



**KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS
INFORMATIKOS FAKULTETAS**

Andrius Paulauskas

**VIRTUALIOS REALYBĖS TAIKYMO SPORTE IR MEDICINOJE
TYRIMAS**

Baigiamasis magistro projektas

Vadovas

Doc. dr. Tomas Blažauskas

KAUNAS, 2018

KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS
INFORMATIKOS FAKULTETAS

VIRTUALIOS REALYBĖS TAIKYMO SPORTE IR MEDICINOJE
TYRIMAS

Baigiamasis magistro projektas
Informatika (kodas M4016O21)

Vadovas

(parašas) Doc. dr. Tomas Blažauskas
(data)

Recenzentas

(parašas) Doc. dr. Armantas Ostreika
(data)

Projektą atliko

(parašas) Andrius Paulauskas
(data)

KAUNAS, 2018



KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS

Informatikos fakultetas

(Fakultetas)

Andrius Paulauskas

(Studento vardas, pavardė)

Informatika (kodas M4016O21)

(Studijų programos pavadinimas, kodas)

Baigiamojo projekto „Virtualios realybės taikymo sporte ir medicinoje tyrimas“

AKADEMINIO SAŽININGUMO DEKLARACIJA

20 _____ m. _____ d.

Kaunas

Patvirtinu, kad mano, Andriaus Paulausko, baigiamasis projektas tema „Virtualios realybės taikymo sporte ir medicinoje tyrimas“ yra parašytas visiškai savarankiškai ir visi pateikti duomenys ar tyrimų rezultatai yra teisingi ir gauti sąžiningai. Šiame darbe nei viena dalis nėra plagijuota nuo jokių spausdintinių ar internetinių šaltinių, visos kitų šaltinių tiesioginės ir netiesioginės citatos nurodytos literatūros nuorodose. Įstatymų nenumatytų piniginių sumų už šį darbą niekam nesu mokėjęs.

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

(vardą ir pavardę įrašyti ranka)

(parašas)

Paulauskas Andrius. Virtualios realybės pritaikymo sporte ir medicinoje tyrimas. Magistro baigiamasis projektas / vadovas doc. dr. Tomas Blažauskas; Kauno technologijos universitetas, Informatikos fakultetas.

Mokslų sritis ir kryptis: Informatikos mokslai, Informatika

Reikšminiai žodžiai: *virtuali realybė, sportas, medicina.*

Kaunas, 2018. 96 p.

SANTRAUKA

Virtualioji realybė suteikia įtraukiančią terpę, kuri veikia mūsų pojūčius, sukuria buvimo realioje aplinkoje jausmą. Manoma, kad virtualioji realybė ne tik išgalės pramogų industrijoje, bet ir turės didelį pritaikymą kitose srityse. Šiame darbe pasirinkta tirti pritaikymą dvejose srityse – sporte ir medicinoje. Virtualiosios realybės taikymai atneša ne tik privalumus, bet ir specifines problemas, kurias reikia išspręsti norint sėkmingai ją pritaikyti konkrečiose srityse. Šis darbas ir yra skirtas problemų, atsirandančių pritaikant virtualiąją realybę sporto ir medicinos sritims nustatymui ir sprendimų pasiūlymui.

Šiame darbe analizuoti virtualiosios realybės įrenginiai bei virtualiosios realybės taikymų sporte ir medicinoje pavyzdžiai. Nustatyta, kad mobilumo, našumo ir kokybės reikalavimus atitinka „Samsung Gear VR“ platforma. Virtualiosios realybės taikymui sporto srityje pasirinktas sistemos kūrimas „Concept2“ irklavimo įrenginiui. Tuo tarpu virtualiosios realybės taikymui medicinos srityje pasirinktas sistemos kūrimas vestibulinio aparato sutrikimų diagnozei. Tyrimo dalyje pristatyti siūlomi trimačio vaizdavimo našumo, judėjimo prognozės ir vestibulinio aparato sutrikimų diagnozės metodai. Šie metodai ištirti eksperimentiniais tyrimais, įvertinančiais pasiūlytus metodus. Pasiūlyti sprendimai pristatyti įvairiose tarptautinėse konferencijose ir parodose.

Paulauskas, Andrius. *Research of Virtual Reality Application in Sports and Medicine*: Master's thesis in Informatics / supervisor assoc. prof. Tomas Blažauskas. The Faculty of Informatics, Kaunas University of Technology.

Research area and field: Computer Science, Informatics

Key words: *virtual reality, sports, medicine*.

Kaunas, 2018. 96 p.

SUMMARY

Virtual reality provides an engaging medium that affects our senses, creates a feeling of being in the real environment. It is believed that virtual reality will not only dominate the entertainment industry but will also have wide application in other areas. With this work, two areas of virtual reality application were studied - sports and medicine. Virtual reality applications bring not only the benefits but also the specific problems that need to be addressed to successfully apply it in specific areas. This work is aimed at identifying the problems arising from the application of virtual reality in the field of sports and medicine and proposing solutions to them.

In this work, we analyze virtual reality devices and examples of virtual reality in sport and medicine. The Samsung Gear VR platform has been found to meet mobility, performance and quality requirements. The application of virtual reality in the field of sports included the development of a system for the Concept2 rowing machine. Meanwhile, the application of virtual reality in the field of medicine has led to the development of a system for the diagnosis of lumbar disorders. The research part presents the proposed methods for optimizing three-dimensional rendering performance, motion prediction and diagnosis of disorders of the vestibular apparatus. The proposed methods were evaluated by experiments. Proposed solutions were presented at various international conferences and exhibitions.

TURINYS

| | |
|--|----|
| Santrauka | 4 |
| Summary..... | 5 |
| Turinys | 6 |
| Lentelių sąrašas..... | 8 |
| Paveikslų sąrašas | 9 |
| Terminų žodynas | 11 |
| Įvadas..... | 13 |
| Darbo tikslas ir uždaviniai | 13 |
| Darbo struktūra | 14 |
| 1 Analizė..... | 15 |
| 1.1 Virtualiosios realybės įrenginių apžvalga | 15 |
| 1.1.1 „HTC Vive“ | 15 |
| 1.1.2 „Oculus Rift“ | 17 |
| 1.1.3 „Samsung Gear VR“ | 19 |
| 1.1.4 „Google Daydream“ | 21 |
| 1.1.5 „Oculus Go“ | 23 |
| 1.1.6 „Google Daydream Standalone“ | 24 |
| 1.1.7 „Google Cardboard“ | 25 |
| 1.1.8 „Sony Playstation VR“ | 26 |
| 1.2 Virtualiosios realybės taikymai sporto ir medicinos srityse | 27 |
| 1.2.1 Virtualiosios realybės sprendimai medicinai | 27 |
| 1.2.2 Virtualiosios realybės sprendimai sportui | 30 |
| 1.2.3 Virtualiosios realybės sprendimai skirti sportui ir medicinai Lietuvoje..... | 31 |
| 1.3 Analizę apibendrinančios išvados | 33 |
| 2 Projektinė dalis | 35 |
| 2.1 Virtualiojo irklavimo programa | 35 |
| 2.1.1 Sistemos funkcijos | 35 |
| 2.1.2 Statinis sistemos vaizdas..... | 36 |
| 2.1.3 Dinaminis sistemos vaizdas | 39 |
| 2.1.4 Sistemos sudėtis..... | 41 |
| 2.2 Virtualiosios realybės sistema vestibulinio aparato sutrikimų diagnozei | 42 |
| 2.3 Sistemos funkcijos | 42 |
| 2.3.1 Statinis sistemos vaizdas..... | 44 |
| 2.3.2 Dinaminis sistemos vaizdas | 48 |
| 2.3.3 Sistemos sudėtis..... | 50 |
| 3 Tyrimas..... | 52 |
| 3.1 Virtualiojo irklavimo programa | 52 |
| 3.1.1 Įvestis ir valdymas | 52 |
| 3.1.2 Virtualiosios scenos paruošimas..... | 53 |
| 3.1.3 Treniruoklio ir virtualiosios realybės programos sinchronizavimas | 56 |
| 3.2 Vestibulinio aparato diagnozės programa..... | 57 |
| 3.2.1 Diagnozės testų projektavimas | 57 |
| 3.2.2 Programos įvestis..... | 59 |
| 3.2.3 Programos scenų paruošimas..... | 60 |
| 4 Eksperimentinė dalis | 62 |
| 4.1 Virtualiosios realybės irklavimo programos eksperimentai..... | 62 |
| 4.1.1 Greitaveikos eksperimentas | 62 |
| 4.1.2 Valties judėjimo prognozavimo eksperimentai | 65 |
| 4.2 Virtualiosios realybės taikymas medicinoje | 67 |

| | | |
|-------|---|----|
| 4.2.1 | Testų validacijos eksperimentas | 68 |
| 4.2.2 | Įvesties įrenginių naudojamumo eksperimentas | 69 |
| 4.2.3 | Virtualiosios realybės sukkelto svaigimo ir eksperimentas..... | 69 |
| 4.2.4 | Greitaveikos eksperimentai | 69 |
| 5 | Išvados..... | 73 |
| 5.1 | Darbo sklaida | 74 |
| 6 | Literatūros sąrašas | 75 |
| 7 | Priedai..... | 78 |
| 7.1 | Straipsnis „Subjective visual vertical assessment with mobile virtual reality system“ .. | 78 |
| 7.2 | Straipsnis „Mobile Virtual Reality System for Investigation of Subjective Visual Vertical“ .. | 87 |
| 7.3 | Santrauka „Investigation of Interpolation Methods for Virtual Reality“ | 94 |
| 7.4 | Santrauka „Investigation of Subjective Visual Vertical with Mobile Virtual Reality System“ .. | 95 |
| 7.5 | Santrauka „Development of Mobile Virtual Reality System for Subjective Visual Vertical Test“ | 96 |

LENTELIŲ SĄRAŠAS

| | |
|---|----|
| 4.1 lentelė Irklavimo programos greitaveikos rezultatai..... | 62 |
| 4.2 lentelė Eksperimento rezultatai | 66 |
| 4.3 lentelė Atliktų testų rezultatai..... | 68 |
| 4.4 lentelė Sistemos naudojamumo skalės rezultatai..... | 69 |
| 4.5 lentelė Vizualinės analoginės skalės rezultatai..... | 69 |
| 4.6 lentelė Diagnostikos programos testų greitaveikos rezultatai..... | 70 |

PAVEIKSLŲ SĄRAŠAS

| | |
|---|----|
| 1.1 pav. „HTC Vive“ komponentai [4]..... | 15 |
| 1.2 pav. Skirtingos bazinių stotelių sinchronizacijos konfigūracijos | 16 |
| 1.3 pav. „HTC Vive“ valdiklių schema | 17 |
| 1.4 pav. „Oculus Rift“ virtualiosios realybės akiniai [5]..... | 18 |
| 1.5 pav. Reikalaujama „Oculus“ sensorių pozicija ant stalo | 18 |
| 1.6 pav. „Oculus Touch“ valdikliai [6]..... | 19 |
| 1.7 pav. „Samsung Gear VR“ virtualiosios realybės akiniai su įdėtu telefonu [7]..... | 20 |
| 1.8 pav. „Gear VR“ valdiklis [8] | 21 |
| 1.9 pav. „Google Daydream“ virtualiosios realybės akiniai su valdikliu [9] | 22 |
| 1.10 pav. „Oculus Go“ virtualiosios realybės akiniai ir valdiklis [10]..... | 23 |
| 1.11 pav. „Lenovo Mirage Solo“ virtualiosios realybės akiniai [11] | 24 |
| 1.12 pav. „Google Cardboard“ virtualiosios realybės akiniai [12]..... | 25 |
| 1.13 pav. „Playstation VR“ virtualiosios realybės akiniai [13]..... | 26 |
| 1.14 pav. Virtualiosios realybės rinkos prognozė (1)..... | 27 |
| 1.15 pav. Autizmo terapijos seanso iliustracija [29] | 28 |
| 1.16 pav. Farmoo projekto demonstracija [32]..... | 28 |
| 1.17 pav. Virtualaus bendravimo seansas [33] | 29 |
| 1.18 pav. „We are Alfred“ testavimas UMASS medicinos mokykloje [35] | 29 |
| 1.19 pav. Mindmaze virtualiosios realybės akiniai su integruotais jutikliais [37] | 30 |
| 1.20 pav. Irklavimo tyrimui naudota „CAVE“ sistema [43] | 31 |
| 1.21 pav. „Epley“ manevro atlikimas naudojant virtualiąją realybę [49]..... | 32 |
| 1.22 pav. Virtualiosios realybės ekranvaizdis iš straipsnio [50] | 33 |
| 2.1 pav. Virtualiojo irklavimo meniu funkcijos | 35 |
| 2.2 pav. Sistemos funkcijos irklavimo scenai..... | 36 |
| 2.3 pav. „Bluetooth“ konfigūracijos sąsajos klasių diagrama | 37 |
| 2.4 pav. Virtualiojo irklavimo klasės diagramos | 38 |
| 2.5 pav. Programos jungimosi prie „Performance Monitor“ veiklos diagrama | 39 |
| 2.6 pav. Įvesties duomenų apdorojimo veiklos diagrama | 40 |
| 2.7 pav. Valties judėjimo veiklos diagrama | 41 |
| 2.8 pav. Irklavimo sistemos išdėstymo diagrama | 42 |
| 2.9 pav. Sistemos aktoriai | 42 |
| 2.10 pav. Paciento panaudos atvejai | 43 |
| 2.11 pav. Tiriančiojo gydytojo panaudos atvejai..... | 43 |
| 2.12 pav. Gydytojo panaudos atvejai..... | 44 |
| 2.13 pav. Pagrindinės virtualiosios realybės programos klasės..... | 45 |
| 2.14 pav. „Bluetooth“ komunikacijos klasės virtualiosios realybės programoje | 46 |
| 2.15 pav. Valdymo programos klasių diagrama | 47 |
| 2.16 pav. „Bluetooth“ serverio pradėjimo veiklos diagrama..... | 48 |
| 2.17 pav. „Bluetooth“ komunikacija virtualiosios realybės programoje..... | 49 |
| 2.18 pav. Sistemos komponentų diagrama | 51 |
| 3.1 pav. Irklavimo programos duomenų perdavimo schema..... | 52 |
| 3.2 pav. „C2 rowing general status“ charakteristikos paketas..... | 53 |
| 3.3 pav. Scenos atvaizdavimo laiko schemas skirtingiems procesoriams..... | 54 |
| 3.4 pav. Trimatėje scenoje naudojamas plūduras ir jo detalumo lygiai | 55 |
| 3.5 pav. Vietoje medžių modelių naudojami apsimitėliai – tekstūruotos plokštumos..... | 55 |
| 3.6 pav. Perpaimamų pikselių vizualizacija „Unity3D“ žaidimų variklio redaktoriuje..... | 56 |
| 3.7 pav. Statinio testo schema | 58 |
| 3.8 pav. Dinaminio testo schema..... | 58 |
| 3.9 pav. „Realaus“ testo schema..... | 59 |

| | |
|--|----|
| 3.10 pav. „Bluetooth“ žaidimų pulto schema | 60 |
| 3.11 pav. „Reali“ scena iš žaidėjo perspektyvos | 61 |
| 3.12 pav. „Reali“ scena redaktoriuje | 61 |
| 4.1 pav. Vienos „Samsung Galaxy S7 Edge“ sesijos duomenys | 63 |
| 4.2 pav. Vienos „Samsung Galaxy S8“ sesijos duomenys | 64 |
| 4.3 pav. Vienos „Samsung Galaxy S9+“ sesijos duomenys | 64 |
| 4.4 pav. Vienos irklavimo sesijos duomenys | 65 |
| 4.5 pav. Dalis irklavimo sesijos duomenų | 66 |
| 4.6 pav. Vieno statinio testo bandymo kadro vykdymo laikai | 71 |
| 4.7 pav. Vieno dinaminio testo (pagal laikrodžio rodyklę) bandymo kadro vykdymo laikai | 71 |
| 4.8 pav. Vieno dinaminio testo (prieš laikrodžio rodyklę) bandymo kadro vykdymo laikai | 72 |
| 4.9 pav. Vieno „realaus“ testo bandymo kadro vykdymo laikai | 72 |

TERMINŲ ŽODYNAS

Virtualioji realybė (angl. *virtual reality*) – kompiuterinė programa, atvaizduojanti trimatę aplinką ir imituojanti vartotojo fizinį buvimą joje.

