



ŠIAULIŲ UNIVERSITETAS
TECHNOLOGIJŲ, FIZINIŲ IR BIOMEDICINOS MOKSLŲ FAKULTETAS
ELETRONIKOS KATEDRA

Arvydas Milius

ŽMOGAUS ŽVILGSNIO IR RANKOS KOORDINACIJOS TYRIMAS
INVESTIGATION OF HUMAN EYE-HAND COORDINATION

Magistro darbas

Vadovas
dr. R. Zemblys

ŠIAULIAI, 2016

ŠIAULIŲ UNIVERSITETAS
TECHNOLOGIJŲ, FIZINIŲ IR BIOMEDICINOS MOKSLŲ FAKULTETAS
ELETRONIKOS KATEDRA

TVIRTINU
Katedros vedėjas

(parašas)
doc. dr. D. Balbonas
2016 m. _____ mėn. ____ d.

Arvydas Milius

ŽMOGAUS ŽVILGSNIO IR RANKOS KOORDINACIJOS TYRIMAS
INVESTIGATION OF HUMAN EYE-HAND COORDINATION

Magistro darbas

Recenzentas

doc. dr. N. Ramanauskas

2016

Vadovas

dr. R. Zemblys

2016

Atliko

RM-14 gr. stud.

A. Milius

2016

SANTRAUKA

Milius A., Žmogaus žvilgsnio ir rankos koordinacijos tyrimas: Signalų technologijos magistro darbas / mokslinis vadovas dr. R. Zemblys; Šiaulių universitetas, Technologijos, fizinių ir biomedicinos mokslų fakultetas, Elektronikos ir elektros inžinerijos katedra, Šiauliai, 2016. 47p.

Ankstyvieji moksliniai tyrimai parodė, kad rankos ir akių sensomotorinės sistemos įtakoja viena kitą. Taip pat, kad teigiama rankos judesių įtaka akių judesiams pasireiškia tik sekant periodines trajektorijas. Tačiau realiomis sąlygomis sekami objektai juda atsitiktinėmis trajektorijomis. Vėliausių tyrimų rezultatai atskleidė, kad netgi esant atsitiktinei taikinio trajektorijai, užfiksuoti tikslesni tolygių akių judesių parametrai sekant taikinius akimis ir ranka vienu metu.

Darbo tikslas – iširti rankos judesių įtaką akių judesiams, sekant nenuspėjama trajektoriją kintančius taikinius.

Tyrime dalyvavo 18 tiriamųjų, kurie sekė taikinius dviem etapais, akimis-ranka ir tik akimis. Tyrimo rezultatai patvirtino rankos judesių įtaką akių judesiams, tačiau rezultatai priešingi gautiems vėliausių tyrimų. Statistinė analizė pagal *Linear Mixed Effect* parodė, kad taikinio sekimas buvo tikslesnis ir su mažesniu vėlinimu sekant taikinius tik akimis.

SUMMARY

Milius A., Investigation of human eye-hand coordination: Master thesis of Signal Technology / research advisor Dr. R. Zemblys; Šiauliai University, Faculty of Technology, Physical and Biomedical Sciences, Department of Electronics and Electrical Engineering, - Šiauliai, 2016. 47p.

Early studies revealed that the hand and eye sensomotoric systems influence each other, however only when periodic target movement was given to participants. But in real life many targets move in unpredictable trajectories. More recent research showed that even when target is non predictable, eye-hand tracking condition can improve parameters of eye movements.

The aim of this study to investigate the influence of hand tracking to eye movements when participants follow a random trajectory targets.

In this study 18 adults participated in eye-hand and eye alone experimental conditions. The results confirmed that hand movements have influence on eye movements, however in opposite way than demonstrated in the most recent study. Linear mixed effect analysis showed that tracking was significantly more accurate and delay was significantly smaller in eye alone tracking condition.

TURINYS

ĮVADAS	8
2. Literatūros analizė.....	9
2.1. Sensomototinė sistema	9
2.2. Okulomotorinė sistema	9
2.3. Akių judesių tipai	10
2.3.1. Sakadiniai akių judesiai	10
2.3.2. Vergentiniai judesiai	11
2.3.3. Vestibiulinis akies refleksas.....	11
2.3.4. Tolydūs sekamieji judesiai.....	11
2.4. Akies sandara	12
2.5. Akių galvos ir rankų motorikos principai	14
2.5.1. Akių motorika	14
2.5.2. Galvos motorika.....	14
2.5.3. Rankos judesių motorika.....	15
2.6. Akių judesių matavimo metodai	15
2.6.1. Kontaktiniai akių judesių matavimo metodai	15
2.6.2. Bekontakčiai akių judesių matavimo metodai	16
2.7. Įrangos sukuriama paklaidos ir jų šalinimo principai.....	18
2.8. The Eye Tribe universali akių judesių sekimo įranga	19
2.8.1. The Eye Tribe akių judesių sekimo įrangos paklaidos	21
2.9. Taikinio parametrų skaičiavimai.....	22
3. Tyrimo metodika.....	23
4. Tyrimo eiga.....	24
4.1. Tyrimo eiga ir jos sudarymas	26
4.2. Tiriamųjų aibės sudarymas.....	27
4.3. Taikinio trajektorijos sudarymas	27
4.4. Įranga naudojam akių judesių sekimo sistemoje.....	29

5.	Eksperimento rezultatų analizė	31
5.1.	Trajektorijų randomizavimas	31
5.2.	Abiejų akių žiūros taško radimas vidurkinant.....	31
5.3.	Duomenų iškraipymai	32
5.4.	Duomenų interpoliavimas pagal laiko ašį	35
5.5.	Koreliacijos koeficientų skaičiavimas ir rezultatai	37
5.5.1.	Slenkančio lango metodas (koreliacijos koeficientas).....	37
5.5.2.	Slenkančio lango metodas (vėlinimo laikas)	38
5.6.	Koreliacijos koeficientai nenaudojant slenkančio lango metodo	39
5.7.	Netinkamų duomenų išrinkimas.....	39
5.8.	Duomenų lentelės sudarymas.....	40
5.9.	Statistinės analizės rezultatai.....	41
6.	Išvados	45
	Literatūra.....	46

LENTELĖS

1 lentelė. Taikinio trajektorijos parametrai	27
2 lentelė. Duomenų masyvas paruoštas statistinei analizei	40
3 lentelė. Koreliacijos koeficientų ir trajektorijos įtakos statistinė analizė (Deterministiniu metodu) 42	
4 lentelė. Koreliacijos koeficientų ir trajektorijos įtakos statistinė analizė (Eksperto metodu).....	42
5 lentelė. Vėlinimo laiko ir trajektorijos įtakos statistinė analizė (deterministiniu metodu)	43
6 lentelė. Vėlinimo laiko ir trajektorijos įtakos statistinė analizė (eksperto metodu).....	43

PAVEIKSLAI

1 pav. Supaprastinta linijinio grįžtamojo ryšio modelio tolygių akių judesių diagrama [3].....	12
2 pav. Akies obuolio pjūvis	13
3 pav. Akies posūkius valdantys raumenys [7].....	14
4 pav. TheEyeTribe akių judesių registravimo įrangos sistema	20
5 pav. TheEyeTribe įrangos programinio paketo valdymo ir indikacijos langas	20
6 pav. “TheEyeTribe,, Akių judesių matavimo įrangos paklaidų matuojant akių judesius pasiskirstymas, iš kairės į dešinę: taiklumas (angl. <i>accuracy</i>), tikslumas (angl. <i>precision</i>) ir duomenų praradimas (angl. <i>data loss</i>).....	22
7 pav. Akių judesių registravimo sistemos geometrija	22
8 pav. Eksperimento techninė schema (I etapas).....	26
9 pav. Eksperimento techninė schema (II etapas).....	26
10 pav. Akimis sekamo taikinio trajektorijos fragmentas pasikartojantis visiems tiriamiesiems	28
11 pav. Taikinio trajektorijų fragmentas, eksperimento bandymams, kai kiekvienam tiriamajam pateikiama unikali nesikartojanti trajektorija (visų trajektorijų tuo pačiu laiko momentu skirtinga amplitudė ir fazė).....	28
12 pav. Taikinio greičio dedamųjų histograma.....	29
13 pav. taikinio amplitudės dedamųjų histograma	29
14 pav. Akių judesių registravimo sistemos schema	30
15 pav. Kairės ir dešinės akių žiūros taškų trajektorijos ir suvidurkinta abiejų akių žiūros taško trajektorija.....	31
16 pav. Akių judesių signalo iškreipymai sukelti tiriamojo mirksėjimo	32
17 pav. Akių judesių signalo iškreipymai sukelti naudojamos įrangos	33
18 pav. Akių žiūros taško trajektorija prieš trukdžių šalinimą	33
19 pav. Akių žiūros taško trajektorija su išskirtu trukdžiu	34
20 pav. Taikinio ir akių trajektorijos su pašalintu trukdžiu	34
21 pav. Akių žiūros taško trajektorija po interpoliacijos šalinant duomenų iškreipimus	35
22 pav. Pasiskirstymas prieš interpoliaciją	36
23 pav. Po interpoliacijos (interpoliacija pagal akių žiūros taško trajektorijos laiko ašį)	36
24 pav. Slenkančio lango metodo įgyvendinimo pavyzdys, kai lango dydis 10 sekundžių	37
25 pav. Koreliacijos koeficientų rezultatai taikant slenkančio lango metodą.....	38
26 pav. <i>Boxplot</i> grafikas vaizduojantis reikšmių pasiskirstymą	40

IVADAS

Dauguma žmogaus judesių yra atliekami dėka tikslios koordinacijos tarp kelių skirtingų motorikos sistemų, kontroliuojamų mūsų smegenų. Geras koordinavimas tarp motorikos valdymo mazgų pasireiškia lokomociją. Pavyzdys, tai tikslus viršutinės ir apatinės arba kairės ir dešinės kūno dalių galūnių koordinavimas kartu, lemiantis pusiausvyrą ir sklandžius koordinuotus judesius erdvėje. Galiausiai koordinacija tarp akių, galvos ir rankos būtina daugybei kasdieninių funkcijų, kaip pavyzdys siekiant ar bandant sugriebti objektus, rašymo judesiams atlikti, ar net grojant muzikiniais instrumentais ir t. t.

Kyla klausimas kaip kartu veikia ir kokią įtaką turi skirtingų sensomotorinių sistemų susijungimas kartu atliekant koordinuotus judesius. Šiame darbe nagrinėjama sensomotorinė sistema, kurioje matuojami akių ir rankos judesiai. Siekiama išsiaiškinti kaip akių ir rankos judesių veikimas kartu sekant taikinius gali įtakoti akių sekimo tikslumą. Šiam tikslui naudojama sutapdintų taikinių sekimo sistema, kurios metu tiriamieji instruktuojami sekti taikinius akimis monitoriaus ekrane ir tuo pačiu metu pelės kursoriaus pagalba sutapdinti rankos judesius su užduoto taikinio trajektorija.

Kaip rodo atlikti eksperimentai, prie atitinkamų sąlygų, kai tiriamiesiems pateikiami periodine ar atsitiktine trajektorija kintantys taikiniai, kartu dalyvaujant rankos ir akių sensomotorinėms sistemoms, fiksuojama rankos judesių įtaka tolygiems akių judesiams, lyginant su tolygių akių judesiais kai stimulus sekamas vien tik akimis be kitų motorinių sistemų įsikišimo.

Šiame darbe atliekamo eksperimento metu, sudarius tiriamųjų aibę, bus siekiama iširti rankos judesių (motorinės sistemos) įtaką akių judesiams (sensomotorinei sistemai). Atsižvelgiant į tai, kad žmogaus kasdieninėje žmogaus veikloje apstu nenuspėjamomis trajektorijomis kintančių stimulių ir tai kad sensomotorinė sistema geba įsiminti ir kurti nuspėjimo mechanizmą sekant periodinius stimulus, sekamo taikinio trajektorijai šiame darbe keliami specialūs reikalavimai, Galiausiai lyginant eksperimentines sąlygas, kai taikiny sekamas akimis ir ranka ir kai taikiny sekamas vien tik akimis, lyginant šias sąlygas bus tiriami akių judesių sekant taikinį tikslumo bei vėlinimo pakitimai.

Darbo tikslas – iširti žvilgsnio ir akies koordinaciją.

Darbo uždaviniai:

- Sukurti programinį kodą pasirinktam programiniam paketui, kuris leistų pasirinktu akių judesių matavimo įrenginiu įrašyti akių ir rankos judesius.
- Suprojektuoti akių judesių sistemą naudojant pasirinktą akių judesių sekimo įrangą
- Sugeneruoti taikinių trajektorijas;
- Atlikti gautų matavimų analizę;
- Patikrinti iškeltas hipotezės:
 - a. H_0 – sekimas ranka neturi įtakos sekimo žvilgsniu parametrus

- H1 – sekimas ranka turi įtakos sekimo žvilgsniu parametrams
- b. H0 – sekimo parametrai nepriklauso nuo trajektorijos
- H1 – sekimo parametrai priklauso nuo trajektorijos

2. Literatūros analizė

2.1. Sensomotorinė sistema

Sensomotorinės sistemos paskirtis, tai kūno organų ir galūnių valdymas. Žmogaus sensomotorinė sistema susideda iš dviejų pagrindinių dalių: centrinės nervų sistemos (toliau – CNS), ir judesius valdančių raumenų.

Sensomotorinėje sistemoje išskiriami du informacijos perdavimo kanalai, priklausomai nuo to koks stimulus skatina atsirasti judesius. Kai stimulus išorinis informacija perduodama aferentiniais informacijos perdavimo kanalais. Aferentinio signalo pavyzdys gali būti informacija apie rankos padėtį gaunama per regos kanalus, lietimui arba šilumos jutimui. Antroji grupė informacijos ir valdymo signalų perdavimo kanalų grupė naudojama vidiniams signalams iš raumenų ar vidinių organų perduoti vadinama eferentine. Eferentinių signalų pavyzdžiui gali būti pateikiamas atvejis, kai rankos padėtis gali būti nusakoma iš rankos raumenų bei sąnarių gaunamais receptorių signalais (1).

Sensomotorinė sistema veikia hierarchijos principu. Šioje vietoje sistema vėl skirstoma į dvi dalis, pirmoji tai motorinės sistemos elementai: raumenys sąnariai. Pastarieji gauna ir siunčia referentinius grįžtamojo ryšio signalus į valdymo organų galvos ir nugaros smegenis, kur kuriamos vidinės galūnių padėčių kopijos. Tuo tarpu patys raumenys savarankiškai pačiuose suformuotų signalų dėka gali atlikti judesius, tokiu kaip refleksai. Antroji svarbiausia valdymo dalis, kurią sudaro galvos ir nugaros smegenys (1).

2.2. Okulomotorinė sistema

Okulomotorinės sistemos išskirtinumas, tai sensorinės ir motorinės sistemos integralumas. Akis kaip jutiminis organas pasižymi geromis motorinėmis savybėmis. Žiūros linijos valdymo sistema, išskiriant motorines regos savybes vadinama okulomotorine. Dėka gerai išvystytų sistemos savybių žmogus žvilgsnį gali nukreipti norima kryptimi į norimą objektą. Kalbant apie žvilgsnio nukreipimo sistemą išskiriamos trys šiam veiksmui reikalingos sudedamosios dalys, tai gali būti kūno judesiai, galvos judesiai ir galiausiai akių judesiai (1).

Yra keli akių judesių valdymo posistemai, tai fiksaciniai, šuoliniai arba sakadiniai akių judesiai ir vestibulinis akies refleksas (toliau - VAR), kurio dėka galime sekti norimą objektą ir judinant galvą, kai akis pasisuka tokiu pačiu kampu kaip ir galva tik priešinga kryptimi (1).

Akis yra puikus pavyzdys kaip sklandžiai kartu gali veikti sensorinė ir motorinė sistemos. Integralios sistemos veikimas gali būti paaiškinamas labai paprastai. CNS gavusi iš motorinių sistemų (raumenų) informaciją apie jų apkrovimą ir padėtį suformuoja galūnių padėties erdvėje vidinę kopiją vadinamą eferentine vidine kopija.

Atliekant koordinuotą galūnių judesį, stebint norimą objektą, CNS iš akių, kaip sensorinės sistemos gaunamą informaciją apie siekiamą stimulą erdvėje, formuoja jo padėties aferentinę išorinę kopiją (1).

Visa tai galima paaiškinti kaip atliekamo veiksmo kokybės tobulinimu gaunant papildomą informaciją (koordinuoto judesio tikslumas ir greitis).

Remiantis atliktais tyrimais jų analizės rezultatais, yra aišku kad sensomotorinės sistemos neapsieina viena be kitos. Šiame darbe atliekamo eksperimento esmė ištirti sąlyginai atskirų sensomotorinių sistemų tarpusavio įtaką. Nes dvi sensomotorinės sistemos kurdamos eferentinius ir aferentinius signalus su grįžtamaisiais ryšiais papildo viena kita taip leisdamos atlikti tikslesnius judesius siekiant norimo objekto ar stimulo.

2.3. Akių judesių tipai

2.1.1. Sakadiniai akių judesiai

Sakados – greiti šuoliniai akių judesiai, kuriais perkeliamas žvilgsnis nuo vieno žiūros taškos prie kito (1). Sakados skirstomo į du tipus: sąmoningos – atliekamos savo noru perkeliant žvilgsnį nuo vieno stimulo prie kito, arba refleksinės – okulomotorinei sistemei reaguojant į aplinkoje atsiradusį stimulą nebūtinai optinį. Tarp akies sakadų vyksta fiksacijos. Akių regos lauke atsiradus naujam stimului sakada neprasideda tuo pačiu momentu, seka apie 200ms vėlinamas, jei atliekamos kelios sakados sekančios viena po kitos, laiko intervalas tarp jų yra apie 100–200ms. Sakados trukmė – nuo 15 iki 100ms (1).

