



Kauno technologijos universitetas

Informatikos fakultetas

**Mokymosi objektų vizualinių elementų tyrimas naudojant
žvilgsnio sekimo technologijas**

Baigiamasis magistro projektas

Simonas Baltulionis

Projekto autorius

prof. dr. Robertas Damaševičius

Vadovas

Kaunas, 2020



Kauno technologijos universitetas

Informatikos fakultetas

Mokymosi objektų vizualinių elementų tyrimas naudojant žvilgsnio sekimo technologijas

Baigiamasis magistro projektas

Programų sistemų inžinerija (6211BX011)

Simonas Baltulionis

Projekto autorius

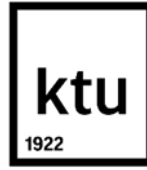
prof. dr. Robertas Damaševičius

Vadovas

dr. Martynas Patašius

Recenzentas

Kaunas, 2020



Kauno technologijos universitetas

Informatikos fakultetas

Simonas Baltulionis

Mokymosi objektų vizualinių elementų tyrimas naudojant žvilgsnio sekimo technologijas

Akademinio sąžiningumo deklaracija

Patvirtinu, kad mano, Simono Baltulionio, baigiamasis projektas tema „Mokymosi objektų vizualinių elementų tyrimas naudojant žvilgsnio sekimo technologijas“ yra parašytas visiškai savarankiškai ir visi pateikti duomenys ar tyrimų rezultatai yra teisingi ir gauti sąžiningai. Šiame darbe nei viena dalis nėra plagijuota nuo jokių spausdintinių ar internetinių šaltinių, visos kitų šaltinių tiesioginės ir netiesioginės citatos nurodytos literatūros nuorodose. Įstatymų nenumatytų piniginių sumų už šį darbą niekam nesu mokėjęs.

Aš suprantu, kad išaiškėjus nesąžiningumo faktui, man bus taikomos nuobaudos, remiantis Kauno technologijos universitete galiojančia tvarka.

(vardą ir pavardę įrašyti ranka)

(parašas)

Baltulionis, Simonas. Mokymosi objektų vizualinių elementų tyrimas naudojant žvilgsnio sekimo technologijas. Magistro baigiamasis projektas / vadovas prof. dr. Robertas Damaševičius; Kauno technologijos universitetas, Informatikos fakultetas.

Studijų kryptis ir sritis (studijų krypčių grupė): fiziniai mokslai, informatikos kryptis.

Reikšminiai žodžiai: žvilgsnio sekimas, VARK, mokymosi stiliai.

Kaunas, 2020. 85 p.

Santrauka

Darbe pristatomas mokymosi objektų vizualinių elementų tyrimas naudojant žvilgsnio sekimo technologijas. Tyrimui atlikti pasitelkiama sukurta žvilgsnio stebėjimo sistema, kurią naudojant fiksuojami žvilgsnio parametrai ir apskaičiuojamos įvairios charakteristikos. Sistemos pagalba, pasitelkiant tiriamųjų žvilgsnio poziciją, nustatinėjami vizualiniai mokymosi objektai, kuriems besimokantieji skiria daugiausia dėmesio. Tyrime analizuojami skirtingi mokymosi objektai: tekstas, grafikai ir formulės. Gauti dėmesio sutelkimo rezultatai naudojami tiriant VARK mokymosi stilių klausimyno pagrįstumą. Mokymosi stiliai tiriamiesiems nustatomi naudojant anksčiau minėtą klausimyną.

Įvade apžvelgiamas tyrimo aktualumas, nurodomas tikslas, uždaviniai ir dokumento sudėtis. Toliau pateikiama žvilgsnio stebėjimo analizė, įrenginiai ir jų veikimo principai, to pačio pobūdžio sistemų apžvalga, akių sekimo charakteristikų aptarimas. Toliau aptariama mokymosi objektų tyrinėjimo specifika ir mokymosi stiliai. Be to, pristatomos pagrindinės specifikacijos sekcijos: sistemos kontekstas, apribojimai, panaudos atvejai ir kt. Taip pat apžvelgiamas žvilgsnio stebėjimo sistemos prižiūrimumo metrikų tyrimas. Negana to, aptariama VARK klausimyno pagrįstumo tyrimo metodologija ir rezultatai. Galiausiai, pristatomos tyrimo išvados.

Baltulionis, Simonas. Analysis of learning object visual elements using gaze tracking technology. Master's Final Degree Project / supervisor prof. dr. Robertas Damaševičius; The Faculty Informatics, Kaunas University of Technology.

Study field and area (study field group): physical sciences, informatics.

Keywords: eye tracking, VARK, learning styles.

Kaunas, 2020. 85 p.

Summary

The project focuses on the topic of analyzing the learning object visual elements using the gaze-tracking technology. The gaze monitoring system is used for the analysis that captures eye-tracking data and calculates various metrics. Learning object visual elements that require the most of the attention are found with the help of the system. The final thesis aims at analyzing different learning objects such as text, graphs and formulas. The collected gaze data is used to validate the VARK questionnaire.

The aim, relevance and tasks of the thesis are described in the introduction. The introduction part also includes an explanation of the document contents. The next part describes analysis of the gaze tracking, equipment and similar software. Furthermore, the gaze characteristics, learning object specifics and learning styles are analyzed. In addition, the most essential parts of the system specification are presented such as the use case, deployment, package diagrams and functional/nonfunctional requirements. What is more, the results of the gaze monitoring system maintainability analysis are demonstrated. The experiment part of this document describes the methodology and results. Last but not least, thesis conclusions are drawn.

Turinys

Lentelių sąrašas.....	8
Paveikslų sąrašas.....	9
Įvadas	11
1. Žvilgsnio stebėjimo ir akių sekimo analizė.....	12
1.1. Įvadas į akių sekimą	12
1.2. Akies judėjimo tipai	12
1.2.1. Žvilgsnio taškai	12
1.2.2. Fiksacijos	13
1.2.3. Sakados.....	13
1.3. Žvilgsnio sekimo įrenginių veikimas	14
1.4. Žvilgsnio Fiksavimo įrenginiai	15
1.4.1. „Tobii Eye Tracker 4C“ įrenginys	15
1.4.2. „Tobii-pro-x3-120“ įrenginys	16
1.4.3. „Tobii Pro Nano“ įrenginys	17
1.4.4. Gazepoint GP3	18
1.5. Egzistuojančios žvilgsnio stebėjimo sistemos	19
1.5.1. „PyGaze“	19
1.5.2. „Ogama“	19
1.5.3. „xLabs“	20
1.5.4. Egzistuojančių sistemų palyginimas	21
1.6. Situacijos Lietuvoje įvertinimas	22
1.7. Žvilgsnio stebėjimo charakteristikos.....	22
1.7.1. Susidomėjimo plotų apibrėžimas	22
1.7.2. Vidutinė fiksacijos trukmė AoI plote	23
1.7.3. Fiksacijų kiekis AoI plote.....	23
1.7.4. Fiksacijos trukmė AoI plote (angl. <i> dwell</i>)	24
1.7.5. Taškų intensyvumo žemėlapiai.....	24
1.7.6. Sugrįžimų kiekis į tam tikrą AoI plotą	24
1.8. Matematinų objektų tyrimo specifika	25
1.8.1. Semiotika	25
1.8.2. Skirtingų matematinų objektų išraiškų skaitymo bei susiejimo tyrimas pasitelkiant žvilgsnio stebėjimo technologijas	26
1.8.3. Grafais pateiktos informacijos skaitymas.....	27
1.8.4. Teksto šrifto ir dydžio skirtumai	27
1.8.5. Skaičių formatai	28
1.8.6. Chemijos formulės	28
1.8.7. Mokymosi tekstai skirtingose platformose	28
1.8.8. Teksto kartu su diagramomis ar nuotraukomis suvokimas.....	29
1.9. Mokymosi stiliai	29
1.9.1. Kolb'o modelis.....	30
1.9.2. Mumford'o modelis.....	30
1.9.3. VAK modelis	30
1.9.4. ILS modelis.....	30
1.9.5. VARK modelis.....	31

1.9.6. Mokymosi stilių pritaikymas	31
1.9.7. Mokymosi stilių nustatymas	31
2. Žvilgsnio stebėjimo sistemos projektas	32
2.1. Sistemos kontekstas.....	32
2.2. Apribojimai sprendimui.....	32
2.3. Panaudojimo atvejai	33
2.4. Funkciniai reikalavimai	34
2.5. Nefunkciniai reikalavimai	35
2.6. Esybių ryšių diagrama	35
2.7. Sistemos statinis vaizdas	36
2.8. Diegimo aplinka.....	38
3. Žvilgsnio stebėjimo sistemos prižiūrimumo metrikų tyrimas	40
3.1. Tyrime naudojamos programų metrikos	40
3.2. Žvilgsnio stebėjimo sistemos metrikų rezultatai.....	40
3.3. Išvados	45
4. VARK klausimyno pagrįstumo nustatymas pasitelkiant žvilgsnio sekimo duomenis	46
4.1. Mokymosi stilių pagrįstumo nustatymas.....	46
4.2. Eksperimento metodologija	46
4.2.1. Rinkti žvilgsnio sekimo duomenys	46
4.2.2. Tyrimo hipotezės.....	46
4.2.3. Hipotezės patvirtinimo metodas.....	47
4.2.4. Eksperimento aplinka	47
4.3. Pirmasis eksperimentas	48
4.3.1. Rezultatai	49
4.3.2. Rezultatų įvertinimas.....	54
4.3.3. Išvados	54
4.4. Antrasis eksperimentas	54
4.4.1. Rezultatai	54
4.4.2. Rezultatų įvertinimas.....	64
4.4.3. Išvados	64
4.5. Grėsmės duomenų teisingumui.....	64
Išvados	65
Literatūros sąrašas.....	66
Santrumpų ir terminų sąrašas.....	71
Priedai	72
1 priedas. Straipsnis, pristatytas studentų konferencijoje IVUS 2019	72
2 priedas. Žvilgsnio stebėjimo sistemos perdavimo ir aprobavimo aktas	79
3 priedas. Reikšmingi polinominės regresijos modeliai.....	80

Lentelių sąrašas

1 lentelė. Žvilgsnio taško charakteristikos.....	12
2 lentelė. Fiksacijos taško charakteristikos.....	13
3 lentelė. Sakados parametrai.....	14
4 lentelė. „Tobii Eye Tracker 4C“ techninė specifikacija [8].....	16
5 lentelė. „Tobii-pro-x3-120“ įrenginio techninė specifikacija	17
6 lentelė. „Tobii Pro Nano“ techninė specifikacija	18
7 lentelė. „Gazepoint GP3“ įrenginio techninė specifikacija [10]	19
8 lentelė. Žinomų sistemų pagal svarbiausius reikalavimus	21
9 lentelė. Vidutinės fiksacijos trukmės apskaičiavimas	23
10 lentelė. <i>Dwell</i> laiko skaičiavimas	24
11 lentelė. Galimos konversijos tarp matematinių objektų registru.....	25
12 lentelė. Apribojimas operacinei sistemai	32
13 lentelė. Apribojimas žvilgsnio fiksavimo įrenginiui	33
14 lentelė. Apribojimas foniniu režimu veikiančios posistemės programavimo aplinkai.....	33
15 lentelė. Pagrindinių paketų sekcijų apžvalga	37
16 lentelė. Ciklomatinio sudėtingumo reikšmės vertinimas [49].....	40
17 lentelė. Prižiūrimumo indekso reikšmės vertinimas [48]	40
18 lentelė. Jungumas tarp klasių	41
19 lentelė. Klasių ciklomatinis sudėtingumas.....	42
20 lentelė. Klasių prižiūrimumo indeksas.....	43
21 lentelė. Klasės, reikalaujančios priežiūros pagal daugiau nei vieną metriką	44
22 lentelė. Koreliacijos koeficiento dydžio interpretacijos [59]	47
23 lentelė. Daugialypės regresijos modelių paklaidų analizės rezultatai	64

Paveikslų sąrašas

1 pav. PCCR veikimo principas [4].....	15
2 pav. „Tobii Eye Tracker 4C“ įrenginys [8].....	15
3 pav. „Tobii-pro-x3-120“ įrenginys	16
4 pav. „Tobii Pro Nano“ įrenginys [9]	17
5 pav. „Gazepoint GP3“ įrenginys [10].....	18
6 pav. <i>Ogama</i> sistemos palaikomų įrenginių sąrašas	20
7 pav. Žvilgsnio sutelkimo žemėlapis sukurtas <i>xLabs</i> programine įranga [14].....	21
8 pav. AoI apibrėžimas	23
9 pav. Taškų intensyvumo žemėlapio pavyzdys [21].....	24
10 pav. Matematinų objektų sujungimo simuliuotas vaizdas [25].....	26
11 pav. Skirtingi grafų tipai: iš kairės ortogonalūs, viduryje jėgos nukreipti bei kairėje hierarchiniai [26].....	27
12 pav. Sistemos konteksto diagrama.....	32
13 pav. Foniniu režimu veikiančios žvilgsnio parametrų fiksavimo posistemės panaudos atvejų diagrama.....	33
14 pav. Žvilgsnio parametrų ir charakteristikų vizualizacijos posistemės panaudos atvejų diagrama	34
15 pav. Detalesnis funkcinio reikalavimo aprašymas	35
16 pav. Esybių ryšių diagrama	36
17 pav. Foniniu režimu veikiančios žvilgsnio parametrų fiksavimo posistemės paketų diagrama ..	37
18 pav. Žvilgsnio parametrų ir charakteristikų vizualizacijos posistemės paketų diagrama	38
19 pav. Diegimo aplinka.....	39
20 pav. Jungumas tarp klasių	41
21 pav. Klasių pasiskirstymas pagal ciklo matinio sudėtingumo kategorijas.....	42
22 pav. Klasių kiekio pasiskirstymas pagal prižiūrimumo indekso kategorijas	43
23 pav. Nereikalaujančių priežiūros klasių kiekio procentinė išraiška kiekvienai metrikai.....	45
24 pav. Skaidrė, kurią matė tyrimo dalyvis	48
25 pav. Pirmojo eksperimento laiko praleidimo AoI plotuose pasiskirstymas.....	49
26 pav. Pirmojo eksperimento VARK klausimyno suvestinė	49
27 pav. Pirmojo eksperimento koreliacijos matrica tarp laiko, praleisto žiūrint į pavadinimą, tekstą, grafiką ir formulę, bei V, A, R, K balų	50
28 pav. Pirmojo eksperimento koreliacijos matrica tarp laiko, praleisto žiūrint į pavadinimą ir tekstą, tekstą ir grafiką, pavadinimą ir grafiką, pavadinimą ir formulę, grafiką ir formulę, bei V, A, R, K balų	51
29 pav. Pirmojo eksperimento tiesinės regresijos modelių suvestinė V, A, R ir K balams	51
30 pav. Pirmojo eksperimento tiesinės regresijos modelių suvestinė T2, T1, G ir F AoI tipams.....	52
31 pav. Pirmojo eksperimento V, A, R ir K balų dispersijos ryšis su fiksacijos laikų dispersija AoI plotuose (raudona – teigiama įtaka, mėlyna – neigiama įtaka)	53
32 pav. Pirmojo eksperimento atvirkštinis V, A, R ir K balų dispersijos ryšis su fiksacijos laikų dispersija AoI plotuose (raudona – teigiama įtaka, mėlyna – neigiama įtaka).....	53
33 pav. Antrojo eksperimento laiko praleidimo AoI plotuose pasiskirstymas	55
34 pav. Antrojo eksperimento VARK klausimyno suvestinė	55
35 pav. Antrojo eksperimento koreliacijos matrica tarp laiko, praleisto žiūrint į pavadinimą, tekstą, grafiką ir formulę, bei V, A, R, K balų	56

36 pav. Antrojo eksperimento koreliacijos matrica tarp laiko, praleisto žiūrint į pavadinimą ir tekstą, tekstą ir grafiką, pavadinimą ir grafiką, pavadinimą ir formulę, grafiką ir formulę, bei V, A, R, K balų	56
37 pav. Antrojo eksperimento tiesinės regresijos modelių suvestinė V, A, R ir K balams	57
38 pav. Antrojo eksperimento tiesinės regresijos modelių suvestinė T2, T1, G ir F AoI tipams	58
39 pav. Antrojo eksperimento V, A, R ir K balų dispersijos ryšis su fiksacijos laikų dispersija AoI plotuose (raudona – teigiama įtaka, mėlyna – neigiama įtaka)	58
40 pav. Antrojo eksperimento atvirkštinis V, A, R ir K balų dispersijos ryšis su fiksacijos laikų dispersija AoI plotuose (raudona – teigiama įtaka, mėlyna – neigiama įtaka).....	59
41 pav. Daugialypės polinominės regresijos modelio, spėjančio pavadinimui skiriamo dėmesio santykinę trukmę priklausomai nuo <i>Visual</i> ir <i>Kinesthetic</i> vertinimo, reikšmių rezultatai	60
42 pav. Daugialypės polinominės regresijos modelio, spėjančio formulei skiriamo dėmesio santykinę trukmę priklausomai nuo <i>Kinesthetic</i> ir <i>Aural</i> vertinimo, reikšmių rezultatai.....	60
43 pav. Daugialypės regresijos modelio (Pavadinimas) ← (<i>Visual</i> , <i>Kinesthetic</i>) diagnostinė schema	61
44 pav. Daugialypės regresijos modelio (Formulė) ← (<i>Kinesthetic</i> , <i>Aural</i>) diagnostinė schema	62
45 pav. Daugialypės regresijos modelio (Pavadinimas) ← (<i>Visual</i> , <i>Kinesthetic</i>) paklaidų histograma ir klaidų tikimybės tankio funkcija	63
46 pav. Daugialypės regresijos modelio (Formulė) ← (<i>Kinesthetic</i> , <i>Aural</i>) paklaidų histograma ir klaidų tikimybės tankio funkcija	63
47 pav. Žvilgsnio stebėjimo sistemos perdavimo ir aprobavimo akto kopija.....	79
48 pav. Daugialypės polinominės regresijos modelio, spėjančio formulei skiriamo dėmesio santykinę trukmę priklausomai nuo <i>Read/Write</i> ir <i>Visual+Aural</i> vertinimo, reikšmių rezultatai	80
49 pav. Daugialypės regresijos modelio (Formulė) ← (<i>Read/Write</i> , <i>Visual+Aural</i>) diagnostinė schema.....	80
50 pav. Daugialypės regresijos modelio (Formulė) ← (<i>Read/Write</i> , <i>Visual+Aural</i>) paklaidų histograma ir klaidų tikimybės tankio funkcija	81
51 pav. Daugialypės polinominės regresijos modelio, spėjančio formulei skiriamo dėmesio santykinę trukmę priklausomai nuo <i>Aural+Kinesthetic</i> ir <i>Read/Write+Kinesthetic</i> vertinimo, reikšmių rezultatai	81
52 pav. Daugialypės regresijos modelio (Formulė) ← (<i>Aural+Kinesthetic</i> , <i>Read/Write+Kinesthetic</i>) paklaidų histograma ir klaidų tikimybės tankio funkcija	82
53 pav. Daugialypės regresijos modelio (Formulė) ← (<i>Aural+Kinesthetic</i> , <i>Read/Write+Kinesthetic</i>) paklaidų histograma ir klaidų tikimybės tankio funkcija	82
54 pav. Daugialypės polinominės regresijos modelio, spėjančio formulei skiriamo dėmesio santykinę trukmę priklausomai nuo <i>Visual+Aural</i> ir <i>Visual-Kinesthetic</i> vertinimo, reikšmių rezultatai	83
55 pav. Daugialypės regresijos modelio (Formulė) ← (<i>Visual+Aural</i> , <i>Visual-Kinesthetic</i>) paklaidų histograma ir klaidų tikimybės tankio funkcija	83
56 pav. Daugialypės regresijos modelio (Formulė) ← (<i>Visual+Aural</i> , <i>Visual-Kinesthetic</i>) paklaidų histograma ir klaidų tikimybės tankio funkcija	84
57 pav. Daugialypės polinominės regresijos modelio, spėjančio formulei skiriamo dėmesio santykinę trukmę priklausomai nuo <i>Aural-Read/Write</i> ir <i>Aural+Kinesthetic</i> vertinimo, reikšmių rezultatai... 84	84
58 pav. Daugialypės regresijos modelio (Formulė) ← (<i>Aural-Read/Write</i> , <i>Aural+Kinesthetic</i>) paklaidų histograma ir klaidų tikimybės tankio funkcija.....	85
59 pav. Daugialypės regresijos modelio (Formulė) ← (<i>Aural-Read/Write</i> , <i>Aural+Kinesthetic</i>) paklaidų histograma ir klaidų tikimybės tankio funkcija.....	85

Įvadas

Jau nuo seniausių laikų žmonės siekė suprasti, kaip geriau ir efektyviau įsavinti informaciją. Buvo tiriamos fiziologinės ir psichologinės priežastys, kodėl tam tikra informacija suprantama geriau ar blogiau. Įvairūs mokslininkų tyrimai ir darbai bando įrodyti, jog kiekvienas žmogus turi tam tikra mokymosi stilių arba gali būti priskiriamas tam tikrai mokymosi kategorijai. Mokslininkai šias kategorijas skirsto pagal įvairius bruožus: žmogaus pasaulio suvokimą, jautimus ar psichologines savybes. Pavyzdžiui, vieni žmonės geriau suvokia vizualinius elementus, kiti geriau įsisavina girdimą informaciją, treči geriausiai išmoka liesdami arba dar kiti teikia pirmenybę tekstui. Galima pastebėti, jog mokymosi stiliai gali būti susiję su informacijos pateikimo būdu. Tą pačią informaciją galima pateikti skirtingomis formomis: tekstu, grafiku, žodžiu ar kt. Tačiau dalis mokslininkų į mokymosi stilius žiūri skeptiškai, nes nėra pagrįstų empirinių tyrimų, įrodančių jų teisingumą. Nauja populiarėjanti sritis, žvilgsnio sekimo technologijos, atveria naujas galimybes šių mokymosi stilių pagrįstumo patvirtinimui.

Tyrimo tikslas – įvertinti VARK mokymosi stilių klausimyno pagrįstumą, atsižvelgiant į žvilgsnio sekimo charakteristikas, apskaičiuotas mokymosi objektų vizualiniams elementams.

Tyrimo uždaviniai:

1. išanalizuoti žvilgsnio sekimo įrenginių veikimo principus ir žvilgsnio stebėjimo bei akių sekimo charakteristikas;
2. išanalizuoti mokymosi objektų kūrimo, naudojant vizualinius elementus, problemas;
3. sukurti ir iširti žvilgsnio stebėjimo sistemą;
4. atlikti VARK klausimyno pagrįstumo tyrimą, naudojant žvilgsnio sekimo duomenis.

Šis dokumentas susidaro iš keturių esminių skyrių. Žvilgsnio stebėjimo ir akių sekimo analizės dalyje apžvelgiami akių judėjimo tipai, žvilgsnio sekimo įrenginiai ir jų veikimas, aptariamos egzistuojančios žvilgsnio stebėjimo sistemos, analizuojamos žvilgsnio stebėjimo charakteristikos, nagrinėjama matematinių mokymosi objektų problematika ir mokymosi stiliai. Projekto skyriuje apžvelgiamos esminės sistemos specifikacijos dalys: panaudojimo atvejai, funkciniai ir nefunkciniai reikalavimai, statinis sistemos vaizdas ir diegimo aplinka. Toliau pristatomas žvilgsnio stebėjimo sistemos prižiūravimo metrikų tyrimas. Toliau apžvelgiamas VARK klausimyno pagrįstumo nustatymas, pasitelkiant žvilgsnio sekimo duomenis. Šiame skyriuje pristatoma eksperimento metodologija ir rezultatai. Galiausiai, pateikiamos tyrimo išvados.

1. Žvilgsnio stebėjimo ir akių sekimo analizė

Skyriuje apžvelgiama akių sekimo analizė, žvilgsnio sekimo įrenginių veikimo principai ir patys įrenginiai bei populiarios atviro kodo sistemos. Taip pat matematinių mokymosi objektų problematika ir mokymosi stiliai.

1.1. Įvadas į akių sekimą

Akių sekimas arba okulografija (angl. *eye-tracking*) yra procesas, kurio metu nustatoma žvilgsnio kryptis bei padėtis. Kitaip tariant, akių sekimo pagalba galima nustatyti, kur realiu laiku žiūri žmogus. Žvilgsnio nustatymas yra naudojamas ir pritaikomas daugelyje skirtingų sričių. Pavyzdžiui, palengvinti vartotojų sąsajų valdymą neįgaliesiems, medicininiais tyrimams atstatant akį po įvairių traumų ar marketingo ir reklamos sferoje, kur norima sužinoti, į ką daugiausiai atkreipiamas dėmesys.

Žvilgsniui nustatyti yra naudojami specialūs prietaisai, kurie yra vadinami **žvilgsnio sekimo įrenginiais**. Prietaisų yra įvairių tipų ir jie naudojami priklausomai nuo taikymo srities. Viena iš problemų – aukšto tikslumo žvilgsnio sekimo įrenginiai yra gana brangūs. Be to, dažnai reikalauja specialios programinės įrangos, kuri yra brangi. Tobulėjant technologijoms, atsiranda vis daugiau žvilgsnio sekimo įrenginių, kurie yra pakankamai nebrangūs ir turi pakankamą tikslumą, todėl gali būti naudojami įvairiems tyrimams. Vienas tokių tyrimų ir bus aptariamas šiame darbe.

Akių sekimas yra glaudžiai susijęs su akies anatomija, todėl, norint suprasti žvilgsnio nustatymą, reikalinga suvokti akies judėjimo tipus.

1.2. Akies judėjimo tipai

Šiame poskyryje apžvelgiami akių judėjimo tipai. Jog būtų lengviau suprasti šiuos tipus, pirmiausia apžvelgiama žvilgsnio taškų sąvoka.

1.2.1. Žvilgsnio taškai

Žvilgsnio taškai apibūdina, kur buvo stebima tam tikru metu. Jų kiekis yra gana nemažas, nes jie fiksuojami 60–300 Hz dažniu [1]. Jeigu dažnis 300 Hz, gaunama apytiksliai 300 žvilgsnio taškų. Fiksavimo dažnis priklauso nuo žvilgsnio sekimo įrenginio techninių galimybių.

Žvilgsnio taško charakteristikos pateikiamos 1 lentelėje.

1 lentelė. Žvilgsnio taško charakteristikos

Charakteristika	Paaiškinimas
X	Realusis skaičius, kuris apibūna x koordinatę tam tikroje atskaitos sistemoje
Y	Realusis skaičius, kuris apibūna y koordinatę tam tikroje atskaitos sistemoje
Laiko momentas	Tam tikras laiko momentas, kada buvo nustatytas žvilgsnio taškas.

Žvilgsnio tašką nusako trys charakteristikos: du realūs skaičiai, apibūdinantys x ir y koordinates tam tikroje atskaitos sistemoje, ir laiko momentas, kuris gali būti apibrėžiamas skirtingais vienetais. Šiame tyrime atskaitos sistemą atitinka kompiuterio ekranas, o atskaitos taškas yra viršutinis kairys kampas. Tokį atskaitos tašką naudoja visi nagrinėti žvilgsnio sekimo įrenginiai. Laiko momentui apibrėžti

dažnai naudojama *UTC* formato pilna data milisekundžių tikslumu, *UNIX* arba speciali įrenginio laiko žymė (tam tikras didelis sveikasis arba realusis skaičius). Dažniausiai formatas nėra labai aktualus, kadangi svarbiausias yra pokytis tarp taškų, kuris matuojamas milisekundėmis (siekiant aukščiausio tikslumo galima pasitelkti ir nanosekundes).

1.2.2. Fiksacijos

Fiksacijos – laiko intervalai, kurių metu žmogaus akys sutelkia žvilgsnį į vieną vietą, kad būtų galima geriau suprasti, kas yra matoma [2]. Fiksacijas akių sekimo procese nusako fikacijos taškai. Žvilgsnio taškų pagalba galima juos apskaičiuoti. Fiksacijos taško charakteristikos pateikiamos 2 lentelėje.

2 lentelė. Fiksacijos taško charakteristikos

Charakteristika	Paaiškinimas
X	Realusis skaičius, kuris apibūna x koordinatę tam tikroje atskaitos sistemoje
Y	Realusis skaičius, kuris apibūna y koordinatę tam tikroje atskaitos sistemoje
Pradžios laiko momentas	Momentas, kada prasidėjo fikacija.
Pabaigos laiko momentas	Momentas, kada pasibaigė fikacija
Trukmė	Fiksacijos laiko intervalas

Fiksacijos kaip ir žvilgsnio taškai turi kelias bendras charakteristikas – du realius skaičius, apibūdinančius x ir y koordinates tam tikroje atskaitos sistemoje. Be to, galima sakyti, kad jie išplečia žvilgsnio taškus šiomis charakteristikomis:

1. pradžios ir pabaigos laiko momentai. Fiksacijos taškai yra apytiksliai apskaičiuojami naudojant žvilgsnio taškų seką, kuri yra apdorojama naudojant tam tikrus matematinius algoritmus. Algoritmų pagalba siekiama atstatyti fikacijos kryptį ir trukmę;
2. trukmė – skirtumas tarp pradžios ir pabaigos laiko momentų.

Keli žinomi ir svarbūs tyrimui teiginiai susiję su fikacijomis: [1]:

1. trukmė siekia vidutiniškai 50–600 milisekundžių;
2. informacijos apdorojimo minimali trukmė priklauso nuo objekto tipo, kuris yra stebimas, ir atliekamos šalutinės veiklos tuo momentu.

Šis akies judėjimo tipas yra reikšmingas ir svarbus, nes tyrėjai fikacijoms apdoroti yra sukūrę įvairių modelių bei filtrų, kuriuos pasitelkiant galima išsiaiškinti tokias žmogaus savybes kaip aplinkos suvokimas, matomumas, protinis efektyvumas ar dėmesio išlaikymas [1].

1.2.3. Sakados

Fiksacijų pagalba galima apskaičiuoti ir nustatyti **sakadas**. Sakada nusako staigų akies judėjimą tarp dviejų fikacijos taškų [2]. Sakados charakteristikos pateikiamos 3 lentelėje.

3 lentelė. Sakados parametrai

Laukas	Paaiškinimas
Kryptis	Kampas tarp dviejų tašku
Amplitudė	Sakados dydis matuojamas laipsniais
Greitis	Kaip greitai įvyko akies judėjimas, amplitudė padalinta iš trukmės
Pradžios laiko momentas	Kada užfiksuotas pradinis taškas
Pabaigos laiko momentas	Kada užfiksuotas galutinis taškas
Trukmė	Skirtumas tarp pradžios ir pabaigos laiko momentų

Sakados skiriasi nuo fiksacijos ir žvilgsnio taškų, nes neturi x ir y koordinačių. Sakadą nusako charakteristikos: trukmė, greitis, amplitudė, kryptis ir pradžios bei pabaigos laiko momentai [3].

Žinomi faktai apie sakadas [1]:

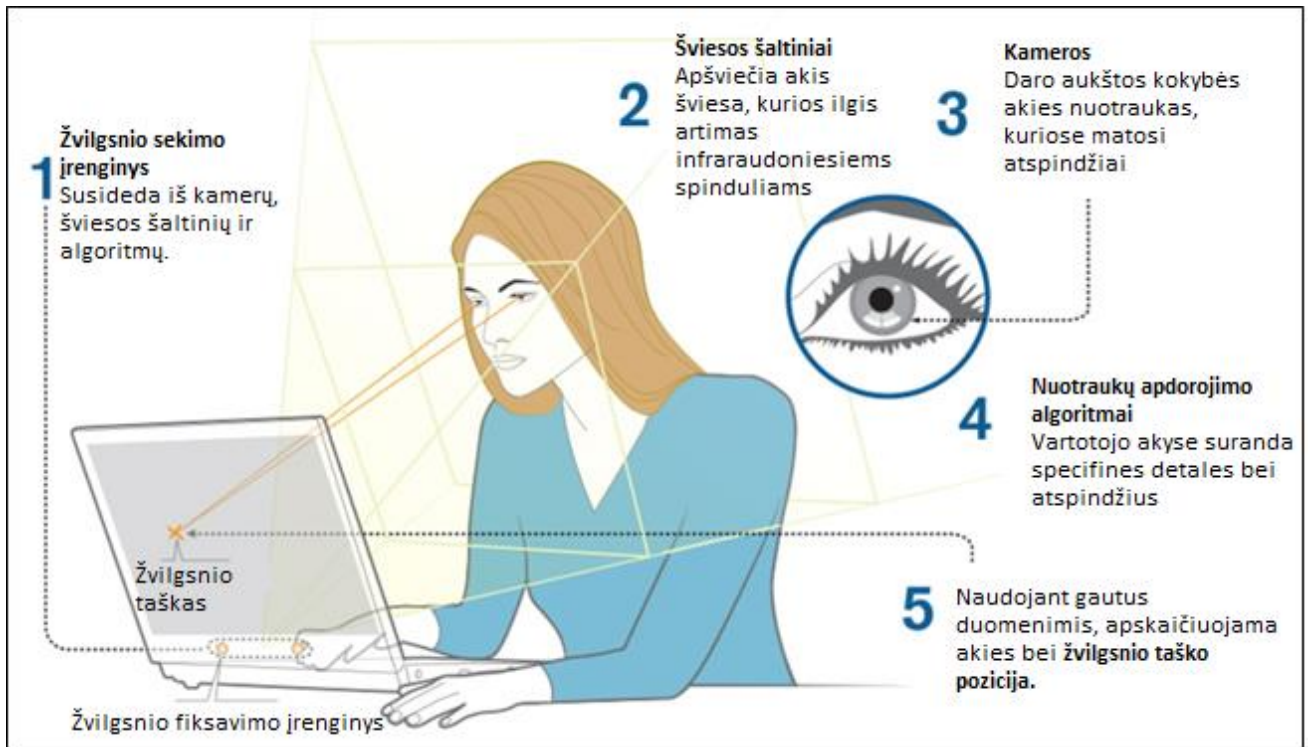
1. akies judesiai gali būti sąmoningi arba refleksiniai;
2. akių judėjimo kryptis yra vienoda;
3. sąmoningo ar refleksinio judesio suplanavimas gali trukti 100–1000 milisekundžių;
4. trukmė vidutiniškai siekia 20–40 milisekundžių;
5. kuo didesnė trukmė, tuo didesnė amplitudė, todėl šios reikšmės yra tiesiškai priklausomos;
6. trajektorija, kurią turi sakada, nebūtinai yra tiesi.

Tai yra tik keli iš daugelio akių judėjimo tipų, tačiau kiti neaptariami, nes jie nėra aktualūs kuriamai sistemai bei atliekamam tyrimui.

1.3. Žvilgsnio sekimo įrenginių veikimas

Nauji nuotoliniai žvilgsnio fiksavimo įrenginiai naudoja vyzdžio centro ir ragenos atspindžio (angl. *pupil centre corneal reflection*, PCCR) metodą [4]. Šis metodas paremtas faktu, jog ragena yra beveik idealios sferos formos. Todėl atspindys lieka toje pačioje pozicijoje, kol vyzdys juda žvilgsnio kryptimi. Žinoma, kiekvieno žmogaus ragenos dydis yra skirtingas, todėl reikalinga sukalibruoti įrenginį kiekvienam atskirai [5].

Šis metodas veikia taip, kad pirmiausiai žmogaus veidas yra apšviečiamas infraraudonaisiais spinduliais. Tai atlieka žvilgsnio sekimo įrenginys, kuriame yra šviesos šaltinis. Kiekviename įrenginyje yra kamera, kuri bando užfiksuoti akies nuotrauką. Priklausomai nuo kameros ir šviesos šaltinio padėties gaunamas šviesaus [6] arba tamsaus vyzdžio efektas [7]. Jeigu kameros objektyvas yra netoli šviesos šaltinio, dėl ragenos atspindžio vyzdžiai tampa šviesūs, priešingu atveju, tamsūs. Skirtumas taip šviesaus ir tamsaus vyzdžio nuotraukų naudojamas vyzdžio aptikimui. Taip pat reikia nustatyti atskaitos tašką galvos judėjimui suvaldyti. Tam žvilgsnio sekimo įrenginys naudoja ragenos atspindžio nuotrauką, kuri dar vadinama *Purkinje* nuotrauka. Šios visos užfiksuotos nuotraukos naudojamos nustatant ir apskaičiuojant žvilgsnio taškus [7]. PCCR technikos naudojimas žvilgsnio taško nustatymui akių sekimo įrenginyje pavaizduotas 1 pav.



1 pav. PCCR veikimo principas [4]

Žvilgsnio taško nustatymas susidaro iš šių dalių (etapų):

1. akių sekimo įrenginio, kuriame yra kameros, šviesos šaltiniai ir programinė įranga, kurios pagalba apdorojamos nuotraukos;
2. žvilgsnio sekimo įrenginys apšviečia akis infraraudonaisiais spinduliais;
3. kameros fiksuoja sukurtą tamsaus arba šviesaus vyzdžio efektą ir ragenos atspindį;
4. programinė įranga, skirta nuotraukų apdorojimui, nustato specifines detales bei atspindžius akies nuotraukoje.
5. naudojant gautus duomenis, apskaičiuojama akies bei žvilgsnio taško pozicija ekrane.

1.4. Žvilgsnio Fiksavimo įrenginiai

Dabartiniu momentu egzistuoja nemažai skirtingų žvilgsnio fiksavimo įrenginių – nuo labai profesionalių ir brangių iki paprastų, kurie tiesiog integruojami į kamerą arba kamera naudojamas kaip žvilgsnio fiksavimo įrenginys. Toliau apžvelgiami įrenginiai, kurie galėtų būti naudojami tyrimui.

1.4.1. „Tobii Eye Tracker 4C“ įrenginys

„Tobii Eye Tracker 4C“ įrenginys pateiktas 2 pav.



