

KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS
INFORMATIKOS FAKULTETAS
PROGRAMŲ INŽINERIJOS KATEDRA

Tadas Gedminas

TEKSTO ĮVEDIMAS NAUDOJANT ŽVILGSNIO SEKIMĄ

Magistro darbas

Vadovas
Prof. Robertas Damaševičius

KAUNAS, 2016

KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS
INFORMATIKOS FAKULTETAS
PROGRAMŲ INŽINERIJOS KATEDRA

Tadas Gedminas

TEKSTO ĮVEDIMAS NAUDOJANT ŽVILGSNIO SEKIMĄ

Magistro darbas

Vadovas
Prof. R. Damaševičius

(data, parašas)

Recenzentas
doc. dr. R. Maskeliūnas

(data, parašas)

Studentas
T. Gedminas

(data, parašas)

KAUNAS, 2016

AUTENTIŠKUMO PATVIRTINIMAS

Rašant šį darbą:

1. Pateikiama medžiaga nėra plagijuojama bei nepažeidžia trečiųjų asmenų autorinių teisių.
2. Jei darbe naudojama kitų autorių medžiaga, tai aiškiai deklaruojama, pateikiant nuorodas į literatūros sąrašą.
3. Literatūros sąraše nėra pateikiami šaltiniai, kurie nebuvo cituoti magistrinio darbo tekste.

Studentas (vardas, pavardė)

Parašas

SANTRAUKA

Akių sekimo prietaisai ir atitinkama PĮ šiuo metu plačiai naudojami tiriant žmogaus dėmesio sutelkimą skirtingose srityse. Šiais įrankiais tiriamas reklamų efektyvumas, interneto puslapių turinio pateikimo efektyvumas, tiriamas žmonių gebėjimas išlaikyti dėmesį tam tikrose srityse. Pagrindinė kliūtis žvilgsnio sekimo sistemose – tai prietaisų tikslumas, tačiau dabartiniai įrenginiai jau turi reikiamą tikslumą, kuris leidžia atlikti užduotis akimis. Taip pat bendravimas su kompiuteriu naudojant žvilgsnį yra natūralesnis už naudojimąsi tradiciniais įrenginiais.

Šio darbo metu siekiama sukurti išmanią teksto įvedimo sistemą, kuria būtų galima įvesti tekstą naudojant tik akių judesius. Pasaulyje yra žmonių kurie dėl vienokių ar kitokių priežasčių negali, ar nenori kompiuterio valdyti įprastiniais įvesties įrenginiais: pele ir klaviatūra, kurių pilnai pakanka kasdienėms užduotims įvykdyti. Kuriamos sistemos taikymas gali palengvinti teksto įvedimą vietose, kuriose klaviatūros yra nepatogios, ar nėra galimybės ją naudoti. Sistema leidžianti įvesti tekstą akimis suteiktų galimybę neįgaliems žmonėms patiems rinkti tekstą. Taip pat sistema gali būti taikoma srityse, kur reikalingas teksto įvedimas, tačiau abi rankos yra užimtos. Ištobulinus tokią sistemą, atsirastų galimybė tekstą įvedinėti visuose išmaniuosiuose įrenginiuose, sumažinant mygtukų skaičių ant įrenginių.

Šiame darbe analizuojama sukurta teksto įvedimos sistema, kuri leidžia įvesti tekstą naudojant du skirtingus įvesties režimus.

SUMMARY

Nowadays eye tracking devices and corresponding software is widely used in researches of human attention in many areas. These tools allow to analyze the effectiveness of advertisements and effectiveness of webpages content or investigate the ability of people in maintaining attention on certain objects. The main obstacle in eye tracking is devices accuracy. However, some devices are accurate enough to perform tasks using eye gaze. The interface with computer using eye movements is more natural than the conventional input devices such as keyboard and mouse.

In this work we are presenting the smart text entry system, which can be controlled using eye movements. There are some people in the world which cannot or do not want to control computers using keyboard and mouse, although these devices fulfill everyday needs. The built system can be used in places where the conventional keyboards do not fit or there is no possibility to use them. The system allowing users to enter text by gaze would be the alternative for disabled people to enter text for their own. Also this kind of system can be applicable in areas where both arms are busy. The improved version of this software could induce the eye tracking functionality to be added into smart devices. Also this system could induce the decreased number of mechanical buttons on devices.

In this work the author is analyzing the created software. The created system has two different text entry modes.

TURINYS

Paveikslėlių sąrašas	9
Lentelių sąrašas	10
Terminų ir santrumpų žodynas	11
1. Įvadas	12
1.1. Dokumento paskirtis.....	12
1.2. Darbo tikslas.....	12
1.3. Mokslinis naujumas	13
1.4. Uždaviniai	13
2. Žvilgsnio sekimo sąsajų analizė	13
2.1. Žvilgsnio sekimo technologijos	13
2.2. Dėvimi žvilgsnio sekimo prietaisai	13
2.3. Infraraudonųjų spindulių šviesos diodais paremtos sistemos	14
2.3.1. <i>Veikimo principas</i>	<i>14</i>
2.3.2. <i>Dong-Chan Cho et al. akių sekimo sistema.....</i>	<i>15</i>
2.3.3. <i>Hong-Fa Ho akių sekimo sistema.....</i>	<i>16</i>
2.3.4. <i>Tobii X60.....</i>	<i>17</i>
2.3.5. <i>The Eye Tribe.....</i>	<i>17</i>
2.4. Žvilgsnio sekimas nenaudojant IR spindulių	18
2.5. Smegenų-kompiuterio ir žvilgsnio sekimo kaip įvesties įrenginių palyginimas.....	19
2.6. Teksto įvedimui skirtos sistemos	20
2.6.1. <i>Eye-S teksto įvedimo sistema</i>	<i>20</i>
2.6.2. <i>EyeBoard teksto įvedimo Sistema.....</i>	<i>21</i>
2.6.3. <i>O. Špakov ir P. Majaranta sukurta slanki klaviatūra.....</i>	<i>22</i>
2.7. Kiti žvilgsnio sekimo įrenginių taikymai	22
2.7.1. <i>ceCursor.....</i>	<i>22</i>

2.7.2.	<i>Žvilgsnio sekimas su rankų sekimu žymeklio valdymui</i>	23
2.8.	Įgyvendinimo problemos	24
2.9.	Srities analizės rezultatų apibendrinimas ir išvados	26
3.	Teksto įvedimo sistemos projektinė dalis	27
3.1.	Sistemos paskirtis	27
3.2.	Sistemos panaudos atvejų diagrama	27
3.3.	Funkciniai reikalavimai	28
3.4.	Nefunkciniai reikalavimai	29
3.4.1.	<i>Reikalavimai sistemos išvaizdai</i>	29
3.4.2.	<i>Reikalavimai panaudojamumui</i>	29
3.4.3.	<i>Reikalavimai vykdymo savybėms</i>	29
3.4.4.	<i>Reikalavimai veikimo sąlygoms</i>	30
3.5.	Sistemos architektūros modelis	30
3.5.1.	<i>Sistemos skirstymas į paketus</i>	30
3.5.2.	<i>Paketų detalizavimas</i>	31
3.6.	Naudojami trečiųjų šalių komponentai	33
3.7.	Naudojama aparatūrinė įranga	33
3.7.1.	<i>„The Eye Tribe“ įrenginys</i>	33
4.	Teksto įvedimo sąsajos eksperimentinis tyrimas	34
4.1.	Teksto įvedimo eksperimentai	34
4.1.1.	<i>Tyrimo dalyviai</i>	34
4.1.2.	<i>Tyrimui naudoti tekstai</i>	34
4.1.3.	<i>Tyrimo eiga</i>	34
4.1.4.	<i>Tyrimo rezultatai</i>	35
4.1.1.	<i>Tyrimo rezultatų apibendrinimas</i>	43
5.	Išvados	44

6.	Literatūra	45
7.	Priedai	48
7.1.	Eksperimento dalyviams pateikta anketa.....	48
7.2.	Mokslinis straipsnis: A Prototype Gaze-Controlled Speller for Text Entry	49
7.3.	Mokslinis straipsnis: Modelling Eye Fatigue in Gaze Spelling Task	54
7.4.	Vartotojo dokumentacija	63
7.4.1.	<i>Sistemos funkcinis aprašymas.....</i>	<i>64</i>
7.4.2.	<i>Vartotojo atmintinė.....</i>	<i>64</i>
7.4.3.	<i>Detalioji sistemos atmintinė.....</i>	<i>68</i>
7.4.4.	<i>Sistemos instaliavimo dokumentas.....</i>	<i>71</i>
7.4.5.	<i>Sistemos administratoriaus vadovas.....</i>	<i>72</i>

PAVEIKSLĖLIŲ SĄRAŠAS

1 pav. "Tobii Glasses 2" akių sekimo akiniai [1]	14
2 pav. EOG akiniai [1]	14
3 pav. IR spinduliais grįstos akių sekimo sistemos principinė schema [3]	15
4 pav. Dideliu atstumu veikiančio akių sekimo sistemos schema [4]	16
5 pav. Sistemos duomenų srautų diagrama [5].....	16
6 pav. Techninė įranga [5].....	17
7 pav. Žvilgsnio sekimo nenaudojant IR spindulių schema [9]	18
8 pav. Akies binarinio atvaizdo pavyzdys [9]	19
9 pav. Eye-S sistemos vaizdas [12].....	20
10 pav. Eye-S raidžių įvedimo pavyzdžiai [12]	21
11 pav. EyeBoard teksto įvedimo Sistema [13]	21
12 pav. Pilna 3 eilių klaviatūra, 2 ir 1 eilės slankiosios klaviatūros [14].....	22
13 pav. ceCursor [15]	23
14 pav. Sistemos techninė įranga [16].....	23
15 pav. Sistemos panaudos atvejų vaizdas	28
16 pav. Paketų diagrama	30
17 pav. Paketo „Core“ klasių diagrama.....	31
18 pav. Paketo „Device“ klasių diagrama	31
19 pav. Paketo „Dictionary“ klasių diagrama	31
20 pav. Paketo „Keyboard“ klasių diagrama.....	32
21 pav. Paketo „Settings“ klasių diagrama	32
22 pav. „The Eye Tribe“ įrenginys.....	33
23 pav. Žvilgsnio trukmės kitimas	36
24 pav. Vidutinis klaidų skaičiaus kitimas	37
25 pav. Kaupiamasis klaidų skaičiaus kitimas	37
26 pav. Apklaustos rezultatai	39
27 pav. Žvilgsnio taškų išsidėstymas parenkant raidę	39
28 pav. Pirmųjų 100 taškų tikimybių tanko funkcijos visiems subjektams	40
29 pav. Paskutiniųjų 100 taškų tikimybių tanko funkcijos visiems subjektams	40
30 pav. Modelio pritaikymas	41
31 pav. Kryžminis patikrinimas atėmus po vieną subjektą.....	42
32 pav. Nykimo koeficientų tikimybių tankio funkcijos.....	43

LENTELIŲ SĄRAŠAS

<i>1 lentelė. Žvilgsnio sekimo įrenginių palyginamoji lentelė</i>	<i>26</i>
<i>2 lentelė. Teksto įvedimo sistemų naudojančių žvilgsnio technologijas palyginimas.</i>	<i>26</i>
<i>3 lentelė. Eksperimento rezultatai</i>	<i>36</i>
<i>4 lentelė. Apibendrinti anketos rezultatai.....</i>	<i>38</i>

TERMINŲ IR SANTRUMPŲ ŽODYNAS

1. PĮ – programinė įranga
2. IR – Infraraudonieji spinduliai
3. ŽPM – žodžiai per minutę
4. SPM – simboliai per minutę
5. EOG – elektrookulografinis
6. TCP/IP (angl. *Transmission control protocol/Internet Protocol*) standartinis interneto duomenų perdavimo protokolų rinkinys.
7. USB (angl. *Universal Serial Bus*) – universalioji jungtis naudojama kompiuteriuose.
8. API (angl *Application Programming Interface*) – aplikacijų programavimo sąsaja, leidžianti pasiekti tam tikrus programos komponentus.

1. ĮVADAS

Rinkoje atsirandant vis naujesnei ir pažangesnei techninei įrangai, tobulinami ir alternatyvūs įvesties įrenginiai skirti perduoti valdymo signalus iš žmogaus į kompiuterinę sistemą. Viena iš natūralių įvesties sąsajų yra žvilgsnio sekimas. Rinkoje jau kuris laikas naudojami žvilgsnio sekimo įrenginiai ir tam tikra programinė įranga galinti nustatyti žmogaus sutelkto dėmesio vietą. Šie įrenginiai naudojami laboratorijose siekiant išmatuoti tinklalapių patogumą, reklamų patrauklumą ar produkto pakuotės išskirtinumą. Žvilgsnio sekimas taip pat žengia ir į automobilių pramonę kaip priemonė nustatyti žmogaus būseną vairavimo metu.

Tobulėjant įrenginiams ir didėjant jų tikslumui atsirado galimybė daug tiksliau nustatyti žmogaus žvilgsnio vietą. Tai leidžia žvilgsnio sekimo prietaisus pritaikyti ir naudoti perduoti valingas valdymo komandas į kompiuterį. Žvilgsnio sekimo sistemos gali būti naudojamos papildyti jau esamus įvesties metodus arba būti kaip alternatyva įprastiniams įrenginiams. Šios sistemos taip pat gali būti išeitis negalia turintiems žmonėms naudotis kompiuteriu ar valdyti kitus prietaisus. Sukurtos atitinkamos sistemos gali leisti valdyti kompiuterį, įvesti tekstą, naršyti internete ar žaisti žaidimus.

Šiame darbe aprašoma žvilgsnio sekimu paremta teksto įvedimo sistema, leidžianti įvesti tekstą žvelgiant į kompiuterio ekrane rodomus grafinės sąsajos elementus. Sistema suderinama su žvilgsnio sekimo prietaisu „The Eye Tribe“. Šis prietaisas leidžia nustatyti žmogaus žvilgsnį pakankamu tikslumu, kad būtų galima realizuoti valdymo komandas. Sistema iš įrenginio gautus žvilgsnio duomenis apdoroja ir paverčia teksto įvedimo komandomis, kurios ekrane atvaizduoja įvedamą tekstą. Sistema pritaikyta naudoti kasdien sutinkamuose kompiuteriuose, todėl įdiegimui nėra taikomų didelių specifinių reikalavimų.

1.1. Dokumento paskirtis

Šiame dokumente pateikiama žvilgsnio sekimo prietaisų ir žvilgsniu valdomų sistemų apžvalga. Apžvelgiamos žvilgsnio sekimo technologijos, sistemų tipai ir egzistuojančios sistemos. Taip pat pateikiamas sukurtos teksto įvedimo sistemos projektas. Darbe tiriamos sukurtos sistemos charakteristikos.

1.2. Darbo tikslas

1. Išanalizuoti žvilgsnio sekimo ir kompiuterio valdymo žvilgsniu sistemas ir technologijas.

2. Sukurti sistemą, leidžiančią įvesti tekstą naudojant žvilgsnio sekimo įrenginį.
3. Iširti sukurtos teksto įvedimo sistemos greitį, nustatyti teksto įvedimo greičio kitimą, padaromų klaidų kitimą ir nuovargio atsiradimą.