Šalminis vaizduoklis (angl. *head mounted display*) – vaizduoklis, tvirtinamas ant vartotojo galvos, kad matomas vaizdas jam būtų prieš pat akis.

„Concept2“ irklavimo treniruoklis (angl. *Concept2 erg machine*) – vienas populiariausių pasaulyje naudojamų treniruoklių, skirtų imituoti akademinį irklavimą.

„Performance Monitor“ – prie „Concept2“ gamybos treniruoklių montuojamas kompiuteris, kuris saugo treniruotės duomenis.

„Bluetooth Low Energy“ – bevielio ryšio technologija projektuojama „Bluetooth Special Interest Group“ korporacijos. Nuo įprasto „Bluetooth“ ryšio skiriasi gerokai sumažintu energijos kiekiu vartojimu.

Judesio sukeltas pykinimas (angl. *motion induced sickness*) – tai būseną, kai įvyksta konfliktas tarp vizualiai suvokiamo vaizdo ir vestibulinio aparato jaučiamo judesio.

Perpiešimas (angl. *overdraw*) – trimačių objektų pašymas tame ekrano plote, kur kažkas jau buvo nupaišyta. Perpaišymas pakartotinai rašo pikselius į kadro buferį, kas tampa iššvaistomu vaizdo procesoriaus laiku.

Detalumo lygmenys (angl. *level of detail*) – trimatis modelis, kuris yra kito trimačio modelio kopija su sumažintu detalumo kiekiu, dažniausiai atvaizduojamas vietoj originalaus modelio didėjant atstumui nuo modelio iki stebėjimo taško.

Piešimo instrukcija (angl. *draw call*) – vaizdo procesoriaus tvarkyklei siunčiamas pranešimas atvaizduoti objektą.

„CSAFE“ protokolas – tai protokolas skirtas vykdyti kompiuterio komunikaciją su sporto treniruoklių įranga.

Trijų laisvės laipsnių judesio sekimas (angl. *three degrees of freedom motion tracking*) – įrenginio galimybė nustatyti savo ar kito įrenginio orientaciją erdvėje naudojant įvairių jutiklių suteikiamą informaciją.

Šešių laisvės laipsnių judesio sekimas (angl. *six degrees of freedom motion tracking*) – įrenginio galimybė nustatyti savo ar kito įrenginio orientaciją ir poziciją erdvėje naudojant įvairių jutiklių suteikiamą informaciją.

Jutiklinis pultas (angl. *touchpad*) – specialus paviršius, kuris vartotojo prisilietimo poziciją ir judesį paverčia įvesties signalu.

Akceleromteras – įrenginys matuojantis pagreitį.

Giroskopas – įrenginys matuojantis kampinį greitį ir orientaciją.

Magnetometras – įrenginys matuojantis magnetizmą.

Mažas pastovumas (angl. *low persistence*) – 1 ms trunkantis ekrano vaizdo parodymas, kad būtų išvengiamas judesio sukeltas vaizdo suliejimas.

Stereoskopija – gylio suvokimo imitavimas naudojant du ekranus.

Įsitraukimas (angl. *immersiveness*) – fizinio buvimo ne fiziniame pasaulyje suvokimas, kai naudojami įvairūs jausmų stimulai šiai iliuzijai sukurti.

Asinchroninė laiko transformacija (angl. *asynchronous timewarp*) – „Oculus“ kompanijos kurta technologija, kuri leidžia atvaizduoti programą aukštesniu dažniu, nei ji iš tikrųjų veikia. Tai pasiekama transformuojant jau parodytus kadrus.

Elektromiografija – diagnostinis metodas, kuris fiksuoja ir įvertina raumenų sužadintus elektros signalus.

ĮVADAS

Virtualiosios realybės technologijos egzistuoja jau daugiau nei pusę šimtmečio, tačiau labai stiprus šios technologijos postūmis įvyko vos prieš septynis metus, kai buvo sukurti pakankamai kokybiški sensoriai leidžiantys išspręsti vėlinimo problemas.

Virtualioji realybė suteikia įtraukiančią terpę, kuri veikia mūsų pojūčius, sukuria buvimo realioje aplinkoje jausmą. Šiuo metu manoma, kad virtualioji realybė ne tik įsigalės pramogų industrijoje, bet ir turės didelį pritaikymą kitose srityse. Viena iš perspektyviausių virtualiosios realybės taikymo sričių yra medicina [1]. Virtualioji realybė medicinoje leidžia pašalinti barjerus, kurie sutinkami realiame gyvenime [2]. Pavyzdžiui, kai kurių žmonių nesugebėjimą įsivaizduoti virtualioji realybė išsprendžia įtraukiančiai pavaizduodama reikiamas situacijas. Be to virtualioji realybė veikia mūsų pojūčius, todėl ji pritaikoma tuomet, kai norime realistiškai imituoti vienas ar kitas situacijas.

Sporto, sveikatinimo sritys yra susijusios su medicina. Virtualioji realybė čia gali būti naudojama ne tik kaip skatinimo, motyvavimo priemonė, bet ir kaip įrankis leidžiantis įsijausti į tikroviškas situacijas. Priimama prielaida, kad virtualiosios realybės sprendimai gali tarnauti ir kaip instrumentas treneriams bei sportininkams.

Šiame darbe siekiama įvertinti pritaikymą dvejose srityse – sporte ir medicinoje. Virtualiosios realybės taikymai atneša ne tik privalumus, bet ir specifines problemas, kurias reikia išspręsti norint sėkmingai ją pritaikyti konkrečiose srityse. Šiame darbe nagrinėjamos problemos, atsirandančios pritaikant virtualiąją realybę sporto ir medicinos sritims bei pateikiami pasiūlymai kaip jas išspręsti.

Darbo tikslas ir uždaviniai

Šio darbo tikslas ištirti virtualiosios realybės technologijos pritaikomumą sporto ir medicinos srityse, nagrinėjant pasirinktus taikymo atvejus, nustatant įgyvendinimo metu iškylančias problemas ir pasiūlant jų sprendimus.

Šiam tikslui įvykdyti išskirti šie uždaviniai:

1. išanalizuoti virtualiosios realybės įrenginius ir pasirinkti platformą, kuri leistų išpildyti mobilumo, našumo ir kokybės kriterijus;
2. apžvelgti su taikomąja sritimi susijusius virtualiosios realybės sprendimus Lietuvoje ir užsienyje;
3. suprojektuoti programinę įrangą realizuojančią du sprendimus: vieną skirtą sportui, kitą - medicinai;
4. ištirti ir pasiūlyti sprendimus bei metodus virtualiosios realybės taikymų realizacijoms;
5. eksperimentiniais tyrimais nustatyti pasiūlytų sprendimų ir metodų efektyvumą.

Darbo struktūra

Šis darbas susideda iš analizės dalies, kurioje yra analizuojami virtualiosios realybės atvaizdavimo įrenginiai bei nustatomos sporto ir medicinos sritys, kuriose taikytina virtuali realybė. Analizėje pasirenkama realizacijoms naudojama virtualios realybės platforma, kuriai bus realizuojamos dvi programos – viena sporto sričiai, kita medicinos. Dokumento projekcinėje dalyje aprašomi pasirinktų sprendimų realizaciniai projektai. Skyriuje pateikiamos sistemos funkcijos, statiniai ir dinaminiai projekto vaizdai. Tyrimo dalyje aprašomi naudojami metodai realizuojant pasirinktas sporto ir medicinos programas virtualiajai realybei. Eksperimentų skyriuje aprašomi programos tiriančių eksperimentų metodika, tikslai ir rezultatai. Darbo rezultatai pateikiami ir apibendrinami išvadose.

1 ANALIZĖ

Dokumento analizė susideda iš dviejų dalių. Pirmoje dalyje analizuojamos virtualiosios realybės platformos siekiant nustatyti, kuri leidžia išpildyti mobilumo, našumo ir kokybės kriterijus ir yra tinkama panaudoti sporto ir medicinos srityse. Antroje analizės dalyje apžvelgiama literatūra susijusi su virtualiosios realybės taikymu medicinoje bei sporte.

1.1 Virtualiosios realybės įrenginių apžvalga

Projektuojant programas reikia atsižvelgti į egzistuojančias virtualiosios realybės įrangos platformas, jų galimybes ir apribojimus. Renkantis platformą atsižvelgiama į jos vaizdo parametrus, įvesties galimybes, mobilumą, skaičiavimų galingumą ir kainą.

Egzistuoja keli metodai kaip pateikti virtualiąją realybę. Šiame darbe analizuojama įranga, kuri atvaizdavimui pasitelkia šalminius vaizduoklius (angl. *head-mounted display*). Naujieji įrenginiai yra sąlyginai pigūs, o jų pritaikomumas yra panašus kaip ir naudojant brangesnes profesionalias sistemas [3].

1.1.1 „HTC Vive“

„HTC Vive“ – virtualiosios realybės platforma, skirta asmeniniam kompiuteriui. Šios platformos įrangos komplektą sudaro virtualiosios realybės akiniai, du sekami valdikliai ir dvi judesio sekimo stotelės (1.1 pav.). Virtualiosios realybės akinių ir valdiklių sekimas turi šešis laisvės laipsnius, tačiau sekamas plotas apribotas bazinėmis platformos stotelėmis.

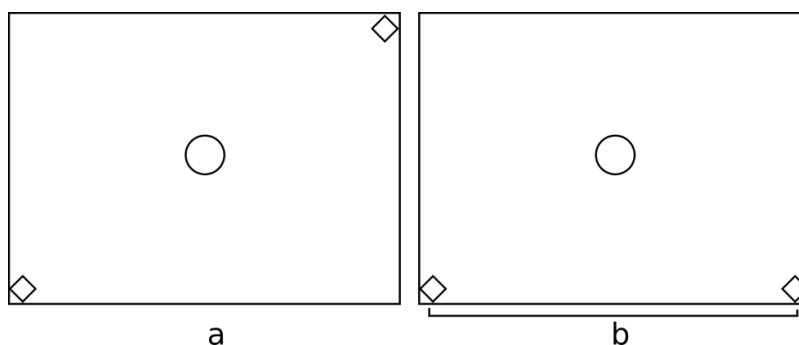


1.1 pav. „HTC Vive“ komponentai [4]

„HTC Vive“ virtualiosios realybės akiniai dedami vartotojui ant akių. Akinių vaizdas rodomas per du 1080x1200 pikselių skiriamosios gebos mažo pastovumo (angl. *low persistence*) ekranus, kurie veikia 90 Hz dažniu. Šie akiniai suteikia apie 110 laipsnių horizontalų matymo kampą ir 113 laipsnių vertikalų. Akinių paviršiuje yra įmontuoti foto-sensoriai, kurie naudojami akinių pozicijai ir

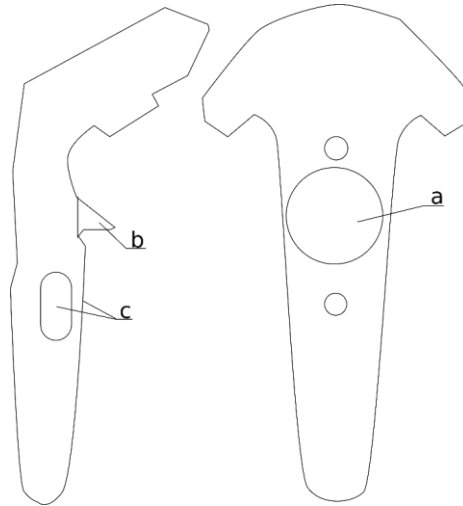
orientacijai nustatyti pasitelkiant bazines stoteles. Papildomam pozicijos ir orientacijos nustatymo tikslumui akinuose yra įmontuoti akcelerometras, giroskopas, artumo sensorius ir kamera, skirta užtikrinti saugumą, kai vartotojas išeina iš bazinių stotelių „matomo“ ploto.