2 pav. „Tobii Eye Tracker 4C“ įrenginys [8]

Įrenginys nedidelis, dažniausiai tvirtinamas apačioje vaizduoklio. Įrenginio techninės specifikacijos pateiktos 4 lentelėje.

4 lentelė. „Tobii Eye Tracker 4C“ techninė specifikacija [8]

„Tobii Eye Tracker 4C“	
Dydis	17x15x335 mm
Masė	95 gramai
Rekomenduojamas	27 coliai, 16:9 vaizdo kraštinių santykis
Darbo atstumas	50–95 cm
Sekimo kvadrato dimensijos	16 x 12" / 40 x 30 cm su 29.5" / 75 cm
Prijungimas	USB 2.0
Palaikomos operacinės sistemos	<i>Windows 7, 8.1 ir 10</i>
Galia	2.0 W
USB duomenų perdavimo greitis	100 KB/s
Dažnis	90 Hz
Šviesos šalinių bangų ilgis	NIR 850 nm
Sistemos rekomendacijos	2.0 GHz, <i>Intel i5</i> arba <i>i7</i> , 8 GB RAM

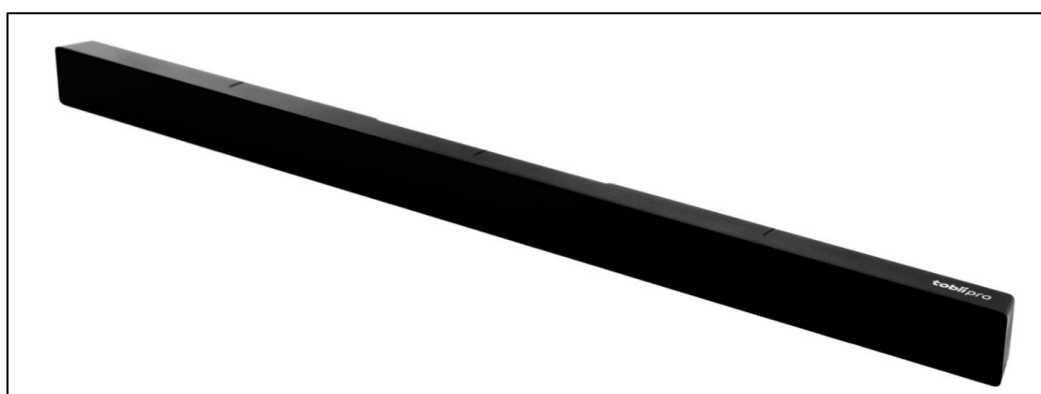
Esminės aktualios funkcijos:

- turi C# programavimo kalbos SDK;
- SDK pagalba galima gauti žvilgsnio bei fiksacijos taškų srautus.

Įrenginys palaiko visas reikalingas funkcijas tyrimui, yra pakankamo tikslumo ir jo kaina sąlyginai nedidelė – 169 eurai.

1.4.2. „Tobii-pro-x3-120“ įrenginys

„Tobii-pro-x3-120“ įrenginys pateiktas 3 pav.



3 pav. „Tobii-pro-x3-120“ įrenginys

Tai taip gana nedidelis, tvirtinamas vaizduoklio apačioje, panašus į „Tobii Eye Tracker 4C“, tačiau yra tikslesnis ir turi daugiau funkcijų. Techninė įrenginio specifikacija pateikta 5 lentelėje.

5 lentelė. „Tobii-pro-x3-120“ įrenginio techninė specifikacija

„Tobii-pro-x3-120“	
Dydis	20x17x324 mm
Masė	118 gramų
Rekomenduojamas	25 coliai, 16:9 vaizdo kraštinių santykis
Darbo atstumas	50–90 cm
Sekimo kvadrato dimensijos	50x40 cm (19.7"x15.7") (esant 80 cm atstumui)
Prijungimas	USB 3.0, LAN
Palaikomos operacinės sistemos	Windows 7, 8.1 ir 10, Mac OS X, Linux
Galia	3.0 W
USB duomenų perdavimo greitis	1024 KB/s
Dažnis	120 Hz
Šviesos šalinųjų bangų ilgis	NIR 850 nm
Sistemos rekomendacijos	2.0 GHz, Intel i5 arba i7, 8 GB RAM

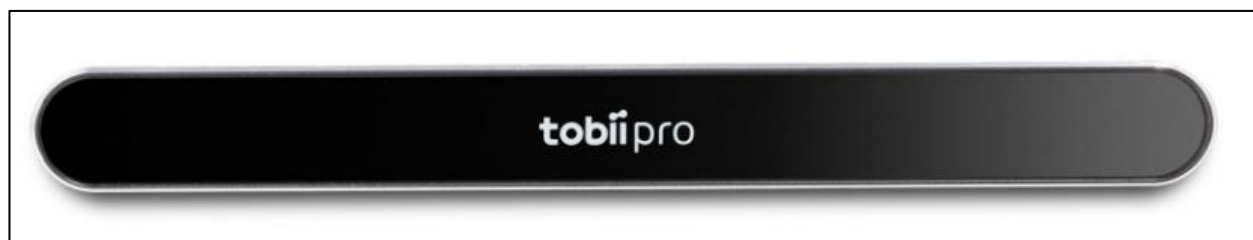
Esminės aktualios funkcijos:

- turi C# programavimo kalbos *SDK*;
- leidžia gauti žvilgsnio, fiksacijos taškus, sakadas, kiekvienos akies informaciją atskirai bei galvos padėtį atskaitos sistemoje;
- toleruoja gana nemažus galvos pasikeitimus erdvėje;
- aukšto lygio kalibravimas, nereikalauja dažnai perkalibruoti;
- prisitaiko prie įvairaus apšvietimo sąlygų.

Vienintelis šio įrenginio trūkumas, jog jo kaina siekia daugiau negu 1000 eurų.

1.4.3. „Tobii Pro Nano“ įrenginys

„Tobii Pro Nano“ įrenginys pateiktas 4 pav.



4 pav. „Tobii Pro Nano“ įrenginys [9]

Tai dar vienas Pro serijos įrenginys, kuris yra mažiausias iš visų nagrinėtų. Techninės įrenginio specifikacijos pateiktos 6 lentelėje.

6 lentelė. „Tobii Pro Nano“ techninė specifikacija

„Tobii Pro Nano“	
Dydis	13x18x170 mm
Masė	59 gramai
Rekomenduojamas didžiausias ekrano dydis	19 coliai, 16:9 vaizdo kraštinių santykis
Darbo atstumas	45–85 cm
Sekimo kvadrato dimensijos	35 cm x 30 cm (19.7" x 15.7") (esant 80 cm atstumui)
Prijungimas	USB 2.0
Palaikomos operacinės sistemos	Windows 10
Galia	2.0 W
USB duomenų perdavimo greitis	100 KB/s
Dažnis	60 Hz
Šviesos šalinųjų bangų ilgis	NIR 850 nm
Sistemos rekomendacijos	2.0 GHz, Intel i5 arba i7, 8 GB RAM

Šis įrenginys tinkamas tyrimams, kurie susiję su fiksacijos taškų analize, nes dirba gana žemu dažniu. Esminės funkcijos:

- turi C# programavimo kalbos pro SDK;
- leidžia gauti žvilgsnio, fiksacijos taškus ir kiekvienos akies informaciją atskirai;
- aukšto lygio kalibravimas, nereikalauja dažnai perkalibruoti;
- prisitaiko prie įvairaus apšvietimo sąlygų.

Pagal savo galimybes šis įrenginys būtų geriausias atliekamam tyrimui, tačiau jo kaina taip pat siekia daugiau negu 1000 eurų.

1.4.4. Gazepoint GP3

„Gazepoint GP3“ įrenginys pateiktas 5 pav.



5 pav. „Gazepoint GP3“ įrenginys [10]

Tai „iMotions“ kompanijos gaminimas žvilgsnio fiksavimo įrenginys. Jo techninė specifikacija pateikta 7 lentelėje.

7 lentelė. „Gazepoint GP3“ įrenginio techninė specifikacija [10]

Gazepoint GP3	
Dydis	45x40x320 mm
Masė	140 gramų
Rekomenduojamas didžiausias ekrano dydis	24 coliai, 16:9 vaizdo kraštinių santykis
Darbo atstumas	50–80 cm
Sekimo kvadrato dimensijos	25x11 cm
Prijungimas	USB
Palaikomos operacinės sistemos	Windows 10
Dažnis	60 Hz
Šviesos šalinųjų bangų ilgis	NIR 850 nm
Sistemos rekomendacijos	2.0 GHz, Intel i5 arba i7, 8 GB RAM

Įrenginys neturi jokio atvirojo kodo SDK, todėl reikėtų papildomai pirkti „iMotions“ programinę įrangą, kuri kainuoja apie 3000 eurų.

1.5. Egzistuojančios žvilgsnio stebėjimo sistemos

Šiame poskyryje apžvelgiamos atvirojo kodo sistemos, kurios skirtos atlikti žvilgsnio fiksavimą, pasitelkiant akies sekimo įrenginį. Pasirinkti *PyGaze*, *Ogama* ir *xLabs* produktai [11].

1.5.1. „PyGaze“

Visų pirma, analizuojama *PyGaze* programinė įranga (PI). Ši PI palaiko internetines kameras bei infraraudonųjų spindulių akių sekimo įrenginius: *Tobii* ir *SensoMotoric Instruments iViewX*. Svarbu paminėti, jog *PyGaze* palaiko *Python 2.x* programavimo kalbą, kurios pagalba galima praplėsti PI [12]. Sistemoje yra galimybė duomenis išsaugoti skirtingais formatais, tačiau tai nėra taip paprasta, nes reikia papildomai programuoti *Python* programavimo kalba. Be to, *PyGaze* duomenų analizės palaikymas yra gana siauras. Šį sprendimą galima laikyti labiau biblioteka negu pilnu produktu. Bibliotekos pagalba galima kurti savus sprendimus, turint pagrindines akių sekimo charakteristikas. Pagrindiniai trūkumai:










- ribotas akių sekimo įtaisų palaikymas be galimybės naujai integracijai;
- nėra bendros duomenų saugyklos, kurioje būtų galima saugoti duomenis tyrimus atliekant skirtingose vietose [12].

1.5.2. „Ogama“

Toliau aptariama *Ogama* sistema, kuriama Vokietijoje, Berlyno laisvajame universitete. Projektas sukurtas naudojant .NET karkasą ir yra atvirojo kodo. Šis produktas turi galimybę įrašinėti bei tyrinėti akių charakteristikas ir realiu laiku gali išsaugoti pelės klavišus. Esminės PI funkcijos:

- galimybė apskaičiuoti *Leventshtein* atstumą;
- galimybė generuoti dėmesio sutelkimo žemėlapi;
- ekrano vaizdo įrašymas su žvilgsnio parametrais;
- pasitelkiant įterptinę duomenų bazę, galima filtruoti ir analizuoti žvilgsnio parametrus [13].

Didelis PĮ privalumas, jog ji turi integraciją su internetinėmis kameromis bei populiariausiais žvilgsnio sekimo įrenginiais (žr. 6 pav.).

	The Eye Tribe for use directly from the recording interface.
	Smart Eye Aurora devices for use directly from the recording interface.
	Mirametrix S2 for use directly from the recording interface.
	alea technologies IG-30 Pro for use directly from the recording interface.
	Tobii series for use directly from the recording interface using the new free Tobii SDK3.
	EyeTech VT2 for use directly from the recording Interface, written by Erik (www.validators.nl).
	ASL series for use directly from the recording interface.
	Gazepoint GP3 for use directly from the recording interface.
	Senso Motoric Instruments iViewX and Red-M System for use directly from the recording interface.
SR Research, LC Technologies, etc.	All other devices recordings can be imported via an ASCII import assistant.

6 pav. Ogama sistemos palaikomų įrenginių sąrašas

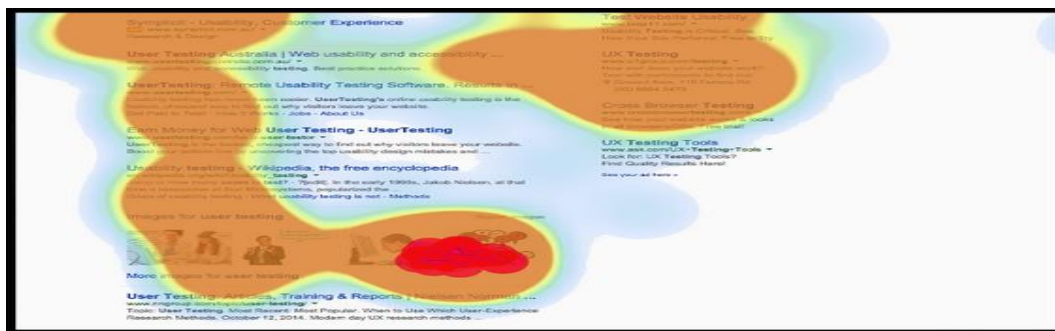
Į palaikomų įrenginių sąrašą įeina beveik visi žinomi komerciniai akių sekimo įtaisai: „Tobii Pro“, „The Eye Tribe“ ir kt.

Silpnosios sistemos vietos:

- nėra galimybės praplėsti sistemos nauju žvilgsnio sekimo įrenginiu ar duomenų formatu;
- trūksta dokumentacijos, kaip naudotis sistema;
- nėra PĮ palaikymo – praėjo 3 metai nuo paskutinio išleidimo;
- kadangi nėra palaikymo, neegzistuoja galimybė dirbti su naujausiais žvilgsnio sekimo įrenginiais;
- nėra centralizuotos duomenų saugyklos.

1.5.3. „xLabs“

Galiausiai apžvelgiama pakankamai naujos, nedidelės įmonės *xLabs Pty Ltd* kuriama PĮ – *xLabs*. *xLabs* pritaikytas veikti *Google Chrome* naršyklėje kaip įskiepis. Vienas iš plusų, jog ši sistema veikia naršyklėje, todėl yra pasiekiamas didelės auditorijos bei yra nesunkiai įdiegiama. *xLabs* palaiko internetinę kamerą, kurios pagalba gali aptikti veidą, nustatyti galvos padėtį bei sugeneruoti dėmesio sutelkimo žemėlapius (žr. 7 pav.) [14].



7 pav. Žvilgsnio sutelkimo žemėlapis sukurtas xLabs programine įranga [14]

Taip pat sistema suteikia programinės įrangos kūrimo įrankius (angl. *software development kit* (SDK)). SDK pagalba galima kurti įvairias integracijas. Pavyzdžiui, tai galėtų būti kažkokio pobūdžio žaidimas, kuris valdomas galvos judesių pagalba. xLabs daugiausiai skirta spręsti praktinio pobūdžio uždaviniams, pasitelkiant žvilgsnį ar galvų judesius [14].

Pagrindiniai sistemos minusai:

- nėra galimybės naudoti infraraudonųjų spindulių žvilgsnio sekimo įrenginių;
- sunkus užfiksuotų žvilgsnio sekimo duomenų išsaugojimas
- duomenų formatų skaičius labai ribotas;
- nėra sąsajos skirtos žvilgsnio parametrų analizavimui.

1.5.4. Egzistuojančių sistemų palyginimas

Žinomų sistemų palyginimas pagal svarbiausius reikalavimus pateiktas 8 lentelėje.

8 lentelė. Žinomų sistemų pagal svarbiausius reikalavimus

	PyGaze	Ogama	xLabs	Kuriama sistema
Palaikoma keletas skirtingų žvilgsnio sekimo įrenginių	Taip	Taip	Ne	Taip
Palaikomas infraraudonųjų spindulių žvilgsnio sekimo įrenginys	Taip	Taip	Ne	Taip
Palaikoma internetinė kamera	Taip	Taip	Ne	Ne
Ekrano vaizdo įrašymas su žvilgsnio taškais	Taip	Taip	Taip	Taip
Centralizuota duomenų saugykla	Nėra	Nėra	Nėra	Yra
Duomenų išsaugojimas skirtingais formatais	Taip	Taip	Ne	Taip
Žvilgsnio charakteristikų analizės palaikymas	Taip	Taip	Ne	Taip
Programinė sąsaja naujo duomenų formato ar žvilgsnio įrenginio palaikymui	Ne	Ne	Ne	Taip
Ekrano zonų žymėjimas	Ne	Ne	Ne	Taip

Galima pastebėti, jog analizuotos sistemos išpildo nemažą dalį svarbiausių reikalavimų:

- gali dirbti su skirtingais žvilgsnio sekimo įrenginiais;
- palaiko skirtingus duomenų formatus;
- geba atlikti žvilgsnio charakteristikų analizę.

Tačiau neatitinka keleto esminių reikalavimų:

- neturi programinės sąsajos naujo duomenų formato ar įrenginio palaikymui;
- ekranų zonų žymėjimo, kurio pagalba galima analizuoti tik tai aktualius plotus;
- centralizuotos išorinės saugyklos duomenims.

1.6. Situacijos Lietuvoje įvertinimas

Įmonių, kuriančių programinę įrangą ar žaidimus, susijusius su žvilgsnio sekimo technologijomis, Lietuvoje nėra. Tai kol kas dar mažai išplėtotą sritį Lietuvoje, kuria daugiausiai domisi universitetų mokslininkai.

Tyrimus susijusius su žvilgsnio sekimo technologijomis atlieka Kauno technologijos, Vilniaus bei Šiaulių universitetai. Mokslinių straipsnių galima rasti daugiau negu 20, taip pat yra išleistų knygų. Keletas straipsnių iš kiekvieno universiteto aptariami toliau.

VU mokslininkai Šuminas ir kt. [15] atliko Lietuvos nacionalinio muziejaus tinklalapio panaudojamumo analizę pasitelkiant žvilgsnio sekimą. Tyrimo tikslas buvo iš vartotojo pusės nustatyti, kokia informacija yra reikalingiausia tinklalapyje. Tam fiksuojamas vartotojų žvilgsnis ir, pasinaudojant užfiksuota informacija, sudaryti intensyvumo žemėlapiai. Jų pagalba buvo nustatyta, jog aktualiausia vartotojams informacija yra: darbo valandos, muziejaus vieta, bilieto kaina ir žinios apie eksponatus [15].

KTU mokslininkai Raudonis ir kt. [16] tyrė žvilgsnio sekimo technologijų panaudojimą tam tikrų komandų vykdymui pasitelkiant tik akį. Jų sukurta sistema buvo testuota žaidžiant labirinto tipo žaidimą tinklalapyje, teksto rašymui naudojant „EyeWriter“ programą ir dar viename kompiuteriniame žaidime. Tokio pobūdžio tyrimai naudingi ir gali padėti geriau įsilieti į gyvenimą neįgaliems asmenims [16].

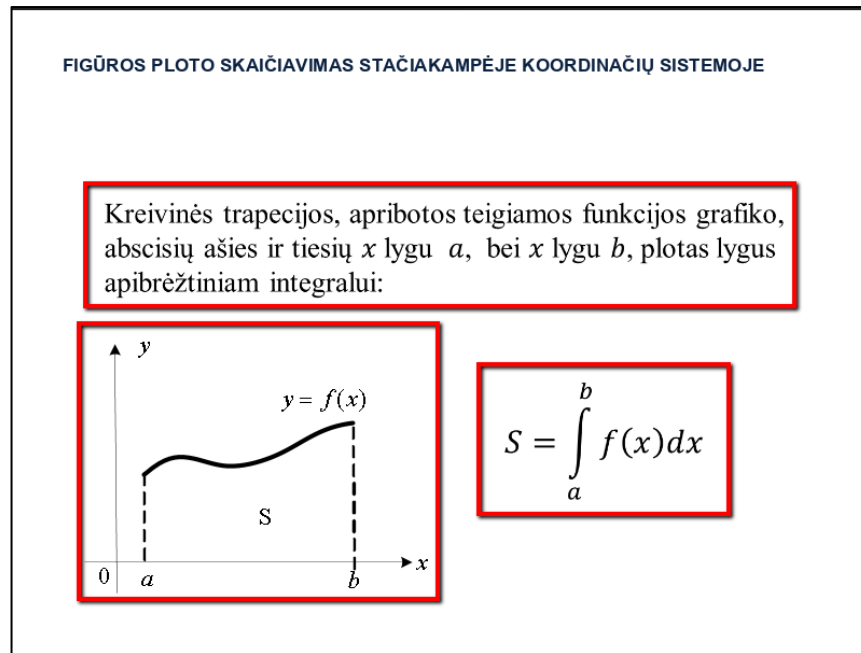
Šiaulių universiteto mokslininkai Daunys ir kt. [17] tyrė žvilgsnio pozicijos nustatymo tikslumą pasitelkiant nuotraukų apdorojimo skirtingus algoritmus. Buvo išskirti įvairių algoritmų privalumai ir trūkumai skirtingose sąlygose [17].

1.7. Žvilgsnio stebėjimo charakteristikos

Toliau apžvelgiamos tyrimui svarbios žvilgsnio stebėjimo charakteristikos.

1.7.1. Susidomėjimo plotų apibrėžimas

Vienas iš tyrimo uždavinių – sužinoti, kiek laiko tiriamas subjektas praleidžia skaitydamas tekstą bei analizuodamas formules ir grafikus. Tam uždaviniui pasiekti naudojamas susidomėjimo plotų apibrėžimo principas (angl. *areas of interest*, AoI) [18]. Naudojant apibrėžtą susidomėjimo plotą, kuriame yra tam tikras matematinis objektas, galima analizuoti, kaip informacija yra apdorojama tame plote. Vienu metu tiriamas subjektas gali matyti daugiau negu vieną AoI plotą (žr. 8 pav.).



8 pav. AoI apibrėžimas

Kaip matoma, tiriamasis subjektas gali vienu momentu matyti visus tris skirtingus matematinius objektus: tekstą, formulę ir grafiką. Kiekvienas iš šių turi savo atskirą AoI plotą.

Atsižvelgiant į poreikį AoI plotą galima analizuoti keliais skirtingais lygiais:

- makro – tai analizuojami anksčiau minėti dideli AoI kiekvienas atskirai;
- meso – tai analizuojami mažesni plotai esantys kažkokiam AoI;
- mikro – tai analizuojami konkretūs, nedideli plotai. Gali būti konkretus žodis ar raidė.

Tyrimo metu bus naudojami makrolygio AoI.

1.7.2. Vidutinė fiksacijos trukmė AoI plote

Vidutinė fiksacijos trukmė plote lemia, kiek ilgai vidutiniškai truko fiksacijos taškai. Pavyzdinis fiksacijos trukmės skaičiavimas pateiktas 9 lentelėje.

9 lentelė. Vidutinės fiksacijos trukmės apskaičiavimas

Fiksacijos taškas	Trukmė (ms)
1 taškas	300
2 taškas	400
3 taškas	500
Vidutinė fiksacijos trukmė	400

Vidutinė fiksacijos trukmė gaunama imant visų fiksacijos taškų tam tikrame AoI trukmių vidurkį. Tai leidžia nuspręsti, į kuriuos AoI plotus subjektas sutelkia daugiau ar mažiau dėmesio.

1.7.3. Fiksacijų kiekis AoI plote

Nuo fiksacijų AoI plote kiekio priklauso, kaip tam tikrą turinį apdoroja subjektas. Jeigu plote užfiksuoja daug fiksacijų, tai gali reikšti, jog jame yra neaiški, sudėtinga informacija, todėl ją

reikia perskaityti ar apdoroti keletą kartų. Pavyzdžiui, žodis, kurio plote užfiksuota daug fiksacijų, yra dažniausiai sudėtingas [19]. Turint fiksacijų kiekį bei trukmę, galima nuspręsti, ar subjektas žiūrėjo ilgesniais ar trumpesniais tarpais į tam tikrą AoI plotą.

1.7.4. Fiksacijos trukmė AoI plote (angl. *dwell*)

Fiksacijos trukmė AoI plote apibrėžia, kiek iš viso laiko žvilgsnis buvo sutelktas tame plote [20]. *Dwell* laiko skaičiavimas pateiktas 10 lentelėje.

10 lentelė. *Dwell* laiko skaičiavimas

Fiksacijos taškas	Trukmė (ms)
1 taškas	300
2 taškas	400
3 taškas	500
Dwell laikas	1200

Dwell laikas lygus visų fiksacijos taškų trukmių sumai. Tikimasi, jog *dwell* laiko reikšmė bus didesnė tose vietose, kur yra sudėtingesnė apdorojimui informacija, nes tada reikia daugiau laiko suvokimui.

1.7.5. Taškų intensyvumo žemėlapiai

Taškų intensyvumo žemėlapiai vizualizuoja žvilgsnio taškų pasiskirstymą. Dažniausiai rodomi kaip spalvų gradiento persidengimai simuliuotame vaizde. Pavyzdžiui, naudojamos žalios, geltonos ir raudonos spalvos, atitinkamai reiškiančios vis didėjantį intensyvumą. Taškų intensyvumo žemėlapių pavyzdys pateiktas 9 pav.



9 pav. Taškų intensyvumo žemėlapių pavyzdys [21]

Šie žemėlapiai patogūs susidaryti greitą vaizdą, į kurias vietas subjektas daugiausiai atkreipia dėmesį.

1.7.6. Sugrįžimų kiekis į tam tikrą AoI plotą

Sugrįžimų kiekis lemia, kiek kartų subjektas nukreipė žvilgsnį atgal, ten kur jau buvo nukreipęs bent vieną kartą. Tai leidžia matyti, kurie AoI plotai sulaukia daugiausiai pakartotinio dėmesio. Sugrįžti subjektas gali dėl įvairių priežasčių – ta vieta buvo nepakankami aiški, pasirodė įdomi ar kt.

Papildomai būtų galima matuoti, iš kurio AoI ploto sugrįžo subjektas, taip apibrėžiant sąryšį tarp skirtingų AoI plotų.

1.8. Matematinų objektų tyrimo specifika

Matematiniai objektai yra išskirtiniai, nes yra dažnai sunkiai apčiuopiami ir vaizduojami per tam tikras išraiškas ir ženklus [22]. Pavyzdžiui, funkcija gali būti pavaizduota lygtimi, reikšmių lentele arba grafiku. Šis išskirtinumas turi didelę įtaką tiems, kas mokosi matematikos. Tiksliau tariant, norint gerai suvokti ir manipuluoti matematikos objektais reikalinga kompetencija, kuri leistų suvokti tuos pačius objektus vienoje išraiškoje arba tarp skirtingų išraiškų [22]. Toliau pateikiama kelių susijusių tyrimų eksperimentų analizė, kurios rezultatais remiantis bus mėginama susidaryti tam tikrą matematinų objektų tyrimo specifika.

1.8.1. Semiotika

Matematikos išraiškų suvokimo nagrinėjamas paremtas semiotika. Semiotika – tai mokslo šaka tirianti ženklus, simbolius, jų panaudojimą bei interpretacija tam tikrame kontekste [23]. Semiotikos tyrinėtojas matematikos srityje Duval'is išskiria semiotikos išraiškų grupavimą į vadinamuosius registrus – kiekviena semiotikos išraiška priklauso tam tikram registrui [24]. Šis grupavimas paremtas 3 charakteristikomis:

- yra tiek skirtingų to pačio matematinio objekto semiotikos išraiškų, kiek yra semiotinių registrų naudojamų matematikoje;
- kiekviena skirtinga to pačio matematinio objekto semiotikos išraiška nebūtinai atspindi visas tas pačias objekto savybes. Yra atspindinimas išraiškos turinys, kuris nebūtinai yra vienodas;
- semiotinės išraiškos neturėtų būti painiojamos su matematiniais objektais, kuriuos jos atspindi.

Matematinio objekto semiotikos išraiška gali būti priklausyti vienam iš šių registrų: natūrali kalba, užrašymas simboliškai bei grafikai. Tas pats matematinis objektas gali būti priklausyti vienam iš šių registrų bei galimas konvertavimas iš vieno registro į kitą. [22]. Galimos konversijos pateiktos 11 lentelėje.

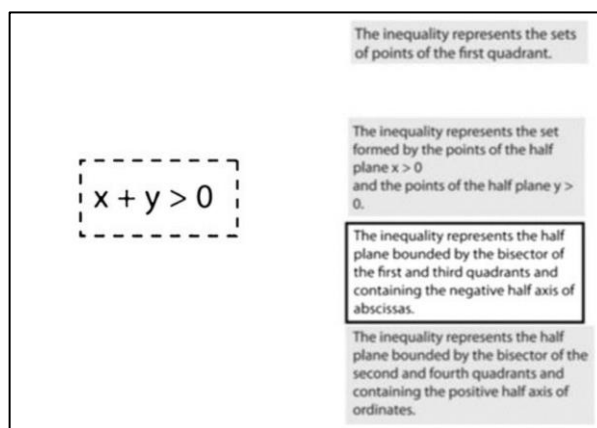
11 lentelė. Galimos konversijos tarp matematinų objektų registrų

Iš	Į
Formulė	Tekstas
Tekstas	Formulė
Grafikas	Tekstas
Tekstas	Grafikas
Grafikas	Formulė
Formulė	Grafikas

Galima pastebėti, jog visi registrai gali pasikeisti į bet kurį kitą. Tai reiškia, jog konversija galima tarp formulės, grafiko ir teksto besąlygiškai.

1.8.2. Skirtingų matematinių objektų išraiškų skaitymo bei susiejimo tyrimas pasitelkiant žvilgsnio stebėjimo technologijas

Nagrinėjamas labai panašaus pobūdžio tyrimas, kuris bus atliekamas darbe. Jo eiga ir gauti rezultatai gali padėti geriau suvokti matematikos objektų mokymosi sudėtingumo analizę. Tyrimo, kurį atliko Andrá ir kt. [25], tikslas buvo ištirti, kaip skirtingos to pačio matematinio objekto išraiškos (tekstas, formulės ir grafikai) suprantamos studentų, pasitelkiant žvilgsnio sekimo technologijas. Subjektams buvo pateikiami simuliuoti vaizdai, kuriuose reikėdavo sujungti formulę arba grafiką su atitinkamu matematiniu tekstu (iš viso būdavo 4 teksto variantai 10 pav.).



10 pav. Matematinių objektų sujungimo simuliuotas vaizdas [25]

Užduotys buvo iš įvairių temų ir įvairaus sudėtingumo. Tikslas buvo surasti ryšį tarp perėjimo iš skirtingų registru išraiškų ir užfiksuotų žvilgsnio charakteristikų. Tyrime naudojama vidutinė fiksacijos trukmė AoI plote, fiksacijų kiekis bei *Dwell* laikas. Be to, buvo išskirtos dvi subjekto stebėjimo būsenos: skirtingų matematinių objektų lyginimas ir žvalgymasis po visą simuliuotą vaizdą.

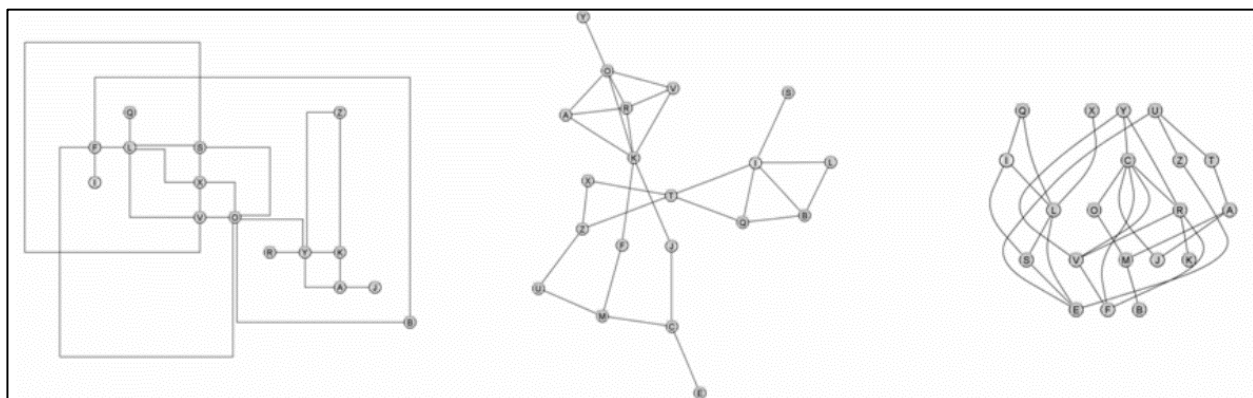
Gauti sujungimo tarp matematinių objektų rezultatai rodė, jog geriausiai sekėsi sujungti grafiką su tekstu, toliau tekstą su formule, o galiausiai formule su tekstu. Ilgiausios fiksacijos truko žiūrint į formules, o trumpiausios į tekstą ir grafiką. Daugiausia fiksacijos taškų užfiksuota teksto bei grafiko ribose, mažiausiai formulės plote. Prieita prie išvados, jog į formules žiūrima ilgesniais intervalais, nes reikia daugiau laiko suvokimui. Be to, nustatyta, jog daugiausia laiko apie 75–80 % užtrukta nagrinėjant konkretų matematinį objektą, 5–10 % bandant rasti ryšį tarp skirtingų objektų.

Remiantis šiuo tyrimu ir jo rezultatais, galima susidaryti vaizdą, jog mūsų žvilgsnis atsižvelgiant į tai, kokioje semiotikos išraiškoje matematikos objektas, turi skirtingas charakteristikas. Be to, tekstas ir grafikai yra apdorojami panašiu principu – greitai ir daug kartų mūsų akys analizuoja tam tikrą plotą. Formulės reikalauja šiek tiek ilgesnio dėmesio sutelkimo.

Šiame tyrime taip pat neatsižvelgta į matematikos objektų sudėtingumą pačia matematine prasme. Negana to, buvo klausimai iš daugelio sričių. Galima matematinių objektų sudėtingumo tyrimo kryptis – atlikti tos pačios matematinės srities objektų sudėtingumo tyrimą naudojant skirtingas semiotines išraiškas bei gautus rezultatus palyginti. Tai suteiktų daugiau informacijos, ar žmonės skirtingai apdoroja skirtingų išraiškų matematinius objektus priklausomai nuo temos sudėtingumo.

1.8.3. Grafais pateiktos informacijos skaitymas

Grafiko suvokimas gali stipriai priklausyti nuo jo formos. Geriau suprasti, kaip suvokiamos skirtingos formos gali padėti grafai. Jų būna įvairių tipų: ortogonalūs, jėgos nukreipti (angl. *force-directed*) ar hierarchiniai (11 pav.).



11 pav. Skirtingi grafų tipai: iš kairės ortogonalūs, viduryje jėgos nukreipti bei kairėje hierarchiniai [26]

Skirtingą šių grafų išdėstymo poveikį įvairių užduočių atlikimui tyrė mokslininkai M. Pohl'as, M. Schmitt'as ir S. Diehl'as [26]. Buvo nustatyta, jog tam tikros viršūnės, kelio tarp viršūnių bei dalinės grafo paieškos užduotys geriausiai buvo išspręstos naudojant jėgos nukreiptą grafą. Jog toks grafo išdėstymas buvo geriausiai suprantamas, parodė ir žvilgsnio taškų intensyvumo žemėlapiai, kuriuose buvo matoma, jog daugiausiai dėmesio skiriama užduočiai aktualioms vietoms (mažai blaškymosi). Šio tyrimo mokslininkai taip pat išskyrė, jog ieškant trumpiausio kelio subjektai neatsižvelgė į tai, kad trumpiausiam kelyje galėjo būti ir ilgos briaunos (trumpiausią kelią lemia viršūnių skaičius). Žvilgsnio intensyvumo žemėlapiai rodė, jog į ilgiausias briaunas dėmesio beveik nebuvo kreipiama. Be to, nustatyta, jog užduotys tampa tuo sudėtingesnės, kuo yra daugiau susikirtimų tarp briaunų. Remiantis intensyvumo žemėlapiais, buvo nustatyta, jog kartais susidaro vadinamasis tunelio efektas, t. y., subjektai nesusikoncentruodavo į viršūnes dėl jau minėtų kliūčių [26].

1.8.4. Teksto šrifto ir dydžio skirtumai

Teksto skaitymui įtaką daro ne tik pats turinys, bet ir jo pateikimas, t. y., šriftas ir dydis. Teksto skaitymo charakteristikos priklauso nuo skirtingų aplinkos veiksnių ir nuo to, kas yra skaitoma. Turbūt dabartiniu momentu daugiausia teksto yra perskaitoma internete. Kaip šriftas ir jo dydis veikia skaitymą internetu, pasitelkdami žvilgsnio sekimo technologijas tyrė, mokslininkai Beymer'as ir kt. [27]. Buvo nustatyta, jog skaitymo greitis yra šiek tiek didesnis esant didesniai šriftui (iki 10 % lyginant 10 ir 14 *pt* dydžio šriftus), tačiau skirtumas nėra pakankamai žymus. Mokslininkai tikėjosi, jog didesnio šrifto tekstas buvo skaitomas daug greičiau. Tačiau buvo pastebėtas ryškus žvilgsnio fiksacijos taškų trukmės bei sugrįžimų, iš eilutės pabaigos į pradžią, kartų (angl. *return sweep*) skirtumas. 10 *pt* šriftas užfiksavo 25 % ilgesnes fiksacijas lyginant su 14 *pt* šriftu. Iš kitos pusės, esant 14 *pt* dydžio tekstui, buvo 34 % užfiksuota daugiau sugrįžimų iš eilutės pabaigos į pradžią. Šių sugrįžimų didelis kiekis sunkina skaitymą ir sumažina greitį [27].

Šrifto tipui tirti buvo pasirinktos *serif* bei *san serif* šriftų šeimos (konkrečiai *Georgia* ir *Helvetica* šriftai). Buvo nustatyta, jog *Georgia* šrifto tekstas buvo skaitomas maždaug 8 % greičiau. Tačiau kitų ženklėnių skirtumų, susijusių su žvilgsnio fiksavimo charakteristikomis, nerasta. Abu šriftai vizualiai yra gana panašūs, todėl tokie rezultatai buvo gana tikėtini [27].