Išskirti du sakados eigos etapai, po vienos sakados dažniausiai seka antra korekcinė sakada, taigi pirmosios sakados į naujai atsiradusį stimulą amplitudė paprastai būna didžiausia. Kuo didesnė sakados amplitudė, arba kuo didesnis atstumas įveikiamas tuo šis judesys yra netikslesnis ir daugeliu atveju reikalauja vienos ar daugiau korekcinų sakadų, priklausomai nuo stimulo. Taip atsitinka dėl nevienodo receptorių pasiskirstymo akies tinklainėje, o sekamam stimului esant toliau nuo foveos (akies regos centro, kuriame vaizdas matomas aiškiausiai). Taigi antros korekcinės sakados metu suformuojama mažesnės amplitudės sakada, kurios tikslas, stimulo vaizdo sukcentravimas foveoje.

Atliekant bandymus ir matuojant sakadų parametrus prieita išvados, kad tarp skirtingų žmonių grupių pasireiškia sakadų stereotipiškumas, ju parametrai išlieka panašūs arba vienodi. Sakados atlikimo metu abi akys juda vienodai, formuoja vienodas judesio amplitudes. Tyrimų metu

pastebėta, kad išimtis atsiranda jei atliekant šuolinį akių judesį stimulus staiga pakeičia pozicija kas iššaukia vienos iš akių judesio amplitudės sumažėjimą, vyksta sakados slopinimas. Tačiau šio pasikeitimo žmogus nepastebi dėl akies fizinių savybių, dėl kurių žmogaus reakcijos laikas į šviesos stimulą siekia 20 ms. Dėl šios priežasties sakados pasižymi balistinėmis savybėmis (1).

Iš sakados pagrindinių parametrų gali būti išskiriamas pikinis greitis kuris gali siekti iki 700 laipsnių per sekundę, o maksimali išmatuota sakados amplitudė iki 40 laipsnių (1).

2.1.2. Vergentiniai judesiai

Pasireiškiant aprašomo tipo akių judesiams akys geba atlikti poslinkius skirtingomis viena kitos atžvilgiu kryptimis. Vergentinių akių judesių paskirtis, stebint objektus su besikeičiančiu atstumu iki stebėtojo išlaikyti abiejų akių foveoje stebimus objektus.

Literatūroje aprašomi du vergentinių akių judesių tipai. Konverguojamieji akių judesiai kai abi akys sekančios taikinį atlieka poslinkį į vidinę pusę. Antras tipas tai diverguojamieji akių judesiai, su poslinkiu į išorę.

Pagrindiniai vergentinių akių judesių parametrai, tai akies posūkio maksimali amplitudė kuri gali siekti iki 5 laipsnių, bei maksimalus sekimo greitis, kuris siekia 20 laipsnių per sekundę, taikiniai sekami tik tolygiais akių judesiais (2).

2.1.3. Vestibiulinis akies refleksas

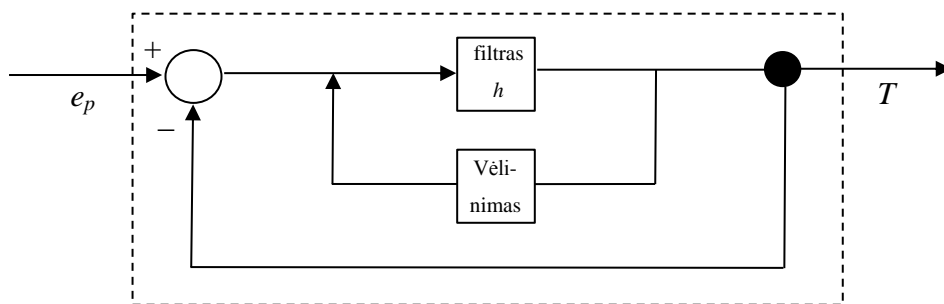
Jokie akių judesiai neapsieina be vestibulinio akies reflekso (toliau - VAR). Tai akių judesiai, skirti kompensuoti galvos judesius. Siekiant išlaikyti sekamo stimulo atvaizdą foveoje, akių sekimo metu atsiradus galvos judesiams akis pasukama priešingu kampu nei atsiradęs galvos judesys (1).

VAR judesi generuojami vestibuliarinio aparato, kuris randasi vidinėje ausyje. VAR judesių pavyzdžių apstu kasdieninėje veikloje, kai erdvėje judant visam kūnui ar judinant galvą nekyla jokių sunkumų sekti dangumi skrendantį orlaivį.

2.1.4. Tolydūs sekamieji judesiai

Tolygūs akių judesiai pasireiškia, kai akis geba vizualiai sekti taikinį. Šis sekimas tiesiogiai priklauso nuo taikinio judėjimo greičio. Tolygaus sekimo metu stimulo vaizdas turi būti išlaikomas foveoje. Pasak literatūros analizės žmogaus akis geba nesunkiai sekti objektus judančius iki 15 laipsnių per sekundę, jei taikinys juda greičiau regos okulomotorinė sistema formuoja pasivejančiąsias sakadas (1).

Modeliuojant tolygių akių judesių veikimą, galima pavaizduoti uždaro ciklo schematinę diagramą su grįžtamaisiais ryšiais, atektą žemiau esančiame paveikslėlyje.



1 pav. Supaprastinta linijinio grįžtamojo ryšio modelio tolygių akių judesių diagrama (3)

Diagramoje pateiktoje 1 pav. e_p – pradinė akies padėtis, T – sekamo taikinio (numatoma) pozicija, h – linijinis nekintantis laike filtras. Modelio veikimas gali būti paaiškinamas taip, grįžtamojo ciklo uždaražame modelyje signalas iš vaizdo suvokimo receptorių sukuria paklaidos signalą, kuris indikuoja akies judesio poreikį, kurio pagalba kompensuojamas (panaikinamas) skirtumas atsiradęs tarp akies ir taikinio pozicijų, kad taikinio vaizdas išliktų foveoje (3).

Kiti literatūros šaltiniai smulkiau analizuoja procesus vykstančius okulomotorinėje sistemoje kai žmogus ima sekti ją dominantį stimulą. Kaip jau buvo minėta ankstesnėje pastraipoje žmogaus akių judesių valdymo sistemos posistemis veikia grįžtamojo ryšio principu. Pagal (1) šaltinyje aprašytą vidinį akių judesių sekimo modelį, sistemos įėjimo signalai tai taikinio greičio vertikalios ir horizontalios dedamosios, sistemos išėjimo signalas – akių judesių greičių vertikalios ir horizontalios dedamosios. O sistemos paklaida, arba korekcinis akių judesių signalas tai taikinio slydimo akies tinklainėje greitis.

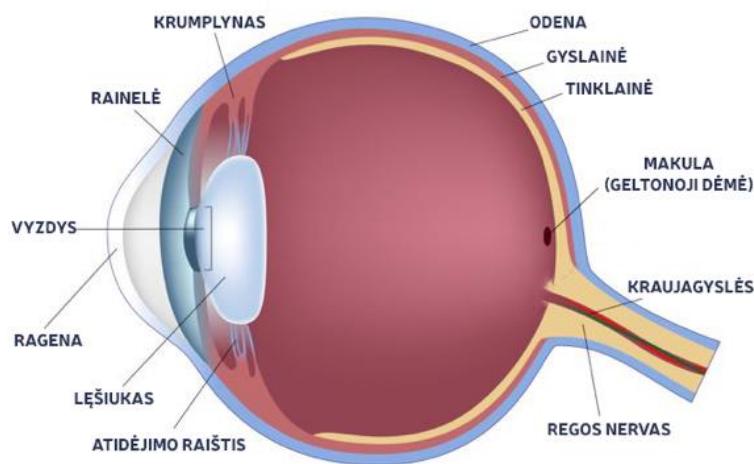
Pagal nagrinėjamą literatūros šaltinį prie 1 paveikslėlyje vaizduojamos akių judesių formavimo schemas pridėjama vėlinimo grandinė atitinkanti vėlinimą tinklainės receptoriuose. Pasak (1) šaltinio vėlinimas atsiranda dėl elektrocheminių procesų vykstančių kai šviesos receptoriuose yra keičiamas šviesos signalas į nervinius impulsus. Šio proceso trukmė apie 50 ms.

2.2. Akies sandara

Akies obuolio judėjimas yra palyginti paprastas lyginant su kitomis žmogaus kūno galūnėmis. Taip pat nėra mechaniškai apkraunamas kaip pavyzdžiui pagrindinės žmogaus judėjimą užtikrinančios galūnės, rankos ar kojos. Akių judesiai nusakomi trimis laisvės laipsniais – kampiniais posūkiomis apie vertikalios ir horizontalios ašis, bei posūkiomis apie regėjimo ašį. Atlikti tyrimai parodė kad regos sistema su posistemiais yra dalis, kelių lygių hierarchinės sistemos dalis (1)

Žmogaus akis – žmogaus galvoje esantis organas, priimančias aplinkos informaciją matomoje elektromagnetinių bangų srityje ir transformuojantis ją į nervinius impulsus. Akies obuolys yra netaisyklingo rutulio formos 2,4 cm skersmens. Akies sandara ir veikimas panašus į fotoaparato, akis automatiškai reaguoja į stebimo objekto apšvietimą ir nuotolį iki jo taip, kad objektas būtų

ryškiai matomas. Akis apsaugota kaukolės akiduobės. Skirtingai nuo daugelio gyvūnų akių, žmogaus akis pasižymi sudėtingesne sandara, spalvų skiriamąja geba (4). Žemiau pateiktas akies obuolio pjūvis su pažymėtomis akies obuolio sudedamosiomis dalimis:



2 pav. Akies obuolio pjūvis

Lęšiukas – abipus išgaubtas ir skaidrus organas, kuris laužia šviesos spindulius. Dėl lęšiuko išgaubtumo formuojasi trumparegystė arba toliaregystė (5).

Rainelė – priekinė kraujagyslinio dangalo dalis, kuri reguliuoja šviesos srautą patenkančią į akį (5). Ji skritulio formos, 10-12 mm skersmens, jos centre yra apvali anga – vyzdis (4).

Krumplynas – kraujagyslinio dangalo dalis, besitęsianti nuo rainelės šaknies ligi dantytosios linijos, ties kuria jis jungiasi su gyslaine. Užpakalinė krumplyno dalis - pakrumplė yra plokščia, o priekinė – krumpliota (6).

Odena – skaidulinio akies obuolio dangalo dalis. Nepermatoma, baltos spalvos. Paskirtis saugoti akies obuolio turinį nuo pažeidimų, palaiko akies obuolio formą, jos stabilumą akies obuolio raumenims judinant akį (6).

Gyslainė - didžioji kraujagyslinio dangalo dalis, besitęsianti nuo dantytosios linijos iki regos nervo, esanti tarp odenos ir tinklainės. Gyslainė sudaryta iš aibės kraujagyslių. Vidinį sluoksnį sudaro smulkūs kapiliarai, vidurinį sluoksnį – vidutinės, o išorinį – stambiosios kraujagyslės (6).

Tinklainė – vidinis akies obuolio dangalas, kuriame matomo šviesos spektro (380-760 nm) elektromagnetinės bangos sukelia daugiapakopės fotocheminės reakcijas, lydymas elektrinių impulsų atsiradimo. Šie impulsai, atsiradę tinklainės fotoreceptoriuose, nervinėmis skaidulomis perduodami į galvos smegenų žievės centrus. Tinklainėje yra dviejų rūšių fotoreceptoriai: kūgeliai (jų yra apie 6-7 milijonai), susitelkę geltonojoje dėmėje, sąlygojantys fotopinį (dienos) regėjimą, spalvų jutimą, ir stiebeliai (110-125 milijonai), lemiantys prieteminį ir naktinį regėjimą, maždaug 500 kartų jautresni už kūgelius (6).

Geltonoji dėmė – (angl. *fovea*) padeda užtikrinti puikų ir visapusišką regėjimą. Gelsva sritis tinklainės centre su duobute. Didžiausias jautrumas pasireiškia dienos šviesos matymu (5).

Regos nervas – perduoda nervinius impulsus į smegenis, kurie padeda suvokti aplinkoje esančius objektus (5).

Ragena – labiausiai išgaubta, skaidulinio dangalo sritis, kuri laužia šviesos spindulius. Ragena sudaryta iš 5 sluoksnių, kurie būna išoriniai ir vidiniai. Sveika ragena turi būti skaidri ir blizganti (5).

Stiklakūnis – Didžioji akies obuolio dalis. Bespalvis skaidrus skystis akies viduje, primenantis vandeningų drebučių masę, sudarytas iš skaidrių tarpusavyje susipynusių skaidulų ir permatomo skysčio. Subrendusiame stiklakūnyje nėra nei kraujagyslių nei nervų. Stiklakūnis praleidžia į aki patenkančius šviesos spindulius. Drebučių konsistencija apsaugo tinklainę nuo sukrėtimų vartant ar kitaip mechaniškai veikiant akį (6).

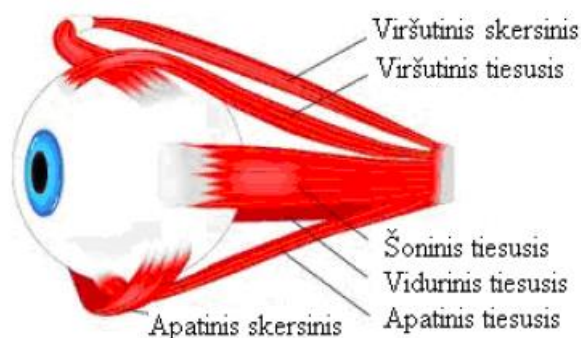
2.3. Akių galvos ir rankų motorikos principai

Šiame skyrelyje trumpai apibūdinami akių galvos ir rankų judesių motorikos principai.

2.3.1. Akių motorika

Kaip buvo minėta anksčiau akies kampiniai posūkiai gali būti nusakomi trimis dedamosiomis. Tai vertikali horizontali ir nežymios įtakos akių judesiuose turinti sukamoji dedamoji (1). Vyrauja keturi pagrindiniai akių judesių tipai: šuoliniai (sakadiniai), tolygūs akių judesiais, VAR – Vestibulinio akies reflekso judesiai ir vergentiniai (7). Šiame darbe plačiau nagrinėsime pirmus tris akių judesių tipus, kadangi pastarieji pasireškia beveik visais akių judesių atvejais tiriamais šiame darbe.

Akies kampinius posūkius valdo šeši raumenys. Pastarieji pavaizduoti ir įvardinti žemiau esančiame paveikslėlyje.



3 pav. Akies posūkius valdantys raumenys (1)

2.3.2. Galvos motorika

Galvoje kuri funkciškai yra atskirta nuo kūno yra sutelkta sistemų valdymo elementai tokie kaip: CNS – centrinė nervų sistema, taip pat regos, klausos, uoslės jutikliai ir maisto paėmimo į organizmą sistema. Kadangi galvos masė iki 10 kartų mažesnė lyginant su likusio kūno mase ji pakankamai paslankus kūno sandaros elementas. Išvystyta galvos raumenų motorika suteikia

apsaugine funkcija, pasitelkiant regą ir klausą nustatant pavojaus kryptį ir paslankumo pagalba jų vengiant. Galvos judesiai taip pat tarnauja akių judesiams (1).

Atlikti tyrimai įrodė kad akių ir galvos judesių koordinavimo sistemos veikia kartu. Normaliomis sąlygomis galvos judesiai neturi nevalingų ar savaiminių judesių požymių. CNS suformuotos komandos motoneuronų pagalba perduodamos galvos kaklo raumenims, kurie formuoja valingus galvos judesius (1). Svarbu paminėti, kad galvos judesiai dinamiškumu neprilygsta žymiai mažesnės masės akių judesiams.

2.3.3. Rankos judesių motorika

Koordinuoti rankos judesiai formuojami CNS ir per motoneuronus perduodami rankos raumenims. Tyrimų metu nustatyta, kad rankos pagal motoneuronų kiekį dalyvaujantį valdant rankas stipriai lenkia kitus žmogaus su motorika susijusius organus ir galūnes. Dėka to galime atlikti tiksliai koordinuotus rankų judesius (1).

2.4. Akių judesių matavimo metodai

Susiduriama su visa eile problemų, kai norima išmatuoti akių judesius. Nors maksimali akių judesių amplitudė gali siekti iki 70 laipsnių apie vertikalią ir horizontalią ašis, tačiau nepaisant to, akių judesiai pasižymi itin mažos amplitudės mikrojudiesiais, kurių amplitudė gali būti vos kelių kampinių minučių dydžio, ko pasekmė didelis akių judesių matavimo dinaminis diapazonas, viršijantis 10^5 , žmogaus akių judesių dažnių spektras gali siekti 100 Hz. (1). Žmogaus kaip ir daugumos žinduolių akys paslėptos giliai galvos kaukolės akiduobėje, bei apsaugotos akių vokais. Galiausiai tai yra labai jautrus organas išorės mechaniniu poveikiui.

Visa tai tampa tikru iššūkiu akių judesių matavimo įrangos projektuotojams kuriant technines akių judesių matavimo priemones, kurias šiandien galima suskirstyti į dvi grupes, tai kontaktiniai ir bekontakčiai akių judesių matavimo metodai. Būtina atsižvelgti ir į tai, kad akių judesiai gali būti matuojami galvos atžvilgiu ir akių judesių padėtis erdvės atžvilgiu (angl. *point of regard*) (3).

Šių dienų technologijos leidžia išskirti keturias akių judesių matavimo metodologijas: elektrokulografinis metodas (EOG), kontaktinis metodas naudojantis kontaktinį lęšį arba kontaktinę ritę, videokulografinis metodas (VOG), fotokulografinis metodas (POG) (3). Sekančiuose skyriuose bus plačiau nagrinėjami pagrindiniai akių judesių matavimo metodai.