1.3. Mokslinis naujumas

Pasiūlyta adaptvyvi vartotojo sąsaja teksto įvedimui, prisitaikanti prie individualių vartotojų gebėjimų valdyti kompiuterio sąsajos elementus žvilgsnio pagalba.

1.4. Uždaviniai

1. Išanalizuoti žvilgsnio sekimo technologijas.
2. Išanalizuoti žvilgsniu valdomas sąsajas.
3. Suprojektuoti teksto įvedimo sistemą.
4. Sukurti teksto įvedimo sistemos išmanumą užtikrinančius komponentus: adaptyvų įvedimo greičio valdymo modulį, žodžių pasiūlymo iš žodyno modulį, nustatymų valdymo modulį ir įvykių registravimo modulį.
5. Atlikti teksto įvedimo eksperimentus su tyrimo subjektais naudojant sukurtą sistemą.
6. Išanalizuoti ir apibendrinti tyrimo rezultatus.

2. ŽVILGSNIO SEKIMO SĄSAJŲ ANALIZĖ

2.1. Žvilgsnio sekimo technologijos

Kaip ir kiekvienoje srityje taip ir akių sekimui naudojamos įvairios technologijos leidžiančios didesniu ar mažesniu tikslumu sekti akių judesius ekrane. Vienos jų naudoja brangią techninę įrangą ir užtikrina aukštą tikslumą, kitos yra pigesnės ir yra mažiau tikslios. Ne visos technologijos leidžia galvos judesius, kai kurios veikia tik mažu atstumu.

2.2. Dėvimi žvilgsnio sekimo prietaisai

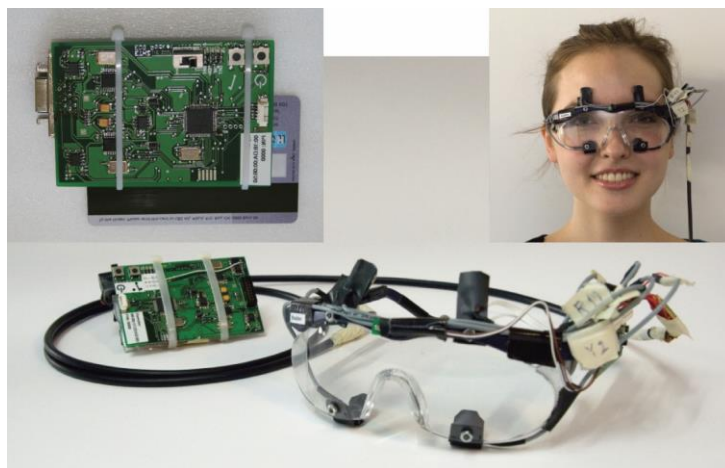
Viena iš žvilgsnio sekimo įtaisų grupių – tai dėvimi akių sekimo prietaisai. Šiai grupei priklauso į akinius panašūs prietaisai. Jie savyje turi vaizdo kameras, kurios realiu laiku fiksuoja akies judesius ir juos perduoda valdančiam įrenginiui. Šie prietaisai nėra ypatingai tikslūs, jie gali veikti įvairiame atstumų ruože. Jų tikslumas siekia iki 1 laipsnio. Vienas iš komercinių šio tipo akių sekimo prietaisų pavaizduotas 1 paveiksle. Kadangi šie prietaisai naudoja vaizdo kamerų informaciją, ją reikia apdoroti, todėl labai sunku sutalpinti visą

sistemą į vieną prietaisą, kurį galima dėvėti ant galvos, todėl neretai šie prietaisai turi papildomus komponentus, kurie atlieka skaičiavimus [1].



1 pav. "Tobii Glasses 2" akių sekimo akiniai [1]

Kita grupė dėvimų akių sekimo prietaisų yra elektrookulografiniai (angl. electrooculography arba EOG). Jie matuoja potencialus tarp akies ragenos ir tinklainės [1]. Gauti signalai yra apdorojami ir interpretuojami. Šis metodas labai jautrus įvairiems trikdžiams, kadangi matuojami potencialai yra labai maži $5\text{-}20\ \mu\text{V}$ vienam laipsniui [2]. Tokio tipo įrenginys pavaizduotas 2 paveiksle. Šis prototipas taip pat naudoja papildomą realaus laiko EOG signalo apdorojimo prietaisą. Šis prietaisas gali veikti daugiau negu 7 valandas.



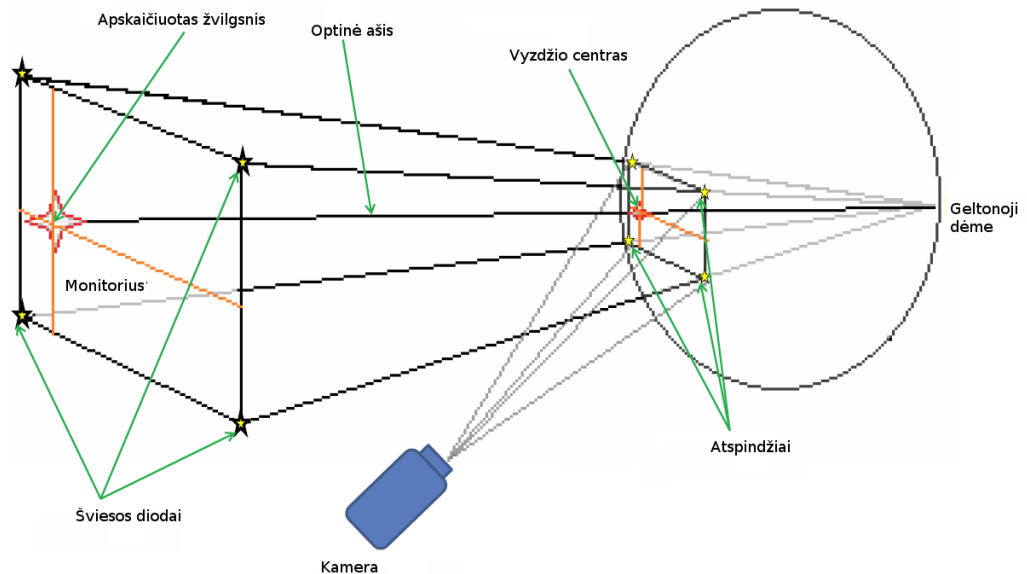
2 pav. EOG akiniai [1]

2.3. Infraraudonųjų spindulių šviesos diodais paremtos sistemos

2.3.1. Veikimo principas

Šios sistemos naudoja IR spindulių šviesos diodus, kurie apšviečia akis. Kadangi ši šviesa nėra matoma ir silpni IR diodai nėra kenksmingi žmogui, jie niekaip nekeičia vartotojo

iki tol įprasto naudojimosi kompiuterio ekranu. Įjungti šviesos diodai apšviečia žmogaus akį savo spinduliais, kurie atsispindi nuo akies. Šiuos atspindžius surinkti naudojama IR spindulius registruojanti kamera, kuri fiksuoja ir perduoda vaizdą valdančiai programai. Valdančioji programa analizuoja gautą vaizdą ir išmatavusi atstumus tarp šviesos diodų atspindžių akies paviršiuje, gali nusakyti žmogaus apytikslį žvilgsnį [3]. Šis metodas veikia puikiai kai galva yra stabilioje padėtyje ir nejuda. Šio metodo principinė schema pavaizduota 3 paveiksle.

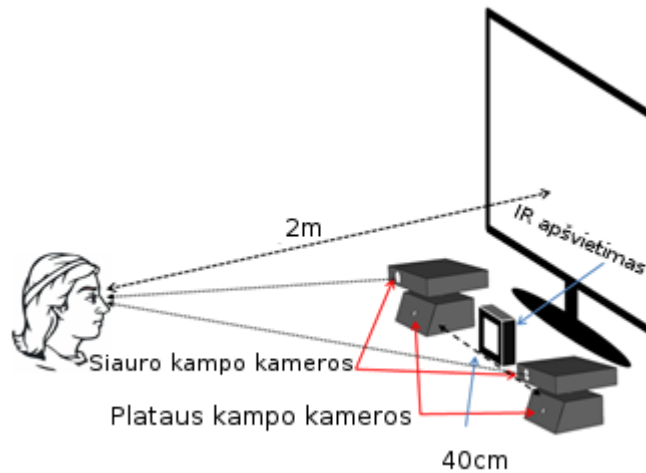


3 pav. IR spinduliais grįstos akių sekimo sistemos principinė schema [3]

Įprastai šios sistemos naudoja vieną kamerą ir šviesos diodus išdėstytus aplink kamerą ar ekrano kampuose. Tokios sistemos veikia su nedideliais ekranais ir nedideliu atstumu.

2.3.2. Dong-Chan Cho et al. akių sekimo sistema

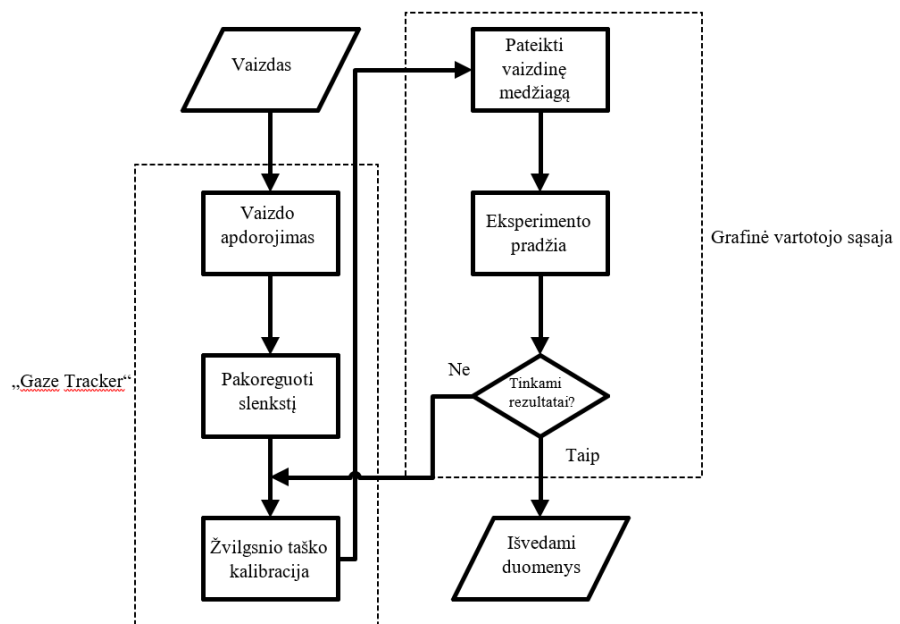
Dong-Chan Cho et al. [4] sukūrė sistemą leidžiančią atpažinti akies žvilgsnį dideliame ekrane ir dideliu atstumu. Tam buvo pasitelktos keturios kameros: dvi plataus kampo kameros skirtos nustatyti vartotojo veidui ir dvi siauro kampo kameros fiksuoti akių vyzdžiams. Siauro kampo kameros automatiškai nukreipiamos į kiekvieną vartotojo akį, kai tik veidas atpažįstamas plataus kampo kamerų. Šios sistemos schema pavaizduota 4 paveiksle. Atlikus tyrimą paaiškėjo, kad sistemos tikslumas siekia net 0,69 laipsnius 2 metrų atstumu nuo 1,5 m įstrižainės ekrano.



4 pav. Dideliu atstumu veikiančio akių sekimo sistemos schema [4]

2.3.3. Hong-Fa Ho akių sekimo sistema

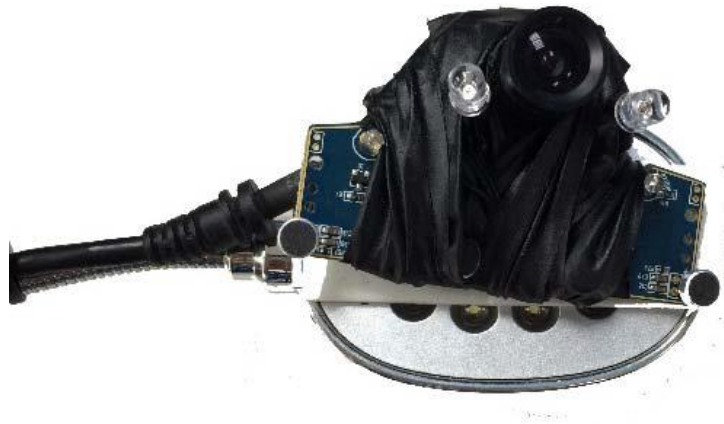
Hong-Fa Ho [5] kūrė pigų akių sekimo įrenginio variantą, kuris tuo pačiu būtų ir pakankamai tikslus. Jis naudojo GazeTracker atviro kodo PĮ vyzdžio atpažinimui ir savo sukurtą vartotojo sąsają. Sukurtos sistemos duomenų srautų diagrama pavaizduota 5 paveiksle.



5 pav. Sistemos duomenų srautų diagrama [5]

GazeTracker naudodamas kamerą užfiksuoja vartotojo akį, toliau akies atvaizdas apdorojamas, nufiltruojami triukšmai, apskaičiuojama vyzdžio centro pozicija. RANSAC metodu nustatomas vyzdžio kraštas, nubrėžiama elipsė ir nustatomas slenksčio dydis. Siekiant

nustatyti žvilgsnio vietą ekrane atliekamas sistemos kalibravimas naudojant kontrolinius taškus ekrane.



6 pav. Techninė įranga [5]

Techninę įrangą sudarė Kamera ir du 850 nm bangos ilgio šviesos diodai pritvirtinti šalia kameros (6 pav.).

Atlikus tyrimą Hong-Fa Ho nustatė, kad vidutinis nuokrypis nuo tikslo naudojant šią sistemą yra 1,2 laipsnio, visą įrangą galima įsigyti už 260 eurų ir mažiau.

2.3.4. Tobii X60

Tobii X60 [6] – tai pilna žvilgsnio sekimo sistema su 17 colių ekranu. Jo tikslumas siekia 0,5 laipsnio ir galimos 1 laipsnio klaidos dėl galvos judesių. Abiejų akių žvilgsnio sekimas atliekamas 60 Hz dažniu. Ši sistema savyje turi TET serverį, kuris gali siųsti žvilgsnio informaciją į bet kurį TCP/IP klientą. Tai leidžia pasiekti tikslesnių žvilgsnio sekimo prietaiso rodmenų, nes prietaisas nėra apkrautas skaičiavimais. Tačiau dėl šios architektūros atsiranda vidutinis 33 ms vėlavimas tarp žvilgsnio užfiksavimo ir žvilgsnio duomenų patekimo į duomenis analizuojantį kompiuterį.