Dar vienas įdomus tyrimo rezultatas – kaip teksto skaitymas priklauso nuo to, ar subjekto gimtoji kalba yra anglų. Buvo nustatyta, jog subjektai, kuriems anglų yra užsienio kalba, tekstą pirmą kartą perskaito 23 % procentais lėčiau lyginant su gimtosios kalbos atstovais. Šitokią skirtumą paaškina žvilgsnio fiksavimo charakteristikos – daug trumpesnės sakados, o fiksacijos daug ilgesnės [27].

1.8.5. Skaičių formatai

Skaičių galima išreikšti įvairiais formatais, pavyzdžiui: 0.5, pusė, viena antroji, penkios dešimtosios, $\frac{1}{2}$ ar 50 %. Kokių formatu skaičius lengviau skaityti bei suprasti tyrė mokslininkai Rello ir kt., pasiremdami žvilgsnio sekimo technologijomis [28]. Buvo nustatyta, jeigu skaitmenys naudojami vietoje žodžių (vietoje žodžio dvidešimt – 20), padidėja skaitomumas. Tą parodė vidutinis fiksacijos laikas praleistas prie skaičių bei apklausos duomenys. Be to, apklausa parodė, jog subjektams lengviau suprasti skaitmenis, tačiau jokios koreliacijos tarp suprantamumo ir žvilgsnio fiksavimo charakteristikų nebuvo rasta. Tyrime taip pat buvo mėginta rasti skirtumą tarp suapvalintų (be liekanos) ir realiųjų skaičių, tačiau nebuvo pastebėta jokių ryškių skirtumų nei apklausoje, nei žvilgsnio fiksavimo charakteristikose. Negana to, nagrinėtas to paties skaičiaus užrašymas trupmena bei procentine išraiška. Nustatyta, jog skaitomumas yra didesnis naudojant procentinę išraišką tiek apklausoje, tiek remiantis fiksacijos vidutine trukme, o tarp suprantamumo ir fiksacijos taškų didelio skirtumo nėra, tačiau remiantis apklausa, procentinės išraiškos yra geriau suvokiamos [28].

1.8.6. Chemijos formulės

Chemijos formulės, kaip ir matematinės, užrašo tam tikrą reiškinį trumpiau negu žodžiai. Tą pačią cheminę formulę galima atvaizduoti ir grafiškai. Todėl gana aktualu suprasti, kaip cheminių formulių sudėtingumas koreliuoja su žvilgsnio fiksavimo charakteristikomis. Susijusia tema savo disertaciją rašė Havanki, kurioje apžvelgiama, kaip priklausomai nuo subjekto žinių lygio (pradedantysis ar ekspertas) suvokiamos skirtingos cheminės formulės, pasinaudojant žvilgsnio sekimo technologijas [29]. Buvo nustatyta, jog pradedantieji mažiau sudėtingoms formulėms praleido 2 kartus daugiau laiko apskritai žiūrėdami į formulę, o dar sudėtingesnėms formulėms 2,5 karto. Taip pat pradedantiesiems buvo užfiksuotas maždaug dvigubai didesnis fiksacijų kiekis lyginant su ekspertais, tačiau tai beveik nepriklausė nuo formulės sudėtingumo. Be to, pradedančiųjų vidutinė fiksacijų trukmė buvo 2–3 kartus didesnė priklausomai nuo formulės sudėtingumo lyginant su ekspertais [29]. Taigi, galima padaryti išvadą, jog sudėtingėjant žinių lygiui atliekama daugiau ir ilgesnių fiksacijų analizuojant formules. Jog ilgesnes fiksacijas galima užfiksuoti pas pradedančiuosius tam tikro dalyko subjektus, rodo ir kiti atlikti tyrimai. Mokslininkai Chapman'as ir kt. nustatė, jog nepatyrusiems vairuotojams užfiksuojamos ilgesnės fiksacijos lyginant su pažangiais, ypač esant pavojingoms situacijoms [30]. Taip pat ilgesnės fiksacijos nustatytos pradedantiesiems pilotams [31] ir chirurgams [32].

1.8.7. Mokymosi tekstai skirtingose platformose

Vis populiarėjant mokymuisi naudojant tik kompiuterį arba mobilųjį telefoną, svarbu suvokti, kuo šios platformos skiriasi nuo knygų. Yra daug panašumų, tačiau ir tam tikrų skirtumų, į kuriuos reikia atsižvelgti, norint padidinti mokymosi kokybę internetinėje erdvėje. Elektroninio mokymosi tekstų tyrimą atliko Mpofo'as [33], pasitelkdamas žvilgsnio stebėjimo technologijas. Šio darbo tikslas buvo palyginti mokymosi tekstų suvokimą naudojant skirtingas platformas bei nustatyti, kaip pagerinti mokymosi tekstų įsisavinimą naudojant kompiuterį arba mobilųjį telefoną. Buvo nustatyta, jog mažiausia vidutinė fiksacijos trukmė yra skaitant knygas, toliau seka mobilusis telefonas ir pabaigoje kompiuterio ekranas. Tai gali būti dėl to, jog žmonės turi daugiau patirties skaitant knygas bei jiems

yra patogiau. Taip pat buvo nustatyta, jog sakados trukmė yra beveik dvigubai trumpesnė, jeigu skaitoma knyga lyginant su kompiuteriu ar telefonu, tačiau bendras skaitymo greitis nepriklauso nuo platformos. Be to, nenustatytas ženklus fiksacijų kiekio skirtumas naudojant skirtingas platformas. Negana to, aptikta, jog sakados ilgis yra dvigubai ilgesnis, jeigu tekstas skaitomas kompiuterio ekrane lyginant su telefonu ar knyga [33]. Tai siejasi su jau anksčiau minėtu rezultatu – dvigubu sakados ilgiu.

1.8.8. Teksto kartu su diagramomis ar nuotraukomis suvokimas

Labai dažnai matematikoje pateikiamas tekstas ir šalia tą tekstą iliustruojanti diagrama, grafikas ar nuotrauka. Svarbu suvokti, kokią įtaką teksto suvokimui daro esančios nuotraukos. Ryšį tarp teksto ir jame esančių nuotraukų pasitelkdami žvilgsnio sekimo technologijas nustatinėjo mokslininkai Beymer'as ir kt. [34]. Tyrime buvo nustatinėjama, kokia įtaka turi nuotraukos susijusios su tekstu (1 atvejis) ir nesusijusios su tekstu (reklamos, 2 atvejis). Buvo gautas rezultatas, jog tekstas su susijusiomis nuotraukomis buvo skaitomas maždaug 19 % ilgiau. Be to, skaitymo greitis koreliuoja su fiksacijos taškų trukmėmis bei sakados ilgiu. Teksto, kuriame yra su juo susijusios nuotraukos, fiksacijos taškų trukmės bei sakadų ilgiai yra 15 % trumpesni lyginant su kitu tekstu, kuriame yra reklamos [34].

Taip pat buvo tiriama, kokią įtaką nuotraukos turi blaškymuisi. Nors 1 atveju subjektai praleisdavo daugiau laiko žiūrėdami į nuotraukas (su tekstu susijusioms nuotraukoms buvo užfiksuota 60 % daugiau skirtingų žvilgsnio taškų), rezultatai rodo, jog regresijų bei pakartotinių perskaitymų skaičius didesnis 2 atveju – maždaug 5 kartus. Nepaisant šių rezultatų, atlikta apklausa, kuri susijusi su tekstu ir skirta patikrinti, kaip buvo suvoktas tekstas, nerodo, jog tai turėtų įtakos supratimui [34].

Įtakos turi ir tai, koku eiliškumu yra apdorojamas tekstas su nuotraukomis. Pavyzdžiui, galima pirmiausia perskaityti visą tekstą ir tik tada žiūrėti į nuotrauką (arba atvirkščiai). Ir skaityti tekstą po truputį vis nukreipiant žvilgsnį į nuotrauką. Šiuos skirtingus apdorojimo būdus tyrė mokslininkai Jian'as ir kt., pasitelkdami žvilgsnio sekimo technologijas [35]. Jie išskyrė 5 skirtingus skaitymo metodus (skliausteliuose pateikiama visa subjektų procentų dalis, naudojanti tam tikrą metodą):

1. pirma skaitoma diagrama, o po tekstas (14 %);
2. skaitomas tik tekstas, o į diagramą išvis nekreipiama dėmesio (11 %);
3. skaitoma truputį teksto, o tada šiek tiek pažvelgiama į diagramą (36,5 %);
4. perskaitomas visas tekstas, o tada analizuojama diagrama (38 %);
5. mišrus, nė prie vieno netinkantis metodas (0.5 %).

Buvo nustatyta, jog subjektai, naudojantys 1, 3, 4 metodus, daug geriau atsakinėjo į su tekstu susijusius klausimus (atitinkamai 85 %, 75 %, 74 % teisingų atsakymų) negu naudojantys 2 metodą (43 % teisingų). Be to, pastebėta, jog gana stipriai skiriasi laikas, per kurį buvo atsakyta į klausimus, priklausomai nuo skaitymo metodo. Atitinkamai metodams 1, 2, 3, 4 – 10,37 s, 6,0 s, 10,06 s, 8,57 s. Galima daryti išvadą, jog skirtingi skaitymo metodai lemia tam tikros medžiagos suprantamumą bei būdą, kuriuo bandoma prisiminti [35].

1.9. Mokymosi stiliai

Mokymosi būdai buvo apibrėžti norint nustatyti individualius poreikius ir skirtumus mokantis ir įsavinant informaciją [36]. Šiame poskyryje apžvelgiami populiariausi mokymosi tipai.

1.9.1. Kolb'o modelis

Kolb'o modelis yra aiškinamas eksperimentinio mokymosi idėja [37]. Modelis iškelia dvi patirties keitimo strategijas: eksperimentavimas ir refleksija. Be to, išskiria, kokią patirtį įgauna žmonės – galima įgyti labai konkrečią patirtį bandant arba abstrakčią padarius išvadas iš tam tikrų buvusių patirčių. Remiantis šiuo modeliu – geriausias mokymasis, kai įtraukiamos visos keturios minėtos strategijos [37]. Šis modelis priskiria žmogų vienam iš keturių mokymosi būdų:

1. AC (angl. *accomodators*) – šie žmonės daugiausiai pasikliauja intuicija, analizuoja kitų žmonių idėjas ir jas bando pritaikyti praktikoje;
2. C (angl. *convergers*) – šiam būdai priskiriami žmonės yra problemų sprendėjai ir geriausiai pritaiko savo žinias praktikoje;
3. D (angl. *divergers*) – šio mokymosi tipo žmonės geba matyti situaciją iš skirtingų pusių, yra jautrūs, teikia pirmenybę informacijos rinkimui ir analizavimui bei teoriniam sprendimo radimui;
4. AS (angl. *assimilators*) – žmonės, priskiriami šiam būdai, renkasi lėtesnį, logišką kelią. Jiems reikia aiškaus paaiškinimo, bet nepraktinio pritaikymo pavyzdžių. Jie geba suprasti labai įvairią informaciją, ją organizuoti ir pateikti logišku pavidalu [37].

1.9.2. Mumford'o modelis

Mumford'o modelis išskiria 4 skirtingus mokymosi stilius:

1. aktyvistai – mokosi per praktiką, mėgsta naujus iššūkius, veikia per daug negalvodami, neteikia pirmenybės teorijai;
2. teoretikai – labiausiai mėgsta suprasti, kaip viskas vyksta teoriškai, teikia pirmenybę faktams, instrukcijoms;
3. pragmatikai – ieško, kaip viską galima pritaikyti praktikoje, nemėgsta abstrakcijų, nebijo išmėginti naujų teorijų ir technikų.
4. stebėtojai – mokosi analizuodami savo ir kitų buvusias patirtis, mėgsta stebėti viską iš šono, analizuoti skirtingas nuomones, prieš priimant sprendimą [38].

1.9.3. VAK modelis

VAK (angl. *visual, auditory, kinesthetic*) modelis išskiria tris mokymosi stilius:

1. vizualinis (V) – geriausiai išmokstama matant įvairius objektus: nuotraukas, diagramas, pristatymus ar filmus;
2. klausymosi (A) – geriausiai informacija įsisavinama klausos būdu – žodžiai, muzika ir įvairūs kiti garsai;
3. juntamasis (K) – šis mokymosi stilius pagrįstas fizine patirtimi – lietim, jautimu, laikymu, darymu ar kita praktine veikla [39].

1.9.4. ILS modelis

ILS (angl. *index of learning styles*) modelyje išskiriamos keturios dimensijos, kurių kiekviena susideda iš dviejų visiškai priešingų mokymosi tipų [40]:

1. A (angl. *active/reflective*) – ši dimensija apibrėžia žmones, kurie mėgsta taikyti informaciją, ją išbandyti, diskutuoti ir visiškai priešingus jiems (teikia pirmenybę viskam apgalvoti, prieš atliekant veiksmus).

2. B (angl. *sensing/intuitive*) – žmonės, priskiriami šiai dimensijai, mėgsta faktus, konkrečius metodus, patikimas procedūras. Jiems priešingi mėgsta abstrakcijas, viską apžvelgti iš viršaus ir inovacijas.
3. C (angl. *visual/verbal*) – ši dimensija nusako žmones, kurie mėgsta vizualinius objektus: grafikus, filmus, diagramas. Jiems priešingi mėgsta viską, kas apibūdinta žodžiais tiek rašto, tiek kalbėjimo forma.
4. D (angl. *sequential/global*) – žmonės, priskiriami šiai dimensijai, informaciją organizuoja nuosekliai, logiškai, taip pat elgiasi gyvenime. Jiems priešingi mėgsta chaotiškumą, tačiau geba spręsti labai sudėtingas problemas, nes yra atviro mąstymo.

1.9.5. VARK modelis

VARK (angl. *visual, aural, read/write, kinesthetic*) modelis išskiria keturis mokymosi stilius:

1. vizualinis (V) – žmonės efektyviausiai mokosi naudodami žemėlapius, diagramas, grafikus ir kitą vaizdinę medžiagą;
2. klausymosi (A) – žmonės geriausiai įsisavina informaciją, kurią galima išgirsti arba diskusijų metu;
3. skaitymo ir (arba) rašymo (R) – žmonės teikia pirmenybę žodžiams (tekstui);
4. juntamasis (K) – žmonės mėgsta viską, kas yra tikra, o tai gali būti pavyzdžiai, asmeninės patirtys ar praktika.

Kai kurie žmonės teikia pirmenybę daugiau negu vienam mokymosi stiliui. Tokie žmonės priskiriami keleto stilių kategorijai MM (angl. *multimodal*).

1.9.6. Mokymosi stilių pritaikymas

Mokymosi stiliai gali būti panaudojami:

- vartotojų modeliavimui, sudarant efektyvias pedagogines instrukcijas;
- kuriant asmenines mokymosi strategijas ir medžiagą;
- tobulinant elektroninio mokymosi sistemas, kurios yra paremtos vaizdine medžiaga;
- surandant vartotojų stipriąsias ir silpnąsias mokymosi savybes;
- didinant mokymosi efektyvumą ir savarankiškumą;
- nustatant skirtingus mokymosi individualius tikslus.

Mokymosi stilių nustatymo naudingumas įrodytas įvairiose skirtingose sferose tokiose kaip programavimas [41] ar slaugymas [42].

1.9.7. Mokymosi stilių nustatymas

Egzistuoja skirtingi metodai mokymosi stilių nustatymui:

- VARK klausimynas [43];
- VAK klausimynas [44];
- LSQ (angl. *learning style questionnaire*) klausimynas [45].

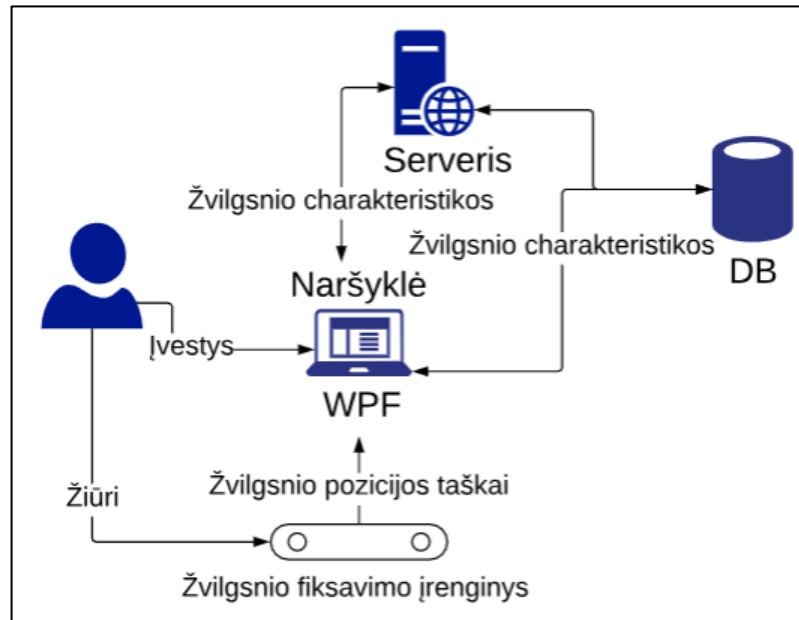
Tačiau šių klausimynų naudojimas tyrimams yra subjektyvus. Taip pat sudėtinga juos interpretuoti. Be to, šie metodai yra kritikuojami dėl silpnų empirinių įrodymų bei koreliacijos trūkumu su mokymu [46]. Galiausiai nėra daug nepriklausomų atliktų tyrimų, kurie nagrinėtų šių modelių teisingumą [47].

2. Žvilgsnio stebėjimo sistemos projektas

Projektas sukurtas naudojant *MagicDraw 19.0* įrankį ir *UML 2.5* standartą.

2.1. Sistemos kontekstas

Sistemos konteksto diagrama pateikta 12 pav.



12 pav. Sistemos konteksto diagrama

Sistemos kontekstas susideda iš 5 esminių dalių:

- žmogus, kurio akys sekamos ir fiksuojama žvilgsnio pozicija;
- žvilgsnio fiksavimo įrenginys, kuris fiksuoja žvilgsnio poziciją realiu laiku ir generuoja žvilgsnio pozicijos taškus;
- foniniu režimu veikianči žvilgsnio stebėjimo posistemė (žymima diagramoje WPF), kuri naudoja įrenginio duomenis, atlieka žvilgsnio charakteristikų skaičiavimus bei saugo duomenis duomenų bazėje arba lokaliai vartotojo kompiuteryje tam tikrais formatais;
- žvilgsnio parametrų ir charakteristikų vizualizacijos posistemė, kuri skaito duomenis naudojant serverį iš duomenų bazės. Posistemė pasiekama naršykle, todėl diagramoje pažymėta kaip naršyklė.

2.2. Apribojimai sprendimui

Apribojimai sprendimui pateikti 12–14 lentelėse.

12 lentelė. Apribojimas operacinei sistemai

Aprašas	Sistema turi veikti <i>Windows 10</i> operacinėje sistemoje
Pagrindimas	<i>Tobii Eye Tracker 4C</i> ir daugelio kitų įrenginių SDK skirta tik tai šiai operacinei sistemai.
Kriterijus	IS ištestuota <i>Windows 10</i> aplinkoje

13 lentelė. Apribojimas žvilgsnio fiksavimo įrenginiui

Aprašas	Sistema turi būtinai palaikyti <i>Tobii Eye Tracker 4C</i>
Pagrindimas	Užsakovas naudoja būtent šį konkretų žvilgsnio fiksavimo įrenginio modelį ir greitai metu neplanuoja keisti.
Kriterijus	IS ištestuota naudojant <i>Tobii Eye Tracker 4C</i>

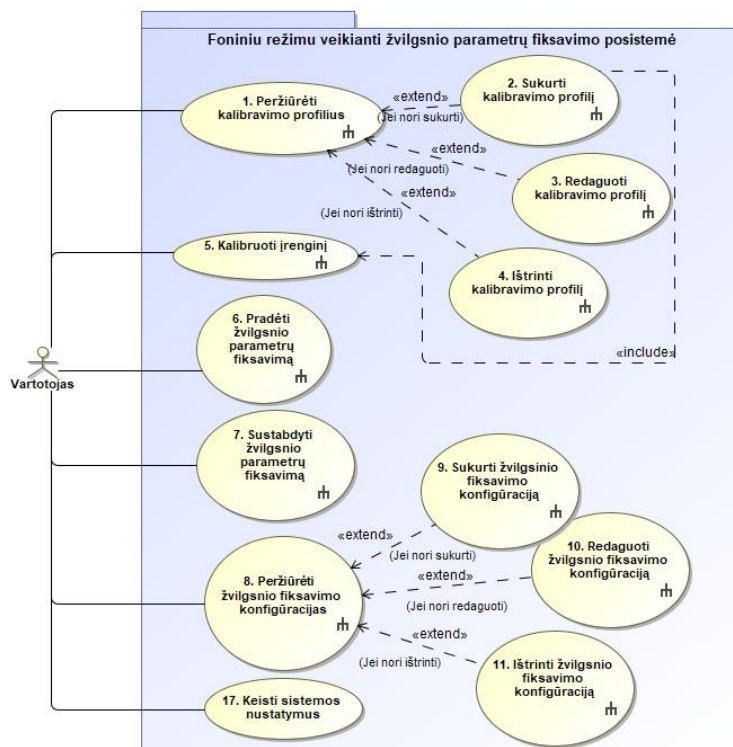
14 lentelė. Apribojimas foniniu režimu veikiančios posistemės programavimo aplinkai

Aprašas	Foniniu režimu veikianti posistemė turi būti realizuota <i>.NET Framework</i> aplinkoje bei C# programavimo kalba
Pagrindimas	Daugelio analizuotų žvilgsnio fiksavimo įrenginių SDK pritaikytos tik šiai programavimo aplinkai (įskaitant <i>Tobii Eye Tracker 4C</i>).
Kriterijus	IS ištestuota <i>.NET Framework</i> aplinkoje, išeities kodas parašytas naudojant C#

Iš viso yra trys esminiai apribojimai sistemai. Sistema turi veikti Windows 10 operacinėje sistemoje, palaikyti „Tobii Eye Tracker 4C“ įrenginį ir foniniu režimu veikianti posistemė turi būti realizuota *.NET Framework* aplinkoje bei C# programavimo kalba.

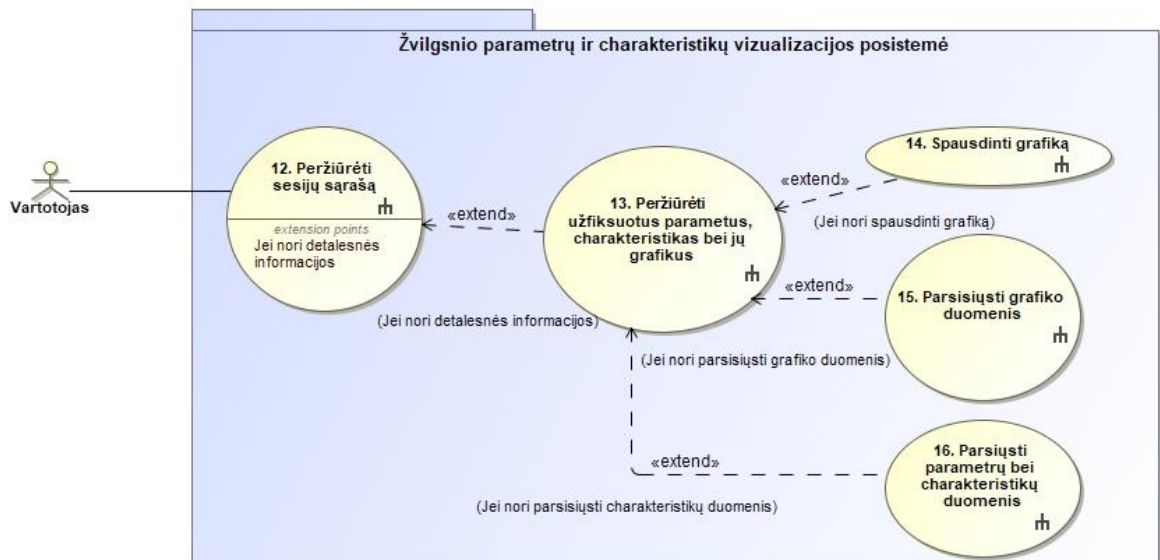
2.3. Panaudojimo atvejai

Kiekvienos posistemės funkciniai reikalavimai atvaizduoti UML panaudos atvejų diagramomis (žr. 13–14 pav.).



13 pav. Foniniu režimu veikiančios žvilgsnio parametrų fiksavimo posistemės panaudos atvejų diagrama

Šios posistemės pagrindė paskirtis – valdyti žvilgsnio parametrų fiksavimo procesą. Posistemėje vartotojas gali valdyti kalibravimo profilius, kalibruoti įrenginį. Taip pat pradėti ir stabdyti žvilgsnio parametrų fiksavimą. Be to, vartotojas gali valdyti fiksavimo konfigūracijas ir keisti sistemos nustatymus.



14 pav. Žvilgsnio parametų ir charakteristikų vizualizacijos posistemės panaudos atvejų diagrama

Šios posistemės paskirtis – vartotojui suteikti galimybę vizualiai matyti užfiksuotas charakteristikas. Vartotojas gali peržiūrėti užfiksuotų sesijų sąrašą. Taip pat kiekvienai sesijai matyti užfiksuotus parametrus, charakteristikas bei jų grafikus. Be to, gali spausdinti grafiką, parsisiųsti jo duomenis.

2.4. Funkciniai reikalavimai

Iš viso sistemai iškelta 51 funkcinis reikalavimas, kuris buvo aprašytas naudojant *Volere* šabloną. Išskirti esminiai reikalavimai:

- vartotojas gali peržiūrėti, kokie yra sukurti kalibravimo profiliai ir sąrašė turi būti rodomas profilio pavadinimas;
- formų laukai turi atitikti galimas reikšmes apibrėžtas duomenų žodyne, esant neatitikimui išvedamas klaidos atitinkamas klaidos pranešimas;
- vartotojas gali sukalibruoti žvilgsnio sekimo įrenginį;
- įrenginio kalibravimui turi būti parengtas vedlys;
- pradedant žvilgsnio parametų fiksavimą turi būti galima įvesti duomenis apie subjektą: vardą, amžių, aprašymą;
- pradedant žvilgsnio parametų fiksavimą turi būti galimybė atlikti vaizdo ekrano rašymą su žvilgsnio pozicija ekrane;
- pradedant žvilgsnio parametų fiksavimą turi būti galimybė pasirinkti žvilgsnio fiksavimo konfigūraciją;
- turi būti galimybė fiksuoti fiksacijas ir sakadas
- turi būti galimybė duomenis išsaugoti XML, CSV formatu bei PostgreSQL duomenų bazėje;
- pradedant žvilgsnio parametų fiksavimą turi būti galimybė pasirinkti, jog būtų sugeneruojama ataskaita su duomenų vizualizacijomis

Detalesnis vieno funkcinio reikalavimo aprašymas pateiktas 15 pav.

Reikalavimas #:	FR-51	Reikalavimo tipas:	V9	PA #:	6
Aprašymas:	Pradedant žvilgsnio parametrų fiksavimą turi būti galimybė pasirinkti, jog būtų sugeneruojama ataskaita su duomenų vizualizacijomis				
Pagrindimas:	Užsakovas nori, kad užfiksuoti duomenys bei apskaičiuotos charakteristikos būtų vizualizuotos, kad greičiau būtų galima padaryti pirmines išvadas apie gautus rezultatus				
Šaltinis:	Užsakovas				
Atitikimo kriterijus:	Testavimo metu turi būti patikrinta, jei pasirenkamas ataskaitos generavimas, ji yra sugeneruota ir duomenys vizualizuoti				
Užsakovo pasitenkinimas:	3	Užsakovo nepasitenkinimas:	5		
Priklausomybės	FR-10, FR-11				
Prioritetas:	Aukštas	Konfliktai:	Nėra		
Istorija:	Sukurtas: 2019-04-01				

15 pav. Detalesnis funkcinio reikalavimo aprašymas

Kiekvieną funkcinį reikalavimą apibūdina numeris, reikalavimo tipas, aprašymas, pagrindimas, atitikimo kriterijus, šaltinis, užsakovo nepasitenkinimas, pasitenkinimas, prioritetas ir sąsaja su panaudos atveju.

2.5. Nefunkciniai reikalavimai

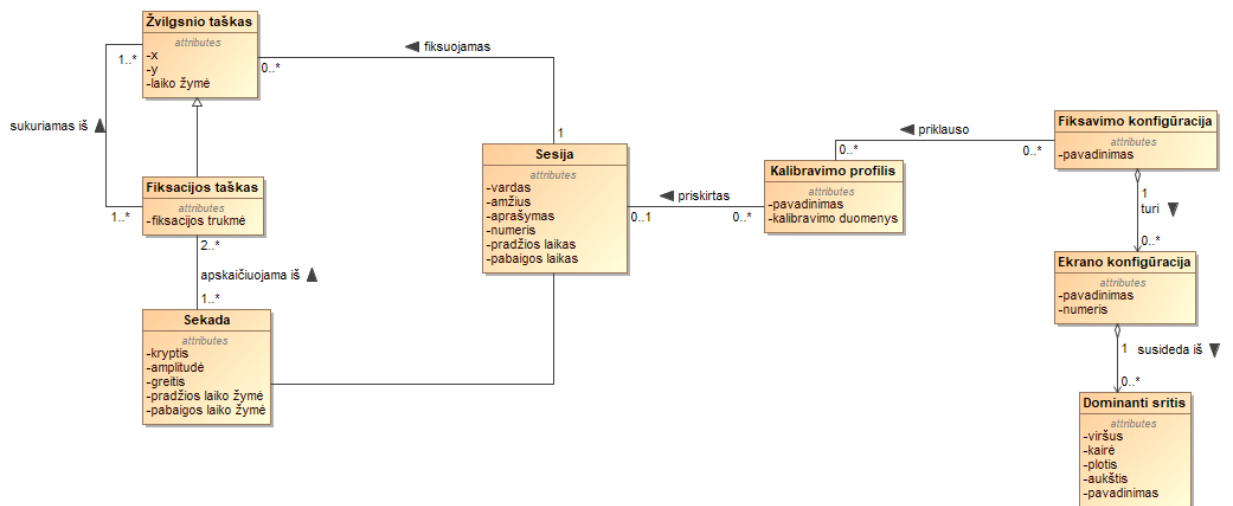
Iš viso sistemai iškelta 16 nefunkcinių reikalavimų. Keletas esminių iš jų:

- privalomų formų laukai turi išsiskirti;
- vartotojo sąsaja turi būti realizuota anglų kalba;
- vartotojai turi sugebėti naudotis produktų atlikus minimalų apmokymą;
- informacijos bei klaidų pranešimai yra užrašyti natūralia kalba, neturi sudėtingų techninių terminų;
- bet koks vartotojo inicijuotas veiksmas sistemos atsakymo neturėtų laukti ilgiau nei 5s 99 % atveju;
- automatinis žvilgsnio sekimo įrenginio aptikimas turėtų vykti kas 5 sekundes;
- sistema turi veikti, kai sesija trunka maksimaliai 15 minučių;
- turi būti įdiegta žvilgsnio fiksavimo įrenginio programinė įranga;
- foniniu režimu veikianti posistemė turi būti diegiama administratoriaus teisėmis.

Detaliau reikalavimai aprašomi tokiu pat šablonu, kuris pateiktas 15 pav.

2.6. Esybių ryšių diagrama

Esybių ryšių diagrama pateikta 16 pav.

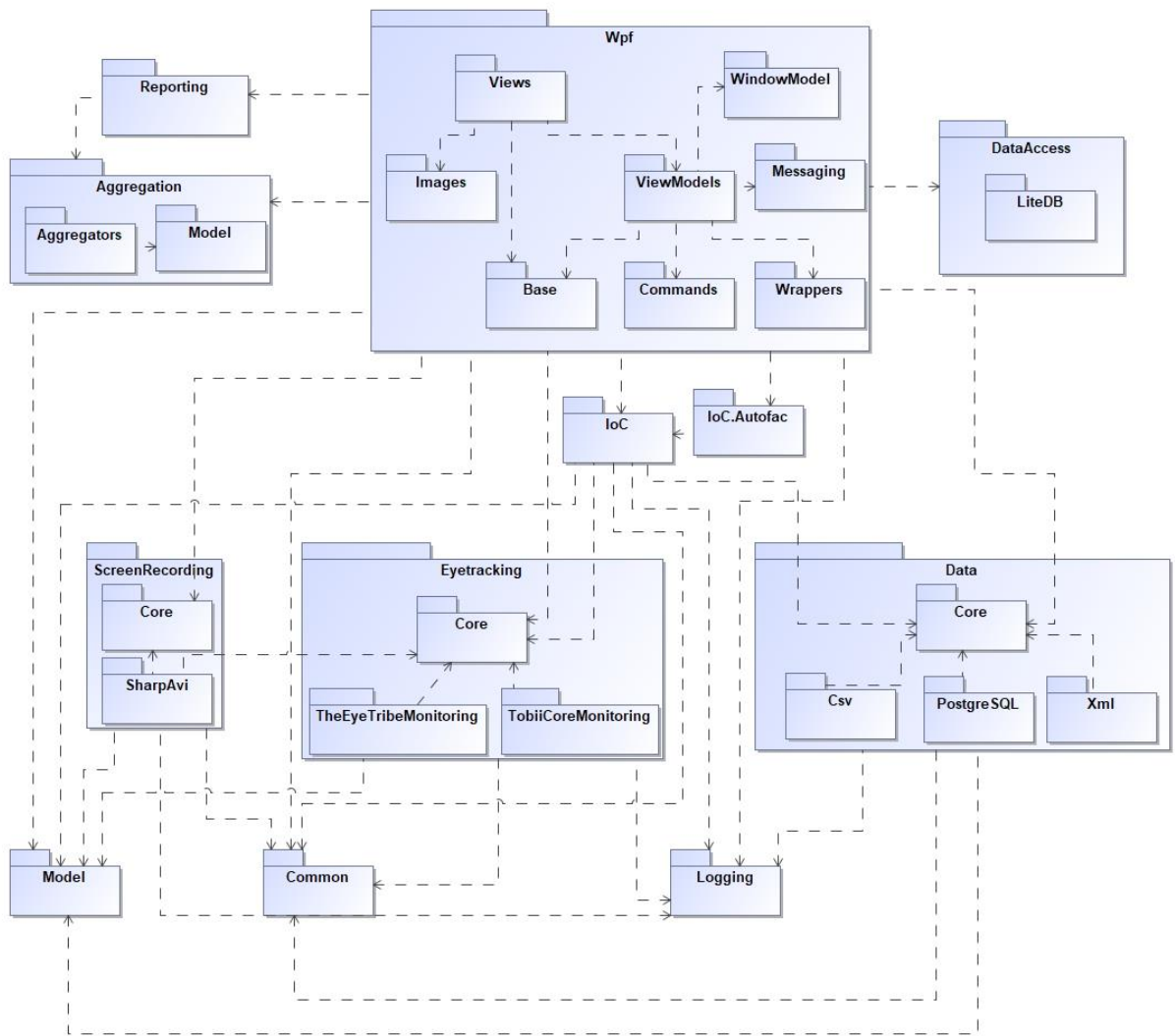


16 pav. Esiųbių ryšių diagrama

Diagrama rodo, jog žvilgsnio taškai yra fiksuojami sesijos metu. Žvilgsnio tašką apibrėžia x, y koordinatės, atitinkančios reikšmę, kai atskaitos taškas yra kairys viršutinis kampas, ir laiko momentas, kuris lemia, kada užfiksuotas taškas. Fiksacijos taškai sukuriama iš vieno arba daugiau žvilgsnio taškų ir papildomai turi trukmę. O sakados apskaičiuojamos naudojant du arba daugiau fiksaacijos taškų. Jos apibrėžiamos kryptimi, amplitudė, greičiu, pradžios ir laiko pradžios momentu. Be to, kiekvienas kalibravimo profilis gali būti priskirtas vienai sesijai. Kiekvienai sesijai reikalinga nurodyti vardą, amžių, aprašymą, numerį, pradžios ir pabaigos laiką. Taip pat kalibravimo profiliui gali būti priskirtos fiksaacijos konfigūracijos, kurių kiekviena turi pavadinimą. Šios gali turėti ekranų konfigūracijas, kurios identifikuojamos pavadinimu ir numeriu O ekranų konfigūracijos susideda iš dominančių sričių. Dominančią sritį nusako viršaus ir kairės koordinatės, plotis, aukštis ir pavadinimas.

2.7. Sistemos statinis vaizdas

Foniniu režimu veikiančios žvilgsnio parametrų fiksaacijos posistemės paketų diagrama pateikta 17 pav.



17 pav. Foniniu režimu veikiančios žvilgsnio parametrų fiksavimo posistemės paketų diagrama

Svarbiausi paketai apžvelgti 15 lentelėje.