2.4.1. Kontaktiniai akių judesių matavimo metodai

Dėl techninių galimybių apribojimų pirmieji akių judesių matavimo metodai buvo kontaktiniai. Šiai grupei priskiriami elektro-okulografinis ir kontaktinio lęšio arba ritės akių judesių matavimo metodas. Šie metodai savo populiarumo viršūnėje buvo apie 1970 metus (3). Kaip ir nurodyta pavadinime, akių judesių matavimo įrangos viena iš sudedamųjų dalių yra kontaktinė, kuri

uždedama arba kitaip pritvirtinama ant tiriamojo akių, naudojant siurbtukus arba kontaktiniu lęšius su įmontuota rite, veidrodėliais ar feromagnetiko gabalėliais (1). Visa tai priskiriama judamajai įrangos daliai.

Kaip nejudamoji akių judesių matavimo įrangos dalis gali būti naudojamas šalmas, prie kurio, ties tiriamąja akimi, siekiant išvengti parazitinių galvos judesių, pritvirtinamas akių judesių jutiklis. Akių judesių matavimo metu judamoji dalis akių judesių metu pasislenka nejudamosios dalies atžvilgiu. Iš gauto elektrinio signalo apskaičiuojami akių vertikalūs ir horizontalūs poslinkiai (1). Šio metodo trūkumas kad akių judesiai matuojami galvos atžvilgiu.

Kontaktinių akių judesių matavimo metodai vis dar nepralenkiami savo tikslumu. Pasižymi techniškai paprasta konstrukcija, tačiau dėl poreikio sudaryti mechaninį kontaktą su tiriamojo akimi gali būti panaudojami tik laboratorijose (1).

2.4.1.1. Kontaktinio lęšio arba indukcinės ritės metodas

Vienas iš pačių tiksliausių akių judesių matavimo metodų, kurio veikimas pagrįstas mechaninio ar optinio įrenginio montavimu tiesiai ant žmogaus akies. Šis metodas pradėtas naudoti anksčiausiai. Pirmaisiais šio metodo pritaikymo atvejais kontaktinis lęšis, kuris buvo dedamas ant akies obuolio buvo didelis nepatogus ir su prijungta laidine jungtimi, nebuvo galima mirksėti. Žmogaus galva buvo talpinama į specialiai paruoštą kubą, kuriame buvo sukuriamas elektromagnetinis laukas. Pasisukus akiai taip pat judant ritei uždėtai ant akies buvo matuojamas elektromagnetinio lauko pasikeitimas. Šio metodo tikslumas siekė 5-10 kampinių sekundžių dydžio (2).

Tačiau šio metodo kaip ir visų kontaktinių akių judesių matavimo metodų trūkumas yra kontakto su akimi sudarymas, kuris reikalauja įgudimo. Tiriamasis su uždėtu ant akies kontaktiniu lęšiu jaučia diskomfortą. Taip pat akių judesiai atliekami kartu su galvos judesiais, kas netinka erdvinio taikinio sekimo akimis judesių matavimui (2).

2.4.2. Bekontakčiai akių judesių matavimo metodai

Ištobulėjus kompiuterinei technikai, tapo įmanoma realizuoti bekontakčius akių judesių matavimo metodus. Šio metodo realizavimui pasinaudota akių fiziologinėmis savybėmis, tokiomis kaip akies forma, akies savybe sugerti ir atspindėti šviesos spindulius. Vienas populiariausių ir šiandien plačiai taikomų akių judesių metodų yra ragenos atšvaisto metodas. Pastarasis buvo atrastas žymiai vėliau negu pradėti taikyti kontaktiniai akių judesių matavimo metodai (3).

Pagrindiniai bekontakčių akių judesių matavimo metodų trūkumai yra mažesnis akių judesių matavimo tikslumas lyginant juos su kontaktiniais akių judesių matavimo metodais, taip pat jų sudėtingas įgyvendinimas (1), nors iš pažiūros dėka šių dienų techninių galimybių jis atrodo itin paprastas, gali būti pritaikomas buityje, nereikalauja laboratorinių sąlygų. Jau ranka pasiekiami šių dienų realija, kad bekontakčiu akių judesių matavimo metodu kuriami akių judesių matavimo

įrenginiai pereis į serijinę gamybą kartu su kompiuterių monitoriais teflonais ir kita kasdien naudojama kompiuterine technika, bei papildys ir išplės kasdien naudojamų prietaisų funkcionalumą.

2.4.2.1. Elektrokulografinis metodas

Elektrokulografinis akių judesių matavimo metodas gali būti laikomas bekontakčiu, kadangi nėra sudaromas tiesioginis kontaktas su akimi. Metodui įgyvendinti reikalingi elektrodai, kurie yra klijuojami ant tiriamojo veido akių srityje. Pastarasis metodas buvo plačiai naudojamas maždaug prieš 40 metų, kai kur jo panaudojimą galima sutikti ir šiandien (3).

Šio metodo esmė yra elektrinio dipolio potencialo skirtumo, sukurto elektrinio lauko matavimas ant odos prilipdytais elektrodais. Potencialų skirtumas susidaro tarp akies obuolyje esančios tinklainės ir ragenos. Potencialo skirtumas, priklausomai nuo naudojamos įrangos jautrumo gali svyruoti nuo $15\mu\text{V}$ iki 1mV (3) (1).

Įgyvendinant aptariamą akių judesių matavimo metodą buvo taikomas įrangos kalibravimas, jos metu kai akys žiūri tiesiai į užduotą stimulą (pradinėje padėtyje) potencialų skirtumas tarp statmenai ir vertikaliai išdėstytų elektrodų yra lygus arba artimas nuliui. Stimului pradėjus judėti matuojamas potencialų skirtumas, kuris proporcingas akies posūkiui (1).

Pagrindinis šio metodo trūkumas tas kad matuojami potencialai pokytis yra sąlyginai mažas. Siekia nedaugiau kaip $20\text{-}50\mu\text{V}$ vienam kampiniam laipsniui (3) (1).

Matavimo tikslumui įtakos turi tokie veiksniai kaip apšviestumas, akimis sekamo stimulo dydis, spalva. Kadangi matuojama ant odos paviršiaus užklijuotais elektrodais, susidaro parazitiniai veido raumenis valdančių elektrinių nervinių signalų impulsai. Pašaliniai elektromagnetiniai laukai žmogaus audiniuose kuria paklaidas potencialų skirtumo matavime (1).

Dėl nedidelio matavimo įrangos jautrumo ir didelės pašalinių potencialų įvedamų paklaidų įtakos, naudojant EOG akių judesių matavimo metodą neįmanoma išmatuoti akių mikrojudešių, tikslumas neviršija 1-2 kampinių laipsnių (1).

2.4.2.2. Fotoelektrinis metodas

Akis pasižymi fizine savybe skirtingais kampais nuo skirtingų akies paviršiaus vietų atspindėti šviesos spindulius. Pasinaudojus šia akies savybe projektuojama įranga, kurios pagalba skirtingos akies paviršiaus zonos apšviečiamos infraraudonųjų spindulių srautu, generuojamu šviesos diodų, o atsispindėjęs šviesos srautas fiksuojamas fotodiodais. Kai akis padaro poslinkį pasikeičia šviesos srautai atsispindintys nuo skirtingų akies zonų, dėl akies fizinės savybės sugerti arba atspindėti šviesos spindulius. Kintant šviesos srautui keičiasi iš keitiklių gaunamas elektrinis signalas.

Įprastai infraraudonųjų spindulių srautas nukreipiamas į keturios akies paviršiaus zonas (gali būti ir daugiau). Srautas fokusuojamas taip kad į apšviestas zonas patektų akies paviršiaus skiriamoji riba tarp rainelės – pasižyminčios gebėjimu sugerti šviesos spindulius ir gerai šviesa atspindinčios ragenos (1).

Šio metodo privalumas jo kaina. Akių judesių matavimo įrenginiai sukurti pagal nagrinėjamą metodą yra vieni iš pigiausių.

Tačiau šis metodas netinka, kai reikalingas didesnis akių judesių matavimo tikslumas. Didžiausias paklaidas įneša pašaliniai šviesos srautai, arba paties diodo sugeneruotų spindulių atspindžiai nuo akių vokų ir kitų aplinkinių elementų, nors šiam trūkumui šalinti yra naudojami moduluoti šviesos srautai, tačiau vis tiek nepavyksta tiksliai suformuoti akių paviršiaus zonų. Galiausiai kiekvieno žmogaus akis pasižymi savo unikalia forma, ir ragenos išgaubtumu, kas įneša netiesiškumą matavimuose. Maksimalus matavimo diapazonas naudojant fotoelektrinį metodą tesiekia apie 20 kampinių laipsnių, o skiriamoji geba pusę laipsnio.

2.4.2.3. Ragenos atšvaito metodas

Šio metodo įgyvendinimui taip pat panaudojamos akies fiziologinės savybės. Kaip žinoma akies ragena išgaubta akies obuolio atžvilgiu, nesutampantys akies obuolio ir ragenos centrai skirtingai atspinti šviesos spindulių srautą. Apšvietus akį poliarizuotu lygiagrečiu šviesos srautu gaunamas ragenos atšvaitas. Akiai keičiant poziciją nuo pradinės padėties, taip pat keičiasi ir ragenos atšvaito pozicija (1).

Naudojant aptariamą metodą, pasireiškia žymi galvos judesių įtaka akių judesių matavimo tikslumui. Pasak literatūros analizės, 1 mm poslinkis įneša 12 laipsnių akies poslinkio kampo matuojamą paklaidą. Galvos judesių įtaka slopinama akių judesių matavimo metu naudojant galvos fiksavimo stovus arba kandiklius. Tačiau ir tokios priemonės neleidžia visiškai pašalinti galvos judesių įtakos. Dėl to šis metodas reikalauja labai tikslios akių judesių kampinių padėčių matavimo įrangos. Ką leidžia pasiekti šių dienų kompiuterinėms technologijoms (1).

Akių fiziologinės savybės leidžiančios įgyvendinti šį metodą, taip pat yra ir pasekmė šio metodo paklaidų. Dėl kiekvienam žmogui būdingų savitų fiziologinių ypatumų, tiek akies obuolys tiek ragenos išgaubtumas neatitinka idealaus apskritimo, kiekvieno žmogaus akys pasižymi savita forma ir deformacijomis. Taip pat didėjant akies judesio amplitudei nuo centrinės padėties ragenos atšvaitas turi savybę iš apskrito pasidaryti panašiu į elipsės formą arba visai išnykti (2).

2.5. Įrangos sukuriama paklaidos ir jų šalinimo principai

Šių dienų bekontaktėse akių judesių matavimo sistemose plačiausiai paplitęs ragenos atšvaito metodas. Kadangi ir šiame darbe naudojamas akių judesių matavimo įrenginys taip pat naudoja ragenos atšvaito metodą plačiau panagrinėsime kokios akių judesių fiksavimo paklaidos būdingos šiam metodui ir kokie jų šalinimo principai.

Kaip jau buvo minėta galvos padėties nestabilumo įtaka mažinama naudojant kandiklius arba fiksavimo stovus. Taip pat tai galima padaryti išnaudojant matavimo aparatūros galimybes, tam

akių judesių fiksavimo metu papildomai galima matuoti akies vyzdžio centro koordinatas. Tokiu būtu ragenos atšvaitas matuojamas ne nuo pradinės padėties bet nuo akies vyzdžio centro koordinatų (1).

Akies vyzdys pasižymi geromis šviesos absorbcijos savybėmis, stebint vyzdį per kamerą jis yra ryškus, kontrastiškas tamsus plotelis ir formuoja minimalią amplitudę atspindėto šviesos srauto spektre. Komparatoriaus pagalba iš video kamera gauto vaizdo nesunkiai išskiriamas vyzdys ir taip pat technologijos leidžia apskaičiuoti vyzdžio centro koordinatę, bei jo dydį (2) (1).

Tiek dėl akių savitos formos tiek dėl matavimo įrangos horizontalios ir vertikalios akių judesių dedamosios netiesinės priklausomybės paklaidos šalinamos atliekant daugiataškės matricos kalibravimo metu. Prieš pradėdant akių judesių registravimą, tiriamiesiems pateikiama taškų matrica iš kurios tiriamasis paeiliui fiksuoja nurodytus taškus ekrane savo žvilgsniu. Vėliau pagal gautus rezultatus atliekant matavimus, akių judesių matavimo tikslumas padidinamas pritaikant perskaičiavimo koeficientus, gautus kalibravimo metu. Pasak literatūros analizės ir matavimo įrangų techninės dokumentacijos, matavimo koordinatų sąryšio paklaidos sumažėja iki pusės laipsnio (1). Pasak gamintojo, šiame darbe naudojamos akių judesių matavimo įrangos, atliekant kalibraciją su taškų matricą, tikslumas taip pat padidėja iki pusės laipsnio (2).

Yra dar vienas būdas kompensuoti į akis krintančio šviesos srauto atspindžio iškraipymus sukeltus akies obuolio formos nelygumų arba akiai atliekant didelius poslinkius, dėl kurių ragenos atšvaitas gali tapti elipsės formos arba visai pradingti, akių judesių matavimui naudojami du infraraudonųjų spindulių šaltiniai išdėstyti horizontaliai, kadangi kad žmogaus akis didžiausios amplitudės judesius atlieka būtent horizontalia kryptimi (1).

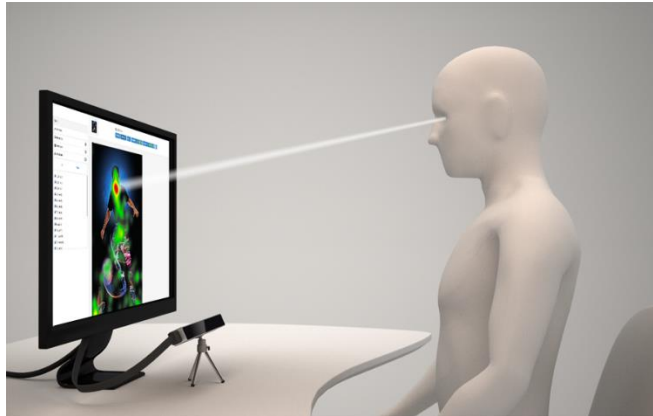
2.6. The Eye Tribe universali akių judesių sekimo įranga

Šiame skyriuje aptariamos darbe naudojamo akių judesių matavimo įrenginio techninės charakteristikos. Įrenginys pasižymi palyginti žema kaina ir ypač paprastu pritaikymu. Naudojantis išoriniu įrenginiu prijungiamu per USB 3.0 jungtį užtenka personalinio arba nešiojamo kompiuterio su bet kuria šiandien naudojama operacine sistema. Gamintojas taip pat išsiskiria savo gaminio integralumu tokiuose kasdien naudojamuose įrenginiuose kaip monitoriai ar išmanieji telefonai.

Įrenginys suprojektuotas kartu su programine įranga, sąsaja sukuria tiesioginį grįžtamąjį ryšį apie akių padėtį įrenginio atžvilgiu, akių judesių ir signalo kokybės indikaciją. Sąsaja taip pat leidžia įvesti arba keisti sistemos parametrus, tokius kaip akių judesių fiksavimo dažnis, kalibravimo taškų skaičius, kompiuterio monitoriaus nustatymai, kai naudojamas daugiau nei vienas monitorius įjungtas į sistemą. Taip pat jei su akių sekimo įrenginiu nuolatos dirba tas pats žmogus, sistema išsaugo kalibracijos duomenis ir sekantį kartą naudojantis akių sekimo įranga nebereikia iš naujo nustatinėti parametrų (2).

Darbiniai diapazonai, nusakantys akių judesių fiksavimo dažnumą:

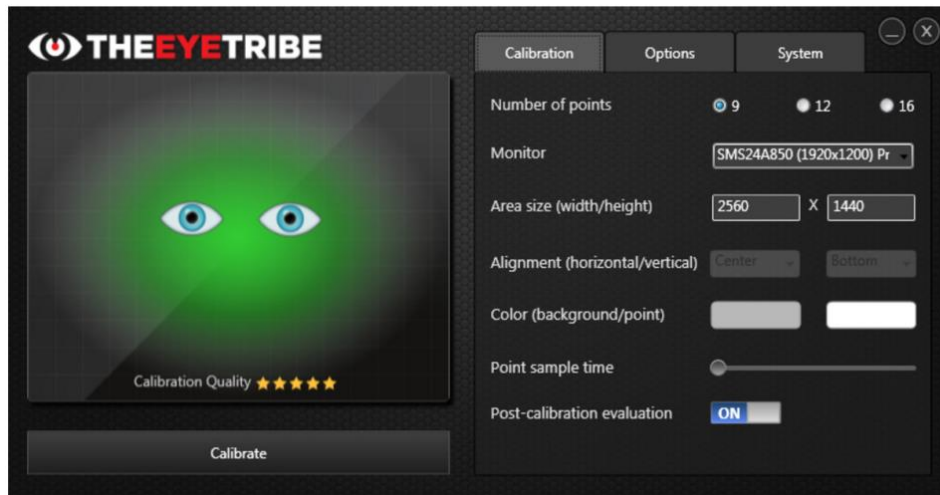
- 30 Hz;
- 60 Hz;



4 pav. TheEyeTribe akių judesių registravimo įrangos sistema

Darbe naudojamas akių judesių matavimo įrenginys naudodamas ragenos atšvaito metodą, palaiko kalibravimo funkcija. Sėkmingai atlikus kalibraciją galima pasiekti akių judesių matavimo tikslumą neviršijantį 0,5-1° paklaidos. Rekomenduojamas žiūros taškas nuo ekrano apie 60 cm. Palaiko USB 3.0. Įrenginys taip pat palaiko atviro kodo programinę įrangą, programuojamą C ir JAVA kalbomis (2).