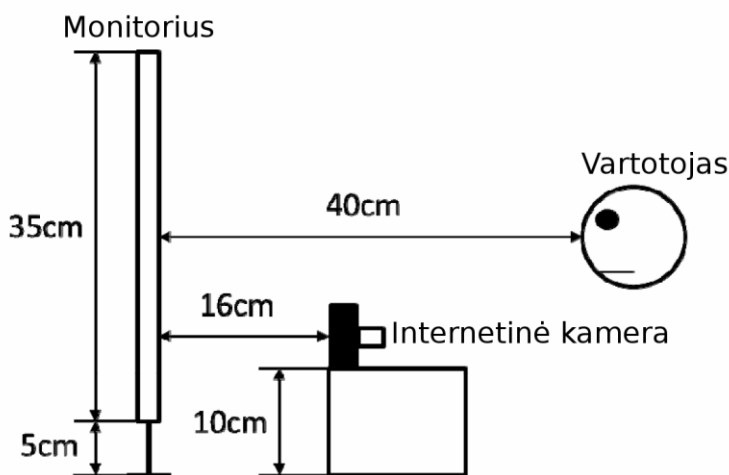
2.3.5. The Eye Tribe

The Eye Tribe [7] – nedidelis ($20 \times 1.9 \times 1.9$ cm) ir lengvas (70g) žvilgsnio sekimo įrenginys veikiantis infraraudonųjų spindulių ir kameros pagalba. Įrenginys yra pastatomas ant trikojo prieš monitorių. Žvilgsnis gali būti fiksuojamas iki 24 colių dydžio monitoriuje. Veikimo nuotolis 45-75 cm. Fiksuojama abiejų akių žvilgsnio informacija. Įrenginiui nereikalingas papildomas maitinimo šaltinis, nes reikiama energija perduodama per USB 3.0

jungtį. Įrenginys patrauklus savo maža kaina ir aukštu iki 0,5 laipsnių tikslumu. Įrenginys gali veikti 30 ir 60 Hz dažniais.

2.4. Žvilgsnio sekimas nenaudojant IR spindulių

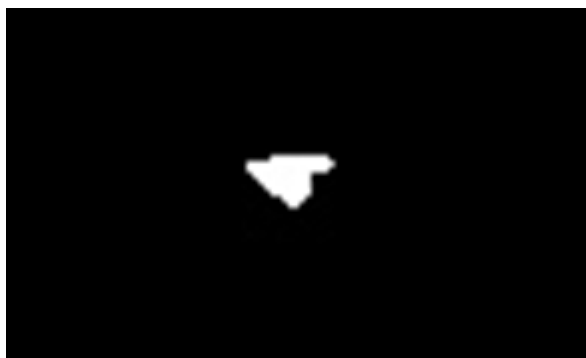
Dauguma sukurtų akių sekimo įrenginių naudoja IR diodus, tačiau tai nėra labai patogiu, kadangi reikalinga papildoma techninė įranga – tai IR šviesos diodai ir kameros, galinčios šią šviesą fiksuoti. Taip pat didelio intensyvumo IR spinduliai gali būti pavojingi regėjimui [8], nes žmogaus akys neturi receptorių jiems fiksuoti. Dėl šios priežasties akis negali nuo jų apsisaugoti, sumažindama į akį įeinančių spindulių kiekį, sumažinant vyzdį. Kazuki Fukushima ir Naruki Shirahama [9] kūrė sistemą, galinčią sekti akis naudojant įprastą kamerą. Kadangi tai nereikalauja papildomos techninės įrangos, ji iš karto galėtų būti taikoma įvairiose srityse, nes nešiojamieji kompiuteriai dažniausiai turi savyje kameras, o telefonai taip pat turi priekines kameras, kurios gali būti naudojamos žmogaus veido fiksavimui. Sistemos schema pavaizduota 7 paveiksle.



7 pav. Žvilgsnio sekimo nenaudojant IR spindulių schema [9]

Šiai sistemai itin svarbu, kad žmogaus galva nejudėtų, kadangi menkiausios nuokrypios nuo kalibravimo metu atliktų akių atvaizdų stipriai sumažina tikslumą. Taip pat sistemai įtaką daro ir aplinkos apšvietimas, todėl sistema veikia tik tinkamai apšviestose vietose.

Sistema akių atpažinimui naudoja atviro kodo OpenCV biblioteką. Atpažinus akį sudaromas jos binarinis atvaizdas (8 pav.) ir specialūs algoritmai apskaičiuoja žiūrėjimo kryptį.



8 pav. Akies binarinio atvaizdo pavyzdys [9]

Išbandžius šią sistemą paaiškėjo, kad susiduriama su problema vyzdžio atpažinimui, bei buvo didelis netikslumas, nes žvilgsnio nuokrypis nuo tikslo siekia net 25 centimetrus.

2.5. Smegenų-kompiuterio ir žvilgsnio sekimo kaip įvesties įrenginių palyginimas

Siekiant patobulinti žmogaus-kompiuterio bendravimo technologijas yra kuriama daugybė įrenginių. Dažniausiai šie įrenginiai vis tiek naudoja žmogaus motorinius gebėjimus mechaniškai judinti tam tikras svirtes ir mygtukus. Yra sukurta daugybė neįprastų įrenginių, tai įvairūs manipulatoriai, vairasvirtės ar pulteliai, tačiau jie mažai gelbsti žmonėms turintiems negalią. Vienas iš svarbių paminėti žmogaus-kompiuterio įvesties technologijų – tai elektroencefalografija. Ši technologija matuoja smegenų bangas naudodama prie galvos pritaisytus elektrodus.

Eman Albilali et al. [10] pastebėjo, kad mygtukų paspaudimai akių sekimo technologijose fiksuojami naudojant akies mirkstelėjimus arba tam tikrą laiką žiūrint į norimą paspausti objektą (angl. dwell time). Siekiant veiksmo ilgai stebint objektą, sunku nusakyti laiką po kurio turėtų būti įvykdytas veiksmas. Trumpas laikas lems nenorimų paspaudimų skaičiaus padidėjimą, o ilgas laikas lėtins produktyvumą, tačiau didins tikslumą. Šiose sistemose siekiama rasti kompromisą tarp greičio ir tikslumo.

Eman Albilali et al. atliko tyrimą, kuriame lygino akių sekimo efektyvumą lyginant su smegenų bangų impulsais paremta vartotojo įvestimi. Buvo bandoma 3x4 matricoje išdėstytus paveikslėlius parinkti naudojant akių sekimo prietaisą „Tobii x120“ ir „Emotiv EEG“ smegenų bangų sekimo prietaisą. Atlikus tyrimą paaiškėjo, kad naudojant akių sekimą vidutinis tikslumas buvo 92% o naudojant P300 smegenų bangas tik 32%. Vidutinis laikas pasirenkant veiksmą naudojant P300 buvo 39.14 sekundžių, o naudojant akių sekimą – vos 2 sekundės.

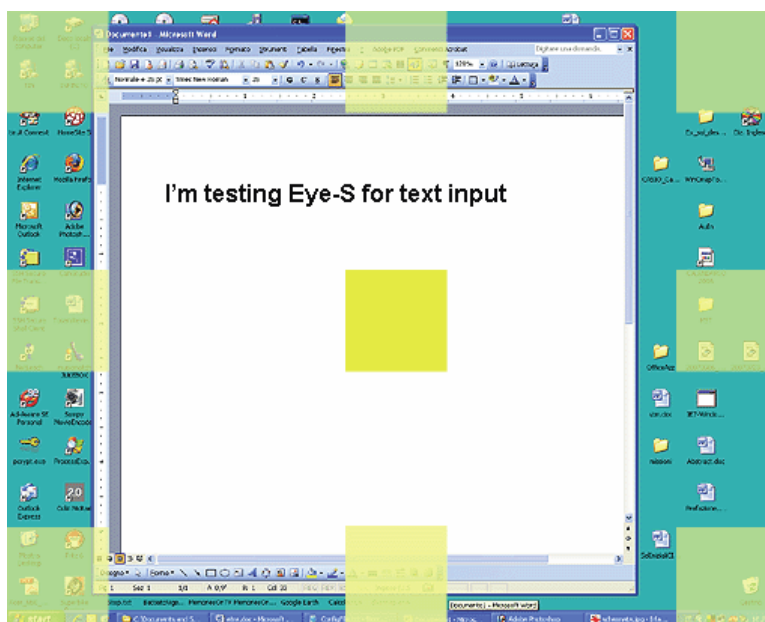
2.6. Teksto įvedimui skirtos sistemos

Teksto įvedimas – tai specifinė akių sekimo sistemų taikymo sritis. Šios sistemos vis labiau tobulėjančios ateityje gali pakeisti įprastą teksto įvedimą klaviatūra. Nors mobiliuose įrenginiuose mechaninės klaviatūros jau baigia išnykti, tačiau principas, kad žmogus simbolius įveda savo pirštais spausdamas aktyvias ekrano sritis išlieka. Toks teksto įvedimas yra nepatogus naudojant pirštines, arba kai abi rankos yra užimtos. Tobulėjant žvilgsnio sekimo sistemoms ir pasiekus pakankamą tikslumą buvo pradėtos kurti sistemos leidžiančios įvesti tekstą naudojant akių judesius.

Viena iš sistemų – tai projektas „Dasher“ [11]. Ši sistema leidžia įvesti tekstą naudojant žvilgsnio sekimą arba smegenų bangas. Ji unikali tuo, kad yra sudaromos tikimybės kaip dažnai raidės gali pasirodyti žodyje ir jas automatiškai siūlo.

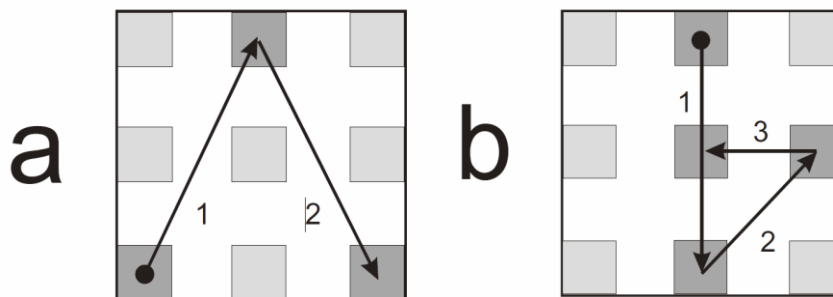
2.6.1. Eye-S teksto įvedimo sistema

Eye-S [12] – tai Pavijos universitete (Italija) sukurta sistema (9 pav.) leidžianti vartotojui įvesti tekstą ir pagrindines komandas naudojant žvilgsnio sekimą. Dažniausias akių sekimo pritaikymas – tai ekrane rodomos klaviatūros ir žvilgsnio sustojimo ant mygtuko technika. Kurį naudojant veiksmai atliekami tam tikrą laiką žvelgiant į atitinkamas raides ar komandas mygtuką ekrane. Yra sprendimų kurie leidžia sumažinti laukimo laiką, tačiau tuomet naudojamas kitas būdas komandai užfiksuoti (mygtukas, mirkstelėjimas ar veido raumenų sutraukimas).



9 pav. Eye-S sistemos vaizdas [12]

Kitas būdas įvesti komandoms yra raidžių, ar jų dalių piešimas akimi. Pagrindinis šios technikos pranašumas – ekrano neužima jokia klaviatūra ir ekrane galima rodyti daugiau turinio. Šią sistemą sudaro ekrane esančios 9 aktyvios zonos (9 pav.). Šios zonos yra nematomos vartotojui, tačiau lengvai nuspėjamos ir vartotojui dėl to nekyla jokių problemų. Įvedant tekstą reikia į pirmą sritį pažvelgti tarkime 400 ms, toliau žvelgiant į sekancias sritis nupiešiama raidė ir ji atpažįstama. Sistemos raidžių pavyzdžiai 10 paveiksle.



10 pav. Eye-S raidžių įvedimo pavyzdžiai [12]

2.6.2. EyeBoard teksto įvedimo Sistema

Prateek Panwar et al. [13] Sukūrė sistemą EyeBoard, (programos langas pavaizduotas 11 paveiksle.) kuri turi optimizuotą mygtukų išdėstymą ekrane atsižvelgiant į akių judesius.



11 pav. EyeBoard teksto įvedimo Sistema [13]

Sistema automatiškai prisitaiko prie individualaus žmogaus žvilgsnio laiko, todėl žmogus sistemą gali išnaudoti pilnai pagal savo galimybes. Ją teigimu šią sistemą galima pritaikyti ir mažus ekranus turintiems prietaisams, tokiems kaip mobilieji telefonai, planšetiniai ar delniniai kompiuteriai. Raidžių išdėstymas yra optimizuotas kuo mažesniems

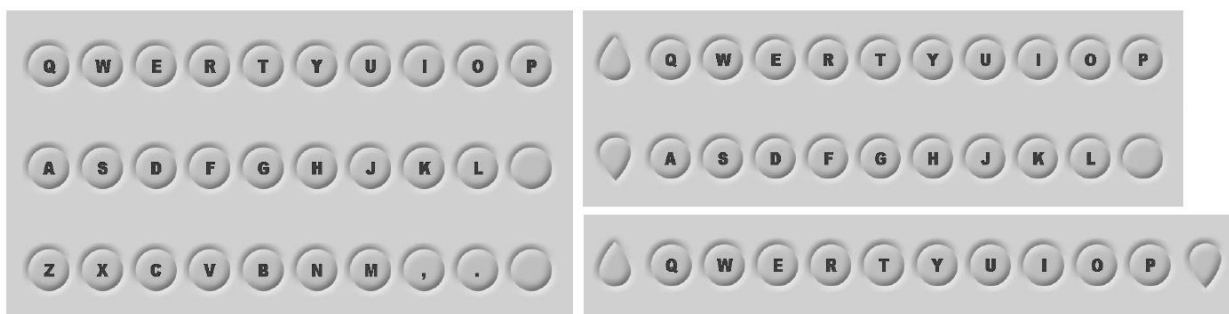
akių judesiams, dažnai naudojamos raidės yra greta. Toks raidžių išdėstymas yra patogus kur naudojamas vieno mygtuko paspaudimo vienu metu principas. Tai leidžia patogiai įvesti tekstą naudojant pelę, vieną pirštą ar žymeklį (angl. *stylus*). Kuriant sistemą jie naudojo modifikuotą „Fitaly“ raidžių išdėstymą.

Atlikus tyrimą paaiškėjo, kad tokia vartotojo sąsaja 14% padidino teksto įvedimo greitį, lyginant su tuometinėmis teksto įvedimo sistemomis.

2.6.3. O. Špakov ir P. Majaranta sukurta slanki klaviatūra

O. Špakov ir P. Majaranta [14] pasiūlė naudoti slankiąją klaviatūrą teksto įvedimui, kadangi pilną klaviatūrą rodyti ekrane yra sudėtinga, nes žvilgsniu paremtoms įvedimo sistemoms reikalingi dideli mygtukai arba labai tikslių žvilgsnio sekimo prietaisų. Didelį plotą užimančios klaviatūros palieka mažai vietos kitoms programos dalims ekrane. Mokslininkai tyrė dviejų tipų slankias klaviatūras: dviejų ir vienos eilės mygtukų išdėstymus (12 pav). Pašalinus eilę mygtukų, teko pridėti papildomą mygtuką jai paslinkti, kad būtų galima pamatyti nematomą mygtukų eilę. Juostų slankumas yra cikliškas – nematomą juostą galima pamatyti slenkant žemyn arba aukštyn.

Tyrimo metu išsiaiškinta, kad vidutinis įvedimo greitis naudojant 3 eilių klaviatūrą 14,95, 2 eilių – 11,17 ir 1 eilės – 7,26 žodžiai per minutę.



