

ŠIAULIŲ UNIVERSITETAS
TECHNOLOGIJOS FAKULTETAS
ELEKTRONIKOS KATEDRA

Audrius Laidauskas

FIGŪRŲ ATPAŽINIMAS JĖGOS GRĮŽTAMOJO RYŠIO PRIETAISAIŠ
Magistro darbas

Vadovas

doc. dr. G. Daunys

ŠIAULIAI, 2010

ŠIAULIŲ UNIVERSITETAS
TECHNOLOGIJOS FAKULTETAS
ELEKTRONIKOS KATEDRA

TVIRTINU
Katedros vedėjas
doc. dr. G. Daunys

2010 06

FIGŪRŲ ATPAŽINIMAS JĖGOS GRĮŽTAMOJO RYŠIO PRIETAISAIŠ
Magistro darbas

Vadovas
doc.dr. Gintautas Daunys

2010 06

Atliko
RM8 gr. stud.
Audrius Laidauskas

2010 06

Recenzentas
ŠU Technologijos fakulteto
Elektronikos inžinerijos katedra
Lektorius dr. Donatas Dervinis
2010 06

SUMMARY

Laidauskas A. Forms Recognition by Force Feedback Haptic Devices: Master thesis of signal technology / research advisor Doc. Dr. G. Daunys; Šiauliai University, Faculty of Technology, Department of Electronics. – Šiauliai, 2010. – 73p.

The thesis analyzes human interaction with various virtual objects, using the system of power reversible connection. Such types of systems are becoming more and more frequent while giving virtual graphic information to the blind. Owing to the system of power reversible connection and the system of human touching blind people can now receive both virtual written and virtual graphic information. Since touching is one of the most important human sensory systems with the help of which a person receives the majority of information about his/her surroundings (i.e. identifies the pattern of the surface, resistance to the pressure, its temperature, weight, form and contour of the object), it is very important to use this system to make the life of the blind easier.

The aim of the research was to carry out the identification of the virtual figures, using the device of power reversible connection “Phantom omni” and the program based on “Microsoft Visual C++”. 5 blindfolded people with no sight problems participated in the research. They were given 6 two – dimensional and three – dimensional figures. Having analyzed the data, it was concluded that men perform twice quicker than women. Men adapt to the changes in space faster as well. Having divided the people according to their sex, statistical results were received investigating the figures separately. It was revealed that the optimum size of the figure is about 26 – 39 mm. The most convenient is a two – dimensional work space with the fixed primary cursor point when dealing with the circle. The figure which is in the centre of the investigated space is usually found the most easily.

SANTRAUKA

Laidauskas A. Figūrų atpažinimas jėgos grįžtamojo ryšio prietaisais: Signalų technologijos magistro baigiamasis darbas / darbo vadovas Doc. Dr. G. Daunys; Šiaulių Universitetas, Technologijos fakultetas, Elektronikos katedra. – Šiauliai, 2010. – 73p.

Šiame darbe tyrinėjama žmogaus sąveika su virtualiais objektais, panaudojant jėgos grįžtamojo ryšio sistemą. Jėgos grįžtamojo ryšio sistemos vis plačiau taikomos neregiams, perteikiant virtualią grafinę informaciją. Jėgos grįžtamojo ryšio ir žmogaus lytėjimo sistemos dėka, neregiai dabar gali gauti ne tik virtualią rašytinę, bet ir virtualią grafinę informaciją. Kadangi lytėjimas – viena iš svarbiausių žmogaus sensorinių sistemų, kurios dėka, jis gauna didžiąją dalį informacijos apie aplinką: atpažįsta paviršiaus struktūrą, pasipriešinimą spaudimui, temperatūrą, svorį, objekto formą ir kontūrą, - tai tikslinga šią sistemą išnaudoti neregių gyvenimui palengvinti.

Tyrimo tikslas atlikti virtualių figūrų atpažinimo tyrimą panaudojant jėgos grįžtamojo ryšio prietaisą „Phantom omni“ bei programą parašytą su „Microsoft Visual C++“ programa. Tyrime dalyvavo 5 tiriamieji, kurie neturi regos negalios, tačiau buvo užrištomis akimis. Tiriamiesiems buvo pateiktos 6 dvimatės ir trimatės figūros, kurias panaudojant, gauti tyrimo rezultatai. Apdorojus gautus duomenis, nustatyta, kad tirti vyrai du kartus greičiau atlieka bandymus nei tirtos moterys. Vyrai greičiau adaptuojasi prie pasikeitimų erdvėje. Taigi suskirsčius tiriamuosius pagal lytį, gauti statistiškai suderinti rezultatai tiriant figūras atskirai. Nustatyta, kad optimalus figūros dydis yra intervale nuo 26 – 39 mm dydžio. Patogiausia yra dvimatė darbo erdvė su fiksuotu pradiniu kursoriaus tašku, tiriant apskritimą. O lengviausiai atrandama ta figūra, kuri yra tiriamosios erdvės centre.

Turinys

ĮVADAS	11
1. BENDROSIOS ŽMOGAUS ORGANIZMO JUTIMO IR SUVOKIMO SAVYBĖS	13
1.1. Bendrosios anatominės, funkcinės odos ir lietimų suvokimo organizacijos savybės	13
1.2. Neuronų jautrumas ir informacijos apdorojimas	14
1.3. Jutimo suvokimo ir lietimų suvokimo priklausomybė nuo amžiaus	17
1.4. Neregijų informacijos pasisavinimo problemos	20
2. JĖGOS GRĮŽTAMOJO RYŠIO PRIETAISAI IR JŲ PANAUDOJIMAS	22
2.1. Jėgos grįžtamojo ryšio prietaisai	22
2.1.1. Pirmieji jėgos grįžtamojo ryšio prietaisai	22
2.1.2. Kas yra „Phantom omni“	22
2.1.3. Jėgos grįžtamojo ryšio prietaisas „Omega“	24
2.1.4. Jėgos grįžtamojo ryšio prietaisas „Delta“	24
2.1.5. Jėgos grįžtamojo ryšio prietaisas „Novint Falcon“	25
2.1.6. Jėgos grįžtamojo ryšio prietaisas „Phantom Premium“	25
2.2. Jėgos grįžtamojo ryšio prietaisų panaudojimo tyrimai	27
3. FIGŪRŲ FORMŲ SUVOKIMO TYRIMO METODIKA	30
3.1. Tyrimo planas	30
3.2. Tyrimo eiga	31
4. FIGŪRŲ FORMŲ SUVOKIMO TYRIMO ANALIZĖ	38
4.1. Kursoriaus trajektorijos nukrypimai, gauti „apeinant“ tiriamųjų figūrų kraštines	38
4.2. Bandymų rezultatų grafinė analizė	41
4.3. Dviejų faktorių dispersinė analizė	46
4.4. Bandymų rezultatų dviejų faktorių dispersinė analizė	47
4.5. Tirtų figūrų dviejų faktorių dispersinė analizė	61
4.6. Figūrų bandymų rezultatų tyrimas panaudojant Studento t – testą	66
IŠVADOS IR SIŪLYMAI	69
LITERATŪRA	71
PRIEDAI	73

PRIEDAI

1 priedas. Pirmojo tiriamojo dvimačių objektų (fiksuta pradinė kursoriaus padėtis) bandymų rezultatai.....	1
2 priedas. Pirmojo tiriamojo trimačių objektų (fiksuta pradinė kursoriaus padėtis) bandymų rezultatai.....	4
3 priedas. Pirmojo tiriamojo dvimačių objektų (nefiksuta pradinė kursoriaus padėtis) bandymų rezultatai.....	7
4 priedas. Antrojo tiriamojo dvimačių objektų (fiksuta pradinė kursoriaus padėtis) bandymų rezultatai.....	10
5 priedas. Antrojo tiriamojo trimačių objektų (fiksuta pradinė kursoriaus padėtis) bandymų rezultatai.....	13
6 priedas. Antrojo tiriamojo dvimačių objektų (nefiksuta pradinė kursoriaus padėtis) bandymų rezultatai.....	16
7 priedas. Trečiojo tiriamojo dvimačių objektų (fiksuta pradinė kursoriaus padėtis) bandymų rezultatai.....	19
8 priedas. Trečiojo tiriamojo trimačių objektų (fiksuta pradinė kursoriaus padėtis) bandymų rezultatai.....	22
9 priedas. Trečiojo tiriamojo dvimačių objektų (nefiksuta pradinė kursoriaus padėtis) bandymų rezultatai.....	25
10 priedas. Ketvirtojo tiriamojo dvimačių objektų (fiksuta pradinė kursoriaus padėtis) bandymų rezultatai.....	28
11 priedas. Ketvirtojo tiriamojo trimačių objektų (fiksuta pradinė kursoriaus padėtis) bandymų rezultatai.....	31
12 priedas. Ketvirtojo tiriamojo dvimačių objektų (nefiksuta pradinė kursoriaus padėtis) bandymų rezultatai.....	34
13 priedas. Penktojo tiriamojo dvimačių objektų (fiksuta pradinė kursoriaus padėtis) bandymų rezultatai.....	37
14 priedas. Penktojo tiriamojo trimačių objektų (fiksuta pradinė kursoriaus padėtis) bandymų rezultatai.....	40
15 priedas. Penktojo tiriamojo dvimačių objektų (nefiksuta pradinė kursoriaus padėtis) bandymų rezultatai.....	43
16 priedas. Pirmojo tiriamojo figūrų galutiniai bandymų rezultatai.....	46
17 priedas. Antrojo tiriamojo figūrų galutiniai bandymų rezultatai.....	47

18 priedas. Trečiojo tiriamojo figūrų galutiniai bandymų rezultatai.....	48
19 priedas. Ketvirtojo tiriamojo figūrų galutiniai bandymų rezultatai.....	49
20 priedas. Penktojo tiriamojo figūrų galutiniai bandymų rezultatai.....	50

PAVEIKSLAI

1.1.1 pav. Odos mechanoreceptorių kodavimo ypatybės.....	14
1.2.1 pav. Žmogaus smegenų aktyvinių zonų išskirstymas.....	15
1.2.2 pav. Somatosensorinių kylamųjų takų projekcija.....	17
1.3.1 pav. Laikinė lietimui pripratimo trukmė dešine ranka.....	19
1.3.2 pav. Laikinė lietimui pripratimo trukmė kairia ranka.....	19
1.3.3 pav. Lengviausiai suprantamos objektų savybės.....	20
2.1.1.1 pav. Jėgos grįžtamojo ryšio prietaisas, sukurtas Tokio institute.....	22
2.1.2.1 pav. Jėgos grįžtamojo ryšio prietaisas „Phantom omni“.....	23
2.1.2.2 pav. Jėgos grįžtamojo ryšio prietaiso darbo ciklas.....	23
2.1.3.1 pav. Jėgos grįžtamojo ryšio prietaisas „Omega“.....	24
2.1.4.1 pav. Jėgos grįžtamojo ryšio prietaisas „Delta“.....	24
2.1.5.1 pav. Jėgos grįžtamojo ryšio prietaisas „Novint Falcon“.....	25
2.1.6.1 pav. Jėgos grįžtamojo ryšio prietaisas „Phantom Premium“.....	25
2.2.1 pav. Tyrimo tiriamoji erdvė su grįžtamojo ryšio įrenginiu.....	27
2.2.2 pav. Tyrimo metu daromos figūrų atpažinimo klaidos.....	28
2.2.3 pav. Tyrime panaudotos figūros.....	29
3.1.1 pav. Pirminės dvimatės figūros: kvadratas, trikampis, apskritimas.....	30
3.1.2 pav. Antrinės trimatės figūros: kubas, piramidė, rutulys.....	31
3.2.1 pav. Kursoriaus judėjimo kryptis kvadrato kraštinėmis.....	32
3.2.2 pav. Kursoriaus judėjimo kryptis trikampio kraštinėmis.....	32
3.2.3 pav. Kursoriaus judėjimo kryptis apskritimo kraštinėmis.....	32
3.2.4 pav. Tyrime naudojamos skirtingo dydžio figūros.....	33
3.2.5 pav. Dvimatės figūros su nefiksuota kursoriaus pradine padėtimi.....	33
3.2.6 pav. Kursoriaus, su nefiksuota pradine padėtimi, judėjimo kryptis kvadrato kraštinėmis.....	34
3.2.7 pav. Kursoriaus, su nefiksuota pradine padėtimi, judėjimo kryptis apskritimo kraštinėmis.....	34
3.2.8 pav. Kursoriaus, su nefiksuota pradine padėtimi, judėjimo kryptis trikampio kraštinėmis.....	34
3.2.9 pav. Trimatės figūros su fiksuota kursoriaus pradine padėtimi.....	35
3.2.10 pav. Kursoriaus judėjimo kryptis kubo kraštinėmis.....	35
3.2.11 pav. Kursoriaus judėjimo kryptis piramidės kraštinėmis.....	35
3.2.12 pav. Kursoriaus judėjimo kryptis rutulio kraštinėmis.....	36
3.2.13 pav. Kursoriaus apvedimo trajektorija tiriant kvadratą.....	36
3.2.14 pav. Tiriamojo asmens įvairių figūrų tyrimo rezultatai.....	37

3.2.15 pav. Tyrimą atliekanti tiriamoji.....	37
4.1.1 pav. Kursoriaus trajektorija, lėtai „apeinant“ kvadratą.....	38
4.1.2 pav. Kursoriaus trajektorija, lėtai „apeinant“ trikampį.....	38
4.1.3 pav. Kursoriaus trajektorija, lėtai „apeinant“ kvadratą (nefiksuota pradine kursoriaus padėtis).....	39
4.1.4 pav. Kursoriaus trajektorija, lėtai „apeinant“ trikampį (nefiksuota pradine kursoriaus padėtis).....	39
4.1.5 pav. Kursoriaus trajektorija, greitai „apeinant“ kvadratą.....	39
4.1.6 pav. Kursoriaus trajektorija, greitai „apeinant“ trikampį.....	39
4.1.7 pav. Kursoriaus trajektorija, greitai „apeinant“ kvadratą (nefiksuota pradine kursoriaus padėtis).....	40
4.1.8 pav. Kursoriaus trajektorija, greitai „apeinant“ trikampį (nefiksuota pradine kursoriaus padėtis).....	40
4.1.9 pav. Kursoriaus trajektorija, lėtai „apeinant“ kvadratą.....	40
4.1.10 pav. Kursoriaus trajektorija, greitai „apeinant“ kvadratą.....	40
4.2.1 pav. Pirmojo tiriamojo įvairių figūrų tyrimo rezultatai.....	42
4.2.2 pav. Antrojo tiriamojo įvairių figūrų tyrimo rezultatai.....	43
4.2.3 pav. Trečiojo tiriamojo įvairių figūrų tyrimo rezultatai.....	44
4.2.4 pav. Ketvirtojo tiriamojo įvairių figūrų tyrimo rezultatai.....	45
4.2.5 pav. Penktojo tiriamojo įvairių figūrų tyrimo rezultatai.....	46
4.4.1 pav. Pirmojo tiriamojo įvairių figūrų sekimo dispersinės analizės grafikas.....	48
4.4.2 pav. Antrojo tiriamojo įvairių figūrų sekimo dispersinės analizės grafikas.....	51
4.4.3 pav. Trečiojo tiriamojo įvairių figūrų sekimo dispersinės analizės grafikas.....	54
4.4.4 pav. Ketvirtojo tiriamojo įvairių figūrų sekimo dispersinės analizės grafikas.....	56
4.4.5 pav. Penktojo tiriamojo įvairių figūrų sekimo dispersinės analizės grafikas.....	59
4.5.1 pav. Visų tiriamųjų kvadrato sekimo dispersinės analizės grafikas.....	61
4.5.2 pav. Visų tiriamųjų trikampio sekimo dispersinės analizės grafikas.....	63
4.5.3 pav. Visų tiriamųjų apskritimo sekimo dispersinės analizės grafikas.....	65

LENTELĖS

2.1.6.1. Jėgos grįžtamojo ryšio prietaisų charakteristikų lyginamoji lentelė.....	26
3.2.1. Bandymų laikinių rezultatų lentelė.....	36
4.4.1. Pirmojo tiriamojo įvairių figūrų sekimo dviejų faktorių, dispersinė analizės lentelė.....	48
4.4.2. Antrojo tiriamojo įvairių figūrų sekimo dviejų faktorių dispersinė analizės lentelė.....	50
4.4.3. Trečiojo tiriamojo įvairių figūrų sekimo dviejų faktorių dispersinė analizės lentelė.....	53
4.4.4. Ketvirtojo tiriamojo įvairių figūrų sekimo dviejų faktorių dispersinė analizės lentelė.....	56
4.4.5. Penktojo tiriamojo įvairių figūrų sekimo dviejų faktorių dispersinė analizės lentelė.....	58
4.5.1. Visų tiriamųjų kvadrato dviejų faktorių dispersinė analizės lentelė.....	61
4.5.2. Visų tiriamųjų trikampio dviejų faktorių dispersinė analizės lentelė.....	63
4.5.3. Visų tiriamųjų apkritimo dviejų faktorių dispersinė analizės lentelė.....	64
4.6.1. Visų tiriamųjų dvimačių figūrų Stjudento testo rezultatai.....	67
4.6.2. Visų tiriamųjų trimačių figūrų Stjudento testo rezultatai.....	68

IVADAS

Lytėjimas – viena iš svarbiausių žmogaus sensorinių sistemų, kurios dėka žmogus gauna didžiąją dalį informacijos apie aplinką. Dėl galimybės lytėti, žmogus atpažįsta paviršiaus struktūrą, pasipriešinimą spaudimui, temperatūrą, svorį, formą ir kontūrą. Lytėjimas iš esmės sudarytas iš receptorių, kurių yra gleivinėse ir odoje (ypač daug jų yra pirštuose ir delnuose). Visa informacija iš receptorių nerviniais impulsais yra siunčiama į galvos smegenų jautrumo zonas. Taip gaunama informacija apie lytėjimą.

Aklieji jau daugiau nei 180 m. rašo ir skaito pasinaudodami Louis Braille (1824 m.) sukurtu raštu. Pasinaudodami šiuo raštu aklieji gali skaityti ir rašyti. Tačiau prieš 30 metų atsirado įrenginiai, leidžiantys vaizdus pateikti grafinėje planšetėje, kurioje norimas vaizdas gaunamas pakeliant atitinkamus įrenginio dantukus. Tai buvo brangūs prietaisai, tačiau jie neregiamams sudarė galimybes pažinti žemėlapius, diagramas ir t.t. Taigi siekiant įgyvendinti tikslus, suteikti neregiamams galimybę atpažinti supančią erdvę, buvo pradėti tyrimai, susiję su grįžtamojo ryšio jėgos įrenginių sistema.

Temos aktualumas. Kompiuterio ir interneto dėka galima prieiti kone prie visų pasaulio duomenų, tačiau tokia prieiga smarkiai apribota žmonėms, kurie turi regos negalią. Nors dauguma neregijų naudoja ekrano skaitymo prietaisus, tačiau tai leidžia gauti tik rašytinę informaciją. Siekiant neregiamams perteikti ir grafinę informaciją, vis plačiau pradedamos naudoti jėgos grįžtamojo ryšio sistemos. Šios sistemos leidžia pajusti dydį ir formą objektų, kurie atvaizduoti virtualioje erdvėje. Norint tinkamai išnaudoti šių sistemų galimybes, yra atliekama nemažai tyrimų, tačiau iki šiol nėra iširta, kaip tyrimo atlikimo laikas priklauso nuo tiriamojo amžiaus ir lyties. Tyrimuose nėra nagrinėtos konkrečios figūros (ir jų dydžiai), kuriomis būtų galima nusakyti, kokia figūra labiau daro įtaką tiriamojo gebėjimui įsiminti figūrą. Nėra iširta, ar yra tyrimų laikinis panašumas tarp tiriamų figūrų, tiriamųjų. Dėl išvardintų priežasčių, siekiant nustatyti optimalius, neregiamams skirtų virtualių aplinkų parametrus, yra atliekamas šis tyrimas.

Darbo objektas. Žmogaus sąveika su virtualiais objektais, panaudojant jėgos grįžtamojo ryšio prietaisą.

Darbo tikslas. Atlikti virtualių figūrų atpažinimo tyrimą, panaudojant jėgos grįžtamojo ryšio prietaisą.

Darbo uždaviniai:

1. Susisteminti ir apibendrinti kryptingai pasirinktus mokslinės literatūros šaltinius ir apibūdinti žmogaus lytėjimo sistemos sandarą ir erdvės suvokimo principus.

2. Išanalizuoti jėgos grįžtamojo ryšio prietaisų konstrukciją ir pagrindinius jų funkcionavimą nusakančius parametrus bei charakteristikas.
3. Sudaryti virtualių objektų atpažinimo tyrimų metodiką.
4. Ištirti figūros formos, dydžio ir išdėstymo tiriamajame lange padėties įtaką greitesniam ir tikslesniam figūrų atpažinimui panaudojant jėgos grįžtamojo ryšio prietaisą *Phantom omni*.
5. Įvertinti vyrų ir moterų gebėjimą atpažinti virtualius objektus.

Darbo struktūra. Magistro darbą sudaro santrauka anglų ir lietuvių kalba, įvadas, keturi skyriai, išvados ir siūlymai, naudotos literatūros sąrašas, priedai (priedai pateikiami kompaktiniame diske, prisegtame prie darbo). Darbo apimtis 73 lapai.

1. BENDROSIOS ŽMOGAUS ORGANIZMO JUTIMO IR SUVOKIMO SAVYBĖS

1.1. Bendrosios anatomicinės, funkcinės odos ir lietimio suvokimo organizacijos savybės

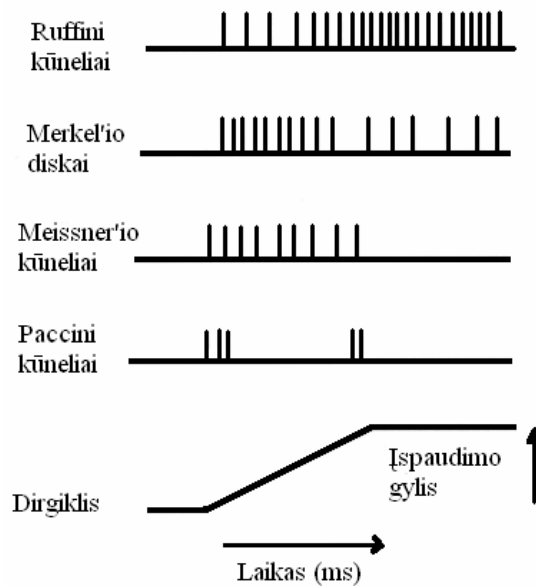
Bendras suvokimas per odą atsiranda tada, kai nuo mechaninio odos dalies deformavimo yra gaunama informacija iš skirtingų receptorių, išdėstytų tam tikrose odos sluoksniuose. Yra skiriami keturi tipai pagal adaptyvių ypatybių pagrindą (greitas ar lėtas) ir pagal laukų savybes (mažas ir labai lokalizuotas ar didelis, su neaiškiomis ribomis). Meissner dalelės ir Merkel disko receptoriai turi mažus, lokalizavimui imlius laukus. Pirmieji turi greitą adaptaciją (jie yra aktyvūs per pradinį kontaktą su stimulu), o antri turi lėtą adaptaciją (jie yra aktyvūs per visą kontaktą su stimulu). Merkel diskai koduoja informaciją apie erdvinę formą ir stimulų struktūrą (tokias kaip pakeltos linijos ar Brailio raštas) tuo metu, kai Meissner dalelės daugiausiai užkoduoja judėjimus odos paviršiuje (tokius kaip laikytino stiklo slydimas rankoje).

Lietimo procese, prie odos informacijos prisijungia informacija nuo mechaninio receptoriaus deformavimo, atsirandančio, kai yra judinamos tiriamojo rankos. Kadangi receptoriai yra išdėstyti raumenyse, sausgyslėse ir jų sujungimo vietose, tai ir raumens receptoriai aprūpina informacija daugiausiai apie raumenų ilgį ar šio ilgio pakeitimo greitį. Sausgyslių receptoriai teikia informaciją raumens įtempimo lygmenyje apie raumens ilgalaikius pakitimus. Koduojama sensorinė informacija iš mechaninių receptorių yra perduodama į centrinę nervų sistemą dviem skirtingais keliais: nugaros vidurine skilties sistema ir išorine skilties sistema. Nugaros vidurinė skiltimi sistema signalus perduoda greitai (didelis skersmuo perduoda signalus greičiais nuo 30 iki 110m/s). Iš receptorių gauta laikinė ir erdvinė informacija sujungiama ir tokiu būdu suformuojama lietimio informacija [1, p.28-30].

Mechaninis odos jautrumas sukelia tam tikrus jutimus. Net ir silpnas mechaninis odos palietimas sukelia lytėjimo jutimą. Ypač jautrios yra rankos pirštų pagalvės ir liežuvio viršūnė. Mechaniskai dirginant gleivines, padų ir delnų odą, ausis, lūpas ir kietąjį gomurį, yra jaučiamas kutulys. Vienodai veikiant mechaniniam spaudimui, atsiranda spaudimo jutimas, o tempiant odą, atsiranda tempimo jutimas, o veikiant ją mechaniniais virpesiais, dažnesniais negu 10 Hz, sukeliamas vibracijos jutimas [2].

Nustatyta, kad rankos ir burnos sričių oda, geriausiai skiria lytėjimo jutimus. Odos skiriamoji gebos galia nustatoma, liečiant ją tuo pačiu metu dviem taškiniais dirgikliais, pvz., skriestuvo adatėlėmis. Minimalus erdvinis atstumas tarp šių dirgiklių, kai tiriamasis sugeba atskirtis juos kaip du odos lietimio taškus, vadinamas dviejų taškų slenksčiu. Pirštų galų jis lygus 1mm, o nugaros – 70mm. Didelė odos skiriamoji galia koreliuoja su dideliu jos inervacijos tankiu ir receptorių skaičiumi

paviršiaus ploto vienetu, taip pat su didele tos srities projekcija galvos smegenų žievėje. Yra skiriami keturi odos mechanoreceptorių tipai: trukmė, intensyvumas, kitimo greitis ir pagreitis. Šiuos skirtingus dirgiklio komponentus perduoda specialieji mechanoreceptoriai. Jiems priklauso Meissner kūneliai, Merkel lytėjimo diskai, Ruffini kūneliai, plaukų folikulų receptoriai ir Paccini kūneliai. Kaip pavaizduota 1.1.1 pav., mechanoreceptorius, remiantis adaptacijos greičiu, galima suskirstyti į greitosios adaptacijos receptorių – RA (angl. rapidly adapting), pvz., Meissner kūneliai, ir lėtosios adaptacijos receptorių – SA (angl. slowly adapting), pvz., Merkel diskai ir Ruffini kūneliai. Paccini kūneliai yra labai greitai besiadaptuojantys receptoriai, kurie aktyvinami tik dirgiklio veikimo pradžioje ir pabaigoje. Dirgiklio kitimo greitį rodo trys receptorių tipai: (1) RA receptoriai – neplaukuotos odos, (2) plaukų folikulų receptoriai – plaukuotos odos ir (3) SA receptoriai – ir plaukuotos, ir neplaukuotos odos. Dirgiklio pagreitį nustato Paccini kūneliai (PC receptoriai), kurie atpažįsta net ir labai žemo slenksčio odos dirgiklį, todėl jie dar vadinami slenksčio detektoriais.