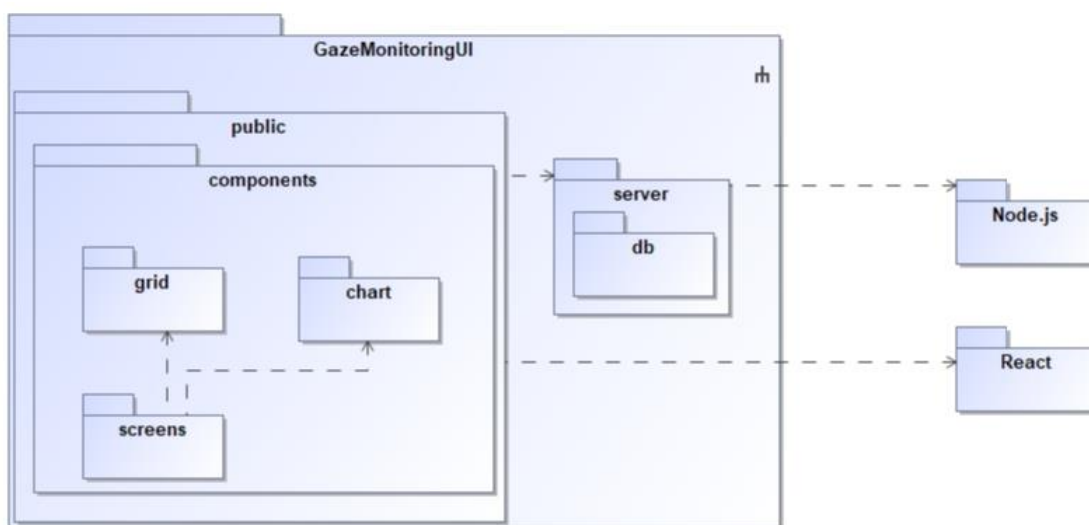
15 lentelė. Pagrindinių paketų sekcijų apžvalga

Paketas	Paiškinimas
DataAccess	Apima funkcionalumą, kuris reikalingas saugoti posistemės informaciją apie konfigūracijas ir vartotojo nustatymus
Data	Duomenų saugojimas skirtingais formatais
Eyetracking	Komunikacija su žvilgsnio sekimo įrenginiais
ScreenRecording	Ekrano vaizdo įrašymas, įterpian žvilgsnio sekimo taškus
Reporting	Apima agreguotų duomenų vizualizaciją
Aggregation	Statinių ir dinaminių charakteristikų apskaičiavimas, duomenų agregavimas
WPF	Posistemės vartotojo sąsaja
IoC, IoC.Autofac	DI ir IoC metodikų įgyvendinimo abstrakcija
Logging, Common, Model	Bendras funkcionalumas, naudojamas kituose paketuose

Kiekvienas paketas bendrauja per abstrakcijas ir sąsajas, o ne konkrečias realizacijas. Todėl galima dinamiškai keisti, koks žvilgsnio sekimo įrenginys ar duomenų saugojimo formatas yra naudojamas. Tą rodo diagramoje WPF paketo priklausomybė tik tai nuo *Core* paketų, kuriuose yra sąsajos.

Konkrečių realizacijų nurodymui, naudojamos DI ir IoC metodikos. Šių metodikų naudojimas leidžia dinamiškai konfigūruoti sistemą. Konkrečių realizacijų projektai privalo sukurti IoC modulį, kuriame registruojamos klasės. Tuomet šie moduliai gali būti nurodomi konfigūracijoje. Sistemos paleidimo metu ši konfigūracija užkraunama ir sistema dinamiškai naudoja reikalingas realizacijas. Tokiu būdu galima keisti naudojamą žvilgsnio sekimo įrenginį, duomenų saugojimo formatą ar vaizdo įrašymo metodą.

Žvilgsnio parametrų ir charakteristikų vizualizacijos posistemės paketų diagrama pateikta 18 pav.

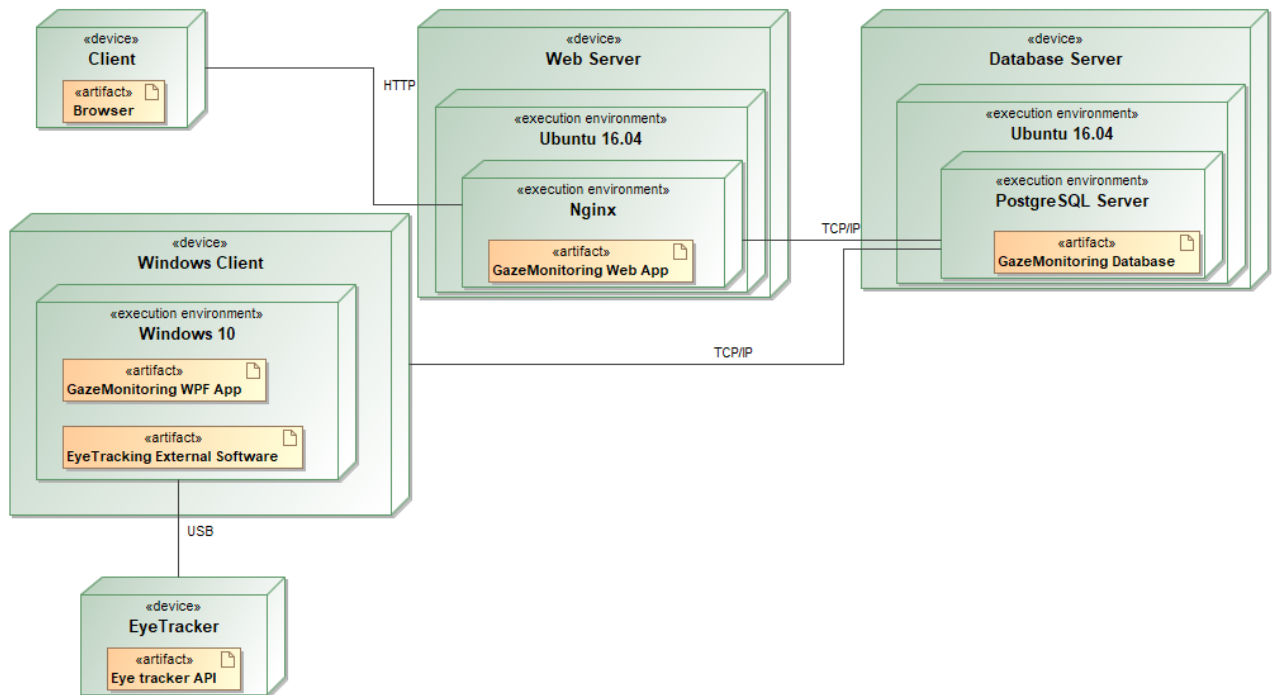


18 pav. Žvilgsnio parametrų ir charakteristikų vizualizacijos posistemės paketų diagrama

Posistemę sudaro paketai skirti vartotojo sąsajai ir komunikacijai su duomenų baze. Vartotojo sąsają apima *public* paketas. Šis paketas susideda iš trijų mažesnių paketų: *grid* (skirtas duomenų atvaizdavimui lentele), *chart* (skirtas grafikų sudarymui) ir *screens* (sąsajos išdėstymas). *React* paketas vaizduoja priklausomybę nuo naudojamos bibliotekos kurti vartotojo sąsajai. Paketas *server* apima klases, kurios atlieka komunikaciją su duomenų baze. Komunikacijai su vartotojo sąsaja naudojamas *Node.js* paketas, kuris atspindi naudojamą karkasą.

2.8. Diegimo aplinka

Diegimo aplinka pateikta 19 pav.



19 pav. Diegimo aplinka

Foniniu režimu veikianči posistemė diegama į vartotojo kompiuterį, kuriame veikia *Windows 10* operacinė sistema. Taip pat ši posistemė bendrauja su žvilgsnio sekimo įrenginio programine įranga, kurios komunikuoja su žvilgsnio sekimo įrenginiu. Be to, saugo duomenis *PostgreSQL* duomenų bazėje, kuri veikia *Ubuntu 16.04* operacinėje sistemoje (gali būti ir kita palaikoma operacinė sistema). Žvilgsnio parametrų ir charakteristikų vizualizacijos posistemė yra diegiama *Linux* operacinėje sistemoje ir yra pasiekama naudojant bet kokią naršyklę. Taip pat bendrauja su ta pačia duomenų baze kaip ir kita posistemė, jog galėtų atvaizduoti duomenis.

3. Žvilgsnio stebėjimo sistemos prižiūrimumo metrikų tyrimas

3.1. Tyrime naudojamos programų metrikos

Programų metrika – tai programos arba jos dalies tam tikros savybės (charakteristikos) kiekybinė (išmatuojama) išraiška [48].

Tyrime naudojamos programų metrikos:

1. **jungumas tarp klasių** (angl. *coupling between object classes*, CBO). Kuo didesnis jungumas, tuo sudėtingesnė klasės priežiūra. Jei CBO > 14, klasę reikia labai gerai ištestuoti [49];
2. **McCabe ciklomatinis sudėtingumas** (angl. *cyclomatic complexity*, CC) – nepriklausomų kelių programos kodo grafe skaičius [49]. Ciklomatinio sudėtingumo reikšmės vertinimas pateiktas 16 lentelėje:

16 lentelė. Ciklomatinio sudėtingumo reikšmės vertinimas [49]

CC reikšmė	Programos įvertinimas
1 10	paprasta, klaidų tikimybė maža
11 20	vidurinio sudėtingumo, klaidos tikimybė vidutinė
21 50	sudėtinga, didelė klaidos tikimybė
> 50	netestuojama

3. **prižiūrimumo indeksas** (angl. *maintainability index*, MI) – programų sistemos priežiūrai reikalingų pastangų matas [48]. Prižiūrimumo indeksas gali būti skaičiuojamas tiek visai sistemai (tuomet imamos vidutinės parametrų reikšmės), tiek atskiriems jos moduliams. Prižiūrimumo indekso reikšmės vertinimas pateiktas 17 lentelėje.

17 lentelė. Prižiūrimumo indekso reikšmės vertinimas [48]

MI reikšmė	Programos įvertinimas
> 85	geras prižiūrimumas
65 – 85	vidutinis prižiūrimumas
0 65	blogas prižiūrimumas
< 0	labai blogas programos kodas (nestruktūrizuotas, nekomentuotas)

Iš viso yra keturios kategorijos. Rekomenduojama, kad prižiūrimumo indekso reikšmė nebūtų mažesnė nei 65.

3.2. Žvilgsnio stebėjimo sistemos metrikų rezultatai

Iš viso sistemą sudaro 265 klasės, pateikiami blogiausi 5 % (14 klasių) kiekvienai metrikai.

Pirmiausia nagrinėjamas jungumas tarp klasių, kuris yra pateiktas 18 lentelėje.

18 lentelė. Jungumas tarp klasių

Klasė	Jungumas tarp klasių
ScreenConfigurationWindow	69
ReportManager	64
SessionViewModel	61
CommonConstants	60
App	47
SharpAviRecorder	38
CsvAggregatedDataRepository	38
ProfilesViewModel	33
DatabaseRepository	31
AutofacContainerBuilder	28
PostgreSQLGazeDataMonitorFinalizer	27
SettingsViewModel	26
MappedFixationPointsDataAggregator	26
MappedGazePointsDataAggregator	25

20 pav. Jungumas tarp klasių

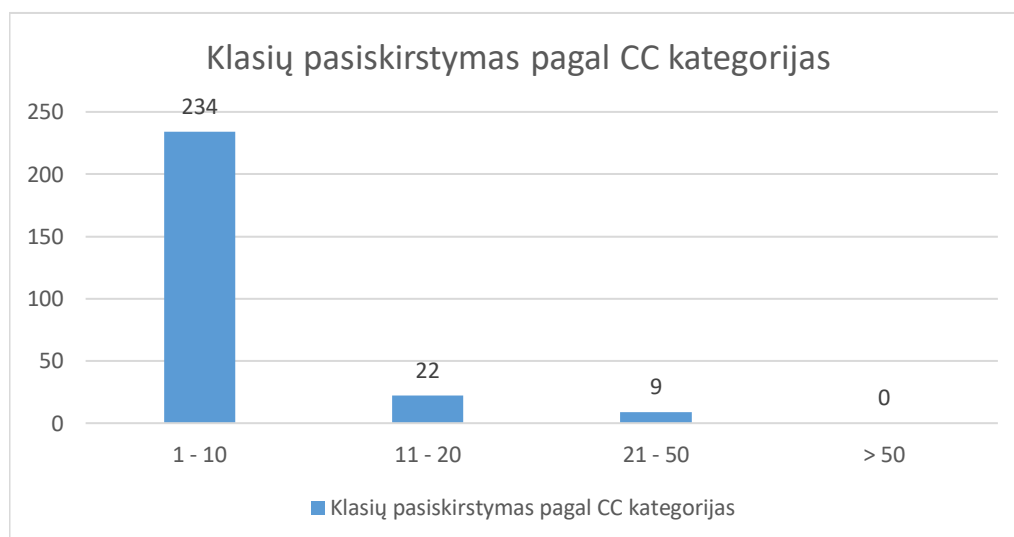
Didžiausia jungumą (69) tarp šių turi *ScreenConfigurationWindow* klasė, o mažiausią *MappedGazePointsDataAggregator* klasė. Visos šios klasės turi aukštesnę negu rekomenduojamą jungumą (14), todėl joms reikalingas ypatingas testavimo dėmesys. Iš viso 37 klasės pilname projekte turi didesnę negu 14 jungumą. Tai sudaro 14 % visų klasių, o kodo eilutėmis 55 %. Vadinasi, šiek tiek daugiau negu pusė visos sistemos kodo turi būti labai gerai ištestuota vienetų ar integracinių testais. Norint sumažinti jungumą, klases reiktų skaidyti taip, kad jos atliktų tik tai vieną tam tikrą užduotį. Vienas iš būdų – taikyti vienos atsakomybės taisyklę (angl. *single responsibility principle*, SRP).

Klasių ciklomatinis sudėtingumas, surikiuotas nuo didžiausio iki mažiausio, pateikiamas 19 lentelėje.

19 lentelė. Klasių cikloatinis sudėtingumas

Klasė	Cikloatinis sudėtingumas
SessionViewModel	48
SaccadesByDirectionAndDurationAggregator	41
ScreenConfigurationWindow	35
ProfilesViewModel	34
ReportManager	31
DatabaseRepository	26
GlobalHotKey	25
OptionsViewModel	24
AutofacContainerBuilder	21
SessionWindow	18
SettingsViewModel	17
SessionWindowModel	17
Log4NetLogger	16
DbSaccade	16

Didžiausią cikloatinį sudėtingumą (48) turi *SessionViewModel* klasė, o mažiausią *DbSaccade* (16). Taip pat nagrinėjamas klasių pasiskirstymas pagal cikloatinio sudėtingumo kategorijas (žr. 21 pav.).



21 pav. Klasių pasiskirstymas pagal cikloatinio sudėtingumo kategorijas

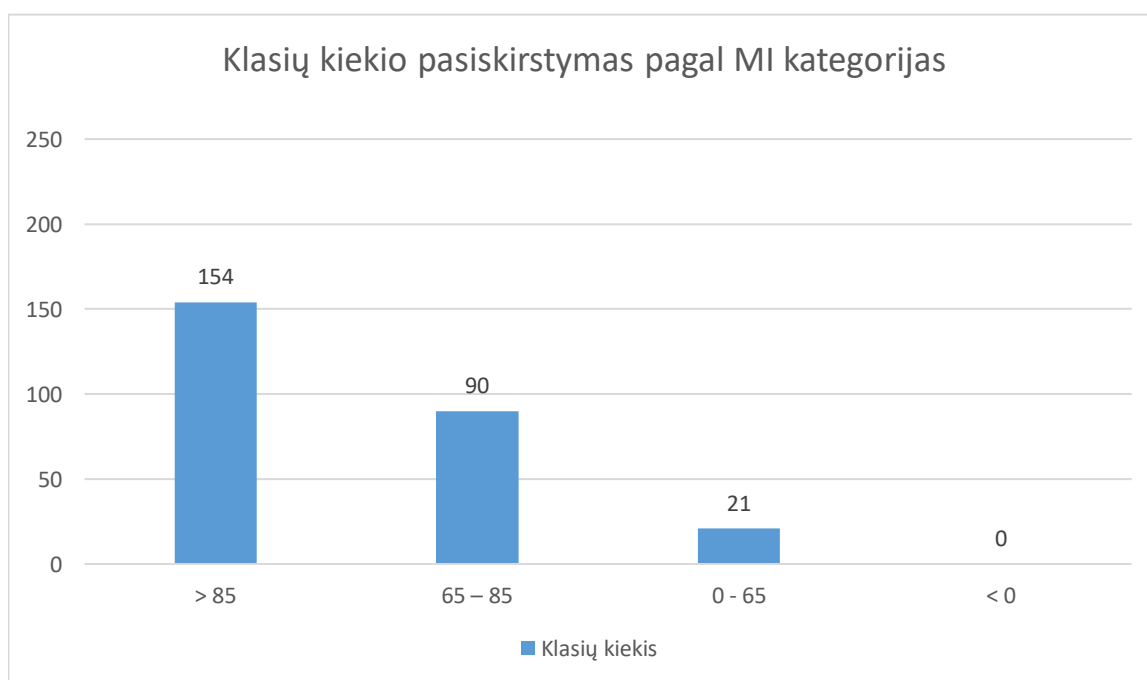
Net 88,3 % visų klasių turi mažą cikloatinį sudėtingumą, o tai reiškia, jog jos yra paprastos ir turi mažą klaidų tikimybę. 8,3 % klasių yra priskiriamos vidutiniam sudėtingumui ir klaidos tikimybei. Aukštas sudėtingumas nustatytas 3,4 % klasių, tačiau tai neviršija 5 %. Todėl galima teigti, kad sistemai nėra būtina taikyti priežiūros operacijų būtent šiai metrikai tobulinti. Norint tobulinti, reikėtų keisti pirmas penkias klases, turinčias aukščiausią cikloatinį sudėtingumą. Kad būtų sumažinta CC reikšmė, klases reikia skaidyti į mažesnius metodus ir sumažinti sąlygos sakinių kiekį.

Gailiausiai, ištirtas klasių prižiūrimumo indeksas, kuris pateiktas surikiuotas nuo mažiausio iki didžiausio 20 lentelėje.

20 lentelė. Klasių prižiūrimumo indeksas

Klasė	Prižiūrimumo indeksas
PostgreSQLGazeDataMonitorFinalizer	54
SaccadesByDirectionAndDurationAggregator	56
TotalFixationTimesAndCountsByScreenConfigurationAndAoiIdDataAggregator	56
CsvAggregatedDataRepository	57
MappedFixationPointsDataAggregator	57
MappedGazePointsDataAggregator	57
TobiiDiscovery	58
App	60
CommonConstants	61
DatabaseRepository	61
ReportManager	61
ScreenConfigurationWindowHandler	62
GazePointCountsByScreenConfigurationAndAoiDataAggregator	62
ScreenConfigurationWindow	63

Mažiausią prižiūrimumo indeksą (54) turi *PostgreSQLGazeDataMonitorFinalizer* klasė, o didžiausią *ScreenConfigurationWindow* (63). Taip pat nagrinėjamas klasių kiekio pasiskirstymas pagal prižiūrimumo indekso kategorijas (žr. 22 pav.).



22 pav. Klasių kiekio pasiskirstymas pagal prižiūrimumo indekso kategorijas

154 klasės (58,1 %) priskiriamos gero prižiūrimumo kategorijai. 90 klasių (34 %) priskiriama vidutinio prižiūrimumo kategorijai. 21 klasė (7,9 %) priskiriama blogo prižiūrimumo kategorijai. Ši reikšmė viršija rekomenduojamus 5 %, todėl reikėtų tobulinti modulius, turinčius žemiausią indeksą. Indeksą galima padidinti mažinant ciklo matinį klasės sudėtingumą ir komentuojant sudėtingesnes kodo vietas.

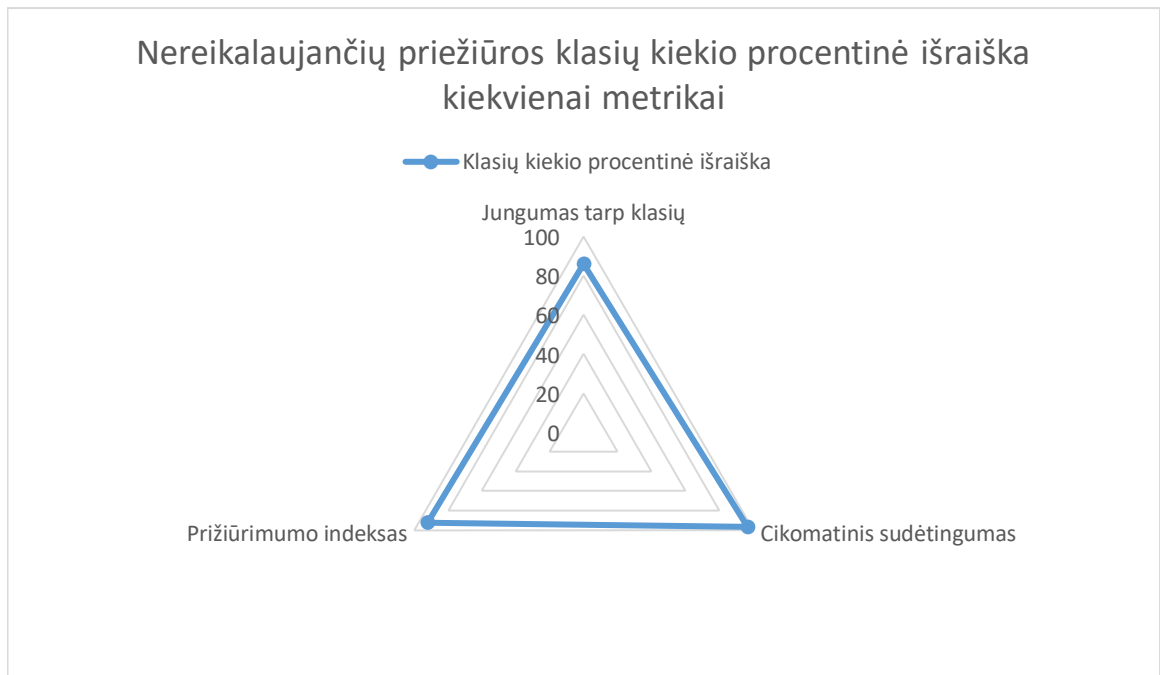
Atlikus kiekvienos metrikos analizę, surastos klasės, kurios reikalauja priežiūros daugiau negu pagal vieną metriką (žr. 21 lentelę). Pliuso ženklas reiškia, jog reikalinga priežiūra pagal metriką, o minuso, jog nereikalinga.

21 lentelė. Klasės, reikalaujančios priežiūros pagal daugiau nei vieną metriką

Klasė	Prižiūrimumo indeksas	Ciklo matinis sudėtingumas	Klasių jungumas
PostgreSQLGazeDataMonitorFinalizer	+	-	+
SaccadesByDirectionAndDurationAggregator	+	+	+
TotalFixationTimesAndCountsByScreenConfigurationAndAoiIdDataAggregator	+	-	+
CsvAggregatedDataRepository	+	-	+
MappedFixationPointsDataAggregator	+	-	+
App	+	-	+
ReportManager	+	-	+
DatabaseRepository	+	+	+
ScreenConfigurationWindowHandler	+	-	+
GazePointCountsByScreenConfigurationAndAoiDataAggregator	+	-	+
ScreenConfigurationWindow	+	+	+
ProfilesViewModel	+	+	+
SessionViewModel	-	+	+
OptionsViewModel	-	+	+
AutofacContainerBuilder	-	+	+
SessionWindow	-	+	+
SettingsViewModel	-	+	+

Iš viso nustatyta 17 klasių, kurios reikalauja priežiūros pagal daugiau nei vieną metriką. Tai sudaro 6,4 % klasių. Todėl būtų rekomenduojama atlikti visos sistemos priežiūros darbus. Daugiausiai priežiūros reikalauja 4 klasės: *SaccadesByDirectionAndDurationAggregator*, *DatabaseRepository*, *ScreenConfigurationWindow* ir *ProfilesViewModel* (pagal visas metrikas).

Taip pat apibendrinimui sudaryta nereikalaujančių priežiūros klasių kiekio procentinė išraiška kiekvienai metrikai (žr. 23 pav.).



23 pav. Nereikalaujančių priežiūros klasių kiekio procentinė išraiška kiekvienai metrikai

Kuo didesnis procentas, tuo geriau (maksimali vertė 100 %, o tai reiškia, jog ne vienai klasei nereikia priežiūros). Geriausia metrika – ciklomatinis sudėtingumas. Tik 3,4 % klasių būtų reikalinga priežiūra. Toliau seka prižiūrimumo indeksas, kuris rodo, jog 92,1 % klasių nereikalinga priežiūra. Prasčiausią įvertinimą turi jungumo tarp klasių metrika, kuri lemia, jog reikėtų tobulinti 14 % klasių.

3.3. Išvados

Rezultatų analizė rodo, jog bendras sistemos prižiūrimumo lygis pagal metrikas yra vidutiniškas. Remiantis 5 % taisykle, sistemai reikėtų atlikti priežiūros darbus. Didžiausią dėmesį reikėtų atkreipti į 17 klasių, kurias reikėtų tobulinti pagal daugiau negu vieną metriką. Tačiau reikia įvertinti, kad ne visos metrikos įmanoma patobulinti. Pavyzdžiui, vertėtų atkreipti dėmesį, jog daugelis klasių yra *Window* arba *ViewModel* tipo. Ši sistema kurta pagal *MVVM* [50] šabloną. Būtent klasės, besilaikančios šio šablono, reikalauja daugiau priežiūros, todėl gali būti sudėtinga kodą patobulinti nekeičiant architektūros. Žinoma, sistemos prižiūrimumo lygį būtų galima pakelti skaidant klases į mažesnius modulius ir didinant kodo komentarų kiekį.

4. VARK klausimyno pagrįstumo nustatymas pasitelkiant žvilgsnio sekimo duomenis

Šiame skyriuje apžvelgiamas eksperimentas – VARK klausimyno pagrįstumo nustatymas pasitelkiant žvilgsnio sekimo duomenis. Pateikiama tyrimo metodologija, eksperimento aplinka ir rezultatai.

4.1. Mokymosi stilių pagrįstumo nustatymas

Mokymosi stilių pagrįstumo nustatymui buvo naudojami EEG (angl. *electroencephalogram*) [51; 52; 53] ir ECG (angl. *electrocardiogram*) [54] signalai, kurie gaunami iš tiriamųjų pasitelkiant specialią įrangą. Šiame tyrime naudojama žvilgsnio sekimo duomenys, kurie yra surenkami, kol tiriamieji mokosi pateiktą medžiagą. Šis metodas nėra naujas ir buvo naudojamas panašiam kontekste [55; 56; 57], ieškant koreliacijų tarp skirtingų informacijos tipų asimiliacijos ir mokymosi stilių. Šiame eksperimente pagrįstumo nustatymui pasirinktas VARK modelis. Tyrimo naujumą atspindi VARK klausimyno įverčių teisingumo vertinimas naudojant žvilgsnio charakteristikas ir neatsižvelgiant į mokymosi stilių skirtumus bei efektyvumą.

4.2. Eksperimento metodologija

Šiame poskyryje pristatoma metodologija, kuria remtasi atliekant eksperimentą.

4.2.1. Rinkti žvilgsnio sekimo duomenys

Eksperimento metu buvo renkami fiksacijos taškai, kurių pagalba galima nustatyti, į kurį AoI plotą yra sutelktas žvilgsnis. Šių taškų nustatymas tam tikrame AoI plote yra vizualinio dėmesio indikacija. Judesiai tarp fiksacijos taškų, žinomi kaip sakados, šiame tyrime nenagrinėjami.

Remiantis Yu [58], nagrinėjami 3 AoI plotų tipai:

- tekstas (T1);
- grafikas (G)
- formulė (F)

Ketvirtas tipas – pavadinimas, kuris suteikia apibendrintą trumpą informaciją, – yra taip pat tekstas, bet žymimas atskiru elementu T2. Svarbu paminėti, jog pasirinkta mokymosi medžiaga yra statinė ir neturi jokių sąveikų su tiriamuoju, todėl A mokymosi tipui negalima priskirti nė vieno iš minėtų AoI plotų.

4.2.2. Tyrimo hipotezės

Daroma prielaida, jog subjektai turi priimtinesnį mokymosi tipą, todėl nesąmoningai atkreips daugiau dėmesio į atitinkamos rūšies informaciją. Remiantis šia prielaida, iškeliamos šios tyrimo hipotezės:

- jei subjektas priskiriamas V mokymosi tipui, jis teikia pirmenybę G tipo informacijai (H1);
- jei subjektas priskiriamas A mokymosi tipui, jis neteikia pirmenybės nė vienam informacijos tipui (H2);
- jei subjektas priskiriamas R mokymosi tipui, jis teikia pirmenybę T tipo informacijai (H3);
- jei subjektas priskiriamas K mokymosi tipui, jis teikia pirmenybę F tipo informacijai (H4).

4.2.3. Hipotezės patvirtinimo metodas

Hipotezėms patvirtinti naudojama Pirsono (angl. *Pearson*) koreliacija, skaičiuojama pagal (1) formulę:

$$r = \frac{1}{n-1} \sum \frac{(x_i - \bar{X})(y_i - \bar{Y})}{s_x s_y}; \quad (1)$$

čia n – duomenų apimties dydis, x_i, y_i – duomenų reikšmės, kurių priklausomybė tikrinama; \bar{X}, \bar{Y} – duomenų vidurkiai; s_x, s_y – standartiniai nuokrypiai; r – koreliacijos koeficientas, $r > 0$ rodo teigiamą priklausomybę tarp X ir Y , o $r < 0$ neigiamą.

Koreliacijos reikšmingumas apskaičiuojamas naudojant (2) formulę:

$$t = r \sqrt{\frac{n-2}{1-r^2}} \quad (2)$$

čia t – koreliacijos reikšmingumas; n – duomenų apimties dydis; r – koreliacijos koeficientas. Koreliacija laikoma statistškai reikšminga, jei $p < 0.05$. Koreliacijos koeficiento dydžio interpretacijos pateiktos 22 lentelėje.

22 lentelė. Koreliacijos koeficiento dydžio interpretacijos [59]

Koreliacijos koeficiento dydis (r)	Interpretacija
0,9–1,0 (-0,9 – -1,0)	Labai stipriai teigiama (neigiama) koreliacija
0,7–0,9 (-0,7 – -0,9)	Stipriai teigiama (neigiama) koreliacija
0,5–0,7 (-0,5 – -0,7)	Vidutiniškai teigiama (neigiama) koreliacija
0,3–0,5 (-0,3 – -0,5)	Silpnai teigiama (neigiama) koreliacija
0,0–0,3 (0,0 – -0,3)	Nereikšminga koreliacija

Naudojant šią lentelę, bus interpretuojami tyrimo metu gauti rezultatai.

Taip pat naudojama tiesinės regresijos modelis tarp priklausomų kintamųjų T1, T2, G, F ir nepriklausomų kintamųjų V, A, R, K. Tiesinė regresija skaičiuojama naudojant (3) formulę:

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 X_i + \varepsilon_i \quad (3)$$

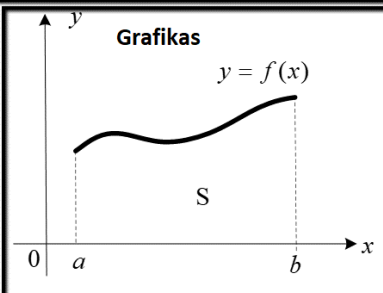
čia Y_i – priklausomo kintamojo reikšmė, rodo priklausomybės stiprumą; β_0 – laisvasis koeficientas; β_1 – nuolydis (angl. *slope*), ši reikšmė rodo priklausomybės tipą – atitinkamai teigiamą arba neigiamą; X_i – nepriklausomo kintamojo reikšmė; ε_i – atsitiktinė paklaida.

4.2.4. Eksperimento aplinka

Visi eksperimento dalyviai turėjo gerą regėjimą. Be to, turėjo patirties naudojant kompiuterius. Kiekvienam dalyviui buvo 7 rodomos skaidrės, kuriose buvo pavadinimas, tekstas, grafikas ir formulė. Viena skaidrė buvo rodoma 30 sekundžių, o visa sesija trukdavau maždaug 4 minutes. Eksperimento dalyviams buvo nurodyta, jog reikia įsiminti kuo daugiau informacijos, nes pabaigoje bus atliekamas testas. Testas sudarytas iš įvairių klausimų apie matematinius objektus. Pavyzdžiui, reikia susieti kažkokią formulę, grafiką ar tekstą su tam tikru teiginiu.

Sekti akims buvo naudojama žvilgsnio stebėjimo sistema bei „Tobii 4C Eye Tracker“ įrenginys. Rodyti skaidrėms buvo naudojamas 24 colių ekranas. Žvilgsnio sekimo įrenginys buvo montuojamas pagal instrukcijas ekrano apačioje. Atstumas tarp akių sekimo prietaiso ir eksperimento dalyvio siekė 70–75 cm. Kiekvienam dalyviui įrenginys buvo perkalibruotas naudojant 5 taškų kalibravimo metodą, jog būtų gaunami tikslūs rezultatai. Žvilgsnio sekimo sistema rinko duomenis apie fiksacijos taškų kiekį ir jų trukmę AoI plotuose.

Tyrimo skaidrės yra tikras mokymosi šaltinis, kuris buvo naudotas mokyti Kauno technologijos universiteto „Matematika 1“ pirmo kurso studentus. Matematikos tema – integralai. Skaidrės ruoštos naudojant *PowerPoint* programą. Kiekviena skaidrė atitiko mokymosi vieneta, kuris turėjo keturias sudedamąsias dalis: pavadinimą, tekstą, formulę ir grafiką (žr. 24 pav.).

Pavadinimas	
• FIGŪROS PLOTO SKAIČIAVIMAS STAČIAKAMPĖJE KOORDINAČIŲ SISTEMOJE	
Tekstas	
Kreivinės trapecijos, apribotos teigiamos funkcijos grafiko, abscisių ašies ir tiesių x lygu a bei x lygu b , plotas lygus apibrėžtiniam integralui:	
Grafikas	Formulė
	$S = \int_a^b f(x) dx$

24 pav. Skaidrė, kurią matė tyrimo dalyvis

Eksperimento eiga vienam dalyviui pateikiama žingsniais:

- kiekvienas eksperimento dalyvis atliko VARK testą, jog įsivertintų savo mokymosi būdą;
- atliekamas kalibravimas;
- per visą ekraną paleidžiamos skaidrės;
- dalyviai skaito skaidres ir stengiasi įsiminti, kuo daugiau informacijos;
- atliekamas testas, norint įvertinti, ar atidžiai buvo skaitoma. Testas naudojamas tik kaip motyvacija dalyviams, jo rezultatai neanalizuojami.

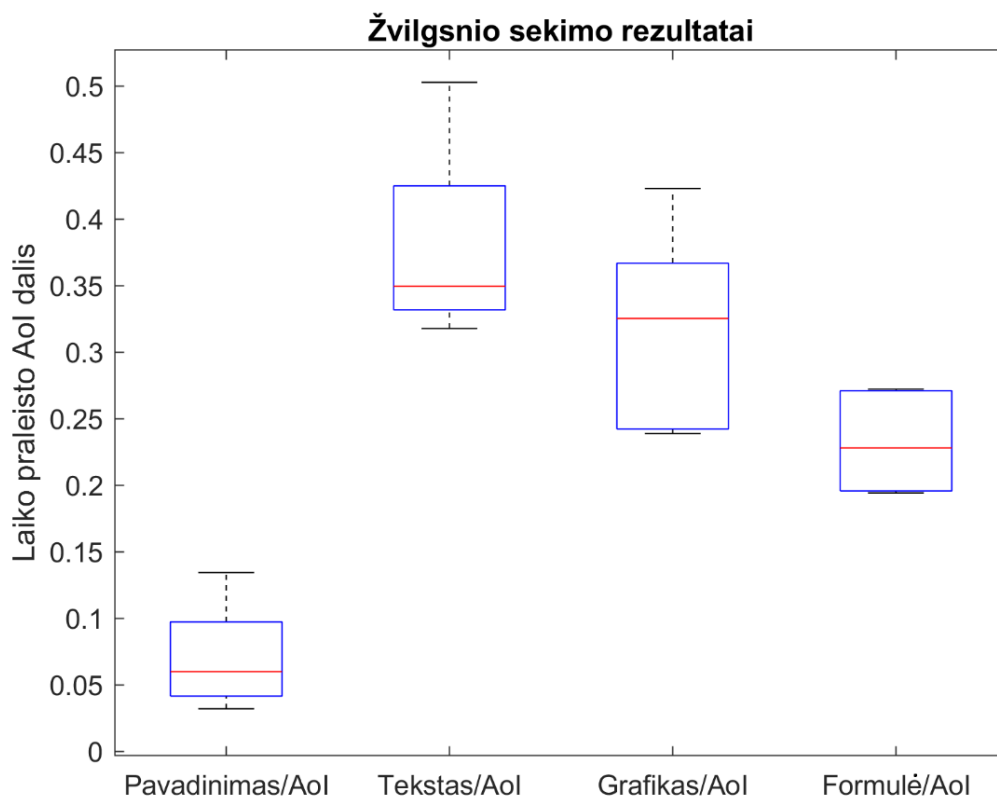
Viso eksperimento eigoje žvilgsnio stebėjimo sistema fiksuoja dalyvio akių judesius: fiksacijų kiekį bei trukmę AoI plotuose.

4.3. Pirmasis eksperimentas

Iš viso eksperimente dalyvavo 5 žmonės. Iš jų buvo 1 moteris ir 4 vyrai, kurių amžius svyravo tarp 23 ir 45 metų, o vidurkis lygus 29,8. Visi dalyviai turėjo aukštąjį išsilavinimą inžinerijos srityje.