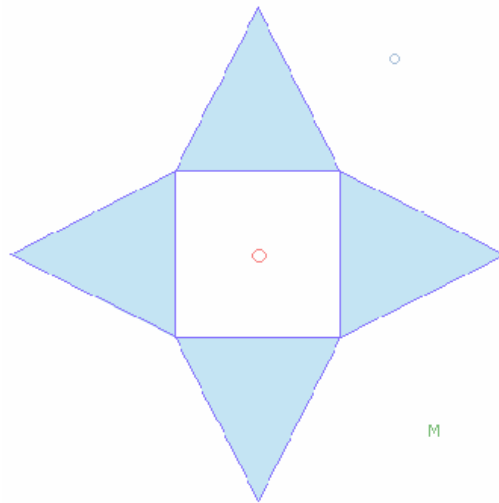
12 pav. Pilna 3 eilių klaviatūra, 2 ir 1 eilės slankiosios klaviatūros [14]

2.7. Kiti žvilgsnio sekimo įrenginių taikymai

2.7.1. ceCursor

ceCursor [15] – tai akių sekimu pagrįstas žymeklio valdymas „Windows“ aplinkoje. Pagrindinis šios sistemos elementas – tai pusiau permatoma rodyklių žvaigždė (13 pav.). Jos pagalba pelės žymeklį galima slinkti į norimą pusę. Žvelgiant į žvaigždės centą išskviečiamas aktyvus pelės mygtuko paspaudimas. „M“ Raidė apatiniame dešiniame kampe leidžia

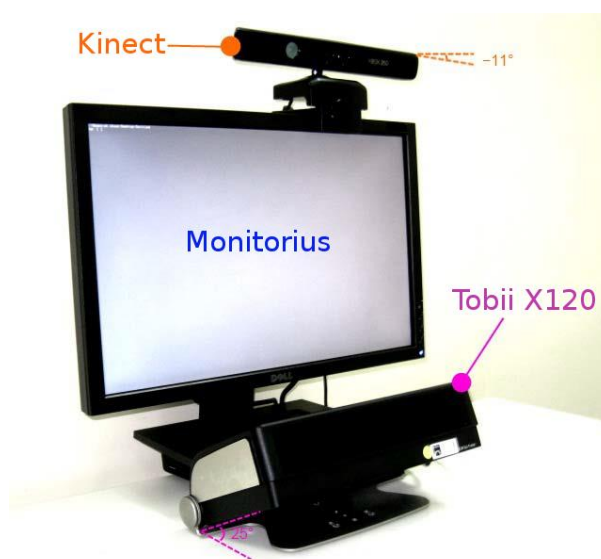
pasirinkti pelės mygtuką, kuris bus paspaustas žiūrint į žvaigždės centą. „O“ raidė dešiniajame viršutiniame kampe leidžia išjungti pelės valdymą, jei norime atlikti kitus veiksmus, pavyzdžiui skaityti. Jei žiūrima už žvaigždės ribų, žymeklis perkeliamas į žiūrimą vietą. Sistema atpažįsta darbastalio ikonas, todėl žiūrint į jas žymeklis prilimpa ir galima pažingsniui keliauti per visas ikonas.



13 pav. ceCursor [15]

2.7.2. Žvilgsnio sekimas su rankų sekimu žymeklio valdymui

Ngip-Khean Chuan ir Ashok Sivaji [16] sujungė dvi technologijas – tai žvilgsnio sekimas ir rankų judesių atpažinimo technologijas vienam tikslui – pelės žymeklio valdymui. Šiam tikslui pasiekti buvo naudojamas monitorius, šalia kurio pritaisytas rankų judesių sekimo prietaisas „Kinect“ ir akių sekimo įrenginys „Tobii X120“ (14 pav.).



14 pav. Sistemos techninė įranga [16]

Šiuo metodu siekiama gerokai padidinti tikslumą. Žvilgsnio sekimas naudojamas stumdyti po ekraną interaktyviai sričiai, kurioje rankų judesiais galima valdyti pelės žymeklį. Atsiradusi antra ranka inicijuoja pelės mygtukų paspaudimus. Atlikę tyrimą, Ngip-Khean Chuan ir Ashok Sivaji išsiaiškino, kad jų sukurtu metodu galima greičiau ir tiksliau valdyti pelės žymeklį, lyginant su vien rankomis valdomu žymekliu.

2.8. Įgyvendinimo problemos

Realizuojant sistemas iškyla įvairių problemų dėl techninės įrangos ar žmogaus fiziologinių savybių. Keletą šių problemų apžvelgė Päivi Majaranta ir Kari-Jouko Rähä [17]:

- **Akies tikslumas.** Žvilgsnis yra labai greitas, lyginant su kompiuterine pele ar kitais prietaisais, tačiau žvilgsnis nėra toks tikslus ir yra apribotas iki 0,5 laipsnio dėl akies savybių.

- **Prietaisų tikslumas.** Gerai sukalibruotas prietaisas iš pradžių yra tikslus, tačiau po kurio laiko jis sumažėja dėl galvos nukrypimo nuo vietos, kurioje buvo sukalibruotas prietaisas. Naudojant akių sekimą pelės žymeklio valdymui, jei žymeklis matomas vartotojui, jis gali nukreipti dėmesį ir tikslas nebus pasiektas. Pelės žymeklis neretai nesutampa su vartotojo žvilgsniu, todėl reikalingos papildomos automatinės kalibracijos po kiekvieno sėkmingo pasirinkimo.

- **Ilgos žvilgsnio fiksacijos (angl. *dwell time*).** Žmogaus akys į daiktus žiūri juos fiksuodamos – t. y. tam tikrą laiką nejudinama akis (įprastai 200–600ms). Tarp fiksavimų akis šokinėja nuo vieno taško prie kito. Šie šuoliai vadinami sakadomis. Tai balistiniai judesiai, trunkantys 30–120 milisekundžių. Šių šuolių negalima nei sustabdyti, nei pakeisti jų krypties šuoliui prasidėjus. Žvilgsnio kelias susideda iš fiksavimų ir sakadų. Informacija į akis patenka tik fiksacijų metu. Ilgos žvilgsnio fiksacijos (angl. *dwell time*), tai ilgesnės už įprastas fiksacijos. Jos plačiausiai naudojamos mygtukų paspaudimų imitacijoms. Kuo trumpesnis šis laikas, tuo greičiau galima vykdyti komandas. Patyrusių vartotojų šis laikas yra mažas. Didžiausias laikas dažniausiai būna iki sekundės. Realizuojant teksto sekimo sistemas šis dydis labiausiai lemia įvedamo teksto greitį. Tačiau mažas dydis lemia didelį netyčinių paspaudimų skaičių. Todėl ieškoma kompromiso, kartais taikomas prisitaikantis prie konkretaus žmogaus ilgos žvilgsnio fiksacijos laikas.

- **Mirkitelėjimų filtravimas.** Kaip alternatyva ilgai žvilgsnio fiksacijai naudojami mirkitelėjimai. Šioje srityje labai svarbu atskirti tyčinius žmogaus mirkitelėjimus nuo natūraliųjų.

- **Atgalinis ryšys.** Naudojant įprastą klaviatūrą, mygtukai jaučiami pirštais, tačiau sekant žvilgsniu šis atgalinis ryšys turi būti vaizduojamas grafiškai. Jei šio atgalinio ryšio nėra vartotojas yra nežinioje ir nežino ar su reikiamu objektu jis sąveikauja.

- **Simbolių išdėstymas.** Neįgaliesiems ne visuomet yra patogiau mums įprasta QWERTY klaviatūra. Kadangi šie žmonės negali naudotis įprastomis klaviatūromis, jiems tenka mokytis šios raidžių tvarkos, todėl abėcėliniame raidžių sąrašė naviguoti jiems yra paprasčiau. Naudojant skenavimo išrinkimo metodą dažniausiai naudojamos raidės yra arčiau skenavimo pradžios. Raidės taip pat gali būti išdėstomos pagal naudojimo dažnumą ir pan. Tačiau tokie išdėstymai priklauso nuo konkrečios naudojamos kalbos, t. y. jei raidžių išdėstymas optimizuotas anglų kalbai, jis gali netikti lietuvių kalbai.

- **Priartinimas.** Teksto redaktoriuose yra pilna mažų elementų, kurie priklauso vartotojo sąsajai. Žvilgsnio sekimo technologijos nėra tokios pažangios, kad būtų galima pasirinkti mažus elementus, todėl pilnavertė sistema turi turėti priartinimo galimybę, kuri leistų šiuos elementus pasiekti. Taip pat dėl šios priežasties visa žvilgsniu valdoma vartotojo sąsaja turi turėti didelius mygtukus, kad būtų galima be klaidų juos pasiekti.

Greitis. Žvilgsnio sekimu paremtos sistemos yra nepopuliarios ir nepakeis įprastinės klaviatūros, kol įvedimo greitis nebus artimas įprastinei klaviatūra įvedamo teksto greičiui. Atlikti tyrimai parodė, kad žvilgsniu galima įvesti vieną simbolį per sekundę. Todėl teoriškai įmanoma įvesti 60 simbolių per minutę, tačiau praktiškai įvedimo greitis yra mažesnis, įprastai vienas ar keli žodžiai per minutę. Tai labai lėtai palyginus su įprastiniu teksto įvedimu.

2.9. Srities analizės rezultatų apibendrinimas ir išvados

Žvilgsnio sekimo įrenginių analizės rezultatai apibendrintai pateikiami 1 lentelėje.

1 lentelė. Žvilgsnio sekimo įrenginių palyginamoji lentelė

Sistema	Tipas	Tikslumas	Dažnis, Hz	V. atstumas	Kaina	Nuoroda
Tobii Glasses 2	Dėvimas	N. d.	50 arba 100	Neribotas	~ 13 000 €	[1]
ETH EOG Glasses	Dėvimas	Aptinkama tik kryptis	100-250	Neribotas	N. d.	[1]
Dong-Chan Cho et al.	Nuotolinis	0,69 °	N. d.	1,5-2,5m	N. d.	[4]
Hong-Fa Ho	Nuotolinis	1,2°	N. d.	0,6m	~ 270 €	[5]
Tobii X60	Nuotolinis	0,5°	60	0,65m	~ 26 000 €	[6]
The Eye Tribe	Nuotolinis	0,5°	30 arba 60	0,45-0,75m	~ 90 €	[7]
K. Fukushima ir N. Shirahama	Nuotolinis	32°	N. d.	0,4 m	N. d.	[9]

Teksto įvedimo sistemų analizės rezultatai apibendrintai pateikiami 2 lentelėje.

2 lentelė. Teksto įvedimo sistemų naudojančių žvilgsnio technologijas palyginimas.

Sistema	Sąsajos tipas	Raidžių išdėstymas	Žodynas	Įvedimo greitis	Nuoroda
Dasher	Slenkančios raidės	Pagal dažnumą	Yra	25 ŽPM	[11]
Eye-S	Aktyvios zonos ekrane	Nėra, vartotojas piešia raides	Nėra	6,8 ŽPM	[12]
EyeBoard	Visi mygtukai	FITALY	Nėra	5,71 ŽPM	[13]
O. Špakov su P. Majaranta	Dalis mygtukų	QWERTY	Nėra	7,26 ŽPM	[14]

Remiantis analizės rezultatais galima formuluoti tokias išvadas:

- Žvilgsnio sekimo techninė įranga pakankamai tiksli, kad būtų galima atlikti teksto įvedimą ar kompiuterio valdymą.
- Realizuota nemažai teksto įvedimo sistemų, tačiau nė viena neprilygsta tradiciniam teksto įvedimui klaviatūra.
- Susiduriama su nemažai problemų, siekiant sukurti efektyvią teksto įvedimo sistemą.
- Efektyvu sujungti dvi technologijas, siekiant pagerinti greitį ir tikslumą.
- Šiuo metu tiksliausi įrenginiai naudoja IR spindulius.

Remiantis šiomis išvadamis teksto įvedimo sistemos realizacijai pasirinktas „The Eye Tribe“ įrenginys. Sąsajai realizuoti pasirinkti sprendimai su statiniu raidžių išdėstymu ir slenkančia raidžių juosta. Teksto įvedimo greičiui padidinti nuspręsta į sistemą įtraukti adaptyvaus įvedimo greičio valdymo ir žodžių pasiūlymo iš žodyno funkcijas.

3. TEKSTO ĮVEDIMO SISTEMOS PROJEK TINĖ DALIS

3.1. Sistemos paskirtis

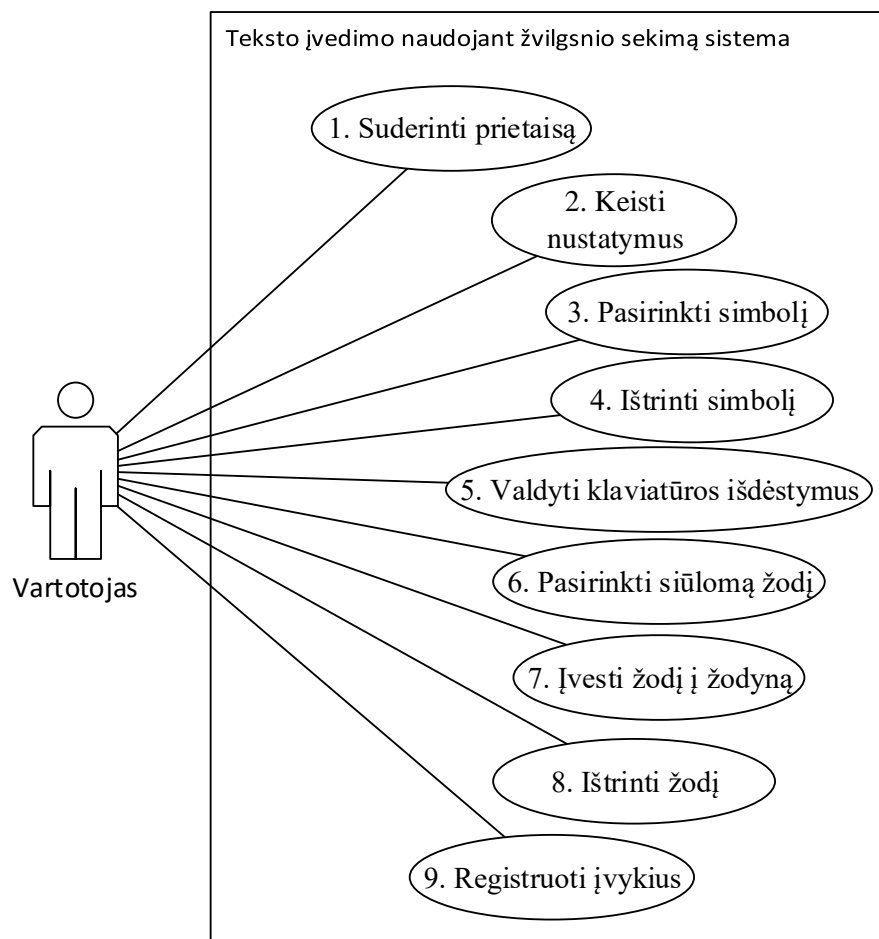
Sistemos taikymas gali palengvinti teksto įvedimą vietose, kuriose klaviatūros yra nepatogios, ar nėra galimybės ją naudoti. Sukūrus tokią sistemą ir ištobulėjus akių sekimo technologijai, būtų galima atsisakyti nuotolinio valdymo pultų, naudojamų buitinėje elektronikoje. Atsirastų galimybė tekstą įvedinėti visuose išmaniuosiuose įrenginiuose, sumažinant įrenginių mygtukų skaičių.