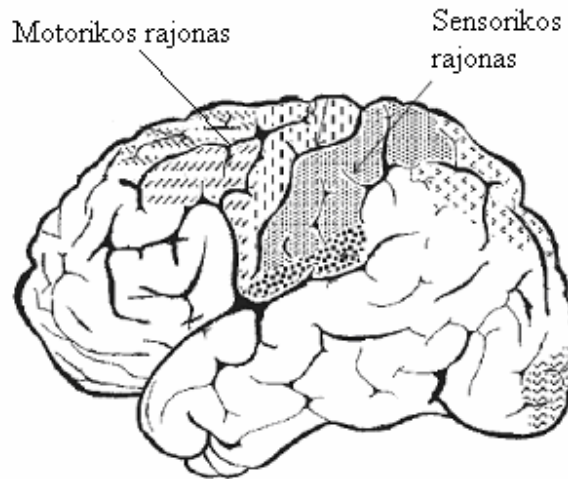
1.1.1 pav. Odos mechanoreceptorių kodavimo ypatybės [3]

Paveiksle pavaizduota apatinė kreivė rodo įspaudimo gylį, veikiant dirgikliui, o jos viršuje esančios kreivės – atitinkamų receptorių atsakus [3].

1.2. Neuronų jautrumas ir informacijos apdorojimas

Nervų stimulo kodavimas priklauso nuo neuronų jautrumo į tam tikras stimulo ypatybes. Nervų informacijos kodavimas yra įvertintas neurono paleidimo dažniu. Duotam neuronui informacija

neužkoduoja informacijos pagrindu „visi ar niekas“, bet koduoja kelis informacijos parametrus su skirtingais dydžiais. Pavyzdžiui, pokyčiams jautrus neuronas turi maksimalų atsakymą, kai paleidimo orientacija sutampa su jo priėmimo lauku. Kai tik stimulus tampa mažesnis už optimalią orientaciją, neurono atsakymas mažėja. Tyrimai parodė, kad stimulo informacija yra užkoduojama visoje žievėje, o ne prie tam tikro vieno neurono. Žmogaus smegenų aktyvinės zonos pavaizduotos 1.1 pav. [1, p.31-33].



1.2.1 pav. Žmogaus smegenų aktyvinių zonų išskirstymas [1]

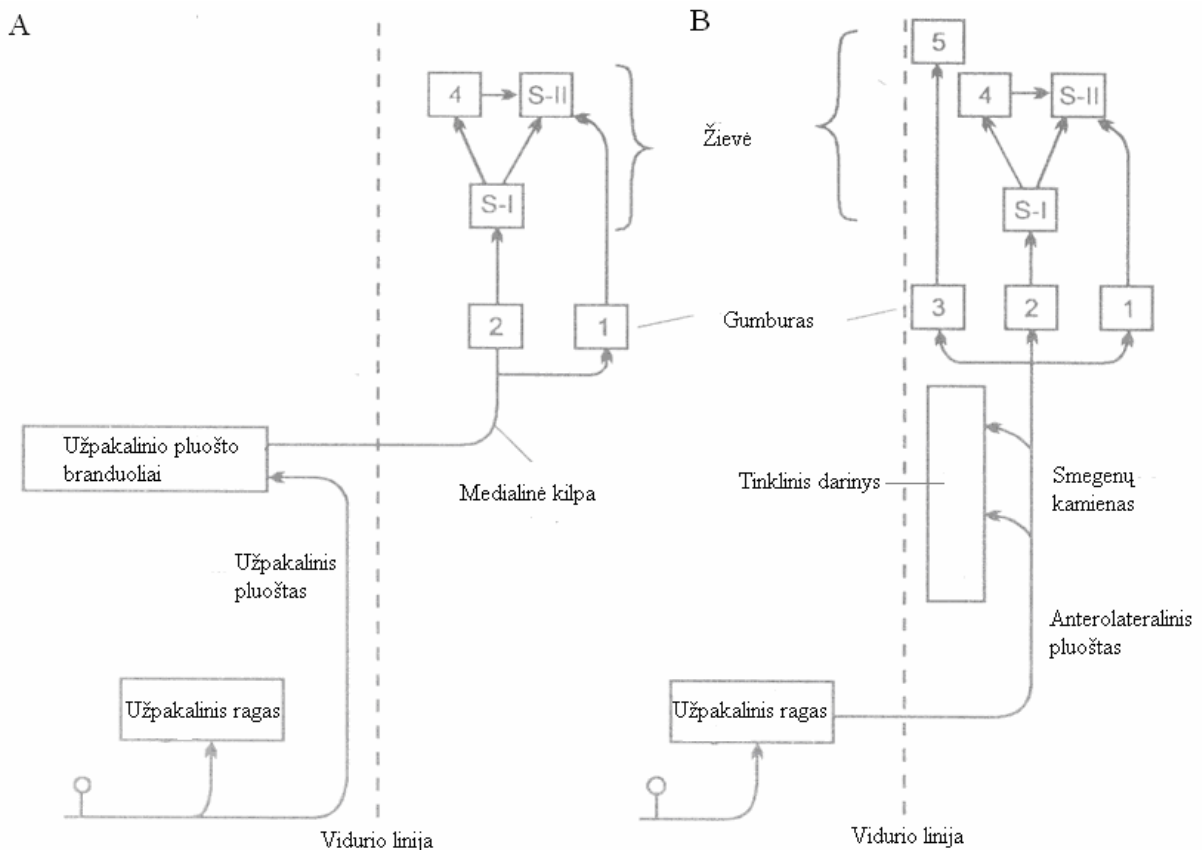
Išorinės aplinkos dirgiklio visi parametrai atkuriami projekciniame lauke. Tuo tikslu naudojami tam tikri mechanizmai. Somatotopinis principas ir žievės kolonėlių struktūra sudaro anatomicinį pagrindą visai informacijai iš tam tikros odos srities apdoroti. Vienas dirgiklis paveikia daug receptorių, turinčių skirtingas adaptacines savybes, todėl dirgiklio fiziniai parametrai yra atskirai koduojami ir per tam tikrus juntamuosius takus kartu siunčiami į smegenų žievę. Neuronai, gaunantys informaciją iš SA receptorių, koduoja skirtingus dirgiklio fizinius parametrus. Apdorojant informaciją branduoliuose, vyrauja šoninio slopinimo mechanizmas. Jis padeda stiprinti sensorinės informacijos skirtumus tarp tam tikrų juntamųjų kanalų. Jais remdamasi centrinė nervų sistema gali atpažinti kontrasto reiškinius. Šis principas yra pagrįstas centrinės ir periferinės receptinio lauko dalies antagonistine sąveika. Skirtingas receptorių tankis receptiniame lauke atitinka neuronų skaičių, kurie žievėje analizuoja informaciją iš šio receptinio paviršiaus, pavyzdžiui, primatų smegenų žievėje yra didelė projekcijos sritis impulsams iš rankos, kuri vyrauja kitų kūno sričių projekcijų atžvilgiu. Receptorių tankis rankoje yra didelis, o rankos receptiniai laukai yra atitinkamai mažesni. Tik iš trijų neuronų sudaryta impulso plitimo grandinė ir didelis patikimumo veiksnys, būdingas impulsui plintant kylamaisiais takais, garantuoja receptorių sujaudinimo perdavimą į smegenų žievę. Branduolių eferentinė kontrolė sudaro

sąlygas pirmiausia perduoti svarbesnę informaciją tam tikrais juntamaisiais takais, kurie atskiriami vykstant centrinei kontrolei.

Informacijos apdorojimas pirminėje somatosensorinėje žievėje vyksta taip: somatosensorinės žievės laukeliuose neuronai tiksliai atkuria mechaninį dirgiklį, į kurio tam tikrus parametrus receptoriai reaguoja skirtingai. O informacijos apdorojimas antrinėje somatosensorinėje žievėje vyksta taip: norint suvokti liečiamų daiktų paviršiaus savybes, formą ir judėjimą, centrinė nervų sistema turi sujungti informaciją iš odos lytėjimo receptorių ir iš giliųjų spaudimo receptorių, taip pat informaciją apie rankos ir pirštų padėtį. Yra trys pagrindiniai informacijos apdorojimo etapai: (1) neuronai specializuojasi vertinti sudėtingas dirgiklio charakteristikas, t.y. tam tikrus jo fizinius parametrus integruoja; (2) sensorinė kokybinė informacija konverguoja į bendruosius neuronus ir (3) receptiniai laukai tampa didesni. Vykstant konvergencijai, susidaro neuronų grupė, kuri jungia tam tikras dirgiklio savybes. Dėl šių procesų nustatomas erdvinis mechaninis odos dirgiklis – stereognozija, o šios žievės srities pažeidimas sukelia taktilinę agnoziją.

Specifinės sensorinės sistemos impulsai, kylantys užpakalinio pluošto kilpine sistema ir anterolateralinės sistemos „tractus spinothalamicus“, plinta į pirminę somatosensorinę žievę. Šios dvi projekcinės sistemos perduoda tikslią informaciją apie dirgiklio lokalizaciją ir pobūdį, todėl jos vadinamos specifinėmis.

Nespecifinė sensorinė sistema sudaryta iš sensorinių aferentų ir specifinės sensorinės sistemos kolateralių. Anotomiškai šią didelę takų sistemą yra sunku tiksliai apibūdinti, nes jai būdingos polisinaspinės jungtys, ir ji sudaryta iš daug komponentų. Ši sistema per tinklinį darinį ir gumburo branduolius plinta į galvos smegenų žievę. Jos projekcijos pasiekia beveik visas smegenų žievės sritis, taip pat ir asociacinę žievę. Nors nespecifinė sistema turi sensorinių aferentų, tačiau ji neperduoda informacijos apie dirgiklio vietą ir pobūdį. Ji aktyvina galvos smegenų žievę ir palaiko sąmonę. Nespecifinės sistemos aktyvumas sudaro sąlygas informacijai, patenkančiai per specifines sensorines sistemas, būti apdorotai žievėje [3].



1.2.2 pav. Somatosensorinių kylamųjų takų projekcija [3]

A. Užpakalinio pluošto kilpinė sistema. B. Anterolateralinė sistema.

Kiekvienai sistemai yra būdingos nuoseklios ir lygiagrečios jungtys. 1 - užpakalinis ventrolateralinis gumburo branduolys; 2 - užpakaliniai gumburo branduoliai; 3 - intralaminariniai gumburo branduoliai; 4 - užpakalinė parietalinė žievė; 5 - asociacinė žievė [3].

1.3. Jutimo suvokimo ir lietim suvokimo priklausomybė nuo amžiaus

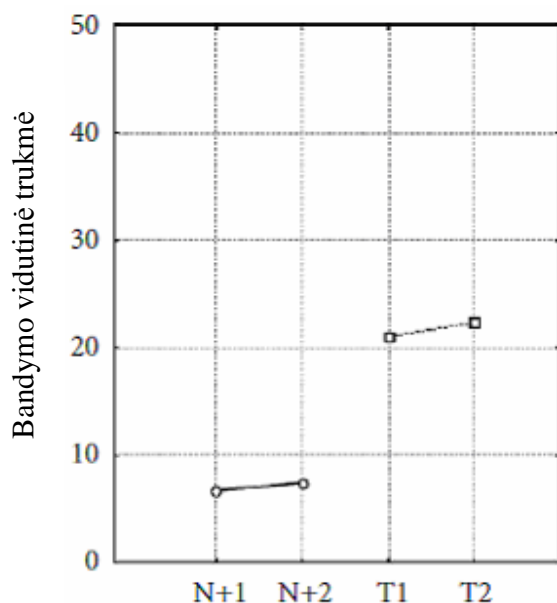
Ranka yra vienas svarbiausių žmogaus jutimo organų. Liečiant daiktus ranka bei daiktais aktyviai manipuluojant, odos receptoriai yra dirginami. Jie sukelia aferentinę impulsiją, kuri naudojama sensorinei analizei. Ranka yra labai jautri, nes pirštų pagalvėlėse yra didelis SAI ir RA receptorių tankis, kurie turi mažus receptorinius laukus. Informacija iš SAI ir RA receptorių plinta į neproporcingai didelę neuronų populiaciją, esančią somatosensorinės žievės laukeliuose. Rankos odos PC ir SAII receptoriai yra beveik vienodai pasiskirstę. Jie turi didelius neryškiai ribotus laukus. Paccini kūnelių dideli receptiniai laukai yra susiję su šių receptorių lokalizacija poodiniame riebalų sluoksnyje,

kuriuo gerai plinta slėgio banga. SAI receptorių didelius receptinius laukus lemia jų jautrumas odos tempimui į skirtingas puses.

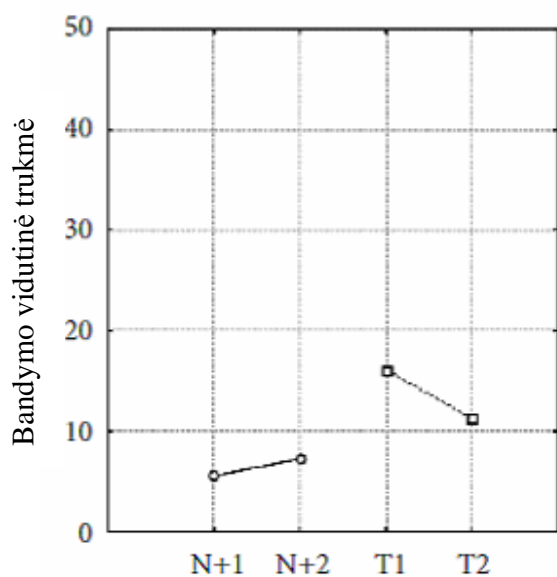
Statokinetinis jutimas suteikia informaciją apie kūno padėtį erdvėje ir apie kūno linijinį bei sukimosi pagreičius. Su šiuo jutimu yra susiję daug receptorinių sistemų, pavyzdžiui, odos mechanoreceptoriai, raumenų verpstės, sausgyslių ir sąnarių mechanoreceptoriai. Propriocepcijos, t.y. giliojo jautrumo sąvoka apima ir statokinetinį jutimą, kuris atsiranda dirginant odos, sąnarių, raumenų, sausgyslių ir fascijų receptorius. Propriocepcija turi tris kokybines charakteristikas: (1) padėties, (2) judėjimo ir (3) jėgos jutimus. Padėties jutimas priklauso nuo sąnario kampo dydžio. Šio kampo net maži pokyčiai yra juntami, pavyzdžiui, 2 - 3^o kelio sąnario. Net būdami užsimerkę, mes tiksliai jaučiame sąnario kampo dydį. Judėjimo jutimą sukelia sąnario padėties kitimas. Šio jutimo slenkstis priklauso nuo sąnario judėjimo kampinio greičio, pavyzdžiui, proksimalinių sąnarių slenkstis yra mažesnis negu distalinių. Peties sąnaryje jau juntamas 0,2^o kampo pokytis, esant kampiniam greičiui 0,3^o/s, o pirštų sąnaryje – tik 1,2^o, esant kampiniam greičiui 12,5^o/s. Jėgos jutimą lemia raumens susitraukimo jėga, kuri naudojama judesiui atlikti arba sąnariui išlaikyti tam tikroje padėtyje, pavyzdžiui, esant kintamam krūviui. Propriocepcija sukeliama sužadinus tam tikrus receptorius. Sąnario receptoriai tikriausiai nėra svarbūs, nes ligonių, turinčių dirbtinius sąnarius, padėties ir judėjimo jutimai yra truputį sutrikę. Vadinas, šie jutimai labiausiai priklauso nuo raumenų verpsčių [3].

Yra aiškių skirtumų tarp žodinių ir rankinių funkcionavimo būdų, ir tai pateisina jų studijavimą atskirai. Tokiu būdu Rochat (1987 m.) tyrinėjo naujagimio gebėjimą aptikti informaciją objektuose, tinkamuose žodinės ar rankinės veiklos apdorojimui. Jis lygino skirtingus suspaudimo laipsnius, pritaikytus ir tvirtiems, ir elastingiems objektams. Rochat naudoja poligrafa, kad įrašytų žodinio ir rankinio spaudimo dažnį spaudžiant kietą ir minkštą objektą. Rezultatai rodo elgesio skirtumus pagal kūdikio amžių ir tyrineto objekto pastovumą. Skirtingai nuo burnos, ranka įtempinama smarkiau suspaudžiant kietą objektą nei minkštą. Antra, naujagimio žodinė veikla yra daug didesnė negu jo rankinė veikla, ir ši tendencija išlieka nuo dviejų iki trijų mėnesių amžiaus. 2000 m. Streri, Lhote ir Dutilleul parodė, kad naujagimiai (16 valandų amžiaus) sugebėjo aptikti dviejų mažų objektų kontūrų skirtumus (prizmės ir cilindro). Atpažinimas atliktas be regimosios kontrolės, yra efektyvus metodas, atskleidžiantis kūdikių rankinius gebėjimus. Šis metodas, panaudotas regimajame tyrinėjime ir pritaikytas lietimo moduliavimui, gali būti naudojamas nuo gimimo. Lytėjimo erdvė yra atskirta nuo regimosios erdvės audeklo ekranu, kuris neleidžia kūdikiui matyti jo/jos rankų ir objekto. Bandytojas padeda objektą į kūdikio dešiniąją ranką ir įrašo kūdikio užimtumą. Jei užimtumo mažėjimas atsiranda

su pakartotiniu objekto pristatymu, pripratimas yra laikytas. Kai pripratimo kriterijai, nustatyti bandytojo, yra įvykdyti, kūdikiui yra pateikiamas naujas objektas. Užimtumo padidėjimas reiškia, kad kūdikis aptiko pakeitimą ir atskyrė tarp dviejų objektų. Ši procedūra yra labai efektyvi todėl, kad liudija ankstyvas šališkas kūdikių galias. Atliekant tyrimus, kaskart nustatomas objekto atpažinimo trukmės skirtumas tarp dešinės ir kairės rankos – nustatoma asimetrija. Vyresniems kūdikiams, pripratimo fazė yra dažnai keičiama [1].



1.3.1 pav. Laikinė lietimio pripratimo trukmė dešine ranka [1]

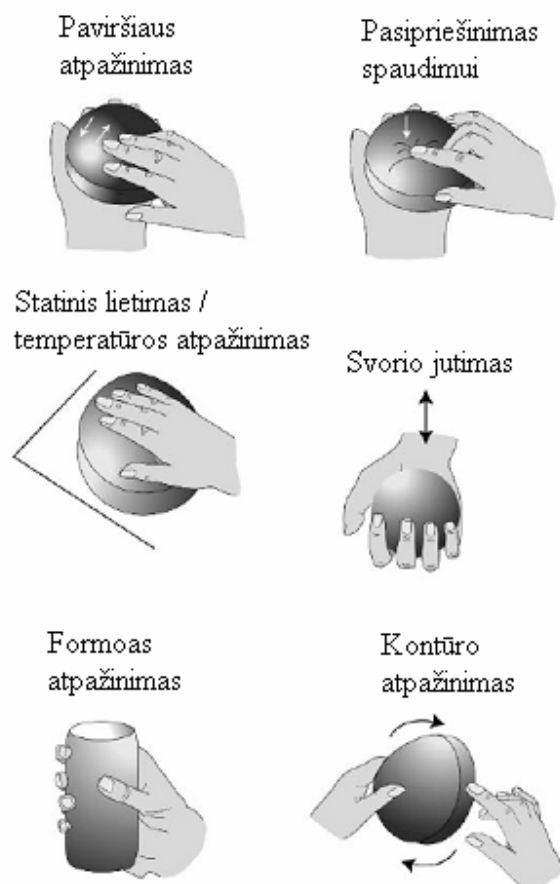


1.3.2 pav. Laikinė lietimio pripratimo trukmė kairia ranka [1]

N+1 ir N+2 - du bandymai su pažįstamu objektu, T1 ir T2 = du bandymai su nauju objektu.

Kūdikiai sugeba rinkti informaciją rankomis dėl dviejų savybių - pristatytų tuo pačiu laiku ir tame pačiame objekte be regimosios kontrolės. Catherwood (1993 m.) nagrinėjo šį tyrimą su 7 – 9 mėn. kūdikiais. Per 30 sekundžių periodą kūdikiai ištyrė objektą pagal formą (sfera ar kubas) ir struktūrą (šiurkštus ar lygus). Bandomojoje fazėje kūdikis iš eilės valdė du naujus objektus: vieną skirtingos formos ir kitą skirtingos formos ir struktūros. Rezultatai parodė, kad kūdikiai geba suvokti ir formą, ir struktūrą, pateiktuose objektuose, tuo pačiu laiku.

Tolesni tyrimai, atlikti su 11-15 metų amžiaus vaikais, parodė, kad geresnius tyrimo rezultatus parodė jaunesni vaikai, esantys nuo mažens neregiai, nei vaikai, kurie yra regintys, tačiau bandymo metu buvo su užrištomis akimis. Pasirodo, kad 11 metų vaikai turi mažiau pripratimo nei vyresnieji, todėl jų erdvinis suvokimas greitesnis. Palyginus tyrimo eigos skirtumus tarp reginčiųjų ir neregijų, nustatyta, kad neregiai daiktą ar pateiktą atitinkamą žemėlapi tyrinėja visais pirštais, o regintieji objektus tyrinėja tik panaudodami vieną ar du pirštus (1.2.3 pav. pavaizduotos lengviausiai suprantamos objektų savybės [1, p.65-83, 4, p. 277-388]).



1.3.3 pav. Lengviausiai suprantamos objektų savybės [1]

1.4. Neregijų informacijos pasisavinimo problemos

Tyrinėtojai yra sudominti jėgos grįžtamojo ryšio prietaiso išvystymu, tyrinėjimu ir programinės įrangos sudarymu, kuri leistų jausti, valdyti virtualius objektus. Tai leistų jausti virtualaus objekto

formą, svorį, paviršinę struktūrą. Pats žodis „haptic“ yra kilęs iš graikų žodžio „haptesthai“, kuris reiškia „paliesti“. Lietimo jautimas yra apibrėžtas, kaip motorikos kombinavimas su prisilietimu, kas padeda identifikuoti virtualius objektus [5].

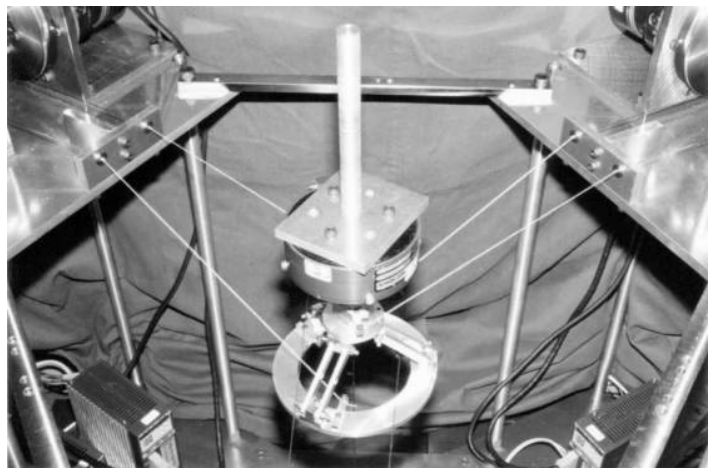
Neregių ar silpnai reginčių žmonių darbas kompiuteriu yra labai smarkiai apribotas dėl nesugebėjimo apdoroti grafinės informacijos. Prieiga prie grafinės informacijos yra būtina darbe, taip pat ir sąveikoje su kitais žmonėmis. Todėl neregys dažnai prieigą prie regimosios informacijos pasiekia per procesą, apimantį regintį asmenį, kuris paverčia regimąjį vaizdą į lytėjimo ar žodinę formą. Tai smarkiai apriboja neregio prieigą prie regimosios informacijos. Windows sistemos sukurtos taip, kad pateiktą duomenis per regimąją įvestį ir tai sudaro kliūtį panaudoti gaunamą informaciją aklam žmogui. Tačiau ši sistema yra patraukli savo galimybe, per lytėjimo programas, paliesti dvimačius ir trimačius objektus. Dėl šios priežasties yra atliekama daug tyrimų, susijusių su neregiais žmonėmis ir virtualia informacija.

2. JĖGOS GRĮŽTAMOJO RYŠIO PRIETAISAI IR JŲ PANAUDOJIMAS

2.1. Jėgos grįžtamojo ryšio prietaisai

2.1.1. Pirmieji jėgos grįžtamojo ryšio prietaisai

Pirmieji jėgos grįžtamojo ryšio prietaisai buvo sukurti panaudojant motorus ir trosus padėčiai nustatyti. Tai paprasta konstrukcija, kurioje trosais yra pasukami motorų rotoriai ir panaudojant dešifratorius nustatomos rankų padėties koordinatės. Panaudojant gautas koordinates, atvaizduojamas virtualus objektas. Tie patys motorai panaudojami ir grįžtamojo ryšio jėgai sudaryti. Grįžtamojo ryšio jėga priklauso nuo motorų dydžio. Esant didesniai motorui, sudaroma didesnė grįžtamojo ryšio jėga, tačiau tokiu atveju įrenginio savikaina brangesnė ir pats prietaisas didesnis. Todėl pasirinkus norimą grįžtamojo ryšio jėgą, buvo galima padaryti įrenginį, kurio dydis svyruotų nuo kompiuterio pelės iki kambario dydžio.



2.1.1.1 pav. Jėgos grįžtamojo ryšio prietaisas, sukurtas Tokio institute [6]

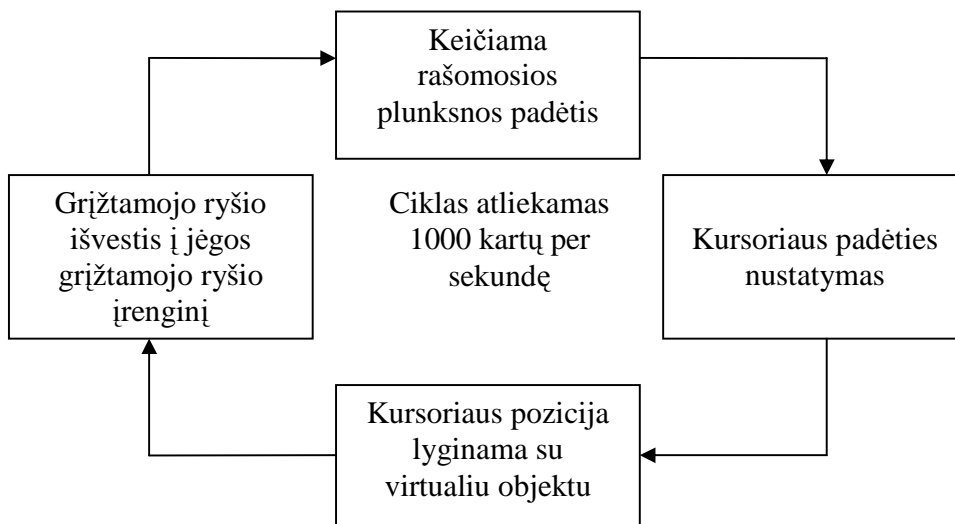
2.1.2. Kas yra „Phantom omni“

Techniniu požiūriu „Phantom omni“ yra mažas robotas su itin mažomis valdymo motorų trintimis. Prietaisas turi šešis laisvės laipsnius: pirmyn ir atgal, aukštyn, ir žemyn, į kairę, ir į dešinę. Prietaiso valdymas yra prijungtas prie „rašomosios plunksnos“ per pasyvią kardaninę pavarą, kuri leidžia atlikti kintančius judėjimus. Valdymas atliekamas judinant „rašomąją plunksną“, kuri per kardaninę pavarą judina valdomuosius motorus, o šie, reaguodami į iš kompiuterio gautą informaciją, grąžina pasipriešinimo jėgą.