4.3.1. Rezultatai

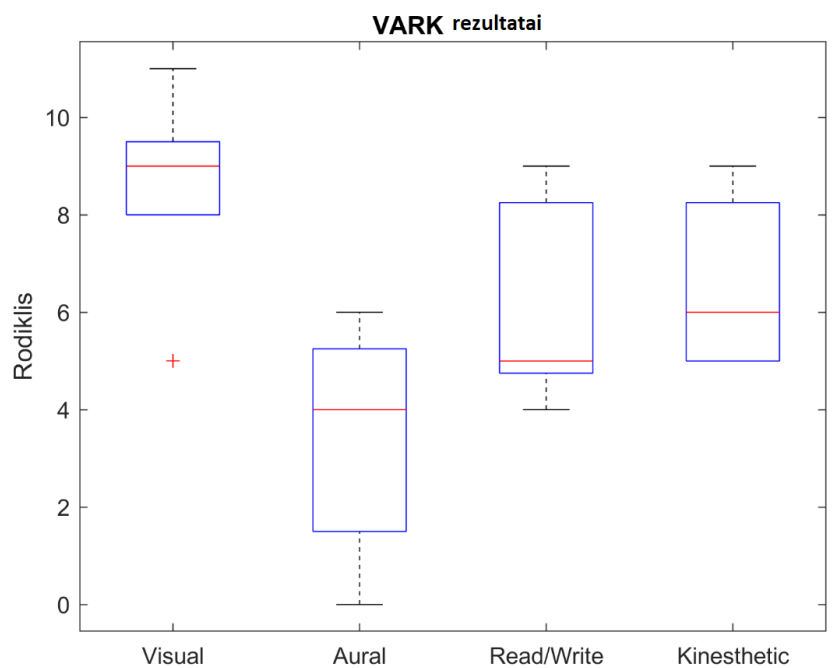
Pirmojo eksperimento laiko praleidimo AoI plotuose pasiskirstymas pateiktas 25 pav.



25 pav. Pirmojo eksperimento laiko praleidimo AoI plotuose pasiskirstymas

Daugiausia laiko (~35 %) buvo praleista žiūrint į tekstą, o mažiausia (~6 %) į pavadinimą.

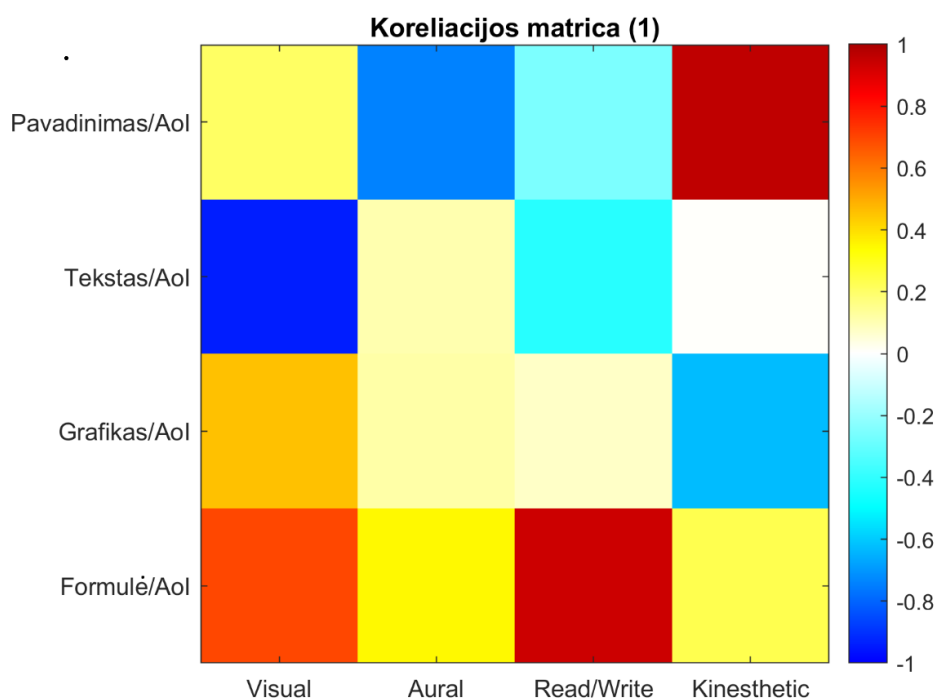
VARK klausimyno suvestinė pateikta 26 pav.



26 pav. Pirmojo eksperimento VARK klausimyno suvestinė

Aukščiausias vidurkis gautas V tipui (9.2), o mažiausias A tipui (4.2).

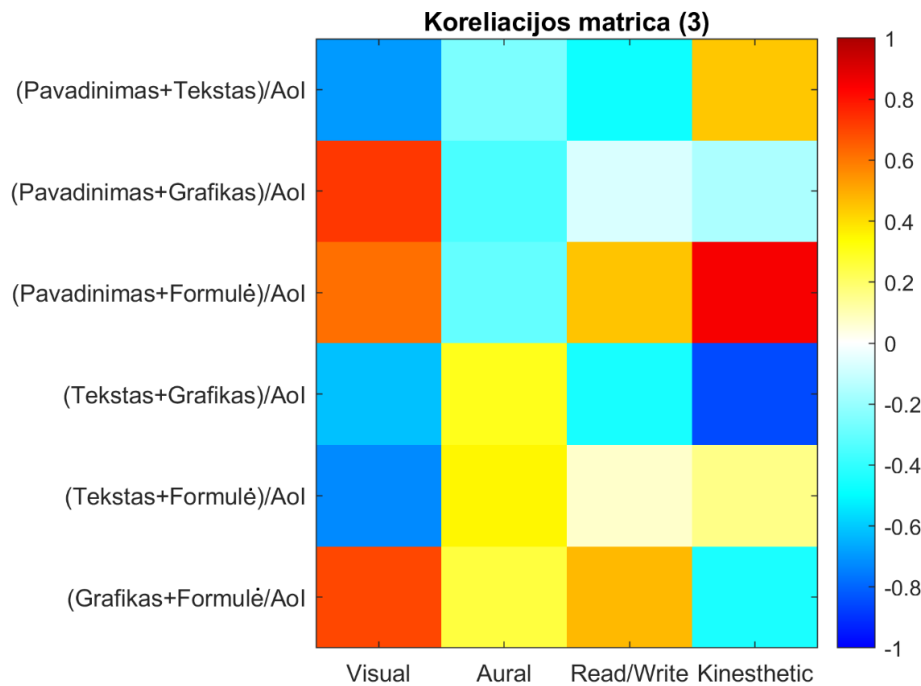
Toliau atlikta koreliacijos analizė tarp laiko, praleisto žiūrint į pavadinimą (T2), tekstą (T1), grafiką (G) ir formulę, bei V, A, R ir K atskirų balų. Koreliacijos matrica pateikta 27 pav.



27 pav. Pirmojo eksperimento koreliacijos matrica tarp laiko, praleisto žiūrint į pavadinimą, tekstą, grafiką ir formulę, bei V, A, R, K balų

Reikšmingos koreliacijos nustatytos tarp pavadinimo ir K mokymosi tipo ($r = 0.96$, $p = 0.009$), teksto ir V mokymosi tipo ($r = -0.94$, $p = 0.017$) bei formulės ir R mokymosi tipo ($r = 0.93$, $p = 0.020$). A mokymosi tipui nenustatyta jokių reikšmingų koreliacijų, o tai patvirtina H2 hipotezę. H1 hipotezė nepasitvirtino, tačiau remiantis rezultatais galima daryti išvadą, jog V mokymosi tipo žmonės visiškai neteikia pirmenybės tekstui. Taip pat nepasitvirtino H3 hipotezė, tačiau nustatyta, jog R mokymosi tipo žmonės teikia pirmenybę formulėms. Galiausiai, nepasitvirtino ir H4 hipotezė, bet rasta, kad K mokymosi tipo žmonės teikia pirmenybę tekstui.

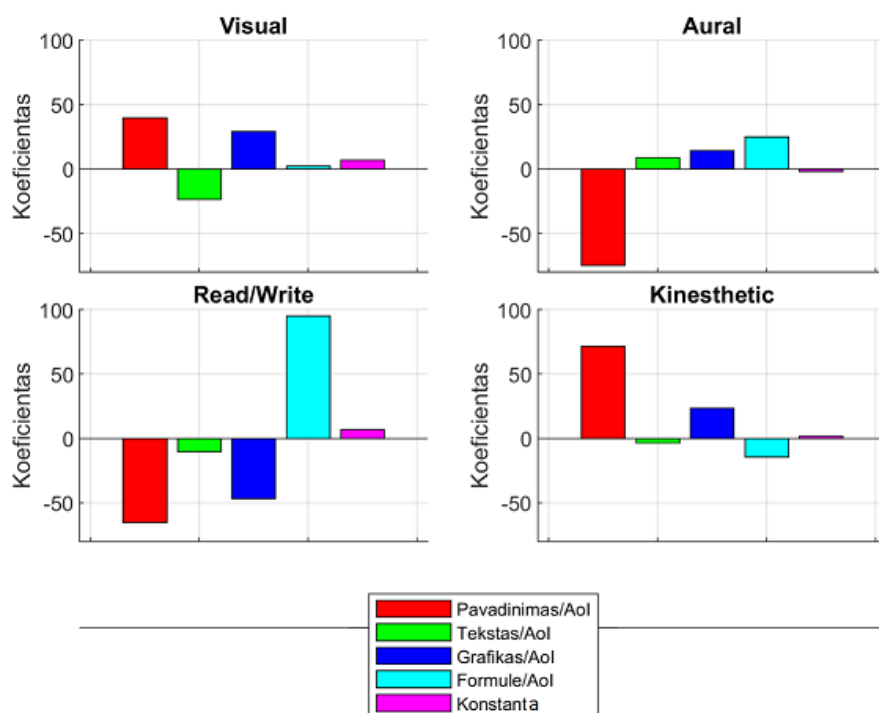
Taip pat analizuotos skirtingos priklausomybės, kai sugrupuojami priklausomi kintamieji (T1+T2, T1+G, T1+F, T2+G, T2+F, G+F) ir nepriklausomi kintamieji (V, A, R, K). Rezultatai pateikti 28 pav.



28 pav. Pirmojo eksperimento koreliacijos matrica tarp laiko, praleisto žiūrint į pavadinimą ir tekstą, tekstą ir grafiką, pavadinimą ir grafiką, pavadinimą ir formulę, grafiką ir formulę, bei V, A, R, K balų

Reikšmingos koreliacijos nustatytos tarp pavadinimo ir formulės bei K mokymosi tipo ($r = 0.86$). Taip pat tarp teksto ir grafiko bei K mokymosi tipo ($r = -0.86$).

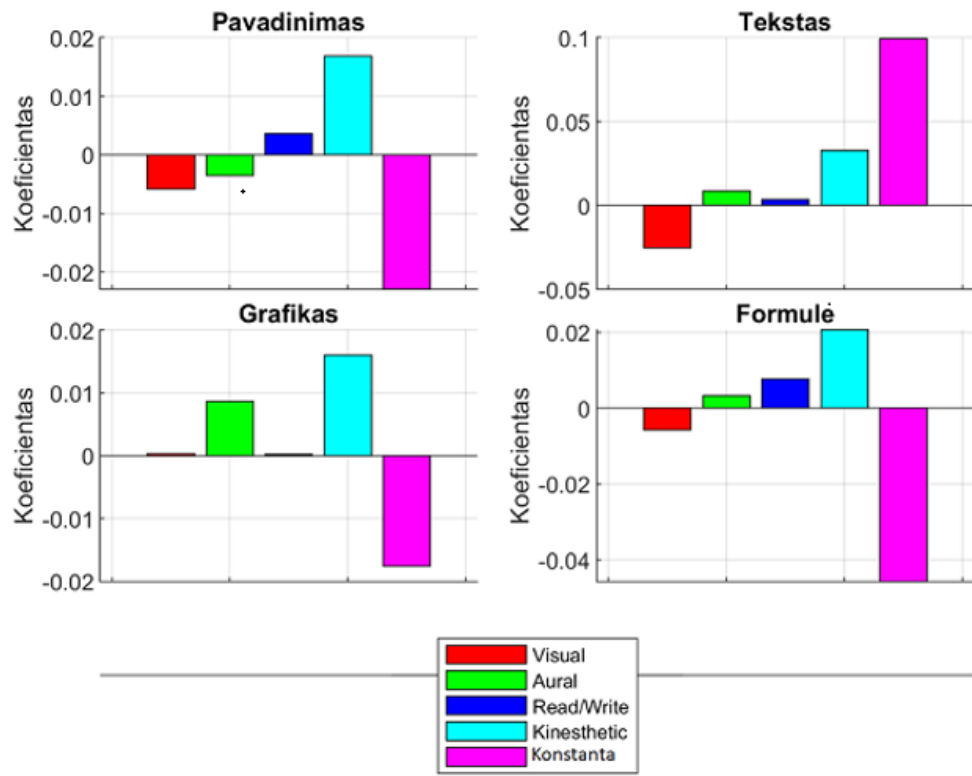
Negana to, buvo sukurti keturi tiesinės regresijos modeliai. V, A, R ir K balai pasirinkti kaip priklausomi kintamieji, o T2, T1, G ir F Aol tipai kaip nepriklausomi kintamieji (žr. 29 pav.).



29 pav. Pirmojo eksperimento tiesinės regresijos modelių suvestinė V, A, R ir K balams

Visi modeliai yra patikimi ($p < 0.001$ visiems koeficientams ir $r^2 > 0.99$ visiems modeliams). Nagrinėjant nuolydžio koeficientą, nustatyta, jog daugiausia įtakos V mokymosi tipui daro pavadinimas (39.5 teigiamos) ir grafikas (28.8 teigiamos). A mokymosi tipui daugiausia įtakos daro pavadinimas (-74.8 neigiamos). R mokymosi tipas labiausiai paveiktas formulės (94.7 teigiamai) ir pavadinimo (-65.1 neigiamai). K mokymosi tipui daugiausiai įtakos daro pavadinimas (71.1 teigiamos).

Be to, sukonstruoti atvirkštiniai tiesinės regresijos modeliai T2, T1, G ir F AoI tipams kaip nepriklausomiems kintamiesiems bei V, A, R, K balams kaip priklausomiems kintamiesiems (žr. 30 pav.).



30 pav. Pirmojo eksperimento tiesinės regresijos modelių suvestinė T2, T1, G ir F AoI tipams

Šiuo atveju tik pavadinimo modelis buvo patikimas ($p < 0.001$ visiems koeficientams ir $r^2 > 0.99$). Nagrinėjant nuolydžio koeficientą, nustatyta, jog T AoI tipui daugiausia įtakos daro K mokymosi rūšis (0.017 teigiamos). Šis rezultatas patvirtina atitinkamą K mokymosi tipo tiesinės regresijos modelį pateiktą 29 pav.

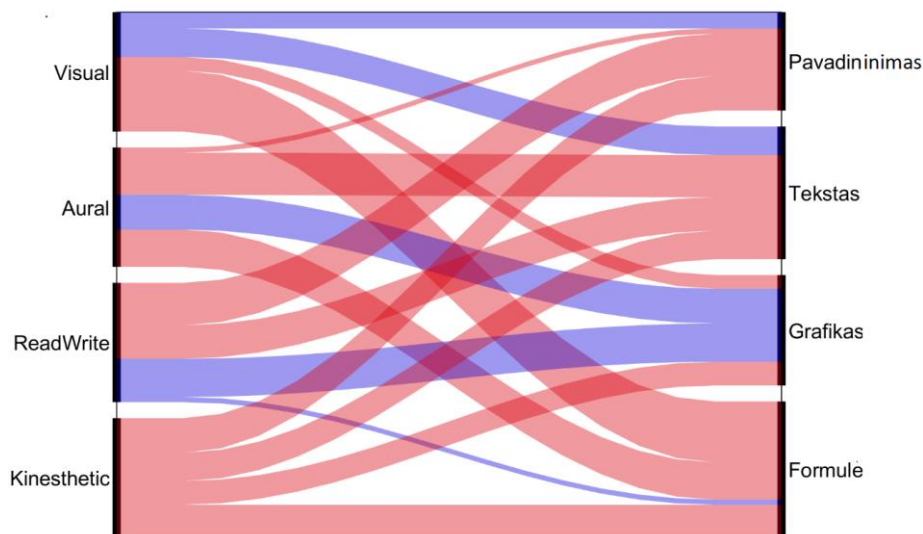
Galiausiai, įvertinta, kokį ryšį V, A, R ir K balų dispersija turi su fiksacijos laikų dispersija AoI plotuose (žr. 31 pav.). Koeficientų reikšmės gaunamos sprendžiant tiesines lygčių sistemas (4):

$$\begin{cases} Zx = Y \\ Yx = Z \end{cases} \quad (4)$$

čia Z – subjektų VARK vertinimo matrica, Y – subjektų *dwell* laiko matrica.

Gauti koeficientai yra normalizuojami, kad stulpelių suma būtų lygi vienetui ir atvaizduojami srautų diagrama (angl. *alluvial diagram*). Diagramoje teigiami koeficientai vaizduojami raudona spalva, neigiami – mėlyna spalva, o reikšmės didumas vaizduojamas linijos pločiu. Taip pat kiekvienas

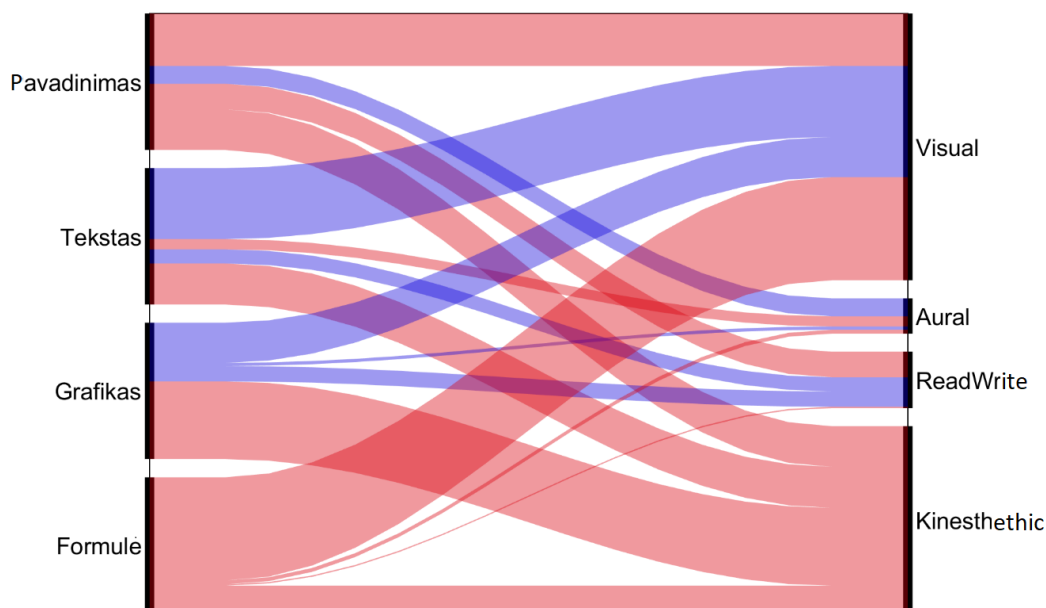
koeficientas lemia nepriklausomo kintamojo indėlį apskaičiuojant priklausomo kintamojo reikšmę [60].



31 pav. Pirmojo eksperimento V, A, R ir K balų dispersijos ryšis su fikscijos laikų dispersija AoI plotuose (raudona – teigiama įtaka, mėlyna – neigiama įtaka)

Nustatyta, jog daugiausia įtakos V mokymosi tipui turi formulė (+51 %) ir tekstas (-24 %). O A mokymosi tipui daugiausia įtakos daro tekstas (+35 %) ir formulė (+31 %). Taip pat rasta, jog pavadinimas (+35 %) ir grafikas (-32 %) daugiausia įtakos darė R mokymosi tipui. Galiausiai, K išsiaiškinta, kad mokymosi tipas yra labiausiai paveiktas pavadinimo (+29 %) ir formulės (+27 %) AoI plotų.

Taip pat įvertintas ir atvirkštinis ryšys – kaip fikscijos laikų dispersija AoI plotuose gali būti paaiškinama V, A, R ir K balų dispersija (žr. 32 pav.).



32 pav. Pirmojo eksperimento atvirkštinis V, A, R ir K balų dispersijos ryšis su fikscijos laikų dispersija AoI plotuose (raudona – teigiama įtaka, mėlyna – neigiama įtaka)

Išsiaiškinta, jog dėmesio sutelkimas pavadinimo AoI plote yra labiausiai paveiktas V (+38 %) ir K (+30 %) mokymosi tipų. O dėmesio sutelkimui teksto AoI plote daugiausia įtakos turėjo V (-52 %) ir K (+30 %) mokymosi tipai. Taip pat rasta, kad K (+57 %) ir T (-29 %) mokymosi tipai daugiausia įtakos turėjo dėmesio sutelkimui grafiko AoI plote. Galiausiai, nustatyta, jog dėmesio sutelkimui formulės AoI plote daugiausia įtakos turėjo V (+75 %) ir K (+20 %) mokymosi tipai.

4.3.2. Rezultatų įvertinimas

Gauti rezultatai patvirtina Al-Wabil'o ir kt. radinius [61]. Mokslininkai analizavo ILS mokymosi stilius, naudodami žvilgsnio sekimo technologijas. Tyrimo rezultatai taip pat rodo, kad verbalinio mokymosi stiliaus tiriamieji daugiau dėmesio kreipia į tekstinį negu į vizualinį turinį. Be to, nustatė, kad vizualinio stiliaus mokymosi tiriamieji daugiau skanuoja tekstą negu skaito ir skiria daugiau dėmesio vizualiniams elementams negu tekstui. Šie radiniai taip pat turi sąsajų su Luo ir kt. [62] tyrimo rezultatais. Be to, Hoffler'is ir kt. [63] analizavo OSIVQ klausimyną ir rado reikšmingas koreliacijas tarp *dwell* laiko, praleisto žiūrint į vizualius objektus, ir vizualinio mokymosi tipo tiriamųjų. Tokia koreliacija nenustatyta verbalinio mokymosi stiliaus tiriamiesiems. Taip pat šio tyrimo rezultatai patvirtina bendras žinias – V tipo mokymosi subjektai neteikia pirmenybės tekstui, o teikia grafikams. Be to, suteikia įdomių įžvalgų – K mokymosi tipo subjektai mėgsta pavadinimus, kurie suteikia apibendrintą informaciją. V mokymosi tipo tiriamieji teikia pirmenybę formulėms. Nors formulės yra išskirtinė matematinė išraiška, tačiau turi daug panašumo su vizualiniu informacijos pateikimu.

4.3.3. Išvados

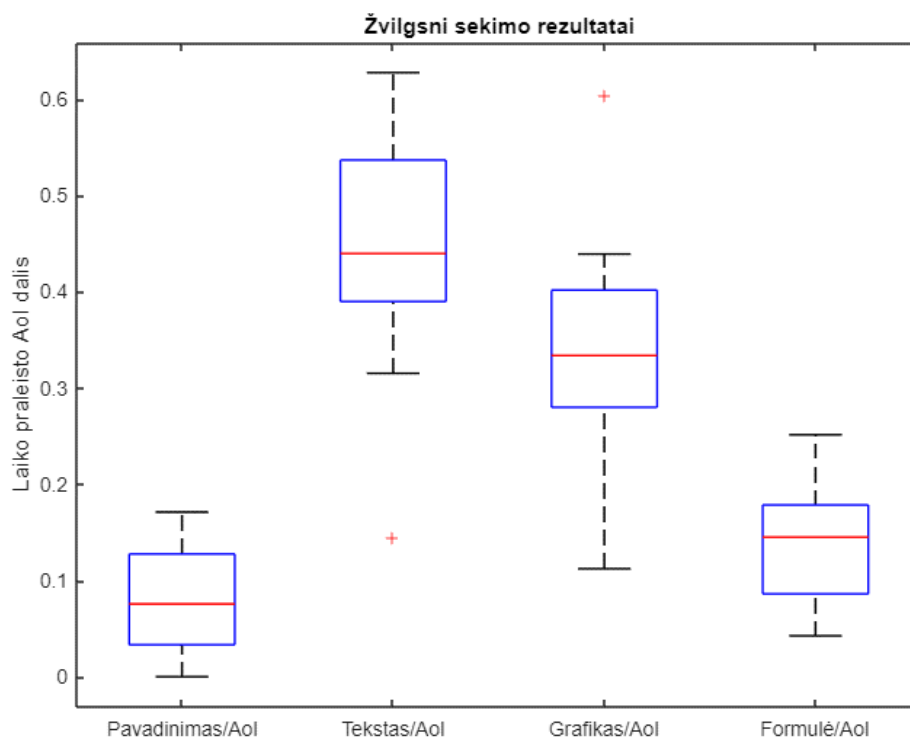
Rezultatai rodo reikšmingą teigiamą koreliaciją tarp pavadinimo AoI ir K tipo mokymosi tipo ($r = 0,96$), neigiamą koreliaciją tarp teksto ir V mokymosi tipo ($r = 0,96$) ir teigiamą koreliaciją tarp formulės ir R mokymosi tipo ($r = 0,93$). Tiesinės regresijos modeliai rodo, jog V, A ir K mokymosi tipams daug įtakos turi pavadinimas, o R mokymosi tipui turi formulė. Atvirkštiniai tiesinės regresijos modeliai stiprią V mokymosi tipo įtaką pavadinimams. Tai yra patvirtinama dispersijos analizės rezultatais. Šie rezultatai rodo, kad V mokymosi tipo tiriamieji teikia pirmenybę formulėms, o neteikia tekstui. A mokymosi tipo tiriamieji mėgsta tekstą ir formules. Taip pat R mokymosi tipo subjektai teikia pirmenybę pavadinimams ir nemėgsta grafikų. Galiausiai, K mokymosi tipo subjektai mėgsta pavadinimus ir formules.

4.4. Antrasis eksperimentas

Iš viso eksperimente dalyvavo 20 žmonių. Iš jų buvo 2 moterys ir 18 vyrų, kurių amžius svyravo tarp 23 ir 42 metų, o vidurkis lygus 31. Visi dalyviai turėjo aukštąjį išsilavinimą inžinerijos srityje.

4.4.1. Rezultatai

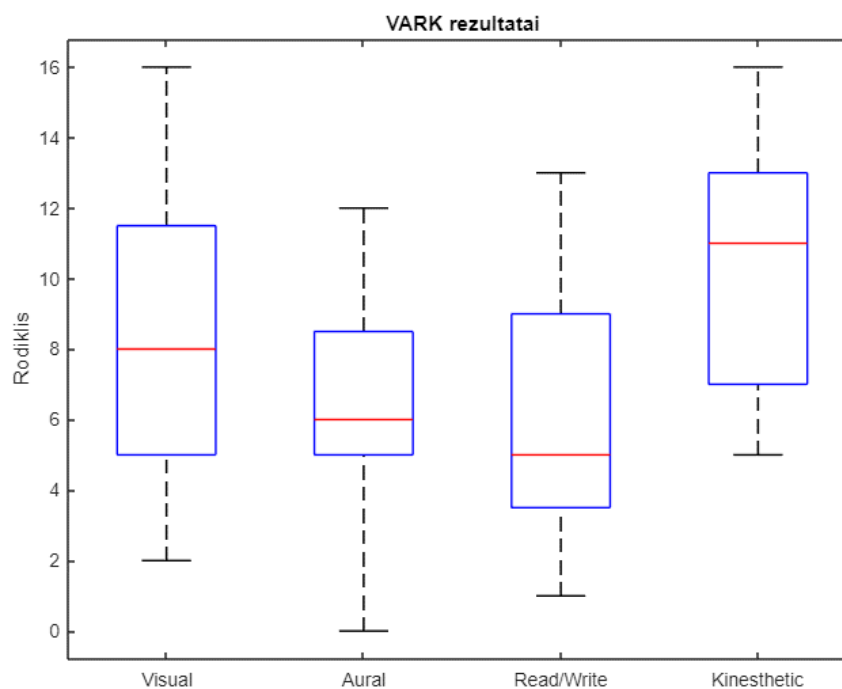
Antrojo eksperimento laiko praleidimo AoI plotuose pasiskirstymas pateiktas 33 pav.



33 pav. Antrojo eksperimento laiko praleidimo AoI plotuose pasiskirstymas

Mažiausiai laiko (~7.5 %) buvo praleista žiūrint į pavadinimą, o daugiausia (~44 %) į tekstą.

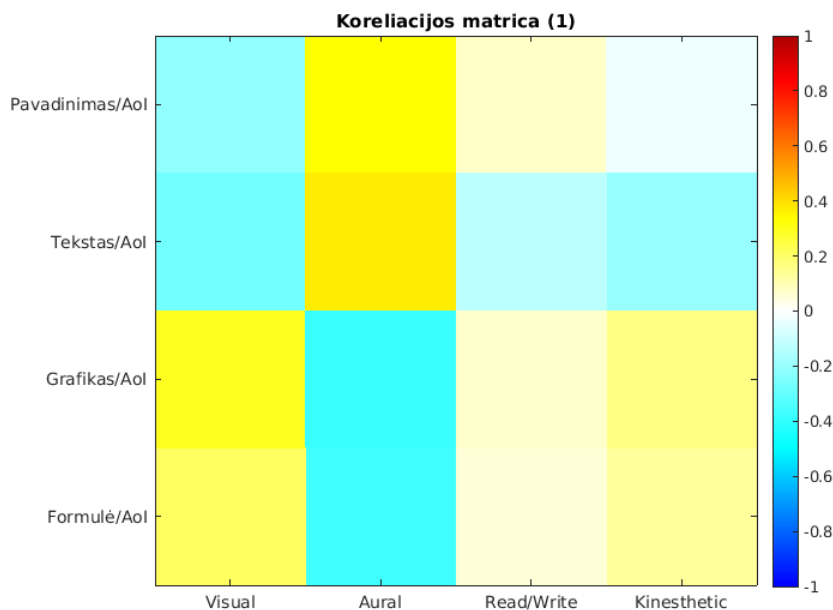
Antrojo eksperimento VARK klausimyno suvestinė pateikta 34 pav.



34 pav. Antrojo eksperimento VARK klausimyno suvestinė

Žemiausias vidurkis gautas R tipui (5), o aukščiausias K tipui (11).

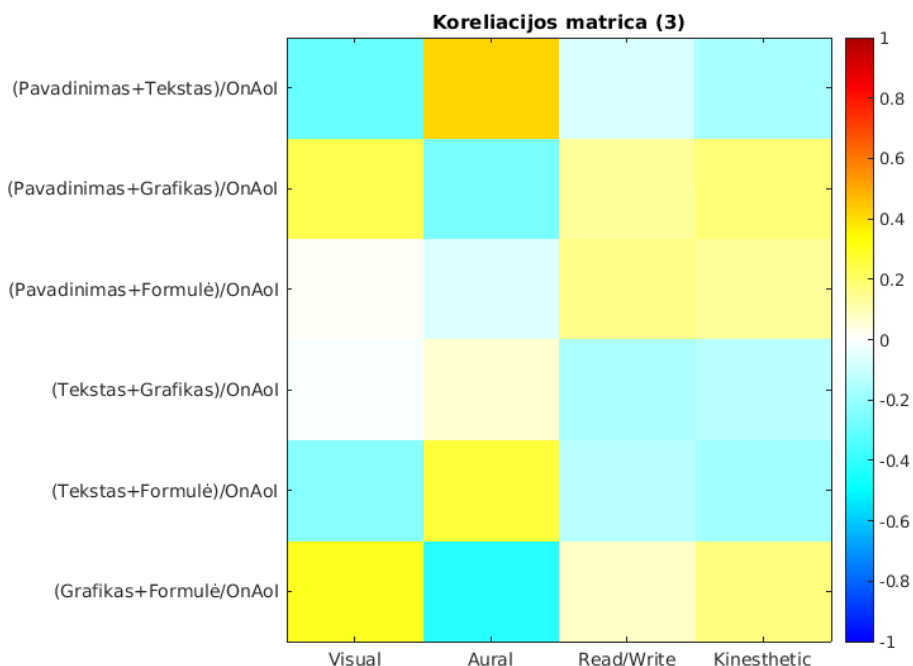
Antrojo eksperimento koreliacijos matrica, kuri atspindi laiko, praleisto žiūrint į pavadinimą (T2), tekstą (T1), grafiką (G) ir formulę, bei V, A, R ir K atskirų balų ryšį, pateikta 35 pav.



35 pav. Antrojo eksperimento koreliacijos matrica tarp laiko, praleisto žiūrint į pavadinimą, tekstą, grafiką ir formulę, bei V, A, R, K balų

Statiškai reikšmingų koreliacijų nerasta. Stipriausias ryšis nustatytas tarp teksto ($r = 0.37$), grafiko ($r = -0.38$) ir A mokymosi tipo.

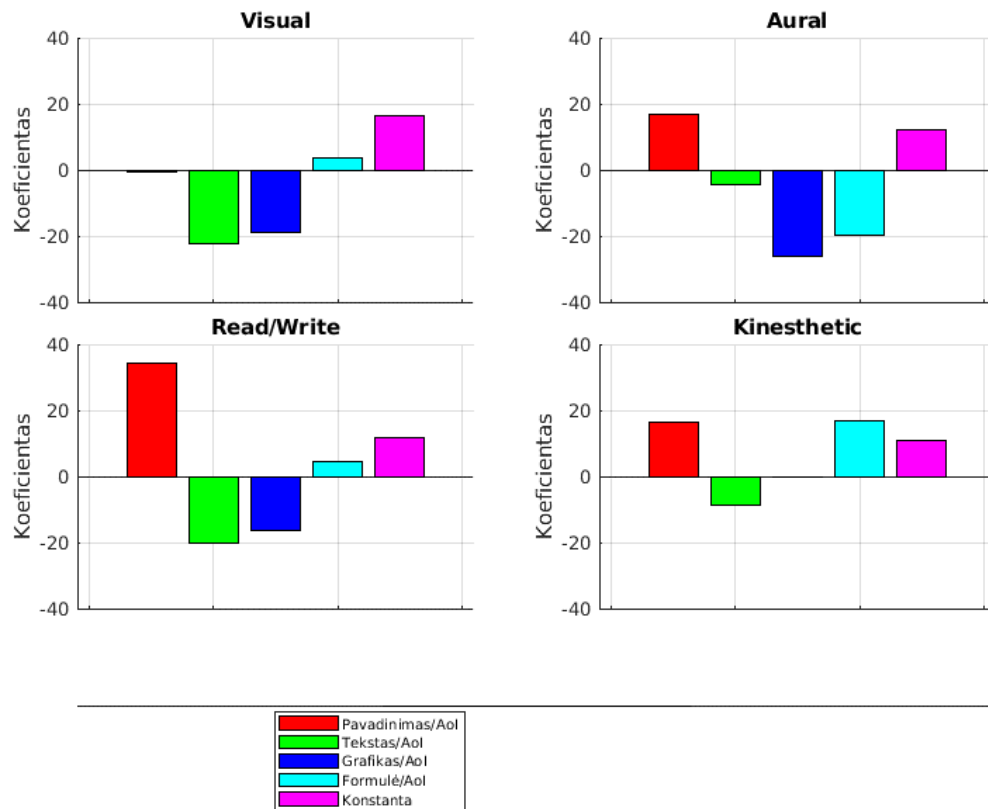
Be to, sukurta koreliacijos matrica, kai sugrupuojami priklausomi kintamieji (T1+T2, T1+G, T1+F, T2+G, T2+F, G+F) ir nepriklausomi kintamieji (V, A, R, K). Rezultatai pateikti 36 pav.



36 pav. Antrojo eksperimento koreliacijos matrica tarp laiko, praleisto žiūrint į pavadinimą ir tekstą, tekstą ir grafiką, pavadinimą ir grafiką, pavadinimą ir formulę, grafiką ir formulę, bei V, A, R, K balų

Nenustatyta statiškai reikšmingų korelacijų. Stipriausia koreliacija rasta tarp pavadinimo bei teksto ir A mokymosi tipo ($r = 0.42$). Be to, tarp grafiko ir formulės bei A mokymosi tipo ($r = -0.42$).

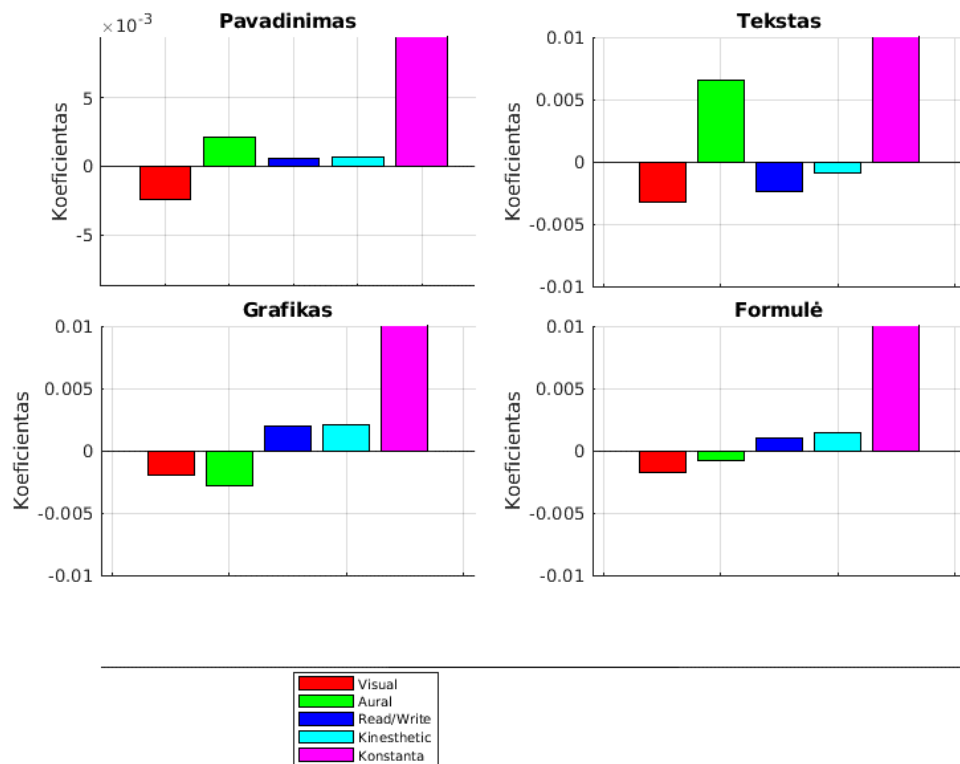
Taip pat buvo sukurti keturi tiesinės regresijos modeliai. V, A, R ir K balai pasirinkti kaip priklausomi kintamieji, o T2, T1, G ir F AoI tipai kaip nepriklausomi kintamieji (žr. 37 pav.).