Teksto įvedimo sistema leidžia priimti signalus iš žvilgsnio sekimo įrenginio ir juos paverčia valdymo komandomis tekstui įvesti. Valdymo komandomis galima įvesti tekstą paraidžiui arba rinktis žodžius iš turimo žodyno. Sistemos vartotojas turi galimybę nustatyti daugelį sistemos parametrų, tokių kaip klaviatūros išdėstymas, įvedimo greitis, įvedimo režimas ar kalba. Sistemoje taip pat realizuota adaptyvi žvilgsnio trukmė, kuri prisitaiko prie vartotojo ir leidžia tekstą įvesti jam patogiu greičiu. Sistema glaudžiai susijusi su žvilgsnio sekimo įrenginiu „The Eye Tribe“, kuriuo remiantis buvo sukurta sistema.

3.2. Sistemos panaudos atvejų diagrama

15 paveiksle pateikiami esminiai sistemos panaudojimo atvejai. Vartotojas turi galimybę pasirinkti tokius sistemos panaudojimo atvejus:

1. Suderinti prietaisą
2. Keisti nustatymus
3. Pasirinkti simbolį
4. Ištrinti simbolį
5. Valdyti klaviatūros išdėstymą
6. Pasirinkti siūlomą žodį
7. Įvesti žodį į žodyną
8. Ištrinti žodį
9. Registruoti įvykius



15 pav. Sistemos panaudos atvejų vaizdas

3.3. Funkciniai reikalavimai

Pagrindinės sistemos funkcijos:

- *Prietaiso derinimas.* Siekiant užtikrinti sistemos tikslumą, reikalingas prietaiso derinimas. Kuo tiksliau suderintas prietaisas, tuo tiksliau bus atpažįstamas žvilgsnis. Maksimalus tikslumas yra 0,5 laipsnio.
- *Sistemos nustatymų keitimas.* Norint užtikrinti patogų vartotojo darbą, jis turi galėti keisti sistemą pagal numatytus nustatymus. Galimi nustatymai: kalba, raidžių išdėstymas, įvesties režimas, žvilgsnio glotninimo lygis, žvilgsnio fiksavimo trukmė, sąsajos greitis.
- *Sistemos nustatymai išsaugomi išjungiant sistemą.* Sistema turi atsiminti paskutinius vartotojo įvestus nustatymus tarp sistemos paleidimų, tai suteikia galimybę vartotojams tik vieną kartą nustatyti sistemą ir toliau visuomet naudotis tuo pačiu nustatymų rinkiniu.

- *Pasirinkti simbolį.* Sistemos pagrindinė paskirtis – teksto įvedimas, todėl būtina galimybė išrinkti simbolį. Simbolių išrinkimas galimas dvejose sąsajose.
- *Ištrinti simbolį.* Įvedus klaidingą simbolį, turi būti galimybė jį ištaisyti ištrinant paskutinį įvestą simbolį. Simbolio ištrynimasis gali būti realizuotas kaip simbolio pasirinkimas, tačiau su simbolio trynimo komanda.
- *Registruoti įvykius.* Teksto įvedimo metu turi būti fiksuojama informacija apie vartotojo padarytus veiksmus, kuri vėliau gali būti analizuojama. Įvykių fiksavimas pradedamas nurodžius teksto įvedimo pradžią ir pabaigą.
- *Pasirinkti žodį iš žodyno.* Sistemoje turi būti galimybė įvesti žodį iš turimo žodyno, siekiant pagreitinti teksto įvedimą. Žodžiai siūlomi pagal jų naudojimo dažnumą.
- *Įvesti žodį į žodyną.* Įvedami žodžiai turi automatiškai papildyti žodyną tolesniam jų naudojimui. Taip dažnai vartotojo naudojami nesantys žodyne žodžiai gali būti įvedami greičiau negu renkant juos paraidžiui.
- *Ištrinti žodį.* Įvedus neteisingą žodį, turi būti galimybė ištrinti visą žodį, taip pagreitinant klaidų šalinimą iš įvedamo teksto.

3.4. Nefunkciniai reikalavimai

3.4.1. Reikalavimai sistemos išvaizdai

- Sistemos vartotojo sąsaja turi būti pritaikyta ją naudotis, naudojant žvilgsnio sekimo prietaisą.
- Sistema turi neišsiskirti iš standartinės Windows aplinkos.

3.4.2. Reikalavimai panaudojamumui

- Mygtukų esančių vartotojo sąsajoje funkcija turi būti nuspėjama.
- Sistema turi būti greitai išmokstama naudotis įprastam kompiuterio naudotojui.
- Sistemoje neturi būti vartojami nepriimtini visuomenei žodžiai. Sistemoje yra galimybė žodyną pildyti naujais žodžiais, todėl nuo vartotojo priklauso siūlomų žodžių turinys.

3.4.3. Reikalavimai vykdymo savybėms

- Siūlomi žodžiai turi atsirasti per vartotojui priimtina laiką. Siekiant padidinti įvedimo greitį, vartotojui siūlomi žodžiai po naujo simbolio įvedimo turi atsinaujinti greičiau nei per 1 s.

- Sistema turi palaikyti maksimalų prietaiso tikslumą, kad nebūtų prarandama prietaiso siunčiama informacija.
- Sistema turi gebėti apdoroti pilną vienos kalbos žodyną vienu metu. Sistema vienu metu naudojama tik viena kalba, todėl reikalingas visiškas vienos kalbos žodžių palaikymas. Sistema turi tinkamai veikti su žodynu iki 150 000 žodžių. Didesnis žodynas gali reikšti nežymų sistemos sulėtėjimą.
- Turi būti galimybė išplėsti kitais kompiuterio valdymui skirtais moduliais.

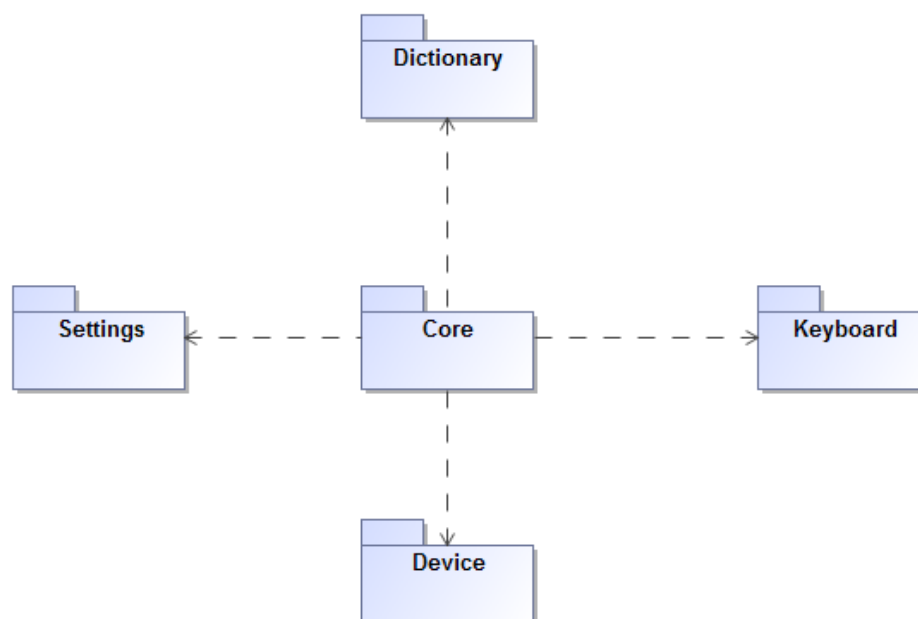
3.4.4. Reikalavimai veikimo sąlygoms

- Sistema turi veikti įprastomis namų sąlygomis, kadangi numatyti sistemos vartotojai yra įprasti kompiuterio naudotojai.
- Sistema turi būti galima perkelti į kitą kompiuterį naudojant atmintuką. Sistema neturi reikalauti daugiau negu 100MB vietos kietajame diske.
- Sistema turi veikti „Windows 8.1“ ar naujesnėje operacinėje sistemoje
- Sistema turi veikti su žvilgsnio sekimo prietaisu „The Eye Tribe“.
- Prietaisui prijungti prie kompiuterio reikalinga USB 3.0 jungtis.

3.5. Sistemos architektūros modelis

3.5.1. Sistemos skirstymas į paketus

Sistema suskaidyta į 5 paketus:

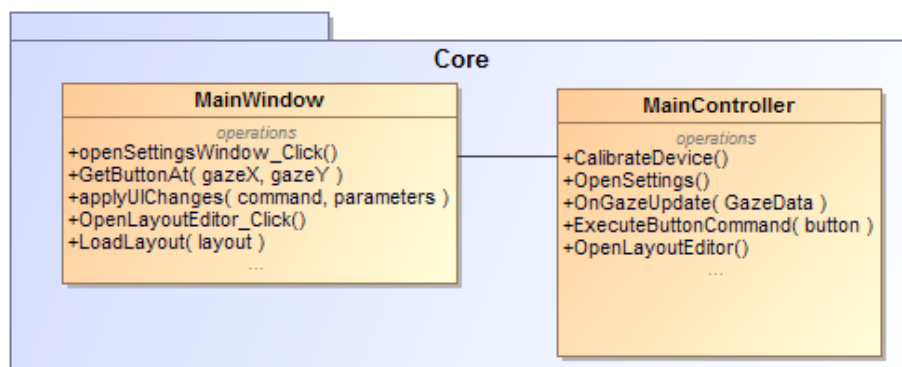


16 pav. Paketų diagrama

3.5.2. Paketų detalizavimas

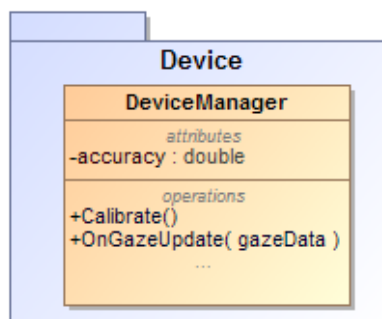
Kiekvienam paketui pateikiamas jo trumpas aprašymas ir klasių diagrama:

Paketas „**Core**“ (17 pav.) skirtas sujungti visus sistemos komponentus į visumą bendram darbui. Jis atsakingas už pagrindinį programos veikimą ir bendravimą tarp kitų paketų. Jis taip pat atsakingas už pagrindinį programos langą.



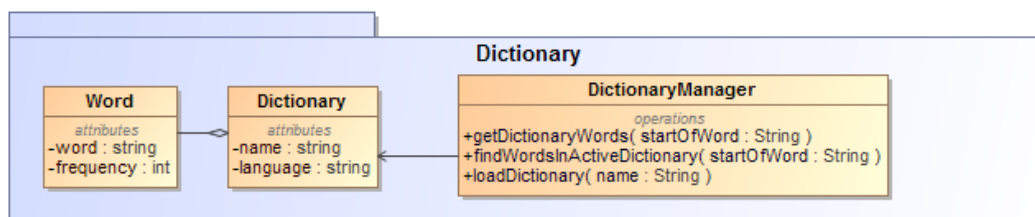
17 pav. Paketo „Core“ klasių diagrama

Paketas „**Device**“ (18 pav.) skirtas bendravimui su akių sekimo įrenginiu. Jis atlieka tarpininko tarp sistemos branduolio ir prietaiso vaidmenį. Jame apdorojami prietaiso siunčiami duomenys ir perduodami kitoms programos dalims.



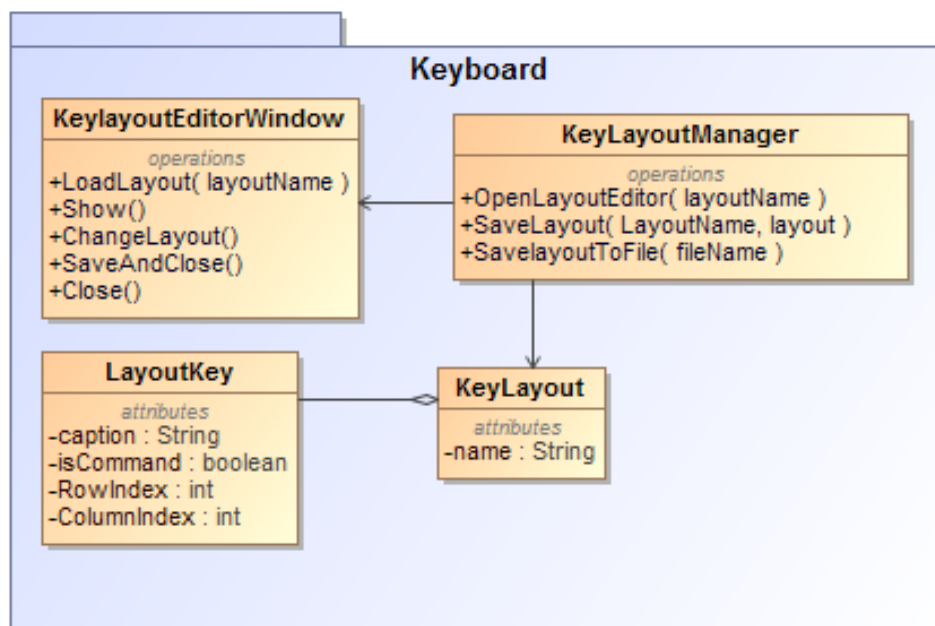
18 pav. Paketo „Device“ klasių diagrama

Paketas „**Dictionary**“ (19 pav.) skirtas valdyti žodynams ir žodžiams. Jis atsakingas už siūlomus žodžius bei siūlomų žodžių dažnumo skaičiavimus.



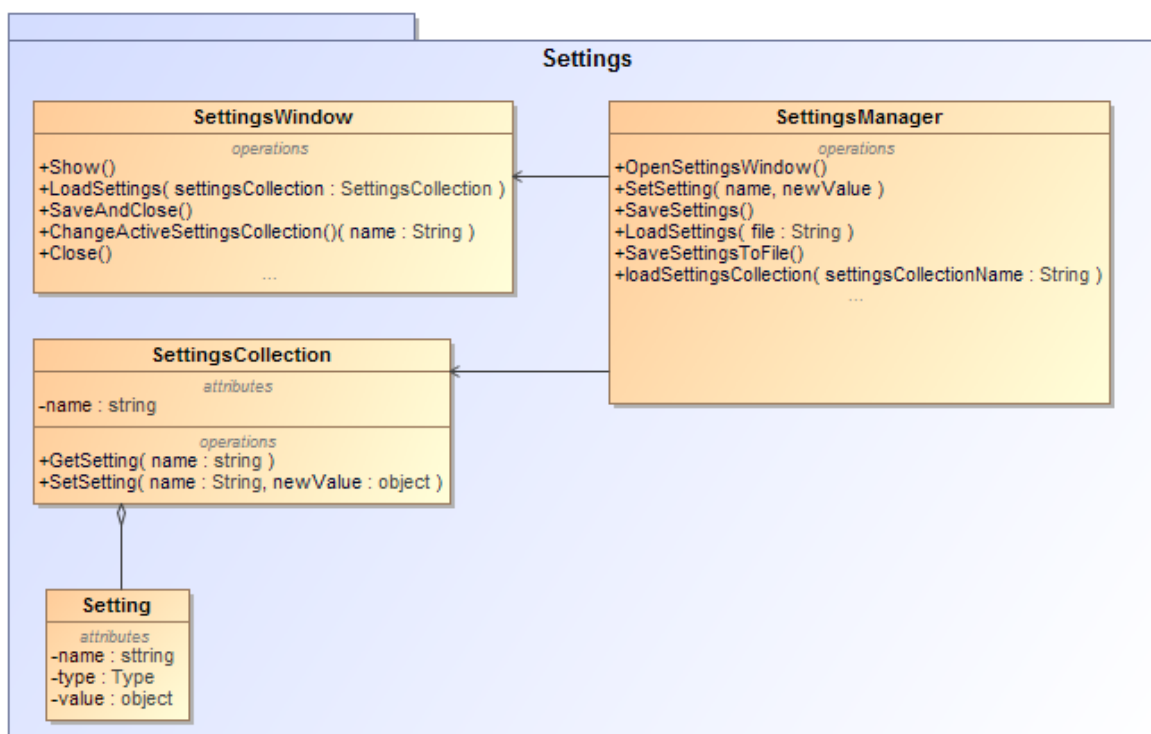
19 pav. Paketo „Dictionary“ klasių diagrama

Paketas „**Keyboard**“ (20 pav.) skirtas ekrane matomos klaviatūros valdymui. Ji atsakinga už klaviatūros išdėstymus, mygtukus ir išdėstymų redaktorių.