2.1.2.1 pav. Jėgos grįžtamojo ryšio prietaisas „Phantom omni“ [7]

Pagrindinis jėgos grįžtamojo ryšio prietaiso informacijos perteikimo principas yra paprastas: kiekvieną milisekundę kompiuteris, kuris sujungtas su įrenginiu, nuskaito šifratorių teikiamus duomenis apie „rašomosios plunksnos“ padėtį. Padėtis yra lyginama su virtualaus objekto padėties duomenimis. Jei virtualioje erdvėje kursoriaus neaptinka objekto, tai „rašomoji plunksna“ judinama laisvai, be pasipriešinimo. Jei sistema aptinka susidūrimą tarp „rašomosios plunksnos“ vedamo kursoriaus ir virtualaus objekto, motorai suveikia ir į kardaninę pavarą grąžinamas pasipriešinimas. Taip sudaromas grįžtamasis ryšys. Tokiu būdu vartotojui neleidžiama prasiskverbti į virtualų objektą taip, tarsi „rašomoji plunksna“ susidurtų su tikru objektu realioje erdvėje. Jėgos grįžtamojo ryšio prietaiso darbo ciklas atvaizduotas 2.2 pav. [7,8].



2.1.2.2 pav. Jėgos grįžtamojo ryšio prietaiso darbo ciklas

2.1.3. Jėgos grįžtamojo ryšio prietaisas „Omega“

Omega – nebrangus, 3-jų laisvės laipsnių jėgos grįžtamojo ryšio stalinis įrenginys. Jo lygiagreči mechanika smarkiai padidino grįžtamojo ryšio kietumą ir struktūros tvirtumą. Su nuolatine 12.0 N jėga ir grįžtamuoju 14.5 N/mm ryšio kietumu, Omega pralenkia visus kitus jėgos grįžtamojo ryšio prietaisus savo klasėje. Prietaisas pasižymi tuo, kad yra pirmas jėgos grįžtamojo ryšio prietaisas, kuris jungiamas per USB 2.0 sąsaja [9,10].



2.1.3.1 pav. Jėgos grįžtamojo ryšio prietaisas „Omega“ [9]

2.1.4. Jėgos grįžtamojo ryšio prietaisas „Delta“

Jau kurį laiką yra pristatytas pakaitalas 3-jų laisvės laipsnių sistemai. Tai 6-ių laisvės laipsnių „Delta“ jėgos grįžtamojo ryšio prietaisas. 6 aktyvūs laisvės laipsniai vertime ir sukime buvo suprojektuoti taip, kad rodytų aukštą tikslumą. Lygiagrečios mechaninės koncepcijos dėka, jėgos grįžtamojo ryšio prietaisas gali teikti stiprų pasipriešinimo ir sukimo jėgų atramą plačioje savo darbo erdvėje, skirtingai nuo kitų jėgos grįžtamojo ryšio struktūrų, kurios apriboja jėgos atramą arba mažesnę darbo erdvę. Be to, lygiagreči mechanika padeda išgauti didelį prietaiso stabilumą ir labai sumažina manipulatoriaus inerciją [11,12].



2.1.4.1 pav. Jėgos grįžtamojo ryšio prietaisas „Delta“ [11]

2.1.5. Jėgos grįžtamojo ryšio prietaisas „Novint Falcon“

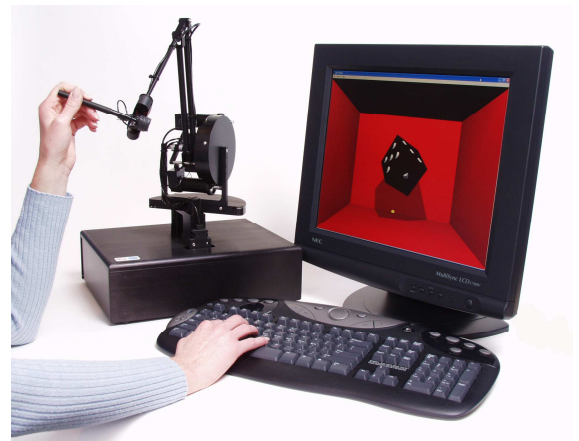
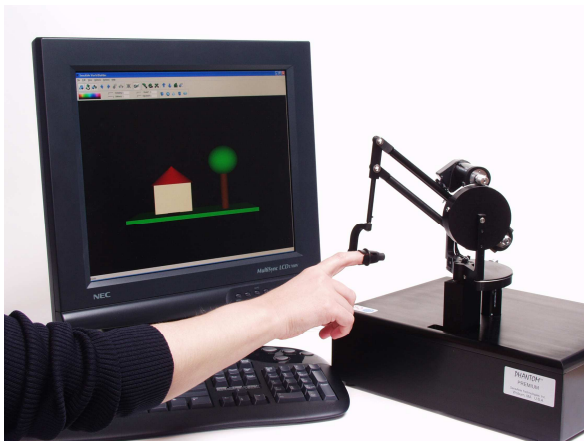
„Novint Falcon“ - vienas iš svarbiausių, plataus vartojimo prietaisų, palaikomų USB sąsaja. Jėgos grįžtamojo ryšio prietaisas sukurtas pakeisti pelę video žaidimuose. Prietaisas susideda iš sferinio rutulio, prie kurio prijungtos trys „rankos“ ir visa tai pritvirtinta prie pasukamo pagrindo. Sferinis rutulys turi daviklius ir motorus, pritvirtintus prie kiekvienos „rankos“. Informacija gauta iš motorų, paverčiama ir perduodama informacija programinei įrangai, taip sudarant ryšį tarp jėgos grįžtamojo ryšio prietaiso ir kompiuterio. Šis prietaisas skirtas mėgėjiškam vartojimui [13,14].



2.1.5.1 pav. Jėgos grįžtamojo ryšio prietaisas „Novint Falcon“ [14]

2.1.6. Jėgos grįžtamojo ryšio prietaisas „Phantom Premium“

„Phantom Premium“ jėgos grįžtamojo ryšio prietaisas, palaiko platų grįžtamojo ryšio darbinį diapazoną bei judėjimo kietumo ir motorinės jėgos diapazoną. Prietaisas pritaikytas specifiniams skirtingų tyrinėjimo projektų reikalavimams. Jis apima pasyvią „rašomąją plunksną“ ir antpirščio kardaninę pakabą. „Rašomosios plunksnos: kardaninė pakaba, kuri gali būti nupirkta atskirai, įgalina papildomų 3 pozicinio jutimo laipsnių matavimą. Šie prietaisai jungiami prie asmeninio kompiuterio per lygiagrečią sąsają (EPP) [15,16,17].



2.1.6.1 pav. Jėgos grįžtamojo ryšio prietaisas „Phantom Premium“ [15,16,17]

Apžvelgus įvairius jėgos grįžtamojo ryšio prietaisus galima teigti, kad „Delta“ yra geriausias siūlomas jėgos grįžtamojo ryšio prietaisas, nes turi didžiausią grįžtamojo ryšio jėgą su gravitacijos kompensavimo, elektromagnetinio stabdžio, greičio reguliavimo ir prietaiso vidinio procesoriaus palaikymo galimybėmis. Iš pateiktų pavyzdžių, galima pastebėti, kad rinkoje yra nemažai jėgos grįžtamojo ryšio prietaisų, tačiau kiekvienas jų turi tik jam būdingas charakteristikas. 2.1.6.1 lentelėje pateikiama nagrinėtų jėgos grįžtamojo ryšio prietaisų charakteristikos.

2.1.6.1 lentelė

Jėgos grįžtamojo ryšio prietaisų charakteristikų lyginamoji lentelė

	„Omega“	„Delta“	„Novint Falcon“	„Phantom Premium“	„Phantom omni“
Maksimali įrenginio galia	12.0 N	20.0 N	9.0 N	8.5 N	3.3 N
Maksimali besitęsianti jėga	12.0 N	20.0 N	-	1.4 N	0.88 N
Raiška	0.009 mm	0.03 mm	0.06 mm	0.03 mm	0.055 mm
Grįžtamojo ryšio jėgos kietumas	14.5 N/mm	15.0 N/mm		3.5 N/mm	X ašis - 1.26 N/mm Y ašis - 2.31 N/mm Z ašis - 1.02 N/mm
Sąsaja	USB 2.0	USB 2.0	USB 2.0	PCI	FireWire
Gravitacijos kompensavimas	Palaikomas	Palaikomas	Nepalaikomas	Nepalaikomas	Nepateikiama
Elektromagnetinis stabdis	Palaikomas	Palaikomas	Nepalaikomas	Nepalaikomas	Nepateikiama
Greičio reguliavimas	Palaikomas	Palaikomas	Nepalaikomas	Nepalaikomas	Nepateikiama
Prietaiso vidinis procesorius	Nepalaikomas	Palaikomas	Nepalaikomas	Nepalaikomas	Nepateikiama
Prietaiso kalibravimas	Automatinis	Nepateikiama	Nepateikiama	Nepateikiama	Nepateikiama
Maksimalus sukamasis momentas	Nepateikiama	200 Nm	Nepateikiama	Nepateikiama	Nepateikiama
Grįžtamoji trintis	Nepateikiama	Nepateikiama	Nepateikiama	Nepateikiama	0.26 N

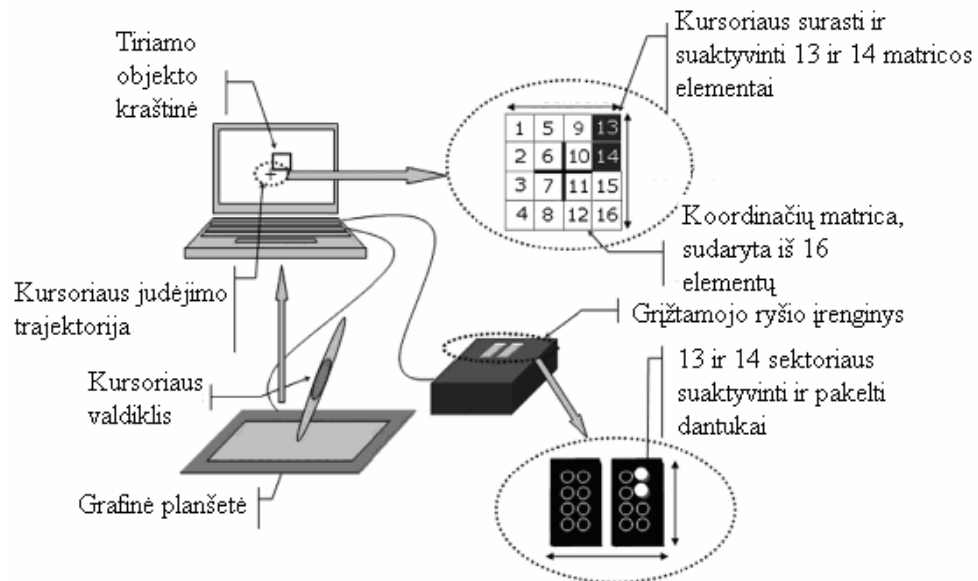
2.2. Jėgos grįžtamojo ryšio prietaisų panaudojimo tyrimai

- Vienas iš tyrimų, atliktas Švedijoje, Lund universitete (Calle Sjöström), nustatė, kaip neregiai reaguoja į virtualias figūras panaudojant grįžtamojo ryšio jėgos prietaisą „Phantom“. Didžiausias tyrimo dėmesys nukreiptas į tai, kaip tiriamiesiems pavyksta apvesti figūrą, su kokiais sunkumais jie susiduria [18].

- Kitas tyrimas atliktas Prancūzijoje, Pierre Guillaumat tyrimų centre (Mounia Ziat, Olivier Gapenne, Jonh Stewart, Charles Lenay, 2006). Jis atliktas su tiriamaisiais nuo 22 m. iki 32 m amžiaus, stebint, kaip šie reaguoja į figūras ir ar tiksliai jas atpažįsta. Tyrimas atliekamas su grafine planšete ir grįžtamoju įrenginiu, kuris atvaizduoja tam tikrus duomenis pakeldamas atitinkamus įrenginio dantukus. Tyrime panaudotos įvairios figūros, raidės ir ženklai. Kiekvienam bandymui buvo apmokymo stadija ir tyrimo stadija. Tyrimas išskirstytas į du tipus:

1. Tyrimas, atliekamas su pastoviai mažinamu kursoriaus dydžiu.
2. Tyrimas, atliekamas su pastoviai didinamu tiriamo objekto dydžiu.

Atlikus tyrimus tiriamieji yra apklausiami, ar jie pajuto dydžių skirtumą ir kuris metodas yra geresnis. Pagal tai buvo nustatoma ar žmogus jaučia objekto dydžio skirtumą ar ne.

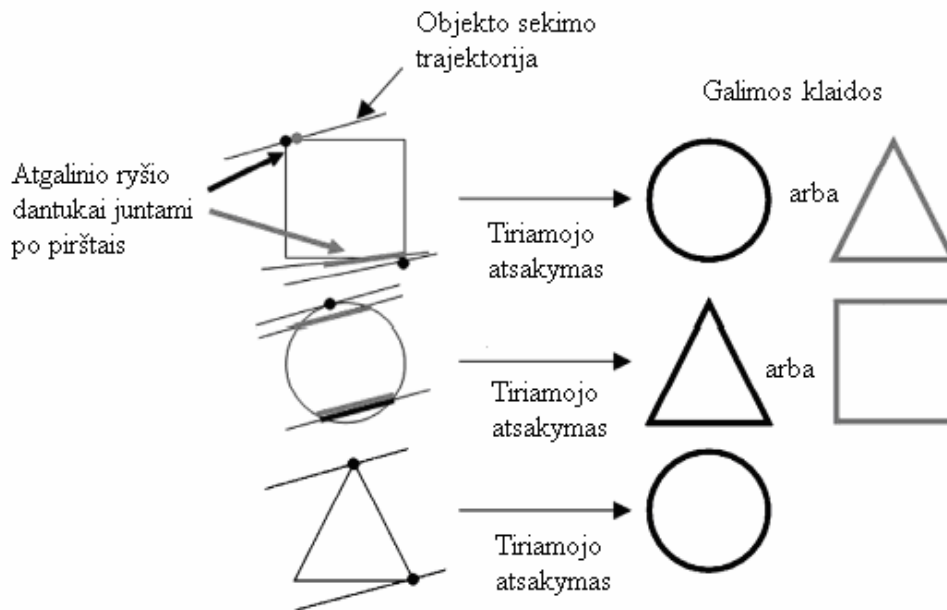


2.2.1 pav. Tyrimo tiriamoji erdvė su grįžtamojo ryšio įrenginiu [19]

Tyrimo taip pat iširta, kokios daromos klaidos, bandant nuspėti, koks objektas tiriamas iš kelių pakeltų taškų. Nustatytos šios pagrindinės daromos klaidos:

1. Vietoj kvadrato tirama figūra įvardijama kaip apskritimas ar trikampis.
2. Vietoj apskritimo tirama figūra įvardijama kaip trikampis ar kvadratas.

3. Vietoj trikampio tiriama figūra įvardijama kaip apskritimas.



2.2.2 pav. Tyrimo metu daromos figūrų atpažinimo klaidos [19]

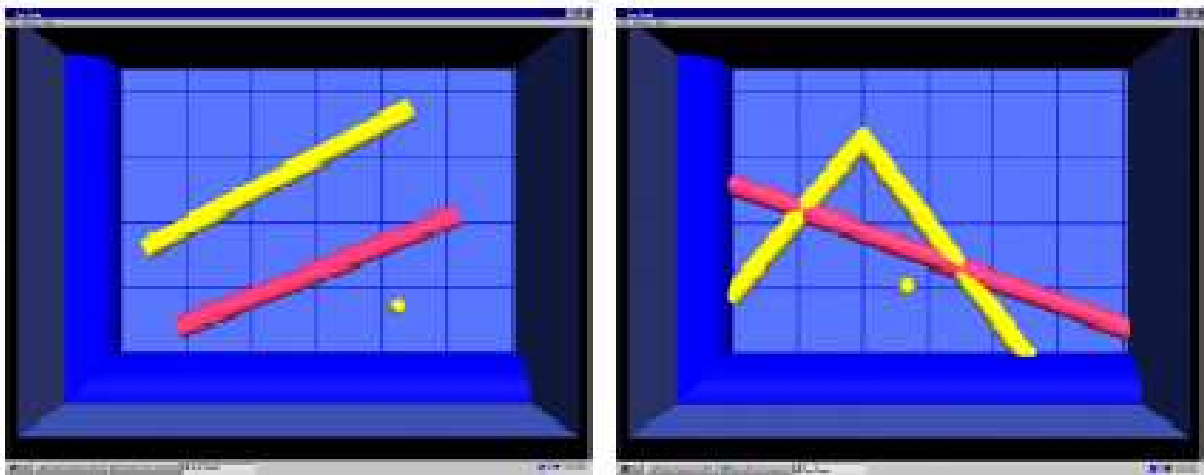
Tyrimo metu nustatyta, kad:

1. Objektų dydis turi didelės įtakos tiriamųjų nuovargiui: kuo objektas mažesnis, tuo labiau tiriamasis pavargsta ir dažniau klysta;
2. Keičiant objektą žingsniu 3 mm, 4 mm, 6 mm ir 12 mm mažiausiai jaučiamas objekto dydžio kitimas, kai objektas kinta nuo 3 mm iki 12 mm [19].

- Dar vienas tyrimas atliktas Glasgow universitete. Tyrimu buvo siekiama nustatyti, kaip tiriamieji reaguoja į grįžtamojo ryšio jėgą, aptikdami ieškomus objektus (linijas 2D ir 3D erdvėse) ir langą dalinantį tinklėlį.

Tyrimo dalyvavo 15 tiriamųjų. Tiriamųjų amžius buvo nuo 20 iki 71 metų. Prieš tyrimą visi tiriamieji buvo apmokyti trim skirtingais būdais. Apmokymui skiriama viena minutė:

1. Tiriama tuščia erdvė.
2. Tiriama erdvė, kurioje yra dvi lygiagrečios linijos.
3. Tiriama erdvė, kurioje yra dvi susikertančios linijos.



2.2.3 pav. Tyrime panaudotos figūros [20]

Tyrimo metu nustatytos pagrindinės problemos:

1. Langą dalinantis tinklelis blaško tiriamuosius ir taip apsunkina pagrindinio objekto paiešką;
2. Pagrindinės tiriamosios linijos yra virš tinklelio ir tai taip pat apsunkina tinklelio linijų skaičiavimą.
3. Gaunami gana netikslūs rezultatai, o tai yra nepriimtina, kai reikalaujama tikslių bandymų duomenų.
4. Tiriamajam sunku tuo pat metu skaičiuoti ir tinklelio linijas, ir lyginti atskirus taškus ant linijų [20].

3. FIGŪRŲ FORMŲ SUVOKIMO TYRIMO METODIKA

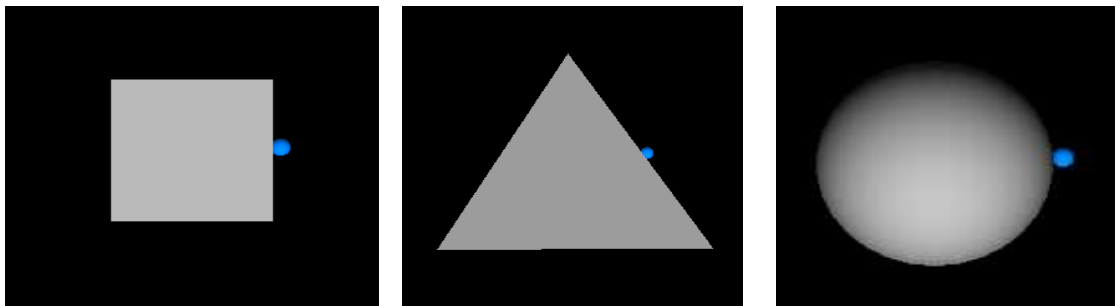
3.1. Tyrimo planas

Tyrimu siekta nustatyti žmogaus gebą atpažinti ir išiminti tiriamą virtualią figūrą ir erdvę. Bandymų metu nustatoma, kaip tiriamosios figūros forma gali lemti figūros išiminimo gebą. Taip pat keičiamas figūros dydis. Tuo būdu siekiama nustatyti, ar figūros dydis turi įtakos žmogaus išivaizduojamos figūros suvokimui ir suvokimo trukmei. Aplinkos suvokimo įvertinimui tiriamą figūrą su nefiksuotu kursoriaus pradiniu tašku.

Bandymams atlikti sumodeliuota testavimo programa, kurios pagrindas sukurtas pasinaudojant kompanijos *Sensable* pateiktais programų pavyzdžiais. Programa parašyta *Microsoft Visual C++* programavimo kalba. Testavimo programa sudaryta iš dviejų segmentų: pateikiamas objektas (kuris yra tiriamas, kartu gražinamas ir atgalinis ryšys) bei fiksuojamos kursoriaus judėjimo koordinatės (panaudojamos įvertinant objekto apvedimo klaidas). Ši programa taip pat naudojama bandymų modeliams paleisti. Modeliuotos programos pavyzdys pateikiamas kompaktiniame diske prisegtame prie darbo.

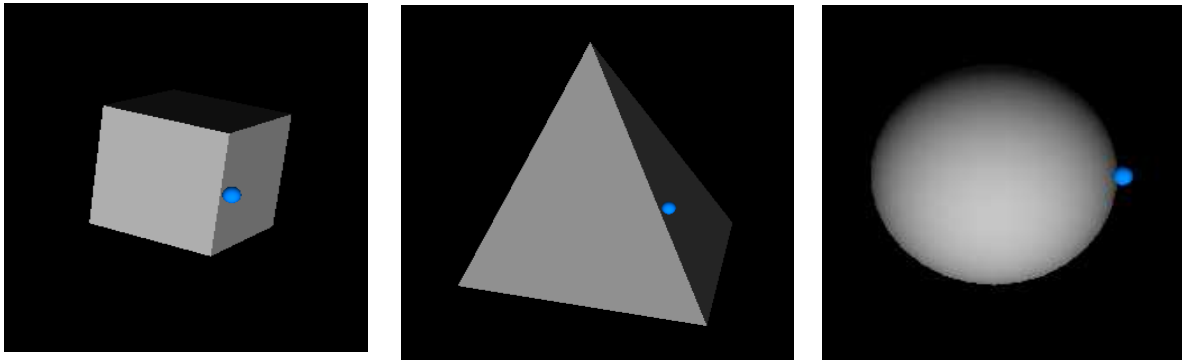
Tyrimo dalyvauja penki jauno amžiaus tiriamieji. Kadangi tiriamieji neturi regos negalios, todėl imituojant neregystę, jiems buvo užrišamos akys. Tyrimo dalyviai parenkami skirtingos lyties, kad bandymų metu būtų galima įvertinti ir moteriškos, ir vyriškos lyties atstovų gautus bandymų rezultatus. Tyrimas yra atliekamas 5 pagrindiniais etapais:

1. Tiriamųjų asmenų atranka.
2. Sudaroma tyrimo metodika.
3. Objektų tyrimas:
 - a) pirminės dviematis figūros: kvadratas, trikampis, apskritimas.



3.1.1 pav. Pirminės dviematis figūros: kvadratas, trikampis, apskritimas

b) antrinės trimatės figūros: kubas, piramidė, rutulys.



3.1.2 pav. Antrinės trimatės figūros: kubas, piramidė, rutulys

Tyrimo eigoje fiksuojami duomenys:

- a) kiekvieno tiriamojo laikinė kontūro atpažinimo trukmė, tiriant dvimates figūras su fiksuotu pradiniu kursoriaus tašku;
 - b) kiekvieno tiriamojo laikinė kontūro atpažinimo trukmė, tiriant trimates figūras su fiksuotu pradiniu kursoriaus tašku;
 - c) kiekvieno tiriamojo laikinė kontūro atpažinimo trukmė, tiriant dvimates figūras su nefiksuotu pradiniu kursoriaus tašku.
4. Atsižvelgiant į gautus rezultatus, nustatomas optimalus figūrų dydis, forma ir išdėstymas tiriamajame lange greitesniam ir tikslesniam figūrų atpažinimui.
 5. Įvertinamas vyrų ir moterų gebėjimas atpažinti virtualią erdvę.

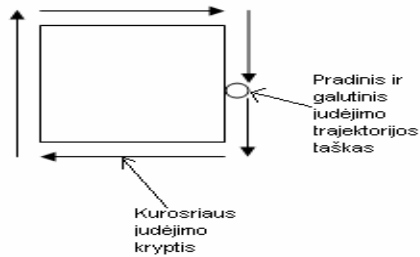
3.2. Tyrimo eiga

Tyrimo bandymų įrangą sudaro stalinis kompiuteris ir grįžtamojo ryšio jėgos prietaisas „Phantom omni“, kuris prie kompiuterio jungiamas per „FireWire“ sąsają.

Tiriamąjį paruošimas darbui: pasirinktas tiriamasis pasodinamas prie stalo, ant kurio padėtas grįžtamojo ryšio prietaisas. Jam užrišamos akys, taip imituojuojant regos negalią turintį asmenį. Tyrėjas prietaiso manipulatoriaus kursorių nustato dešiniajame pirmosios figūros krašte, horizontalėje ties $y = 0$ tašku, taip nustatomas fiksuotas ir pastovus kursoriaus pradžios taškas. Tiriamajam paduodama prietaiso „rašomoji plunksna“ ir pateikiama pirmoji figūra.

Tiriamajam pradėjus vesti kursorių figūros kraštine, pradedama matuoti bandymo trukmė, iki kursorius bus apvestas aplink tiriamą figūrą lygiai vieną kartą. Taip bandymas atliekamas 5 kartus, siekiant atpažinti ir išsiminti figūrą bei jos padėtį lange.

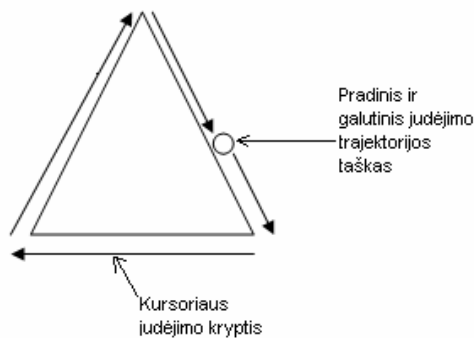
Pradinis taškas ir judėjimo kryptis bandymo metu dvimatėje figūroje su fiksuota kursoriaus pradine padėtimi:



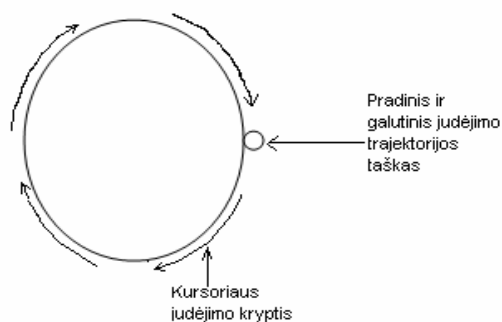
3.2.1 pav. Kursoriaus judėjimo kryptis kvadrato kraštinėmis

Atlikus bandymą su pirmąja pasirinkta figūra, figūra keičiama į kitą. Bandymas pakartojamas iš naujo. Atlikus bandymą su visomis trejomis figūromis, bandymas pakartojamas su visomis figūromis dar kartą, siekiant įvertinti kontūro išiminimo gebą.