Bazinės stotelės yra „Lighthouse“ sekimo sistemos branduolys. Šiose stotelėse yra įmontuoti du lazeriai, kurie periodiškai praskenuoja erdvę prieš save ir LED lempučių masyvas. Abiejose stotelėse lazeriai apsisuka 60 kartų per sekundę, vienas skanuodamas erdvę vertikaliai nuo apačios į viršų, o kitas – horizontaliai iš dešinės į kairę. Prieš kiekvieną, horizontalaus ir vertikalios, prasisukimą LED lempučių masyvas apšviečia visą sekamą erdvę. „HTC Vive“ akiniai užfiksuoja šį laiko momentą ir tada fiksuoja kada bei kuris konkretus foto-sensorius, primontuotas prie akinių arba valdiklio, yra sudirginamas skenuojančių lazerių. Turėdama šiuos duomenis sistema milimetriniu tikslumu nustato įrenginių poziciją ir orientaciją sekamoje erdvėje. Svarbu paminėti, kad abi stotelės sekamą plotą skenuoja pakaitomis, pirma viena stotelė atlieka horizontalų ir vertikalų šlavimą, tada kita, ir procesas kartojasi. Dėl tokio pakaitinio proceso būtina stotelių sinchronizacija kuri gali būti sukonfigūruojama bevieliai arba naudojant sinchronizacijos kabelį. Bevielė sistemos sinchronizacija veikia patikimai, kai bazinės stotelės „mato“ viena kitą (1.2 pav. *a*), sinchronizacijos kabelio gali prireikti tik tuo atveju, kai nėra galimybės sudėti stotelių vienos prieš kitą (1.2 pav. *b*).



1.2 pav. Skirtingos bazinių stotelių sinchronizacijos konfigūracijos

Valdikliai „HTC Vive“ virtualiosios realybės sistemoje naudojami kaip įvesties įrenginiai. Kaip ir patys akiniai, valdikliai ant savo paviršiaus turi išdėliotus foto sensorius, kuriais nustatoma šių valdiklių pozicija ir orientacija. Valdikliai įvesčiai taip pat turi lietimui jautrų plotą (1.3 pav. *a*), gaiduką valdiklio užnugaryje (1.3 pav. *b*) ir du mygtukus ant šonų (1.3 pav. *c*), kurie leidžia užfiksuoti delno spaudimą. Papildomai „HTC Vive“ platformoje galima naudoti „Vive Tracker“ įrenginius, kurie skirti bet kokių objektų pritaikymui virtualiojoje realybėje. Jie turi šešių laisvės laipsnių judesio sekimą ir keletą POGO jungčių, kurias galima panaudoti įvesčiai.



1.3 pav. „HTC Vive“ valdiklių schema

„HTC Vive“ sistema jungiama prie asmeninio kompiuterio „HDMI“ išvesties ir vienos „USB 2.0“ jungties. Kompiuteris turi palaikyti „HDMI“ 1.3 jungties versiją. Dėl virtualiosios realybės atvaizdavimui keliamo skaičiavimų sudėtingumo „HTC Vive“ taip pat reikia aukštos specifikacijos kompiuterio, daugiausia dėmesio skiriant geram grafiniam procesoriui. Minimali kompiuterio specifikacija:

- „Intel Core i5-4590“ atitinkantis arba galingesnis centrinis procesorius;
- 4 GB arba daugiau operatyviosios atminties;
- „NVIDIA Geforce GTX 970“ bei „AMD Radeon RX 480“ atitinkantis arba galingesnis grafinis procesorius;
- „Windows 7 SP1“ arba naujesnė „Windows“ operacinės sistemos versija.

Nors sistemos pozicijos ir orientacijos sekimas yra labai tikslus, bet ši sistema yra nemobili ir reikalauja nemažai erdvės. Sekimo plotui būtina išskirti mažiausiai 2 m ilgio ir 1,5 m pločio laisvos erdvės ir jai sukonfigūruoti programinę sistemos įrangą. Jeigu po konfigūracijos pajudinama kuri nors bazinė stotelė, būtinas sistemos perkalibravimas, kitaip nebus užtikrinamas sekimo tikslumas. Be to, kiekvienas „HTC Vive“ virtualiosios realybės platformos komponentas, išskyrus abu valdiklius, reikalauja papildomo maitinimo šaltinio.

1.1.2 „Oculus Rift“

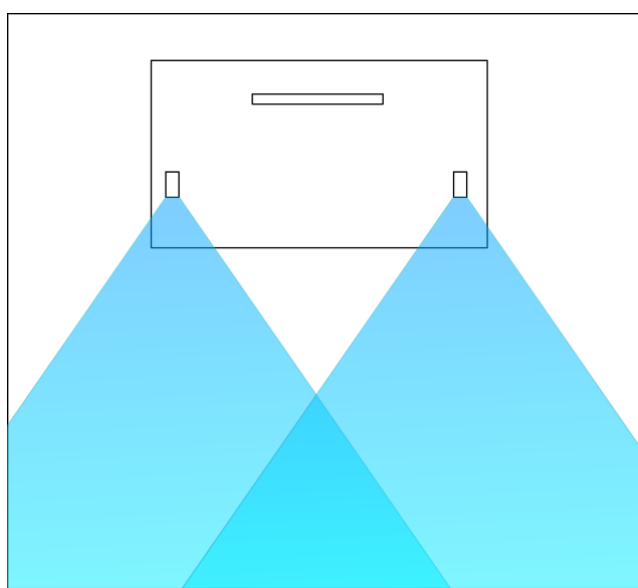
„Oculus Rift“ – dar viena virtualiosios realybės platforma asmeniniam kompiuteriui. Kaip ir „HTC Vive“ platformą, taip ir „Oculus Rift“ sudaro virtualiosios realybės akiniai, du sekami valdikliai ir du išoriniai judesio sekimo sensoriai. Komponentų sekimas taip pat turi šešis laisvės laipsnius.



1.4 pav. „Oculus Rift“ virtualiosios realybės akiniai [5]

„Oculus Rift“ virtualiosios realybės akinių (1.4 pav.) specifikacija identiška „HTC Vive“ akiniams. Virtualiosios realybės vaizdas rodomas per du ekranus, skirtus kiekvienai vartotojo akiai, kurių kiekvieno skiriamoji geba yra 1080x1200 pikselių. Bendrai gaunama 2160x1200 pikselių skiriamoji geba. Šie ekranėliai taip pat yra mažo pastovumo ir veikia 90 Hz dažniu. Akinių suteikiamas vaizdo stebėjimo laukas apylygis 94 laipsniams horizontaliai ir 93 laipsniams vertikaliai. Akiniuose įmontuoti akcelerometras, giroskopas, magnetometras ir artumo sensorius. Magnetometras leidžia akiniams veikti trijų laisvės laipsnių režimu neturint nei vieno išorinio judesio sekimo sensoriaus.

„Oculus Rift“ judesio sekimo sistema paremta infraraudonųjų spindulių šaltinių sekimu. Šaltiniai yra primontuoti įvairiose vietose ant virtualiosios realybės akinių ir sekamų valdiklių. Išoriniai sensoriai nuskaity šiuos taškus ir iš jų išsidėliojimo nustato, kokioje pozicijoje yra kiekvienas įrenginys. Sekimo sistema turi griežtai nustatytas pozicijas, kuriose turi būti pastatyti sensoriai (1.5 pav.). Šios pozicijos nustatomos konfigūracijos metu. Jeigu vienas iš sensorių pajudinamas būtinas perkalibravimas.



1.5 pav. Reikalaujama „Oculus“ sensorių pozicija ant stalo

„Oculus Touch“ valdikliai yra suprojektuoti taip, kad būtų galima imituoti rankų pirštų judesius (1.6 pav.). Ant pačių valdiklių esantys mygtukai padėti ties nykščiu, rodomuoju pirštu ir ties likusiais trejais. Šios mygtukų pozicijos leidžia atlikti devynis rankų gestus, kuriuos galima panaudoti skirtingiems veiksams. Svarbiausia, kad toks valdymas paremtas natūraliais rankos judesiais.



1.6 pav. „Oculus Touch“ valdikliai [6]

Kaip ir „HTC Vive“ platforma, taip ir „Oculus Rift“ akiniai yra jungiami prie kompiuterio. Kompiuteris turi palaikyti „HDMI“ 1.3 jungtį. Atsižvelgiant į tai, kiek sensorių naudojama, „Oculus Rift“ platformai gali prireikti nuo dviejų iki trijų „USB 3.0“ jungčių – vienos akiniams ir vienos arba dviejų išoriniams sensoriams. Kiti rekomenduojami kompiuterio parametrai:

- „Intel Core i5-4590“ atitinkantis arba galingesnis procesorius;
- 8 GB arba daugiau operatyviosios atminties;
- „NVIDIA GeForce GTX 970“ bei „AMD Radeon R9 290“ atitinkantis arba galingesnis grafinis procesorius;
- „Windows 7 SP1“ arba naujesnė „Windows“ operacinės sistemos versija.

Kaip ir „HTC Vive“ virtualiosios realybės platformoje, taip ir „Oculus Rift“ – dėl kokybiško ir tikslaus judesio sekimo yra paaukojamas mobilumas. Šios sistemos sekimo sensorių konfigūravimas nereikalauja minimalaus erdvės ploto, tačiau apriboja specifiniu sensorių išdėliojimu. Valdiklių įvestis paremta natūraliais rankų pirštų judesiais. Tai, kad „Oculus Rift“ komponentams nereikia papildomo maitinimo sumažina laidų kiekį ir supaprastina sistemos pajungimą.

1.1.3 „Samsung Gear VR“

„Samsung Gear VR“ – tai mobilūs virtualiosios realybės akiniai skirti „Samsung“ išmaniesiems telefonams (1.7 pav.). Šiuo atveju akiniai yra pagalbinis įrenginys, kuris telefoną paverčia virtualiosios realybės įrenginiu. Telefoną įdėjus į akinius vaizdas skiriamas į dvi dalis tam, kad būtų atvaizduojamas stereoskopinis vaizdas ir įjungiamas ekrano mažo pastovumo režimas. Palaikomi telefonų modeliai yra:

- „Galaxy S6“ bei jo „Edge“ ir „Edge+“ modeliai;

- „Galaxy Note 5“;
- „Galaxy S7“ bei jo „Edge“ modelis;
- „Galaxy S8“ ir „Galaxy S8+“;
- „Galaxy Note 8“;
- „Galaxy A8“ ir „Galaxy A8+“;
- „Galaxy S9“ ir „Galaxy S9+“.



1.7 pav. „Samsung Gear VR“ virtualiosios realybės akiniai su įdėtu telefonu [7]

Kadangi vaizdas akinuose iš tikrųjų rodomas per telefono ekraną, tai jo skiriamoji geba priklauso nuo virtualiajai realybei naudojamo telefono. Ji gali svyruoti nuo 1920x1080 (po 960x1080 kiekvienai akiai) pikselių, naudojant „Samsung Galaxy A8“ modelį, iki 2960x1440 (po 1480x1440 kiekvienai akiai) pikselių naudojant „Samsung Galaxy S8“ telefoną. Veikdamas virtualiosios realybės režimu ekranas perjungiamas į mažo pastovumo režimą, tačiau veikia standartiniu 60 Hz dažniu. Maksimalus matymo kampas pasiekiamas „Gear VR“ akinuose yra 96 laipsniai.

Šie virtualiosios realybės akiniai turi tikslų trijų laisvės laipsnių judesio sekimą. Tam pasiekti pačiuose akinuose yra įmontuoti papildomi tikslesni judesio jutikliai – akcelerometras, giroskopas ir magnetometras. Akinuose dar yra artumo jutiklis, kuris numato kada virtualiosios realybės akiniai yra uždedami. Šis jutiklis padeda tausoti telefono bateriją, sustabdydamas programos veikimą, kai aptinkama, kad akinių vartotojas nėra užsidėjęs. Be jutiklių akiniai turi jutiklinį pultą (angl. *touchpad*), naudojamą įvesčiai, du sisteminius mygtukus ir du mygtukus garsumui reguliuoti.

Su „Samsung Gear VR“ papildomai komplektuojamas valdiklis (1.8 pav.). Valdiklis erdvėje sekamas naudojant tris laisvės laipsnius. Valdiklis taip pat turi jutiklinį pultą, gaiduką, du sisteminius mygtukus ir garsumo reguliavimo mygtukus. Nors sistemoje sekama tik valdiklio orientacija, tačiau su juo galima imituoti pakankamai natūralius veiksmus.



1.8 pav. „Gear VR“ valdiklis [8]

Kadangi akiniai palaiko kelis specifinius išmaniųjų telefonų modelius, tai sistemos skaičiavimų galimybės priklauso nuo pačio modelio. Bendru atveju senesni modeliai turi silpnesnius komponentus, o naujesni stipresnius. Procesoriai svyruoja nuo „Cortex-A57“ ir „Cortex-A53“ poros senesniuose „Galaxy S6“ modeliuose iki galingesnės „Mongoose M3“ ir „Cortex-A55“ poros „Galaxy S9“ telefonuose. Grafinių procesorių situacija panaši – naujesnio telefono modelis turi galingesnę grafinį procesorių, nei senesnis. Virtualiosios realybės programas vykdyti pavyksta visiems anksčiau minėtiems „Galaxy“ telefonų modeliams, nors naujesni leidžia pasiekti didesnę detalumą programose.

Labai stipriu „Gear VR“ virtualiosios realybės akinių privalumu tampa jų mobilumas ir paleidimo paprastumas. Nors ir akinių programas galintys vykdyti telefonai galingumu neprilygsta asmeninių kompiuterių skaičiavimų pajėgumams, su jais vis tiek pavyksta sukurti vizualiai kokybiškai atrodančias programas. „Gear VR“ pranašumas yra ir tas, kad šie akiniai gali išnaudoti visas standartines telefonų galimybes – gauti sensorių duomenis, komunikuoti su kitais įrenginiais „Bluetooth“ ryšiu ir panašiai. Tai gali atverti papildomų pritaikymo galimybių. Jeigu pritaikymas įprastesnis programos valdymui pilnai gali užtekti kartu su akiniais komplektuojamo valdiklio ir jo galimybių.

1.1.4 „Google Daydream“

„Google Daydream“ – dar viena mobili virtualiosios realybės platforma (1.9 pav.). Ji skirta išmaniems telefonams su „Android“ operacine sistema. Platformos veikimas panašus į „Samsung Gear VR“ akinių. Pradėjus vykdyti „Daydream“ platformai skirtą programą, telefono vaizdas skiriamas į dvi dalis paverčiant vaizdą stereoskopiniu. Šie akiniai palaiko tik naujausius ir aukščiausios klasės „Android“ telefonus:

- „Samsung Galaxy S9“, „Galaxy S9+“, „Galaxy S8“, „Galaxy S8+“ ir „Galaxy Note 8“;
- „Google Pixel 2“, „Pixel 2 XL“ ir „Pixel“;
- „Asus ZenFone AR“;
- „LG V30“;
- „Motorola Moto Z“, „Moto Z Force“ ir „Moto Z² Force“;

- „ZTE Axon 7“;
- „Huawei Mate 9 Pro“ ir „Porsche Design Mate 9“.