Darbe naudojamo įrangos privalumas, tai bekontaktis akių judesių matavimo įrenginys, kuris pasižymi mobilumu ir gali būti naudojamas namų sąlygomis, nereikalinga laboratorija.



5 pav. TheEyeTribe įrangos programinio paketo valdymo ir indikacijos langas

Aukščiau esančiame paveikslėlyje pateiktas matavimo įrangos programinis langas, pasižymintis savo funkcionalumu, sąsajos langas naudingas dėl tiesioginio grįžtamojo ryšio, kuris indikacijos pagalba leidžia įvertinti tiriamojo akių judesių sekimo kokybę bei tinkamai parinkti galvos padėtį ir optimalų žiūros atstumą įrenginio atžvilgiu. Optimalus akių judesių sekimo įrangos atstumas nuo tiriamojo akių patenkinamas, esant žaliai indikacijos spalvai. Abi akys pavaizduotos žaliame fone informuoja apie priimtina akių judesių sekimo signalo kokybę. Vaizduojamame programiniame lange taip pat galima pasirinkti kalibracijai naudojamos matricos taškų skaičių. Taip

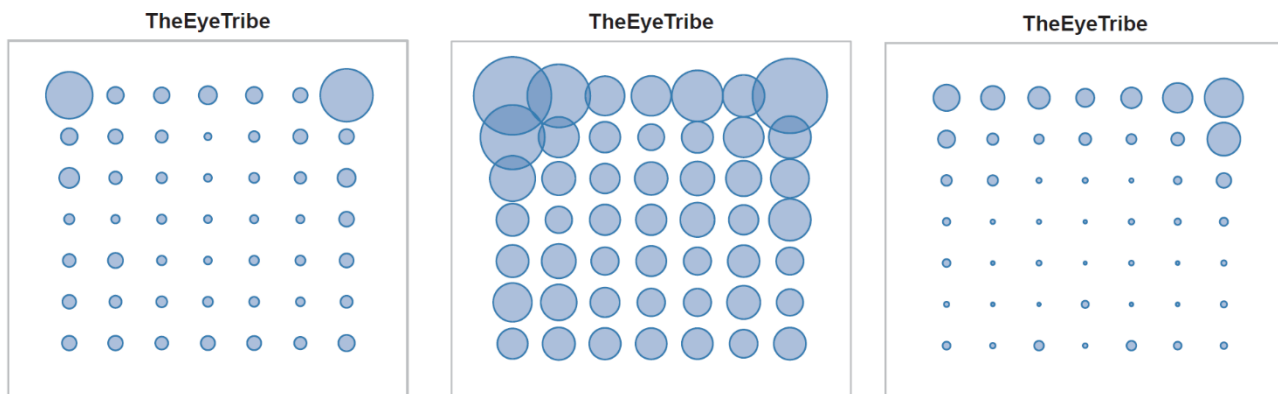
pat jei naudojami daugiau negu vienas monitorius sistema leidžia pasirinkti į kuri monitorių žiūrės tiriamasis, o tai yra aktualu šiame darbe atliekant eksperimentą, kai tiriamasis seka taikinį viename ekrane, o eksperimento kontrolierius kitame monitoriuje gali stebėti akių judesių sekimo indikaciją ir esat poreikiui duoti pastaba tiriamajam apie netinką akių padėtį įrenginio atžvilgiu.

Darbe naudojamas akių judesių matavimo įrenginys suprojektuotas fiksuoti akių judesiu dviem dažniais, tai yra 30 ir 60 kadru per sekundę. Pasak gamintojo kai su įranga dirbama 30 Hz dažniu akių judesių sekimo įrenginys geba sekti akių judesius didesnėje erdvinėje plokštumoje kurioje atsiduria tiriamojo akys, o kai pasirenkamas 60 Hz dažnis, pasireiškia didesnė tiriamųjų dirbančių su akių sekimo įranga galvos judesių įtaka.

Šiame darbe atliekamo eksperimento metu naudojamas 30 kadru per sekundę akių judesių fiksavimo dažnis. Kuriant eksperimento modelį, atliekant bandymus nustatyta kad įrašinėjant akių judesius 60 kadru per sekundę dažnių dėl akių judesių fiksavimo įrangos ir naudojamos kompiuterinės įrangos duomenų apdorojimo metu atsirandančio vėlinimo pastebimas žymus akies judesių koordinacių taškų netolygus pasiskirstymas. Įrašinėjant akių judesių koordinatas su 30 kadru per sekundę dažnių gaunamas tolygių laiko ašies atskaitų pasiskirstymas. Taip siekiant sumažinti paklaidų įtaką pasirenkamas pirmasis 30 kadru per sekundę akių judesių koordinacių įrašymo dažnis.

2.6.1. The Eye Tribe akių judesių sekimo įrangos paklaidos

Kiekvienas akių judesių sekimo įrenginys generuoja paklaidas, kurios gali priklausyti nuo sekamo objekto pozicijos ekrane. Vienas iš paklaidų tipų, tai akių žiūros taško (angl. *eye-gaze*) parazitiniai virpesiai, kurie pasireiškia nestabiliu akių žiūros taško fiksavimu. Vienas iš pavyzdžių analizuojamas straipsnyje (3). Minimo eksperimento metu tiriamiesiems pateikiama taškų (taikiniu-stimulų) matrica monitoriaus ekrane. Iš visos matricos sudaromos keturios stimulų grupės, pagal pasiskirstymą monitoriaus ekrane: viršutiniai kampai, apatiniai kampai, monitoriaus centras ir kitos žiūros lauko zonos. Pastarosios stimulų grupės atsitiktine tvarka pateikiamos tiriamiesiems. Matuojami trys akių judesių duomenų įrašymo parametrai: taiklumas (angl. *accuracy*), tikslumas (angl. *precision*) ir duomenų praradimas (angl. *data loss*). Šiame darbe taikinio trajektorija kuri bus sekama akimis tiriamajam pateikiama 4 laipsniais aukščiau negu monitoriaus ekrano centras, tuo tarpu kai viso eksperimente naudojamo monitoriaus dydis vertikalia kryptimi siekia apie 20 laipsnių. Taikinio trajektorija pagal šiame darbe kuriamo eksperimento sąlygas nuo monitoriaus centro maksimaliai į šonus nukrypsta iki 17 laipsnių. Kas taip pat neviršija skersinių monitoriaus dydžio verčių kurios siekia apie 36 laipsnius. Kaip nurodyta eksperimento išvadose "TheEyeTribe,, akių judesių sekimo parazitiniai akių žiūros taško virpesiai yra sąlyginai dideli, tačiau žymūs iškraipymai matuojami tik eksperimente naudoto monitoriaus kraštuose ir kampuose (žiūrėti pav. 5).

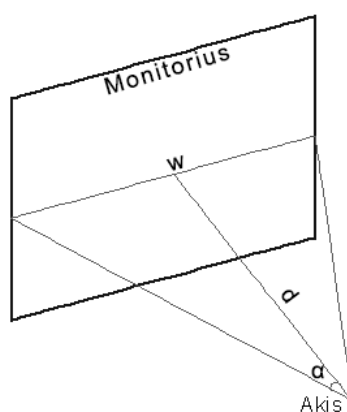


6 pav. “TheEyeTribe,, Akių judesių matavimo įrangos paklaidų matuojant akių judesius pasiskirstymas, iš kairės į dešinę: taiklumas (angl. *accuracy*), tikslumas (angl. *precision*) ir duomenų praradimas (angl. *data loss*)

Kaip matyti iš aukščiau pateikto paveikslėlio akių judesių sekimo įrangos “TheEyeTribe,, akių žiūros taško matavimo paklaidų žymus padidėjimas stebimas tik naudojamo ekrano kuriame pateikiami stimuli viršutiniuose kampuose ir palei ekrano briaunas. Matavimų nestabilumas ekrano centrinėje dalyje išlieka palyginamai pastovus.

2.7. Taikinio parametrų skaičiavimai

Eksperimente naudojama akių judesių matavimo įranga įrašinėja akių judesius ir juos pateikia pikseliais. Kad suderinti pateikiamos taikinio trajektorijos ir pelės kursoriaus judesių matavimus, reikalinga įvertinti skirtumą tarp taikinio trajektorijos eigos laipsniais ir monitoriaus skleistinės dydžio. Tap reikia atlikti keli nesudėtingus matematinius veiksmus kurie pateikti žemiau esančiame pavyzdyje.



7 pav. Akių judesių registravimo sistemos geometrija

Ekranas eksperimentų metu pastatytas $d = 60 \text{ cm}$ atstumu nuo tiriamojo akių. Ekrano plotis $w = 47,8 \text{ cm}$. Pagal žemiau pateiktą matematinę išraišką randamas matymo lauko kampas:

$$\alpha = 2 \cdot \arctan \frac{w}{2d} \quad (1)$$

Pagal (2) formulę apskaičiuotas kampas $\alpha = 27,68^\circ$. Iš šio dydžio gaunama $0,0216^\circ$ vienam ekrano pikseliui, o $1^\circ = 47,4$ pikseliai. Šis dydis bus naudojamas duomenų apdorojime ir generuojant taikinio judėjimo trajektorijas. (sekančiuose skaičiavimuose priimta, kad $1^\circ \approx 47$ pikseliai).

3. Tyrimo metodika

Dauguma mūsų kasdieninių judesių reikalauja tiesioginės akių ir rankų koordinacijos. Pirmieji eksperimentiniai tyrimai (pradėti atlikinėti dar prieš kelis dešimtmečius), pateikė išvadas, kad taikinių, judančių nenuspėjama trajektorija sekimas akimis ir ranka vienu metu sutapdinant taikinius, neturi įtakos ir nepagerina jokių akių judesių parametrų, lyginant su sąlygomis kai taikiniai sekami vien tik akimis (8). Bet, kai tiriamiesiems pateikiamos periodinės taikinių trajektorijos arba kai taikinio trajektorija kuriama paties tiriamojo (angl. *self driven*), matuojant akių judesių parametrus esant taikinių sekimo sąlygai akis-ranka, pastebėtas mažesnis pasivejančiųjų sakadų skaičius (9), akys seka stimulą su mažesniu vėlinimu.

Analizuojant priežastis kodėl dirbant su periodinėmis trajektorijomis stebimas geresnis taikinio sekimas akimis, pasitvirtina kad egzistuoja vidiniai modeliai, kurių pagalba žmogaus okulomotorinė sistema geba sukurti taikinio trajektorijos nuspėjimo mechanizmą, kaip teigia eksperimentas (10). Eksperimentų (11) (12) metu nustatyta, kad didžiausias tolygių akių judesių taikinio sekimo greitis, mažiausias vėlinimas, bei mažesnis sakadų skaičius gautas, kai taikiny buvo valdomas ranka ir tuo pačiu sekamas akimis (angl. *self driven* – taikinio trajektorija kuriama pačio tiriamojo

Taigi yra aišku, kad žmogaus smegenų savybės lemia tai kad, kuriami vidiniai modeliai, kurie grįžtamųjų ryšių pagalba teigiamai įtakoja žmogaus kūno ar atskirų jo dalių judesių koordinaciją. Atliekant objektyvų rankos judesių įtakos akių judesiams tyrimą vidinio nuspėjimo mechanizmo kūrimo sąlygą reikia pašalinti, tam reikalinga taikinio trajektorija, kurios tiriamojo okulomotorinė sistema nesugebėtų įsiminti.

Nors pirmųjų eksperimentinių tyrimų išvadose buvo teigiama, kad sutapdintas akių-rankos judesių sekimas pagerina akių judesių parametrus tik tais atvejais kai taikiniai juda nuspėjama trajektorija, tačiau, kaip buvo minėta pirmoje pastraipoje, realiomis sąlygomis žmogus labai retai susiduria su situacijomis kai jam tenka sekti tolydine arba nuspėjama trajektorija judančius objektus. Šių dienų tyrimas (13) atskleidė kad, netgi tada kai tiriamiesiems pateikiama nenuspėjama trajektorija kintantis taikiny, pastebėtas 8 % GAIN parametro vertės padidėjimas, esant eksperimento sąlygai kai taikiny sekamas akimis ir ranka. Tai reiškia kad esant atitinkamoms eksperimento atlikimo sąlygoms, galima teigiama rankos judesių įtaka esant nenuspėjamai taikinio trajektorijai. Lyginant tyrimų atlikimo schemas atkreiptas dėmesys į taikinio pateikimo tiriamajam įtaką.

Išanalizavus (8) ir kitų pirmųjų eksperimentų atlikimo ir taikinio pateikimo tiriamiesiems schemas nustatyta, kad atliekant pirmuosius eksperimentus, kai stimulus buvo sekamas akimis ir ranka vienu metu, rankos judesiams priskirtas kursorius ir akimis sekamas taikinytis stebimame ekrane kito toje pačioje horizontalioje plokštumoje. Tai reiškia, kad tiriamasis atlikdamas eksperimentą turėjo sekti taikinį akimis ir tuo pačiu metu užvesti kursorių ant to paties taikinio. Taip pat antrame etape sekant taikinytis tik akimis nebuvo pateikiamas joks kitas stimulus susijęs su pirmame etape gautais rankos judesiais.

Analizuojant naujausią eksperimento schemą, taikinių pateikimo tiriamiesiems schema visai kitokia. Minėtame tyrime (8) taikinio trajektorija ir rankos judesiams priskirtas kursorius juda toje pačioje plokštumoje, tačiau skirtingose ekrano zonose. Taikinius reikia sutapdinti pagal menamą vertikalią liniją, priešingai negu pirmieji eksperimentai, kai rankos judesiais kursorius turėjo būti užvedamas ant taikinio tame pačiame lygyje pagal vertikalią ašį. Taip pat (13) tyrime aprašomoje antro etapo taikinių pateikimo schemoje kartu su taikiniu tiriamiesiems buvo pateikiamas ir pelės kursoriaus įrašas atitinkantis pirmo etapo rankos judesius. Galiausiai reikia atkreipti dėmesį ir į tai, kad buvo naudojamas 500 Hz akių judesių įrašymo dažnis su „*Eyeling 1000*“, akių judesių įrašymo įrenginiu.

Nors tyrimo (13) išvados teigia, kad galima gauti tikslesnę sekimą sekant taikinius akimis ir ranka vienu metu, tačiau tyrimas aprašytas (1) 143-145 p., kurio metu buvo tiriami akių ir rankos judesiai sekant tolydine trajektorija judančius taikinius, kai tiriamasis vienu metu sekė taikinius ranka, akimis, arba akimis ir ranka pateikė išvadą, kad jei į taikinio sekimą akimis įjungama ranka, padidėja tiek rankos tiek akių judesių atsilikimas nuo taikinio, tai aiškinama didesniu neurofiziologinių resursų poreikiu reikalingu atlikti akių ir rankos judesiams kartu.

Šiame darbe atliekamo tyrimo metu atkartojant (13) eksperimento sąlygas bus ištirta rankos judesių įtaka sekant nenuspėjama trajektorija kintančius taikinius.

4. Tyrimo eiga

Tiriamiesiems pateikiama taikinio trajektorija, kuri kinta atsitiktiniu dėsniu pagal iš anksto užduotus parametrus. Tikslas sudaryti tokią trajektoriją, kad tiriamieji nesugebėtų įsiminti, o okulomotorinė sistema negalėtų sukurti vidinio taikinio judėjimo trajektorijos modelio. Kadangi visi tiriamieji atlieka eksperimentą 6 kartus, siekiant nustatyti ar tiriamiesiems pateiktos trajektorijos atitiko išskeltus reikalavimus, viena atsitiktinai sugeneruota taikinio trajektorija pateikiama kiekvienam tiriamajam 3 iš 6 bandymų, likusiems trims bandymams, kiekvieną kartą atliekant eksperimentą sugeneruojama nauja atsitiktine tvarka kintanti taikinio trajektorija. Taigi vienam tiriamajam pateikiamos 3 atsikartojančios taikinio trajektorijos, ir trys nesikartojančios. Visų 6 trajektorijų pateikimo eilės tvarka parenkama atsitiktinai, iš anksto sugeneruojant trajektorijų pateikimo randomizuotą eilę.

Eksperimento dalyviai, pirmo ir antro eksperimento etapo metu dirba prie to paties monitoriaus, kaip pavaizduota 14 paveikslėlyje. Pirmoje eksperimento dalyje (akis-ranka) taikinių sekimo sąlygomis taikiniai kiekvieno bandymo metu pasirodo ekrano centre sulygiuoti vienas po kitu vertikalia tiesia linija. Kiekvienas bandymas pradedamas pelės klavišo paspaudimu po kurio taikinyse ekrane pradeda judėti horizontalia nenuspėjama trajektorija gauta sumuojant sinusoides. Tiriamieji pirmo etapo metu, instruktuojami sekti viršutinį taikinį akimis, kuris juda nenuspėjama horizontalia kryptimi, ir tuo pačiu metu naudojant kompiuterinės pelės kursorių, dominuojančia ranka (kaire arba dešine) judinti kursorių siekiant kuo tiksliau atkartoti viršutinio taikinio judėjimo trajektoriją. Eksperimentas atliekamas silpnai pritemdytame kambaryje, vengiant tiesioginių saulės spindulių. Ankstesni eksperimentai kuriant tyrimo įgyvendinimo schemą parodė, kad per didelis apšvietumas įtakoja sekimo kokybę, tiriamieji pradeda mirksėti, susidaro parazitiniai akių ragenos atšvaitai, kas daro žymią įtaką akių judesių fiksavimui ir apsunkina duomenų analizę.