Pradinis taškas ir judėjimo kryptis bandymo metu dvimatėje figūroje su fiksuota kursoriaus pradine padėtimi:

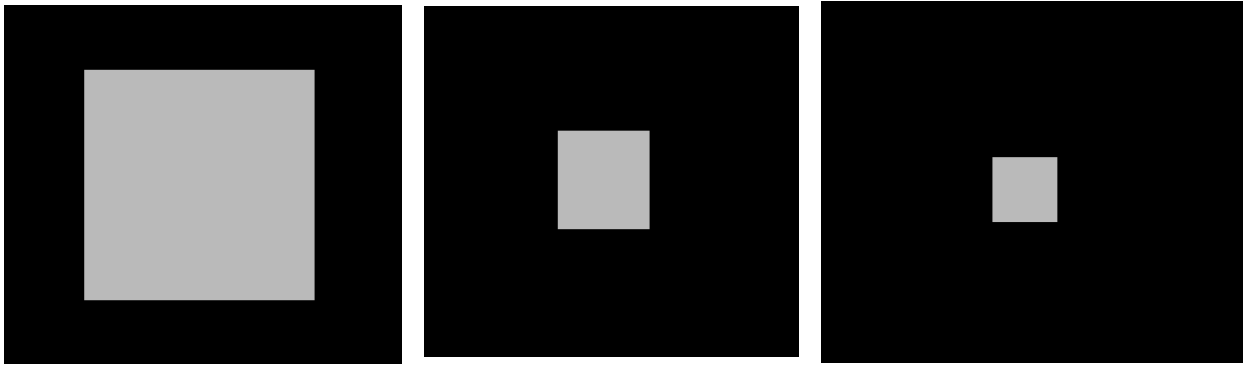


3.2.2 pav. Kursoriaus judėjimo kryptis trikampio kraštinėmis



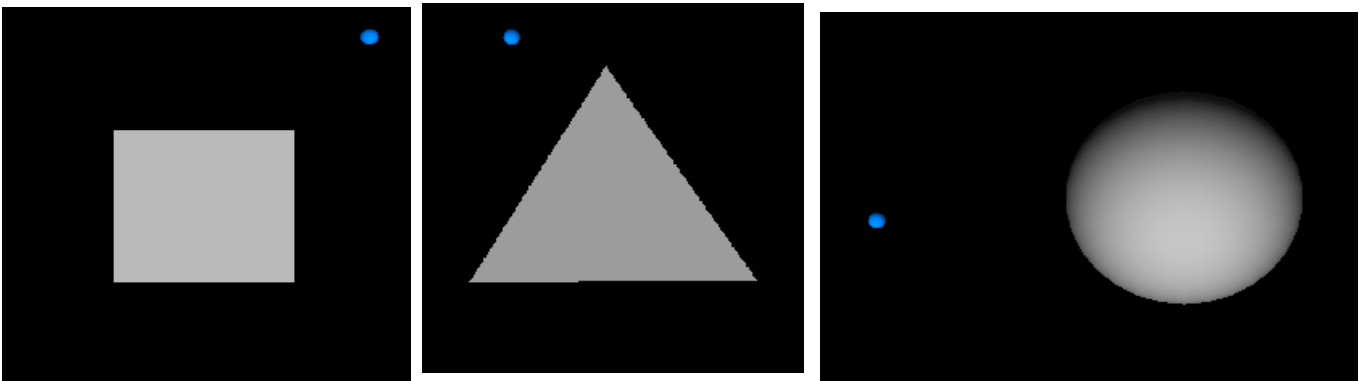
3.2.3 pav. Kursoriaus judėjimo kryptis apskritimo kraštinėmis

Atlikus aprašytus bandymų etapus ir užfiksavus jų rezultatus, yra keičiamas tiriamosios figūros dydis ir bandymai pakartojami iš naujo, kaip jau buvo. Taip dydžiai yra keičiami, kol pasiekiamas minimalus figūros dydis. Tokiu būdu nustatomas optimalus figūros dydis, kuris leidžia greičiau ir tiksliau atpažinti tiriamą figūrą.



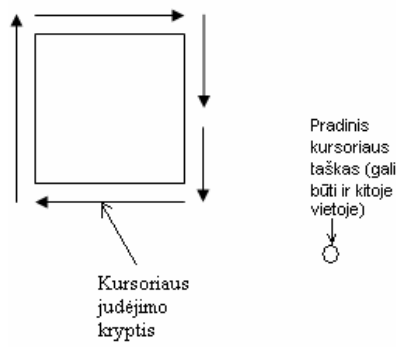
3.2.4 pav. Tyrime naudojamos skirtingo dydžio figūros

Tyrimą tęsiant, pasirenkama pirminė figūra, tačiau manipulatoriaus kursorius nefiksuojamas. Pasirenkamos atsitiktinės kursoriaus pradinio taško koordinatės, nustatant kursoriaus pradinį tašką atsitiktinėje tiriamojo lango vietoje. Taip atliekamas bandymas, kol vėl figūros dydis pasieks minimalų pasirinktą dydį. Šioje tyrimo stadijoje nustatoma, kaip asmuo įsisavino erdvę, kurioje yra atliekami bandymai.

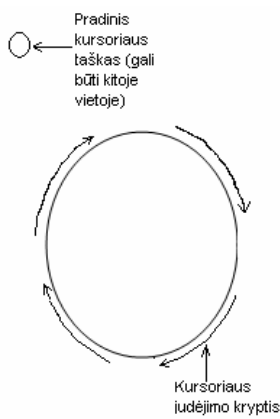


3.2.5 pav. Dvimatės figūros su nefiksuota kursoriaus pradine padėtimi

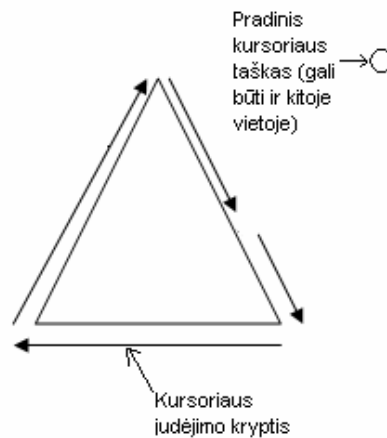
Pradinis taškas ir judėjimo kryptis bandymo metu dvimatėje figūroje su nefiksuota kursoriaus pradine padėtimi:



3.2.6 pav. Kursoriaus, su nefiksuota pradine padėtimi, judėjimo kryptis kvadrato kraštinėmis

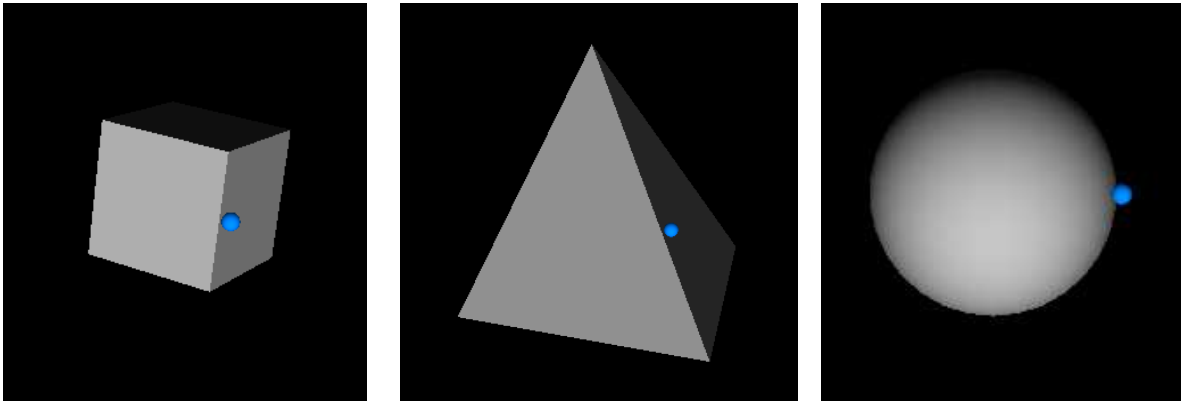


3.2.7 pav. Kursoriaus, su nefiksuota pradine padėtimi, judėjimo kryptis apkritimo kraštinėmis



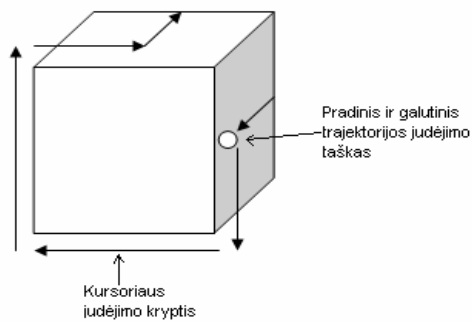
3.2.8 pav. Kursoriaus, su nefiksuota pradine padėtimi, judėjimo kryptis trikampio kraštinėmis

Baigus bandymą su dvimatėmis figūromis, analogiškai bandymai pakartojami ir su trimatėmis figūromis.

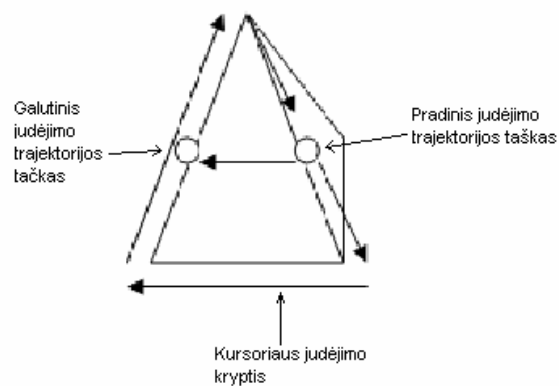


3.2.9 pav. Trimatės figūros su fiksuota kursoriaus pradine padėtimi

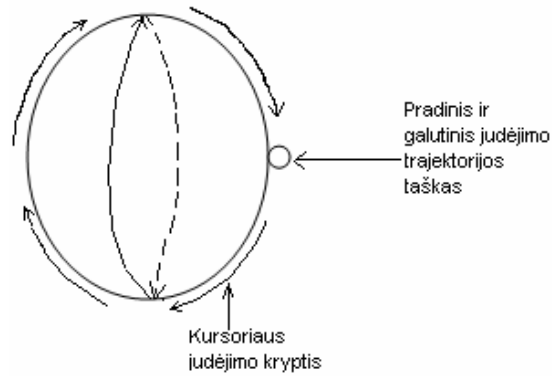
Pradinis taškas ir judėjimo kryptis bandymo metu trimatėje figūroje su fiksuota kursoriaus pradine padėtimi:



3.2.10 pav. Kursoriaus judėjimo kryptis kubo kraštinėmis



3.2.11 pav. Kursoriaus judėjimo kryptis piramidės kraštinėmis



3.2.12 pav. Kursoriaus judėjimo kryptis rutulio kraštinėmis

Pabaigus tyrimą, visų bandymų rezultatai yra išsaugomi ir pateikiami lentelių, grafikų ir paveikslų pavidalu:

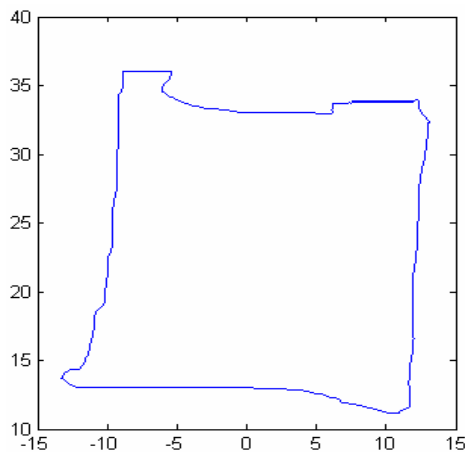
- gautos bandymų trukmės surašomos į bandymų laikinių rezultatų lenteles:

3.2.1 lentelė

Bandymų laikinių rezultatų lentelė

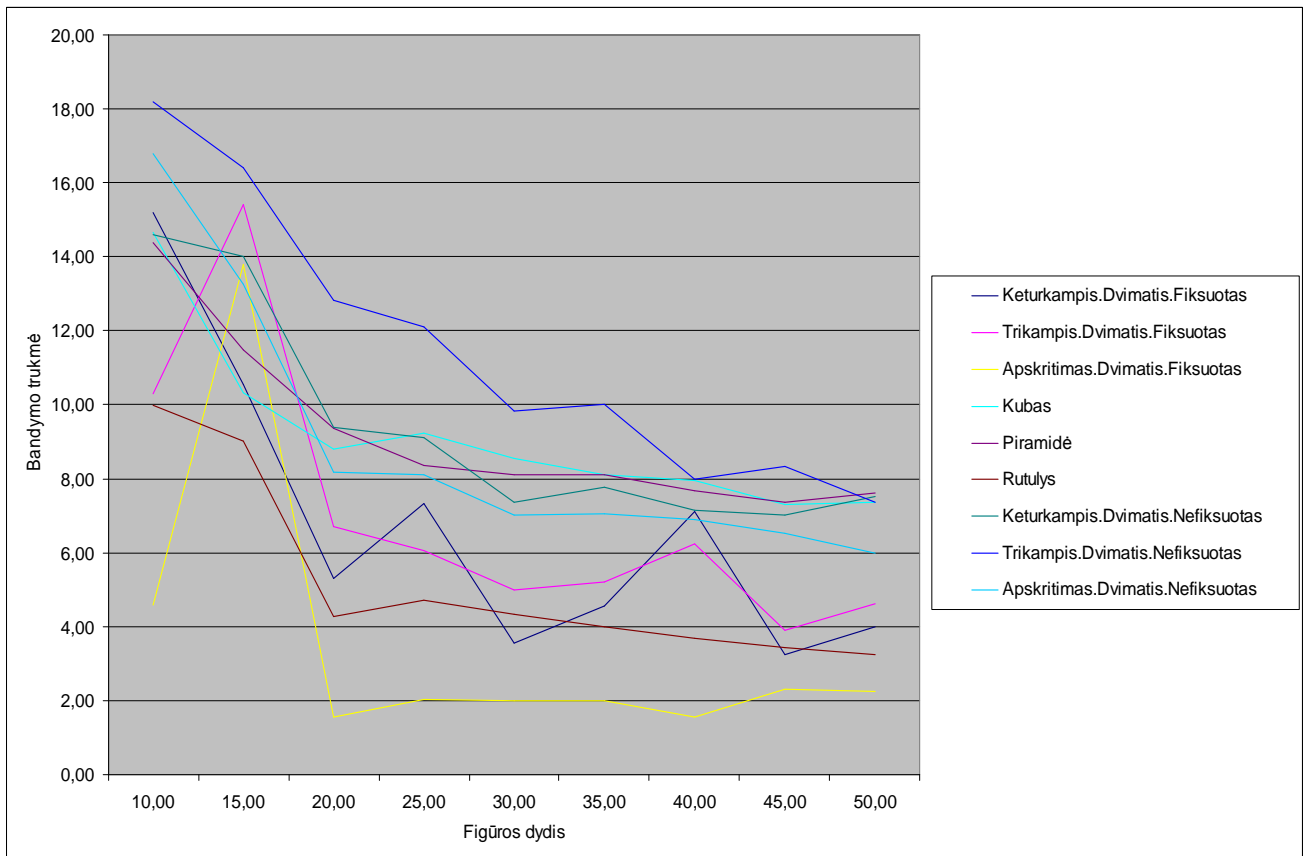
Nr1	Dydis	Keturkampis	Trikampis	Apskritimas
1	50			
2				
3				
4				
5				
Galutinis				
Vidurkis				

- gauti bandymų rezultatai atvaizduojami paveikslų pavidalu:



3.2.13 pav. Kursoriaus apvedimo trajektorija tiriant kvadratą

- gauti bandymų rezultatai atvaizduojami grafikų pavidalu:



3.2.14 pav. Tiriamojo asmens įvairių figūrų tyrimo rezultatai



3.2.15 pav. Tyrimą atliekanti tiriamoji

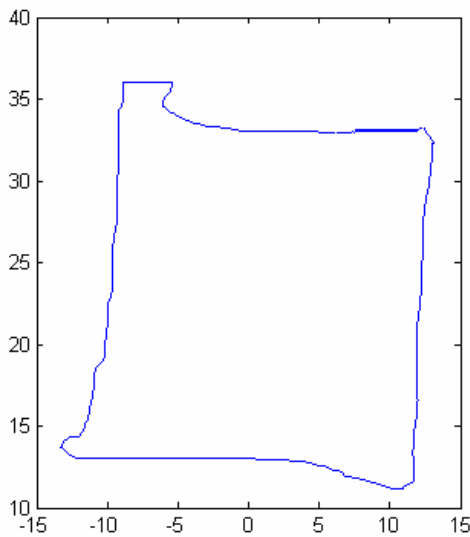
Atsižvelgiant į gautus rezultatus, nustatomas optimalus figūros dydis bei forma geresniam figūrų atpažinimui.

4. FIGŪRŲ FORMŲ SUVOKIMO TYRIMO ANALIZĖ

4.1. Kursoriaus trajektorijos nukrypimai, gauti „apeinant“ tiriamųjų figūrų kraštines

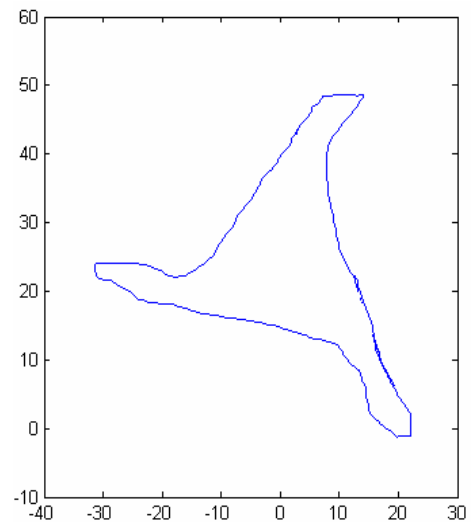
Atliekant figūrų atpažinimą, buvo fiksuojamos kursoriaus judėjimo koordinatės. Duomenys fiksuojami siekiant nustatyti, kokius apvedimo trajektorijos nukrypimus nuo tiriamosios figūros kraštinės asmuo padaro atpažindamas figūras. Kadangi kursoriaus nukrypimai buvo gauti vienodi, nepriklausomai nuo tiriamųjų lyties ir amžiaus, tai pateikiami tik vieno (atsitiktinai pasirinkto) tiriamojo duomenys. Įvertinus tai, kad didžiausi kursoriaus nukrypimai padaromi atpažįstant kampuotą figūrą, todėl kursoriaus nukrypimai tiriant apskritimo kraštines, nenagrinėjami. Įvertinami kvadrato ir trikampio kursoriaus apvedimo trajektorijos nukrypimai tiek su fiksuotu, tiek ir su nefiksuotu pradiniu kursoriaus tašku.

- kursoriaus apvedimo trajektorijos nukrypimai, gauti tiriant figūras su fiksuotu pradiniu kursoriaus tašku:



4.1.1 pav. Kursoriaus trajektorija, lėtai „apeinant“

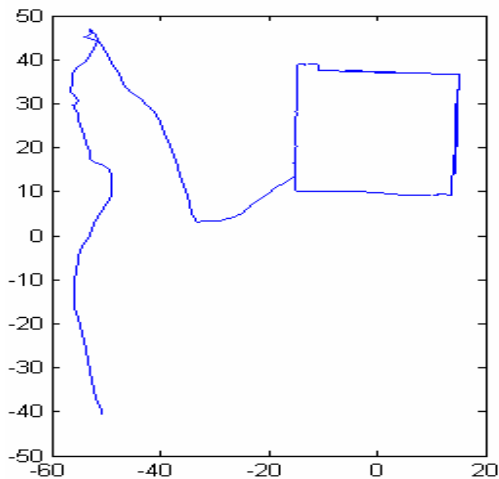
kvadrata



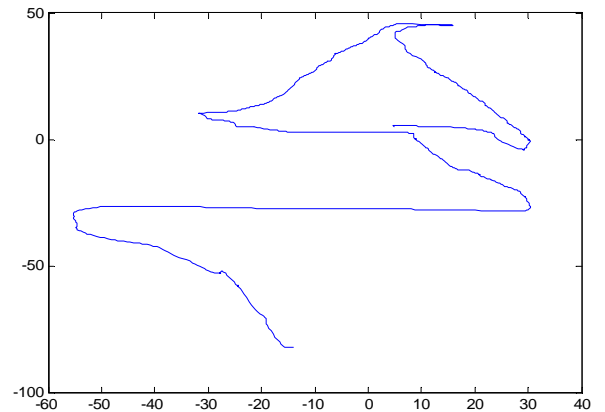
4.1.2 pav. Kursoriaus trajektorija, lėtai „apeinant“

trikampį

- kursoriaus apvedimo trajektorijos nukrypimai, gauti tiriant figūras su nefiksuotu pradiniu kursoriaus tašku:



4.1.3 pav. Kursoriaus trajektorija, lėtai „apeinant“ kvadratą (nefiksuota pradinė kursoriaus padėtis)

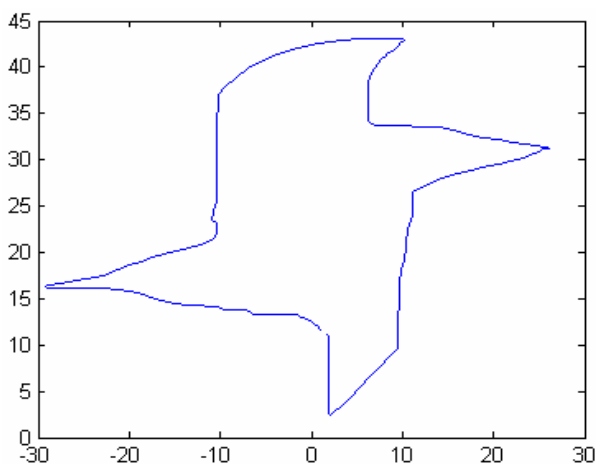


4.1.4 pav. Kursoriaus trajektorija, lėtai „apeinant“ trikampį (nefiksuota pradinė kursoriaus padėtis)

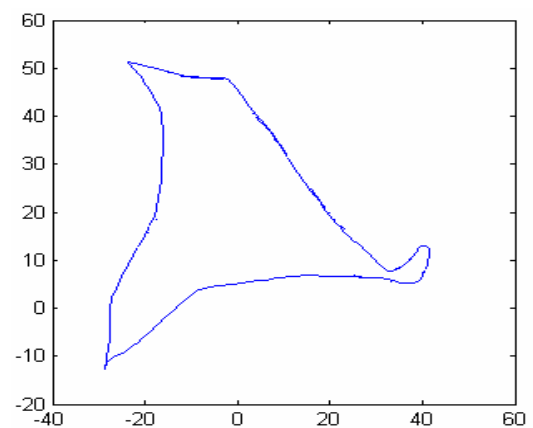
Visi šie rezultatai gauti bandymus atliekant lėtai, taisyklingai sekant figūrų kraštinėmis, nes atliekant bandymus lėtai, gaunami minimalūs kursoriaus nukrypimai nuo figūrų kraštinių. Tai leidžia įvertinti bandymų rezultatus, kuriems nedaro įtakos kursoriaus nukrypimai nuo figūrų kraštinių trajektorijos greitai apvedant figūras. Apvedimo greitis (lėtai ar greitai) nustatomas stebėtojo, kuris vizualiai įvertina figūrų apvedimo metu daromų klaidų dydį.

Siekiant parodyti, kokie rezultatai gaunami bandymus atliekant greitai, užfiksuoti ir „greitų“ bandymų rezultatai:

- kursoriaus apvedimo trajektorijos nukrypimai gauti tiriant figūras su fiksuotu pradiniu kursoriaus tašku:

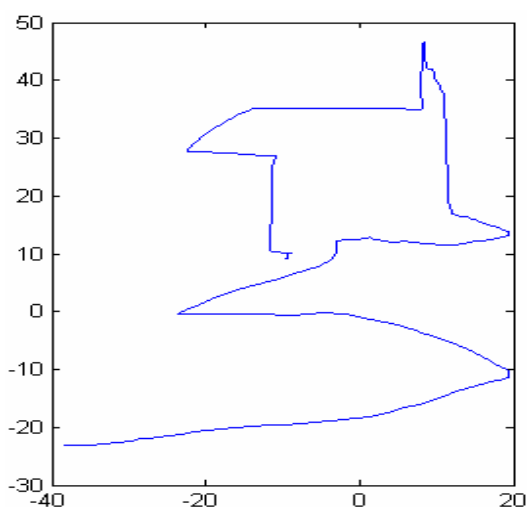


4.1.5 pav. Kursoriaus trajektorija, greitai „apeinant“ kvadratą

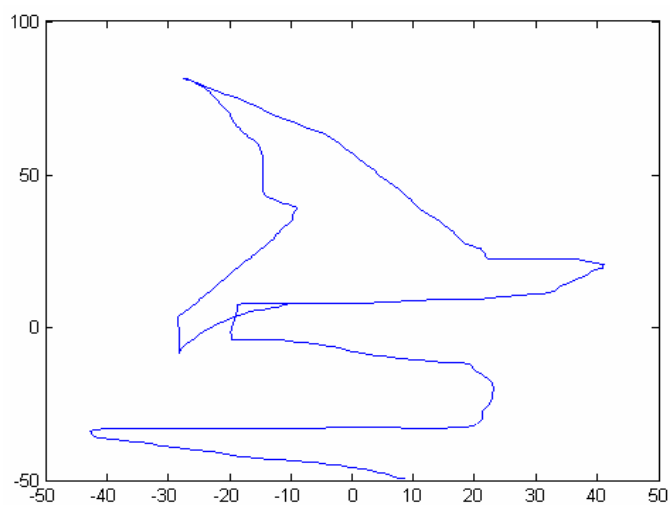


4.1.6 pav. Kursoriaus trajektorija, greitai „apeinant“ trikampį

- kursoriaus apvedimo trajektorijos nukrypimai gauti tiriant figūras su nefiksuotu pradiniu kursoriaus tašku:

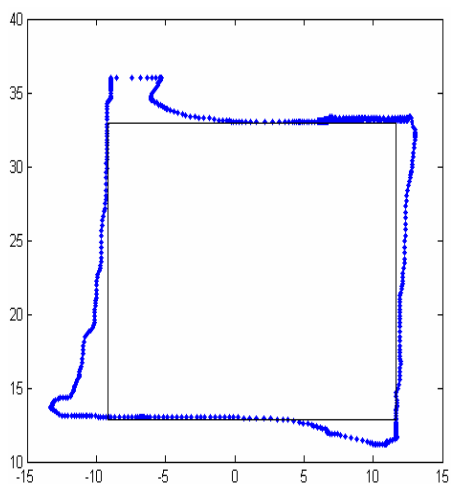


4.1.7 pav. Kursoriaus trajektorija, greitai „apeinant“ kvadratą (nefiksuota pradinė kursoriaus padėtis)

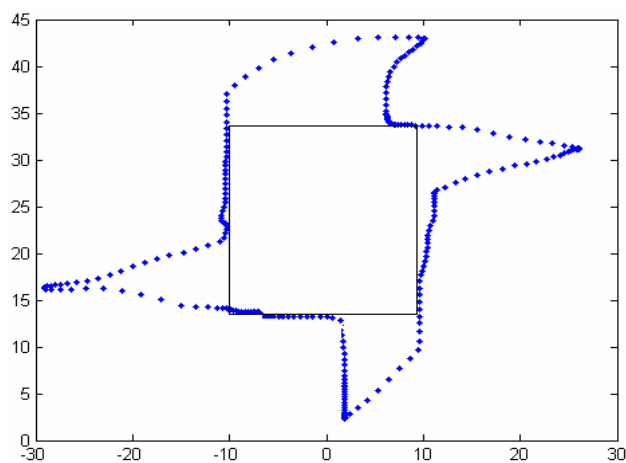


4.1.8 pav. Kursoriaus trajektorija, greitai „apeinant“ trikampį (nefiksuota pradinė kursoriaus padėtis)

Tiriant figūras, tam tikrais laiko momentais, kursoriaus judėjimo greitis kito priklausomai nuo tiriamos figūros ir kursoriaus padėties prie tiriamosios figūros. 4.1.9 pav. ir 4.1.10 pav. atvaizduota kursoriaus trajektorija, „apeinant“ kvadratą greitai ir lėtai (pasirinkta grafinė atvaizdavimo forma).