1.9 pav. „Google Daydream“ virtualiosios realybės akiniai su valdikliu [9]

Kaip ir „Gear VR“, taip ir „Daydream“ akinių skiriamoji geba priklauso nuo naudojamo telefono. Pagal palaikomų telefonų specifikacijas mažiausia palaikom skiriamoji geba yra 1920x1080 pikselių, didžiausia – 2960x1440 pikselių. Senesnė „Daydream“ akinių versija suteikė 90 laipsnių matymo lauką, naujesnioji šį šiek tiek praplatina iki 100 laipsnių. Vykdam virtualiosios realybės programas telefono ekranas veikia telefonams standartiniu 60 Hz dažniu.

Platforma, būdama be išorinių sensorių, turi trijų laisvės laipsnių judesio sekimą kaip ir „Gear VR“ akiniai. Kitaip nei „Samsung“ sistemoje, „Daydream“ akiniai neturi papildomai įmontuotų sensorių, o pasikliauja telefonuose esančiais. Palaikomi telefonai yra aukštos kokybės, tad sekimo tikslumas dėl to nenukenčia. Patys akiniai taip pat neturi jokių įvesties galimybių, bet akiniai taip buvo projektuoti, nes yra komplektuojami su valdikliu.

„Daydream“ akinių valdiklis panašus į „Gear VR“ valdiklį ir savo platformoje atlieka identišką funkciją. Valdiklyje įmontuotas jutiklinis pultas, du sisteminiai mygtukai ir garso reguliavimo mygtukai. Trijų laisvės laipsnių judesio sekimas leidžia valdiklį naudoti imituojant veiksmus paremtus natūraliais judesiais.

Virtualiosios realybės akinių „Daydream“ pajėgumas priklauso nuo naudojamo telefono. Didelio skirtumo tarp skirtingų modelių procesorių nėra, nes visi jie nauji aukštos klasės telefonai. Dėl šios priežasties virtualiosios realybės vaizdo kokybė turėtų neatsilikti nuo „Gear VR“.

„Daydream“ yra dar viena kokybiškos mobilios virtualiosios realybės alternatyva. Šių akinių galimybės labai panašios į „Gear VR“ – palaikomi tos pačios klasės telefonų modeliai, tad programų sudėtingumas, skaičiavimų atžvilgiu, gali būti panašus, abu turi erdvėje sekamą valdiklį, naudojamą

programų valdymui natūraliais judesiais. Palaikymas yra ir kitoms telefono funkcijoms – įvairiems sensoriams, ryšiams ir t.t.

1.1.5 „Oculus Go“

„Oculus Go“ – unikalūs virtualiosios realybės akiniai (1.10 pav.). Jie yra mobilūs ir nereikalauja išmanaus telefono programų vykdymui ir atvaizdavimui. Visa sistema ir jos komponentai (procesoriai, jutikliai ir ekranai) sumontuoti pačiuose akinuose. Akiniai yra kurti „Gear VR“ pagrindu ir palaiko didžiąją dalį „Gear VR“ skirtos programinės įrangos.



1.10 pav. „Oculus Go“ virtualiosios realybės akiniai ir valdiklis [10]

Bendra akinių skiriamoji geba yra 2560x1440 pikselių. Tai prilygsta standartinėms „Gear VR“ ir „Daydream“ geboms. „Oculus Go“ ekrano pranašumas pasireiškia galimybe veikti 72 Hz dažniu, kas leidžia pateikti sklandesnį virtualiosios realybės vaizdą. Akinuose įmontuoti judesio jutikliai suteikia trijų laisvės laipsnių judesio sekimą, kuris yra ir alternatyviuose mobilios virtualiosios realybės akinuose.

Kartu su „Oculus Go“ komplektuojamas valdiklis. Jis yra analogiškas kitų dviejų mobiliųjų platformų valdikliui. Jame įmontuotas jutiklinis pultas, gaidukas ir du sisteminiai mygtukai. Valdiklis nesiskiria nuo alternatyvų ir tuo, kad turi trijų laisvės laipsnių judesio sekimą. Tai pasiekama su įmontuotais judesio jutikliais – akcelerometru, giroskopu ir magnetometru.

Šiuose akinuose įmontuota „Qualcomm Snapdragon 821“ mobilioji platforma. Joje integruotas „Qualcomm Adreno 530“ grafinis procesorius ir „Qualcomm Kryo“ centrinis procesorius. Ta pati platforma naudojama keliuose kituose išmaniosiose „Android“ telefonuose, tarp kurių „Daydream“ palaikantys „Google Pixel“ ir „Asus ZenFone AR“, tad skaičiavimų galimybės yra panašios.

„Oculus Go“ per daug nesiskiria nuo savo alternatyvų, juose pateikiamos panašios galimybės kaip ir „Gear VR“ ar „Daydream“ akinuose. Ryškesnis „Go“ pranašumas yra jų ekranų galimybė veikti 72 Hz, kas pateikia sklandesnį vaizdą, ir tai kad visi procesoriaus resursai skiriami virtualiosios realybės skaičiavimui, nereikia jų skirti foninėms telefono funkcijoms.

1.1.6 „Google Daydream Standalone“

„Google Daydream Standalone“ – „Oculus Go“ analogas. Tai dar viena virtualiosios realybės platforma, kuri visą reikiamą aparatinę įrangą turi įmontuotą pačiuose akinuose ir nereikalauja išorinio išmanaus įrenginio. „Daydream Standalone“ platformą „Gogole“ gaminti pateikė trečiosioms šalims. Pirmieji šios platformos akiniai – „Lenovo Mirage Solo“ (1.11 pav.).



1.11 pav. „Lenovo Mirage Solo“ virtualiosios realybės akiniai [11]

Akiniai turi 2560x1440 skiriamosios gebos ekraną, kuris veikia 75 Hz dažniu. Šis dažnis 15 Hz aukštesnis nei įprastų mobilios virtualiosios realybės akinių, kurie naudoja išmaniuosius telefonus. Tik „Oculus Go“ platformos ekrano dažnis labai panašus. Tai reiškia, kad „Daydream Standalone“ ir „Go“ pateikiamas turinys yra sklandesnis, nei „Gear VR“ arba „Daydream“ platformų.

Didysis „Daydream Standalone“ pranašumas – šešių laisvės laipsnių judesio sekimas. Šis sekimas pasiekiamas be jokių išorinių jutiklių naudojant „WorldSense“ technologiją. Ji pasitelkia įprastus akinuose įmontuotus judesio sensorius (akcelerometrą, giroskopą ir magnetometrą) bei ant akinių esančias dvi „žuvies akies“ kameras. Veikimo metu dviejų kamerų vaizdas analizuojamas bandant aptikti aplinkoje esančius kontrastingus taškus ir šią informaciją apjungus su judesio jutiklių duomenimis nustatoma vartotojo galvos pozicija bei orientacija erdvėje.

„Daydream Standalone“ valdiklis nesiskiria nuo „Daydream“ valdiklio. Turi tuos pačius valdymo elementus. Valdiklis taip pat turi tik trijų laisvės laipsnių judesio sekimą, tad „WorldSense“ technologija naudojama tik akinių judesio sekimui.

Šie akiniai turi galingesnę, nei „Go“ akinių, „Qualcomm Snapdragon 835“ mobiliąją platformą. Joje integruotas „Qualcomm Kryo 280“ centrinis ir „Qualcomm Adreno 540“ grafinis procesorius. Galingesni šių procesorių parametrai turėtų leisti sklandžiau vykdyti virtualiosios realybės programas, tačiau nemaža dalis skaičiavimų gali būti rezervuota „WorldSense“ technologijai ir aplinkos analizavimui, kad būtų pateikiamas šešių laisvės laipsnių judesio sekimas.

„Daydream Standalone“ yra pažangus įrenginys po truputį liejantis ribą tarp mobilių ir asmeniniams kompiuteriams skirtų virtualiosios realybės įrenginių galimybių. Šių akinių naudojamo šešių laisvės laipsnių judesio sekimo, kuris nereikalauja išorinių įrenginių, pritaikymo galimybės yra labai plačios. Standartinės skiriamosios gebos, tačiau aukštesnio atsinaujinimo dažnio ekranai leidžia akiniams pateikti sklandų virtualiosios realybės turinį. Kita vertus, šis sklandumas gali būti apribotas didesniu procesoriaus krūviu dėl „WorldSense“ technologijos.

1.1.7 „Google Cardboard“

„Google Cardboard“ yra pati pigiausia mobilios virtualiosios realybės platforma (1.12 pav.). Joje turinio atvaizdavimui naudojamas įstatomas telefonas. Platforma palaiko didžiąją dalį išmaniųjų telefonų su „Android“ ir „iOS“ operacinėmis sistemomis.



1.12 pav. „Google Cardboard“ virtualiosios realybės akiniai [12]

Akinių ekrano skiriamoji geba, kaip ir kitose su telefonu veikiančiose platformose, priklauso nuo naudojamo telefono gebos ir gali labai stipriai skirtis. Matymo kampas taip pat priklauso nuo telefono, tai yra – nuo jo dydžio.

„Cardboard“ naudoja telefonuose įmontuotus jutiklius trijų laisvės laipsnių judesio sekimui pasiekti. Dėl to apribojamas palaikomų telefonų kiekis, nes reikalingi šie įrenginiai: akcelerometras, giroskopas ir magnetometras. Tuo tarpu giroskopas montuojamas ne visuose telefonų modeliuose. Platformoje judesio sekimo kokybė nėra garantuojama, nes pigesniuose telefonų modeliuose gali būti prastesnės kokybės judesio jutikliai. Tokiu atveju virtualiojoje realybėje gali būti matomas vaizdo „plaukimas“ (angl. *drifting*).

Įvesčiai pateikiamas vienas mygtukas akinių viršuje. Paspaudus jį akiniuose esanti pagalvėlė paliečia ekraną ir taip užfiksuoja paspaudimą. Tai įgalina tik labai paprastas programos valdymo galimybes.

Programos veikimo sklandumas taip pat priklauso nuo naudojamo telefono. Naujesni telefonai su naujais procesoriais turėtų sklandžiai vykdyti programas. Senesniuose neišvengiamai gali pasireikšti mažesnis kadrų dažnis.

„Google Cardboard“ akiniai yra labai pigūs ir palaiko didelį įrenginių kiekį, tačiau toks platus palaikymas neužtikrina kokybiško programų veikimo ir atvaizdavimo visuose telefonuose. Ribota ir įvesties galimybė, pateikiamas tik vienas mygtukas programos valdymui.

1.1.8 „Sony Playstation VR“

„Sony Playstation VR“ – virtualiosios realybės platforma skirta „Playstation 4“ žaidimų konsolei (1.13 pav.). Platforma kaip ir „HTC Vive“ arba „Oculus Rift“ nėra mobili, tačiau turi platesnes virtualiosios realybės galimybes.



1.13 pav. „Playstation VR“ virtualiosios realybės akiniai [13]

Akinių ekranų skiriamoji geba siekia 1920x1080, o ekranai gali veikti 90 Hz arba 120 Hz dažniu. Akinių ekranams veikiant 120 Hz, kas antras virtualiosios realybės programos kadras yra interpoliuojamas. Taip gaunamas sklandesnis vaizdas, bet gali atsirasti vaizdo netikslumų. Vaizdą akiniai pateikia apytiksliai 100 laipsnių matymo kampų.

Trijų laisvės laipsnių judesio sekimui akiniuose įmontuoti giroskopas ir akcelerometras. Ribotas šešių laisvės laipsnių judesio sekimas platformoje pasiekiamas naudojant kamerą, kuri seka ant akinių matomas LED šviesas. Šis judesio sekimas nėra itin kokybiškas, nes sekama yra matoma spinduliuotė ir kamera gauna daug foninio triukšmo.

„Playstation VR“ platforma taip pat turi du erdvėje sekamus valdiklius. Jie sekami šešiais laisvės laipsniais. Sekimo būdas toks pats kaip ir akinių. Valdikliuose įmontuoti akcelerometras ir giroskopas, o patys valdikliai papildomai sekami kamera.

Kadangi akiniai yra skirti konkrečiai žaidimų konsolei, galimos dvi konfigūracijos – „Playstation 4“ ir „Playstation 4 Pro“. Abiejuose konsolės versijose veikia tas pats turinys tačiau antroje, „Playstation 4 Pro“ programos pateikia detaliau, nes turi galingesnę centrinę ir grafinę procesorius.

„Playstation VR“ yra pilnavertė virtualiosios realybės platforma, turinti šešių laisvės laipsnių judesio sekimą, valdiklius ir neblogus techninius parametrus. Matymo kampas juose taip pat

pakankamai platus, tačiau akinių ekranų skiriamoji geba mažesnė ir sekimas nėra toks tikslus, nei kitų nemobilių platformų.