Naudojamas smakro fiksavimo mechanizmas, siekiant sumažinti akių judesių paklaidas. Parenkamas smakro fiksavimo stovo aukštis. Parinkti optimalius atstumo ir aukščio parametrus pagal „TheEyeTribe“, akių judesių sekimo įrangos indikacijos sistema pavaizduota 5 paveiksle. Kai indikacijos lauke matomos abiejų akių piktogramos, o aplink esantis fonas tampa žalios spalvos, aukštis ir atstumas sureguliuotas tinkamai. Parinkus reikiamą atstumą iki monitoriaus, prieš pradedant eksperimentą su kiekvienu tiriamuoju atliekama kalibracijos operacija, naudojant 16 taškų matricą. Po sėkmingos kalibracijos pradedamas eksperimentas. Tiriamieji gali bet kada paprašyti pertraukos eksperimento metu. Jei akių judesių įrašymo metu dėl trukdžių arba pajudėjus įrašymo įrangai nepavyksta užfiksuoti akių judesių, atliekamas bandymas kartojamas iš naujo.

Pelės kursoriaus pozicija įrašomas 60 Hz dažnių. Akių judesiai įrašomi 30 Hz dažniu. Kad užtikrinti pelės judesių mastelio dydį vienas prie vieno (1:1) monitoriaus ekrane, išjungiamas pelės akseleracijos nustatymas per „Windows“, operacinę sistemą (13). Akių ir rankos judesių sekant taikinius rezultatai įrašomi į HDF5 formato failą.

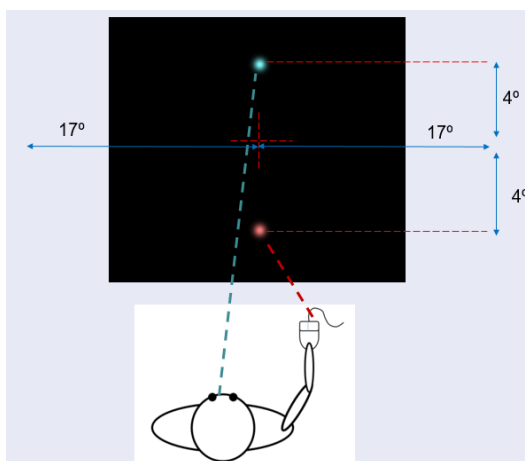
Antroje eksperimento dalyje kai taikinyse sekamas vien tik akimis, tiriamajam pateikiamos taikinio ir pelės kursoriaus trajektorijos įrašytos pirmoje eksperimento dalyje kai taikinyse vienu metu buvo sekamas akimis ir ranka. Tiriamajam nurodoma sekti viršutinį taikinį vien tik akimis. Būtina užtikrinti, kad tiek taikinio trajektorija pateikta pirmame etape gauta pelės kursoriaus trajektorija eksperimento antrame etape tiksliai atkartotų pirmo etapo trajektorijas.

Akių judesiai įrašinėjami naudojant „TheEyeTribe“, akių judesių sekimo įrangą naudojančia ragenos atšvaito metodą (2). Taikinių trajektorijų generavimui ir gautų duomenų rezultatų analizei ir apdorojimui naudojamas „Python 2.7.5“, programinis paketas. Duomenų statistinė analizė atliekama pagal *linear mixed effect* modelį, panaudojus *lmerTest* funkciją, statistinei analizei naudojamu „R-Studio“, programiniu paketu.

Atliekant gautų matavimų analizę, bus lyginamos taikinio ir akies judesių trajektorijos. Skaičiuojami koreliacijos koeficientai tarp gautų signalų taikant poslinkį laike (angl. *time shifting*). Atliekant statistinę analizę bus pateikti koreliacijos koeficientų tarp pirmo ir antro etapo taikinio ir akies trajektorijų skirtumų reikšmingumo koeficientai. Taip pat bus tiriama ar taikinio trajektorijų pateikimas tiriamajam turi įtakos tyrimo rezultatams, kai tiriamiesiems pateikiama atsikartojanti trajektorija ir kai pateikiama unikali kiekvienam tiriamajam.

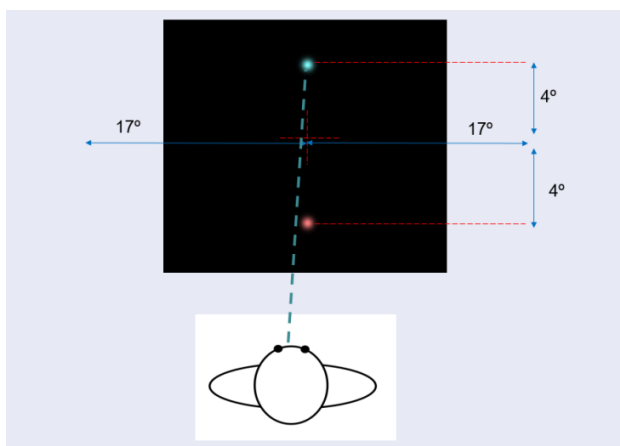
4.1. Tyrimo eiga ir jos sudarymas

Skirtingų žydros ir raudonos spalvų taikiniai, sukurti taikant Gauso filtrą (angl. *Gaussian cursor*), $0,6^\circ$ skermens, atvaizduojami juodos spalvos fone 22 colių LCD monitoriuje, kurio skiriamoji geba 1680×1050 pikselių, skleistinės dažnis 60 Hz. Vertikalus atstumas tarp taikinių 8° . Horizontalus į abi puses nuo centrinės ašies po 17° . Žiūrėjimo atstumas apie 60 cm.



8 pav. Eksperimento techninė schema (I etapas)

Pirmo etapo eksperimento atlikimo schema pavaizduota 8 paveikslėlyje, kai tiriamasis vienu metu seka taikinį tiek ranka tiek akimis. Schema pateikta 9 paveikslėlyje vaizduoja antro etapo eksperimento eigą kai tiriamasis seka sutapdintus taikinius vien tik akimis. Antrame etape pateikti sutapdinti taikiniai ir jų judėjimo trajektorijos idealiai atitinka pirmo etapo taikinio ir pelės kursoriaus judesius.



9 pav. Eksperimento techninė schema (II etapas)

4.2. Tiriamųjų aibės sudarymas

Eksperimente dalyvavo 18 tiriamųjų. Atsitiktinai atrinkti tiriamieji, suaugusieji, vyrai ir moterys, kurie anksčiau neturėjo patirties dirbat su akių judesių sekimo įranga. Eksperimento dalyvių amžius nuo 22 iki 45 metų. Iš jų 15 vyrų ir 3 moterys. Eksperimente dalyvavusių asmenų amžiaus vidurkis 29 metai. Tyrimo metu neatsirado tiriamųjų kurie būtų kairiarankiais. Penki tiriamieji pažymėjo akių regos korekcija, su poreikiu nuolatos nešioti akinius. Kaip minima (14) tyrimo išvadose, dėl matavimo įrangos techninių apribojimų akinių dėvėjimas įrašinėjant akių judesius įneša žymias paklaidas, dėl kurių neįmanoma atkurti akių judesių trajektorijos. Tiriamieji kuriems buvo nuolatos reikalingi akiniai buvo prašomi eksperimento metu juos nusiimti, su sąlyga kad tai jiems nesukels diskomforto ir jie galės atlikti eksperimentą.

Iš visų dalyvavusių tik keturiems tiriamiesiems įrangos kalibracijos metu pavyko pasiekti šik 4 iš 5 kalibracijos kokybės indikacijos punktų. Tačiau lyginant su kitų tiriamųjų rezultatais, tai neturėjo jokios įtakos matavimų rezultatams.

4.3. Taikinio trajektorijos sudarymas

Esminis reikalavimas keliamas taikinio trajektorijai, tai kad ji nebūtų periodinė, ir tiriamieji eksperimento atlikimo metu nesugebėtų įsiminti taikinio trajektorijos. Remiantis (13) atliktu tyrimu horizontali taikinio judėjimo amplitudė apskaičiuojama iš žemiau pateiktos formulės. Pastaroji formulė nusako 7 sinusoidžių sumą. Taikinio padėties nuo laiko funkcija:

$$\theta(t) = \sum_{i=1}^7 a_i \sin(2\pi\omega_i t + \rho_i) \quad (1)$$

kurioje a_i , ω_i ir ρ_i dydžiai nusako i -tosios sinusoidės amplitudę, kitimo dažnį, ir atsitiktinę fazę intervale nuo $-\pi$ iki π . Harmoninių sinuso dėsnų kintančių sumuojamų virpesių amplitudės ir dažnio reikmės pateiktos žemiau esančioje lentelėje.

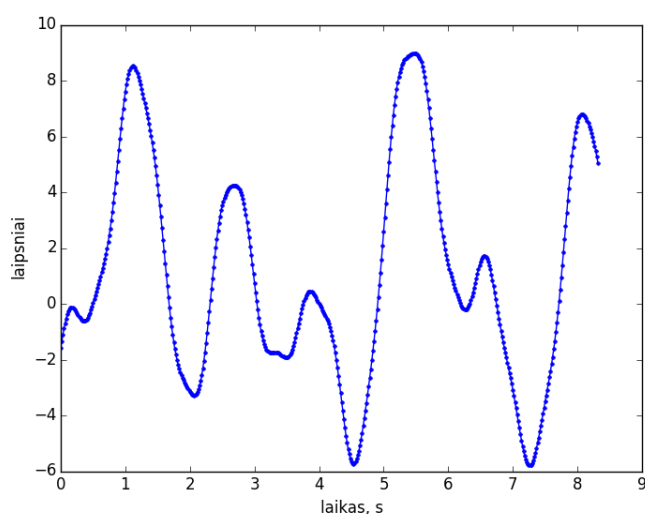
1 lentelė. Taikinio trajektorijos parametrai (13)

i	$a_i(^{\circ})$	$\omega_i(\text{Hz})$	$\rho_i(\text{rad})$
1	2	0.1	$-\pi$ iki π
2	2	0.14	$-\pi$ iki π
3	2	0.24	$-\pi$ iki π
4	2	0.41	$-\pi$ iki π
5	2	0.74	$-\pi$ iki π
6	0.2	1.28	$-\pi$ iki π
7	0.2	2.19	$-\pi$ iki π

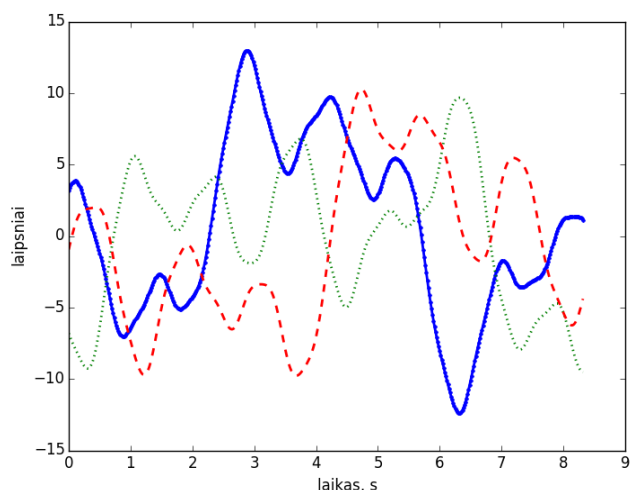
Maksimalus taikinio nukrypimas nuo centrinės ekrano padėties iki 17° . Vidutinis taikinio judėjimo greitis iki 12° per sekundę. Pikinė vertė siekia iki 43° per sekundę. Žemiau pateiktos sugeneruotos taikinio trajektorijos pagal aukščiau aptartus parametrus (13).

Siekiant užtikrinti pakankamą ciklų skaičių, kad būtų galima atlikti duomenų analizę, taikinio ekspozicija ekrane truks 95 sekundės. Atliekant gautų duomenų analizę pirmos 5 sekundės pašalinamos. Per pirmas eksperimento sekundes stabilizuojasi taikinio sekimas, taip išvengiama parazitinių paklaidų, kurios galėtų turėti įtakos akių judesių matavimo rezultatams (13). Žemiau pateiktos taikinių trajektorijos, kurios pateikiamos tiriamiesiems.

Gauta taikinio trajektorija pasižymi sekančiais parametrais: taikiny eksperimento metu neišeina iš už ekrano ribų; taikinio nepastovus kitimo greitis lemia tai kad, taikiny kinta atsitiktine nenuspėjama trajektorija.

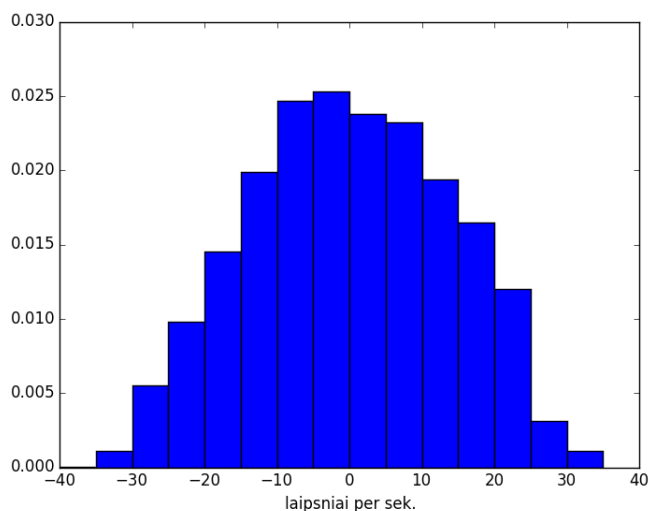


10 pav. Akimis sekamo taikinio trajektorijos fragmentas pasikartojantis visiems tiriamiesiems



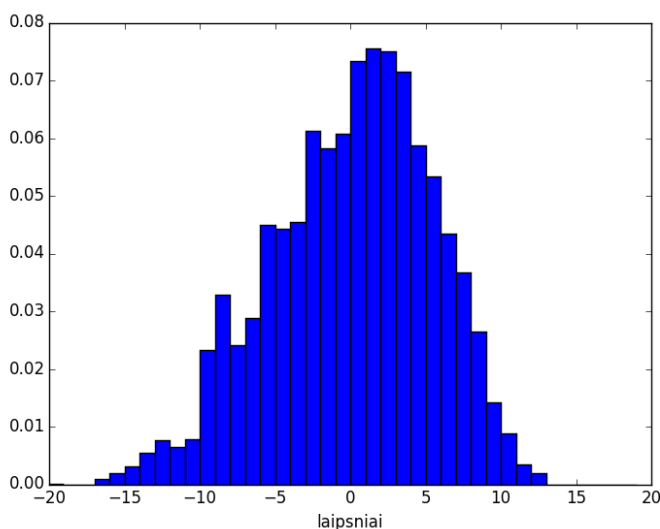
11 pav. Taikinio trajektorijų fragmentas, eksperimento bandymams, kai kiekvienam tiriamajam pateikiama unikali nesikartojanti trajektorija (visų trajektorijų tuo pačiu laiko momentu skirtinga amplitudė ir fazė)

Žemiau pateikiama histograma vaizduojanti atsitiktinai sugeneruotos taikinio trajektorijos judėjimo ekrane greičio dedamųjų tankį skirstant pagal laipsnius. Iš pateiktos histogramos matyti, taikinio trajektorijoje didžiausias kitimo greičio dedamųjų tankis nuo 1 iki 10 laipsnių.



12 pav. Taikinio greičio dedamųjų histograma

Sekanti histograma vaizduoja atsitiktinai sugeneruoto taikinio nuokrypio nuo centrinės ašies amplitudžių dedamųjų pasiskirstymą laipsniais. Kaip matyti iš pateiktos histogramos daugiausiai taikinio padėties dedamųjų susidaro ties 5 ir 10 laipsnių nuo ekrano centrinės padėties.



13 pav. taikinio amplitudės dedamųjų histograma

Abi pateiktos histogramos normalizuotos. Histogramos vaizduojančios greičio dedamųjų pasiskirstymą, pateiktos 12 paveikslėlyje, vienas stulpelis atitinka 5 laipsnių per sekundę taikinio judėjimo greitį. Histogramos pateiktos 13 paveikslėlyje stulpelis atitinka 1 laipsnio vertę.

4.4. Įranga naudojam akių judesių sekimo sistemoje

Šiame darbe naudojama "TheEyeTribe", akių judesių matavimo sistema. Sekimo sistemos įgyvendinimui reikalingas nešiojamas arba personalinis kompiuteris. Su instaliuota

standartine operacine sistema. Darbe naudojamo akių judesių matavimo įrenginio operacinė sistema leidžia naudoti du ir daugiau monitorių, rankiniu būdu pasirenkant prie kurio monitoriaus dirba tiriamieji, kas ir buvo panaudota šio tyrimo atlikimo metu. Tarp akių judesių sekimo įrangos priedų yra specialus stovas, kurio paskirtis stabilizuoti naudojamo įrenginio padėtį tiriamojo atžvilgiu. Toliau apibūdinami kiti akių judesių sekimo įrangos priedų techniniai parametrai.

Atliekant eksperimentą naudojamas atskiras *HP* firmos *Compaq LA2205 LCD* modelio monitorius, prijungtas prie nešiojamo kompiuterio. Monitoriaus įstrižainė 22 coliai (55,9 cm). ekrano rezoliucija 1680 x 1050 pikselių, skleistinės dažnis 60 Hz. Ekrano išmatavimai 18,8 x 11,8 coliai (47,8 x 30,0 cm.). Pastarieji išmatavimai reikalingi apskaičiuojant taikinio judėjimo greitį nurodyto dydžio monitoriaus ekrane.

Eksperimente naudojamas „*Lenovo*“ firmos nešiojamas *Y50* modelio nešiojamas kompiuteris. Procesorius *intel i7-4720HQ*, kurio taktinis dažnis 2,60 GHz. Operatyvioji atmintis 8 GB, vaizdo plokštė *NVIDIA GeForce GTX 960M* vidinė atmintis 4 GB. Kompiuteryje instaliuota Windows 10 64-bit operacinė sistema.

Atvaizduojamas ekrane pelės kursorius valdomas standartine optine kompiuterine pele, su kompiuteriu sujunta per laidinę USB jungtį, Skiriamoji geba 800 dpi. Eksperimento metu išjungiamas operacinės sistemos generuojamas pelės kursoriaus akseleravimo mechanizmas.