4.1.9 pav. Kursoriaus trajektorija, lėtai „apeinant“ kvadratą



4.1.10 pav. Kursoriaus trajektorija, greitai „apeinant“ kvadratą

Iš pateiktų paveikslų matome, kad didinant bandymo atlikimo greitį, didėja gautami kursoriaus trajektorijos nukrypimai nuo tiriamų figūrų kraštinių. Dideli trajektorijos nukrypimai gaunami ir greitai pereinant nuo vienos tiriamosios figūros kraštinės prie kitos. Tokio perėjimo metu gaunami dideli ir

greiti sakadų šuoliai, kurie įneša labai dideles laikines paklaidas, nes tiriamajam po šuolio nuo tiriamos figūros kampo reikia vėl susirasti objektą. Gauti kursoriaus nukrypimai atskleidžia tyrimo neobjektyvumą. Dėl šios priežasties visi bandymai buvo atliekami optimaliu greičiu, siekiant išvengti nepageidaujamų kursoriaus paklaidų (kursoriaus apvedimo nukrypimų nuo trajektorijos). 4.1.9 pav. ir 4.1.10 pav. atvaizduota tikroji figūra ir tos figūros kursoriaus apvedimo trajektorija, bei kursoriaus apvedimo kitimo greitis.

4.2. Bandymų rezultatų grafinė analizė

Atlikus bandymus su tiriamaisiais, buvo užfiksuoti bandymų rezultatai. Tiriamųjų amžius yra 24 - 28 metai. Gauti rezultatai su tam tikrų figūrų dydžiais ir figūromis ženkliai skiriasi. Figūros suskirstytos į tris grupes:

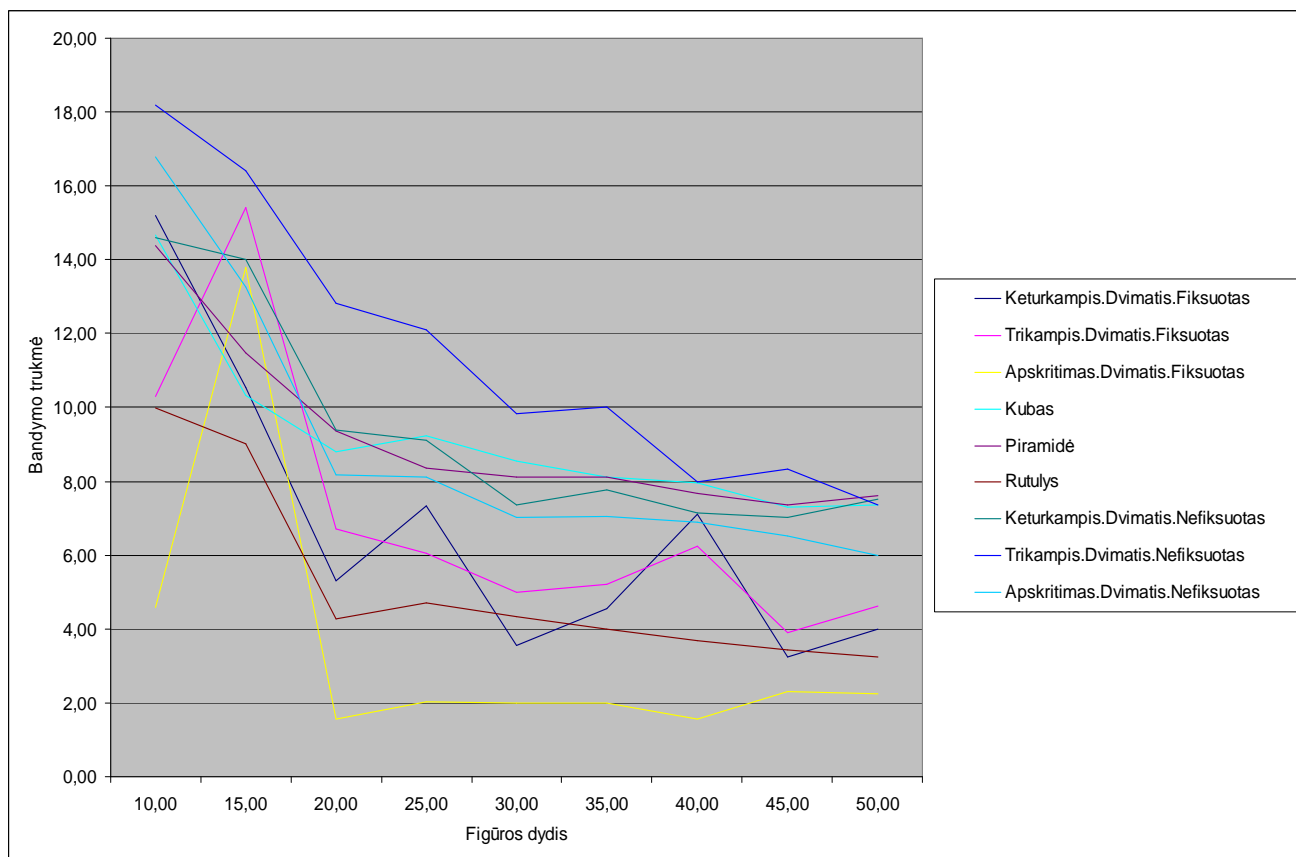
1. Dvimatės figūros, kurių pradinis kursoriaus taškas yra fiksuotas (kursorius nustatomas figūros dešinės kraštinės pusėje per vidurį, tai yra pradžios ir pabaigos taškas).
2. Trimatės figūros, kurių pradinis kursoriaus taškas yra fiksuotas (kursorius nustatomas figūros dešinės kraštinės pusėje per vidurį, tai yra pradžios ir pabaigos taškas).
3. Dvimatės figūros su nefiksuota kursoriaus pradine padėtimi (kursoriaus pradinis taškas parenkamas bet kuriame lango taške).

Atvaizduoti kiekvieno asmens gautiems rezultatams yra pasirinkta grafinė forma. Aiškesniam rezultatų pateikimui, kiekvieno asmens rezultatų grafikas pateikiamas atskirai.

Pirmasis tiriamasis - tai 24 m. mergina, neturinti regėjimo sutrikimų. Tyrimą mergina atliko su užrištomis akimis imituojant neregystę. Su panašiais įrenginiais nėra dirbusi. Prieš tyrimą tiriamoji nebuvo supažindinta su tyrimo figūromis, o figūros parodytos tik pasibaigus tyrimui. 4.2.1 pav. pavaizduoti pirmojo tiriamojo tyrimo laikiniai rezultatai pateikiami 1,2 ir 3 prieduose.

Iš pateikto 4.2.1 pav. galima pastebėti, kad iki 20 figūrų dydžio, daugumos figūrų bandymų laikiniai rezultatai gerėjo (bandymo laikas trumpėjo). Ties 15 dydžiu dvimačio trikampio ir apskritimo bandymų laikai didėjo. Pastaruosius laikinius kilimus lėmė prieš tai tirta kvadrato figūra. Tiriamoji, įsiminusi kvadratą, tolesnių bandymų metu vėl tikisi apvesti kvadratą, rasti keturis kampus. Dėl šios priežasties, beieškant kvadrato, laikinė bandymų trukmė išaugo. Pasamonei įsisavinus, kad su kiekvienu bandymu figūros keisis, imama sekti jau duotos figūros kontūrus, kas pagreitina laikinius rezultatus.

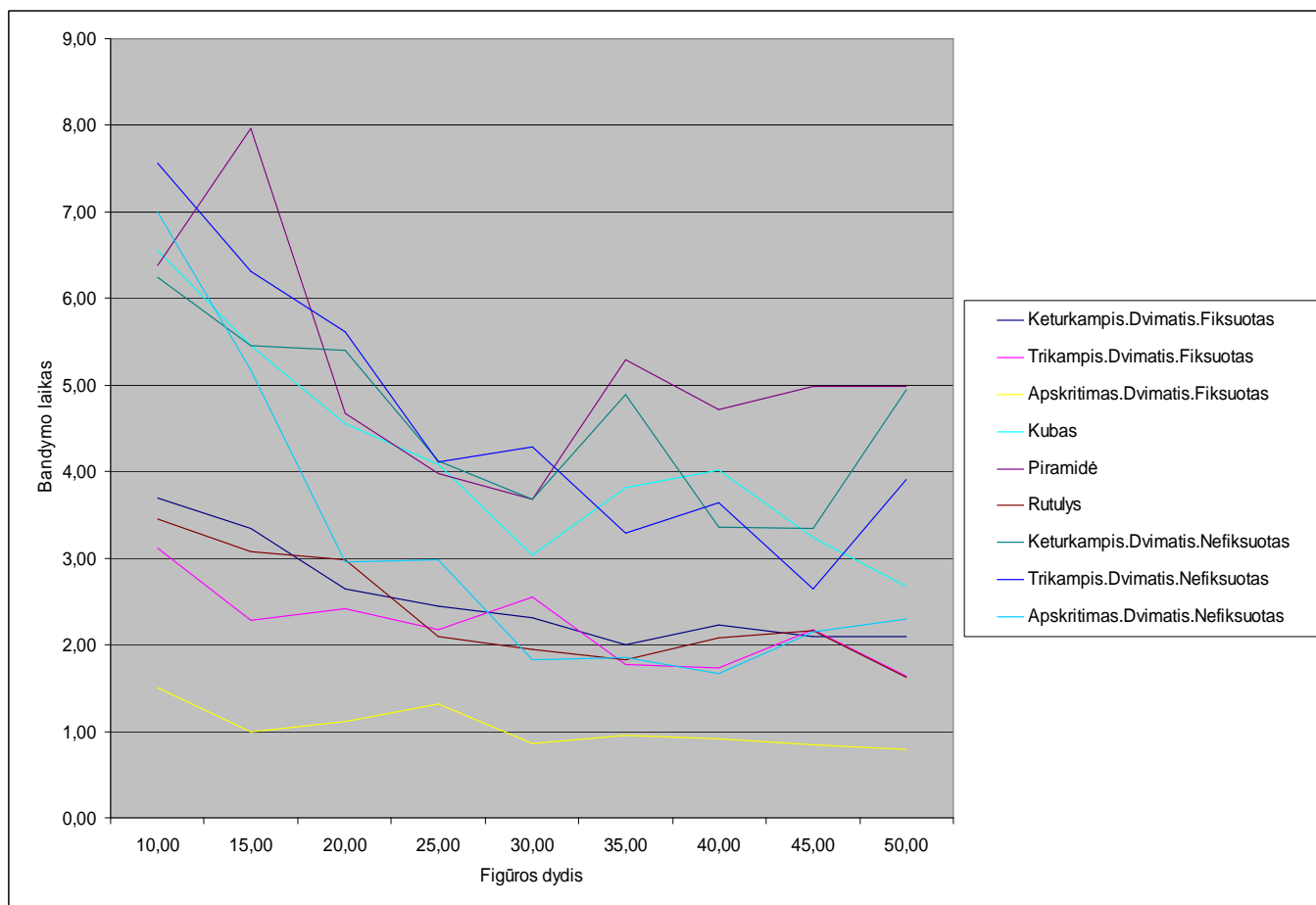
Bandymų rezultatai gerėja mažėjant tiriamom figūrom. Ties 45 – 50 dydžiu, bandymų trukmė nustoja mažėti, kai kurių bandymų trukmė net ima didėti. Tai lemia žmogaus gebėjimas atpažinti ir apvesti mažą figūrą su vedamąją plunksną.



4.2.1 pav. Pirmojo tiriamojo įvairių figūrų tyrimo rezultatai

Iš bandymų su dvimatėmis figūromis, kurių pradinė kursoriaus padėtis nefiksuota, galima pastebėti, kad rezultatai ženkliai skiriasi nuo dvimačių figūrų su fiksuota kursoriaus padėtimi. Taip nutinka todėl, kad figūra yra kažkur erdvėje, tiriamajam nežinomoje vietoje. Bandymo laikas didėja dėl to, kad pirmiausiai yra surandama figūra erdvėje ir tik tuomet yra atliekamas jos atpažinimas. Kartojant tokį bandymą keletą kartų, tiriamasis pradeda įsiminti erdvę, kurioje yra figūra, tad bandymo trukmė mažėja. Didžiausi laikiniai pakitimai gaunami dydžių intervale 10 – 20. Duomenys gaunami tolygesni intervale 30 – 45. Dalis laikinių pakitimų, pasiekus 45 – 50 dydį, pradeda didėti. Mažiausiai tiriamoji užtruks atpažindama dvimatį apskritimą ir rutulį.

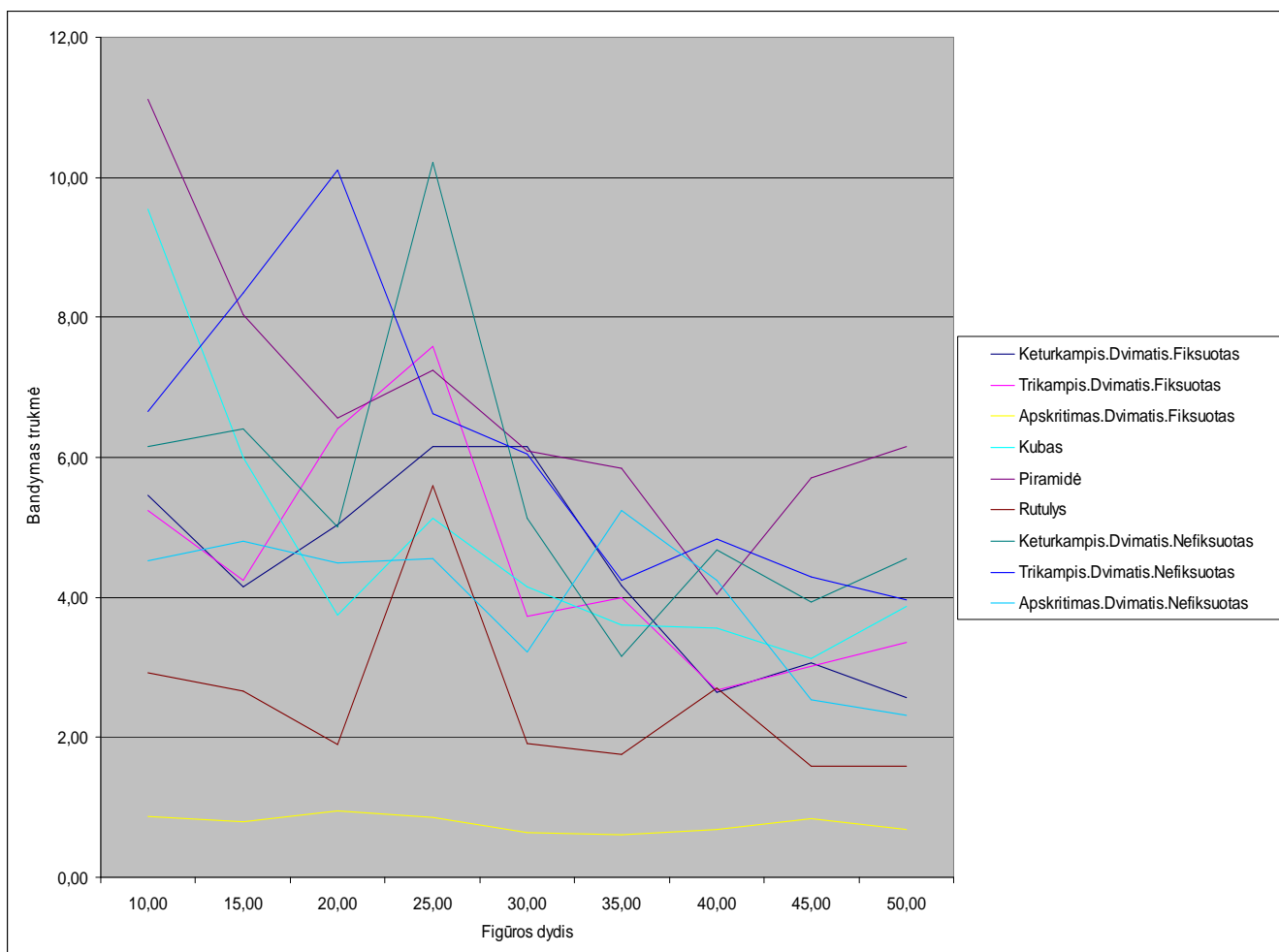
Antras tiriamasis - tai 24 m. vaikas, kuris neturi regėjimo sutrikimų. Tyrimą vaikas atliko užrištomis akimis, imituojuant neregystę. Su panašiais įrenginiais nėra dirbęs. Prieš tyrimą tiriamasis nebuvo supažindintas su tyrimo figūromis, o figūros parodytos tik pasibaigus tyrimui. 4.2.2 pav. pavaizduoti antrojo tiriamojo tyrimo laikiniai rezultatai pateikiami 4,5 ir 6 prieduose.



4.2.2 pav. Antrojo tiriamojo įvairių figūrų tyrimo rezultatai

Iš pateikto grafiko galima pastebėti, kad dauguma tyrimo rezultatų mažėjo, mažėjant tiriamų figūrų dydžiui, tačiau, kaip ir pirmajam tiriamajam, ties 45 – 50 dydžiu bandymų laikinės trukmės pradeda didėti. Bandymų laikai didėja dėl nesugebėjimo apvesti ir atpažinti itin mažų figūrų virtualioje erdvėje. Iš bandymų su dvimatėmis figūromis, kurių pradinė kursoriaus padėtis nefiksuota, galima pastebėti, kad rezultatai ženkliai skiriasi nuo dvimačių figūrų su fiksuota kursoriaus padėtimi. Kartojant tokį bandymą keletą kartų, tiriamasis pradeda įsiminti erdvę, kurioje yra figūra, tad ir bandymo trukmė mažėja. Didžiausi laikiniai pakitimai gaunami dydžių intervale 10 – 20. Duomenys gaunami tolygesni intervale 30 – 45. Dalis bandymų duomenų, pasiekus 45 – 50 dydį, pradeda didėti. Mažiausiai tiriamasis užtruko atpažindamas dvimatį apskritimą.

Trečias tiriamasis - tai 26 m. vaikas, kuris neturi regėjimo sutrikimų. Tyrimas atliktas tomis pačiomis sąlygomis kaip ir su pirmaisiais tiriamaisiais. 4.2.3 pav. pavaizduoti trečiojo tiriamojo tyrimo laikiniai rezultatai pateikiami 7,8 ir 9 prieduose.

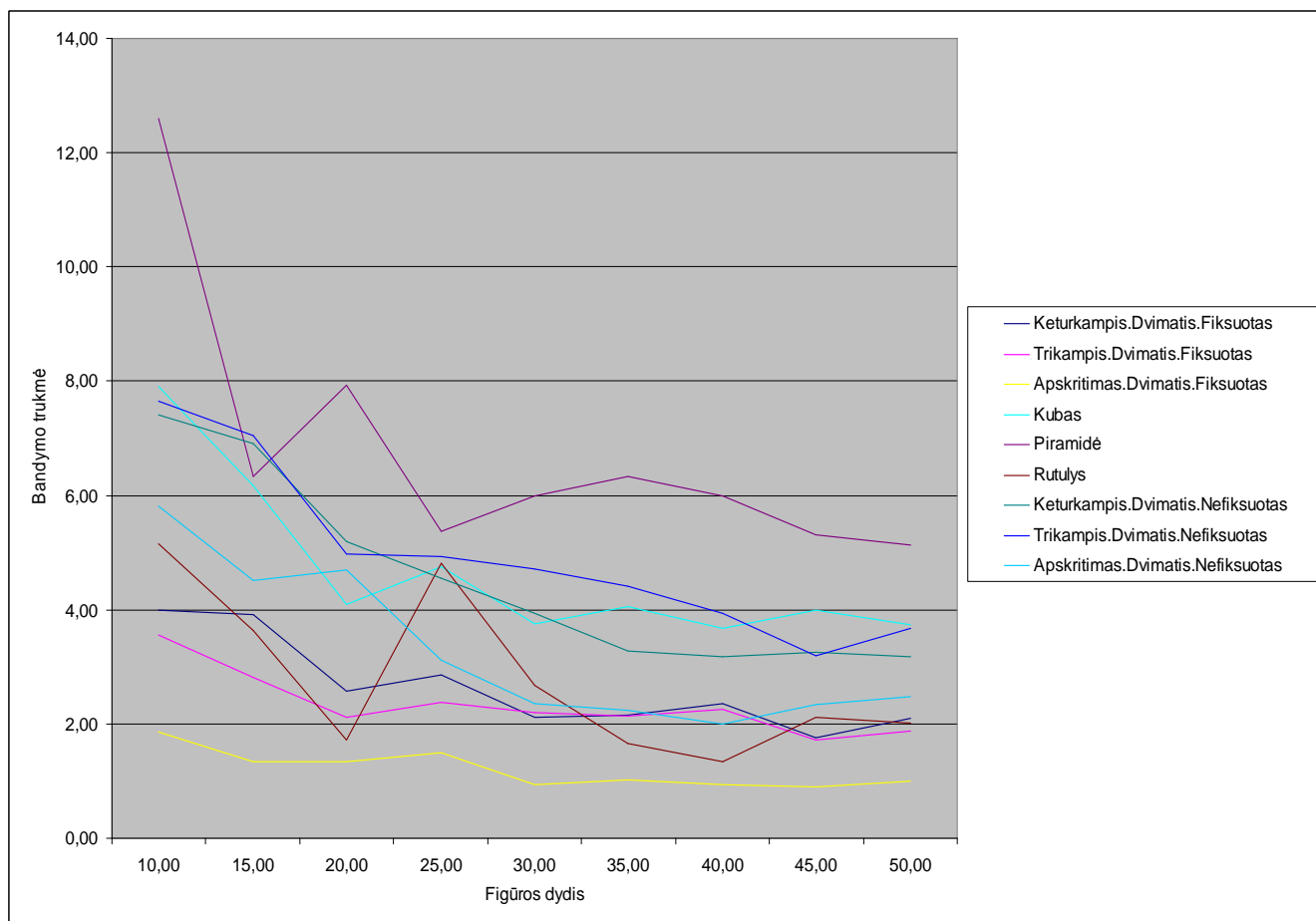


4.2.3 pav. Trečiojo tiriamojo įvairių figūrų tyrimo rezultatai

Iš pateikto bandymų grafiko galima pastebėti, kad gauti bandymų rezultatai nėra tokie pat kaip pirmųjų tiriamųjų. Daugumos bandymų laikiniai rezultatai nėra mažėjantys tolygiai. Iš to galimadaryti prielaidą, kad tiriamasis asmuo sunkiai sugeba išvaizduoti menamą erdvę ir tiriamąsias figūras. Iš grafiko galima pastebėti, kad daugiausiai sugaištama laiko atpažįstant dvimates figūras su nefiksuotais kursoriaus pradiniais taškais.

Didžiausi laikiniai pakitimai gaunami dydžių intervale 10 – 35. Dalis duomenų, pasiekus 35 – 50 dydį, pradeda didėti. Mažiausiai tiriamasis užtruko atpažindamas dvimatį apskritimą. Šis atpažinimas taip pat yra ir su mažiausiais duomenų išsimėtymais.

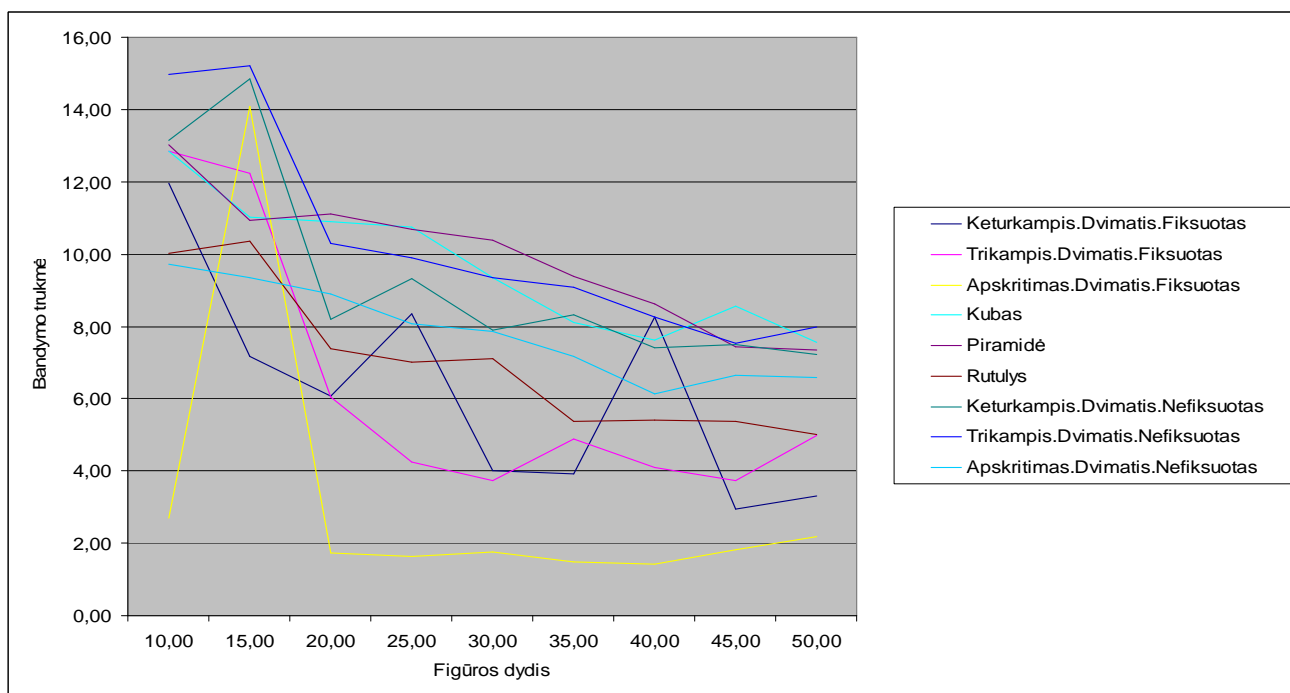
Ketvirtas tiriamasis - tai 28 m. vaikinai, kuris neturi regėjimo sutrikimų. Tyrimas atliktas tomis pačiomis sąlygomis kaip ir su pirmaisiais tiriamaisiais. 4.2.4 pav. pavaizduoti ketvirtojo tiriamojo tyrimo laikiniai rezultatai pateikiami 10,11 ir 12 prieduose.



4.2.4 pav. Ketvirtojo tiriamojo įvairių figūrų tyrimo rezultatai

Iš pateikto grafiko matome, kad mažėjant figūrų dydžiams, bandymų laikiniai rezultatai taip pat mažėja. Visi bandymų laikiniai rezultatai mažėja dėsningai vienodai. Didesni laikiniai iškraipymai gaunami tiriant piramidę ir rutulį. Iš to galima spėti, kad asmuo sunkiai supranta virtualias trimates figūras. Didžiausi laikiniai pakitimai gaunami dydžių intervale 10 – 30. Duomenys gaunami tolygesni intervale 30 – 45. Dalis bandymų duomenų, pasiekus 45 – 50 dydį, pradeda didėti. Mažiausiai tiriamasis užtruko atpažindamas dvimatį apskritimą. Šis atpažinimas taip pat yra ir su mažiausiais rezultatų išsimėtymais.

Penktas tiriamasis - tai 25 m. mergina, kuri neturi regėjimo sutrikimų. Tyrimas atliktas tomis pačiomis sąlygomis kaip ir su pirmaisiais tiriamaisiais. 4.2.5 pav. pavaizduoti penktojo tiriamojo tyrimo laikiniai rezultatai pateikiami 13, 14 ir 15 prieduose.



4.2.5 pav. Penktojo tiriamojo įvairių figūrų tyrimo rezultatai

Iš pateikto 4.2.5 pav. galima pastebėti, kad tolygaus duomenų kitimo nėra. Didžioji dalis bandymo laikinių duomenų yra išsibarstę plačiame laiko diapazone. Iš to galima spręsti, kad tiriamasis asmuo sunkiai sugeba įsivaizduoti virtualią erdvę ir tiriamąsias figūras. Pagal grafiką galima pastebėti, kad daugiausiai sugaižtama atpažįstant dvimates figūras su nefiksuotais kursoriaus pradiniais taškais. Didžiausi laikiniai pakitimai gaunami dydžių intervale 10 – 20. Duomenys gaunami tolygesni intervale 35 – 45. Dalis duomenų, pasiekus 45 – 50 dydį, pradeda didėti. Didžiausi laikiniai netolygumai gauti tiriant dvimatį trikampį su nefiksuotu kursoriaus pradiniu tašku.