37 pav. Antrojo eksperimento tiesinės regresijos modelių suvestinė V, A, R ir K balams

Gauta, jog r^2 lygus 0,1416; 0,1956; 0,0792; 0,0528 atitinkamai V, A, R ir K balams. Koreliacija yra labai silpna arba nepastebima, nes determinacijos koeficientų reikšmės yra labai mažos. Tai pavirtina H2 hipotezę.

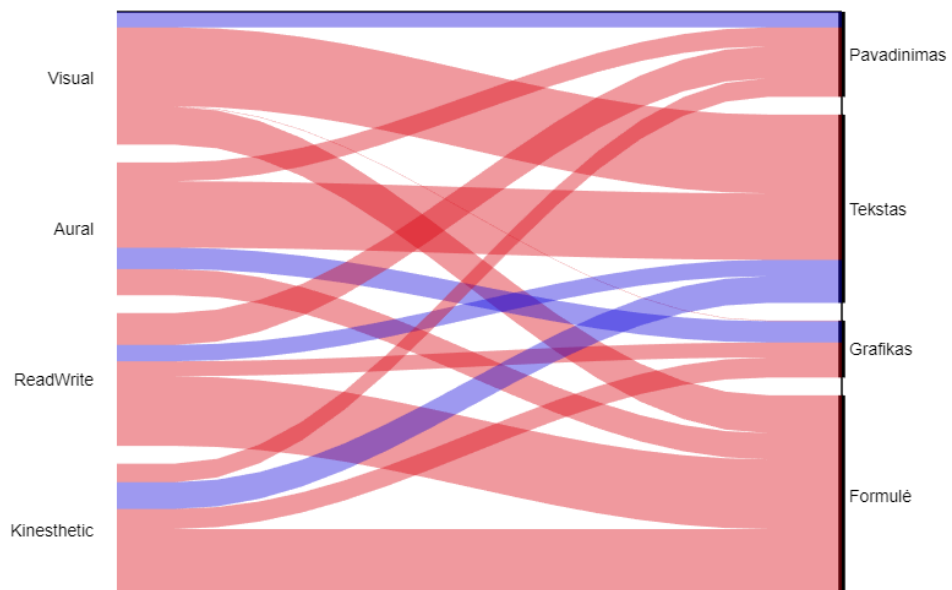
Be to, sukonstruoti atvirkštiniai tiesinės regresijos modeliai T2, T1, G ir F AoI tipams kaip nepriklausomiems kintamiesiems bei V, A, R, K balams kaip priklausomiems kintamiesiems (žr. 38 pav.).



38 pav. Antrojo eksperimento tiesinės regresijos modelių suvestinė T2, T1, G ir F AoI tipams

Gauta, jog r^2 lygus 0,1349; 0,0492; 0,0137; 0,0275 atitinkamai pavadinimui, tekstui, grafikui ir formulei. Determinacijos koeficientų reikšmės yra labai mažos, todėl koreliacija yra labai silpna arba nepastebima.

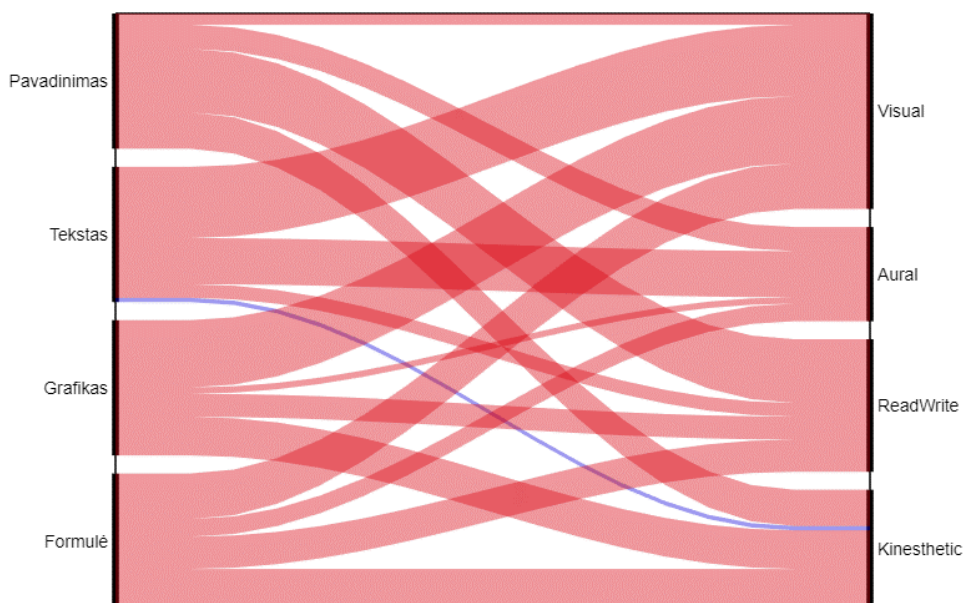
Galiausiai, įvertinta, kokį ryšį V, A, R ir K balų dispersija turi su fiksacijos laikų dispersija AoI plotuose (žr. 39 pav.). Grafiko sudarymas paaiškintas 4.3.1 skyrelyje.



39 pav. Antrojo eksperimento V, A, R ir K balų dispersijos ryšis su fiksacijos laikų dispersija AoI plotuose (raudona – teigiama įtaka, mėlyna – neigiama įtaka)

Rasta, kad daugiausia įtakos V mokymosi tipui turi formulė (+29 %) ir tekstas (59 %). O A mokymosi tipui daugiausia įtakos daro tekstas (+50 %) ir formulė (+19 %). Be to, rasta, jog pavadinimas (+24 %) ir formulė (52 %) daugiausia įtakos darė R mokymosi tipui. Galiausiai, išsiaiškinta, kad K mokymosi tipas yra labiausiai paveiktas teksto (-20 %) ir formulės (+50 %) AoI plotų.

Taip pat įvertintas ir atvirkštinis ryšys – kaip fiksacijos laikų dispersija AoI platuose gali būti paaiškinama V, A, R ir K balų dispersija (žr. 40 pav.).



40 pav. Antrojo eksperimento atvirkštinis V, A, R ir K balų dispersijos ryšis su fiksacijos laikų dispersija AoI platuose (raudona – teigiama įtaka, mėlyna – neigiama įtaka)

Išsiaiškinta, jog dėmesio sutelkimas pavadinimo AoI plote yra labiausiai paveiktas R (+47 %) ir K (+27 %) mokymosi tipų. O dėmesio sutelkimui teksto AoI plote daugiausia įtakos turėjo V (52 %) ir A (+30 %) mokymosi tipai. Taip pat rasta, kad V (+50 %) ir K (29 %) mokymosi tipai daugiausia įtakos turėjo dėmesio sutelkimui grafiko AoI plote. Galiausiai, nustatyta, jog dėmesio sutelkimui formulės AoI plote daugiausia įtakos turėjo V (+34 %) ir K (+29 %) mokymosi tipai.

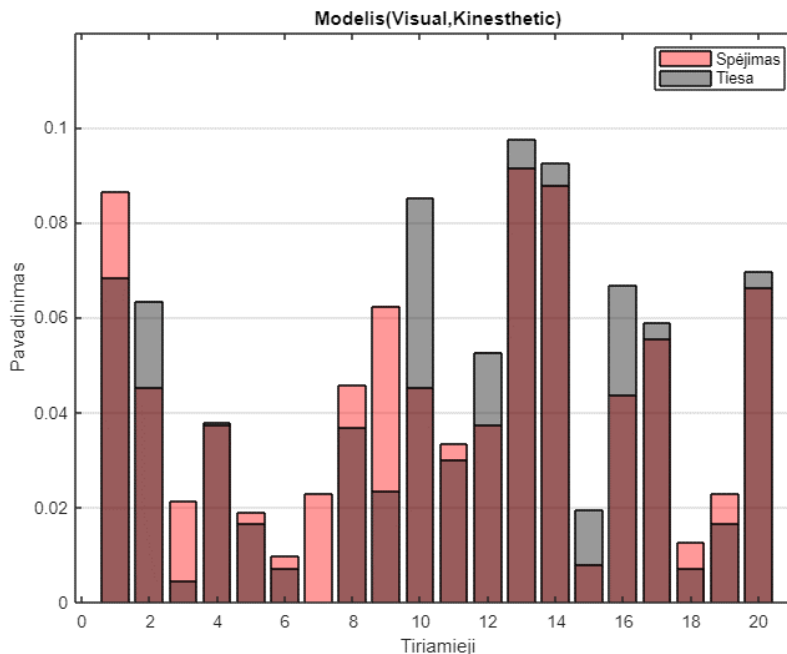
Norint sukurti modelį, kuris susieja daugybę nepriklausomų kintamųjų su vienu priklausomu kintamuoju, naudojama daugialypė polinominė regresija (angl. *multiple polynomial regression*). Tegul n reiškia nepriklausomų kintamųjų $x_1, x_2, x_3, x_4, x_5 \dots x_n$, o priklausomas kintamasis pažymimas Y . Tada yra bendroji daugialypės regresijos modelio lygtis (5) yra:

$$Y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \beta_3 x_3 + \dots + \beta_n x_n + \varepsilon \quad (5)$$

čia $\beta_0, \beta_1, \beta_n$ – nežinomi regresijos modelio koeficientai, ε – atsitiktinės paklaidos.

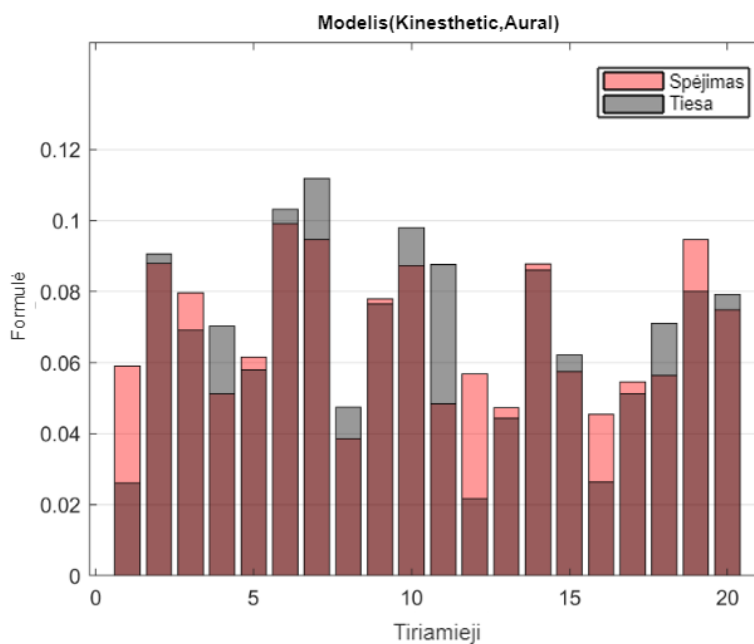
Tyrime kaip priklausomi kintamieji naudojami žvilgsnio sekimo rezultatai (žvilgsnio fokusavimo santykinis laikas tam tikro tipo elementuose: tekste, formulėse, grafikuose ir pavadinime). Nepriklausomi kintamieji – subjektų vertinimo naudojant apklausos metodą rezultatai. Geriausiems daugialypės regresijos modeliams surasti naudojamas pilnas tiesinės, kvadratinės ir kubinės regresijos modelių perrinkimas, o modelių koeficientai apskaičiuojami naudojant *MATLAB* funkciją *fit*.

Funkcija gražina modelio koeficientus su 95 % statistinio pasikliautinumo intervalais. Modelio kokybė vertinama naudojant determinacijos koeficientą r^2 . Darbe pateikiami 2 geriausi surasti modeliai. 41 pav. pateikiami polinominės regresijos modelio, spėjančio pavadinimui skiriamo dėmesio santykinę trukmę priklausomai nuo *Visual* ir *Kinesthetic* vertinimo reikšmių, rezultatai. Galima pastebėti, kad spėjamos reikšmės yra gana artimos tikrosioms reikšmėms.



41 pav. Daugialypės polinominės regresijos modelio, spėjančio pavadinimui skiriamo dėmesio santykinę trukmę priklausomai nuo *Visual* ir *Kinesthetic* vertinimo, reikšmių rezultatai

42 pav. pateikiami polinominės regresijos modelio, spėjančio formulei skiriamo dėmesio santykinę trukmę priklausomai nuo *Kinesthetic* ir *Aural* vertinimo reikšmių, rezultatai.



42 pav. Daugialypės polinominės regresijos modelio, spėjančio formulei skiriamo dėmesio santykinę trukmę priklausomai nuo *Kinesthetic* ir *Aural* vertinimo, reikšmių rezultatai

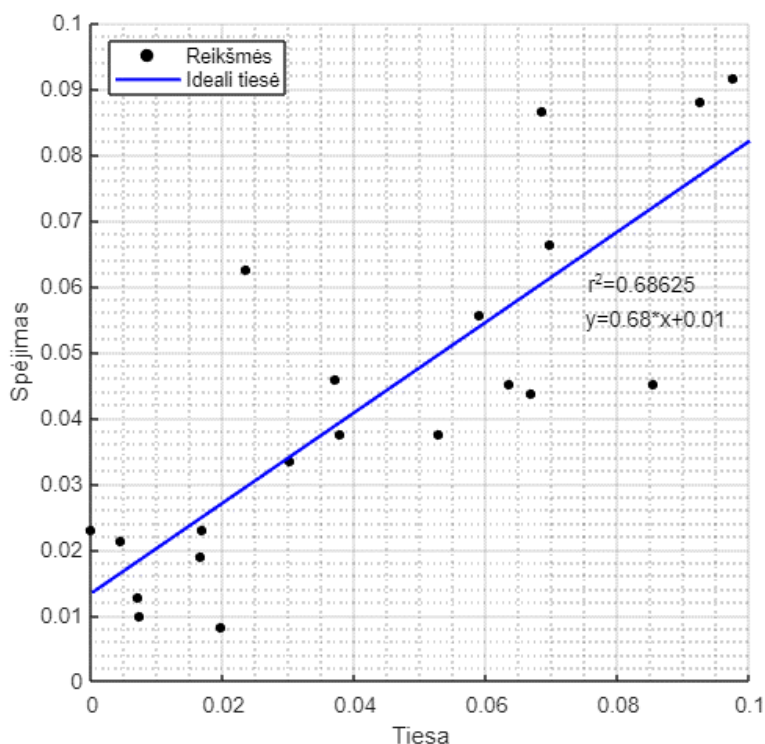
Nustatyta, jog daugelis spėjimų yra netoli tikrųjų reikšmių. Taip pat šis modelis patvirtina H4 hipotezę.

Polinominės regresijos modelių tinkamumui įvertinti naudojama paklaidų analizė (angl. *residual analysis*). Ištyrus paklaidas, galima nustatyti rastų modelių adekvatumą. Modelio paklaidą apskaičiuojama pagal (6) formulę:

$$e_i = y_i - \hat{y}_i \quad (6)$$

čia y_i yra tikroji priklausomo kintamojo reikšmė, o \hat{y}_i yra modelio prognozuojama priklausomojo kintamojo reikšmė.

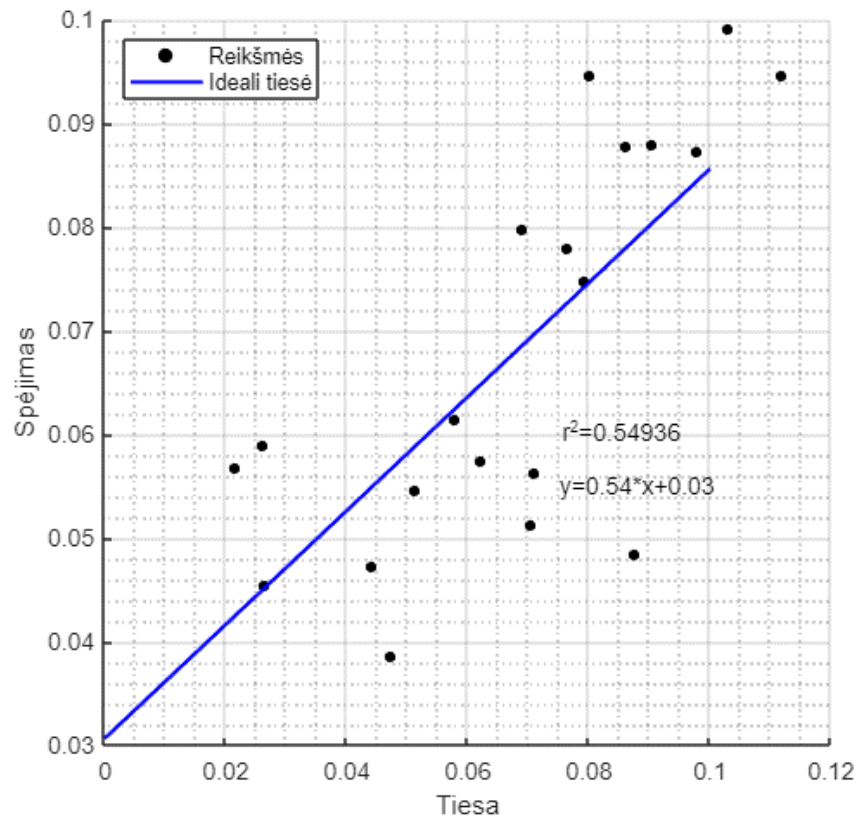
Nustatant, ar pasirinktas regresijos modelis yra tinkamas duomenims pritaikyti, naudinga sudaryti diagnostinę schemą. Vienoje konkrečioje diagnostinėje diagramoje pateikiama modelio prognozuojama vertė vertikaloje ašyje, o tikroji vertė – horizontalioje ašyje. Sukūrus brėžinį, jei taškai tiksliai atitinka liniją, kuriai teigiamas nuolydis, tada duomenų regresijos modelis leidžia tiksliai numatyti iš tikrųjų pastebėtas vertes. Diagnostinė schema daugialypės regresijos modeliui (Pavadinimas) ← (*Visual, Kinesthetic*) yra pateikiamas 43 pav.



43 pav. Daugialypės regresijos modelio (Pavadinimas) ← (*Visual, Kinesthetic*) diagnostinė schema

Schemoje galima matyti tikrų ir spėjamų reikšmių vertes. Taip pat koeficientą $r^2 = 0,68625$ ir idealios tiesės lygtį $y = 0,68x + 0,01$.

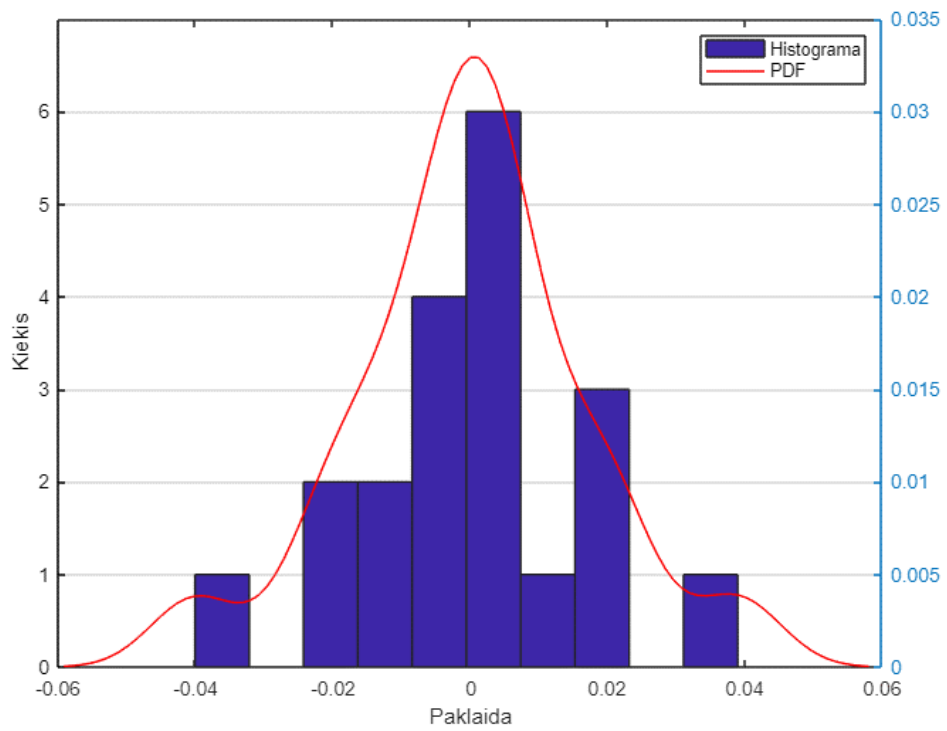
Diagnostinė schema daugialypės regresijos modeliui (Formulė) ← (*Kinesthetic, Aural*) yra pateikiama 44 pav.



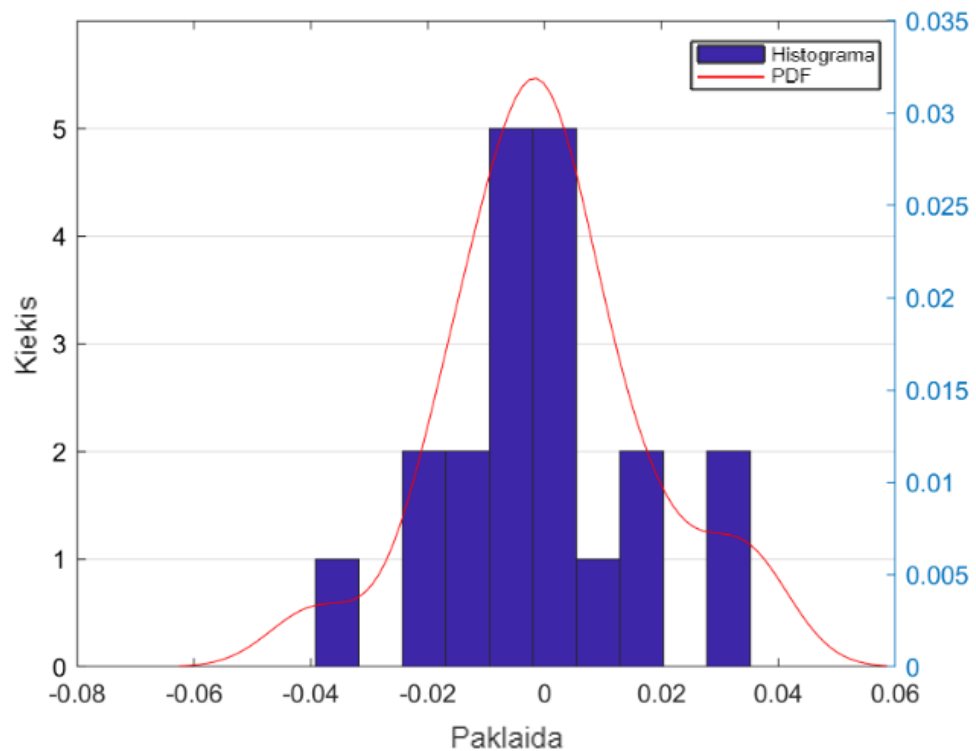
44 pav. Daugialypės regresijos modelio (Formulė) ← (*Kinesthetic, Aural*) diagnostinė schema

Schema rodo spėjamų ir tikrų reikšmių vertes. Be to, koeficientą $r^2 = 0,54936$ ir idealios tiesės lygtį $y = 0,54x + 0,03$.

Modelio adekvatumui įvertinti taip pat naudojami diagnostiniai grafikai, vaizduojantys modelio paklaidų pasiskirstymą (paklaidų histogramą) vertikalioje ašyje. Adekvataus modelio paklaidos turėtų būti atsitiktinai pasiskirsčiusios aplink nulį, atsižvelgiant į normalų pasiskirstymą. Nagrinėjant šį grafiką, jei didžioji dalis paklaidų verčių nukrypsta nuo -2 iki 2 standartinių nuokrypių, o paklaidų vidurkis yra artimas 0, tuomet laikoma, kad modelis yra adekvatus ir gerai prognozuoja priklausomojo kintamojo reikšmę. Daugialypės regresijos modelio (Pavadinimas) ← (*Visual,*) paklaidų histograma yra pateikiama 45 pav., o (Formulė) ← (*Kinesthetic, Aural*) 46 pav. Kartu pateikiama ir paklaidų tikimybės tankio funkcija (angl. *probability density function, PDF*), kuri aproksimuoja histogramą. Grafikas gautas naudojant MATLAB funkcijas *hist* ir *ksdensity*. Iš grafiko galima pastebėti, kad paklaidų skirstinys yra artimas nuliui, o paklaidos yra išsibarsčiusios apie nulinę reikšmę.



45 pav. Daugialypės regresijos modelio (Pavadinimas) ← (Visual, Kinesthetic) paklaidų histograma ir klaidų tikimybės tankio funkcija



46 pav. Daugialypės regresijos modelio (Formulė) ← (Kinesthetic, Aural) paklaidų histograma ir klaidų tikimybės tankio funkcija

Daugialypės regresijos modelių paklaidų analizės rezultatai yra pateikiami 23 lentelėje.

23 lentelė. Daugialypės regresijos modelių paklaidų analizės rezultatai

Modelis	Determinacijos koeficientas	RMSE	Paklaidų vidurkis	Paklaidų reikšmių tarp -2 ir 2 standartinių nuokrypių dalis
(Pavadinimas) ← (Visual, Kinesthetic)	0.6863	0.0148	-2.9091e-16	95 %
(Formulė) ← (Kinesthetic, Aural)	0.5494	0.0132	-5.6309e-16	95 %

Galima pastebėti, kad sukurti modeliai yra adekvatūs, kadangi paklaidų vidurkis yra artimas 0 ir didžioji dalis paklaidų verčių nukrypsta nuo -2 iki 2 standartinių nuokrypių (95 %). Modelis (Pavadinimas) ← (Visual, Kinesthetic) yra šiek tikslesnis lyginant su antru modeliu (atitinkamai $r^2 = 0,6863$ ir $r^2 = 0,5494$).

4.4.2. Rezultatų įvertinimas

Šio tyrimo rezultatai rodo, jog K mokymosi tipo tiriamieji teikia pirmenybę F tipo informacijai. Daugiau reikšmingų koreliacijų nerasta. Todėl tai paneigia H1 ir H3 bei patvirtina H2 ir H4 hipotezes.

4.4.3. Išvados

Išanalizavus rezultatus, rastas reikšmingas daugialypės regresijos modelis, kuris rodo, jog K mokymosi tipo objektai teikia pirmenybę formulėms ($r^2 = 0,6863$). Tai patvirtinama duomenų dispersijos analizės rezultatais, kurie rodo, kad K mokymosi tipo tiriamieji mėgsta formules, R mokymosi tipo teikia pirmenybę formulėms ir pavadinimui, V mokymosi tipo mėgsta formulę ir tekstą, o A mokymosi tipo subjektams daugiausia įtakos daro tekstas ir formulė. Analizuojant tiesinės regresijos modelius, jokių reikšmingų ryšių tarp mokymosi tipų ir AoI tipų nerasta.

4.5. Grėsmės duomenų teisingumui

Tyrime dalyvavo mažas kiekis tiriamųjų. Taip pat tiriamieji buvo pasirinkti šališkai (visi turi stiprias žinias apie kompiuterius). Šie faktoriai lemia, kad tyrimų rezultatų skirtumą ir kelia grėsmę rezultatų teisingumui. Be to, tyrimuose nebuvo atsižvelgta į streso, emocijų ir lyties įtaką, nors ankstesni mokslininkų radiniai rodo, jog šie veiksniai turi įtakos žvilgsnio sekimo charakteristikoms [64; 65; 66]. Taip pat skirtingi AoI tipai negali būti griežtai laikomi atskirais – kai kuriais atvejais tekstas ir grafikai turėjo kitų matematinių elementų (notacijos ar kintamųjų pavadinimai).

Išvados

1. Išanalizavus žvilgsnio sekimo įrenginių veikimo principus, nustatyta, kad daugelis žvilgsnio fiksavimo įrenginių naudoja vyzdžio centro ragenos atspindžio techniką, kuri skirta sekti ir užfiksuoti akių judėjimą bei yra paremta infraraudoniesiems spinduliams artimos šviesos akies apšvietimu. Atlikus žvilgsnio stebėjimo ir akių sekimo charakteristikų analizę, nustatyta, jog atliekamam tyrimui yra reikalingos fiksacijos, susidomėjimo plotai ir fiksacijų trukmė bei kiekis AoI plotuose. Surinkus duomenis apie šias charakteristikas ir juos išanalizavus, galima apskaičiuoti, į kuriuos objektus subjektai sutelkia daugiausia dėmesio.
2. Išanalizavus mokymosi objektų kūrimo, naudojanat vizualinius elementus, problemas, išsiaiškinta, jog informacijos įsisavinimas priklauso nuo formos, kuria yra pateikiamas objektas. Pavyzdžiui, ta pati informacija gali būti pateikiama tekstu, formule ir diagrama. Taip pat sudėtinga atvaizduoti informaciją tik tam vienu konkrečiu formatu. Formulės ar diagramos dažniausiai turi tiek tekstinių, tiek vizualinių elementų bruožų. Be to, yra svarbi teksto forma, dydis ir šriftas, kuriuo pateikiama informacija grafikuose, formulėse ar kituose vizualiniuose elementuose. Šie parametrai gali tiek pagerinti, tiek pabloginti vizualinių objektų suprantamumą. Galiausiai, svarbu atsižvelgti, ar vizualiniai elementai yra pateikiami kartu su tekstu ir kokiu eiliškumu. Priklausomai nuo žmogaus mokymosi tipo tai gali daryti įtaką informacijos įsisavinimo greičiui.
3. Sukūrus ir ištyrus žvilgsnio stebėjimo sistemą, nustatyta, jog jos prižiūrimumo lygis yra vidutiniškas. Atsižvelgiant į 5 % prižiūrimumo metrikų taisyklę, sukurtai sistemai reikėtų atlikti tam tikrus priežiūros darbus. Tyrimo rezultatai rodo, jog daugiausia prižiūrimo darbų reikalauja 17 klasių (4,6 % visos sistemos). Jog šias klases reikėtų tobulinti, rodo daugiau negu viena prižiūrimo metrika. Remiantis tyrimo rezultatais, sistemos prižiūrimumo lygį galima būtų didinti pridėjus daugiau kodo komentarų ir skaidant klases į mažesnius modulius.
4. Iš viso atlikti du eksperimentiniai tyrimai, kurie skirti VARK klausimyno pagrįstumui įvertinti ir aprobuoti sukurtą įrankį – žvilgsnio stebėjimo sistemą. Remiantis tyrimų rezultatais, patikrintos hipotezės, kurios sieja subjektų mokymosi būdą ir AoI informacijos ploto tipą. Pirmojo tyrimo rezultatai paneigia H1, H3 ir H4 bei patvirtinta H2 hipotezę – subjektai priskiriami A mokymosi tipui neteikia pirmenybės nė vienam informacijos tipui. Antrojo tyrimo rezultatai taip pat paneigia H1 ir H3 hipotezes bei patvirtina H2. Skirtingai nuo pirmo tyrimo, antrasis patvirtina H4 hipotezę – subjektai priskiriami K mokymosi tipui teikia pirmenybę F tipo informacijai. Žinoma reikia įvertinti grėsmes rezultatų teisingumui – tiriamieji buvo pasirinkti šališkai, neatsižvelgta į streso, emocijų ir lyties įtaką.

Literatūros sąrašas

1. *Types of eye movement* [interaktyvus]. 2019 [žiūrėta 2019-05-10]. Prieiga per: <https://www.tobii.com/learn-and-support/learn/eye-tracking-essentials/types-of-eye-movements/>
2. RAYNER, K. The 35th Sir Frederick Bartlett Lecture: Eye movements and attention in reading, scene perception, and visual search. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*. 2009, 62(8), 1457–1506. Prieiga per: doi: <https://doi.org/10.1080/17470210902816461>.
3. ASLIN, R., ir Sandra L. Shea The amplitude and angle of saccades to double-step target displacements. *Vision Research*. 1987, 27(11), 1925-1942. Prieiga per: doi: [https://doi.org/10.1016/0042-6989\(87\)90058-7](https://doi.org/10.1016/0042-6989(87)90058-7)
4. *How do Tobii Eye Trackers work?* [interaktyvus]. 2019. [žiūrėta 2019-05-10]. Prieiga per: <https://www.tobii.com/learn-and-support/learn/eye-tracking-essentials/how-do-tobii-eye-trackers-work/>.
5. DREWES, Heiko. *Eye Gaze Tracking for Human Computer Interaction*. Dissertation, LMU München: Faculty of Mathematics, Computer Science and Statistics
6. HUTCHINSON, T. E., K. P. White, W. N. Martin, K. C. Reichert and L. A. Frey. Human-computer interaction using eye-gaze input. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*. 1989, 19(6), 1527-1534. Prieiga per: doi: <https://doi.org/10.1109/21.44068>
7. EBISAWA, Y., Fukumoto. Head-Free, Remote Eye-Gaze Detection System Based on Pupil-Corneal Reflection Method With Easy Calibration Using Two Stereo-Calibrated Video Cameras. *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*. 2013, 60(10), 952-2960. Prieiga per: doi: <https://doi.org/10.1109/TBME.2013.2266478>
8. *Specifications for the Tobii Eye Tracker 4C* [interaktyvus]. 2018. [žiūrėta 2018-12-05]. Prieiga per: <https://help.tobii.com/hc/en-us/articles/213414285-Specifications-for-the-Tobii-Eye-Tracker-4C>.
9. *Tobii Pro Nano* [interaktyvus]. 2018. [žiūrėta 2018-12-05]. Prieiga per <https://www.tobii.com/product-listing/nano/>.
10. *Gazepoint GP3* [interaktyvus]. 2018. [žiūrėta 2018-12-05]. Prieiga per: <https://imotions.com/gazepoint-gp3/>.
11. *10 Free Eye Tracking Software Programs* [interaktyvus]. 2018. [žiūrėta 2018-12-11]. Prieiga per: <https://imotions.com/blog/free-eye-tracking-software/>.
12. *About* [interaktyvus]. 2018. [žiūrėta 2018-12-11]. Prieiga per: <http://www.pygaze.org/about/>.
13. *About Ogama* [interaktyvus]. 2018. [žiūrėta 2018-12-11]. Prieiga per: <http://www.ogama.net/>.
14. *About xLabs* [interaktyvus]. 2018. [žiūrėta 2018-12-11]. Prieiga per: <https://xlabsgaze.com/about/>.
15. ŠUMINAS, A., A.Gudinavičius. Web Usability Evaluation Based on Eye Tracking. Case Study of Lithuanian National Museum Website. *ZIN – Information studies*. 2015, 51(1), 96-112.
16. RAUDONIS, V., R.Simutis, G. Narvydas. Discrete eye tracking for medical applications. *2nd International Symposium on Applied Sciences in Biomedical and Communication Technologies*, Bratislava. 2009, 1-6. Prieiga per: doi: <https://doi.org/10.1109/ISABEL.2009.5373675>
17. Daunys, G., N. Ramanauskas. The accuracy of eye tracking using image processing. *ACM International Conference Proceeding Series*. Tampere, Finland. 2004, 82(1), Prieiga per: doi: <https://doi.org/10.1145/1028014.1028074>.