20 pav. Paketo „Keyboard“ klasių diagrama

Paketas „**Settings**“ (21 pav.) skirtas valdyti programos nustatymams. Jis atsakingas už programos nustatymus bei jų rinkinius.



21 pav. Paketo „Settings“ klasių diagrama

3.6. Naudojami trečiųjų šalių komponentai

Kuriant sistemą panaudoti šie trečiųjų šalių komponentai:

„CsvHelper“ (<https://joshclose.github.io/CsvHelper/>) – realizuoti detaliai įvykių informacijai(logs) į csv failą.

„TETControls“ (<https://github.com/EyeTribe/tet-csharp-samples/tree/master/TETControls>) – realizuoti kalibravimui ir vaizduoti žvilgsnio poziciją prietaiso atžvilgiu.

„TETSharpClient“ (<https://github.com/EyeTribe/tet-csharp-client>) – C# biblioteka bendravimui su įrenginiu.

3.7. Naudojama aparatūrinė įranga

3.7.1. „The Eye Tribe“ įrenginys

„The Eye Tribe“ (22 pav.) – tai žvilgsnio sekimo įrenginys prie kompiuterio jungiamas naudojant USB 3.0 sąsają todėl jam nereikalingas papildomas maitinimo šaltinis. Įrenginys veikia naudodamas infraraudonuosius spindulius ir kamerą, kuri fiksuoja nuo akies atsispindėjusius spindulius ir pagal akies atvaizdą nustato žvilgsnio kryptį. Šis įrenginys gali veikti su ekranais iki 24 colių įstrižaine ir pasiekti maksimalų 0.5 laipsnio tikslumą. Įrenginys gali veikti 30 ir 60 Hz dažniu. Prieš naudojimą reikalingas kalibravimas, kad būtų tiksliai nustatoma ekrano, įrenginio ir žmogaus pozicijos ir žvilgsnio sekimas būtų kuo tikslesnis. Gamintojas pateikia ir API C#, C++ ir Java kalboms.



22 pav. „The Eye Tribe“ įrenginys

4. TEKSTO ĮVEDIMO SĄSAJOS EKSPERIMENTINIS TYRIMAS

4.1. Teksto įvedimo eksperimentai

4.1.1. Tyrimo dalyviai

Eksperimentas buvo atliekamas su atsitiktinai parinktais 8 sveikais žmonėmis, jų amžius nuo 28 iki 39 metų. Iš jų 3 buvo vyrai ir 5 moterys. Žmonės neturėjo patirties su tiriamą tekstą įvedimo sistema. 2 subjektai turėjo koreguotą regėjimą, 6 – nekoreguotą, tačiau eksperimentas buvo atliekamas nenaudojant korekcinių lęšių ar akinių.

4.1.2. Tyrimui naudoti tekstai

Tyrimo subjektams buvo pateiktas 256 simbolių, 48 žodžių tekstas įvedimui:

Yes, I am playing.

Please call tomorrow if possible.

Hope your trip to Florida was good.

She called and wants to come over this am.

I am walking in now.

Tell her to get my expense report done.

Could you try ringing her?

Should systems manage the migration?

4.1.3. Tyrimo eiga

Eksperimentas pradamas nuo pasiruošimo. Pirmiausia su kiekvienu eksperimento dalyviu atliekamas 9 taškų kalibravimas, kuris suderina sistemą prie konkretaus žmogaus ir tuo metu esančio monitoriaus, žvilgsnio sekimo prietaiso ir žmogaus padėties. Žmogus supažindinamas su įvedamu tekstu.

Įvedimas pradamas po mygtuko „Start logging“ paspaudimo, o užbaigiamas paspaudus „Stop“ mygtuką. Visa su įvedimu susijusi informacija išsaugoma dviejuose failuose, viename bendra visos sesijos informacija, kitame visų sesijos įvedimo įvykių informacija.

Eksperimento metu buvo tokie sistemos nustatymai:

Kalba: Anglų

Įvedimo režimas: Slankioji juosta

Žvilgsnio trukmė(*Dwell time*): 740 – 1190 ms

Raidžių išdėstymas juostoje: WVXQZGKJBURE STHANDICOFMPL,?! Šis išdėstymas yra parinktas pagal simbolių dažnumą kalboje.

Klaidų taisymo metodas: Levenšteino atstumas

Žvilgsnio glotninimas: 16 taškų. Glotninimas atliekamas suskaičiuojant vidurkį iš paskutinių žvilgsnio koordinatinių.

Žvilgsnio trukmės režimas: Adaptyvus, po kiekvieno sėkmingo įvedimo atimamas laikas, po klaidos ištaisymo pridedamas.

Sėkmės atveju atimamas žvilgsnio laikas: 10 ms

Klaidos atveju pridedamas žvilgsnio laikas 50 ms

Laikas kol paspaudžiamas tas pats mygtukas iš eilės: 1750 – 2530 ms

Slankios juostos greitis: 10. Šis skaičius parodo, koku greičiu juda raidžių juosta. Skaičiuojamas X koordinatės atstumas nuo centrinės juostos iki suglotninto žvilgsnio taško ir gautas rezultatas padalinamas iš slankios juostos greičio reikšmės. Prie gauto rezultato pridedamas 1. Raidžių juosta paslenkama į tam tikrą pusę per tiek pikselių gavus vieną žvilgsnio taško duomenų rinkinį.

Mygtukų plotis: 200 pikseliai

Mygtukų aukštis: 100 pikseliai

Po teksto įvedimo eksperimento dalyviams buvo pateikta anketa užpildymui (Žr. 7.1 priedą). Anketoje pateikta 14 klausimų su galimu įvertinimu nuo 1 iki 7. Anketa sudaryta naudojant NASA-TLX [18] ir ISO 9241-9 [19] standarto klausimynus. NASA-TLX yra Ames tyrimų centre sukurtas klausimynas, kuri siekia subjektyviai įvertinti apkrautumą naudojant žmogus-mašina sistemas. ISO 9241-9 įvertina komfortą naudojantis rodomąjį įtaisą.

4.1.4. Tyrimo rezultatai

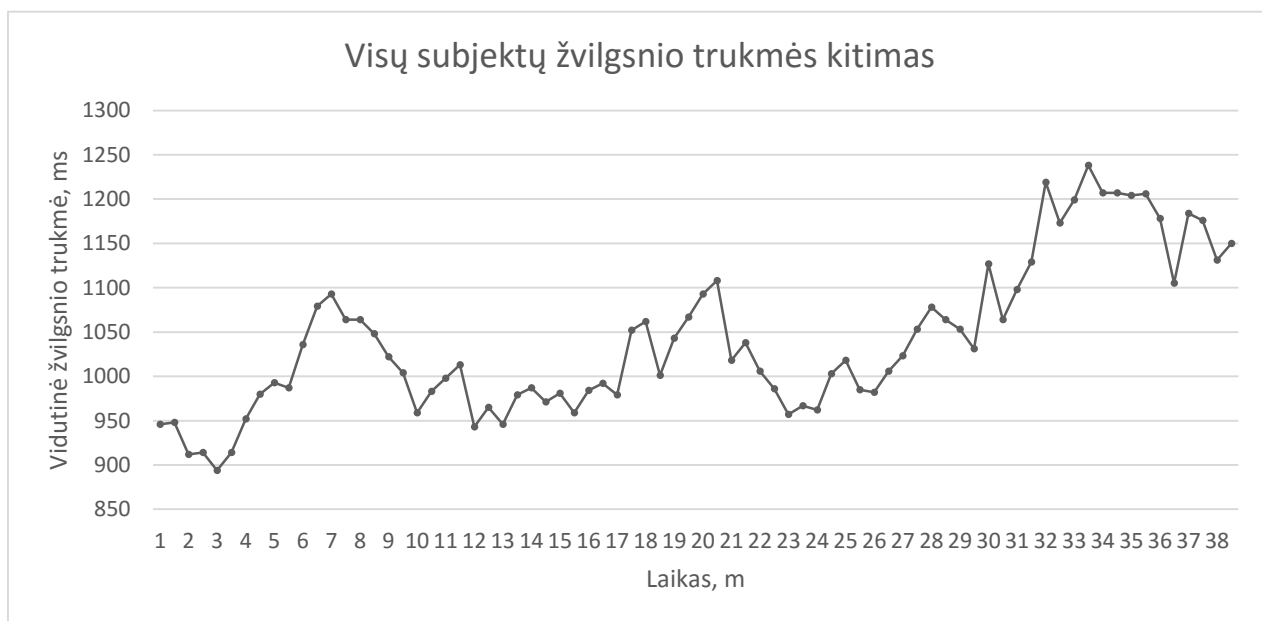
Atlikus tyrimą sudarėme 3 lentelę kuri parodo kiekvieno tyrimo subjekto parodytus rezultatus. Lentelėje matome eksperimento trukmę, greitį raidėmis per minutę, taisymo

komandų naudojimas(raidės ištrynimasis, žodžio ištrynimasis), paliktų klaidų galutiniame tekste skaičių ir paliktų klaidų procentą. Matome, kad vidutiniškai dalyviai truko 33 minutes įvesti 256 simbolių tekstą, tai reiškia vidutinį 8 reikšmingų simbolių per minutę įvedimo greitį. Laikant, kad vidutiniškai žodis turi 5 simbolius galime teigti, kad įvedimo greitis yra 1,6 žodžiai per minutę. Eksperimento dalyviams vidutiniškai prirėkė 64 taisymo komandų ir paliko po 5 klaidas tekste – tai yra 1,9% viso teksto.

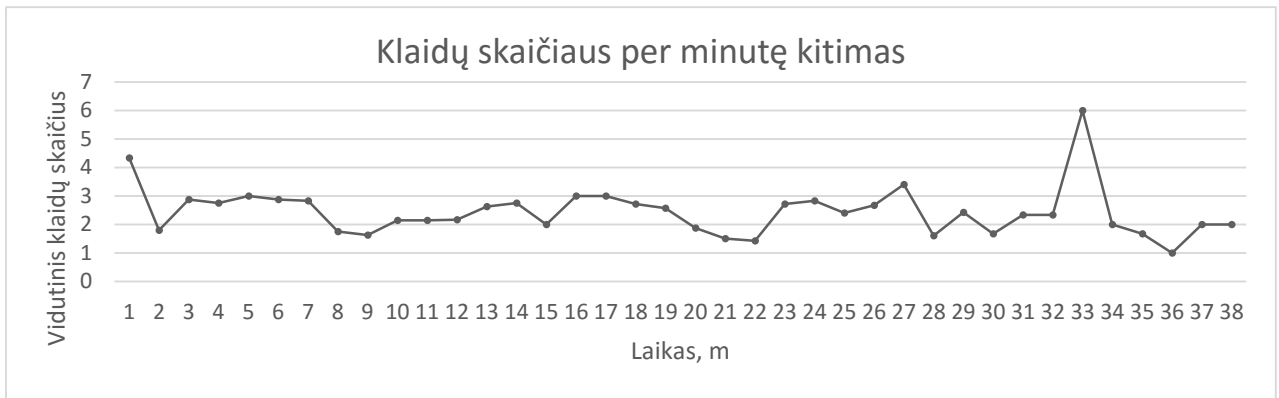
3 lentelė. Eksperimento rezultatai

Subjektas	Trukmė	Greitis, spm	Taisymo komandų naudojimas	Palikta klaidų	Klaidų %
1	29:48.8	9	57	3	1.2
2	30:59.6	8	56	6	2.3
3	36:45.2	7	66	7	2.7
4	38:21.4	7	73	3	1.2
5	25:57.1	10	59	3	1.2
6	31:18.4	8	66	0	0.0
7	31:08.5	8	67	5	1.9
8	38:01.7	7	70	12	4.7
Vidurkis:	32:47.6	8	64	5	1.9

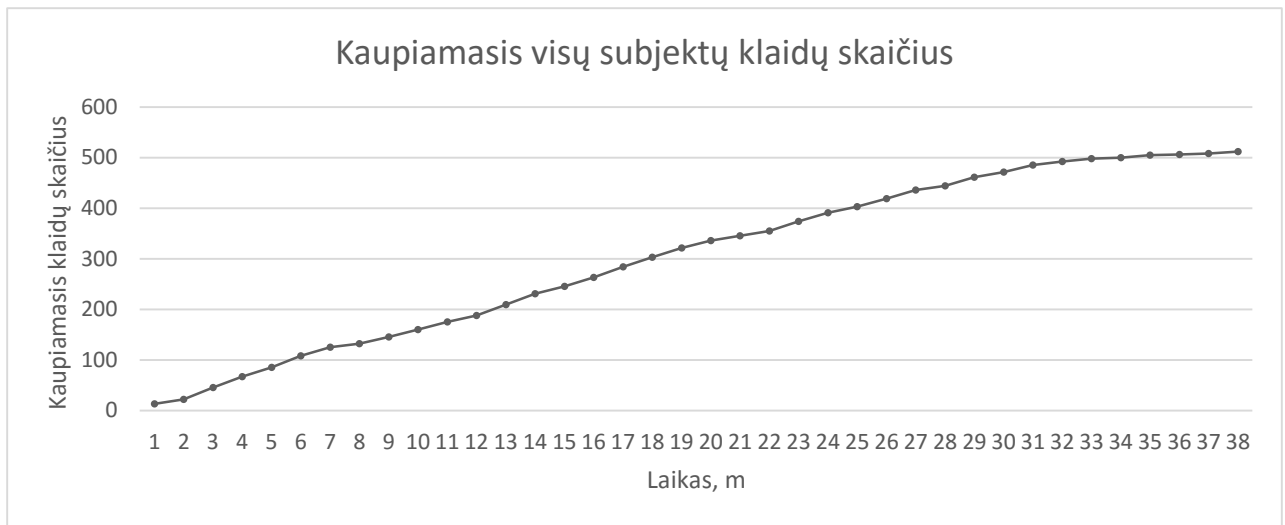
Sistemoje naudojamas adaptyvi žvilgsnio trukmė ir ji kinta priklausomai nuo sėkmingai įvestų simbolių ir komandų, skirtų klaidų taisymui. Pagal surinktus duomenis sudarome visų subjektų vidutinio žvilgsnio trukmės kitimo grafiką pavaizduotą 23 paveiksle. Taip pat galime sudaryti klaidų skaičiaus per minutę kitimo grafiką pavaizduotą 24 paveiksle ir kaupiamąjį visų subjektų klaidų skaičiaus grafiką 25 paveiksle.