Mažiausiai tiriamasis užtruko atpažindamas dvimatį apskritimą. Šis atpažinimas taip pat yra ir su mažiausiais laikų pakitimais dydžių intervale 20 - 50.

4.3. Dviejų faktorių dispersinė analizė

Dispersinė analizė - tai statistinis metodas, naudojamas tyrimų rezultatams, priklausantiems nuo skirtingų vienu metu veikiančių faktorių, apdoroti. Dispersinė analizė padeda nustatyti svarbiausius faktorius ir įvertina jų poveikį tiriamam kintamajam. Galima ištirti kelias dispersinės analizės rūšis: vienfaktorinę, dvifaktorinę, daugiafaktorinę.

Dispersinė analizė, arba F kriterijus, užsienio literatūroje dažniausiai yra žymimas sutrumpintai ANOVA. Šis kriterijus naudojamas hipotezių apie dviejų ar daugiau populiacijų vidurkiams tikrinti.

Kaip ir t kriterijui, taip ir dispersinei analizei išlieka tie patys reikalavimai. Atliekant vienfaktorinę ir dvifaktorinę dispersinę analizę, statistiniame pakete pateikiami šie skaičiavimų rezultatai: kvadratų sumos SS , MS vidurkių kvadratas, kvadratų laisvės laipsniai, dispersijos σ^2 įverčiai, F kriterijus ir jo p reikšmė. Jei p viršija parinktą reikšmingumo lygmenį α , tuomet nulinei hipotezei neprieštarujame, t.y. teigiame, kad „remiantis tyrimų duomenimis, neturima pagrindo teigti, jog faktorius daro patikimą poveikį matuojamam kintamajam“. Jei $p \leq \alpha$, tuomet nulinę hipotezę atmetame.

Atliekant daugiafaktorinę dispersinę analizę, statistiniame pakete pateikiami šie skaičiavimų rezultatai: Wilks lambda, F kriterijus, laisvės laipsniai ir kriterijaus p reikšmė. Wilks lambda – kiekybinis F kriterijaus įvertis, kuris nurodo veiksnio įtakos stiprumą. Wilks lambda reikšmė kinta nuo 0 iki 1, ir kuo reikšmė arčiau 1, tuo stipresnę įtaką daro veiksnys ar jų derinys priklausomiems kintamiesiems. Jei F kriterijaus reikšmė $p \leq \alpha$, tuomet nulinę hipotezę atmetame, t.y. tvirtiname, jog „faktorius ar jų derinys daro patikimą poveikį matuojamiems kintamiesiems“, o faktorių įtakos stiprumą nusako Wilks lambda reikšmė [21,22].

4.4. Bandymų rezultatų dviejų faktorių dispersinė analizė

Visi tiriami duomenys suskirstyti į lenteles pagal tiriamąjį, kurioje yra 9 stulpeliai ir 9 eilutės. Stulpeliuose nurodyta:

1. Dvimatis kvadratas su fiksuota kursoriaus pradine padėtimi.
2. Dvimatis trikampis su fiksuota kursoriaus pradine padėtimi.
3. Dvimatis apskritimas su fiksuota kursoriaus pradine padėtimi.
4. Trimatis kubas su fiksuota kursoriaus pradine padėtimi.
5. Trimatė piramidė su fiksuota kursoriaus pradine padėtimi.
6. Trimatis rutulys su fiksuota kursoriaus pradine padėtimi.
7. Dvimatis kvadratas su nefiksuota kursoriaus pradine padėtimi.
8. Dvimatis trikampis su nefiksuota kursoriaus pradine padėtimi.
9. Dvimatis apskritimas su nefiksuota kursoriaus pradine padėtimi.

Eilutės išskirstytos pagal dydžius nuo 1 – 9. 9 eilutė tai 50 figūros dydis.

Sutrumpinimai:

- SS - kvadratų suma;

- Df – laisvės laipsnis;
- MS – vidurkių kvadratas;
- F – Fišerio kriterijus;
- 1 tiriamasis:

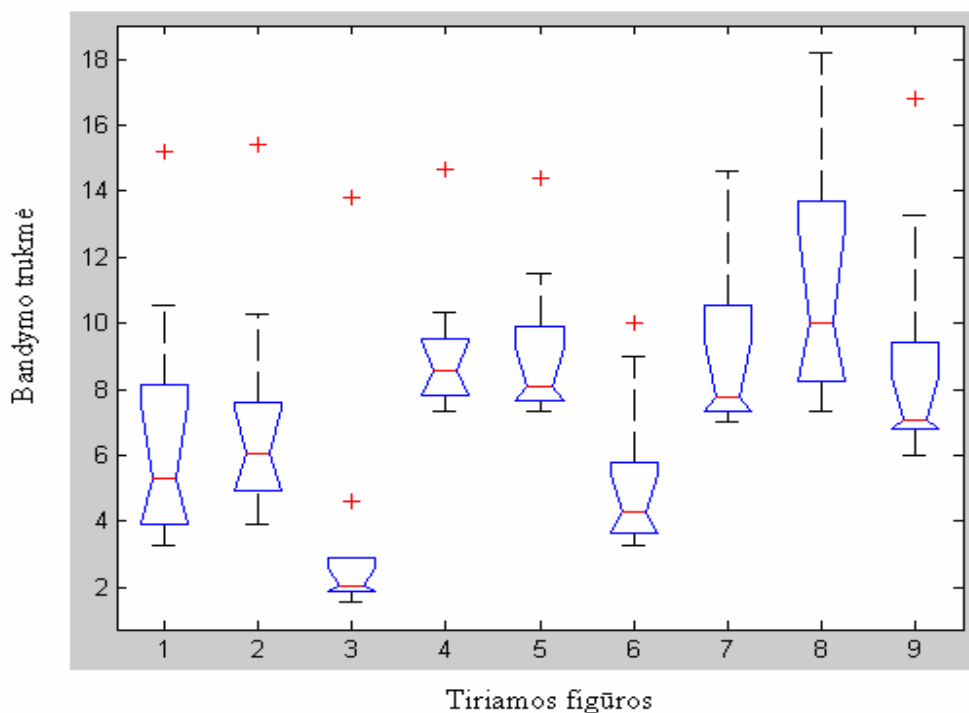
4.4.1 lentelė

Pirmojo tiriamojo įvairių figūrų sekimo dviejų faktorių dispersinė analizės lentelė

	SS	DF	MS	F
Stulpeliai	421,89	8	52,7365	23,68
Eilutės	638,22	8	79,7769	35,82
Klaidos	142,53	64	2,227	
Bendras	1202,64	80		

Iš 4.4.1 lentelės galima pastebėti, kad ištyrus duomenis, panaudojant Fišerio kriterijų, panašumų tarp duomenų eilučių ir stulpelių nėra. F eilučių 35.82, F stulpelių 23.68. Panašumas nustatomas, kai $F \approx 1$.

4.4.1 pav. pavaizduota bandymų rezultatų grafinė išraiška. Atkreipus dėmesį į pateiktą paveikslą, galima pastebėti, kad didžioji dalis tirtų figūrų turi plačiame laiko intervale išsimėčiusius pirminius laikinius duomenis. 4.4.1 pav. pavaizduoti gauti pirmojo tiriamojo tyrimo laikiniai rezultatai pateikiami 16 priede.



4.4.1 pav. Pirmojo tiriamojo įvairių figūrų sekimo dispersinės analizės grafikas

Figūra 1: pakankamai didelis skirtumas tarp maksimalios laikinės reikšmės ir kitos didžiausios reikšmės. Tai lemia figūros nežinojimas pirmajame bandyme. Kadangi su kiekvienu bandymu, figūra įsiminama, laikinių rezultatų išsimėtymas mažėja. Atstumas tarp medianos (5,30) ir 0,25 kvantilio yra gerokai trumpesnis nei atstumas tarp medianos ir 0,75 kvantilio. Tai rodo, kad rezultatai tarp maksimalios bandymų laikinės reikšmės ir medianos yra labiau išsimėtę nei tarp medianos ir minimalios reikšmės. Bandymų rezultatai tampa tolygesni kartojant bandymą.

Figūra 2: pakankamai didelis skirtumas tarp maksimalios laikinės reikšmės ir kitos didžiausios reikšmės. Taip pat didelis skirtumas tarp 0,75 kvantilio ir kitos didžiausios reikšmės. Tam daro įtaką figūros nežinojimas pirmajame bandyme. Kadangi su kiekvienu bandymu figūra įsiminama, laikinių rezultatų išsimėtymas mažėja. Atstumas tarp medianos (6,05) ir 0,25 kvantilio labai panašus į atstumą tarp medianos ir 0,75 kvantilio. Tai parodo, jog bendras bandymų rezultatų išsimėtymas yra tolygus.

Figūra 3: pakankamai didelis skirtumas, tarp maksimalios laikinės reikšmės ir sekančios didžiausios reikšmės, tuo pačiu didelis skirtumas tarp didžiausios reikšmės, ir kito didelio duomens. Tai parodo, kad žmogus sunkiai suvokė figūrą net ir pakartojus bandymą kelis kartus, kas lėmė dideles laiko paklaidas. Taip yra todėl, kad pakeitus figūrą iš kampuotos į apvalią, žmogus tebeieško figūros kampų, todėl sugaištama daug laiko. Toliau kartojant bandymą žmogus įsimena figūrą, todėl duomenys tampa tolygesni. Atstumas tarp medianos (2,02) ir 0,25 kvantilio yra daug mažesnis, nei atstumas tarp medianos ir 0,75 kvantilio. Tai parodo, kad duomenys esantys žemiau medianos yra panašūs.

Figūra 4: pakankamai didelis skirtumas tarp maksimalios laikinės reikšmės ir kitos didžiausios reikšmės. Tai lemia figūros nežinojimas pirmajame bandyme. Kadangi su kiekvienu bandymu, figūra įsiminama, laikinių rezultatų išsimėtymas mažėja. Atstumas tarp medianos (8,56) ir 0,25 kvantilio labai panašus į atstumą tarp medianos ir 0,75 kvantilio, kas parodo, jog bendras bandymų rezultatų išsimėtymas yra tolygus.

Figūra 5: nėra didelio skirtumo tarp maksimalios laikinės reikšmės ir kitos didžiausios reikšmės. Tai rodo, kad asmuo, tiriant figūrą pirmąjį kartą, greičiau atpažino figūrą nei prieš tai buvusias figūras. Atstumas tarp medianos (8,10) ir 0,25 kvantilio yra gerokai trumpesnis nei atstumas tarp medianos ir 0,75 kvantilio. Iš to darome prielaidą, kad duomenys, esantys virš medianos, yra labiau išsibarstę, nei duomenys esantys prie mažesnių laikinių reikšmių.

Figūra 6: skirtumas tarp maksimalios laikinės reikšmės ir kitos didžiausios reikšmės yra labai mažas. Tai rodo, kad asmuo figūrą atpažino labai greitai. Atstumas tarp medianos (4,29) ir 0,25 kvantilio yra gerokai trumpesnis nei atstumas tarp medianos ir 0,75 kvantilio. Iš to sprendžiame, kad duomenys, esantys virš medianos, yra labiau išsibarstę nei duomenys, esantys prie mažesnių laikinių reikšmių. Atstumas tarp kvantilio 0,75 ir didžiausios reikšmės yra labai didelis. Tai parodo, kad asmuo,

nors ir greit atpažino figūrą, tačiau pirmuosiuose bandymuose su šia figūra užtruko daug daugiau laiko. Tiriamajam daugiau laiko prireikė suvokti, kas tai per figūra.

Figūra 7: atstumas tarp medianos (7,76) ir 0,25 kvantilio yra gerokai trumpesnis nei atstumas tarp medianos ir 0,75 kvantilio. Iš to sprendžiame, kad duomenys, esantys virš medianos, yra labiau išsibarstę nei duomenys, esantys prie mažesnių laikinių reikšmių. Atstumas tarp kvantilio 0,75 ir didžiausios reikšmės yra labai didelis. Tai parodo, kad asmuo, nors ir greit atpažino figūrą, tačiau pirmuosiuose bandymuose su šia figūra užtruko daug daugiau laiko.

Figūra 8: atstumas tarp medianos (10,02) ir 0,25 kvantilio yra daug trumpesnis nei atstumas tarp medianos ir 0,75 kvantilio. Iš to sprendžiame, kad duomenys, esantys virš medianos, yra labiau išsibarstę nei duomenys, esantys prie mažesnių laikinių reikšmių. Atstumas tarp kvantilio 0,75 ir didžiausios reikšmės yra labai didelis. Tai parodo, kad asmuo, nors ir greit atpažino figūrą, tačiau pirmuosiuose bandymuose su šia figūra užtruko daug daugiau laiko.

Figūra 9: skirtumas tarp maksimalios laikinės reikšmės ir kitos didžiausios reikšmės yra nedidelis. Tai rodo, kad asmuo figūrą atpažino labai greitai. Atstumas tarp medianos (7,05) ir 0,25 kvantilio yra gerokai trumpesnis nei atstumas tarp medianos ir 0,75 kvantilio. Iš to sprendžiame, kad duomenys, esantys virš medianos, yra labiau išsibarstę nei duomenys, esantys prie mažesnių laikinių reikšmių. Atstumas tarp kvantilio 0,75 ir didžiausios reikšmės yra labai didelis. Tai parodo, kad asmuo, nors ir greit atpažino figūrą, tačiau pirmuosiuose bandymuose su šia figūra užtruko daug daugiau laiko.

- 2 tiriamasis:

4.4.2 lentelė

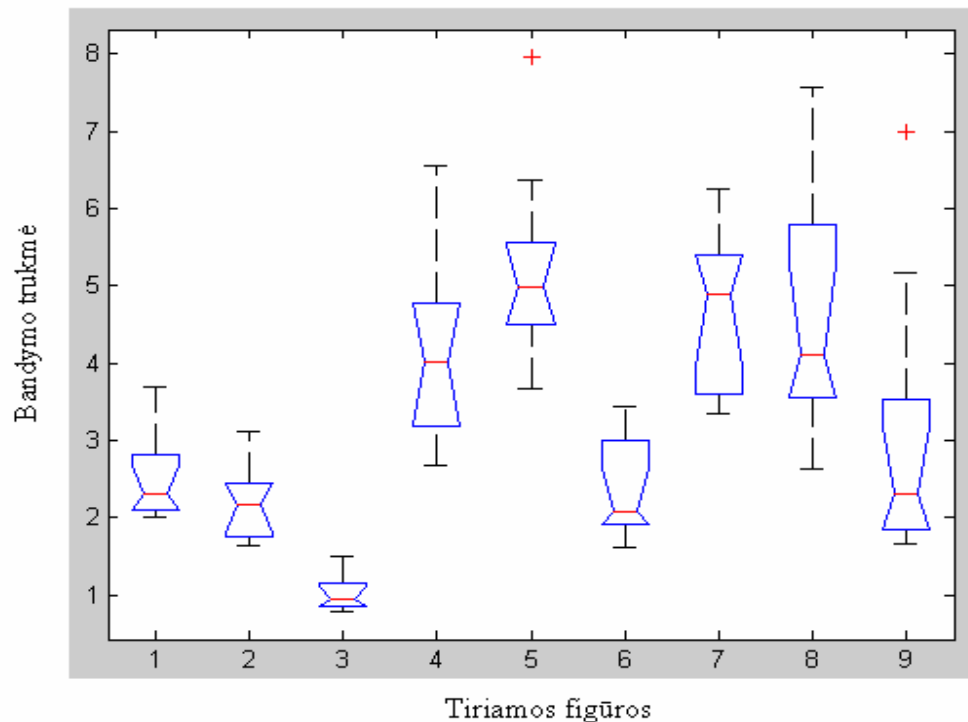
Antrojo tiriamojo įvairių figūrų sekimo dviejų faktorių dispersinė analizės lentelė

	SS	DF	MS	F
Stulpeliai	139,48	8	17,435	34,35
Eilutės	56,043	8	7,0054	13,8
Klaidos	32,482	64	0,5075	
Bendras	228,005	80		

Iš 4.4.2 lentelės matyti, kad ištyrus duomenis, panaudojant Fišerio kriterijų, panašumų tarp duomenų eilučių ir stulpelių nėra. F eilučių 13,8, F stulpelių 34,35. Rastas nedidelis panašumas tarp eilučių. Panašumas nustatomas, kai $F \approx 1$.

4.4.2 pav. pavaizduota bandymų rezultatų grafinė išraiška. Atkreipus dėmesį į pateiktą paveikslą, galima pastebėti, kad didžioji dalis tirtų figūrų neturi plačiame laiko intervale išsimėčiusių pirminių

laikinių duomenų. 4.4.2 pav. pavaizduoti gauti antrojo tiriamojo tyrimo laikiniai rezultatai pateikiami 17 priede.



4.4.2 pav. Antrojo tiriamojo įvairių figūrų sekimo dispersinės analizės grafikas

Figūra 1: nėra skirtumo tarp maksimalios laikinės reikšmės ir kitos didžiausios reikšmės. Tai rodo, kad tiriamasis puikiai suprato, kokia tai figūra. Tą atskleidžia ir tolygus duomenų kitimas be didesnių laikinių išsimėtymų. Atstumas tarp medianos (2,31) ir 0,25 kvantilio yra trumpesnis nei atstumas tarp medianos ir 0,75 kvantilio. Iš to darome prielaidą, kad duomenys, esantys virš medianos, yra labiau išsibarstę nei duomenys, esantys prie mažesnių laikinių reikšmių.

Figūra 2: nėra skirtumo tarp maksimalios laikinės reikšmės ir kitos didžiausios reikšmės. Tai rodo, kad tiriamasis puikiai suprato, kokia tai figūra. Atstumas tarp medianos (2,17) ir 0,25 kvantilio yra didesnis nei atstumas tarp medianos ir 0,75 kvantilio. Tai leidžia manyti, kad pirmieji bandymų rezultatai yra tolygesni ir mažiau išsibarstę nei duomenys, esantys žemiau medianos. Tiriamasis ilgiau bandė išiminti figūros kontūrus, juos apveddamas tolygiai. Išiminius kontūrą, tiriamojo rezultatai akivaizdžiai gerėjo. Tai ir lėmė tokių laikinių duomenų skirtumus.

Figūra 3: nėra skirtumo tarp maksimalios laikinės reikšmės ir kitos didžiausios reikšmės. Tai rodo, kad tiriamasis suprato, kokia tai figūra. Tolygus duomenų kitimas yra be didesnių laikinių nukrypimų. Atstumas tarp medianos (0,95) ir 0,25 kvantilio yra daug mažesnis nei atstumas tarp

medianos ir 0,75 kvantilio. Tai parodo, kad duomenys, esantys žemiau medianos, yra panašūs, be didesnių skirtumų.

Figūra 4: taip pat nėra skirtumo tarp maksimalios laikinės reikšmės ir kitos didžiausios reikšmės. Tai rodo, kad tiriamasis, gerai suprato, kokia tai figūra. Atstumas tarp medianos (4,02) ir 0,25 kvantilio labai panašus į atstumą tarp medianos ir 0,75 kvantilio, kas parodo, jog bendras bandymų rezultatų skirtumas yra tolygus. Atstumas tarp kvantilio 0,75 ir didžiausios reikšmės yra labai didelis. Tai parodo, kad asmuo nors ir greit atpažino figūrą, tačiau pirmuosiuose bandymuose su šia figūra užtruko daug daugiau laiko.

Figūra 5: pakankamai didelis skirtumas tarp maksimalios laikinės reikšmės ir kitos didžiausios reikšmės. Tai daro įtaką figūros nežinojimas pirmajame bandyme. Kadangi su kiekvienu bandymu figūra išimama, laikinių rezultatų nukrypimai mažėja. Atstumas tarp medianos (4,99) ir 0,25 kvantilio labai panašus į atstumą tarp medianos ir 0,75 kvantilio, kas parodo, jog bendras bandymų rezultatų išsimėtymas yra tolygus. Atstumas tarp mažiausios reikšmės ir 0,25 kvantilio yra didelis. Tai parodo, kad asmuo paskutiniajame bandyme smarkiai pagerino figūros atpažinimo laiką. Tiriamasis puikiai išiminė figūrą.

Figūra 6: nėra skirtumo tarp maksimalios laikinės reikšmės ir kitos didžiausios reikšmės. Tai rodo, kad tiriamasis atpažino figūrą. Atstumas tarp medianos (2,09) ir 0,25 kvantilio yra trumpesnis nei atstumas tarp medianos ir 0,75 kvantilio. Iš to sprendžiame, kad duomenys, esantys virš medianos, yra labiau išsibarstę nei duomenys, esantys prie mažesnių laikinių reikšmių.

Figūra 7: nėra skirtumo tarp maksimalios laikinės reikšmės ir kitos didžiausios reikšmės. Tai rodo, kad tiriamasis taip pat atpažino tiriamą figūrą. Atstumas tarp medianos (4,89) ir 0,25 kvantilio yra daug didesnis nei atstumas tarp medianos ir 0,75 kvantilio. Tai parodo, kad pirmieji bandymų rezultatai yra tolygesni ir mažiau išsibarstę nei duomenys, esantys žemiau medianos. Tai parodo, kad tiriamasis ilgiau bandė išiminti figūros kontūrus juos apvedamas tolygiai. Išiminius kontūrą, tiriamojo rezultatai smarkiai gerėjo. Tai ir lėmė tokį laikinių duomenų skirtumą.

Figūra 8: nėra skirtumo tarp maksimalios laikinės reikšmės ir kitos didžiausios reikšmės. Tai rodo, kad tiriamasis suprato, kokia tai figūra. Tą parodo ir tolygus duomenų kitimas, be didesnių laikinių išsimėtymų. Atstumas tarp medianos (4,11) ir 0,25 kvantilio yra trumpesnis nei atstumas tarp medianos ir 0,75 kvantilio. Galima teigti, kad duomenys, esantys virš medianos, yra labiau laiko atžvilgiu skirtingi, nei duomenys, esantys prie mažesnių laikinių reikšmių. Atstumas tarp kvantilio 0,75 ir didžiausios reikšmės yra labai didelis. Tai parodo, kad asmuo, nors ir greit atpažino figūrą, tačiau pirmuosiuose bandymuose su šia figūra užtruko daug daugiau laiko.

Figūra 9: pakankamai didelis skirtumas tarp maksimalios laikinės reikšmės ir kitos didžiausios reikšmės. Tai lemia figūros nežinojimas pirmajame bandyme. Kadangi su kiekvienu bandymu figūra įsiminama, laikinių rezultatų nuokrypis mažėja. Atstumas tarp medianos (2,3) ir 0,25 kvantilio yra trumpesnis nei atstumas tarp medianos, ir 0,75 kvantilio. Iš to sprendžiame, kad duomenys esantys virš medianos yra labiau išsibarstę, nei duomenys esantys prie mažesnių laikinių reikšmių. Atstumas tarp kvantilio 0,75 ir didžiausios reikšmės yra labai didelis. Tai parodo, kad asmuo, nors ir greit atpažino figūrą, tačiau pirmuosiuose bandymuose su šia figūra užtruko daug daugiau laiko.

- 3 tiriamasis:

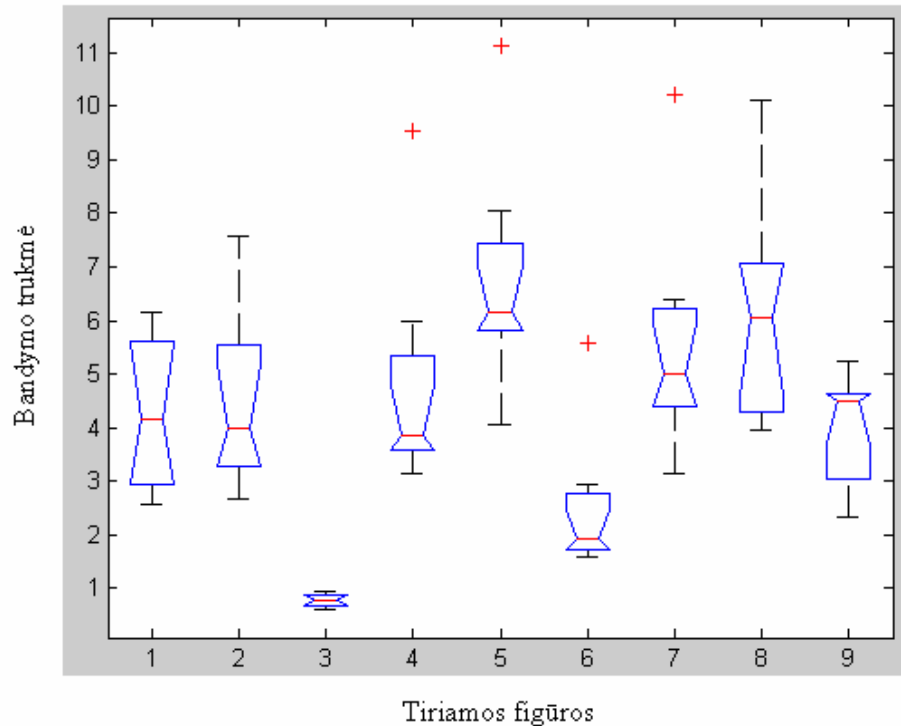
4.4.3 lentelė

Trečiojo tiriamojo įvairių figūrų sekimo dviejų faktorių dispersinė analizės lentelė

	SS	DF	MS	F
Stulpeliai	240,06	8	30,0075	19,3
Eilutės	90,538	8	11,3172	7,28
Klaidos	99,514	64	1,5549	
Bendras	430,112	80		

Iš 4.4.3 lentelės matyti, kad ištyrus duomenis panaudojant Fišerio kriterijų, panašumų tarp duomenų eilučių ir stulpelių nėra. F eilučių 7,28, F stulpelių 19,3. Aptiktas nedidelis panašumas tarp eilučių. Panašumas nustatomas, kai $F \approx 1$.

4.4.3 pav. pavaizduota bandymų rezultatų grafinė išraiška. Atkreipus dėmesį į pateiktą paveikslą, galima pastebėti, kad pusė tirtų figūrų neturi plačiame laiko intervale išsimėčiusių pirminių laikinių duomenų. 4.4.3 pav. pavaizduoti trečiojo tiriamojo tyrimo laikiniai rezultatai pateikiami 18 priede.



4.4.3 pav. Trečiojo tiriamojo įvairių figūrų sekimo dispersinės analizės grafikas

Figūra 1: Atstumas tarp medianos (4,17) ir 0,25 kvantilio ir atstumas tarp medianos ir 0,75 kvantilio yra vienodas. Iš to galima teigti, kad asmuo figūrą atpažino pakankamai greitai, dėl to bandymų laikiniai rezultatai tolygiai mažėjo.

Figūra 2: nėra skirtumo tarp maksimalios laikinės reikšmės ir kitos didžiausios reikšmės. Tai rodo, kad tiriamasis suprato, kokia tai figūra, ką parodo ir tolygus duomenų kitimas, be didesnių laikinių išsimetimų. Atstumas tarp medianos (4) ir 0,25 kvantilio yra trumpesnis nei atstumas tarp medianos ir 0,75 kvantilio. Iš to sprendžiame, kad duomenys, esantys virš medianos, yra labiau išsibarstę nei duomenys, esantys prie mažesnių laikinių reikšmių.

Figūra 3: nėra skirtumo tarp maksimalios laikinės reikšmės ir kitos didžiausios reikšmės. Vadinasi tiriamasis atpažino figūrą. Tą parodo ir tolygus duomenų kitimas. Atstumas nuo medianos (0,79) iki 0,25 kvantilio ir atstumas nuo medianos iki 0,75 kvantilio yra vienodos - labai mažas. Tai parodo, kad duomenys yra mažai kintantys.