14 pav. Akių judesių registravimo sistemos schema

Akių judesių sekimo įrangos naudojamos eksperimente schema su papildomu monitoriumi pasirinkta dėl galimybės eksperimento metu stebėti akių judesių padėtį, akių judesių

sekimo įrangos atžvilgiu. Pastaruosius veiksmus leidžia atlikti “*TheEyeTribe*.., akių judesių sekimo įrangos programinio paketo indikacijos ir nustatymų langas aptartas ankstesniame skyriuje.

5. Eksperimento rezultatų analizė

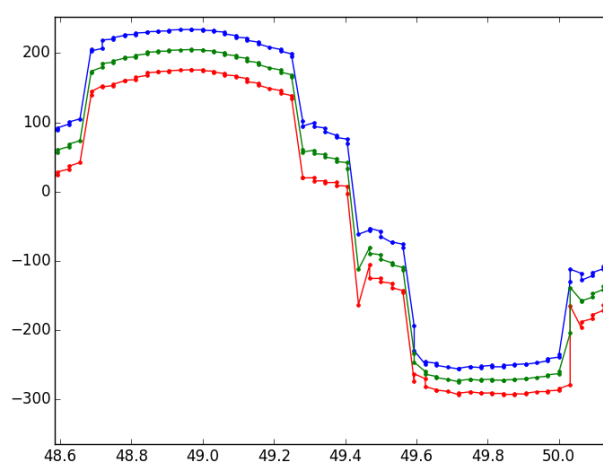
Žiūros taškų duomenys apdoroti naudojant “*Python 2.7.5*.., programinę įrangą. Gautų duomenų statistinei analizei naudojamas “*R-Studio*.. Duomenys statistiškai analizuojami pagal *Linear Mixed Effect Model*. Šis statistinės analizės modelis pasirinktas dėl galimybės dirbti su nestandartinėmis imtimis, kadangi šio darbo metu taikomas netinkamų duomenų išrinkimas, taip pat dirbama su imtimis kurios neatitinka standartinių skirstinių. Atliekant statistinę analizę pagal ANOVA (angl. *Analysis of variance*) dirbant su šiame darbe gautasi matavimų masyvais, rezultatai nebūtų statistiškai teisingi ir patikimi.

5.1. Trajektorijų randomizavimas

Kaip jau buvo aptarta ankstesniuose skyriuose kiekvienas tiriamasis atlieka 6 bandymus. Todėl kiekvienas tiriamajam bus pateiktos 6 taikinių trajektorijos. Kadangi siekiama ištirti, ar tiriamiesiems patekta trajektorija buvo neįsimenama, 3 iš 6 trajektorijų bus pasikartojančios, o likusios trys kiekvieną kartą generuojamos iš naujo. Kad visiškai panaikinti įsiminimo tikimybę, badymu eilės tvarka o kartu ir trajektorijų bus parinka atsitiktinai. Randomizavimo įgyvendinimui programiniu patektu *Python* panaudojus *rand* funkciją sugeneruojama atsitiktinė bandymų eilė. Sudaroma lentelė pagal kurią išrenkamas bandymo numeris kiekvienam tiriamajam. Ši lentelė pateikta 5 priede.

5.2. Abiejų akių žiūros taško radimas vidurkinant

Akių judesių registravimo įranga, geba fiksuoti kairės ir dešinės akies judesius atskirai. Siekiant didesnio skaičiavimų tikslumo būtina apskaičiuoti žiūros taško vidurkinę vertę.



15 pav. Kairės ir dešinės akių žiūros taškų trajektorijos ir suvidurkinta abiejų akių žiūros taško trajektorija

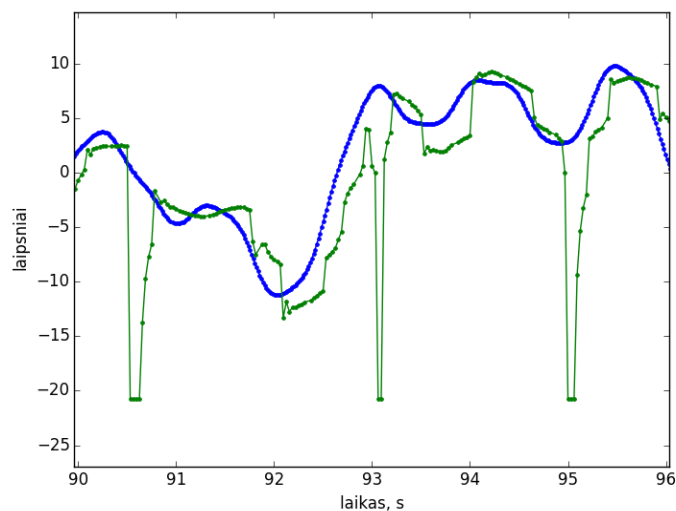
Ši operacija atliekama programiniu paketu *Python* atliekant dviejų duomenų masyvų vidurkinimo aritmetinę operaciją.

5.3. Duomenų iškraipymai

Atliekant eksperimentą su tiriamaisiais, analizuojant gautus duomenis galima išskirti akių judesių įrašytose trajektorijose vyraujančias trijų tipų paklaidas. Pirmuoju atveju žymus signalo iškraipymas fiksuojamas, kai sukuriamos netinkamos eksperimento atlikimo sąlygos, kaip pavyzdys: netinkamas arba per didelis patalpos kurioje dirba tiriamasis apšviestumas, arba tiesioginiai saulės spinduliai krintantys į įrašymo įrangą, ar tiriamojo akis. Antras duomenis iškraipančių paklaidų tipas kai duomenys prarandami, dėl tiriamųjų mirksėjimo eksperimento metu. Trečio tipo duomenų iškraipymai pasireiškia dėl naudojamos įrangos. Taip pat galima akių spalvos įtaką, akių vokų padėtis eksperimento metu, nes kaip rodo atlikti tyrimai, kai žmogus įdėmiai stebi jį dominantį objektą jis nevalingai prisimerkia. Žemiau pateikiami ir aprašomi paminėti akių judesių įrašų iškraipymu pavyzdžiai gauti tyrimo metu.

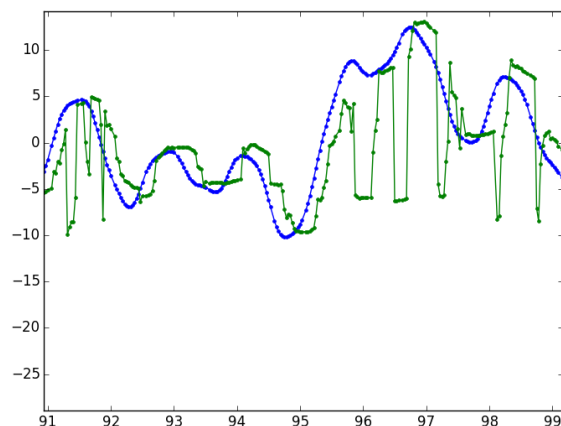
Kuriant eksperimento schemą išbandytos akių judesių įrašymo įrangos galimybės fiksuoti akių judesius, kai tiriamasis, kuriam reikalinga regos korekcija eksperimento metu buvo su akiniais. Rezultatai parodė, kad su naudojamu akių judesių įrašymo įrenginiu gauti akių judesių matavimų duomenys buvo neatkuriamai iškraipyti, nepavyko įrašyti akių judesių, kuriuos vėliau būtų įmanoma atkurti ir panaudoti tolesnei duomenų analizei.

Žemiau pateiktas grafikas vaizduoja žiūros taško sekimo paklaidas, kurias įneša tiriamojo mirksėjimas eksperimento atlikimo metu. Aiškiai galima matyti kaip akių žiūros taško trajektorija nukrypsta nuo taikinio trajektorijos 15 ir daugiau laipsnių. Šiuos iškraipymus nesunku identifikuoti ir atkurti žiūros taško trajektoriją, nes trajektorijos kitimas viršija sakados amplitudę.



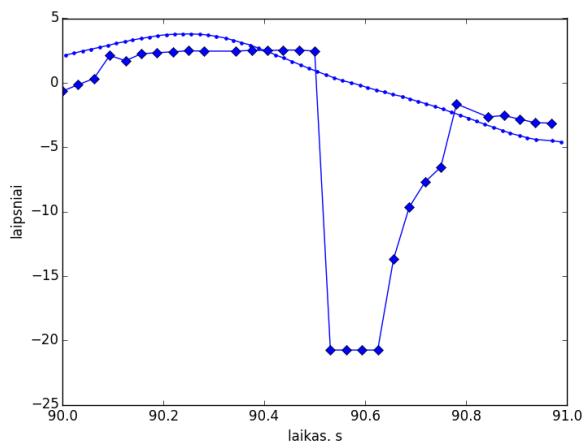
16 pav. Akių judesių signalo iškraipymai sukelti tiriamojo mirksėjimo

Pavyzdys pateiktas 15 paveikslėlyje vaizduoja duomenų iškreipimus, sukeltus tiriamojo, kai sekantis pavyzdys 16 paveikslėlyje pateikia taikinio ir žiūros taško įrašų trajektorijas, kuriose iškreipimai sukelti tyrime naudojamos įrangos. Pastarųjų nepavyko pašalinti ir atkurti duomenų, nes signalo iškreipimų amplitudė sutampa arba yra mažesnė už akių judesių atliekamų sakadų amplitudes.



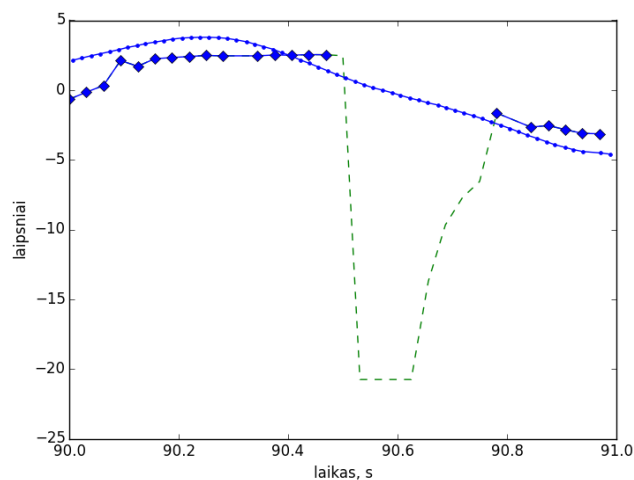
17 pav. Akių judesių signalo iškreipimai sukelti naudojamos įrangos

Žemiau pateikti pavyzdžiai parodo kaip šiame darbe atliekamo eksperimento metu šalinami ir atkuriami akių judesių įrašyti duomenys. Pirmiausia išilgai viso duomenų masyvo, pagal užduotą kriterijų identifikuojami duomenų iškreipimai, kurie atitinka tiriamojo mirksėjimus. Kriterijus parinktas eksperimentiškai. Tiriamųjų mirksėjimo paklaidas lengva išskirti dėl žybaus signalo šuolio, kuris nėra būdingas įprastai akių žiūros taško judėjimo trajektorijai monitoriaus ekrane. Akių judesių ir taikinio trajektorijų fragmentas pateiktas 17 paveikslėlyje. Jame (atskaitose žymima rombais) išskirta kreivė vaizduoja akių judesius. Lyginant su taikinio trajektorija (taškinis linijos žymėjimas) matomas ryškus akių judesių šuolis, apie 20 laipsnių nukrypsantis nuo taikinio trajektorijos, ir pagal savo dydį išeinantis už monitoriaus ribų. Minimą akių judesių trajektorijos šuolį taip pat nesunku identifikuoti dėl dydžio viršijančio didžiausią trajektorijos amplitudę.



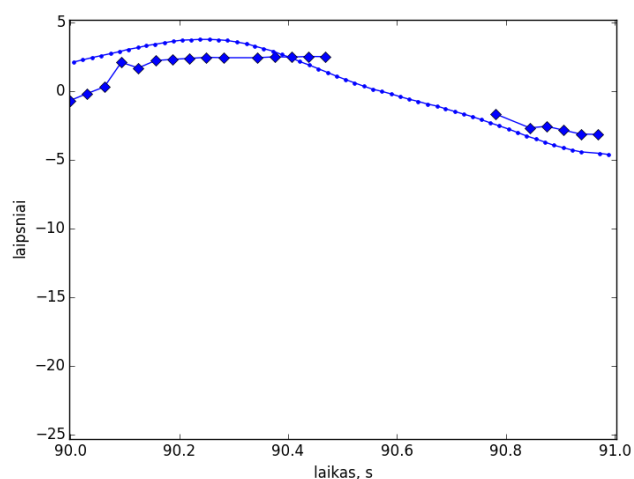
18 pav. Akių žiūros taško trajektorija prieš trukdžių šalinimą

Programiniu paketu "Python,, identifikuotas duomenų iškraipymas 18 paveikslėlyje pateiktame grafike, išskirtas punktyrine linija.



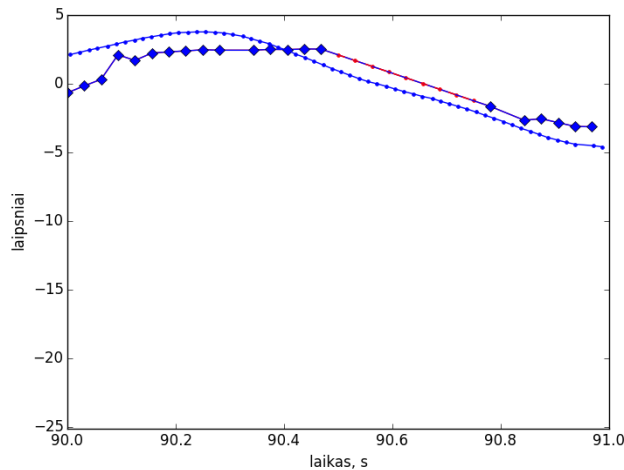
19 pav. Akių žiūros taško trajektorija su išskirtu trukdžiu

Sekantis paveikslėlis vaizduoja akių judesių žiūros taško trajektoriją su pašalintu identifikuotų duomenų iškraipymo intervalu.



20 pav. Taikinio ir akių trajektorijos su pašalintu trukdžiu

Galiausiai atliekama interpoliacija, kurios metu tušti tarpai užpildomi apskaičiuotomis reikšmėmis. Žemiau pateiktame paveikslėlyje vaizduojama akių judesių žiūros trajektorija su išskirtu taškinių žymėjimu atkurtų duomenų ruožu.



21 pav. Akių žiūros taško trajektorija po interpoliacijos šalinant duomenų iškraipymus

Atkūrus akių judesių duomenų iškraipymus, prieš pradėdant duomenų masyvų interpoliacijos procedūras reikalingas laiko ašių sinchronizacija, kurios pavyzdys pateiktas tolesniame skyriuje

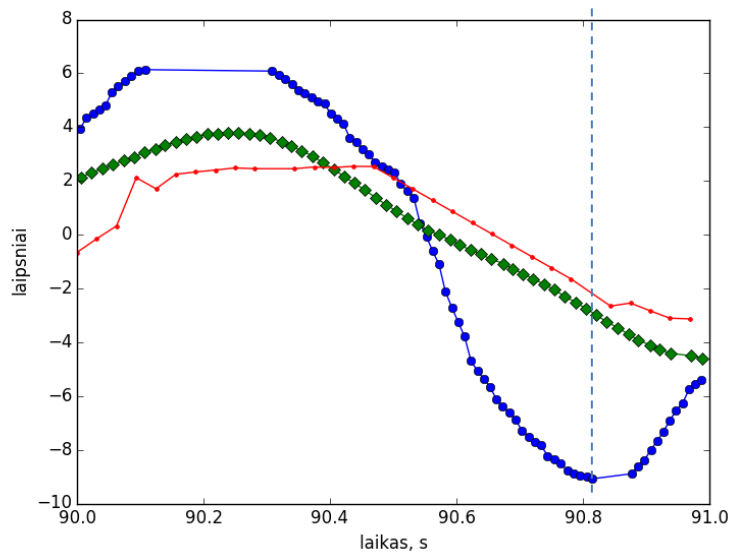
5.4. Duomenų interpoliavimas pagal laiko ašį

Kaip buvo minima ankstesniuose skyriuose taikinio trajektorijos kitimo dažnis 60 Hz. Rankos judesiai įrašomi taip pat 60 Hz dažniu, o akių judesių matavimo įrangos, bandymu keliu parinktas, optimaliausias akių žiūros taško įrašymo dažnis lygus 30 Hz. Šis dažnis pasirinktas neatsitiktinai. Bandymų keliu nustatyta, kad įrašinėjant akių judesius 60 atskaitų per sekundę dažnumu pasireiškia atskaitų tankio išsibarstymas. Viena iš galimų priežasčių dėl nevienodų laiko intervalų tarp akių judesių fiksavimo atskaitų, tai duomenų apdorojimo spartos trūkumas, kylantis dėl akių judesių matavimo ir naudojamos kompiuterinės įrangos operacinių sistemų nevisapusiško suderinimo. Akių judesių matavimo įrangos nustatymuose pasirinkus 30 Hz atskaitų dažnumą, stebimas akivaizdžiai mažesnis atskaitų išsibarstymo netolygumo laipsnis. Todėl galiausiai, siekiant didesnio tikslumo pasirinktas žemesnis iš dviejų galimų naudojamos akių judesių įrašymo įrangos darbinis dažnis.

Kadangi lyginamų taikinio ir akių judesių matavimų trajektorijų dažniai skiriasi, kad būtų galima atlikti koreliacijos koeficientų skaičiavimus, būtina sinchronizuoti laiko ašis tarp taikinio ir akių žiūros taško ir rankos judesių įrašo trajektorijų. Interpoliacija atliekama akių judesių matavimo ašies laiko atskaitų atžvilgiu. Tai reiškia, kad perskaičiuojamos taikinio ir rankos judesių trajektorijos laiko ašies atskaitų atžvilgiu. Šios operacijos rezultatai pavaizduoti žemiau pateiktuose paveikslėliuose.