23 pav. Žvilgsnio trukmės kitimas



24 pav. Vidutinis klaidų skaičiaus kitimas



25 pav. Kaupiamasis klaidų skaičiaus kitimas

Šiuose grafikuose galime matyti kaip subjektams sekėsi įvesti tekstą. Esant mažam Vidutiniam klaidų skaičiui per minutę, žvilgsnio trukmė mažėja, taip išauga įvedimo greitis. Esant dideliame klaidų skaičiui žvilgsnio trukmė ilgėja ir įvedimo greitis mažėja. Grafikuose stebime ryškesnį žvilgsnio trukmės mažėjimą 1-3,7-12, 20-23 ir 33-38 minučių laiko intervaluose, o didėjimą 3-7, 12-20 ir 23-33 minučių intervaluose.

Atlikę apklausą gavome rezultatus pateiktus 4 lentelėje. Minimalus galimas įvertinimas 1, maksimalus – 7. Eksperimento dalyviai pasiūlė papildyti sistemą galimybe ištaisyti klaidą viduryje žodžio, kad nebūtų ištrinama dalis parašyto žodžio.

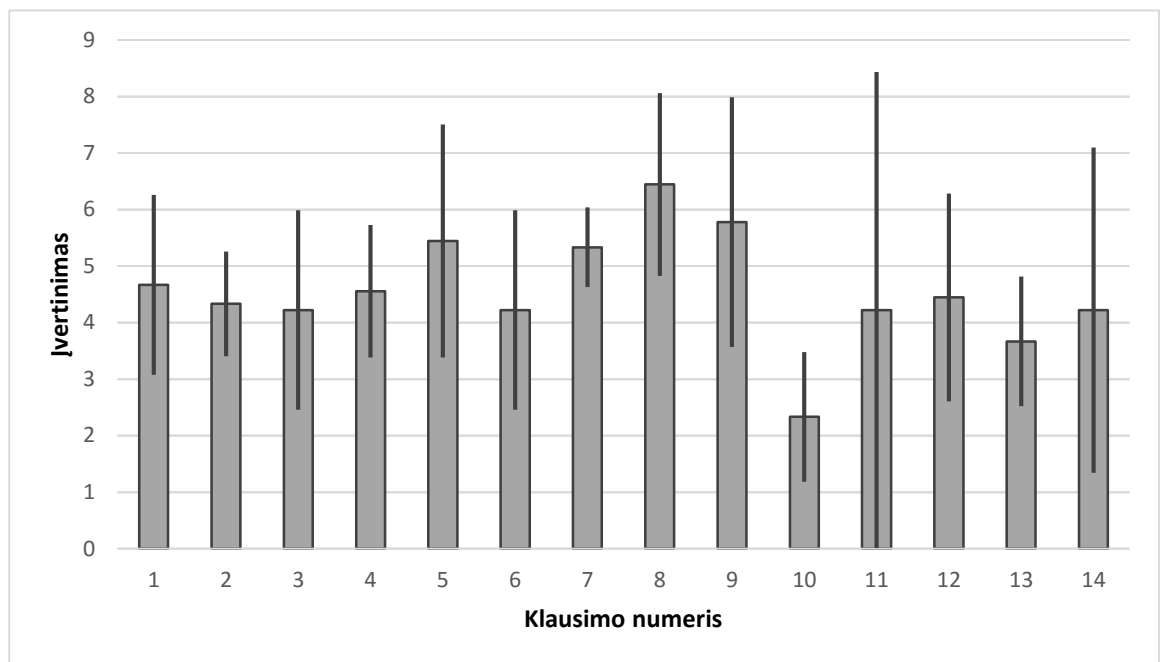
Kaip rodo apklausos rezultatai atsakant į 7-ą klausimą vartotojai teigiamai vertina bendrą sistemos veikimą, bei yra patenkinti sistemos veikimo greičiu(5-as klausimas). Vartotojai pastebėjo, kad dirbant reikia didelio koncentracijos lygio, tai matosi atsakymuose į 10-ą klausimą. Naudojantis sistema jaučiamas silpnas kaklo ir pečių nuovargis, tai parodo 8 ir 9 klausimai. Didelė dispersija ties 11 klausimu parodo, kad laiko spaudimo jautumas priklauso nuo konkretaus žmogaus ir vieniems atrodė spaudimas didelis, kiti šio spaudimo nejautė.

Dalies klausimų atsakymai svyruoja apie įvertinimą lygų 4 tai reiškia, kad atsakymai į šiuos klausimus yra neutralūs.

4 lentelė. Apibendrinti anketos rezultatai

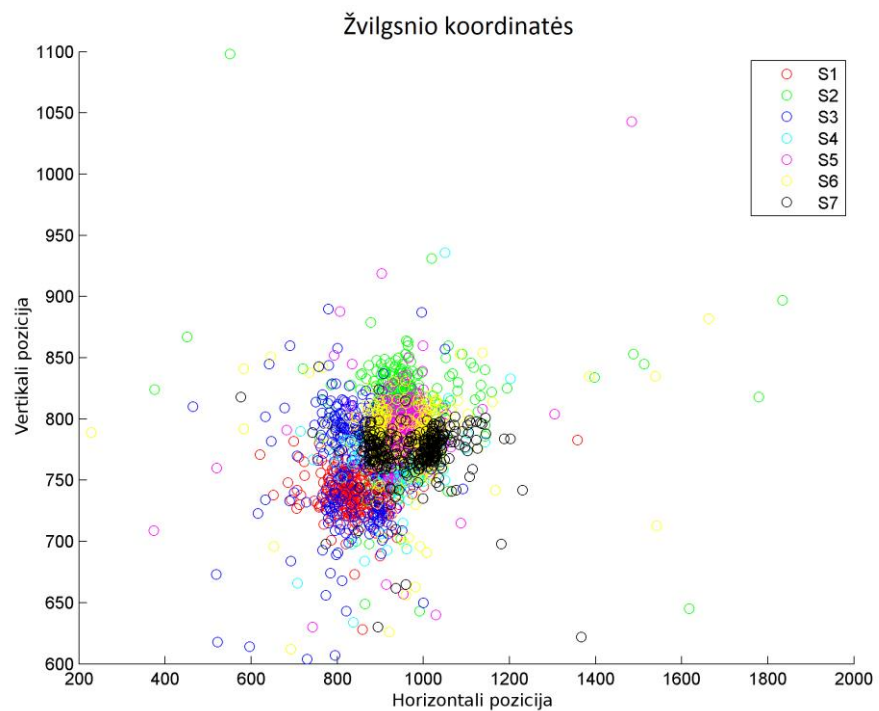
Nr	Klausimas Lietuviškai	Klausimas originalo kalba	Įvertis	Dispersija (+/-)
1	Pastangos reikalingos paspausti mygtuką	Force required for actuation	4.7	1.6
2	Veikimo sklandumas	Smoothness during operation	4.3	0.9
3	Pastangos reikalingos naudojant	Effort required for operation	4.2	1.7
4	Tikslumas	Accuracy	4.6	1.1
5	Veikimo greitis	Operation speed	5.4	2.0
6	Bendras patogumas	General comfort	4.2	1.7
7	Bendras įrenginio veikimas	Overall operation of input device	5.3	0.7
8	Pečių nuovargis	Shoulder fatigue	6.4	1.6
9	Kaklo nuovargis	Neck fatigue	5.8	2.2
10	Koncentracijos lygis	How much concentration was required?	2.3	1.1
11	Juntamas laiko spaudimas, dėl įvedimo tempo	How much time pressure did you feel due to the pace at which the tasks occurred?	4.2	4.2
12	Kaip manote kaip jums sekėsi pateisinti eksperimento tikslus?	How successful do you think you were in accomplishing the goals of the set by the experimenter?	4.4	1.8
13	Protinės pastangos lėmusios tokį rezultatą	How hard did you have to work mentally to accomplish your level of performance?	3.7	1.1
14	Įtampos lygis vykdant užduotį	How stressed did you feel during the task?	4.2	2.8

Apklauso rezultatai pateikti grafiškai 26 paveiksle. Šiame grafike pavaizduotas vidutinis atsakymas į apklauso klausimus ir apskaičiuota dispersija.



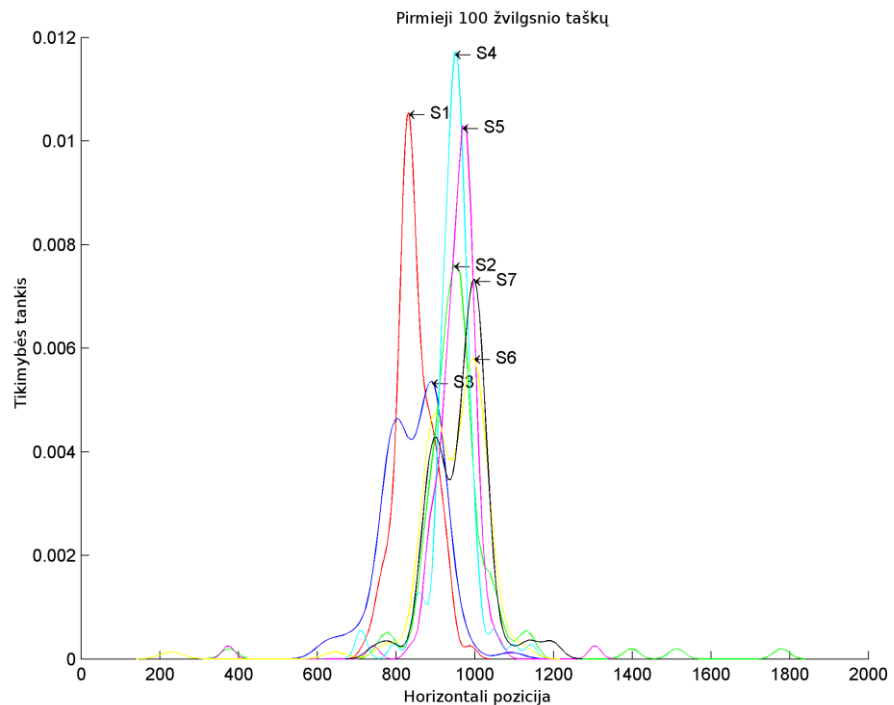
26 pav. Apklauso rezultatai

Atliekant eksperimentą buvo renkami žvilgsnio duomenys. Dėl sistemos klaidos vieno subjekto duomenys nebuvo tinkamai įrašyti, todėl atliekant tolesnę analizę nebuvo įtraukti. 27 paveiksle pavaizduoti žvilgsnio taškai ekrane įvedant raides. Matome, kad didžioji dalis taškų išsidėstę centre, kur ir yra mygtukų parinkimo juosta.



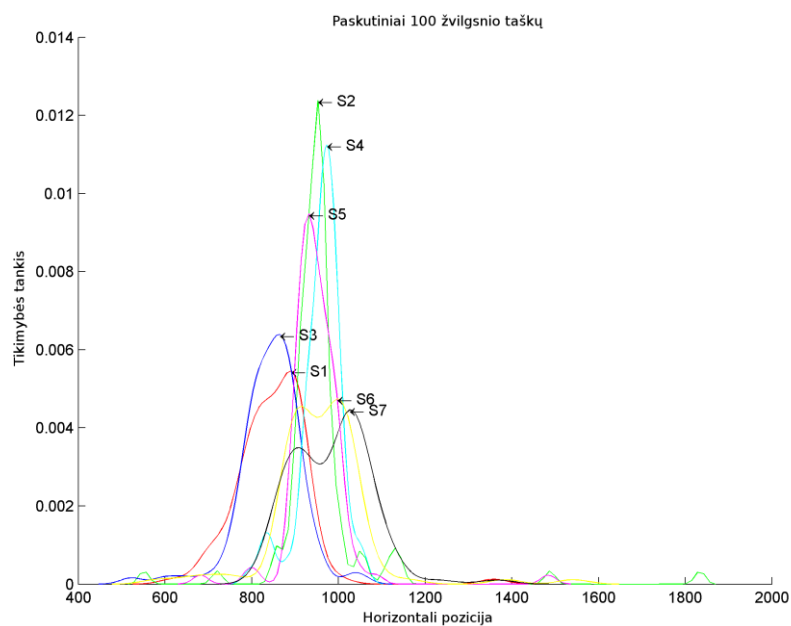
27 pav. Žvilgsnio taškų išsidėstymas parenkant raidę

Siekiant pavaizduoti nuovargio efektą apskaičiavome tikimybių tankio funkcijas kiekvienam subjektui. Pasirinkome pirmųjų 100 žvilgsnio taškų horizontalias koordinates. Horizontalios pozicijos pasirinktos, nes sistema reikalauja tik horizontalaus akių judesio, kad būtų išrinkta raidė. Pirmųjų 100 taškų funkcijos pavaizduotas 28 paveiksle.



28 pav. Pirmųjų 100 taškų tikimybių tankio funkcijos visiems subjektams

Paskutinių 100 žvilgsnio taškų tikimybių tankio funkcijos pavaizduotos 29 paveiksle.



29 pav. Paskutiniųjų 100 taškų tikimybių tankio funkcijos visiems subjektams

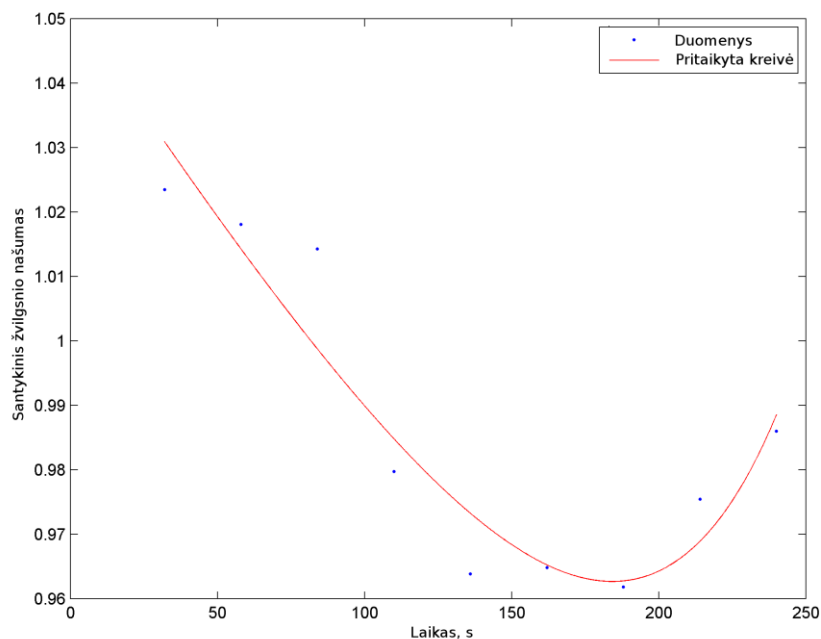
Lyginant 28 ir 29 paveikslus matome, kad tankio funkcijos pasikeitė. Didžiajai daliai subjektų ši funkcija pasidarė plokštesnė, tai reiškia maksimali reikšmė sumažėjo ir žvilgsnio taškai labiau išsibarstė.

