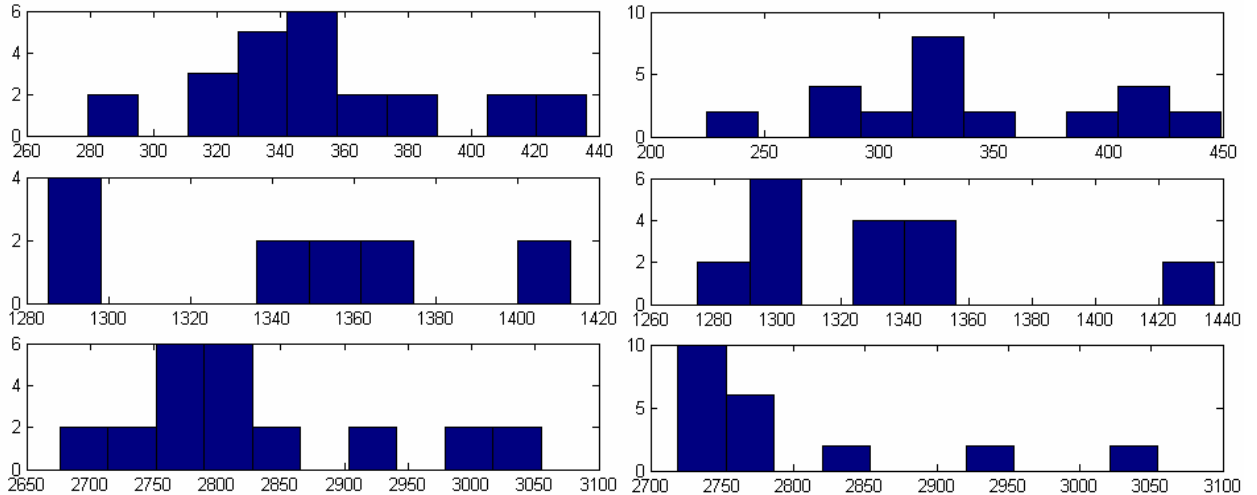
Priebalsio Z(A) pradžios (kairėje) ir pabaigos (dešinėje) pirmoji, antroji, trečioji formantė



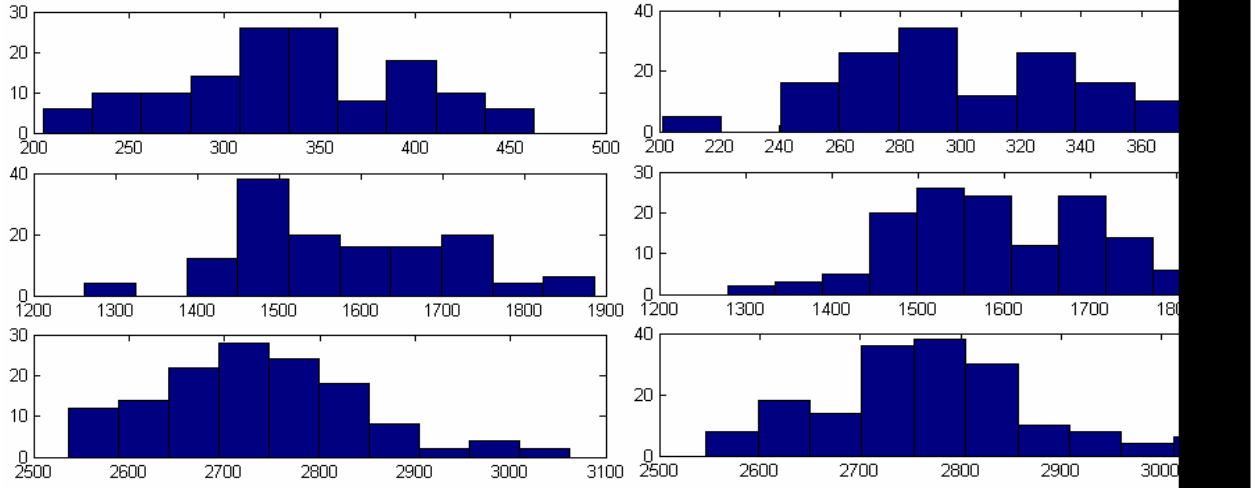
Priebalsio Z(U) pradžios (kairėje) ir pabaigos (dešinėje) pirmoji, antroji, trečioji formantė