Figūra 4: pakankamai didelis skirtumas tarp maksimalios laikinės reikšmės ir kitos didžiausios reikšmės. Tai lemia figūros nežinojimas pirmajame bandyme. Kadangi su kiekvienu bandymu figūra įsimenama, laikinių rezultatų netolygumas mažėja. Atstumas tarp medianos (3,87) ir 0,25 kvantilio yra daug trumpesnis nei atstumas tarp medianos ir 0,75 kvantilio. Iš to sprendžiame, kad duomenys, esantys virš medianos, yra labiau išsibarstę nei duomenys, esantys prie mažesnių laikinių reikšmių.

Figūra 5: pakankamai didelis skirtumas tarp maksimalios laikinės reikšmės ir kitos didžiausios reikšmės. Tai įtakoja figūros nežinojimas pirmajame bandyme. Atstumas tarp medianos (6,16) ir 0,25 kvantilio yra daug trumpesnis nei atstumas tarp medianos ir 0,75 kvantilio. Iš to sprendžiame, kad duomenys, esantys virš medianos yra labiau besikeičiantys nei duomenys, esantys prie mažesnių laikinių reikšmių. Atstumas tarp mažiausios reikšmės ir 0,25 kvantilio yra didelis. Tai parodo, kad asmuo paskutiniajame bandyme ženkliai pagerino figūros atpažinimo laiką. Tiriamasis puikiai įsiminė figūrą.

Figūra 6: pakankamai didelis skirtumas tarp maksimalios laikinės reikšmės ir kitos didžiausios reikšmės. Tam daro įtaką figūros nežinojimas pirmajame bandyme. Atstumas tarp medianos (1,91) ir 0,25 kvantilio yra daug trumpesnis nei atstumas tarp medianos ir 0,75 kvantilio. Iš to sprendžiame, kad duomenys, esantys virš medianos yra labiau išsibarstę, nei duomenys, esantys prie mažesnių laikinių reikšmių.

Figūra 7: pakankamai didelis skirtumas tarp maksimalios laikinės reikšmės ir sekančios didžiausios reikšmės. Tai nulemia figūros nežinojimas pirmajame bandyme. Kadangi darant bandymus vėliau, figūra įsiminama, laikinių rezultatų išsimėtymas mažėja. Atstumas tarp medianos (5) ir 0,25 kvantilio yra trumpesnis nei atstumas tarp medianos ir 0,75 kvantilio. Iš to sprendžiame, kad duomenys, esantys virš medianos yra labiau išsibarstę, nei duomenys, esantys prie mažesnių laikinių reikšmių. Atstumas tarp mažiausios reikšmės ir 0,25 kvantilio yra didelis. Tai parodo, kad asmuo paskutiniajame bandyme akivaizdžiai pagerino figūros atpažinimo laiką. Tiriamasis puikiai įsiminė figūrą.

Figūra 8: nėra skirtumo tarp maksimalios laikinės reikšmės ir kitos didžiausios reikšmės. Taigi tiriamasis puikiai suprato, kokia tai figūra. Atstumas tarp medianos (6,05) ir 0,25 kvantilio yra didesnis nei atstumas tarp medianos ir 0,75 kvantilio. Tai parodo, kad pirmieji bandymų rezultatai yra tolygesni ir mažiau besikeičiantys nei duomenys, esantys žemiau medianos. Tai parodo, kad tiriamasis ilgiau bandė įsiminti figūros kontūrus juos apveddamas tolygiai. Įsiminus kontūrą, tiriamojo rezultatai gerėjo. Tai ir lėmė tokių laikinių duomenų išsimėtymą.

Figūra 9: nėra skirtumo tarp maksimalios laikinės reikšmės ir kitos didžiausios reikšmės. Vadinasi tiriamasis tiksliai atpažino figūrą, ką parodo ir tolygus duomenų kitimas. Atstumas tarp medianos (4,5) ir 0,25 kvantilio yra daug didesnis nei atstumas tarp medianos ir 0,75 kvantilio. Tai parodo, kad pirmieji bandymų rezultatai yra tolygesni ir mažiau išsibarstę nei duomenys, esantys žemiau medianos. Tai parodo, kad tiriamasis ilgiau bandė įsiminti figūros kontūrus, juos apveddamas tolygiai.

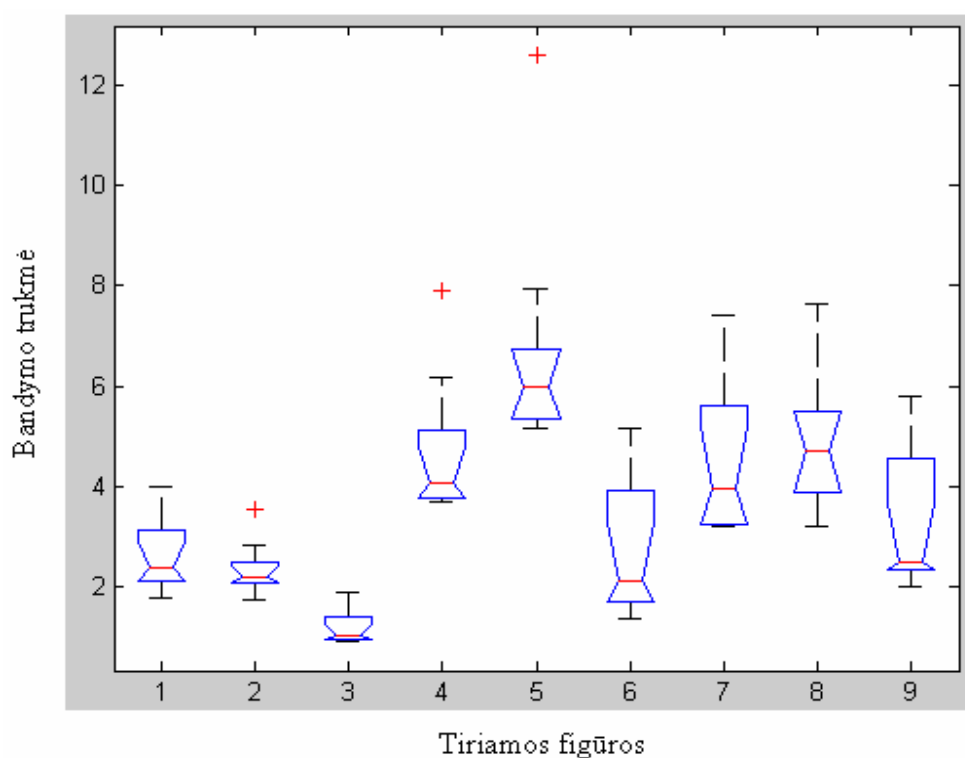
- 4 tiriamasis:

Ketvirtojo tiriamojo įvairių figūrų sekimo dviejų faktorių dispersinė analizės lentelė

	SS	DF	MS	F
Stulpeliai	206,43	8	25,8037	37,84
Eilutės	95,63	8	11,9538	17,53
Klaidos	43,645	64	0,682	
Bendras	345,705	80		

Iš 4.4.4 lentelės matyti, kad ištyrus duomenis panaudojant Fišerio kriterijų, panašumų tarp duomenų eilučių ir stulpelių nėra. F eilučių 17,53, F stulpelių 37,84. Panašumas nustatomas, kai $F \approx 1$.

4.4.4 pav. pavaizduota bandymų rezultatų grafinė išraiška. Atkreipus dėmesį į pateiktą paveikslą, galima pastebėti, kad didžioji dalis tirtų figūrų neturi plačiame laiko intervale išsimėčiusių pirminių laikinių duomenų. 4.4.4 pav. pavaizduoti ketvirtojo tiriamojo laikiniai rezultatai pateikiami 19 priede.



4.4.4 pav. Ketvirtojo tiriamojo įvairių figūrų sekimo dispersinės analizės grafikas

Figūra 1: nėra skirtumo tarp maksimalios laikinės reikšmės ir kitos didžiausios reikšmės. Tai rodo, kad tiriamasis puikiai suprato, kokia tai figūra, ką parodo ir tolygus duomenų kitimas, be didesnių laikinių išsimėtymų. Atstumas tarp medianos (2,35) ir 0,25 kvantilio yra trumpesnis nei atstumas tarp

medianos ir 0,75 kvantilio. Iš to sprendžiame, kad duomenys, esantys virš medianos, yra labiau išsibarstę nei duomenys, esantys prie mažesnių laikinių reikšmių.

Figūra 2: pakankamai mažas skirtumas tarp maksimalios laikinės reikšmės ir kitos didžiausios reikšmės. Tai lemia figūros nežinojimas pirmajame bandyme. Atstumas tarp medianos (2,19) ir 0,25 kvantilio yra daug trumpesnis nei atstumas tarp medianos ir 0,75 kvantilio. Iš to sprendžiame, kad duomenys, esantys virš medianos, yra labiau išsibarstę nei duomenys, esantys prie mažesnių laikinių reikšmių.

Figūra 3: nėra skirtumo tarp maksimalios laikinės reikšmės ir sekančios didžiausios reikšmės. Vadinasi tiriamasis, puikiai atpažino figūrą. Tolygus duomenų kitimas yra be didesnių laikinių skirtumų. Atstumas tarp medianos (1,01) ir 0,25 kvantilio yra trumpesnis nei atstumas tarp medianos ir 0,75 kvantilio. Darome prielaidą, kad duomenys, esantys virš medianos, yra labiau išsibarstę nei duomenys, esantys prie mažesnių laikinių reikšmių.

Figūra 4: nedidelis atstumas, tarp maksimalios laikinės reikšmės ir kitos didžiausios reikšmės. Atstumas tarp medianos (4,06) ir 0,25 kvantilio yra daug trumpesnis nei atstumas tarp medianos ir 0,75 kvantilio. Iš to darome išvadą, kad duomenys, esantys virš medianos, yra labiau išsibarstę nei duomenys, esantys prie mažesnių laikinių reikšmių.

Figūra 5: pakankamai didelis skirtumas tarp maksimalios laikinės reikšmės ir kitos didžiausios reikšmės. Tai lemia figūros nežinojimas pirmajame bandyme. Kadangi vėliau atliekant bandymus, figūra įsimenama, laikinių rezultatų skirtumai mažėja. Atstumas tarp medianos (6) ir 0,25 kvantilio labai panašus į atstumą tarp medianos ir 0,75 kvantilio, kas parodo, jog bendras bandymų rezultatų išsimėtymas yra tolygus.

Figūra 6: nėra skirtumo tarp maksimalios laikinės reikšmės ir kitos didžiausios reikšmės. Tai rodo, kad tiriamasis puikiai suprato, kokia tai figūra, ką parodo ir tolygus duomenų kitimas, be didesnių laikinių išsimėtyimų. Atstumas tarp medianos (2,12) ir 0,25 kvantilio yra daug trumpesnis nei atstumas tarp medianos ir 0,75 kvantilio. Iš to sprendžiame, kad duomenys, esantys virš medianos, yra labiau išsibarstę nei duomenys, esantys prie mažesnių laikinių reikšmių.

Figūra 7: nėra skirtumo tarp maksimalios laikinės reikšmės ir kitos didžiausios reikšmės. Taigi tiriamasis atpažino figūrą, ką parodo ir tolygus duomenų kitimas. Atstumas tarp medianos (3,94) ir 0,25 kvantilio yra daug trumpesnis nei atstumas tarp medianos ir 0,75 kvantilio. Iš to sprendžiame, kad duomenys, esantys virš medianos, yra labiau išsibarstę nei duomenys, esantys prie mažesnių laikinių reikšmių. Atstumas tarp kvantilio 0,75 ir didžiausios reikšmės yra labai didelis. Tai parodo, kad asmuo, nors ir greit atpažino figūrą, tačiau pirmuosiuose bandymuose su šia figūra užtruko daug daugiau laiko. 0,25 kvantilio ir mažiausios laikinės reikšmės laikai beveik sutampa. Tai parodo, kad duomenys,

esantys žemiau medianos, yra mažai kintantys. Tai maksimalūs tiriamojo laikiniai šios figūros rezultatai.

Figūra 8: nėra skirtumo tarp maksimalios laikinės reikšmės ir kitos didžiausios reikšmės. Tai rodo, kad tiriamasis puikiai atpažino figūrą Atstumas tarp medianos (4,72) ir 0,25 kvantilio labai panašus į atstumą tarp medianos ir 0,75 kvantilio, kas parodo, jog bendras bandymų rezultatų išsimėtymas yra tolygus. Atstumas tarp kvantilio 0,75 ir didžiausios reikšmės yra labai didelis. Tai parodo, kad asmuo, nors ir greit atpažino figūrą, tačiau pirmuosiuose bandymuose su šia figūra užtruko daug daugiau laiko.

Figūra 9: nėra skirtumo tarp maksimalios laikinės reikšmės ir kitos didžiausios reikšmės. Vadinasi tiriamasis puikiai suprato, kokia tai figūra, ką parodo ir tolygus duomenų kitimas. Atstumas tarp medianos (2,48) ir 0,25 kvantilio yra daug trumpesnis nei atstumas tarp medianos ir 0,75 kvantilio. Iš to sprendžiame, kad duomenys, esantys virš medianos yra labiau išsibarstę nei duomenys, esantys prie mažesnių laikinių reikšmių.

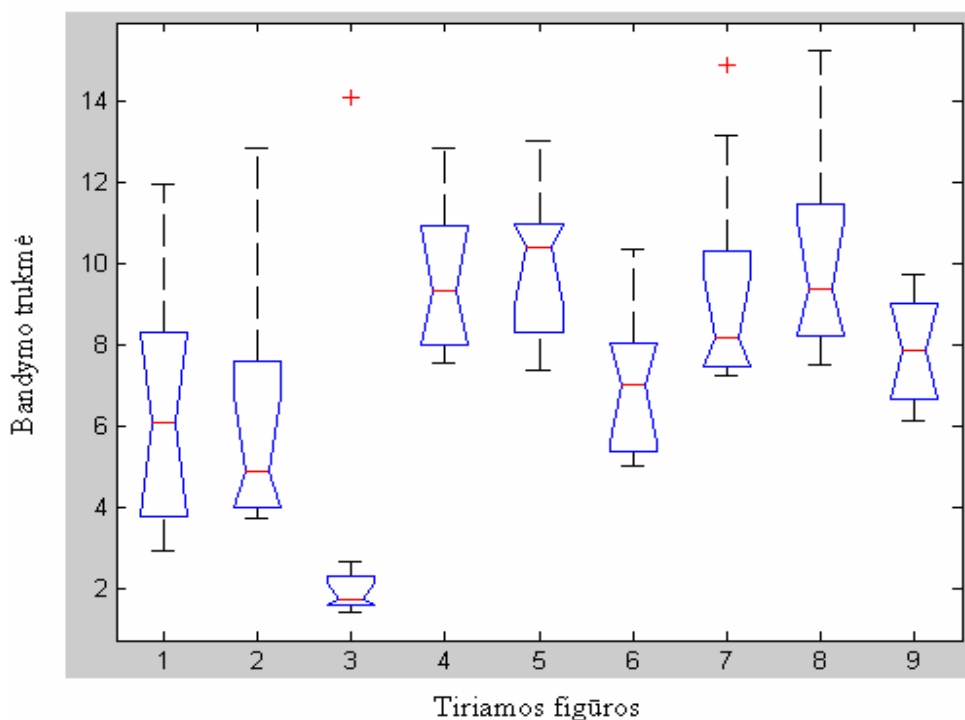
- 5 tiriamasis:

4.4.5 lentelė

Penktojo tiriamojo įvairių figūrų sekimo dviejų faktorių dispersinė analizės lentelė

	SS	DF	MS	F
Stulpeliai	383,81	8	47,9762	17,49
Eilutės	361,807	8	45,2259	16,49
Klaidos	175,517	64	2,7425	
Bendras	921,134	80		

Iš 4.4.5 lentelės akivaizdu, kad ištyrus duomenis, panaudojant Fišerio kriterijų, panašumų tarp duomenų eilučių ir stulpelių nėra. F eilučių 16,49, F stulpelių 17,49. Rastas nedidelis panašumas tarp eilučių. Panašumas nustatomas, kai $F \approx 1$.



4.4.5 pav. Penktojo tiriamojo įvairių figūrų sekimo dispersinės analizės grafikas

4.4.5 pav. pavaizduota bandymų rezultatų grafinė išraiška. Atkreipus dėmesį į pateiktą paveikslą, galima pastebėti, kad didžioji dalis tirtų figūrų neturi plačiame laiko intervale išsimėčiusių pirminių laikinių duomenų. 4.4.5 pav. pavaizduoti penktojo tiriamojo laikiniai rezultatai pateikiami 20 priede.

Figūra 1: nėra skirtumo tarp maksimalios laikinės reikšmės ir kitos didžiausios reikšmės. Tai rodo, kad tiriamasis, puikiai suprato, kokia tai figūra, ką parodo ir tolygus duomenų kitimas, be didesnių laikinių išsimėtymų. Atstumas tarp medianos (6,08) ir 0,25 kvantilio labai panašus į atstumą tarp medianos ir 0,75 kvantilio, kas parodo, jog bendras bandymų rezultatų išsimėtymas yra nors, ir tolygus, bet didelis. Atstumas tarp kvantilio 0,75 ir didžiausios reikšmės yra labai didelis. Tai parodo, kad asmuo nors ir greit atpažino figūrą, tačiau pirmuosiuose bandymuose su šia figūra užtruko daug daugiau laiko.

Figūra 2: tarp maksimalios laikinės reikšmės ir kitos didžiausios reikšmės skirtumas yra labai mažas. Tai rodo, kad asmuo figūrą atpažino labai greitai. Atstumas tarp medianos (4,88) ir 0,25 kvantilio yra trumpesnis nei atstumas tarp medianos ir 0,75 kvantilio. Iš to sprendžiame, kad duomenys, esantys virš medianos yra labiau išsibarstę nei duomenys, esantys prie mažesnių laikinių reikšmių. Atstumas tarp kvantilio 0,75 ir didžiausios reikšmės yra labai didelis. Tai parodo, kad asmuo, nors ir greit atpažino figūrą, tačiau pirmuosiuose bandymuose su šia figūra užtruko daug daugiau laiko.

Figūra 3: pakankamai didelis skirtumas tarp maksimalios laikinės reikšmės ir kitos didžiausios reikšmės. Tai parodo, kad žmogus sunkiai suvokė figūrą net pakartojus bandymą kelis kartus. Todėl

išaugo bandymo atlikimo trukmė. Taip yra todėl, kad pakeitus figūrą iš kampuotos į apvalią, žmogus tebeieško figūros kampų, dėl to sugaištama daug laiko. Toliau kartojant bandymą, žmogus įsimena figūrą, todėl duomenys tampa tolygesni. Atstumas tarp medianos (1,76) ir 0,25 kvantilio yra daug mažesnis nei atstumas tarp medianos ir 0,75 kvantilio. Tai parodo, kad duomenys, esantys žemiau medianos, yra panašūs.

Figūra 4: tarp maksimalios laikinės reikšmės ir kitos didžiausios reikšmės skirtumas labai mažas. Tai rodo, kad asmuo figūrą atpažino labai greitai. Atstumas tarp medianos (9,34) ir 0,25 kvantilio yra trumpesnis nei atstumas tarp medianos ir 0,75 kvantilio. Iš to sprendžiame, kad duomenys, esantys virš medianos yra labiau išsibarstę nei duomenys, esantys prie mažesnių laikinių reikšmių. Atstumas tarp kvantilio 0,75 ir didžiausios reikšmės yra labai didelis. Tai parodo, kad asmuo, nors ir greit atpažino figūrą, tačiau pirmuosiuose bandymuose su šia figūra užtruko daug daugiau laiko.

Figūra 5: nėra skirtumo tarp maksimalios laikinės reikšmės ir kitos didžiausios reikšmės. Tai rodo, kad tiriamasis puikiai suprato, kokia tai figūra, ką parodo ir tolygus duomenų kitimas. Atstumas tarp medianos (10,37) ir 0,25 kvantilio yra didesnis nei atstumas tarp medianos ir 0,75 kvantilio. Tai parodo, kad pirmieji bandymų rezultatai yra tolygesni ir mažiau skirtingi nei duomenys, esantys žemiau medianos. Tai parodo, kad tiriamasis ilgiau bandė įsiminti figūros kontūrus, juos apveddamas tolygiai. Įsiminus kontūrą, tiriamojo rezultatai gerėjo. Tai lėmė tokį laikinių duomenų išsimėtymą.

Figūra 6: nėra skirtumo tarp maksimalios laikinės reikšmės ir kitos didžiausios reikšmės. Tai rodo, kad tiriamasis atpažino figūrą. Atstumas tarp medianos (7) ir 0,25 kvantilio yra didesnis nei atstumas tarp medianos ir 0,75 kvantilio. Tai parodo, kad pirmieji bandymų rezultatai yra tolygesni ir mažiau išsibarstę nei duomenys, esantys žemiau medianos. Tai parodo, kad tiriamasis ilgiau bandė įsiminti figūros kontūrus, juos apveddamas tolygiai. Įsiminus kontūrą, tiriamojo rezultatai akivaizdžiai gerėjo. Tai ir įtakojo tokį laikinių duomenų skirtingumą.

Figūra 7: mažas atstumas tarp maksimalios laikinės reikšmės ir kitos didžiausios reikšmės. Atstumas tarp medianos (8,19) ir 0,25 kvantilio yra trumpesnis nei atstumas tarp medianos ir 0,75 kvantilio. Iš to sprendžiame, kad duomenys, esantys virš medianos, yra labiau išsibarstę nei duomenys, esantys prie mažesnių laikinių reikšmių.

Figūra 8: nėra skirtumo tarp maksimalios laikinės reikšmės ir kitos didžiausios reikšmės yra labai mažas. Tai rodo, kad asmuo figūrą atpažino labai greitai. Atstumas tarp medianos (9,35) ir 0,25 kvantilio yra trumpesnis nei atstumas tarp medianos ir 0,75 kvantilio. Iš to galima daryti prielaidų, kad duomenys, esantys virš medianos yra labiau išsibarstę nei duomenys, esantys prie mažesnių laikinių reikšmių. Atstumas tarp kvantilio 0,75 ir didžiausios reikšmės yra labai didelis. Tai parodo, kad asmuo, nors ir greit atpažino figūrą, tačiau pirmuosiuose bandymuose su šia figūra užtruko daug daugiau laiko.

Figūra 9: galima pastebėti, kad atstumas tarp minimalios reikšmės ir 0,25 kvantilio ir didžiausios reikšmės ir 0,75 kvantilio nėra didelis. Atstumas tarp medianos (7,86) ir 0,25 kvantilio ir atstumas tarp medianos ir 0,75 kvantilio yra vienodas. Iš to galima teigti, kad asmuo figūrą suvokė pakankamai greitai, dėl to bandymų laikiniai rezultatai tolygiai mažėjo.

4.5. Tirtų figūrų dviejų faktorių dispersinė analizė

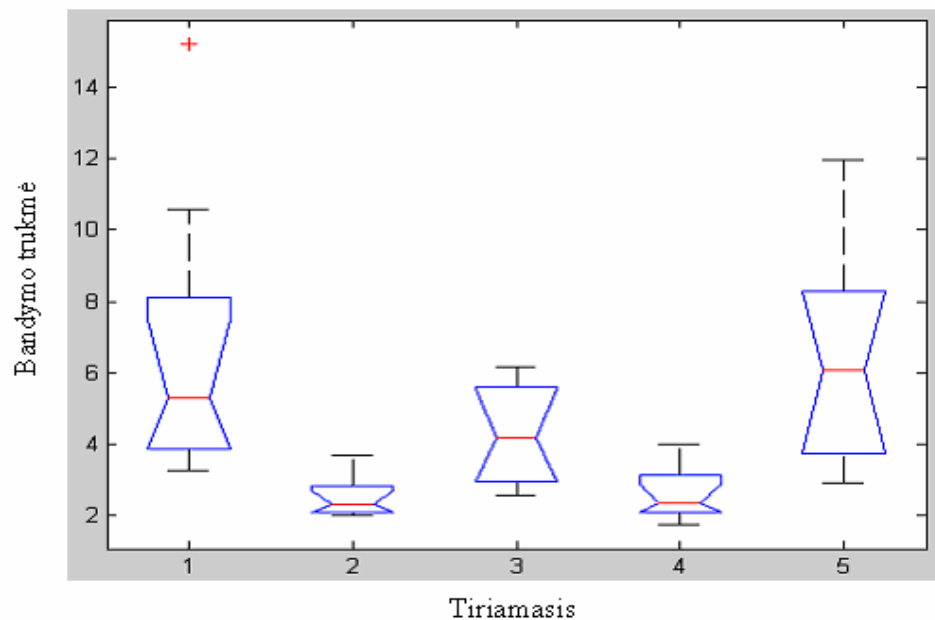
1. Kvadratas:

4.5.1 lentelė

Visų tiriamųjų kvadrato dviejų faktorių dispersinės analizės lentelė

	SS	DF	MS	F
Stulpeliai	138,043	4	34,5107	10,98
Eilutės	117,721	8	14,8402	4,72
Klaidos	100,56	32	3,1425	
Bendras	357,324	44		

Iš 4.5.1 lentelės matyti, kad ištyrus duomenis panaudojant Fišerio kriterijų, panašumų tarp duomenų eilučių ir stulpelių nėra. F eilučių 4,72, F stulpelių 10,98. Nustatytas nedidelis panašumas tarp eilučių. Panašumas nustatomas, kai $F \approx 1$.



4.5.1 pav. Visų tiriamųjų kvadrato sekimo dispersinės analizės grafikas

4.5.1 pav. pavaizduota visų tiriamųjų dvimačio kvadrato bandymų rezultatų dviejų faktorių dispersinė analizė. Atkreipus dėmesį į pateiktą paveikslą, galima pastebėti, kad didžioji dalis tiriamųjų neturi plačiame laiko intervale išsidėsčiusių pirminių laikinių duomenų.

Tiriamasis 1: pakankamai didelis skirtumas tarp maksimalios laikinės reikšmės ir kitos didžiausios reikšmės. Tai įtakoja figūros nežinojimas pirmajame bandyme. Kadangi su kiekvienu bandymu figūra įsimenama, laikinių rezultatų skirtumas mažėja. Atstumas tarp medianos (5,3) ir 0,25 kvantilio yra mažesnis nei atstumas tarp medianos ir 0,75 kvantilio, kas parodo, jog bendras bandymų rezultatų pasiskirstymas yra tolygus. Atstumas tarp kvantilio 0,75 ir didžiausios reikšmės yra labai didelis. Iš to sprendžiame, kad duomenys, esantys virš medianos yra labiau išsibarstę nei duomenys, esantys prie mažesnių laikinių reikšmių.

Tiriamasis 2: nėra skirtumo tarp maksimalios laikinės reikšmės ir kitos didžiausios reikšmės. Tai rodo, kad tiriamasis atpažino figūrą, ką parodo ir tolygus duomenų kitimas. Atstumas tarp medianos (2,31) ir 0,25 kvantilio yra trumpesnis nei atstumas tarp medianos ir 0,75 kvantilio. Iš to sprendžiame, kad duomenys, esantys virš medianos, yra labiau išsibarstę nei duomenys, esantys prie mažesnių laikinių reikšmių.

Tiriamasis 3: nėra skirtumo tarp maksimalios laikinės reikšmės ir kitos didžiausios reikšmės. Tai rodo, kad tiriamasis gerai pažino figūrą, ką parodo ir tolygus duomenų kitimas. Galima pastebėti, kad atstumas tarp minimalios reikšmės ir 0,25 kvantilio ir didžiausios reikšmės ir 0,75 kvantilio nėra didelis. Atstumas tarp medianos (4,17) ir 0,25 kvantilio ir atstumas tarp medianos ir 0,75 kvantilio yra vienodas. Iš to galima teigti, kad asmuo figūrą suvokė pakankamai greitai, dėl to bandymų laikiniai rezultatai tolygiai mažėjo.