Tyrimo metu surinktiems duomenims bandome pritaikyti Banister et al. [20] pasiūlytą modelį taikomą sportininkų raumenų nuovargiui aprašyti. Šiame modelyje yra dvi didelės dalys: teigiamą ir neigiamą poveikį turinčios dedamosios. Teigiamos poveikis gaunamas dėl mokymosi, fizinio pasiruošimo ir visų kitų veiksnių lemiančių gerėjančią rezultatą. Neigiamą poveikį turi nuovargis ir kiti rezultatą bloginantys veiksniai. Supaprastintas Banister modelis aprašomas taip:

$$P(t) = k_1 \cdot e^{-t/\tau_1} - k_2 \cdot e^{-t/\tau_2} \quad (1)$$

Čia $P(t)$ yra rezultatas tam tikru metu, k_1 ir k_2 yra mokymosi ir nuovargio parametrai, t yra laikas, o τ_1 ir τ_2 yra mokymosi ir nuovargio nykimo koeficientai.

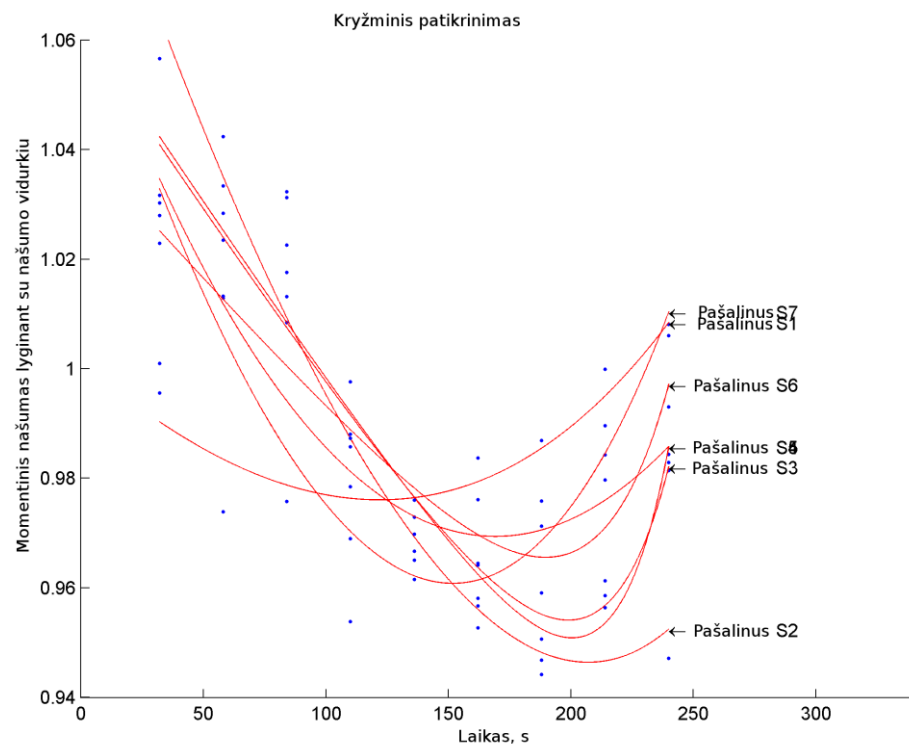
Siekiant atvaizduoti subjektų tikslumą naudojame slenkančio lango metodą ir pasirenkame lango dydį lygų 62 taškams, o žingsnį 26 taškus, kiekvienam langui skaičiuojame tikimybių tankio funkciją ir jos maksimalią reikšmę laikome subjekto tikslumu, kuo reikšmė didesnė – tuo subjektas tiksliau atlieka užduotį. 30 paveiksle taškais pavaizduoti šie taškai, laiko reikšmė laikomas laikas esantis per slenkančio lango vidurį. Naudojant Matlab 2013a (versija 8.1, Mathworks) buvo pritaikytas modelis ir gautos parametų reikšmės. Pritaikyta modelio kreivė pavaizduota 30 paveiksle.



30 pav. Modelio pritaikymas

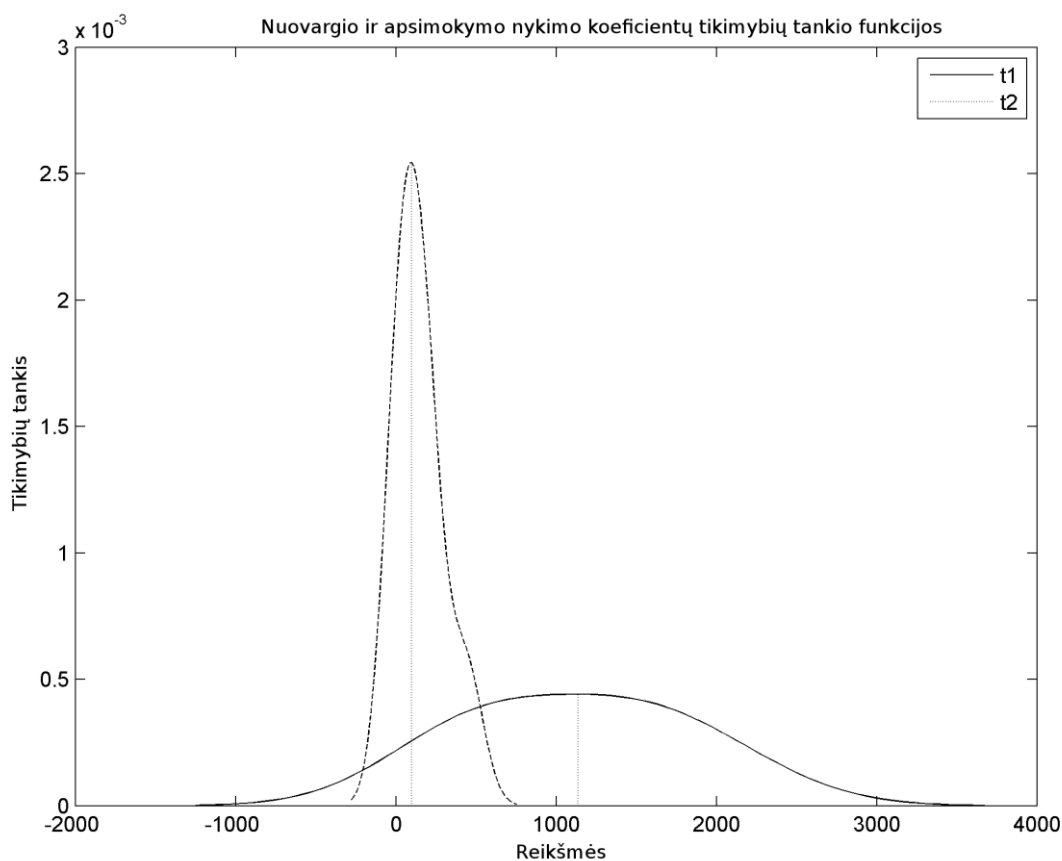
Kad įvertinti modelio tikslumą apskaičiuojame koreguotą determinacijos koeficientą \bar{R}^2 kuris lygus 0,8442. Tai reiškia, kad duomenys 84% atitinka modelį.

Siekiant išanalizuoti modelio stabilumą atlikome iteratyvų skaičiavimą su tais pačiais duomenimis, tik atėmus vieno subjekto duomenis [21]. Jeigu kryžminio patikrinimo metu, atėmus bet kurį vieną subjektą iš esmės pasikeičia gautoji pritaikyta kreivė reiškia nestabilumą. Šio patikrinimo metu buvo gauti 7 modeliai, kiekviename iš jų pašalinus po vieną subjekto duomenų rinkinį. Gautieji modelių taškai ir pritaikytos kreivės pateiktos 31 paveiksle. Šiame paveiksle matome, kad daugumoje atvejų kreivės forma pasikeičia nežymiai.



31 pav. Kryžminis patikrinimas atėmus po vieną subjektą

Toliau sudarome τ_1 ir τ_2 nykimo koeficientų tikimybių tankio funkcijas pagal duomenis gautus atliekant modelio kryžminio patikrinimo metu. Šios funkcijos pavaizduotos 32 paveiksle. Matome, kad nuovargio efektas pasirodo anksčiau ir yra stipresnis už mokymosi efektą.



32 pav. Nykimo koeficientų tikimybių tankio funkcijos

4.1.1. Tyrimo rezultatų apibendrinimas

Eksperimento metu pasiektas įvedimo greitis $\sim 1,6$ reikšmingo teksto žodžiai per minutę. Surinktuose duomenyse stebėjome žvilgsnio trukmės kitimą, jis buvo netolygus ir keitėsi viso eksperimento metu. Daromų klaidų skaičius per visą eksperimento laiką yra panašus ir lygus ~ 2 klaidoms per minutę.

Apklausa parodė, kad vartotojai būna įsitempę atliekant užduotį, nes reikia stipriai sutelkti dėmesį į atliekamą užduotį.

Eksperimento metu pastebėta, kad nors žodžių parinkimo iš žodyno funkcija buvo realizuota, tačiau tyrimo dalyviai retai ją naudojo. Iš tyrimo duomenų negalime spręsti, kodėl ši funkcija buvo retai naudojama. Galimos priežastys:

- Žodynas nefunkcionuoja kaip numatyta
- Vartotojai nepakankamai įgudę naudoti
- Netinkamoje ekrano vietoje rodomi žodžiai, vartotojai jų nepastebi.

5. IŠVADOS

1. Sukurta teksto įvedimo sistema su išmaniosiomis funkcijomis: prisitaikantis įvedimo greitis, siūlomi žodyno žodžiai, nustatymų valdymas, įvykių registravimas. Naudojant sistemą pasiektas 1,2 žodžių per minutę teksto įvedimo greitis naudojant QWERTY išdėstymą (1 subjektas) ir 1,6 žodžių per minutę naudojant klaviatūrą sudarytą pagal raidžių dažnius (WVXQZG) (8 subjektai), atitinkamai paliktų klaidų skaičius yra 1% ir 2%.
2. Žvilgsnio tikslumo duomenims buvo pritaikytas Banister modelis, naudojamas sporto medicinoje (modelio koreliacija su duomenimis 84%).
3. Remiantis modelio parametrais įvertinti vartotojo nuovargio ir apsimokymo efektai ir jų poveikis žvilgsnio tikslumui. Nustatyta, kad nuovargis pradeda reikštis iš karto pradėjus dirbti su sistema ir pasireiškia stipriau, nei apsimokymo efektas. Apsimokymui pasiekti reikia daugiau laiko.

6. LITERATŪRA

- [1] Andreas Bulling and Hans Gellersen, „Toward Mobile Eye-Based Human-Computer Interaction,“ *Pervasive Computing, IEEE*, t. 9, nr. 4, pp. 8-12, 2010.
- [2] Ward, J.A. ; Gellersen, H. ; Troster, G., „Eye Movement Analysis for Activity Recognition,“ *Pattern Analysis and Machine Intelligence, IEEE*, t. 33, nr. 4, pp. 741 - 753 , 2010.
- [3] Petkovsek, S. ; Poudel, B. ; Taikang Ning, „A Human-Computer Interface Design Using Automatic Gaze Tracking,“ *Signal Processing (ICSP), 2012 IEEE 11th International Conference*, t. 3, pp. 1633 - 1636 , 2012.
- [4] Dong-Chan Cho ; Wah-Seng Yap ; Heekyung Lee ; Injae Lee ; Whoi-Yul Kim, „Long Range Eye Gaze Tracking System for a Large Screen,“ *Consumer Electronics, IEEE Transactions*, t. 58, nr. 4, pp. 1119 - 1128 , 2012.
- [5] H.-F. Ho, „Low cost and better accuracy eye tracker,“ *Next-Generation Electronics (ISNE), 2014 International Symposium*, pp. 1 - 2, 2014.
- [6] C. W. a. D. C. Banks, „Analysis of eye-tracking experiments performed on a Tobii T60,“ *Visualization and Data Analysis*, t. 6809, p. 12, 2008.
- [7] M. Vasiljevas, J. Šalkevičius, T. Gedminas, R. Damaševičius, „A prototype gaze-controlled speller for text entry,“ *Symposium for young scientists in technology, engineering and mathematics*, t. 1543, pp. 79-83, 2015.
- [8] Devereux, H. ; Smalley, M., „Are infra red illuminators eye safe?,“ *Security Technology, 1995. Proceedings. Institute of Electrical and Electronics Engineers 29th Annual 1995 International Carnahan Conference*, pp. 480 - 481 , 1995.
- [9] Fukushima, K. Shirahama, N., „Proposal of eye-gaze recognize method for input interface without infra-red ray equipment,“ *Software Engineering, Artificial Intelligence, Networking and Parallel/Distributed Computing (SNPD), 2014 15th IEEE/ACIS International Conference* , pp. 1 - 6 , 2014.
- [10] Albilali, E. ; Aboalsamh, H. ; Al-Wabil, A., „Comparing brain-computer interaction and eye tracking as input modalities: An exploratory study,“ *Current Trends in*

Information Technology (CTIT), 2013 International Conference , pp. 232 - 236, 2013.

- [11] D. J. Ward and D. J. C. MacKay, „Fast Hands-free writing by Gaze Direction,“ *Nature*, t. 418, p. 838, 2002.
- [12] Marco Porta; Matteo Turina, „Eye-S: a full-screen input modality for pure eye-based communication,“ *Proceedings of the 2008 symposium on Eye tracking research & applications* , p. 27–34, 2008.
- [13] Panwar, P. ; Sarcar, S. ; Samanta, D., „EyeBoard: A fast and accurate eye gaze-based text entry system,“ *Intelligent Human Computer Interaction (IHCI), 2012 4th International Conference*, pp. 1-8, 2012.
- [14] Oleg Špakov, Päivi Majaranta, „Scrollable Keyboards for Casual Eye Typing,“ *PsychNology*, t. 7, pp. 159-173, 2009.
- [15] Marco Porta, Alice Ravarelli, Giovanni Spagnoli, „ceCursor, a Contextual Eye Cursor for General Pointing,“ *ETRA '10 Proceedings of the 2010 Symposium on Eye-Tracking Research & Applications*, pp. 331-337, 2010.
- [16] Chuan, N.-K. ; Sivaji, A., „Combining eye gaze and hand tracking for pointer control in HCI: Developing a more robust and accurate interaction system for pointer positioning and clicking,“ *Humanities, Science and Engineering (CHUSER), 2012 IEEE Colloquium* , pp. 172 - 176 , 2012.
- [17] Päivi Majaranta ; Kari-Jouko Räihä, „Twenty Years of Eye Typing: Systems and Design Issues,“ *Proceedings of Eye Tracking Research and Applications*, pp. 15-22, 2002.
- [18] Sandra G. Hart, Lowell E. Staveland, „Development of NASA-TLX (Task Load Index): Results of Empirical and Theoretical Research,“ *Human Mental Workload*, t. 52, pp. 139-183, 1988.
- [19] Sarah A. Douglas, Arthur E. Kirkpatrick, I. Scott MacKenzie, „Testing Pointing Device Performance and User Assessment with the ISO 9241, Part 9 Standard,“ *CHI '99 Proceedings of the SIGCHI conference on Human Factors in Computing Systems*, pp. 215-222, 1999.
- [20] E. W. Banister, T. W. Calvert, M. V. Savage, and A. Bach, „A system model of

training for athletic performance," *Australian Journal of Sports Medicine*, t. 7, pp. 170-176, 1975.

- [21] P. Hellard, M. Avalos, L. Lacoste, F. Barale, J. C. Chatard, and G. P. Millet, „Assessing the limitations of the Banister model in monitoring training," *J Sports Sci.*, t. 24, nr. 5, pp. 509-520, 2006.