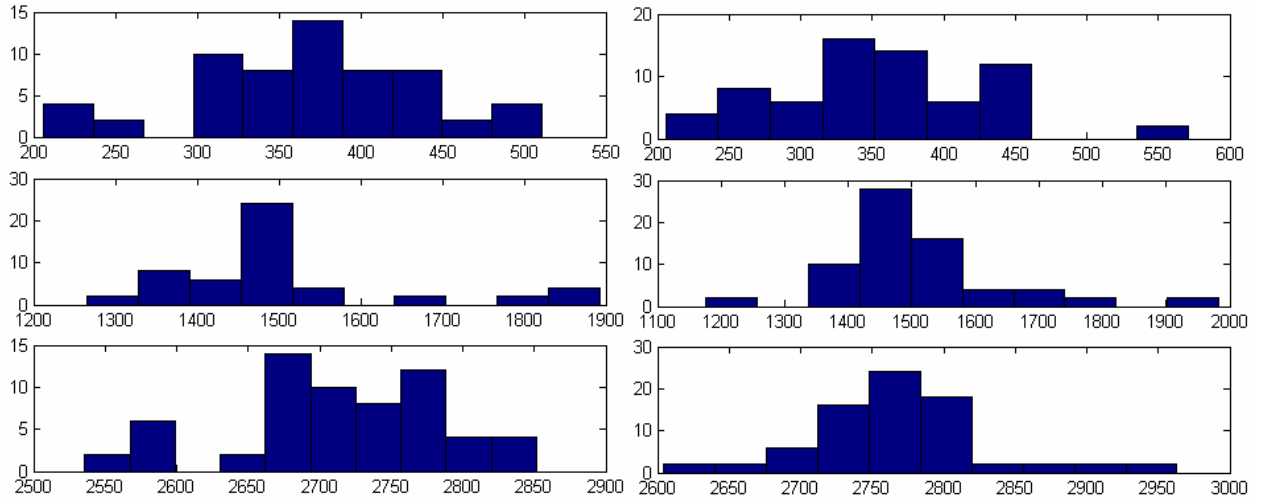
Priebalsio Z(O) pradžios (kairėje) ir pabaigos (dešinėje) pirmoji, antroji, trečioji formantė



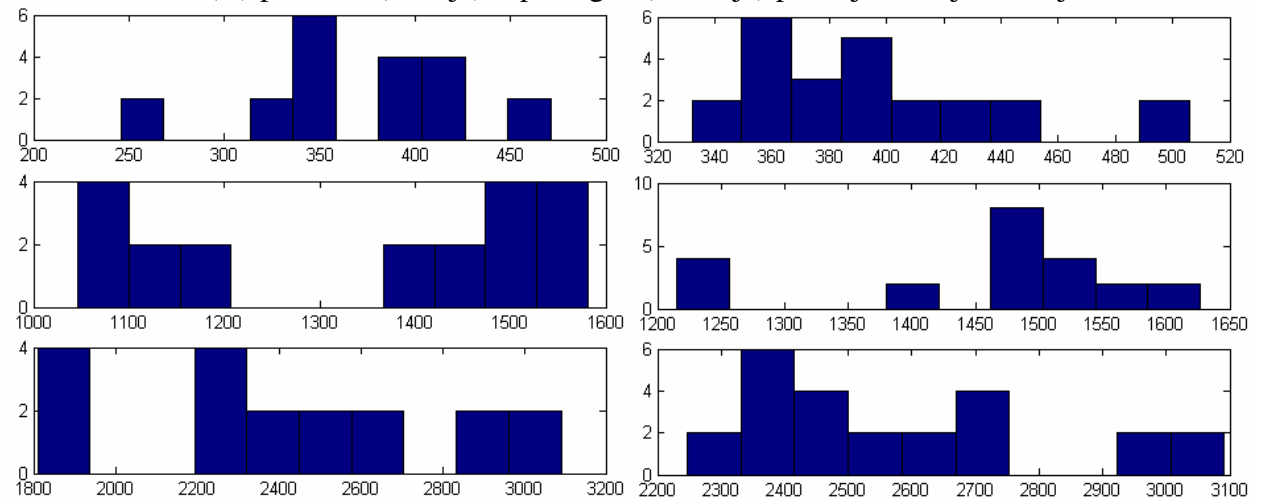
Priebalsio Z(I) pradžios (kairėje) ir pabaigos (dešinėje) pirmoji, antroji, trečioji formantė