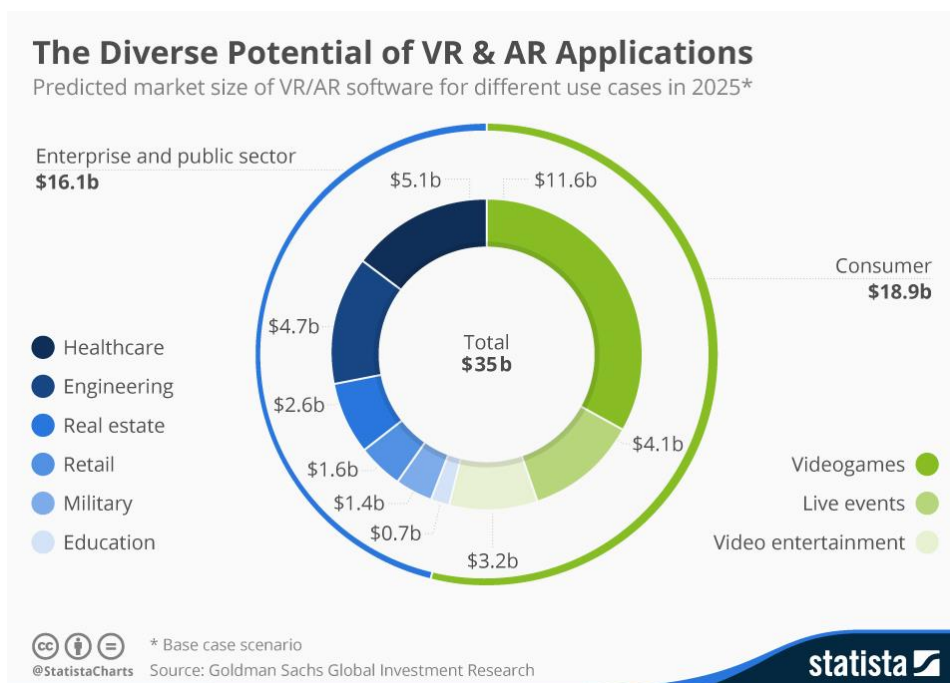
1.2 Virtualiosios realybės taikymai sporto ir medicinos srityse

Pastaraisiais metais galima pastebėti spartų virtualiosios realybės technologijos vystymąsi. Šios technologijos pagrindinis taikymas buvo numatytas pramogų industrijoje, tačiau pilna sričių, kuriose galima pritaikyti virtualiąją realybę, aibė yra labai plati. Ji gali būti panaudojama švietime [14], apmokymuose [15, 16], įvairių sutrikimų diagnozei [17], reabilitacijai [18] ir daugelyje kitų sričių.

Virtualiosios realybės sprendimų realizacijos būna skirtingų apimčių ir išsiskiria technologiniu sudėtingumu. Vienais atvejais kuriamos sistemos naudoja jau išpildytą virtualiosios realybės įrangą ir ją papildo tik programine įranga, kitais su kuriama sistema naudojami standartiniai išoriniai įrenginiai. Jeigu taikymo sritis labai specifinė, virtualiajai realybei kuriama specializuota, konkrečiam atvejui skirta, aparatinė įranga [19, 20].

1.2.1 Virtualiosios realybės sprendimai medicinai

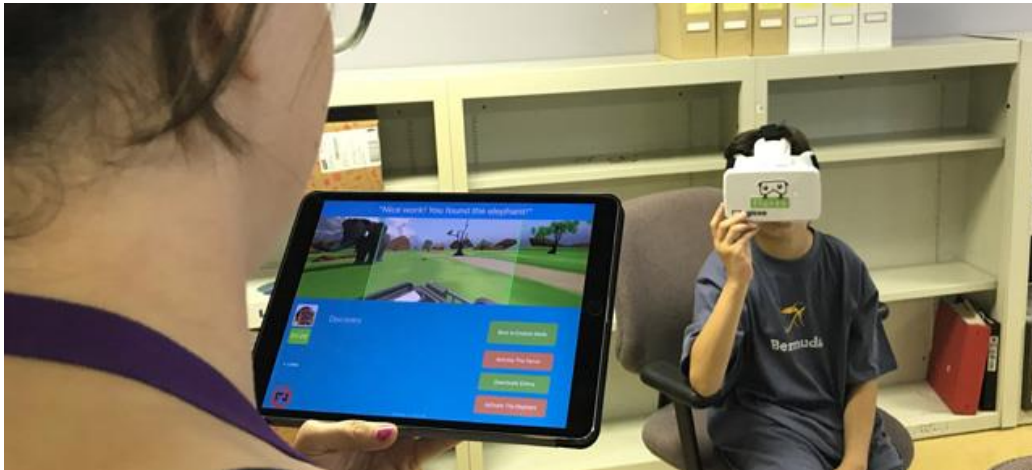
Virtualiosios realybės taikymų medicinoje šiais laikais apstu. Virtualioji realybė gali būti naudojama įvairiems mokymo scenarijams, sutrikimų diagnozavimui, reabilitacijai, terapijai ir gydymui [21, 22, 23, 24, 25, 26]. Remiantis Goldman Sachs tyrimu [27] numatoma, kad virtualiosios realybės rinka 2025m. sudarys 80 milijardų dolerių. Antrą vietą (po virtualiosios realybės taikymo žaidimų industrijoje) užima virtualiosios realybės sprendimai sveikatos apsaugos sektoriuje (1.14 pav.).



1.14 pav. Virtualiosios realybės rinkos prognozė (1)

Toliau aptarsime keletą sričių, kur sveikatos apsaugos sektoriuje gali būti panaudota virtualioji realybė.

Terapija autizmu sergantiems žmonėms. Pagal CDC [28], 1 procentas žmonijos serga su autizmu susijusiomis ligomis. Šiuo momentu nėra apibrėžtų išgydymo metodų, tačiau kalbėjimo terapija gali pagerinti komunikavimo ir socialinius įgūdžius. Floreo startuolis siūlo mobiliąją virtualiąją realybę panaudoti tokio tipo terapijai. Užsidėję virtualiosios realybės akinius vaikai sąveikauja su virtualiais veikėjais parengtose egzotinėse scenose. Tuo tarpu gydytojai ir tėvai gali stebėti šią sąveiką tuo pačiu stebint daromą progresą. 1.15 pav. pateiktas tokios terapijos seanso pavyzdys.



1.15 pav. Autizmo terapijos seanso iliustracija [29]

Chroniško skausmo mažinimas. Dešimtys milijonų žmonių [30] kenčia nuo chroniškų skausmų. Vis daugiau tokių žmonių malšina chronišką skausmą vaistais. Egzistuoja tyrimai, kurie rodo, kad virtualiosios realybės taikymas skausmo malšinimo terapijai gali sumažinti skausmą iki 25 procentų [31]. *Farmoo* projektu siekiama nukreipti dėmesį nuo skausmo rodant tokias virtualiosios realybės scenas (plaukimas kartu su banginiais, skraidymas po nuostabias vietas sraigtasparniu ir pan.), kurios padeda įveikti skausmą ir sumažinti stresą. 1.16 paveiksle pateikta sistemos testavimo akimirka.



1.16 pav. Farmoo projekto demonstracija [32]

Hospitalizuotų pacientų priežiūra. Pacientams, ypač vaikams ir paaugliams gulėjimas ligoninėje gali tapti nemaloniu iššūkiu. Kompanija *VisitU* [33] siūlo virtualiosios realybės programinę įrangą,

kuri leidžia ligoniui virtualiai bendrauti su artimaisiais jiems nesant ligoninėje (1.17 pav.). Toks virtualus bendravimas leidžia palaikyti socialinius ryšius taupant laiką. 1.17 paveikslo kairėje pusėje pateiktas vaizdas, kurį mato ligonis.



1.17 pav. Virtualaus bendravimo seansas [33]

Mokymas prižiūrėti senyvo amžiaus žmones. Senstant žmonės susiduria su įvairiomis problemomis, tokiomis regėjimo, klausos, atminties prastėjimas. Jauni žmonės prižiūrintys senyvo amžiaus žmones dažnai nesuvokia kaip jaučiasi jų prižiūrimi asmenys. Dėl to kenčia pozityvus požiūris į prižiūrimus asmenis, kas be abejonės daro įtaką priežiūros kokybei. *Embodied Labs* laboratorija vykdo projektą „We are Alfred“ [34]. Virtualioji realybė šiuo atveju leidžia pasijusti 74 metų amžiaus žmogumi su regėjimo ir klausos sutrikimais (1.18 pav.). Prižiūrėtojas 7 minutes išgyvena senojo Alfredo (herojaus vardas) gyvenimą.



1.18 pav. „We are Alfred“ testavimas UMASS medicinos mokykloje [35]

Yra ir kitų projektų, kurie tyrinėja rimtų žaidimų taikymą prižiūrėtojų apmokymui ir motyvavimui. Pavyzdžiui, Kauno technologijos universitete vykdomas panašus projektas (iDO) kartu

su tarptautiniais partneriais. Šio projekto esmė – mokyti ir motyvuoti prižiūrėtojus žaidžiant kompiuterinį žaidimą, kuriame prižiūrimas demencija sergantis asmuo [36]. Autoriai ketina žaidimą pritaikyti ir virtualiajai realybei.

Reabilitacija atsistatant po smegenų traumos. Žmonėms patyrusiems insultą ar kitokio pobūdžio smegenų traumą reikalinga reabilitacija siekiant atstatyti prarastas funkcijas. Reabilitacijos metu pacientams reikia daugybę kartų atlikti tam tikrus fizinius veiksmus. Virtualiosios realybės sprendimas, kurį siūlo Mindmaze [37], leidžia pacientui įsitraukti į pratimų atlikimą bei suteikia motyvaciją. Be to, jų naudojami virtualiosios realybės akiniai (1.19 pav.) turi integruotus sensorius, kurie elektromiogramos dėka registruoja paciento būseną.



1.19 pav. Mindmaze virtualiosios realybės akiniai su integruotais jutikliais [37]

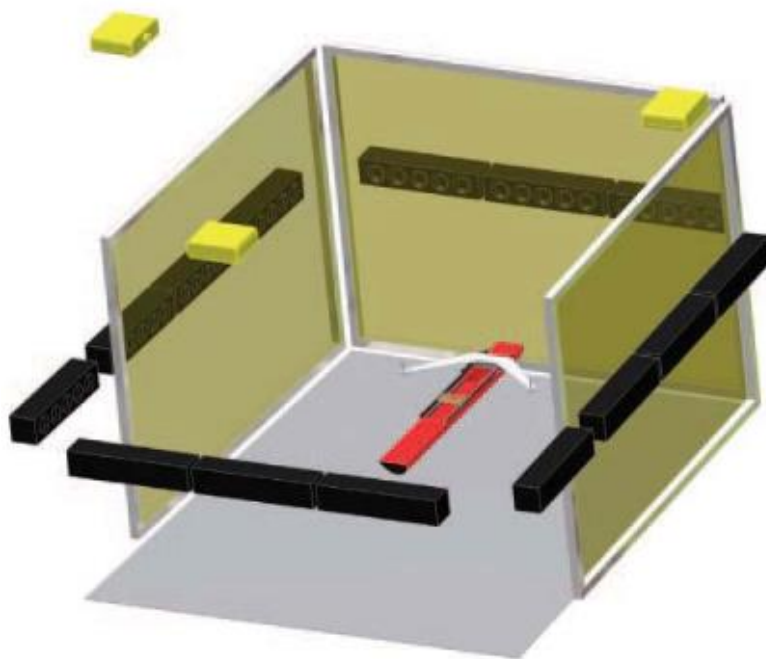
Vestibiulinio aparato sutrikimų diagnozė ir reabilitacija. Naujieji šalminiai virtualiosios realybės vaizduokliai turi labai didelį pranašumą medicinos taikyme. Juos naudojant pacientui galima pateikti visiškai kontroliuojamą ir saugią aplinką, kuri galėtų įvairiais intensyvumais dirginti jo jusles [38]. Šios galimybės labai praverčia vestibulinio aparato sutrikimų atvejais ir naudojant poveikio terapiją [39]. Vestibiulinio aparato sutrikimų diagnozė ir reabilitacija panaudojant virtualiosios realybės sprendimus tyrinėjama ir Lietuvoje. Atliekami tyrimai ir pasiūlyti sprendimai plačiau aprašyti 1.2.3 skyriuje.

1.2.2 Virtualiosios realybės sprendimai sportui

Virtualiosios realybės technologija turi didelį potencialą pritaikymui sporto srityje [40]. Ši technologija gali būti naudojama suteikiant didesnę motyvaciją sportuojant, ypač situacijose kai sportas tampa monotoniškas, pavyzdžiui sporto klubuose [41]. Virtualiosios realybės naudojimas gali ne tik pagerinti psichologinę sportu užsiimančių žmonių būseną, bet ir gerokai pagerinti sportininkų rezultatus [42]. Sportininkų rezultatams įtaką gali daryti įvairūs veiksniai, pavyzdžiui virtualūs žiūrovai, oponentai arba komandos nariai. Šiems veiksniams nustatyti buvo atlikti du tyrimai [43, 44]. Tyrimų rezultatai parodė, kad virtualūs žiūrovai didelės įtakos sportininkui nepadarė, tačiau virtualių kolegų įtraukimas į treniruotę pagerino rezultatus. Toliau aptarsime su irklavimu susijusius projektus,

nes tai viena iš sričių, kur dirbtiniai prietaisai naudojami treniruotėms, kai realių treniruočių vykdyti neįmanoma (pvz. žiemą, kai užšalęs vanduo).

Kuriant virtualios realybės sistemas sportui būtina išnaudoti natūralias įvesties sąsajas. Šios sąsajos įvairiais būdais turi imituoti treniruotės procesą ir judesius, išnaudoti tinkamas sportuojančiojo raumenų grupes ir t.t. Vieno atlikto tyrimo metu buvo realizuotas specializuotas irklavimo treniruoklis (20). Treniruoklis buvo sudarytas iš pritaikytos akademinio irklavimo valtės ir „CAVE“ („Cave Automatic Virtual Environment“) sistemos. Akademinio irklavimo valtės priekis ir galas buvo aptrumpinti, kad valtis galėtų tilpti į ribotą kambario plotą. Valtyje ir jos irkluose įmontuoti įvairūs jutikliai generuoja įvesties signalus, kurie leidžia imituoti tikrovišką irklavimą. Tuo tarpu standartiniai irklavimo treniruokliai, tokie kaip „Concept2“, imituoja tik supaprastintą irklavimo procesą. Treniruotės programai atvaizduoti naudojama „CAVE“ sistema pavaizduota 1.20 paveiksle. Programos vaizdas projektuojamas ant patalpos sienų naudojant tris projektorius. Projektuojamo vaizdo dydis pilnai padengia sienas. „CAVE“ sistemos centre padėtas realizuotas akademinio irklavimo treniruoklis. Garsui imituoti naudojami garsiakalbiai, kurie apsupa visą kambarį. Taip sistema gali pateikti visiškai erdvinį garsą. Tyrimo metu irklavimo treniruoklis buvo įvertintas kaip pakankamai tikroviškas ir tinkamas naudoti treniruotėms.



1.20 pav. Irklavimo tyrimui naudota „CAVE“ sistema [43]

1.2.3 Virtualiosios realybės sprendimai skirti sportui ir medicinai Lietuvoje

Lietuvoje egzistuoja sukurtų virtualiosios realybės sprendimų sportui ir medicinai. Dalis jų kuriami ir nagrinėjami mokslo kontekste, dalis jų kuriami komerciniais tikslais.