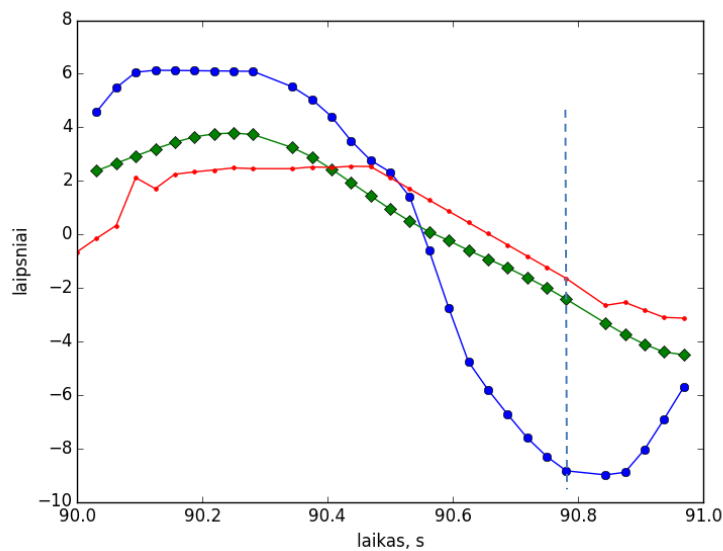
Pateiktoje taikinio ir akių judesių trajektorijų iškarpoje (22 pav.), punktyrinė linija ties 90,8 laiko atskaita vaizduoja trajektorijų laiko atskaitų prasilenkimą prieš interpoliacijos operaciją.

Šiame paveikslėlyje rombais žymima taikinio trajektorija, taškinė linija akių ir apskritimais ties atskaitomis rankos judesių įrašo trajektorijos.



22 pav. Pasiskirstymas prieš interpoliaciją

Interpoliacijos metu, kaip pagrindinę laiko ašį pasirinkus akių judesių matavimo atskaitas gaunamas iš matavimo įrangos, interpoliacijos rezultatas pateiktas žemiau esančiame paveikslėlyje, kuriame ties ta pačia 90,8 laiko atskaita nubrėžta vertikali punktyrinė linija vaizduoja sutampančias taikinio, žiūros taško ir rankos judesių trajektorijų atskaitas laiko ašyje.



23 pav. Po interpoliacijos (interpoliacija pagal akių žiūros taško trajektorijos laiko ašį)

Sėkmingai atlikus trajektorijos atskaitų interpoliaciją galima pradėti koreliacijos koeficientų skaičiavimus tarp taikinio ir akių judesių žiūros taško trajektorijų.

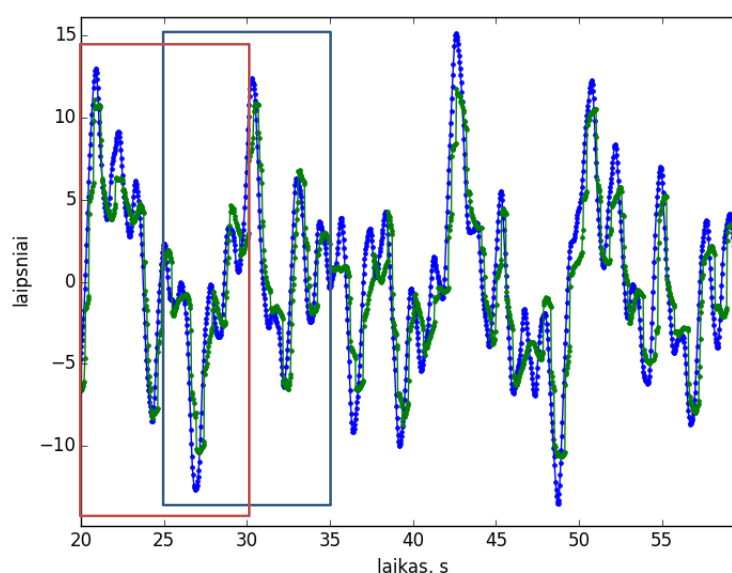
5.5. Koreliacijos koeficientų skaičiavimas ir rezultatai

Atliekant duomenų analizę, siekiama nustatyti akių judesių sekimo paklaidas. Šiam tikslui, lyginami taikinio ir akių judesių duomenų masyvai. Akių judesių tikslumo įvertinimui naudojamas koreliacijos koeficientas tarp taikinio ir akių judesių trajektorijų. Šiame darbe duomenų apdorojimui naudojami keli koreliacijos koeficientų skaičiavimo būdai, kaip slenkančio lango metodas, koreliacijos koeficientų paieška karpant duomenų masyvų į atskirus laiko intervalus, galiausiai atliekama koreliacijos skaičiavimo operacija su nepaslinktu pradinių duomenų masyvu. Visi šie būdai ir gauti rezultatai aptarti žemiau pateiktuose skyreliuose.

5.5.1. Slenkančio lango metodas (koreliacijos koeficientas)

Vienas iš būdų atlikti koreliacijos operaciją tarp dviejų duomenų masyvų, su galimybe įvertinti vėlinimą, naudojamas slenkančio lango metodas (angl. *time shifting*). Metodo įgyvendinimo pavyzdys pateiktas žemiau esančiame paveikslėlyje.

Taikant aptariamą metodą, bandymų kelių, buvo pasirinktas 10 sekundžių slenkančio lango dydis. Šis dydis pasirinktas neatsitiktinai. Iš pradžių koreliacijos koeficientai buvo skaičiuojami esant 1, 2, 4, 8 ir 10 sekundžių slenkančio lango dydžiams. Pastebėtas didesnis vidutinis koreliacijos koeficientų skirtumas tarp pirmo ir antro etapo eksperimento sąlygų didinant slenkančio lango dydį. Galiausiai žinant, kad taikinio trajektorijos sudarymo metu, sumuojant sinusoides, vienos iš jų kitimo dažnis lygus 0,1 Hz (1 lentelės duomenys), periodas lygus 10 sekundžių. Taigi ryšium su tuo, pasirenkamas didžiausią sumuojamos sinusoidės periodą atitinkantis slenkančio lango dydis.



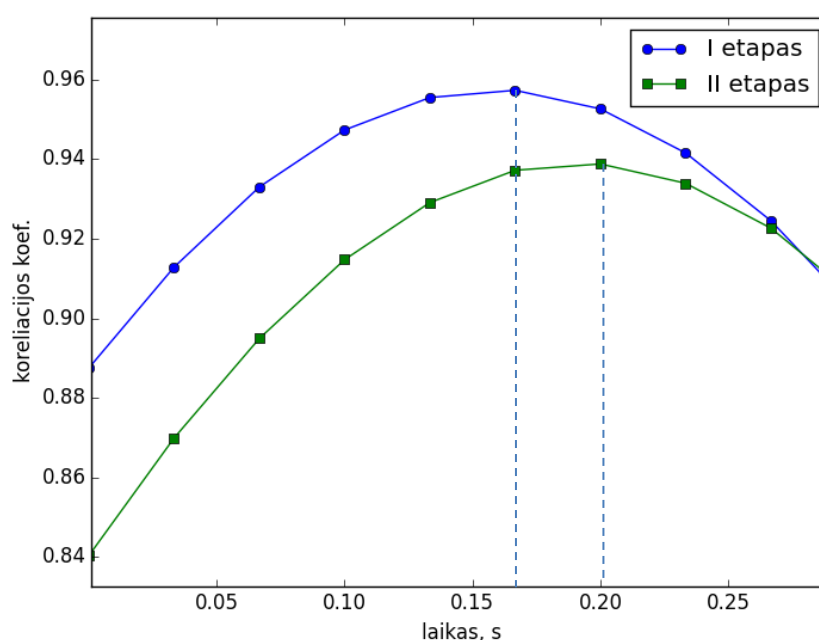
24 pav. Slenkančio lango metodo įgyvendinimo pavyzdys, kai lango dydis 10 sekundžių

Analizuojant 24 paveikslėlyje pateiktą slenkančio lango metodo taikymą dalinant duomenų masyvą į atskirus atkarpas, galima pastebėti, kad langai persidengia. Tai daroma dėl to, kad iškirpti duomenų masyvai slenkami vienas kito atžvilgiu laiko ašyje. Poslinkio dydis viena duomenų

masyvo atskaita. Kadangi slenkant duomenų masyvus vienas kito atžvilgiu, po kiekvienos poslinkio operacijos, tiek kiek buvo paslinkta atskaitų, tiek jų yra nukerpama nuo paslinktos trajektorijos, taip sulyginant taikinio ir akių žiūros taško duomenų masyvų dydžius.

5.5.2. Slenkančio lango metodas (vėlinimo laikas)

Sekantis svarbus parametras tai vėlinimo laikas, nusakantis kiek akys atsilieka sekdamas taikinį. Žemiau pateiktas paveikslėlis tai pavyzdys vaizduojantis, taikant slenkančio lango metodą, atsitiktinai parinkto bandymo koreliacijos koeficientų pasiskirstymą esant 10 sekundžių lango dydžiui. Pateiktame grafike, *I etapas* atitinka taikinio sekimą pagal schemą akis ranka, *II etapas* – kai taikiny sekamas vien tik akimis.



25 pav. Koreliacijos koeficientų rezultatai taikant slenkančio lango metodą

Tai ką norima pasakyti pateiktu grafiku išskirta punktyrinėmis linijomis. Jos vaizduoja koreliacijos koeficientų maksimumus gautus pirmo etapo ir antro etapo metu lyginant taikinio ir žiūros taško trajektorijas. Pagal užduotą lango dydį iškirptų duomenų masyvai slenkami vienos sekundės ribose, kadangi vidutinis akių judesių atsilikimas nuo taikinio yra apie 200 ms. Koreliuojant duomenų masyvus vienos sekundės intervale, slenkant ir koreliuojant trajektorijas, paslinkus atitinkamą atskaitų skaičių viena kitos atžvilgiu gaunamas koreliacijos koeficientų maksimumas. Toliau didinant poslinkį akių judesių žiūros taško ir taikinio trajektorijos prasilenkia ir tolesni matavimai nebeturi prasmės. Vertinant koreliacijos koeficientų maksimumą, nustatomas akių judesių vėlinimo laikas. Kaip matyti iš pateikto grafiko akių judesių vėlinimo laikas tarp pirmame ir antrame etape lyginamų duomenų masyvų lyginant pagal koreliacijos koeficientų maksimumus skiriasi. Taip pat matyti, kad duomenų masyvai pateiktame pavyzdyje labiau koreliuoja pirmo etapo sąlygomis kai taikiniai sekami akimis ir ranka vienu metu.

Aptarti matavimai įrašomi į duomenų lentelę (1 priedas) ir vėliau naudojami statistinės analizės metu, siekiant nustatyti kuriame etape, pirmame kai taikiny sekamas su akimis ir ranka, ar kai taikiny sekamas vien tik akimis vėlinimo laikas yra mažesnis ir kuriuo atveju koreliacijos koeficientas didesnis.

5.6. Koreliacijos koeficientai nenaudojant slenkančio lango metodo

Kadangi skirtumas tarp pirmo ir antro eksperimento etapų koreliacijos koeficientų yra labai mažas, neapsiribojama vien tik slenkančio lango metodu. Taikomi dar du koreliacijos skaičiavimo metodai.

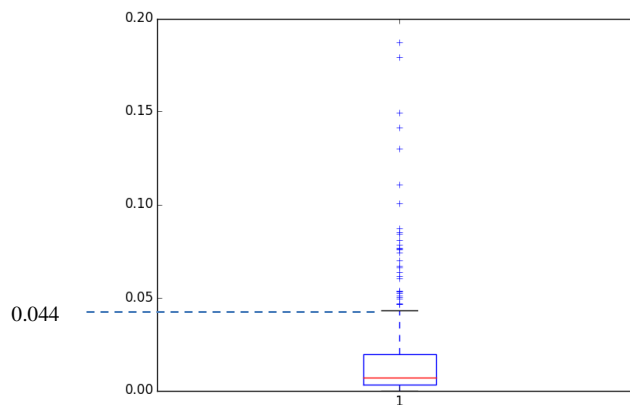
Pirmuoju atveju masyvai su matavimų duomenimis, taikant poslinkį laiko ašyje koreliuojami tarpusavyje, tačiau nedalinami į atskiras atkarpas pagal lango dydį. Šiuo atveju gaunama maksimali koreliacijos koeficiento vertė ir vėlinimo laikas. Tačiau nėra tokio parametro kaip lango dydis, arba kitaip, kai lango dydis atitinka visą duomenų masyvą.

Trečias koreliacijos koeficiento skaičiavimo metodas pritaikytas šiame darbe, tai duomenų masyvų koreliavimo skaičiavimas, kai netaikoma nei poslinkis laike nei duomenų masyvo dalinimas į atkarpas pagal užduotą lango dydį. Taikant šį metodą nėra galimybės nustatyti akių judesių vėlinimo laiko sekant taikinį. Gaunamas tik vienas koreliacijos koeficientas nusakantis, kaip duomenų masyvai koreliuoja tarpusavyje išilgai visos laiko ašies. Kaip parodė tyrimų rezultatai taikant šį metodą buvo gautas didžiausia koreliacijos koeficiento vertė.

5.7. Netinkamų duomenų išrinkimas

Atliekant duomenų analizę pastebėtas didelis kiekis duomenų iškraipymų, kurie turi žymios įtakos duomenų analizei. Todėl nuspręsta atlikti duomenų išrinkimą.

Kaip jau buvo minima ankstesniame skyriuje duomenų iškraipymai identifikuojami pasinaudojant sukurtu programiniu algoritmu. Identifikavus neatkuriamus matavimų masyvų elementus juos pažymime *nan* reikšmėmis. Po šios operacijos duomenų lentelėje (Priedas Nr. 1) pridodamas naujas stulpelis, kuriame nurodytos paklaidų, arba *nan* reikšmių procentines išraiškos kiekviename bandyme (žiūrėti 1 priedą). Netinkamos reikšmės atmetamos pagal *boxplot Tukey* diagramą pavaizduotą 26 paveikslėlyje. Pagal *Tukey* metodą visos reikšmės kurio yra už 25 ir 75 percentilių skirtumo padauginto iš koeficiento 1,5 ir pridėto prie 75 arba 25 percentilio gali būti atmetamos, kaip nepatenkančios į duomenų skirstinį. Šis dydis pateikiamu atveju lygus 0,044. Tai reiškia kad bandymai, kurių procentinės išraiškos didesnės už 0,044 yra atrenkamos. Taikant šį metodą buvo atmesta 16 % matavimų.



26 pav. Boxplot grafikas vaizduojantis reikšmių pasiskirstymą

Šiame darbe panaudotas dar vienas duomenų atrinkimo metodas vadinamas eksperto. Kaip buvo minima skyriuje apie duomenų atrinkimą, iškraipymus kuriuos sukelia tiriamųjų mirksėjimai nesunkiai pašalinami šio tyrimo metu sukurtu programiniu kodu. Tačiau, esant iškraipymams sukurtiems matavimo įrangos, dėl neišsiskiriančios iškraipymų amplitudės nepavyksta sėkmingai pašalinti visų duomenų praradimų. Tam naudojant eksperto metodą vizualiai įvertinama kiekvieno bandymo trajektorija ir atrenkamos tos kurių neįmanoma analizuoti ir gauti teisingų koreliacijos koeficientų. Pritaikius minimą metodą atmesta 35 % etapų.

5.8. Duomenų lentelės sudarymas

Kaip buvo minima ankstesniame skyriuje pasirinkti keli koreliacijos skaičiavimo būdai. Šiame skyriuje aptariamas sudarytos duomenų lentelės turinys, kur vėliau naudojama statistinės analizės metu. Pateiktas duomenų lentelės fragmentas išskiria darbe panaudotus duomenis statistinės analizės metu. Visa surinktų matavimų ir skaičiavimų lentelė pateikta 1 priede.

2 lentelė. Duomenų masyvas paruoštas statistinei analizei (*Tir Nr* – tiriamojo eilės numeris; *Kor net* – koreliacijos koeficientų vertės taikant slenkančio lango metodą; *Velin net* – vėlinimo laikas (pateiktas duomenų masyvo atskaitomis, dalinant iš 30 gaunama vertė atitinkanti vėlinio laiką sekundėmis); *Kor viso* – koreliacijos koeficientų vertės taikant poslinkį laike, bet nenaudojant slenkančio lango metodo; *Velin pasl* – vėlinimo laiko vertės taikant poslinkį laike, bet nenaudojant slenkančio lango metodo; *Etapo nr* – atitinkamai: 1 etapas – kai eksperimentas atliekamas sekant taikinius akimis ir ranka, 2 etapas – kai sekimas vykdomas tik akimis; *Knt ar pastov* – žymėjimas 0 reiškia kad tiriamiesiems buvo pateikiama atsikartojanti taikinio kitimo trajektorija, žymėjimas 1 reiškia, kad tiriamiesiems buvo pateikta nesikartojanti trajektorija; *Band. Nr* – nurodo vieno iš šešių bandymų eilės numerį; *Lang dyd* – nurodo koks buvo slenkančio lango koreliacijos metodo taikymo metu naudojamas lango dydis; *Pakl%* - stulpelyje pateiktos duomenų iškraipymų procentinės išraiškos kiekvieno bandymo metu)

Tir Nr	Kor net	Velin net	Kor viso	Kor pasl	Velin pasl	Kor mano11	Etapo nr	Kint ar pastov	Band. Nr	Lang dyd	Pakl %
1	0.969	6	0.876	0.974	6	0.976	1	0	1	10	0.002494
1	0.973	6	0.865	0.977	6	0.975	2	0	1	10	0.006778
1	0.968	6	0.849	0.974	6	0.976	1	0	2	10	0.002497
1	0.972	6	0.853	0.976	6	0.978	2	0	2	10	0.003212
1	0.952	5	0.886	0.957	5	0.956	1	0	3	10	0.002137
1	0.935	6	0.839	0.939	6	0.958	2	0	3	10	0.003211
1	0.974	6	0.877	0.975	6	0.975	1	1	4	10	0.002494

Pateikta duomenų lentelė pasižymi fiksuotais ir kintamais dydžiais. Aktualumas pasireiškia taikant *lmer* statistinės analizės metodą. Visa tai leidžia įvertinti tokius parametrus kaip trajektorijos pateikimas tiriamiesiems, kai lyginant bandymo numerį su pateikta tiriamajam trajektorija (pasikartojančia ar atsitiktine) pagal koreliacijos koeficientų skirtumus galime nustatyti ar trajektorijos tipas turėjo įtakos sekimo tikslumui, kaip vėliau parodys statistinės analizės rezultatai.