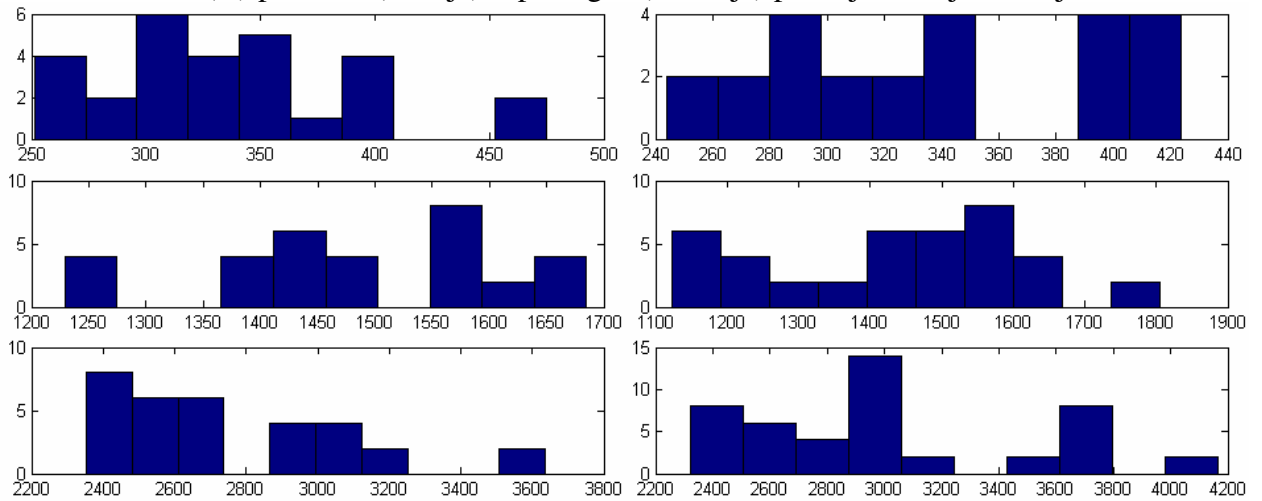
Priebalsio Z(Ė) pradžios (kairėje) ir pabaigos (dešinėje) pirmoji, antroji, trečioji formantė



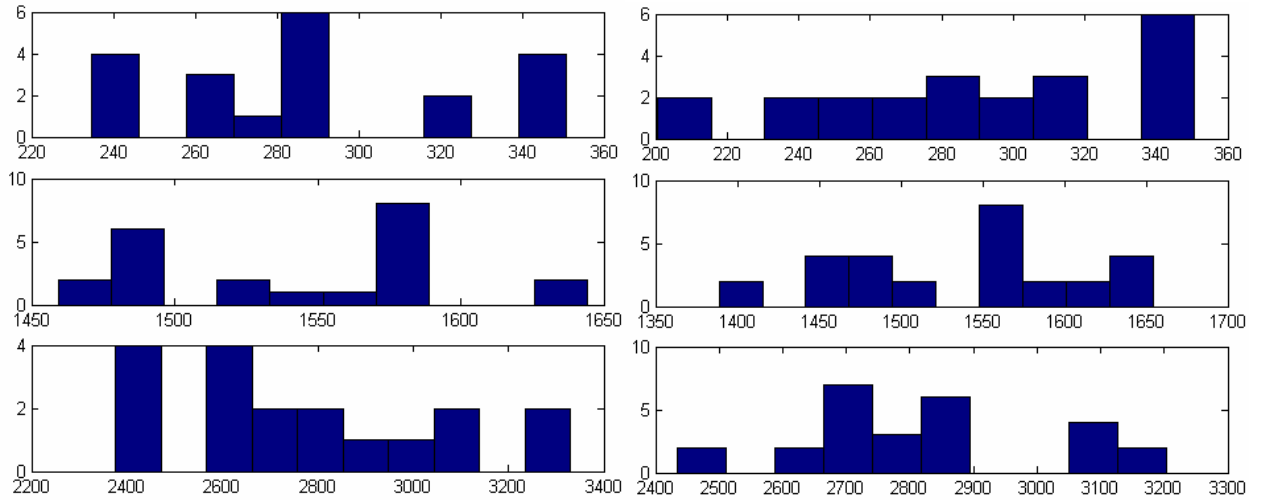
Priebalsio Ž(A) pradžios (kairėje) ir pabaigos (dešinėje) pirmoji, antroji, trečioji formantė