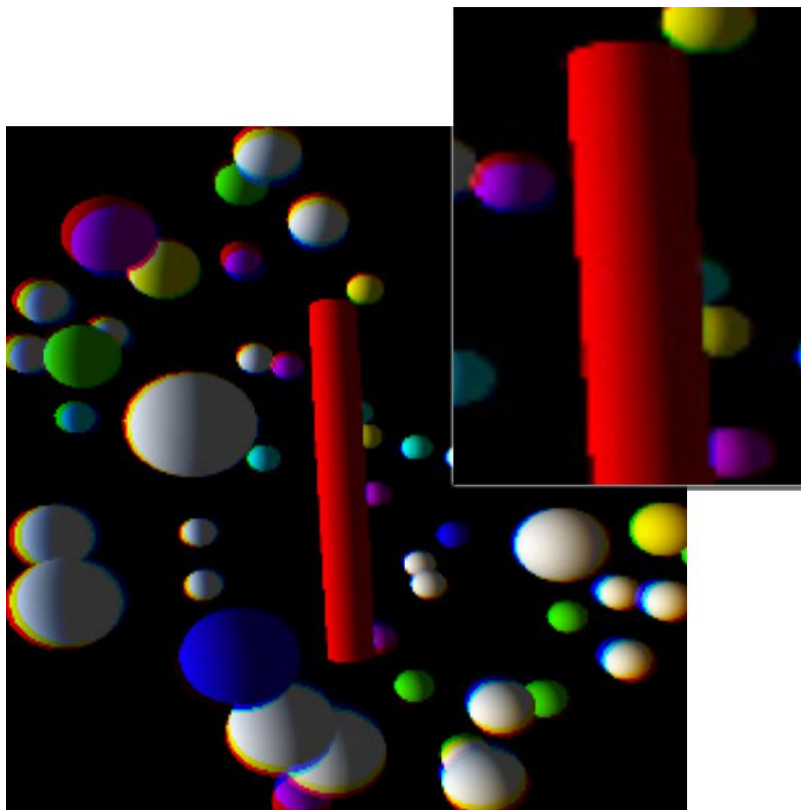
Įmonė “SneakyBox” kuria virtualiosios realybės sprendimus kalbėjimo baimei bei panikos sutrikimams gydyti [45]. Aviacijos entuziastas Gediminas Sinkevičius kuria skraidymo virtualiojoje realybėje prietaisus [46].

Didžioji dalis Lietuvos mokslinių tyrimų skirta vestibulinio aparato sutrikimų diagnostikai ir gydymui. Vienas lietuvių virtualiosios realybės sprendimas skirtas GPPS (Gerybinis Paroksizminis Pozicinis Svaigimas) gydymui [47] atliekant “Epley” manevrą [48]. Virtualiosios realybės programa pataria kokius veiksmus pacientui atlikti darant “Epley” manevrą. Virtualios realybės sprendimui naudojami Samsung Gear VR akiniai (1.21 pav.).



1.21 pav. „Epley“ manevro atlikimas naudojant virtualiąją realybę [49]

Kitas virtualiosios realybės sprendimas, kuris yra kuriamas KTU ir LSMU tyrėjų, skirtas vestibulinio aparato sutrikimų diagnozei. Eksperimentai šioje srityje pradėti dar 2015 metais. Pirmoji sistema buvo sukurta eksperimentiniams virtualiosios realybės akiniais Oculus DK1 ir galėjo būti panaudojama tik naudojant asmeninį kompiuterį [50]. Eksperimentinių virtualiosios realybės akinių naudojimas dėl mažos skiriamosios gebos išduodavo tikrąją vertikalę. 1.22 paveiksle pateiktas vaizdas iš autorių straipsnio parodo dėl mažos skiriamosios gebos cilindre matomus laiptelius. Vertikalė galėjo būti nustatoma pagal tai – matomi laipteliai ar ne.



1.22 pav. Virtualiosios realybės ekranvaizdis iš straipsnio [50]

1.3 Analizę apibendrinančios išvados

Renkantis virtualios realybės platformą tyrimams pagrindiniai iškelti kriterijai buvo platformos našumas, ergonomiškumas, mobilumas ir jos pasiekiamumas Lietuvoje. Atsižvelgiant į šiuos kriterijus buvo išrinkta „Samsung Gear VR“ platforma. Ji nėra tiek naši kaip asmeniniams kompiuteriams skirta virtualios realybės įranga, tačiau pateikia pakankamai kokybišką trijų laisvės laipsnių judesio sekimą, yra mobili, o aukšta naudojamų telefonų skiriamoji geba pateikia aiškų vaizdą. Su įrenginiu komplektuojamas ir valdiklis, kuris leis kurti manipuliuojamas tyrimų programų aplinkas. Pasirinkus šią platformą sukurtas programos ateityje bus galima naudoti su „Oculus Go“ platforma, nes pastaroji palaiko „Gear VR“ programas.

Atlikus egzistuojančių virtualiosios realybės sprendimų analizę sportui pastebėta, kad virtualiajai realybei didelė pridėtinė vertė suteikiama tuomet, kai išgaunamas ne tik betarpiškas vaizdas (žmogus nemato nieko kito tik virtualiąją aplinką), bet ir naudojami realūs valdymo prietaisai. Tai labai padidina įsitraukimą (angl. *immersiveness*) į virtualiąją terpę. Dėl šios priežasties nuspręsta sukurti virtualiosios realybės sprendimą irklavimo įrenginiui „Concept2“. Šis įrenginys yra paplitęs, todėl virtualiosios realybės programinė įrangai taip pat turėtų geras sąlygas paplitimui.

Atlikus egzistuojančių virtualios realybės sprendimų analizę medicinai pastebėta, kad virtualioji realybė veikia vestibulinį aparatą, todėl natūralu ją taikyti vestibulinio aparato sutrikimų diagnozei ir reabilitacijai. Tai parodo ir du lietuvių sprendimai, kurių vienas skirtas reabilitacijai, o kitas -

diagnozei. Siekiant sukurti mobilų, panaudojamą sprendimą buvo nuspręsta prisijungti prie mokslininkų grupės, sukūrusius sprendimą stacionariajam kompiuteriui, pasiūlant kitą platformą, valdymo įrenginius ir vestibulinio aparato sutrikimų diagnostikos testus.

2 PROJEKTINĖ DALIS

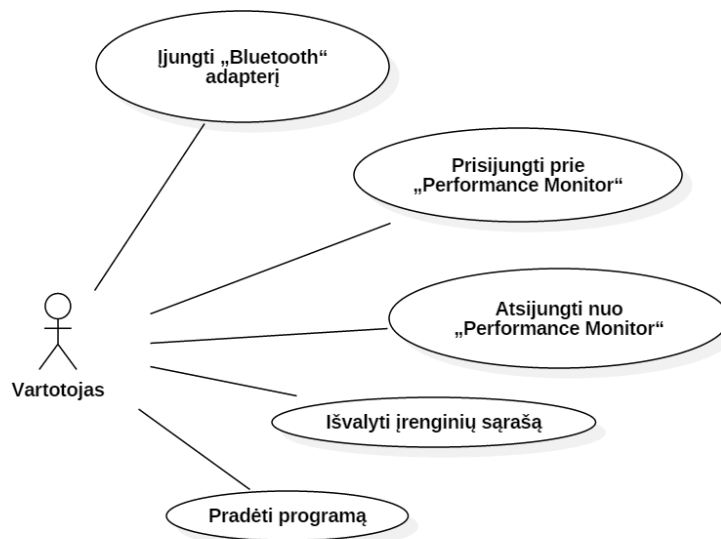
Magistriniame darbe tyrimams bus realizuoti du atskiri projektai: virtualiosios realybės programa pritaikymui sporte tirti ir virtualiosios realybės sistema pritaikymui medicinoje tirti. Virtualiosios realybės pritaikymo sportui realizacija skirta irklavimo treniruokliams „Concept2“. Virtualiosios realybės pritaikymo medicinai realizacija skirta vestibulinio aparato sutrikimų aptikimui.

2.1 Virtualiojo irklavimo programa

Virtualiojo irklavimo programa imituoja akademinį irklavimą virtualiojoje realybėje. Programa irklavimo duomenis gauna iš „Concept2“ treniruoklio naudojant „Performance Monitor“ kompiuterį, kuris siunčia šiuos duomenis „Bluetooth Low Energy“ ryšiu. Programa realizuota „Samsung Gear VR“ virtualiosios realybės platformai naudojant „Unity3D“ žaidimų variklį.

2.1.1 Sistemos funkcijos

Irklavimo programa susideda iš dviejų scenų – pagrindinio meniu ir virtualiosios irklavimo scenos. Virtualiojo irklavimo programos pagrindinio meniu panaudos atvejai pateikiami 2.1 paveiksle.

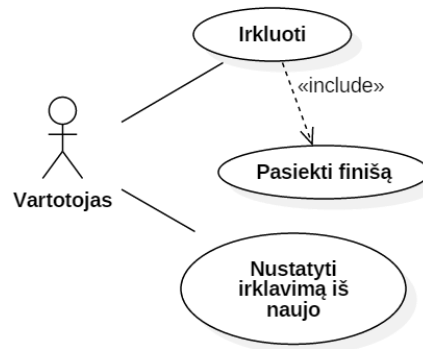


2.1 pav. Virtualiojo irklavimo meniu funkcijos

Šioje programos dalyje naudojamos funkcijos susijusios su „Bluetooth“ ryšio konfigūravimu irklavimo įvesčiai. Panaudos atvejų diagramoje pateikiamos tokios funkcijos:

- *Ijungti „Bluetooth“ adapterį* – vartotojas įjungia įrenginio „Bluetooth“ ryšio adapterį.
- *Prisijungti prie „Performance Monitor“* – vartotojas prijungia mobilųjį įrenginį prie konkretaus „Performance Monitor“ kompiuterio primontuoto prie „Concept2“ treniruoklio. Jeigu „Bluetooth“ ryšys nėra įjungtas arba prie kompiuterio yra prisijungta, ši funkcija nieko nedaro.

- *Atsijungti nuo „Performance Monitor“* – vartotojas nutraukia telefono ir „Performance Monitor“ kompiuterio ryšį. Prieš vykdant šią funkciją būtina prisijungti prie „Performance Monitor“ kompiuterio.
- *Išvalyti įrenginių sąrašą* – išvalomas aptiktų „Bluetooth“ įrenginių sąrašas. Įrenginių aptikimas po šios funkcijos įvykdymo neišjungiamas.
- *Pradėti programą* – pagrindinis meniu išjungiamas ir vartotojas perkeliamas į virtualiąją irklavimo sceną. Šią funkciją galima atlikti ir tada, kai „Bluetooth“ įvestis nesukonfigūruota. Tada vartotojas scenoje galės tik žvalgytis.



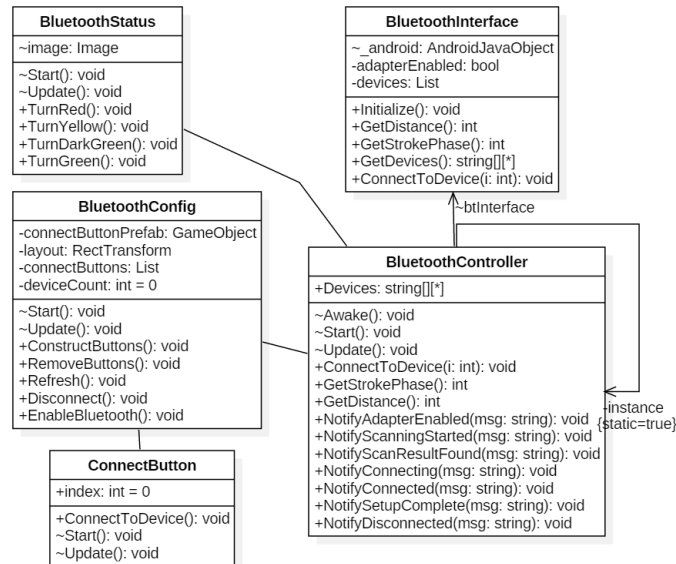
2.2 pav. Sistemos funkcijos irklavimo scenai

Pradėjus programos darbą vartotojas iš pagrindinio meniu perkeliamas į virtualiąją irklavimo sceną. Joje vartotojui suteikiamos tokios funkcijos (2.2 pav.):

- *Irkluoti* – vartotojas, sukonfigūravęs „Bluetooth“ įvestį, irdamasis su „Concept2“ treniruokliu judina virtualiąją valtį.
- *Pasiekti finišą* – nuirklavęs reikiamą distanciją vartotojas pasiekia finišą.
- *Nustatyti irklavimą iš naujo* – iš naujo nustatoma irklavimo būseną. Valtis grąžinama į pradinę poziciją, irklavimo laikas grąžinamas į pradinę reikšmę.

2.1.2 Statinis sistemos vaizdas

Pagal funkcionalumo svarbą programoje galima išskirti dvi klasių grupes. Viena grupė pasirūpina „Bluetooth“ ryšio konfigūracijos pateikimu vartotojui ir jos vykdymu. Kita klasių grupė valdo visą irklavimo eigą – seka irklavimo trukmę, valdo įvesties duomenų perdavimą valties judinimo kodui, atvaizduoja vartotojo sąsają ir t.t.