18. HESSELS, R. S., Kemner, C., van den Boomen, C., & Hooge, I. T. The area-of-interest problem in eyetracking research: A noise-robust solution for face and sparse stimuli. *Behavior Research Methods*. 2015, 48(1). Prieiga per: doi: <https://doi.org/10.3758/s13428-015-0676-y>
19. RAYNER, K. Eye movements in reading and information processing: 20 years of research. *Psychological Bulletin*. 1998, 124(3), 372-422. Prieiga per: doi: <https://doi.org/10.1037/0033-2909.124.3.372>
20. SALVUCCI, D., J. Goldberg. Identifying fixations and saccades in eye-tracking protocols. *Proceedings of the Eye Tracking Research and Applications Symposium*. 2000, 71-78. Prieiga per: doi: <https://doi.org/10.1145/355017.355028>
21. *IMOTIONS* [interaktyvus]. 2018. [žiūrēta 2018-12-04]. Prieiga per: <https://imotions.com/blog/7-terms-metrics-eye-tracking/>.
22. DUVAL, R. Cognitive Analysis of Problems of Comprehension in a Learning of Mathematics. *Educational studies in mathematics*. 2006, 61, 103–131. Prieiga per: doi: <https://doi.org/10.1007/s10649-006-0400-z>
23. *Semiotics | Definition of semiotics int English by Oxford Dictionaries*. Oxford Dictionaries. [interaktyvus]. 2018. [žiūrēta 2018-12-05]. Prieiga per: <https://en.oxforddictionaries.com/definition/semiotics>.
24. PINO-FAN, L., Guzmán, I., Duval, R., Font, V. *THE THEORY OF REGISTERS OF SEMIOTIC REPRESENTATION AND THE ONTO-SEMIOTIC APPROACH TO MATHEMATICAL COGNITION AND INSTRUCTION: LINKING LOOKS FOR THE STUDY OF MATHEMATICAL UNDERSTANDING*. 39th Psychology of Mathematics Education conference (PME39). Australia. 2015, 4.
25. ANDRA, C., Lindström, P., Arzarello. READING MATHEMATICS REPRESENTATIONS: AN EYE-TRACKING STUDY. *International Journal of Science and Mathematics Education*. 2013, 13. Prieiga per: doi: <https://doi.org/10.1007/s10763-013-9484-y>
26. POHL, M., Schmitt, M., Diehl, S. Comparing the Readability of Graph Layouts Using Eyetracking and Task-oriented Analysis. *Proceedings of Computer Graphics International*. 2009, 7, 49-56. Prieiga per: doi: <https://doi.org/10.2312/COMPAESTH/COMPAESTH09/049-056>
27. BEYMER, D., Russell, D., Orton, P. An Eye Tracking Study of How Font Size and Type Influence Online Reading. Liverpool, United Kingdom : BCS Learning & Development Ltd. 2018, 15-18. Prieiga per: doi: <https://doi.org/10.1145/1531826.1531831>
28. RELLO L., Bautista S., Baeza-Yates R., Gervás P., Hervás R., Saggion H. One Half or 50%? An Eye-Tracking Study of Number Representation Readability. *Human-Computer Interaction – INTERACT 2013 : 14th IFIP TC 13 International Conference*. 2013, 8120, 229-245. Prieiga per: doi: https://doi.org/10.1007/978-3-642-40498-6_17
29. HAVANKI, L. *A Process Model for the Comprehension of Organic Chemistry Notation*. Disertacija. Catholic University of America. 2012.
30. CHAPMAN, P. R., Underwood, G. Visual Search of Driving Situation: Danger and Experience. *Perception*. 1998, 27, 951-964. Prieiga per: doi: <https://doi.org/10.1068/p270951>
31. KAAKINEN, J. K., Hyona, J., Keenan, J. M. How prior knowledge, WMC, and relevance of information affect eye fixations in expository text. *Journal of Experimental Psychology-Learning Memory and Cognition*. 2003, 29, 447-456. Prieiga per: doi: <https://doi.org/10.1037/0278-7393.29.3.447>

32. LAW, B., Atkins, M. S., Kirkpatrick, A. E., Lomax, A. J. Eye gaze patterns differentiate novice and experts in a virtual laparoscopic surgery training environment. San Antonio, Texas : *Proceedings of the 2004 Symposium on Eye Tracking Research*. 2004, Prieiga per: doi: <https://doi.org/41-48>. 10.1145/968363.968370
33. MPOFU, B. *Using eye tracking to optimise the usability of content rich e-learning material*. Master of science. University of South Africa. 2013.
34. BEYMER, D., Orton, P., Russell, D. An Eye Tracking Study of How Pictures Influence Online Reading. *Springer Berlin Heidelberg*. 2007, 456-460. Prieiga per: doi: https://doi.org/10.1007/978-3-540-74800-7_41
35. JIAN, Y., Wu, C. Using Eye Tracking to Investigate Semantic and Spatial Representations of Scientific Diagrams During Text-Diagram Integration.. *Journal of Science Education and Technology*. 2015, 24, 43-55. Prieiga per: doi: <https://doi.org/10.1007/s10956-014-9519-3>
36. PASHLER, H., McDaniel, M., Rohrer, D., & Bjork, R.A. Learning styles: concepts and evidence. *Psychological Science in the Public Interest*. 2008, 9 (3): 105–119
37. KOLB, D.A. *Experiential learning: experience as the source of learning and development* (2nd ed.). *Pearson Education*. 2015
38. MUMFORD, A. Putting learning styles to work. *Action learning at work*. Aldershot, Hampshire, Brookfield, VT: Gower. 1997, 121–135
39. BARBE, W.B., Swassing, R.H., & Milone, M.N. Teaching through modality strengths: concepts practices. *Zaner-Bloser*. 1979
40. FELDER, R.M., & Silverman, L.K. Learning and Teaching Styles in Engineering Education. *Engr. Education*. 1988, 78(7), 674-681.
41. DIAZ, F.S., Rubilar, T.P., Figueroa, C.C., & Silva, R.M. An adaptive E-learning platform with VARK learning styles to support the learning of object orientation. *2nd IEEE World Engineering Education Conference, EDUNINE 2018*. 2018, 1-6. Prieiga per: <https://doi.org/doi:10.1109/EDUNINE.2018.8450990>
42. ABBOTT, M. R. B., & Shaw, P. Multiple modalities for APA instruction: Addressing diverse learning styles. *Teaching and Learning in Nursing*. 2018, 13(1), 63-65. Prieiga per: doi: <https://doi.org/10.1016/j.teln.2017.08.004>
43. PRITHISHKUMAR, I. J., Michael, S. A. Understanding your student: Using the VARK model. *Journal of Postgraduate Medicine*. 2014, 60(2), 183-186. Prieiga per: doi: <https://doi.org/10.4103/0022-3859.132337>
44. APIPAH, S., Kartono, I. An analysis of mathematical connection ability based on student learning style on visualization auditory kinesthetic (VAK) learning model with self-assessment. *Journal of Physics: Conference Series*. 2018, 983(1). Prieiga per: doi: <https://doi.org/10.1088/1742-6596/983/1/012138>
45. KAPPE, F. R., Boekholt, L., den Rooyen, C., & Van der Flier, H.. A predictive validity study of the learning style questionnaire (LSQ) using multiple, specific learning criteria. *Learning and Individual Differences*. 2009, 19(4), 464-467. Prieiga per: doi: <https://doi.org/10.1016/j.lindif.2009.04.001>
46. HUSMANN, P. R., O'Loughlin, V. D. Another nail in the coffin for learning styles? Disparities among undergraduate anatomy students' study strategies, class performance, and reported VARK learning styles. *Anatomical Sciences Education*. 2019, 12(1), 6-19. Prieiga per: doi: <https://doi.org/10.1016/10.1002/ase.1777>

47. COFFIELD, F., Moseley, D., Hall, E., Ecclestone, K. Learning styles and pedagogy in post-16 learning: a systematic and critical review. London, England: Learning & Skills Research Centre. 2004
48. COLEMAN D., D. Ash, B. Lowther, and P.W. Oman. *Using Metrics to Evaluate Software System*. 27. 44-49. 10.1109/2.303623. Prieiga per: doi: <https://doi.org/10.1109/2.303623>
49. CHIDAMBER, S.R., C.F. Kemerer. A Metrics suite for Object Oriented design. *IEEE TRANSACTIONS OF SOFTWARE ENGINEERING*. 1994, 20(6), 476-492. Prieiga per: doi: <https://doi.org/10.1109/32.295895>
50. KOURAKLIS, J. *MVVM as Design Pattern*. 2016. Prieiga per: doi: https://doi.org/10.1007/978-1-4842-2214-0_1
51. THEPSATITPORN, S., Pichitpornchai, C. Visual event-related potential studies supporting the validity of VARK learning styles' visual and read/write learners. *Advances in Physiology Education*. 2016, 40(2), Prieiga per: doi: <https://doi.org/10.1152/advan.00081.2015>.
52. 51. JAWED S., Amin, H. U., Malik, A. S., & Faye, I. Differentiating between visual and non-visual learners using EEG power spectrum entropy. *International Conference on Intelligent and Advanced System, ICIAS 2018*. 2018, doi: Prieiga per: doi: <https://doi.org/10.1109/ICIAS.2018.8540571>.
53. ALHASAN, K., Chen, L., & Chen, F. Mining learning styles for personalised elearning. *2018 IEEE SmartWorld, Ubiquitous Intelligence and Computing, Advanced and Trusted Computing, Scalable Computing and Communications, Cloud and Big Data Computing, Internet of People and Smart City Innovations, SmartWorld/UIC/ATC/ScalCom/CBDCOM/IoP/SCI*. 2018, 1175-1180. Prieiga per: doi: <https://doi.org/doi:10.1109/SmartWorld.2018.00204>
54. GRANERO-MOLINA, J., Fernández-Sola, C., López-Domene, E., Hernández-Padilla, J. M., Romão Preto, L. S., & Castro-Sánchez, A. M. Effects of web-based electrocardiography simulation on strategies and learning styles. *Revista Da Escola De Enfermagem*. 2015, 49(4), 645-651. Prieiga per: <https://doi.org/doi:10.1590/S0080-623420150000400016>
55. MEHIGAN, T. J., Barry, M., Kehoe, A., & Pitt, I. Using eye tracking technology to identify visual and verbal learners. *IEEE International Conference on Multimedia and Expo*. 2011, 1-6. Prieiga per: doi: <https://doi.org/10.1109/ICME.2011.6012036>
56. KOĆ-JANUCHTA, M., Höffler, T., Thoma, G., Prechtel, H., Leutner, D. Visualizers versus verbalizers: Effects of cognitive style on learning with texts and pictures – an eye-tracking study. *Computers in Human Behavior*. 2017, 68, 170-179. Prieiga per: doi: <https://doi.org/10.1016/j.chb.2016.11.028>
57. WINOTO, P., Tang, T. Y., Huang, Z., & Chen, P. “Thinking in pictures?” performance of chinese children with autism on math learning through eye-tracking technology. In: Zaphiris P., Ioannou A. (eds) *Learning and Collaboration Technologies. Technology in Education. LCT 2017. Lecture Notes in Computer Science*, vol 10296. Springer, Cham, 215-226. Prieiga per: doi: https://doi.org/10.1016/10.1007/978-3-319-58515-4_17
58. YU, X. Literature Review of Applying Visual Method to Understand Mathematics. *MATEC Web of Conferences*. 2015, 22, 1063. Prieiga per: doi: <https://doi.org/10.1051/mateconf/20152201063>
59. MUKAKA, M. M.. Statistics corner: A guide to appropriate use of correlation coefficient in medical research. *Malawi medical journal : the journal of Medical Association of Malawi*. 2012, 24(3), 69–71

60. YI-CHUN, E. Chao, Yue Zhao, Lawrence L. Kupper & Leena A. Nylander-French. Quantifying the Relative Importance of Predictors in Multiple Linear Regression Analyses for Public Health Studies, *Journal of Occupational and Environmental Hygiene*. 2008, 5:8, 519-529. Prieiga per: doi: <https://doi.org/10.1080/15459620802225481>
61. AL-WABIL, A., ElGibreen, H., George, R. P., Al-Dosary, B. Exploring the validity of learning styles as personalization parameters in elearning environments: An eyetracking study. *ICCTD 2010 - 2010 2nd International Conference on Computer Technology and Development*. 2010, 174-178. Prieiga per: doi: <https://doi.org/10.1016/10.1109/ICCTD.2010.5646127>
62. 55. LUO, Z., Wang, Y. Eye-tracking Technology in Identifying Visualizers and Verbalizers- Data on Eye-movement Differences and Detection Accuracy. *Data in Brief*. 2019, 26, 104447. Prieiga per: doi: <https://doi.org/10.1016/j.dib.2019.104447>
63. HÖFFLER, T. N., Koć-Januchta, M., Leutner, D. More evidence for three types of cognitive style: Validating the object-spatial imagery and verbal questionnaire using eye tracking when learning with texts and pictures. *Applied Cognitive Psychology*. 2017, 31(1), 109-115. Prieiga per: doi: <https://doi.org/10.1002/acp.3300>
64. VASILJEVAS, M., Gedminas, T., Ševčenko, A., Jančiukas, M., Blažauskas, T., Damaševičius, R. Modelling eye fatigue in gaze spelling task. 2016 IEEE 12th International Conference on Intelligent Computer Communication and Processing, ICCP 2016. 2016, 95-102. Prieiga per: doi: <https://doi.org/doi:10.1109/ICCP.2016.7737129>
65. RAUDONIS, V., Maskeliūnas, R., Stankevičius, K., & Damaševičius, R. Gender, age, colour, position and stress: How they influence attention at workplace? *Computational Science and Its Applications – ICCSA 2017. Lecture Notes in Computer Science*, 10408. Springer, Cham, 248-264. Prieiga per: doi: https://doi.org/10.1007/978-3-319-62404-4_19
66. LIAUDANSKAITĖ, G., Saulytė, G., Jakutavičius, J., Vaičiukynaitė, E., Zailskaitė-Jakštė, L., & Damaševičius, R. Analysis of affective and gender factors in image comprehension of visual advertisement. *Artificial Intelligence and Algorithms in Intelligent Systems. CSOC2018. Advances in Intelligent Systems and Computing*, 2019, vol 764. Springer, Cham, 1-11. Prieiga per: doi: https://doi.org/10.1007/978-3-319-91189-2_1

Santrumpų ir terminų sąrašas

Santrumpos:

AoI (angl. *area of interest*) – pasirinktas plotas simuliaciniame vaizde, kuris yra aktualus tyrimui ir kurio atžvilgiu nagrinėjami kitos žvilgsnio fiksavimo charakteristikos;

PCCR (angl. *pupil centre corneal reflection*,) – vyzdžio centro ragenos atspindys;

SDK (angl. *software development kit*) – įrankiai specializuotai programinei įrangai kurti.

PĮ – programinė įranga

Terminai:

Dwell laikas – fiksacijos laikas tam tikrame AoI plote.

Matematinė išraiška (semiotikos išraiška) – tai tam tikras vaizdas, kuris atspindi matematinį objektą (tas pats objektas gali turi daug skirtingų išraiškų: formulė, grafikas, žodinis apibrėžimas, lentelė ar kt.).

Matematinis objektas – šio darbo režiuose tai laikoma tekstas, formulė arba grafikas susijęs su matematika.

Registras – semiotikos išraiškų grupavimo vienetas. Gali būti natūrali kalba, užrašymas simboliiais ar grafikai.

Regresija (skaityme) – judesys, kuriuo metu grįžtama atgal tekstu. Tai rodo, jog tekstas yra sunkiau suprantamas.

Sekada – staigus akies judėjimas tarp dviejų fiksacijos taškų.

Simuliaciniai vaizdai (angl. stimuli) – tai tokie specialiai sukurti vaizdai turintys svarbią informaciją susijusią su tyrimu bei rodomi subjektams.

Subjektas – asmuo, kurio žvilgsnis yra fiksuojamas.

Validation of VARK questionnaire using gaze tracking data

Simonas Baltulionis, Vilius Turenko, Mindaugas Vasiljevas,
Robertas Damaševičius
Department of Software Engineering
Kaunas University of Technology, Kaunas, Lithuania
robertas.damasevicius@ktu.lt

Tatjana Sidekerskienė
Department of Applied Mathematics, Kaunas University of
Technology,
Kaunas Lithuania

Abstract—We use gaze data (fixation time on Areas of Interest, AoIs) collected while reading educational materials to validate the VARK (Visual Auditory Reading Kinaesthetic) questionnaire. We analyse the dependencies between four types of AoIs (Title, Text, Graph, Formula) and the VARK scores for sensory modalities using correlation and linear regression analysis. Our results show significant correlations for Formula – Reading, Text – Visual, and Title – Kinaesthetic dependencies. The results of research can be used for objective evaluation of learning style of subjects using gaze tracking technology.

Keywords—VARK; learning styles; gaze tracking; multimedia

I. Introduction

Learning styles were defined to justify individual preferences and differences in learning and understanding [1]. Notable models of learning style include Kolb's experiential learning, which introduces *accommodators*, *convergers*, *divergers* and *assimilators* [2]; Mumford's model, which has *activists*, *reflectors*, *theorists*, and *pragmatists* [3]; Barbe et al. model, which considers *auditory*, *visualising*, and *kinesthetic* modalities [4], and Index of Learning Styles (ILS), which considers, *active/reflective*, *sensing/intuitive*, *visual/verbal*, and *sequential/global* learning [5]. Learning styles can be employed for user modelling, developing effective pedagogical guidelines, personalization of learning scenarios and materials, and increasing interactivity of presentation in multimedia-based e-learning systems. The usefulness of the learning styles were proven in various and diverse fields of education such as computer programming [6] and nursing [7]. Different tools have been used to evaluate learning styles such as Visual Auditory Reading Kinaesthetic (VARK) [8], Visual Auditory Kinaesthetic (VAK) [9] and Learning

Style Questionnaire (LSQ) [10]. However, as the use of questionnaires as a research tool is prone to subjectiveness and difficulty of interpretation, and have been criticized for weak empirical evidence, no correlation with learning outcomes [11] and the lack of independent research on the model [12].

The objective evaluation methods were suggested to use electroencephalogram (EEG) [13, 14, 15] and electrocardiogram (ECG) signals acquired from the learners [16]. Here we analyse the use of gaze tracking data recorded while learners read learning materials to evaluate their learning styles. The idea in itself is not new as gaze tracking has been used previously in this context [17, 18, 19] while aiming to detect correlations between assimilation of different types of information and different parameters like learning style. We specifically focus on the validation of the VARK model, which proposed four types of learners: visual, auditory learning, textual and kinaesthetic. Our novelty is what we focus on the validity of the VARK questionnaire in itself and aim to confirm the VARK scores by gaze related characteristics of subjects without analysing the differences in learning style and efficiency.

II. Method

A. VARK

VARK defines Visual, Aural, Read/write, and Kinaesthetic sensory modalities that are employed in the learning process. Visual (V) modality prefers the presentation of information using maps,

diagrams, charts, graphs, and symbolic elements such as arrows and boxes. Aural / Auditory (A) prefers any information that can be heard and discussed. Read/write (R) modality prefers words (text). Kinaesthetic (K) modality prefers anything that is real, i.e., examples, personal experiences, or practice. Some individuals do not have a preferred modality and could be defined as Multimodal (MM).

B. Data collected by gaze tracking

During gaze tracking we collect the number and location of fixations, which are gaze points that are directed towards a certain part of an image, which is labelled as Area of Interest (AoI). Fixations are indications of visual attention. The eye movements between fixations are known as saccades. However, we do not use the saccade data in this study.

Following Yu [20], we introduce three types of AoI: Text (T1), Graph (G) and Formula (F). Title, a fourth type of AoI, we used, is also the Text, but it is used a separate element (T2), which provides the concise summary of the content. Note that due to the selected type of learning materials, which is static and does not include any interaction, the A modality does not have a preferred representation type.

C. Research hypotheses

We assume that subjects have their own preferred sensory modalities, which makes them unconsciously to pay more attention to a corresponding type of information. Based on this assumption, we formulate the following research hypotheses:

H1: V subjects prefer the G information.

H2: A subjects do not have a preferred type of information.

H3: R subjects prefer the T information.

H4: K subjects prefer the F information.

D. Testing of hypotheses

For testing of hypotheses we use the Pearson correlation:

$$r = \frac{1}{n-1} \sum \frac{(x_i - \bar{X})(y_i - \bar{Y})}{s_x s_y} \quad (1)$$

here x_i, y_i are the data values for which the dependency is tested, \bar{X}, \bar{Y} are means, s_x, s_y are standard deviations. The value of $r > 0$ indicates a positive relationship of X and Y, and $r < 0$ indicates a negative relationship.

The significance of the correlation value is calculated using the critical values of t-statistics as follows:

$$t = r \sqrt{\frac{n-2}{1-r^2}} \quad (2)$$

here n is the size of a sample. Given a small sample of $n=5$ in our case, the statistically significant ($p < 0.05$) correlation value must be at least $|r| > 0.86$.

We also construct the linear regression models between the dependent variables (T1, T2, G, F) and the independent variables (V, A, R, K). Linear regression is defined as:

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 X_i + \varepsilon_i \quad (3)$$

here Y_i is the value of dependent variable, X_i is the value of the independent variable for the i -th sample, β_0 is the free coefficient, β_1 is the slope, and ε_i is the random error. The sign of slope coefficient defines the direction of dependency (positive or negative), and the absolute value shows the strength of dependency.

The reliability of the linear regression model is evaluated using the significance of the coefficients (all must have $p < 0.05$), and the coefficient of determination r^2 :

$$r^2 = \frac{\text{explained variation}}{\text{total variation}} = \frac{SSR}{SST} \quad 0 \leq r^2 \leq 1 \quad (4)$$

III. Experimental setting and Results

A. Experimental setting

Five participants (one female, four male) were recruited for this study, ages between 23 and 45 with an average of 29.8 years (SD = 8.66). All participants had normal or corrected-to-normal vision. Participants were familiar with computers and had previous experience in using the internet. For each subject 7 slides that consisted of title, text, graph and formula were shown. Each slide was shown for 30 seconds interval, and the session took approximately 4 minutes. Subjects were instructed that they should try to memorize as much information as possible because at the end of the slide show a test will be taken, which consists of questions related to all different types of mathematical objects. For instance, to answer which formula, graph or text matches a given statement.

The Tobii 4C eye tracker was used to record eye movements of participants. The eye tracker uses infrared corneal reflection to measure point of gaze with data rates of 90 Hz. A 24 inch screen was used to show the slides. The eye tracker using instructions was mounted just below the visible screen area. The operating distance between the eye tracker and subjects' eyes was between 70-75 cm. For each subject the eye tracker was re-calibrated using a 5-point calibration to achieve most accurate results. Gaze monitoring system was used to measure the number and duration of fixations in the Areas of Interest (AOIs). The system consists of components listed below (see Fig. 1):

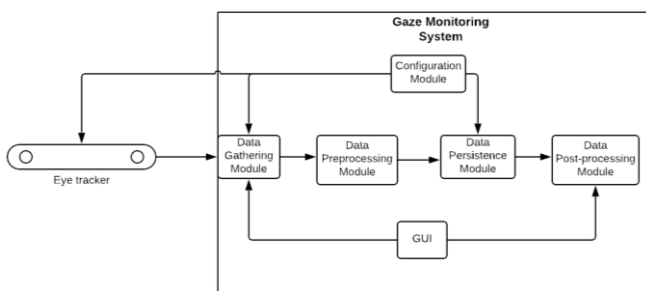


Fig. 1. Architecture of a system

- The Data Gathering Module reads the raw gaze data from the eye tracker device via USB.
- The Data Preprocessing Module filters noise, calculates additional metrics and characteristics like saccades.
- The Data Persistence Module saves the acquired gaze data to CSV, XML or database.
- The Data Post-processing Module maps persisted gaze data to AOIs and calculates additional data features such as the total and average number and duration of fixations.
- The Configuration Module configures how data is gathered and persisted in the system.

The stimulus was the educational materials from the “Mathematics 1” course delivered to the 1st year Bachelor students at Kaunas University of Technology. The topic of the educational materials was the integral calculus. Structurally arranged as a set of PowerPoint (Microsoft, USA) slides, each slide representing a learning unit had four components: Title, Text, Formula and Graph (see Fig. 2).

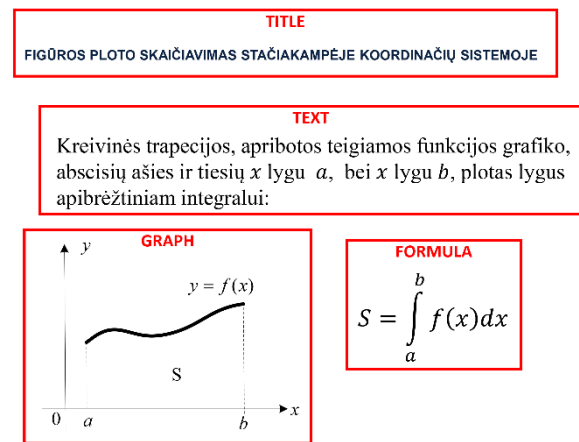


Fig. 2. Areas of Interest (AoI) in learning material.

This study examined visual attention and the reading behaviour of the subjects. Each participant took the VARK Questionnaire for the assessment of learning styles. Then the participants we asked to complete a calibration session followed by launching the learning material slides in full screen mode. Following that, participants were asked to read the slides presented at the computer screen. During the experiment, the eye tracker measured

the learner's eye movements such as eye fixations and fixation durations. After completing the reading component, a knowledge assessment test was administered to participants on screen. The results of the knowledge evaluation test were not used in this study, as the aim was to motivate the participants to read attentively rather than evaluating their knowledge gained on the subject.

B. Results

The results of gaze time spent on each AoI are summarized in Fig. 3: most time (~35%) was spent on text, while least time (~6%) on the title of the learning material.

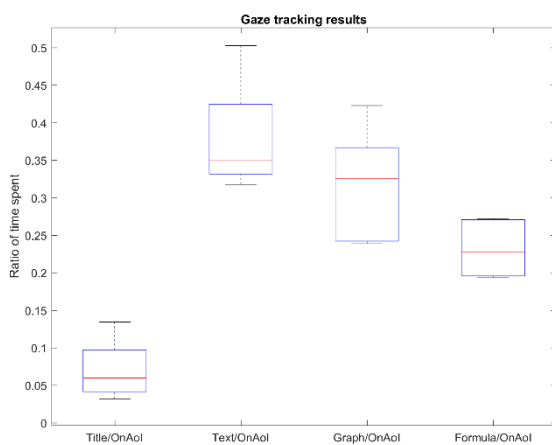


Fig. 3. Example of a figure caption. (figure caption)

The summary of the VARK scores are presented in Figure 4. On average, the highest score was assigned to Visual type (9.2), while the lowest score was assigned to Aural type (4.2).

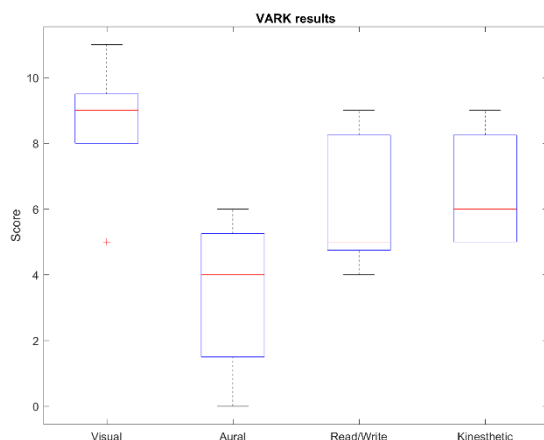


Fig. 4. Results of VARK questionnaire scores

We performed the correlation analysis on the ratio of time spent on the Title (T2), Text (T1), Graph (G) and Formula (F) AoIs vs the Visual (V), Aural (A), Read/Write (R) and Kinesthetic (K) scores from the VARK questionnaire. The results are presented in Fig. 5. We found significant correlations for Title ↔ Kinesthetic ($r=0.96$), Text ↔ Visual ($r=-0.94$), and Formula ↔ Read/Write ($r=0.93$). We did not find any significant correlations for the A modality thus confirming the H2 hypothesis. We could not confirm the H1 hypothesis, however the results show that V subjects strongly do not prefer T information. We also could not confirm the H3 hypothesis, but we found that R subjects prefer F information. We also could not confirm the H3 hypothesis, but the results show that K subjects prefer T information.

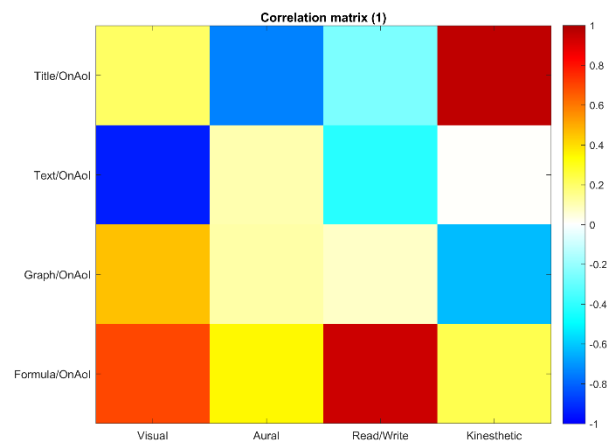


Fig. 5. Correlation matrix of the relative fixation times in Title, Text, Graph and Formula AoIs vs the Visual, Aural, Read/Write and Kinesthetic scores

We also explored more different types of relationship and analysed the dependencies between the grouped dependent variables (T1+T2, T1+G, T1+F, T2+G, T2+F, G+F) and independent variables (V, A, R and K). The results presented in Fig. 6. The significant correlations were found only for Title + Formula ↔ Kinesthetic ($r=0.86$), and Text + Graph ↔ Kinesthetic ($r=-0.86$).

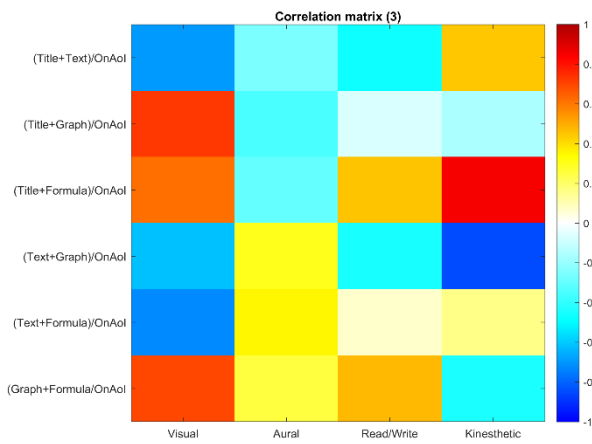


Fig. 6. Correlation matrix of the relative fixation times in Title+Text, Text+Graph, Title+Formula, Text+Graph, Text+Formula and Graph+Formula AoIs vs the Visual, Aural, Read/Write and Kinesthetic scores

Four linear regression models were constructed for each of the V, A, R and K modality scores as dependent variables and the Title (T2), Text (T1), Graph (G) and Formula (F) AoIs as independent variables (see a summary presented in Fig. 7). All models are reliable ($p < 0.001$ for all coefficients and $r^2 > 0.99$ for all models). When considering the value of slope coefficient, the V modality is mostly influenced by Title (39.5, positively) and Graph (28.8, positively), the A modality is mostly influenced by Title (-74.8, negatively), the R modality is mostly influenced by Formula (94.7, positively) and Title (-65.1, negatively), and the K modality is mostly influenced by Title (71.1, positively).

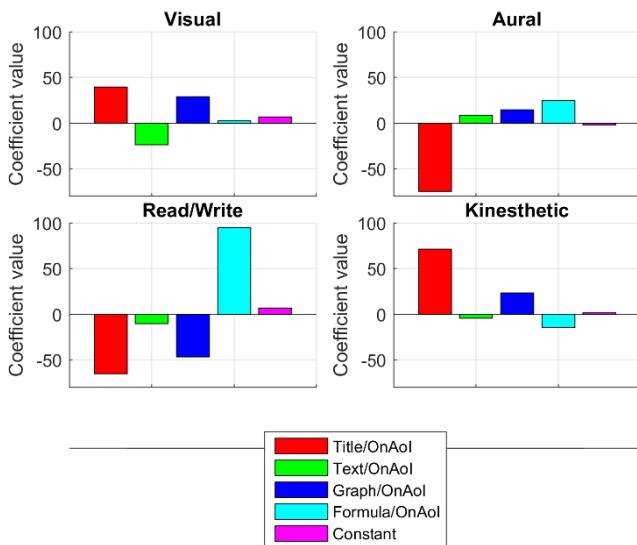


Fig. 7. Summary of V, A, R and K linear regression models

We also constructed the inverse linear regression models were constructed for the Title (T2), Text (T1), Graph (G) and Formula (F) AoIs as independent variables and the V, A, R and K modality scores as dependent variables (see a summary presented in Fig. 8). In this case, only one model for Title was reliable ($p < 0.001$ for all coefficients and $r^2 > 0.99$). When considering the value of the slope coefficient, the time spent on Title AoI is mostly influenced by the K modality (0.017, positively), which agrees with the corresponding linear regression model for the K modality presented in Fig. 9.

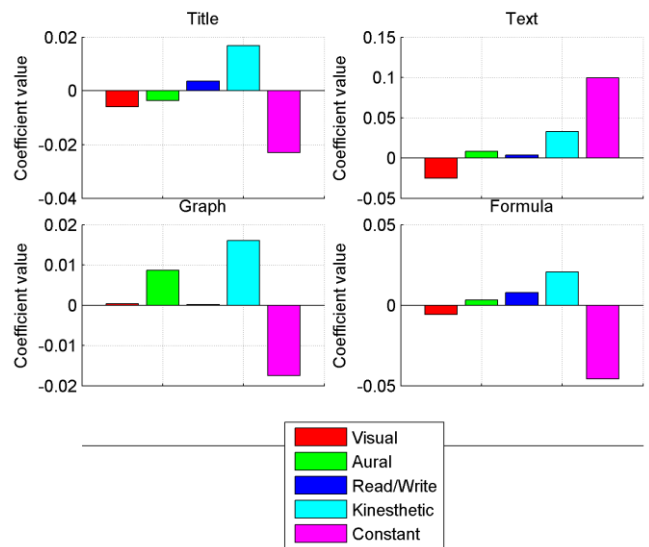


Fig. 8. Summary of Title (T2), Text (T1), Graph (G) and Formula (F) linear regression models

Finally, we evaluate how much of variance in the data for the sensory modalities is explained by the variance in the AoI (Fig. 9) and vice versa (Fig. 10). We can see that the V modality is most influenced by the Formula (+51%) and Text (-24%) AoIs. The A modality is most influenced by the Text (+35%) and Formula (+31%) AoIs. The R modality is most influenced by the Title (+35%) and Graph (-32%) AoIs. The K modality is most influenced by the Title (+29%) and Formula (+27%) AoIs.

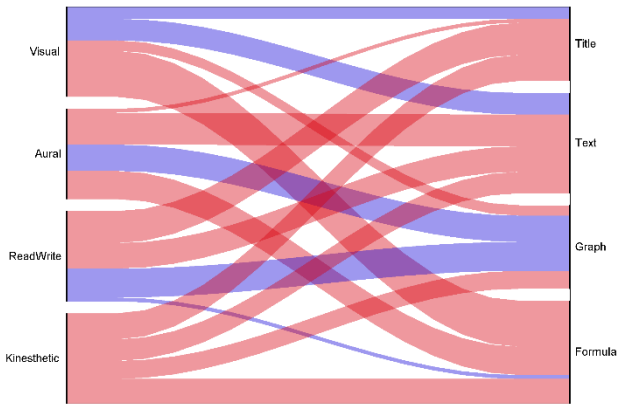


Fig. 9. Variance in sensory modalities explained by the type of AoI (red – positive influence, blue – negative influence)

The attention on the Title AoI is most influenced by the V (+38%) and K (+30%) modalities. The attention on the Text AoI is most influenced by the V (-52%) and K (+30%) modalities. The attention on the Graph AoI is most influenced by the K (+57%) and Title (-29%) modalities. The attention on the Formula AoI is most influenced by the V (+75%) and K (+20%) modalities.

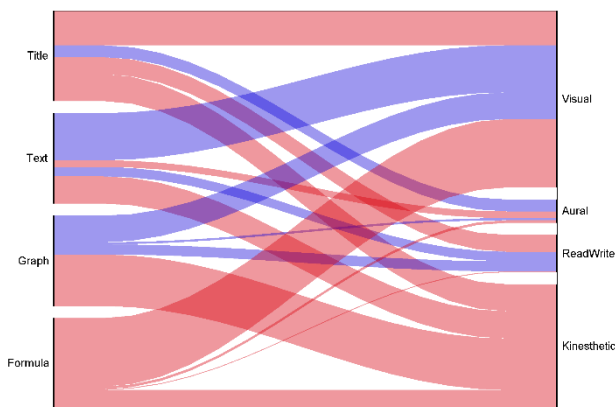


Fig. 10. Variance in the type of AoI explained by sensory modalities (red – positive influence, blue – negative influence)

C. Evaluation

Our findings are in line with Al-Wabil et al. [21], who analysed Index of Learning Styles (ILS) using gaze tracking, also found that verbal learners pay attention to textual content more than multimedia, and visual learners scan the text and direct more attention to multimedia elements than textual content. Hoffler et al. [22] analysed the Object-Spatial Imagery and Verbal Questionnaire

(OSIVQ) and found significant correlations between dwell time and the object and spatial visualizers, while no correlation was found for verbalizers. Our results confirm common knowledge, such as Visual subjects do not like Text but do like Graphs, however also provide interesting insights such as Kinaesthetic subjects liking Titles, which represent a condensed (‘tangible’) form of information, and Visual subjects liking Formulas, which although are a form of mathematical notation, yet share many similarities to the visual representation of information.

D. Threats to validity

A small sample of subjects and biased selection of participants (all subjects have a strong background in computer science) may render the results of our study as less reliable. Furthermore, the factors of stress, emotion and gender have not been accounted for in this study, although our previous research has demonstrated their significant influence on gaze characteristics [23, 24, 25]. Also note that the types of the AoIs analysed can not be separated strictly: in some cases text and graphs also contained elements of mathematical notations such as the names of variables.

IV. Conclusions

Our results demonstrate significant positive correlation between the attention on the Title Area of Interest (AoI) and the Kinaesthetic sensory modality ($r = 0.96$), significant negative correlation between the Text AoI and Visual modality ($r = -0.94$), and significant positive correlation between the Formula AoI and the Read/Write modality ($r = 0.93$). The linear regression models show the importance of Titles for the Visual, Aural and Kinaesthetic modalities and the importance of Formula for the Read/Write modality. The inverse linear regression model shows the significant attention of the Visual modality to Titles. The latter is confirmed by the variance analysis, which shows that Visual subjects prefer Formulas and dislike Text, Aural subjects like Text and Formulas,

Read/Write subjects like Titles and dislike Graphs, and Kinaesthetic subjects like Titles and Formulas.



Our results show that there is a possibility for the VARK questionnaire to be another valid tool to analyze cognitive types of subjects. On the other hand, the gaze tracking data could possibly provide valuable objective information and insights on the cognitive preference of subjects that might possibly supplement the results of the subjective questionnaire. Future work will focus on collecting a larger dataset of gaze tracking data and extending the experiment to a more diverse set of AoIs.