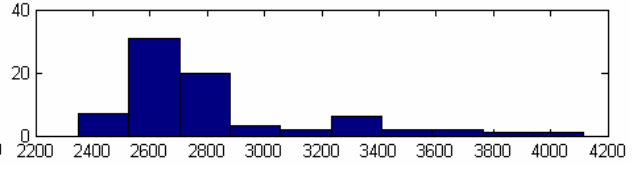
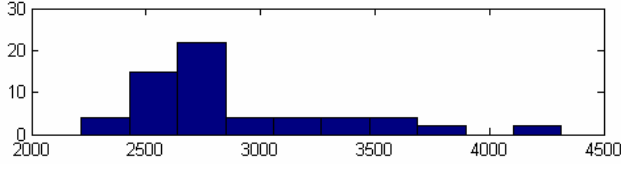
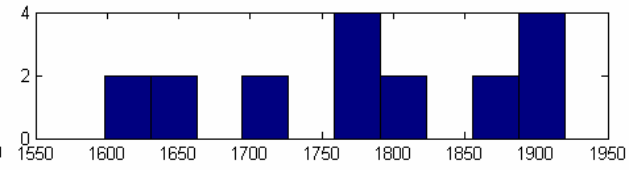
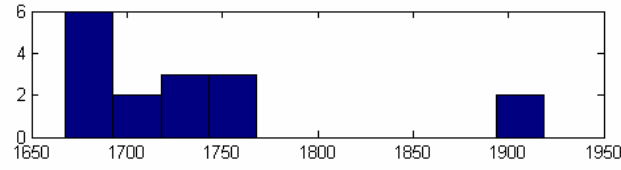
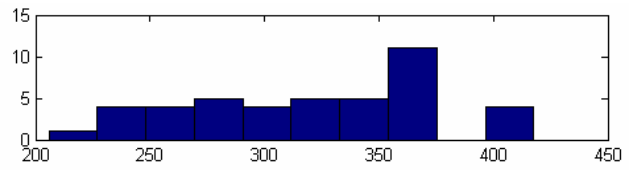
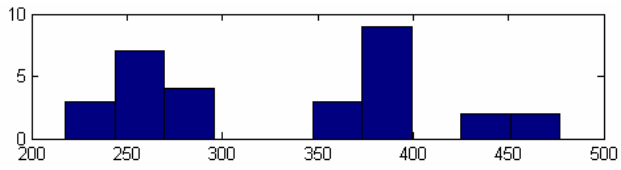
Priebalsio Ž(U) pradžios (kairėje) ir pabaigos (dešinėje) pirmoji, antroji, trečioji formantė



Priebalsio Ž(O) pradžios (kairėje) ir pabaigos (dešinėje) pirmoji, antroji, trečioji formantė



Priebalsio Ž(E) pradžios (kairėje) ir pabaigos (dešinėje) pirmoji, antroji, trečioji formantė



Priebalsio Ž(I) pradžios (kairėje) ir pabaigos (dešinėje) pirmoji, antroji, trečioji formantė