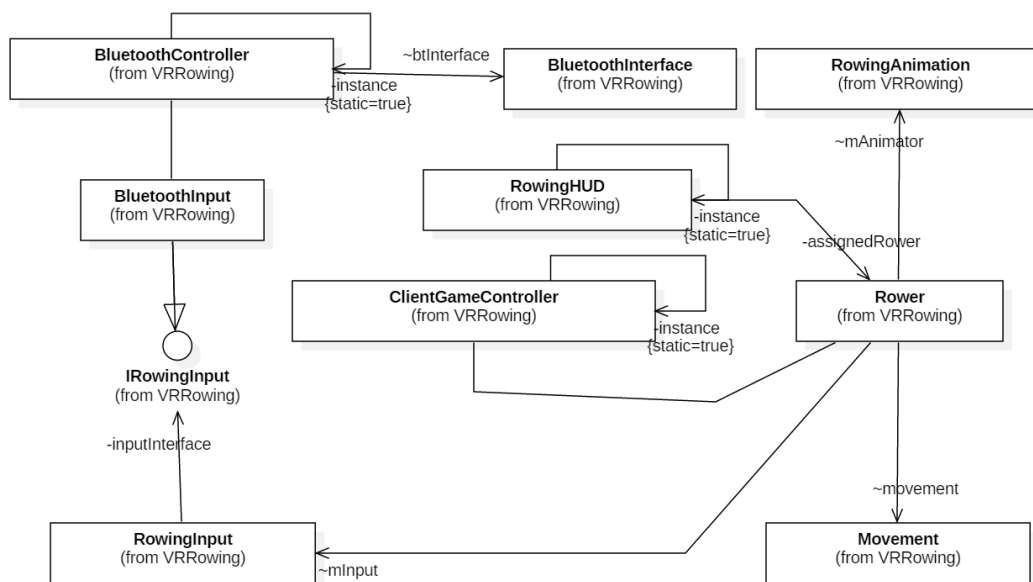


2.3 pav. „Bluetooth“ konfigūracijos sąsajos klasių diagrama

Už „Bluetooth“ įvesties konfigūravimą atsakingų klasių diagrama pavaizduota 2.3 paveiksle.

Diagramoje matomos šios klasės:

- *BluetoothController* – klasė apibendrinanti „Bluetooth“ sąsajos metodus. Ši klasė taip pat klauso ir vykdo su „Bluetooth“ ryšiu susijusius įvykius. Ši klasė realizuota naudojant *Singleton* projektavimo šabloną.
- *BluetoothInterface* – klasė skirta programai sąveikauti su „Java“ objektais, kurie realizuoja komunikaciją su išoriniais įrenginiais naudojant „Bluetooth Low Energy“ ryšį.
- *BluetoothConfig* – klasė valdo konfigūracijai skirtą vartotojo sąsają ir pateikia metodus ryšio konfigūravimui. Ši klasė taip pat stebi įrenginių aptikimo įvykius ir pagal juos generuoja prisijungimo mygtukus.
- *BluetoothStatus* – stebi „Bluetooth“ prisijungimo įvykius ir pagal juos vartotojui, vartotojo sąsajos pagalba, indikuoja prisijungimo būseną.
- *ConnectButton* – mygtuko, skirto prisijungti prie aptikto „Bluetooth“ įrenginio, klasė.



2.4 pav. Virtualiojo irklavimo klasės diagramos

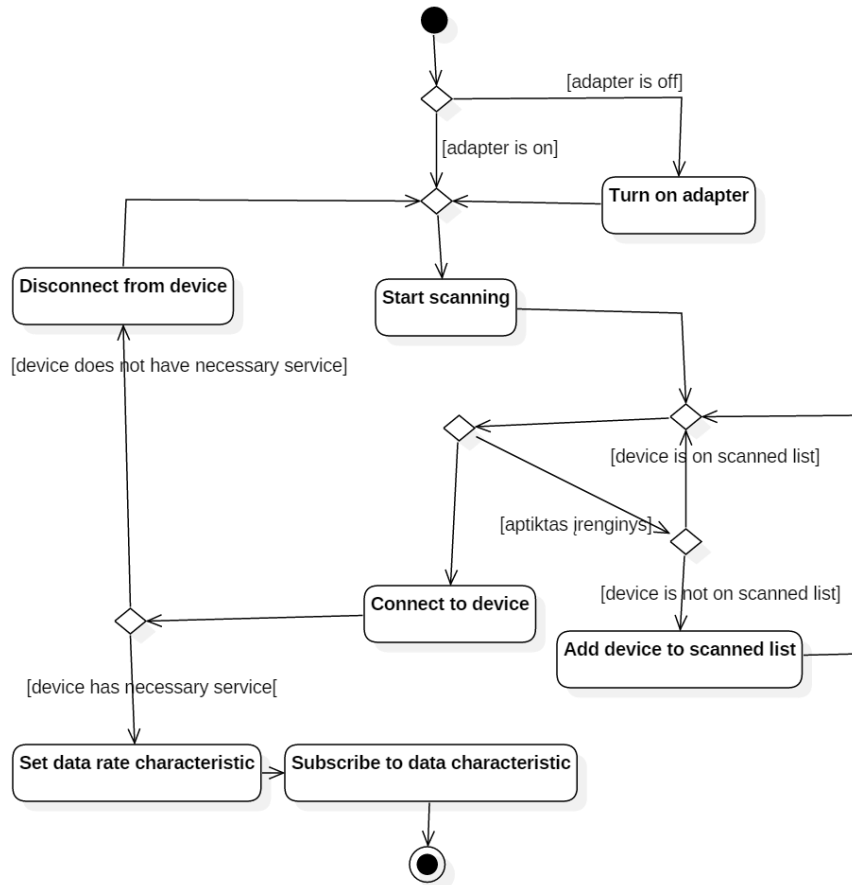
Pagrindinės klasės sudarančios virtualiojo irklavimo sistemą pavaizduotos 2.4 paveiksle matomoje klasės diagramoje:

- *ClientGameController* – klasė atsakinga už irklavimo eigos valdymą. Joje saugomos nuorodos į irkluotojų objektus, irklavimo trukmė, irkluotojų pozicijos, irklavimo būseną.
- *Rower* – irkluotoją atstovaujanti klasė. Joje saugomi irkluotojo duomenys ir vidinė būseną. Su šia klase sąveikauja įvesties, valties judėjimo ir animacijos komponentai.
- *Movement* – valties judėjimo komponentas. Šioje klasėje realizuota įvesties duomenų prognozė.
- *RowingInput* – irklavimo įvesties komponentas. Ši klasė laiko nuorodą į įvesties sąsajos objektą ir perduota įvesties duomenis iš įrenginio *Rower* klasės objektui.
- *IRowingInput* – įvesties įrenginio sąsaja programoje. Šioje klasėje apibrėžti metodai įvesties priėmimui ir perdavimui kitiems komponentams.
- *BluetoothInput* – *IRowingInput* sąsają realizuojanti klasė. Ši klasė skirta priimti ir perduoti „Performance Monitor“ siunčiamus duomenis kaip įvestį programoje.
- *RowingHUD* – irklavimo metu rodomos vartotojo sąsajos klasė. Klasė rodo ir atnaujiną irkluojamą distanciją, laiką ir poziciją. Pasiekus finišą, ši klasė praneša apie šį įvykį vartotojui.
- *RowingAnimation* – komponentas valdantis irkluotojo modelio animacijas. Animacijoms valdyti naudojami iš įvesties gaunami duomenys.

2.1.3 Dinaminis sistemos vaizdas

Šiame poskyryje aptariamas virtualiojo irklavimo programos elgesys veikimo metu. Išskiriamas programos veikimas inicijuojant „Bluetooth“ komunikaciją su „Performance Monitor“ kompiuteriu, įvesties apdorojimas ir virtualiosios valties judinimas.

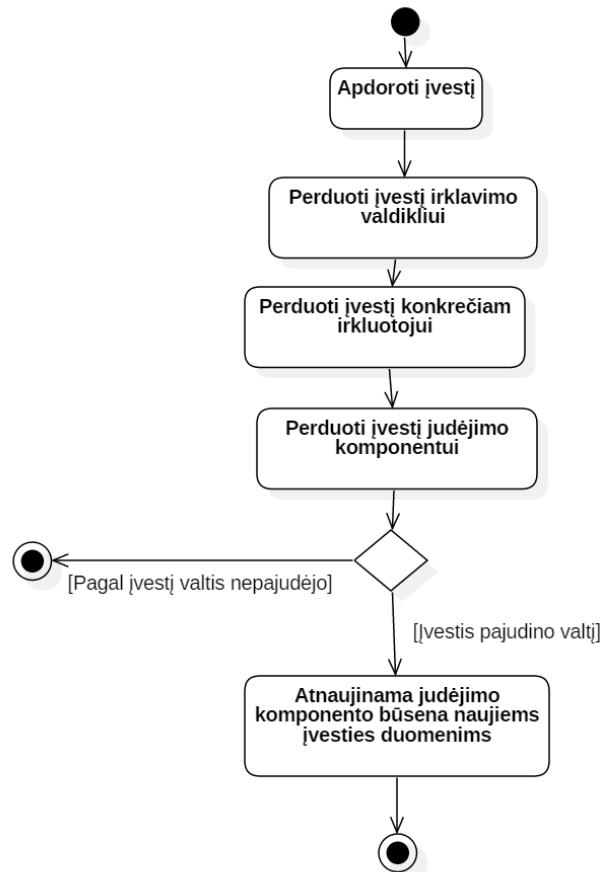
Programos prisijungimo prie „Performance Monitor“ scenarijus pateiktas 2.5 paveiksle.



2.5 pav. Programos jungimosi prie „Performance Monitor“ veiklos diagrama

Pradėdama prisijungimo procesą prie „Performance Monitor“ kompiuterio virtualiojo irklavimo programa patikrina ar yra įjungtas „Bluetooth“ ryšys. Jeigu išjungtas, pati programa jį įjungia. Po įjungimo pradėdamas įrenginių aptikimas. Kiekvienas aptiktas įrenginys įrašomas į aptiktų įrenginių sąrašą, jeigu jis tame sąrašė dar neegzistuoja. Jei tuo metu vartotojas nusprendžia jungtis prie įrenginio – pradėdamas prisijungimo procesas. Prisijungus prie įrenginio patikrinama ar prijungtas įrenginys iš tikrųjų yra „Performance Monitor“ kompiuteris. Tam yra skaitoma kompiuteriui būdinga paslauga. Jeigu paslauga randama, tuomet tęsiamas programos konfigūravimas, kitu atveju atsijungiama nuo įrenginio. Tęsiant programos konfigūravimą yra nustatomas duomenų iš „Performance Monotiro“ kompiuterio siuntimo dažnis pakeičiant dažnį valdančios charakteristikos reikšmę. Paskutinis veiksmas – nustatoma irklavimo duomenų charakteristika, kad automatiškai programai praneštų apie bet kokius duomenų pokyčius.

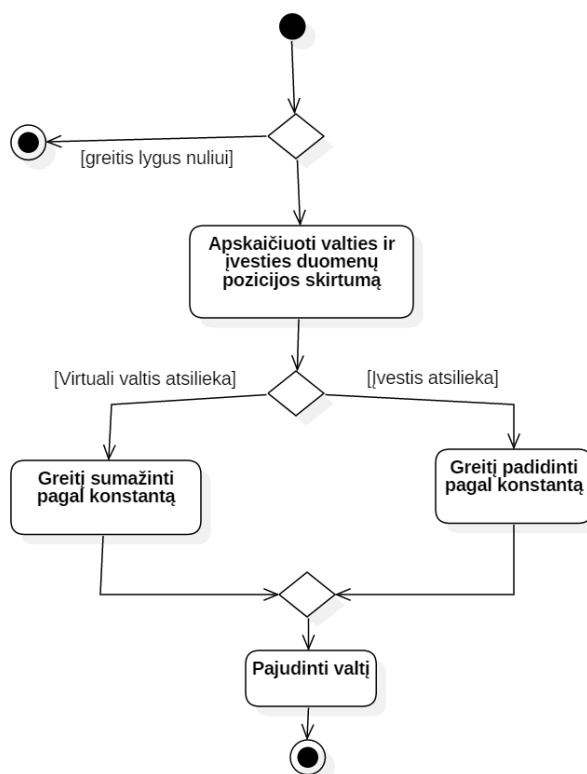
Įvesties apdorojimo veiklos diagrama pateikta 2.6 paveiksle.



2.6 pav. Įvesties duomenų apdorojimo veiklos diagrama

Įvestis gaunama iš irkluotojo objekto įvesties komponento. Komponentas paima duomenis gaunamus iš įvesties sąsajos objekto ir juos perduoda programos valdymo klasei. Ši klasė juos persiunčia irkluotojo objektui, o po to objektas duomenis perleidžia judėjimo komponentui. Judėjimo komponentas patikrina ar naujai gauti įvesties duomenys pajudintų valtį. Jei duomenys valtės judėjimui neturi įtakos, duomenys yra numetami. Kitu atveju komponentas duomenis apdoroja ir panaudoja savo būsenos atnaujinimui.

Valties judėjimo procesas pavaizduotas 2.7 paveiksle.

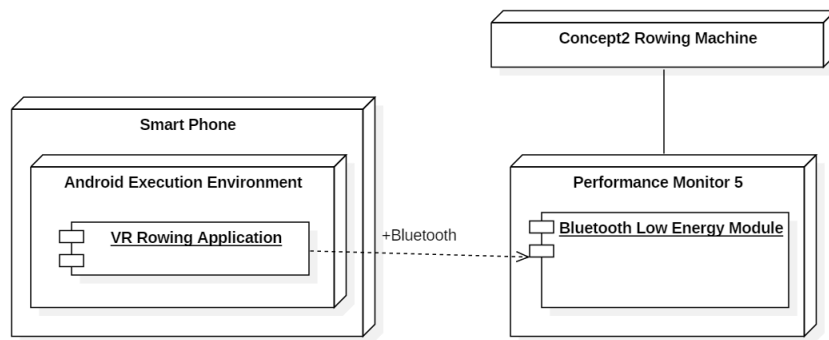


2.7 pav. Valties judėjimo veiklos diagrama

Apdorojus įvestį ir atnaujinus judėjimo komponento būseną vykdomas pats valtės judinimas. Pirmiausia patikrinama koks greitis suteiktas valčiai pagal paskutinius įvesties duomenis. Jeigu valtės greitis lygus nuliui, tuomet judėjimo programos vykdymas sustabdomas. Jei greitis didesnis už nulį, tuomet tęsiamas judesio vykdymas. Programa apskaičiuoja skirtumą tarp virtualiosios realybės pozicijos distancijoje ir įvesties perduodamo nuirkluoto atstumo. Šis skirtumas yra patikrinamas, jeigu iš skirtumo matoma, kad virtualiosios valtės pozicija atsilieka – valtės greitis yra padauginamas iš numatytos konstantos, kad greitis padidėtų. Kitu atveju, kai valtės pozicija distancijoje pralenkia įvesties rodomą nuirkluotą atstumą, greitis yra mažinamas pagal konstantą. Pakoreguotas greitis tada panaudojamas valtės pajudinimui.