REFERENCES

- [1] Pashler, H., McDaniel, M., Rohrer, D., & Bjork, R.A. (2008). Learning styles: concepts and evidence. *Psychological Science in the Public Interest*, 9 (3): 105–119.
- [2] Kolb, D.A. (2015). *Experiential learning: experience as the source of learning and development* (2nd ed.). Pearson Education.
- [3] Mumford, A. (1997). *Putting learning styles to work*. Action learning at work. Aldershot,
- [4] , R.H., & Milone, M.N. (1979). *Teaching through modality strengths: concepts practices*. Zaner-Bloser.
- [5] Felder, R.M., & Silverman, L.K. (1988). Learning and Teaching Styles in Engineering Education. *Engr. Education*, 78(7), 674-681.
- [6] Abbott, M. R. B., & Shaw, P. (2018). Multiple modalities for APA instruction: Addressing diverse learning styles. *Teaching and Learning in Nursing*, 13(1), 63-65. doi:10.1016/j.teln.2017.08.004
- [7] Diaz, F.S., Rubilar, T.P., Figueroa, C.C., & Silva, R.M. (2018). An adaptive E-learning platform with VARK learning styles to support the learning of object orientation. 2nd IEEE World Engineering Education Conference, EDUNINE 2018, 1-6. doi:10.1109/EDUNINE.2018.8450990
- [8] Prithishkumar, I. J., & Michael, S. A. (2014). Understanding your student: Using the VARK model. *Journal of Postgraduate Medicine*, 60(2), 183-186. doi:10.4103/0022-3859.132337
- [9] Apipah, S., Kartono, & Isnarto (2018). An analysis of mathematical connection ability based on student learning style on visualization auditory kinesthetic (VAK) learning model with self-assessment. *Journal of Physics: Conference Series*, 983(1). doi:10.1088/1742-6596/983/1/012138
- [10] Kappe, F. R., Boekholt, L., den Rooyen, C., & Van der Flier, H. (2009). A predictive validity study of the learning style questionnaire (LSQ) using multiple, specific learning criteria. *Learning and Individual Differences*, 19(4), 464-467. doi:10.1016/j.lindif.2009.04.001
- [11] Husmann, P. R., & O'Loughlin, V. D. (2019). Another nail in the coffin for learning styles? disparities among undergraduate anatomy students' study strategies, class performance, and reported VARK learning styles. *Anatomical Sciences Education*, 12(1), 6-19. doi:10.1002/ase.1777
- [12] Coffield, F., Moseley, D., Hall, E., & Ecclestone, K. (2004). *Learning styles and pedagogy in post-16 learning: a systematic and critical review*. London, England: Learning & Skills Research Centre.
- [13] Thepsatitporn, S., & Pichitpornchai, C. (2016). Visual event-related potential studies supporting the validity of VARK learning styles' visual and read/write learners. *Advances in Physiology Education*, 40(2), 206-212. doi:10.1152/advan.00081.2015
- [14] Jawed, S., Amin, H. U., Malik, A. S., & Faye, I. (2018). Differentiating between visual and non-visual learners using EEG power spectrum entropy. *International Conference on Intelligent and Advanced System, ICIAS 2018*, doi:10.1109/ICIAS.2018.8540571
- [15] Alhasan, K., Chen, L., & Chen, F. (2018). Mining learning styles for personalised elearning. 2018 IEEE SmartWorld, Ubiquitous Intelligence and Computing, Advanced and Trusted Computing, Scalable Computing and Communications, Cloud and Big Data Computing, Internet of People and Smart City Innovations, SmartWorld/UIC/ATC/ScalCom/CBDCCom/IoP/SCI2018, 1175-1180. doi:10.1109/SmartWorld.2018.00204
- [16] Granero-Molina, J., Fernández-Sola, C., López-Domene, E., Hernández-Padilla, J. M., Romão Preto, L. S., & Castro-Sánchez, A. M. (2015). Effects of web-based electrocardiography simulation on strategies and learning styles. *Revista Da Escola De Enfermagem*, 49(4), 645-651. doi:10.1590/S0080-623420150000400016
- [17] Mehigan, T. J., Barry, M., Kehoe, A., & Pitt, I. (2011). Using eye tracking technology to identify visual and verbal learners. *IEEE International Conference on Multimedia and Expo*, 1-6. doi:10.1109/ICME.2011.6012036
- [18] Koć-Januchta, M., Höffler, T., Thoma, G., Prechtl, H., & Leutner, D. (2017). Visualizers versus verbalizers: Effects of cognitive style on learning with texts and pictures – an eye-tracking study. *Computers in Human Behavior*, 68, 170-179. doi:10.1016/j.chb.2016.11.028
- [19] Winoto, P., Tang, T. Y., Huang, Z., & Chen, P. (2017). "Thinking in pictures?" performance of chinese children with autism on math learning through eye-tracking technology. In: Zaphiris P., Ioannou A. (eds) *Learning and Collaboration Technologies. Technology in Education. LCT 2017. Lecture Notes in Computer Science*, vol 10296. Springer, Cham, 215-226. doi:10.1007/978-3-319-58515-4_17
- [20] Yu, X. (2015). Literature Review of Applying Visual Method to Understand Mathematics. *MATEC Web of Conferences*, 22, 1063. doi:10.1051/mateconf/20152201063
- [21] Al-Wabil, A., ElGibreen, H., George, R. P., & Al-Dosary, B. (2010). Exploring the validity of learning styles as personalization parameters in elearning environments: An eyetracking study. *ICCTD 2010 - 2010 2nd International Conference on Computer Technology and Development*, 174-178. doi:10.1109/ICCTD.2010.5646127
- [22] Höffler, T. N., Koć-Januchta, M., & Leutner, D. (2017). More evidence for three types of cognitive style: Validating the object-spatial imagery and verbal questionnaire using eye tracking when learning with texts and pictures. *Applied Cognitive Psychology*, 31(1), 109-115. doi:10.1002/acp.3300
- [23] Vasiljevas, M., Gedminas, T., Ševčenko, A., Jančiukas, M., Blažauskas, T., & Damaševičius, R. (2016). Modelling eye fatigue in gaze spelling task. 2016 IEEE 12th International Conference on Intelligent Computer Communication and Processing, ICCP 2016, 95-102. doi:10.1109/ICCP.2016.7737129
- [24] Raudonis, V., Maskeliūnas, R., Stankevičius, K., & Damaševičius, R. (2017). Gender, age, colour, position and stress: How they influence attention at workplace? *Computational Science and Its Applications – ICCSA 2017. Lecture Notes in Computer Science*, 10408. Springer, Cham, 248-264. doi:10.1007/978-3-319-62404-4_19
- [25] Liaudanskaitė, G., Saulytė, G., Jakutavičius, J., Vaičiukynaitė, E., Zailskaitė-Jakštė, L., & Damaševičius, R. (2019). Analysis of affective and gender factors in image comprehension of visual advertisement. *Artificial Intelligence and Algorithms in Intelligent Systems. CSOC2018. Advances in Intelligent Systems and Computing*, vol 764. Springer, Cham, 1-11. doi:10.1007/978-3-319-91189-2_1

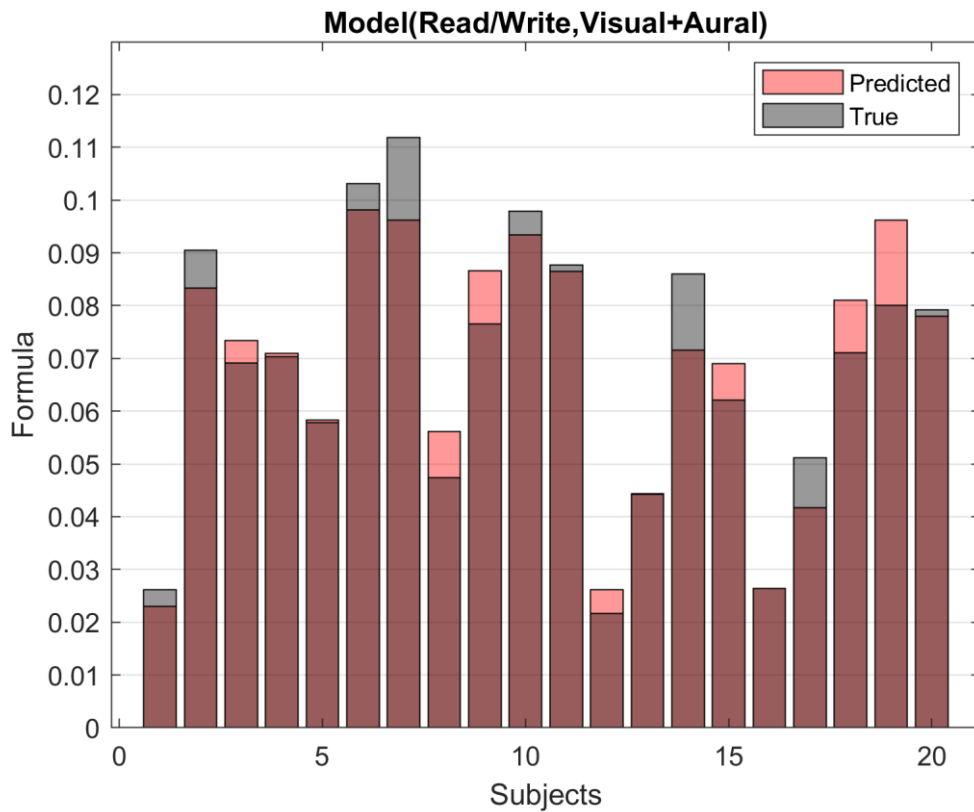
2 priedas. Žvilgsnio stebėjimo sistemos perdavimo ir aprobavimo aktas

Žvilgsnio stebėjimo sistemos perdavimo ir aprobavimo akto kopija pateikta 47 pav.

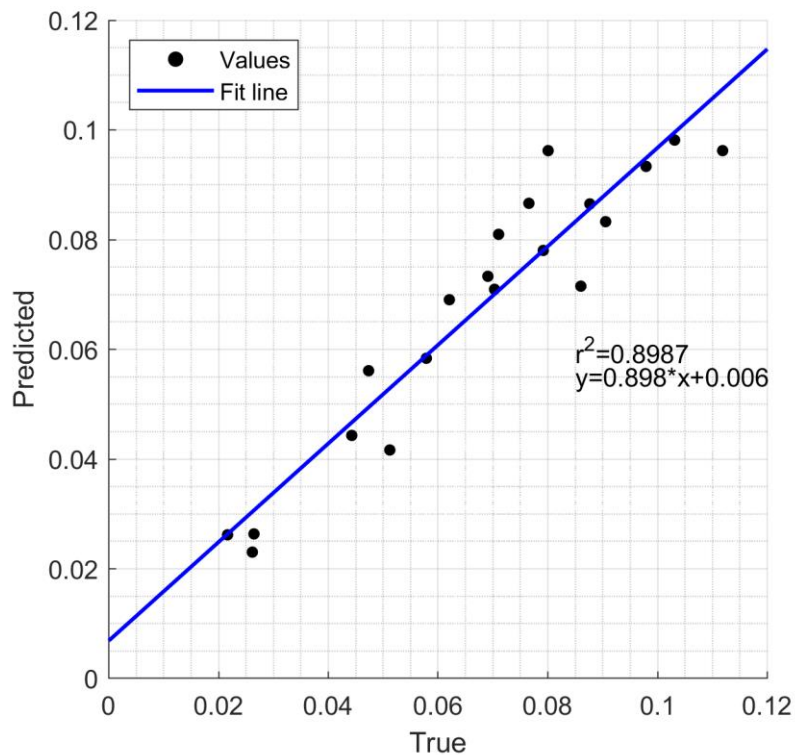
	
KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS	
Viešoji įstaiga, K. Donelaičio g. 73, 44249 Kaunas. Tel. (8 37) 30 00 00, faks. (8 37) 32 41 44, ktu.edu, el. p. ktu@ktu.lt Duomenys kaupiami ir saugomi Juridinių asmenų registre, kodas 111950581	
PROGRAMŲ SISTEMOS PERDAVIMO IR APROBAVIMO AKTAS 2020 m. sausio 15 d. Nr. Kaunas	
Programų sistemos pavadinimas	<u>Žvilgsnio stebėjimo sistema</u>
Kūrinio tipas	<u>Žvilgsnio stebėjimo sistemos programinė įranga.</u>
Programų sistemos sukūrimo data	202 0 m. sausio 02 d.
Kūrinio įteikimo UŽSAKOVUI data	202 0 m. sausio 15 d.
Užsakovo arba trečiojo asmens kūrinio aprobavimo rezultatas:	
<p>Programų sistemos „Žvilgsnio stebėjimo sistema“ paskirtis – fiksuoti žvilgsnio parametrus, atlikti pirminį duomenų apdorojimą, saugoti duomenis XML, CSV formatu vartotojo kompiuteryje arba PostgreSQL duomenų bazėje. Taip pat naudojant užfiksuotus duomenis išvesti įvairias statines bei dinamines charakteristikas, atlikti jų vizualizaciją. Sistema taip pat suteikia galimybę susikalibruoti įrenginį, susikurti ekrano fiksavimo konfigūracijas. Reikalinga techninė įranga: darbo stotis su Windows 10. Sistema realizuota Microsoft technologijomis (WPF, XAML, C#, .NET Framework), bei HTML ir JavaScript (React).</p> <p>Sistema įdiegta užsakovo nurodytame asmeniniame kompiuteryje. Sistema bus taikoma Kauno technologijos universitete moksliniuose tyrimuose pasitelkiant žvilgsnio sekimo technologijas.</p> <p>Sistemos diegimo failas patalpintas: https://github.com/simonasB/GazeMonitoring/releases</p>	
Kūrinio aprobavimo data	202 0 m. sausio 15 d.
Kūrinio originalo saugotojas –	<u>Simonas Baltulionis</u>
AUTORIUS:	UŽSAKOVAS:
<u>Simonas Baltulionis</u>	Lektorius
(vardas, pavardė) (parašas)	Mindaugas Vasiljevas
	(vardas, pavardė)  (parašas)
Mindaugas Vasiljevas, tel. +37064251689, el. p. Mindaugas.Vasiljevas@ktu.lt	

47 pav. Žvilgsnio stebėjimo sistemos perdavimo ir aprobavimo akto kopija

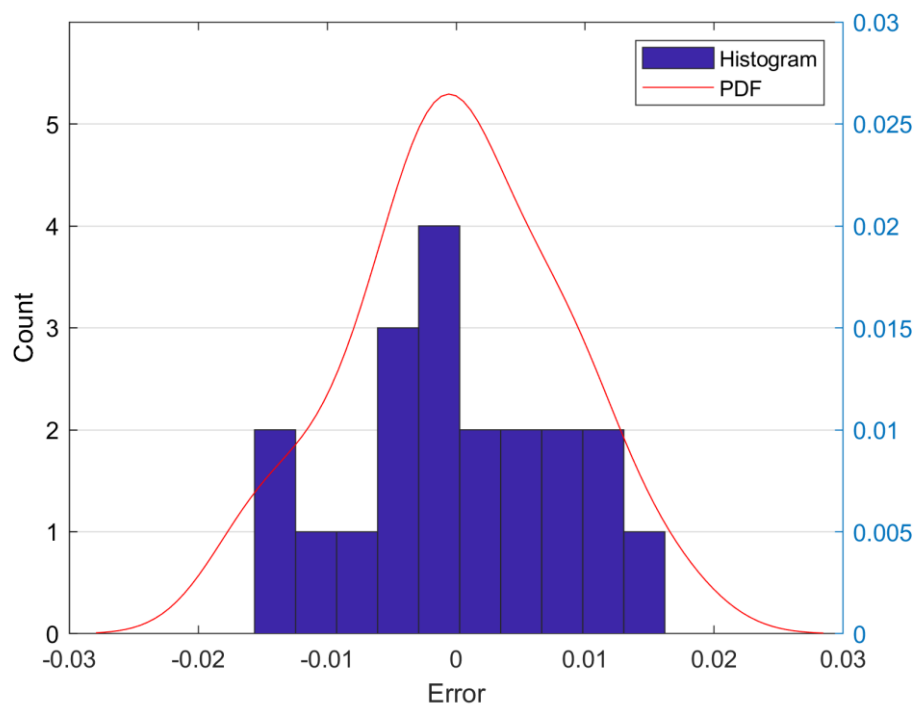
3 priedas. Reikšmingi polinominės regresijos modeliai



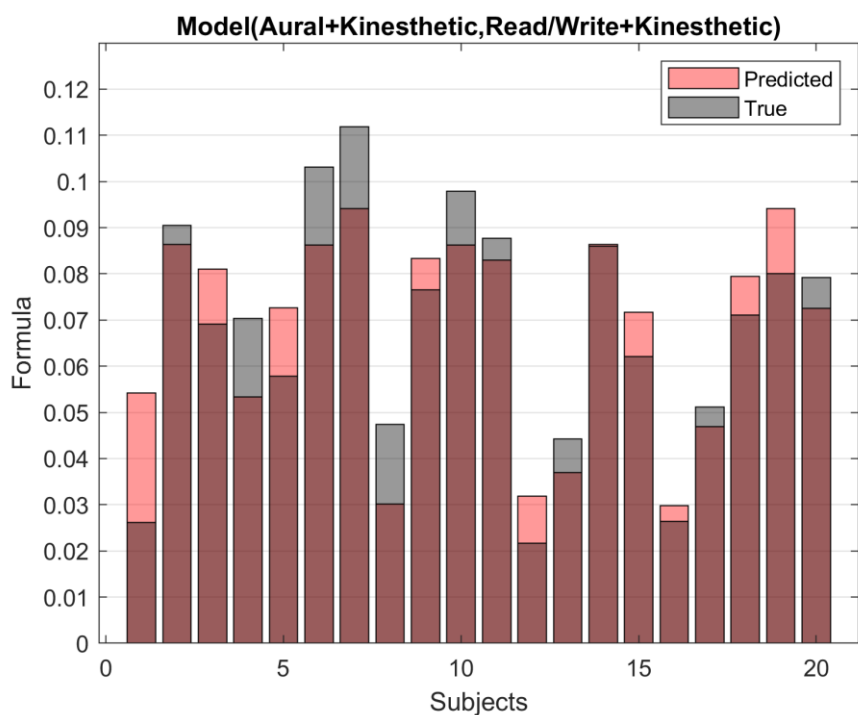
48 pav. Daugialypės polinominės regresijos modelio, spėjancio formulei skiriamo dėmesio santykinę trukmę priklausomai nuo *Read/Write* ir *Visual+Aural* vertinimo, reikšmių rezultatai



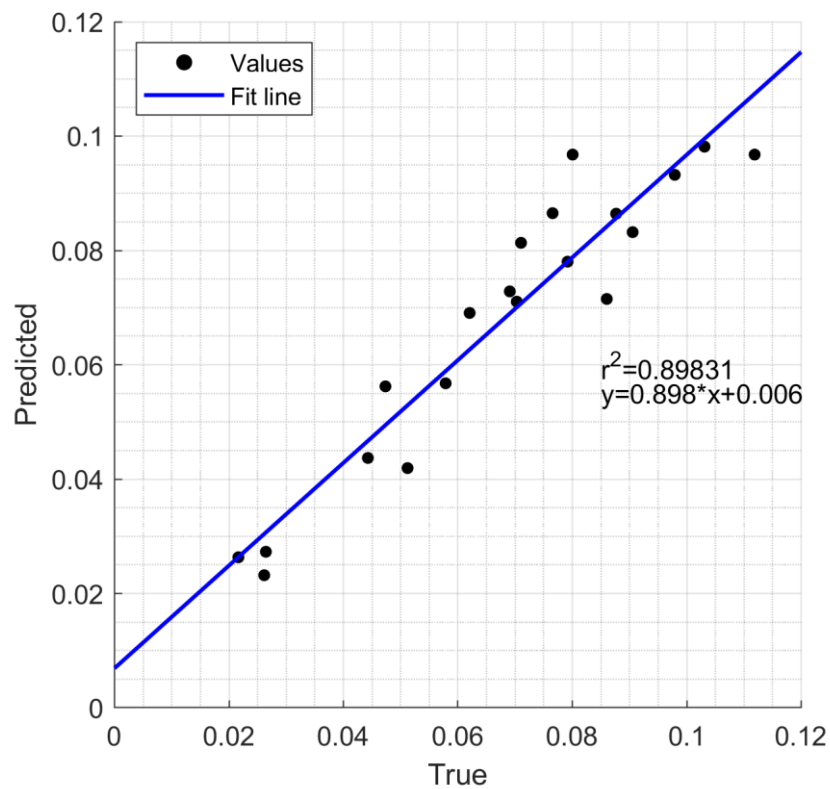
49 pav. Daugialypės regresijos modelio (Formulė) $\leftarrow (Read/Write, Visual+Aural)$ diagnostinė schema



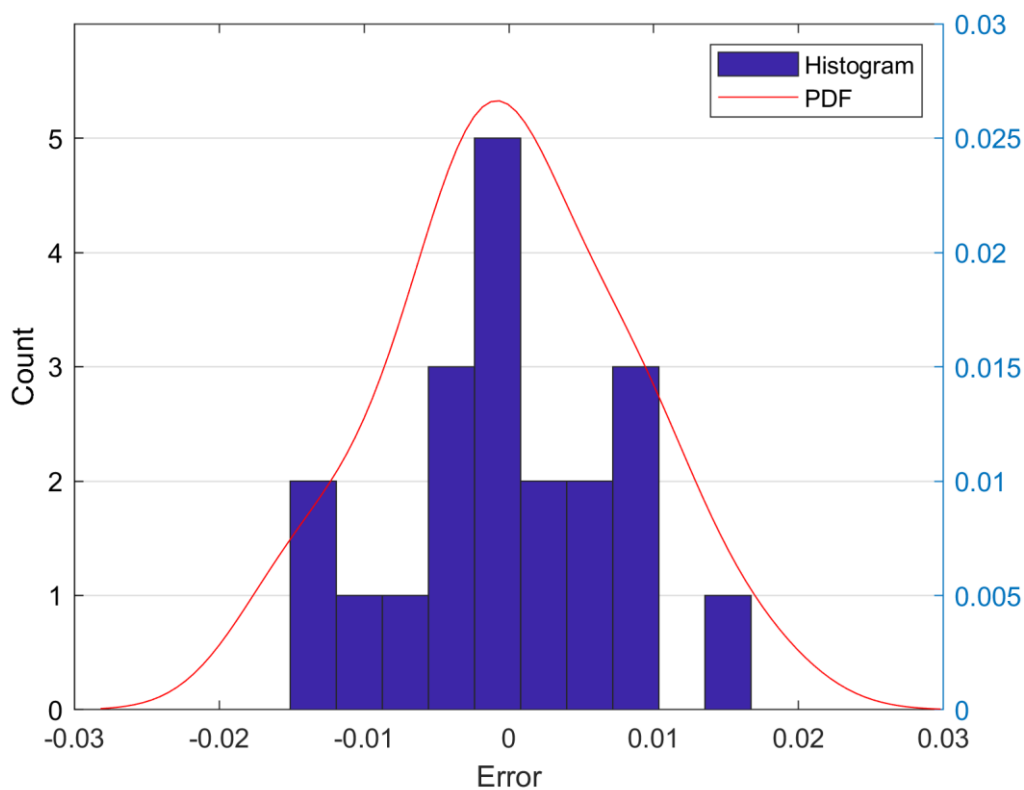
50 pav. Daugialypės regresijos modelio (Formulė) $\leftarrow (Read/Write, Visual+Aural)$ paklaidų histograma ir klaidų tikimybės tankio funkcija



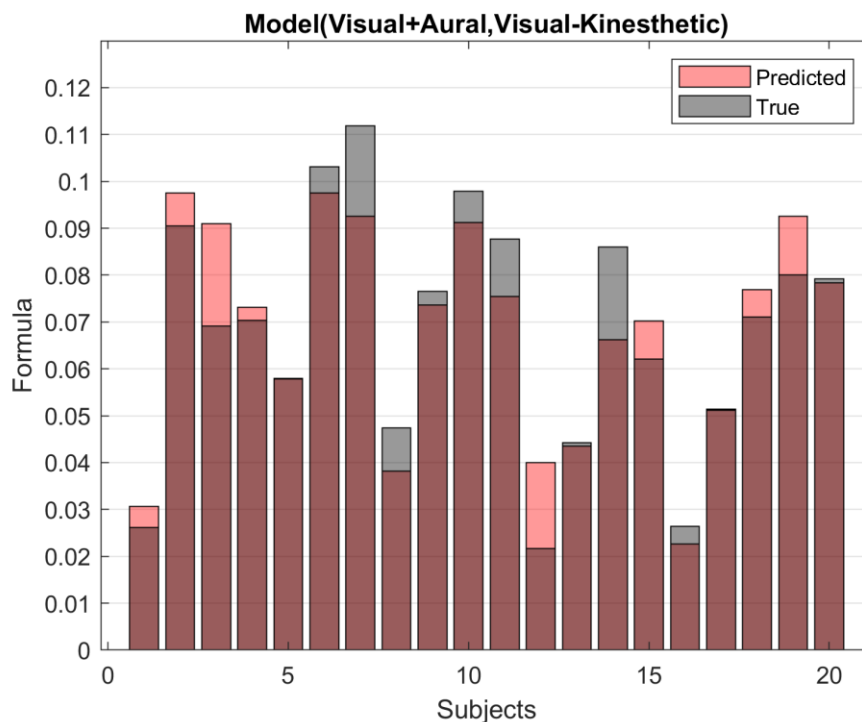
51 pav. Daugialypės polinominės regresijos modelio, spėjančio formulei skiriamo dėmesio santykinę trukmę priklausomai nuo *Aural+Kinesthetic* ir *Read/Write+Kinesthetic* vertinimo, reikšmių rezultatai



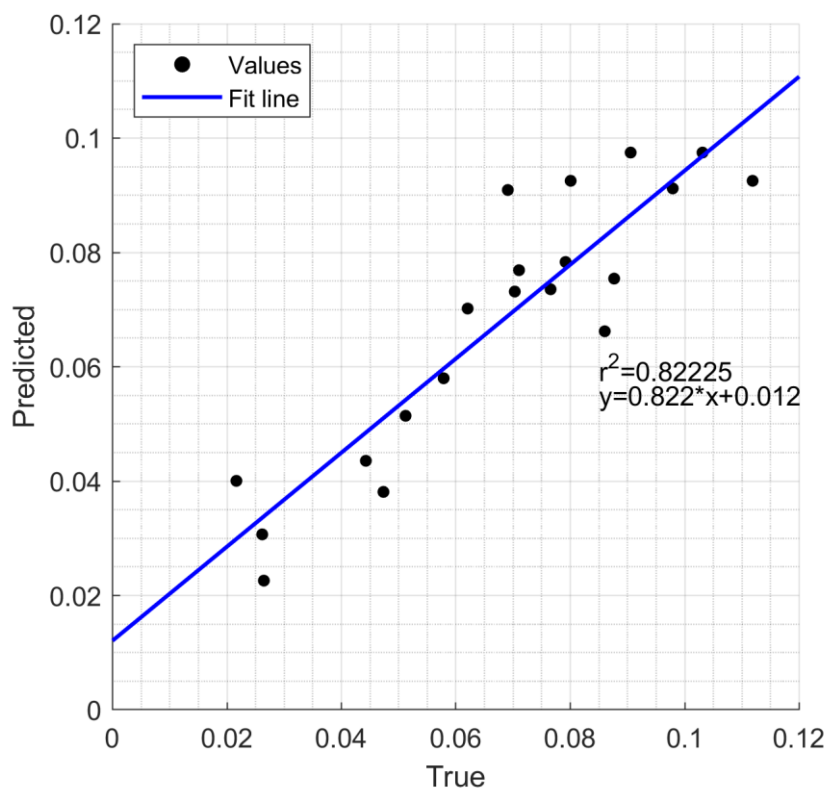
52 pav. Daugialypės regresijos modelio (Formulė) $\leftarrow (Aural+Kinesthetic, Read/Write+Kinesthetic)$ paklaidų histograma ir klaidų tikimybės tankio funkcija



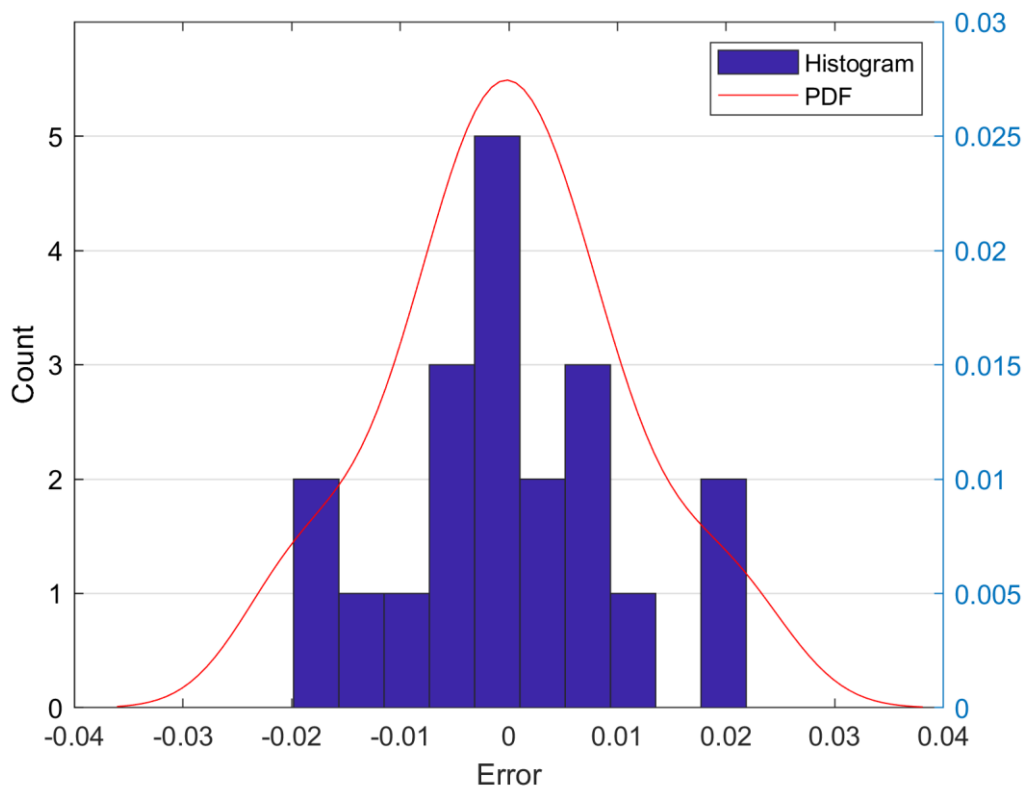
53 pav. Daugialypės regresijos modelio (Formulė) $\leftarrow (Aural+Kinesthetic, Read/Write+Kinesthetic)$ paklaidų histograma ir klaidų tikimybės tankio funkcija



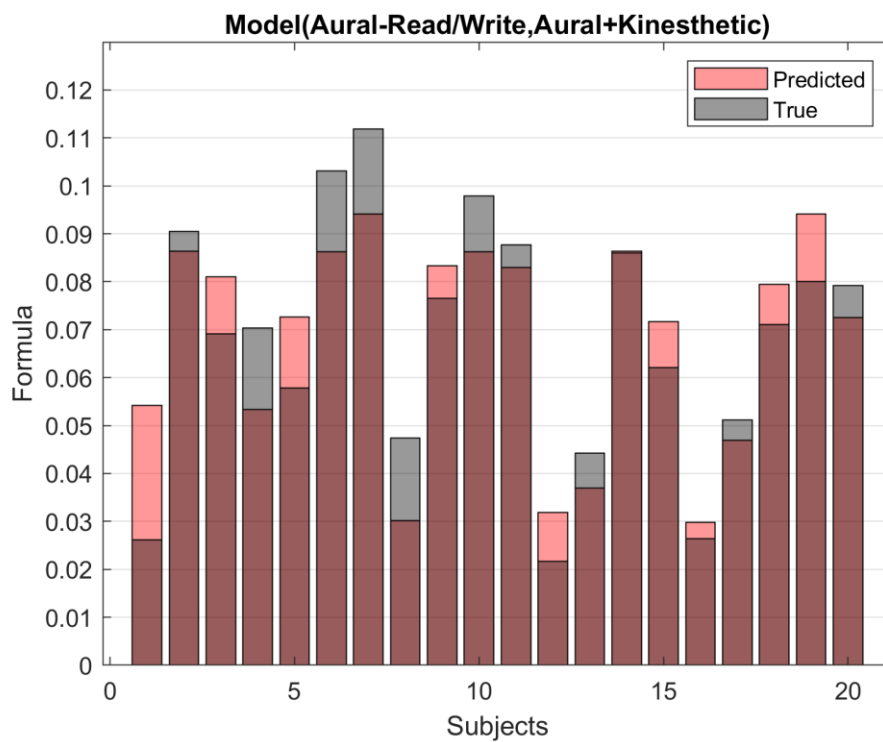
54 pav. Daugialypės polinominės regresijos modelio, spėjancio formulei skiriamo dėmesio santykinę trukmę priklausomai nuo *Visual+Aural* ir *Visual-Kinesthetic* vertinimo, reikšmių rezultatai



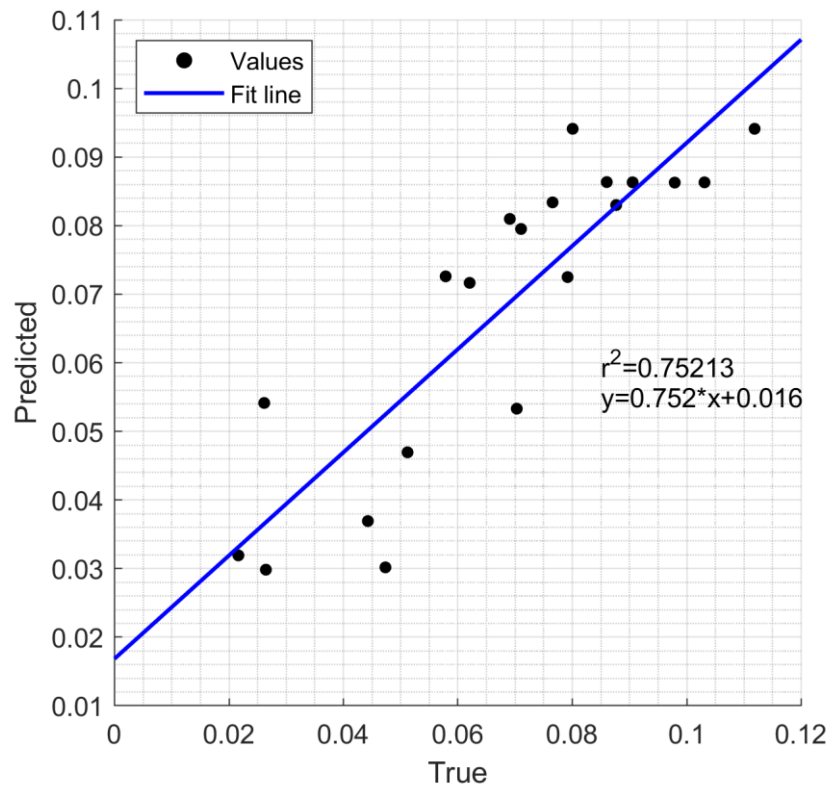
55 pav. Daugialypės regresijos modelio (Formulė) $\leftarrow (Visual+Aural, Visual-Kinesthetic)$ paklaidų histograma ir klaidų tikimybės tankio funkcija



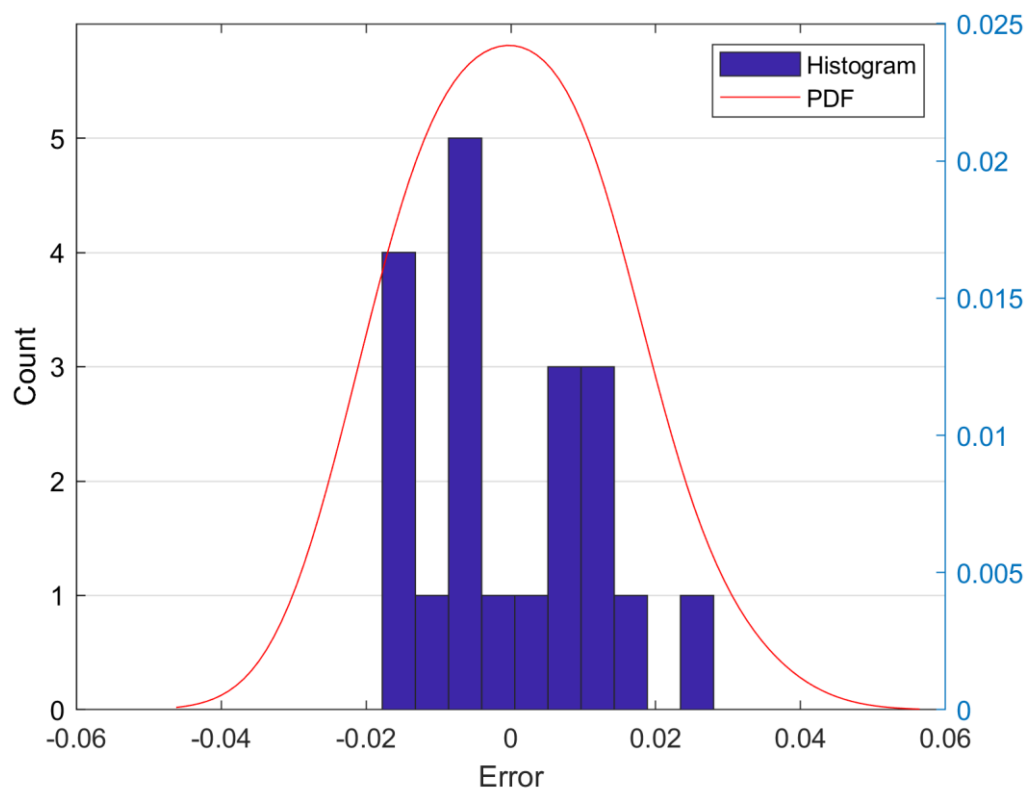
56 pav. Daugialypės regresijos modelio (Formulė) \leftarrow (*Visual+Aural*, *Visual-Kinesthetic*) paklaidų histograma ir klaidų tikimybės tankio funkcija



57 pav. Daugialypės polinominės regresijos modelio, spėjančio formulei skiriamo dėmesio santykinę trukmę priklausomai nuo *Aural-Read/Write* ir *Aural+Kinesthetic* vertinimo, reikšmių rezultatai



58 pav. Daugialypės regresijos modelio (Formulė) \leftarrow (*Aural-Read/Write, Aural+Kinesthetic*) paklaidų histograma ir klaidų tikimybės tankio funkcija



59 pav. Daugialypės regresijos modelio (Formulė) \leftarrow (*Aural-Read/Write, Aural+Kinesthetic*) paklaidų histograma ir klaidų tikimybės tankio funkcija