Bene svarbiausi duomenys pateikiami lentelėje, tai koreliacijos koeficientai ir akių judesių vėlinimo laikai. Pavyzdyje, 3 lentelėje pateiktas pirmo tiriamojo bandymų rezultatai. Analizuojant pavyzdį reikia atkreipti dėmesį į aštuntą stulpelį kuriame pateikiami kiekvieno bandymo etapai, kurie kaip sako legenda nurodyta prie lentelės nusako eksperimento pateikimo sąlygas tiriamiesiems. Būtent šių dviejų eilučių koreliacijos koeficientų vertės ir vėlinimo laikus reikia lyginti norint nustatyti bandymo baigtį, kuri nurodo ar bandymo metu sekant taikinį akimis-ranka ar tik akimis rezultatai buvo geresni.

Devintame stulpelyje nurodomas trajektorijos tipas. Pagal tiriamajam pateiktą taikinio trajektorijos tipą atitinkamai, 0 – pasikartojanti; 1 – atsitiktinė, ir atsižvelgiant į bandymo numerį dešimtame stulpelyje lyginant pagal koreliacijos koeficientų dydžius statistinės analizės metu siekiama nustatyti trajektorijos pateikimo tiriamajam įtaką.

Priešpaskutiniame stulpelyje pateikti slenkančio lango dydžiai taikyti koreliacijos skaičiavimo metu.

Pagal kraštiniame stulpelyje pateiktus duomenis, taikant deterministinį metodą buvo atrinkti duomenys tolesnei statistinei analizei.

Kiti duomenys pateikiami lentelėje tai papildomai surinkti matavimai reikalingi statistinei analizei, tačiau kadangi minimi matavimai nebuvo statistiškai reikšmingi, jie šiame skyriuje nenagrinėjami.

5.9. Statistinės analizės rezultatai

Surinkus visus matavimų duomenis į duomenų lentelę Pagal ankstesniame skyriuje aptartą duomenų masyvą atliekama statistinė analizė “*R-studio*”, programiniu paketu. Naudojama *lmer* funkcija, kuri atlieka statistinę analizę pagal *Linear Mixed Effect Model*, kuri šiame darbe pasirinkta vietoj įprastos ANOVA statistinės analizės. Šiame darbe naudojama *lmer* priešingai negu ANOVA leidžia dirbti su duomenų imtimis kurios nėra standartinės, privalumas tame, kad galima atrinkti duomenis, ieškoti statistiškai reikšmingų dydžių pagal kintančius ir fiksuotus dydžius. Visa tai aktualu šiame darbe, kadangi taikomas duomenų išrinkimas, ieškomi reikšmingumo koeficientai fiksuotų duomenų atžvilgiu.

Kadangi šiame darbe buvo taikomas duomenų išrinkimas, statistinės analizės rezultatai skirstomi į dvi grupes. Pirmoji tai koreliacijos koeficientų ir akių vėlinimo laiko statistinė analizė su duomenimis kurie išrinkti pagal deterministinį metodą, kitoje grupėje analizuojami duomenys atrinkti taikant eksperto metodą. Šiame skyriuje pateikti akių vėlinimo laiko statistinės analizės rezultatai gauti iš matavimų duomenų surinktų taikant slenkančio lango metodą, kurio dydis 10 sekundžių. Koreliacijos koeficientai naudoti statistinėje analizėje gauti koreliuojant pradinis duomenų masyvus netaikant slenkančio lango metodo.

3 lentelė. Koreliacijos koeficientų ir trajektorijos įtakos statistinė analizė (Deterministiniu metodu)

	Estimate	Std. Error	df	t value	Pr(> t)
(Intercept)	0.8114	0.008946	37.810000	90.699	<2e-16 ***
etapo_nr2	0.006719	0.008035	164.360000	0.836	0.404
kint_ar_pastov1	0.003602	0.007983	162.00000	0.045	0.964

4 lentelė. Koreliacijos koeficientų ir trajektorijos įtakos statistinė analizė (Eksperto metodu)

	Estimate	Std. Error	df	t value	Pr(> t)
(Intercept)	0.832653	0.005737	52.890000	145.142	<2e-16 ***
etapo_nr2	0.013787	0.005552	123.570000	2.483	0.0144 *
kint_ar_pastov1	-0.001162	0.005656	130.990000	-0.205	0.8375

Pagal duomenis pateiktus 3 ir 4 lentelėse matyti kad tik tada kai duomenys buvo atrinkti taikant eksperto metodą buvo gauti statistiškai reikšmingi koreliacijos koeficientų rezultatai

Kaip pateikta 4 lentelėje pirmo etapo atlikimo metu, kai taikiny buvo sekamas pagal eksperimento schemą akis-ranka vidutinė koreliacijos koeficiento vertė lyginant taikinio ir akių žiūros taško trajektorijas lygi 0,832653, kai tuo tarpu antro etapo koreliacijos koeficientas 0,013787 vieneto didesnis ir yra statistiškai reikšmingas su reikšmingumo koeficientu 0,0144, tai reiškia, kad antro etapo metu, kai taikiny sekamas vien akimis koreliacijos koeficientas didesnis ir taikiny akimis sekamas didesniu tikslumu.

Tiriant trajektorijos įtaką, pagal 4 lentelėje pateiktus duomenis, kai tiriamiesiems buvo pateiktos atsitiktinės trajektorijos, kurios nesikartojo nė vienam tiriamajam koreliacijos koeficiento reikšmė -0,001162 vienetais mažesnė negu koreliacijos koeficiento, kai tiriamiesiems buvo pateikiama trajektorija, kuri kartu buvo pateikiama visiems tiriamiesiems. Šis skirtumas statistiškai yra nereikšmingas su reikšmingumo koeficientu 0,8375. Tai reiškia, kad trajektorija buvo nenuspėjama tiriamajam ir jo okulomotorinė sistema negebėjo kurti vidinių taikinio trajektorijos nuspėjimo mechanizmų. Trajektorijos įtaka taip pat nėra reikšminga ir esant deterministiniam duomenų išrinkimui.

Sekanti lentelė pateikia statistinės analizės rezultatus tiriant akių judesių vėlinimo laiko taikinio atžvilgiu skirtumus. Akių judesių vėlinimo laiko sekant taikinį skirtumai buvo statistiškai reikšmingi visais šiame darbe taikytais metodais, žemiau pateikta lentelė vaizduoja rezultatus gautus taikant slenkančio lango metodą, su 10 sekundžių lango dydžiu.

5 lentelė. Vėlinimo laiko ir trajektorijos įtakos statistinė analizė (deterministiniu metodu)

	Estimate	Std. Error	df	t value	Pr(> t)
(Intercept)	0.205637	0.004026	48.560000	51.080	<2e-16 ***
etapo_nr2	-0.010298	0.003993	165.360000	-2.579	0.0108 *
kint_ar_pastov1	0.003837	0.003972	163.150000	0.966	0.3355

6 lentelė. Vėlinimo laiko ir trajektorijos įtakos statistinė analizė (eksperto metodu)

	Estimate	Std. Error	df	t value	Pr(> t)
(Intercept)	0.203768	0.004438	56.950000	45.912	<2e-16 ***
etapo_nr2	-0.012483	0.004367	124.360000	-2.858	0.005 **
kint_ar_pastov1	0.001863	0.004444	131.580000	0.419	0.676

Kaip matyti iš 5 ir 6 lentelių abiem atvejais gaunami statistiškai reikšmingi vėlinimo laiko skirtumai. Pagal gautus rezultatus 5 lentelėje pirmo etapo, kai taikiny buvo sekamas vienu metu akimis ir ranka vidutinis vėlinimo laikas lygus 0,205637 sekundės. Kai tuo tarpu antro etapo, kai taikiny buvo sekamas tik akimis vėlinimo laikas -0,01298 sekundės mažesnis. Šis skirtumas statistiškai reikšmingas su reikšmingumo koeficientu 0,0108. Pagal rezultatus pateiktus 6 lentelėje, pirmame etape gautas vėlinimo laikas lygus 0,203768 sekundės, kai tuo tarpu antro etapo vėlinimo laikas -0,012483 sekundės mažesnis. Šis skirtumas statistiškai reikšmingas su 0,005 reikšmingumo koeficientu. Išvada, kad sekant taikinį tik akimis akys seka taikinį su mažesniu vėlinimu.

Analizuojant taikinio trajektorijos pateikimo tiriamajam įtaką pagal vėlinimo laiką, tiek taikant deterministinį tiek eksperto duomenų išrinkimo metodą, vėlinimo laiko skirtumas tarp pasikartojančios ir atsitiktinės trajektorijos yra statistiškai nereikšmingas su reikšmingumo koeficientais 0,335 pagal deterministini metodą ir 0,676 pagal eksperto metodą. Išvadą kad, taikinio trajektorijos tipas neturėjo įtakos akių judesių vėlinimo laikui.

Tyrimo pradžioje buvo iškeltos dvi hipotezes. Pirmoji hipotezė kelia klausimą ar rankos judesiai turi įtakos akims sekant taikinį, antroji – ar trajektorija pateikiama tiriamiesiems turi įtakos matavimo rezultatams.

Statistinės analizės duomenys parodė kad pirmoji hipotezė pasitvirtino, su teiginiu kad rankos judesių naudojimas sekant taikinius akimis turi įtakos akių judesių parametrams. Tačiau remiantis tuo, kad šiame darbe atliekamo eksperimento metu buvo bandoma atkartoti (13) šaltinyje minimo tyrimo sąlygas, kai tiriamiesiems pateikiant atsitiktine trajektorija kintančius taikinius

gaunami geresni akių judesių parametrai esant eksperimento sąlygai kai taikiniai sekami ranka ir akimis vienu metu, kai šiame darbe gauti rezultatai yra priešingi. Tai reiškia kad priešingai negu (13) eksperimento metu gauti geresni akių judesių parametrai, kai taikiniai sekami vien tik akimis.

Antroji hipotezė buvo sėkmingai patvirtinta, nes visomis šio darbo sąlygomis kuris buvo pateiktos tiriamiesiems nepasireiškė jokia trajektorijos tipo įtaka. Sugeneruota tinkama taikinio trajektorija, kurios tiriamieji negalėjo nuspėti.

6. Išvados

Šiame darbe buvo tiriama rankos judesių įtaka akimis sekant taikinius, kurie monitoriaus ekrane judėjo nenuspėjama trajektorija. Eksperimente dalyvavo 18 vyrų ir moterų iki atliekant eksperimentą neturėjusių patirties dirbant su akių judesių įrašymo įranga. Tyrimo pradžioje buvo iškeltos dvi hipotezės kurios buvo įrodytos. Pirmoji, kad rankos judesiai sekant taikinius akimis turi įtakos ir kad pateiktos atsitiktinės nenuspėjamos trajektorijos tiriamųjų okulomotorinė sistema nesugebėjo įsiminti, ir kurti nuspėjimo mechanizmo.

Tyrimo metu susidurta su dideliu duomenų iškraipymu ir praradimu, sukeltu pačių tiriamųjų ir darbe naudojamos įrangos. Panaudotas duomenų atrinkimas, deterministiniu būdu atrenkant kaip netinkamais 16 % ir eksperto 34 % akių judesių matavimų duomenų.

Statistinės analizės rezultatai parodė, kad sekimas ranka turi įtakos, atsilikimo efekto dydis tik apie 10 ms, tačiau statistiškai reikšmingas, sekimo tikslumas, kuris vertinamas pagal koreliacijos koeficiento skirtumą tarp sąlygų, parodė kad esant duomenų išrinkimui pagal eksperto metodą, ir taikant koreliacijos funkcija nenaudojančia slenkančio lango metodo antro etapo metu, kai taikiny sekamas tik akimis efekto dydis buvo didesnis ir statistiškai reikšmingas. Vertinant statistinės analizės rezultatus galima teigti, kad sekimas ranka sumažina akių judesių tikslumą ir padidina vėlinimą. Ši išvada priešinga Nehorster 2016, kuriuo remiantis buvo atliktas šis tyrimas.

Įvertinus statistinės analizės duomenis trajektorijos efekto dydis akių sekimo rezultatui buvo nereikšmingai mažas ir neturėjo įtakos. Ši išvada patvirtina antrą hipoteze, kad taikinio trajektorija buvo atsitiktinė ir tiriamųjų okulomotorinė sistema nesugebėjo sukurti vidinių trajektorijos nuspėjimo mechanizmų.

Kadangi nebuvo pasiekta rezultato, kad sekimas ranka daro teigiamą įtaką akių judesių sekimo tikslumui, ir siekiant šio tikslo siūloma naudoti tikslesnį akių judesių įrašymo įrenginį, kurio įrašymo dažnis būtų šimtų hercų eilės. Taip pat reikalinga didesnė tiriamųjų aibe, prie kurios duomenų iškraipymai ir praradimai, artėtų prie nereikšmingų rezultatams.

Literatūra

1. Laurutis, V. *Biomedicininė kibernetika*. Kaunas : KTU, 2012.
2. Eye tracker TheEyeTribe. [Tinkle] [Cituota: 2016 m. 01 11 d.] <https://theyetribe.com/> .
3. Duchowski, Andrew T. *Eye Tracking Methodology*. London : Springer, 2003, p. 43 p. - 51 p.
4. Bendrai apie akis. [Tinkle] [Cituota: 2016 m. 04 17 d.] <http://mediapro.lt/akis-4/>.
5. Akies sandara. [Tinkle] [Cituota: 2015 m. 03 11 d.] <http://www.eyedoctorplus.lt/apie-akis/akies-sandara/>.
6. Akies sandaros schema. [Tinkle] [Cituota: 2016 m. 02 17 d.] <http://www.musuzodis.lt/akis/schema/schema.htm>.
7. Types of eye movements and Their Functions. [Tinkle] [Cituota: 2016 m. 01 17 d.] <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK10991/>.
8. P. W. Koken, C. J. Erkelens. Influences of hand movements on eye movements in tracking tasks in man. *Experimental Brain Research*, 88 (3). 1992 m., p. 657–664.
9. Gauthier, G. M., & Hofferer, J. M. Eye tracking of self-moved targets in the absence of vision. *Experimental Brain Research*, 26(2). 1976 m., p. 121-139.
10. *Oculo-manual tracking of visual targets: Control learning, coordination control and coordination model*. Gauthier, G. M., Vercher, J. L., Mussa Ivaldi, F., & Marchetti, E. 1998 m., *Experimental Brain Research*, 73(1), p. 127-137.
11. Bahill, A. T., & McDonald, J. D. Model emulates human smooth pursuit system producing zero-latency target tracking. *Biological Cybernetics*, 48(3). 1983 m., p. 213-222.
12. Barnes, G. R., & Asselman, P. T. The mechanism of prediction in human smooth pursuit eye movements. *The Journal of Physiology*, 439(1). 1991 m., p. 439-461.
13. *Manual Tracking Enhances Smooth Pursuit Eye Movements*. Neihorster, Siu, & Li. 2016 m., Department of Psychoogy, The University of Hong Kong.
14. Raimondas Zemblys, Kenneth Holmqvist. Common predictors of accuracy, precision and data loss in 12 eye-trackers. *Behavior Research Methods manuscript*. 2016 m.
15. Akies Raumenys. [Tinkle] [Cituota: 2016 m. 01 18 d.] <http://www.eyedoctorplus.lt/apie-akis/akies-raumenys/>.
16. Koreliacijų metodai. [Tinkle] [Cituota: 2016 m. 04 15 d.] <http://stackoverflow.com/questions/18247009/window-overlap-in-pandas>.
17. *Coordination of hand and gaze movements in humans during oculo-manual tracking*. V.Laurutis, S.Niauronis, R.Zemblys. Kaunas : s.n., 2010. Biomedical Engineering; Proceedings of International Conference Kaunas: Technologija, 2010. p. 78-81.
18. Xia, R., & Barnes, G. Oculomanual coordination in tracking of pseudorandom target motion stimuli. *Journal of Motor Behavior*, 31(1). 1999 m., p. 21-38.

19. Lisberger, S. G. Visual guidance of smooth-pursuit eye movements: sensation, action, and what happens in between. *Neuron*, 66(4). 2010 m., p. 477-491.
20. Ke, S. R., Lam, J., Pai, D. K., & Spering, M. Directional asymmetries in human smooth pursuit eye movements. *Science*, 54(6). 2013 m., p. 4409-4421.
21. *Dynamic analysis of human visuo-oculo-manual coordination control in target tracking tasks.* JL., Vercher. 500-6, 1993 m. jun, T. 64(6).
22. Saulius, Niauronis. *Žmogaus koordinuotų akies judesių valdymo sistemos tyrimas.* Kaunas : KTU, 2015.
23. Bates, D., Mächler, M., Bolker B. M., Walker S. C. Fitting Linear Mixed-Effects Models using lme4. [Tinkle] 2016 m. <https://cran.r-project.org/web/packages/lme4/vignettes/lmer.pdf>.