Tiriamasis 4: nėra skirtumo tarp maksimalios laikinės reikšmės ir kitos didžiausios reikšmės. Tai rodo, kad tiriamasis, puikiai suprato, kokia tai figūra, ką parodo ir tolygus duomenų kitimas. Atstumas tarp medianos (2,35) ir 0,25 kvantilio yra trumpesnis nei atstumas tarp medianos ir 0,75 kvantilio. Iš to sprendžiame, kad duomenys, esantys virš medianos, yra labiau išsibarstę nei duomenys, esantys prie mažesnių laikinių reikšmių.

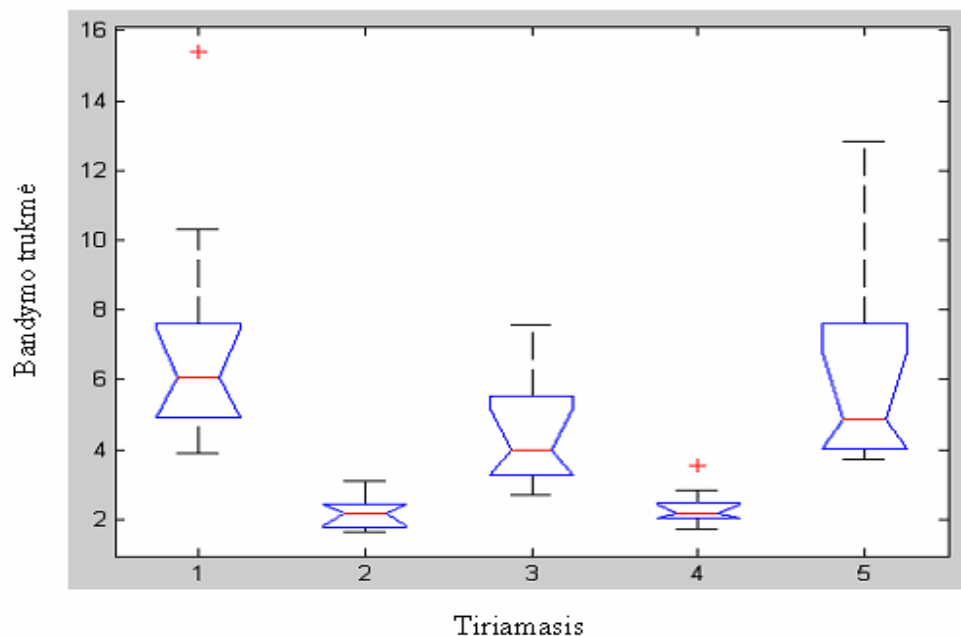
Tiriamasis 5: nėra skirtumo tarp maksimalios laikinės reikšmės ir kitos didžiausios reikšmės. Tai rodo, kad tiriamasis puikiai atpažino, kokia tai figūra. Tą parodo ir tolygus duomenų kitimas. Atstumas tarp medianos (6,08) ir 0,25 kvantilio labai panašus į atstumą tarp medianos ir 0,75 kvantilio, kas parodo, jog bendras bandymų rezultatų pasiskirstymas tolygus. Atstumas tarp kvantilio 0,75 ir didžiausios reikšmės yra labai didelis. Tai parodo, kad asmuo pirmuosiuose bandymuose atpažindamas tą pačią figūrą užtruko daug daugiau laiko.

2. Trikampis:

Visų tiriamųjų trikampio dviejų faktorių dispersinė analizės lentelė

	SS	DF	MS	F
Stulpeliai	177,315	4	44,3287	11,29
Eilutės	109,498	8	13,6872	3,49
Klaidos	125,634	32	3,9261	
Bendras	412,446	44		

Iš 4.5.2 lentelės galima pastebėti, kad ištyrus duomenis panaudojant Fišerio kriterijų, panašumų tarp duomenų eilučių ir stulpelių nėra. F eilučių 3,49, F stulpelių 11,29. Nustatytas nedidelis panašumas tarp eilučių. Panašumas nustatomas, kai $F \approx 1$.



4.5.2 pav. Visų tiriamųjų trikampio sekimo dispersinės analizės grafikas

4.5.2 pav. pavaizduota visų tiriamųjų dvimačio trikampio bandymų rezultatų dviejų faktorių dispersinė analizė. Atkreipus dėmesį į pateiktą paveikslą, galima pastebėti, kad didžioji dalis tiriamųjų neturi plačiame laiko intervale išsidėsčiusių pirminių laikinių duomenų.

Tiriamasis 1: pakankamai didelis skirtumas tarp maksimalios laikinės reikšmės ir kitos didžiausios reikšmės. Taip pat didelis skirtumas ir tarp 0,75 kvantilio ir sekančios didžiausios reikšmės. Atstumas tarp medianos (6,05) ir 0,25 kvantilio labai panašus į atstumą tarp medianos ir 0,75 kvantilio, kas parodo, jog bendras bandymų rezultatų pasiskirstymas yra tolygus.

Tiriamasis 2: nėra skirtumo tarp maksimalios laikinės reikšmės ir sekančios didžiausios reikšmės. Tai rodo, kad tiriamasis puikiai atpažino figūrą, ką parodo ir tolygus duomenų kitimas. Atstumas tarp medianos (2,17) ir 0,25 kvantilio yra didesnis nei atstumas tarp medianos ir 0,75 kvantilio. Iš to galime spręsti, kad pirmieji bandymų rezultatai yra tolygesni nei duomenys, esantys žemiau medianos. Tiriamasis ilgiau bandė įsiminti figūros kontūrus, juos apveddamas tolygiai. Įsiminus kontūrą, tiriamojo rezultatai labai gerėjo. Tai ir įtakojo tokį laikinių duomenų netolygumą.

Tiriamasis 3: nėra skirtumo tarp maksimalios laikinės reikšmės ir kitos didžiausios reikšmės. Vadinasi tiriamasis puikiai suprato, kokia tai figūra. Duomenų kitimas yra tolygus. Atstumas tarp medianos (4) ir 0,25 kvantilio yra trumpesnis nei atstumas tarp medianos ir 0,75 kvantilio. Iš to sprendžiame, kad duomenys esantys, virš medianos, yra labiau išsibarstę nei duomenys, esantys prie mažesnių laikinių reikšmių.

Tiriamasis 4: pakankamai mažas skirtumas tarp maksimalios laikinės reikšmės ir kitos didžiausios reikšmės. Tai įtakoja figūros nežinojimas pirmajame bandyme. Kadangi vėliau atliekant bandymus, figūra įsiminama, laikinių rezultatų netolygus pasiskirstymas mažėja. Atstumas tarp medianos (2,19) ir 0,25 kvantilio yra daug trumpesnis nei atstumas tarp medianos ir 0,75 kvantilio. Iš to sprendžiame, kad duomenys, esantys virš medianos yra labiau išsibarstę nei duomenys, esantys prie mažesnių laikinių reikšmių.

Tiriamasis 5: nėra skirtumo tarp maksimalios laikinės reikšmės ir kitos didžiausios reikšmės. Atstumas tarp medianos (4,88) ir 0,25 kvantilio yra trumpesnis nei atstumas tarp medianos ir 0,75 kvantilio. Iš to sprendžiame, kad duomenys, esantys virš medianos, yra labiau išsibarstę nei duomenys, esantys prie mažesnių laikinių reikšmių. Atstumas tarp kvantilio 0,75 ir didžiausios reikšmės yra labai didelis. Tai parodo, kad asmuo, nors ir greit atpažino figūrą, tačiau pirmuosiuose bandymuose su šia figūra užtruko daug daugiau laiko.

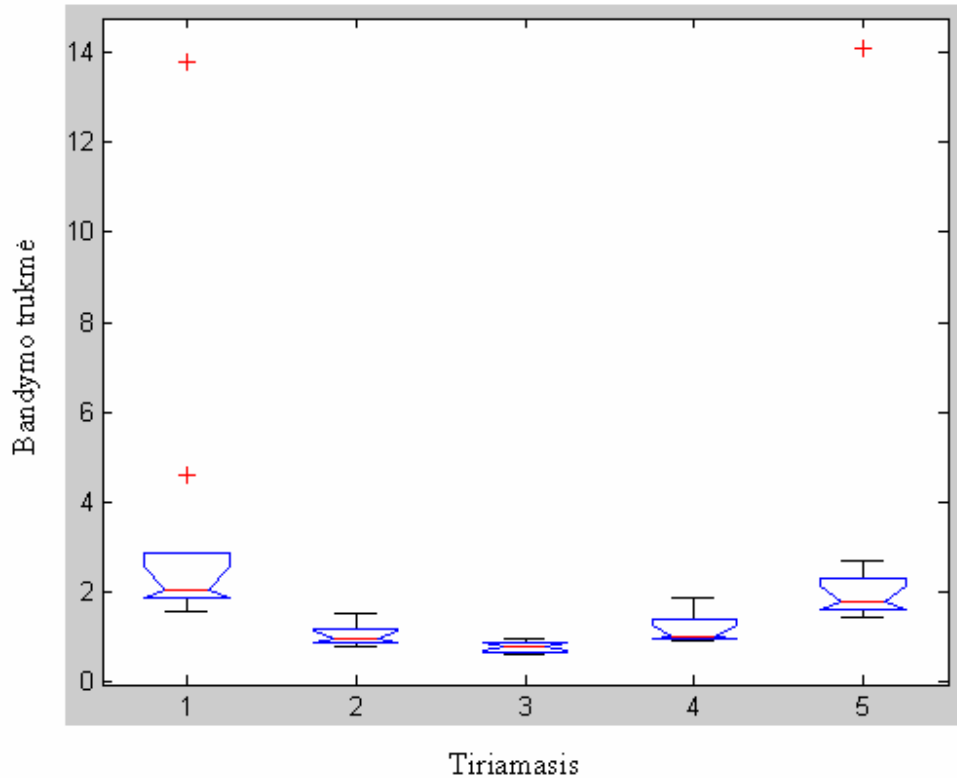
3. Apskritis:

4.5.3 lentelė

Visų tiriamųjų apkritimo dviejų faktorių dispersinė analizės lentelė

	SS	DF	MS	F
Stulpeliai	62,693	4	15,6732	3,26
Eilutės	106,465	8	13,3081	2,76
Klaidos	154,07	32	4,8147	
Bendras	323,228	44		

Iš 4.5.3 lentelės galima pastebėti, kad ištyrus duomenis panaudojant Fišerio kriterijų, panašumų tarp duomenų eilučių ir stulpelių nėra. F eilučių 2,76, F stulpelių 3.26. Nustatytas nedidelis panašumas tarp eilučių ir stulpelių. Panašumas nustatomas, kai $F \approx 1$.



4.5.3 pav. Visų tiriamųjų apskritimo sekimo dispersinės analizės grafikas

4.5.3 pav. Pavaizduota visų tiriamųjų dvimačio trikampio bandymų rezultatų dviejų faktorių dispersinė analizė. Atkreipus dėmesį į pateiktą paveikslą, galima pastebėti, kad didžioji dalis tiriamųjų neturi plačiame laiko intervale išsidėsčiusių pirminių laikinių duomenų.

Tiriamasis 1: pakankamai didelis skirtumas tarp maksimalios laikinės reikšmės ir kitos didžiausios reikšmės, kartu didelis skirtumas ir tarp didžiausios reikšmės ir kito didelio duomens. Tai parodo, kad žmogus sunkiai suvokė figūrą net pakartojus bandymą kelis kartus, kas nulėmė didelius laikinius rezultatus. Toliau kartojant bandymą žmogus įsimena figūrą, todėl duomenys tampa tolygesni. Atstumas tarp medianos (2,02) ir 0,25 kvantilio yra daug mažesnis nei atstumas tarp medianos ir 0,75 kvantilio.

Tiriamasis 2: nėra skirtumo tarp maksimalios laikinės reikšmės ir kitos didžiausios reikšmės. Tai rodo, kad tiriamasis puikiai suprato, kokia tai figūra, ką parodo ir tolygus duomenų kitimas, be didesnių laikinių išsimėtymų. Atstumas tarp medianos (0,95) ir 0,25 kvantilio yra trumpesnis nei atstumas tarp

medianos ir 0,75 kvantilio. Iš to sprendžiame, kad duomenys, esantys virš medianos, yra labiau išsibarstę nei duomenys, esantys prie mažesnių laikinių reikšmių.

Tiriamasis 3: nėra skirtumo tarp maksimalios laikinės reikšmės ir sekančios didžiausios reikšmės. Atstumas tarp medianos (0,79) ir 0,25 kvantilio yra didesnis nei atstumas tarp medianos ir 0,75 kvantilio. Iš to galime spręsti, kad pirmieji bandymų rezultatai yra tolygesni ir mažiau išsibarstę nei duomenys, esantys žemiau medianos. Tiriamasis ilgiau bandė išiminti figūros kontūrus, juos apveddamas tolygiai. Įsiminus kontūrą, tiriamojo rezultatai gerėjo. Tai ir įtakojo tokį laikinių duomenų netolygumą.

Tiriamasis 4: nėra skirtumo tarp maksimalios laikinės reikšmės ir kitos didžiausios reikšmės. Atstumas tarp medianos (1,01) ir 0,25 kvantilio yra daug trumpesnis nei atstumas tarp medianos ir 0,75 kvantilio. Iš to sprendžiame, kad duomenys, esantys virš medianos, yra labiau išsibarstę nei duomenys, esantys prie mažesnių laikinių reikšmių. Duomenys, esantys žemiau medianos, yra tolygūs, mažai kintantys.

Tiriamasis 5: pakankamai didelis skirtumas, tarp maksimalios laikinės reikšmės ir kitos didžiausios reikšmės. Tai lemia figūros nežinojimas pirmajame bandyme. Kadangi su kiekvienu bandymu figūra labiau išiminama, laikinių rezultatų netolygumas mažėja. Atstumas tarp medianos (1,76) ir 0,25 kvantilio yra daug trumpesnis nei atstumas tarp medianos ir 0,75 kvantilio. Iš to sprendžiame, kad duomenys, esantys virš medianos, yra labiau išsibarstę nei duomenys, esantys prie mažesnių laikinių reikšmių.

4.6. Figūrų bandymų rezultatų tyrimas panaudojant Stjudento t – testą

Tiriamųjų bandymo duomenų statistiniam palyginimui naudojamas Stjudento testas. Rezultatai pateikiami galimomis dvejomis hipotezėmis:

1. Nulinė hipotezė.
2. Alternatyvi hipotezė.

Nulinė hipotezė teigia, kad skirtumo nėra. Ji žymima H_0 . Kadangi tyrimų hipotezė paprastai teigia, kad skirtumas yra, todėl tyrėjas paprastai siekia nulinę hipotezę atmesti.

Alternatyvioji hipotezė teigia priešingai – skirtumas yra. Ji žymima H_1 . Kadangi, tyrėjas dažniausiai stengiasi aptikti skirtumą, todėl jis paprastai tikisi, kad H_1 bus aptikta [23].

Visų tiriamųjų dvimačių figūrų Stjudento testo rezultatai

	Kvadratas					Trikampis					Apskritimas					
	Tir. 1	Tir. 2	Tir. 3	Tir. 4	Tir. 5	Tir. 1	Tir. 2	Tir. 3	Tir. 4	Tir. 5	Tir. 1	Tir. 2	Tir. 3	Tir. 4	Tir. 5	
Kvadratas	Tir. 1	x	1	0	1	0	0	1	0	1	0	0	1	1	1	0
	Tir. 2	1	x	1	0	1	1	0	1	0	1	0	1	1	1	0
	Tir. 3	0	1	x	1	0	0	1	0	1	0	0	1	1	1	0
	Tir. 4	1	0	1	x	1	1	0	1	0	1	0	1	1	1	0
	Tir. 5	0	1	0	1	x	0	1	0	1	0	0	1	1	1	0
Trikampis	Tir. 1	-	-	-	-	-	x	1	0	1	0	0	1	1	1	0
	Tir. 2	-	-	-	-	-	1	x	1	0	1	0	1	1	1	0
	Tir. 3	-	-	-	-	-	0	1	x	1	0	0	1	1	1	0
	Tir. 4	-	-	-	-	-	1	0	1	x	1	0	1	1	1	0
	Tir. 5	-	-	-	-	-	0	1	0	1	x	0	1	1	1	0
Apskritimas	Tir. 1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	x	0	1	0	0
	Tir. 2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	x	1	0	0
	Tir. 3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	1	x	1	0
	Tir. 4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0	1	x	0
	Tir. 5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0	0	0	x

Atlikus Stjudento testą su bandymų rezultatais, kurie gauti tiriant tiriamuosius su dvimatėmis figūromis, buvo gautas duomenų masyvas, kuriame atvaizduojamas bandymų rezultatų duomenų suderinamumas arba jų nesuderinamumas.

Pagal gautą duomenų masyvą galima teigti, kad pastovaus duomenų panašumo tarp vieno ar kito tiriamojo nenustatyta. Laikini panašumai rasti tarp dviejų vyrų bei vieno vyro ir dviejų moterų.

Tiriant panašumus tarp figūrų, panašumas rastas tik tarp pirmojo ir penktojo tiriamojo, lyginant juos su visais tiriamaisiais. Iš gautų duomenų galima teigti, kad panašumo tarp vienos ar kitos lyties atstovų grupės nėra.

Siekiant patvirtinti ar atmesti rezultatų panašumą pagal lytį, atliktas papildomas trimačių figūrų Stjudento testas.

Visų tiriamųjų trimačių figūrų Stjudento testo rezultatai

		Kubas					Piramidė					Rutulys				
		Tr.1	TR.2	Tr.3	TR.4	TR.5	Tr.1	TR.2	Tr.3	TR.4	TR.5	Tr.1	TR.2	Tr.3	TR.4	TR.5
Kubas	Tr.1	x	1	1	1	0	1	1	1	1	0	0	1	1	1	0
	Tr.2	1	x	0	0	1	0	1	1	1	1	1	0	0	0	1
	Tr.3	1	0	x	0	1	0	1	1	1	0	1	1	0	1	1
	Tr.4	1	0	0	x	1	0	1	1	1	0	0	1	0	1	0
	Tr.5	0	1	1	1	x	1	1	1	1	1	0	1	1	1	0
Piramidė	Tr.1						x	1	1	1	0	1	0	0	0	1
	Tr.2						1	x	0	0	1	1	1	1	1	1
	Tr.3						1	0	x	0	1	1	1	1	1	1
	Tr.4						1	0	0	x	1	1	1	1	1	1
	Tr.5						0	1	1	1	x	0	1	0	1	0
Rutulys	Tr.1											x	1	1	1	0
	Tr.2											1	x	0	0	1
	Tr.3											1	0	x	0	1
	Tr.4											1	0	0	x	1
	Tr.5											0	1	1	1	x

Atlikus Stjudento testą su trimatėmis figūromis, nustatytas statistinis rezultatų panašumas tarp vyriškos lyties atstovų tiriant konkrečią figūrą. Šiuo atveju panašumas nustatytas tarp visų trijų vyrų. Taip pat nustatytas panašumas tarp moteriškos lyties atstovių. Vadinas, galima teigti, kad suskirsčius tiriamuosius pagal lytį, gaunami statistiškai suderinti bandymų rezultatai tiriant atskiras figūras. Pasikartojantys netolygūs panašumai tarp trimačių figūrų nustatyti minimalūs. Panašumų nebuvimą tarp tiriamųjų tiriant dvimates figūras, galima paaiškinti tuo, kad tiriant dvimates figūras, tiriamieji nebuvo pripratę prie paties tyrimo ir figūrų.

IŠVADOS IR SIŪLYMAI

1. Panaudojus kompanijos *SensAble* programą *Open Haptics Academic Edition* bei prietaisą *Phantom omni* sukurta tyrimo metodika. Taip pat panaudojus programą Microsoft Visual C++ sumodeliuoti tyrime panaudoti figūrų modeliai, kuriuos panaudojant atlikti bandymai.
2. Pagal gautus rezultatus, nustatyta, kad:
 - mažiausi netolygūs bandymų rezultatai bei mažiausiai varginantys bandymai yra tada, kai figūros dydis yra intervale nuo 30 iki 45, t.y., figūros dydis nuo 26 mm iki 39 mm;
 - mažiausiai užtrunkama ir mažiausi rezultatų skirtumai nustatyti tiriant apskritimą;
 - patogiausia tyrimo/darbo erdvė nustatyta tiriant dvimatę erdvę su fiksuota pradine kursoriaus padėtimi;
 - lengviausiai figūra aptikta ir atpažinta, kai ji buvo tiriamojo lango centre;
 - didinant bandymų skaičių, tiriamojo erdvės ir figūros įsiminimo geba didėja.
3. Iš bandymų rezultatų nustatyta, kad tirti vyrai greičiau adaptuojasi prie naujų pasikeitimų erdvėje, dėl to tirtų vyrų bandymų rezultatai gerokai skiriasi nuo tirtų moterų bandymų rezultatų. Tirti vyrai bandymus atliko apytiksliai du kartus greičiau nei tirtos moterys su tokiomis figūrų apvedimo trajektorijos paklaidomis kaip ir moterys. Tiek vyrų, tiek moterų bandymų laikiniai rezultatai gerėjo didinant bandymų skaičių. Suskirsčius tiriamuosius pagal lytį, gaunami statistiškai suderinti bandymų rezultatai tiriant atskiras figūras.

Siūlymai skirti asmenims, kursiantiems virtualias erdves regos negalią turintiems asmenims:

1. Kuriant virtualias erdves neregiams, reikėtų projektuoti erdves taip, kad objektai būtų su apvalintais kampais, siekiant išvengti didelių kursoriaus šuolių nuo tiriamų figūrų kampų.
2. Tiriant objektus, išdėstytus erdvėje, fiksuotą pradinį kursoriaus tašką rekomenduojama nustatyti tiriamojo lango centre.
3. Naudoti optimalaus dydžio figūras (nuo 26 mm iki 39 mm), kas nevargins tiriamųjų ir bus išvengta nepageidaujamų kursoriaus nukrypimų nuo tiriamosios figūros kraštinės.

4. Kurti virtualią aplinką taip, kad kiekvienas objektas būtų su mažu gravitacijos lauku, kas padėtų neregiiui, nuklydus nuo objekto, greičiau jį surasti.
5. Kurti objektų atpažinimo programas taip, kad programa kartu skaičiuotų ir objekto atpažinimo trukmę, taip išvengiant laiko fiksavimo paklaidų rankiniu būdu.

Siūlymas skirtas asmenims, atliksiantiems tyrimus su regos negalia turinčiais asmenimis:

1. Atliekant tyrimus su žmonėmis, turinčiais regos negalia, vyriškos ir moteriškos lyties atstovais, skirti daugiau laiko moteriškos lyties atstovių bandymams.

LITERATŪRA

1. Touching for Knowing. Y. Hatwell, A. Streri, E. Gentaz. John Benjamins Publishing Company, 2003 m. 333p. ISBN 90 272 5185 1.
2. Human factors in haptic interfaces [interaktyvus] [žiūrėta 2010-04-08]. Prieiga per internetą: < <http://www.acm.org/crossroads/xrds3-3/haptic.html> >
3. Žmogaus fiziologija. K.: KMU, 2002 m. 478 p. ISBN 9986-451-39-6.
4. Infant Behavior and Development. J.R. Galler, R.H. Harrison, F. Ramsey, S. Butler, 2005 m.. 388 p. ISSN: 0163-6383
5. Haptic [interaktyvus] [žiūrėta 2010-03-12]. Prieiga per internetą: < http://en.wikipedia.org/wiki/Haptic_technology >
6. Haptic Devices Based on Parallel Mechanisms. State of the Art [interaktyvus] [žiūrėta 2010-03-12]. Prieiga per internetą: < <http://www.parallemic.org/Reviews/Review003.html> >
7. PHANTOM Omni [interaktyvus] [žiūrėta 2010-01-27]. Prieiga per internetą: < http://www.vrlogic.com/html/phantom_omni.html >
8. Sensable Phantom Omni [interaktyvus] [žiūrėta 2010-01-27]. Prieiga per internetą: < http://www.inition.co.uk/inition/product.php?URL_=product_ffhaptic_sensable_phantom_omni&SubCatID_=36 >
9. OMEGA [interaktyvus] [žiūrėta 2010-01-27]. Prieiga per internetą: < http://www.vrlogic.com/html/3-dof_omega_haptic_device_.html >
10. Force Dimension - 3-DOF Omega [interaktyvus] [žiūrėta 2010-03-12]. Prieiga per internetą: < http://www.inition.co.uk/inition/product.php?URL_=product_ffhaptic_forcedimension_3dofomega&SubCatID_=36 >
11. DELTA [interaktyvus] [žiūrėta 2010-01-27]. Prieiga per internetą: < http://www.vrlogic.com/html/3-dof_delta_haptic_device.html >
12. DELTA [interaktyvus] [žiūrėta 2010-01-27]. Prieiga per internetą: < http://www.inition.co.uk/inition/product.php?URL_=product_ffhaptic_forcedimension_3dofdelta&SubCatID_=36 >
13. Novint Falcon [interaktyvus] [žiūrėta 2010-01-27]. Prieiga per internetą: < http://home.novint.com/products/technical_specs.php >
14. Novint Falcon [interaktyvus] [žiūrėta 2010-01-27]. Prieiga per internetą: < <http://www.slipperybrick.com/wp-content/uploads/2008/02/novint-falcon-in-black.jpg> >
15. PHANTOM Premium [interaktyvus] [žiūrėta 2010-01-27]. Prieiga per internetą: < <http://www.sensable.com/haptic-phantom-premium.htm> >

16. Phantom Premium [interaktyvus] [žiūrėta 2010-01-27]. Prieiga per internetą: <
<http://pdf.directindustry.com/pdf/sensable-technologies/phantom-premium-6dof/12136-101590.html>>
17. Phantom Premium [interaktyvus] [žiūrėta 2010-02-02]. Prieiga per internetą: <
http://www.pixeltech.fr/anglais/phantom_premiumA.php >
18. Calle Stjortrom. Using Haptics in Computer Interfaces for Blind People: Conference on Human Factors in Computing Systems. Vašingtonas, 2001 m. p. 245 – 246
19. Mounia Ziat, Olivier Gapenne, John Stewart, Charles Lenay .Haptic recognition of shapes at different scales: A comparison of two methods of interaction: Interacting with Computers. 2007 m. p. 121-132
20. W. Yu, R. Ramloll, S.A. Brewster Springer Verlag. Haptic graphs for blind computer users: Lecture Notes In Computer Science. 2000 m. p. 41 – 51
21. Aplinkos duomenų analizė ir modeliavimas [interaktyvus] [žiūrėta 2010-03-12]. Prieiga per internetą:
 <http://gamta.vdu.lt/bakalaurai/lab_darbai/apl_duomenu_analize/Dispersine_analize.pdf>
22. Statistika ir jos taikymai. II knyga. V. Čekanavičius, G. Murauskas, 2002 m.. 272 p. ISBN 9955-491-16-7
23. Hipotezių tikrinimas [interaktyvus] [žiūrėta 2010-03-12]. Prieiga per internetą:<
http://www.google.lt/url?sa=t&source=web&ct=res&cd=1&ved=0CAYQFjAA&url=http%3A%2F%2Fausis.gf.vu.lt%2Fpub%2Fkb%2FBiometrija%2520egzui%2FNauji%2520konspektai%2FHi%20poteziu%2520tikrinimas.doc&rct=j&q=nuline+hipoteze&ei=Pd6cS7P3O9Tj-Qam_NXJAQ&usg=AFQjCNEHTmPU5RhwqGeGEphS-5-x2k7mlA>

PRIEDAI