2.1.4 Sistemos sudėtis

Sistema susideda iš trijų komponentų – išmaniojo telefono naudojamo virtualiajai realybei, „Concept2“ irklavimo treniruoklio ir „Performance Monitor“ kompiuterio (2.8 pav.). Irklavimo programa veikia išmaniajame telefone ir su „Performance Monitor“ komunikuoja naudojant „Bluetooth Low Energy“ ryšį. Treniruoklis duomenis generuoja ir juos perduoda kompiuteriui, o po to persiunčia išmaniajam telefonui.



2.8 pav. Irklavimo sistemos išdėstymo diagrama

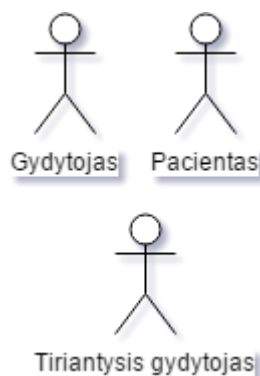
2.2 Virtualiosios realybės sistema vestibulinio aparato sutrikimų diagnozei

Sistemą sudaro trys dalys – valdymo programa, virtualiosios realybės programa ir informacinė sistema. Tiriantysis gydytojas naudoja valdymo programą diagnozės testų procesui valdyti. Ši programa skirta išmaniam „Android“ telefonui, kuris palaiko centrinę „Bluetooth Low Energy“ rolę. Virtualiosios realybės programa vykdoma „Samsung Gear VR“ platformoje ir skirta tiriamajam. Pacientas užsidėjęs virtualiosios realybės akinius ir naudodamas konkretų įvesties įrenginį vykdo gydytojo pateikiamas užduotis. Informacinė sistema saugo diagnozės testų duomenis.

Valdymo programa realizuota „Android Studio“ aplinkoje naudojant „Java“ programavimo kalbą. Virtualiosios realybės programa realizuota naudojant „Unity3D“ žaidimų variklį. Šiame projekto skyriuje informacinės sistemos realizacija nebus aptariama.

2.3 Sistemos funkcijos

Pilna vestibulinio aparato sutrikimų diagnozės sistema susideda iš trijų sistemos komponentų. Kiekvienas komponentas yra aktualus skirtingiems sistemos vartotojams ir apima atskiras visos sistemos funkcijas.



2.9 pav. Sistemos aktoriai

Išskirti trys sistemos aktoriai (2.9 pav.):

- *Tiriantysis gydytojas* – medicinos darbuotojas, kuris naudoja sukurtą sistemą pacientų vestibulinio aparato sutrikimų diagnostikai. Šis gydytojas neprivalo dirbti medicinos įstaigoje ir gali vykti su įranga pas pacientus.

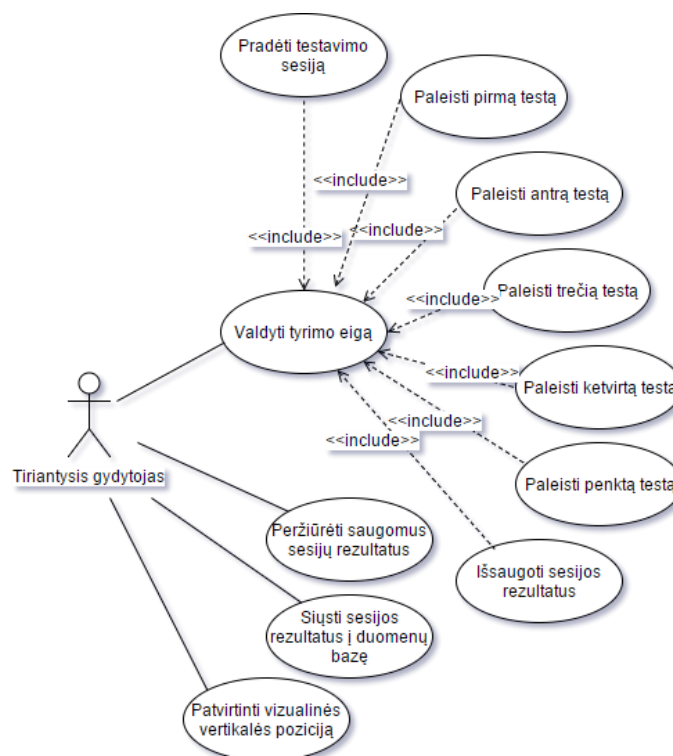
- *Pacientas* – tiriamasis asmuo, kuriam nustatoma ar yra vestibulinio aparato sutrikimų.
- *Gydytojas* – medicinos darbuotojas, kuriam reikalinga prieiga prie tyrimų rezultatų (gali būti ir pacientus tiriantis gydytojas).



2.10 pav. Paciento panaudos atvejai

Su pacientu susiję panaudos atvejai (2.10 pav.):

- *Valdyti vizualinę vertikale* – pacientas pasirinktu įvesties įrenginiu valdo vizualinės vertikalės pasukimo kampą siekdamas ją pastatyti vertikaliai.
- *Patvirtinti vizualinės vertikalės poziciją* – pacientas nustatęs tokią vertikalės poziciją, kuri jam atrodo visiškai vertikali, ją patvirtina ir tęsia testą.

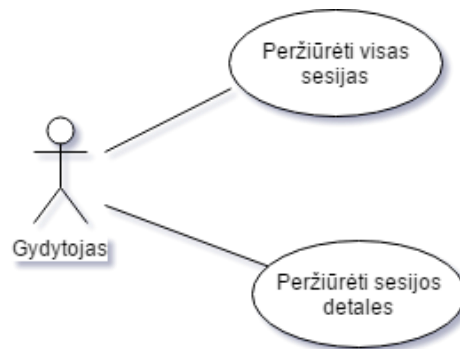


2.11 pav. Tiriančiojo gydytojo panaudos atvejai

Su tiriančiuoju gydytoju susiję panaudos atvejai (2.11 pav.):

- *Valdyti tyrimo eigą* – tiriantysis gydytojas valdo visą tyrimo eigą. Tyrimo eigos valdymą sudaro naujos tyrimo sesijos sukūrimas, visų testų (statinio, dinaminių ir realiųjų) paleidimas ir baigtos sesijos rezultatų išsaugojimas.

- *Peržiūrėti saugomus sesijos rezultatus* – gydytojas peržiūri lokaliai saugomų sesijų duomenis (paciento informaciją, atlikimo datą) ir rezultatus.
- *Siųsti sesijos duomenis į duomenų bazę* – tiriantysis gydytojas išsiunčia sesijos duomenis į duomenų bazę, kurioje vėliau kiti gydytojai gali šiuos duomenis peržiūrėti.
- *Patvirtinti vizualinės vertikalės poziciją* – tiriantysis gydytojas turi galėti padėti pacientui patvirtinti vizualinės vertikalės poziciją, jeigu pacientui dėl kažkokios priežasties to padaryti pačiam nepavyksta.



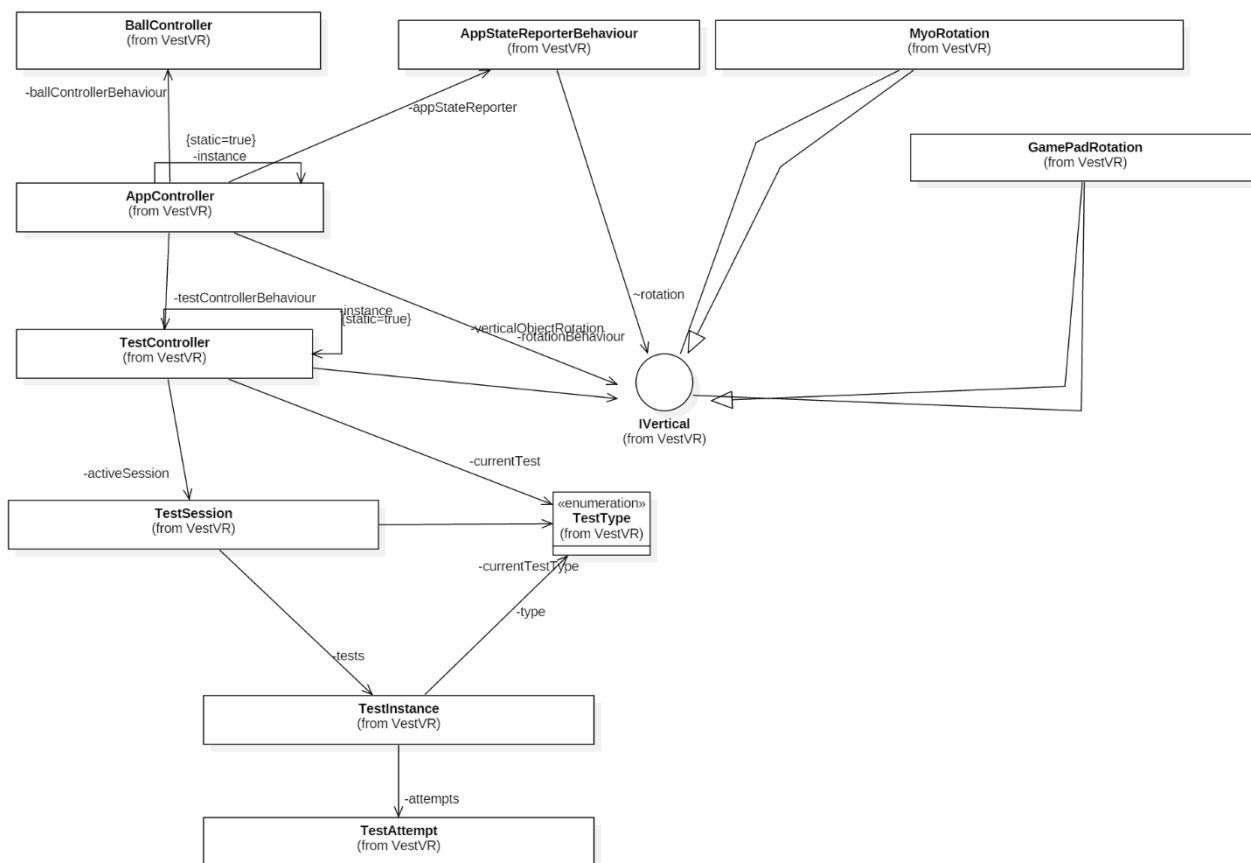
2.12 pav. Gydytojo panaudos atvejai

Su gydytoju susiję panaudos atvejai (2.12 pav.):

- *Peržiūrėti visas sesijas* – medicinos darbuotojas turi galėti peržiūrėti bendrus visų sesijų duomenis.
- *Peržiūrėti sesijos detales* – pasirinkęs konkretų sesijos įrašą, gydytojas turi galėti peržiūrėti detalią jos informaciją – kiekvieno testo eigos duomenis ir galutinius rezultatus.

2.3.1 Statinis sistemos vaizdas

Poskyryje apibrėžiamos vestibulinio aparato sutrikimo diagnozės sistemos klasės. Dėmesys skiriamas virtualiosios realybės programos klasėms, kurios atsakingos už programos ir diagnozės testų vykdymo eigos valdymą, ryšio tarp įrenginių iniciavimą ir valdymo programos veikimą.

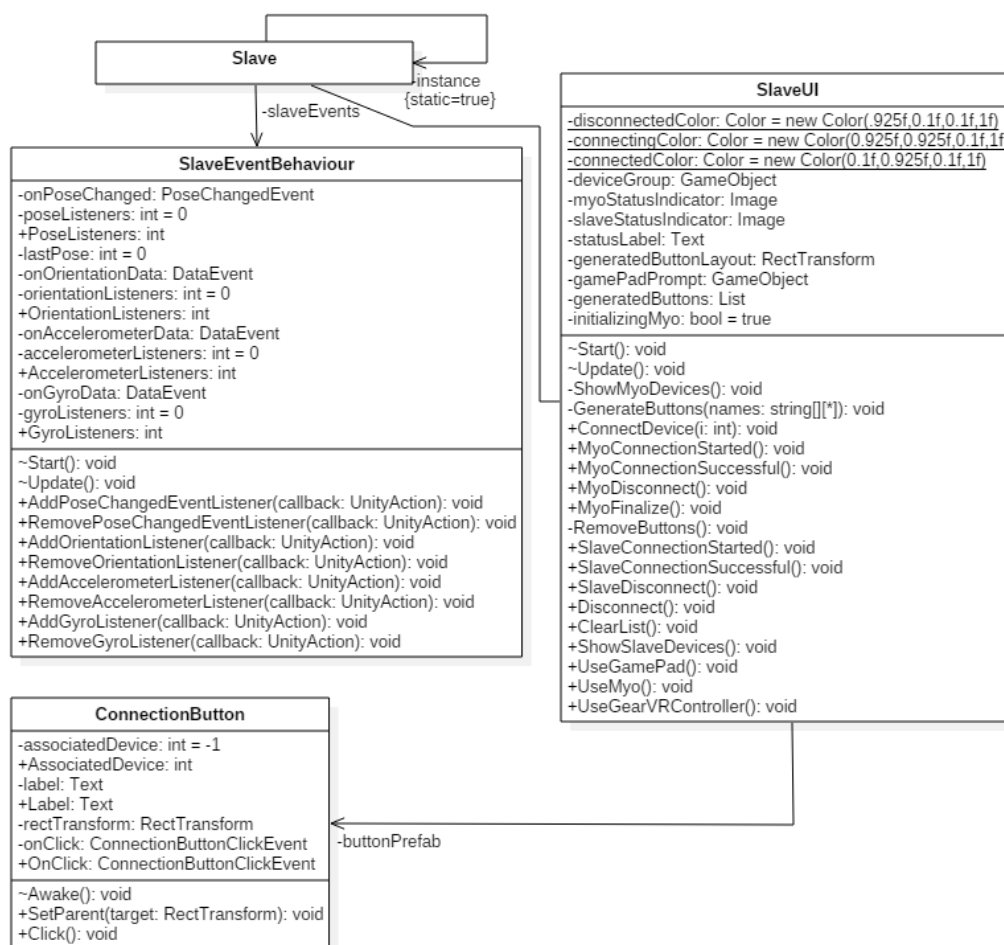


2.13 pav. Pagrindinės virtualiosios realybės programos klasės

Pagrindinės virtualiosios realybės diagnostikos programos klasės pavaizduotos 2.13 paveiksle:

- *AppController* – programos valdymo klasė. Ji yra atsakinga už programos būsenų keitimą, skirtingų scenų paleidimą ir rodymą, skirtingų sistemos komponentų įjungimą ir išjungimą. Ši klasė yra realizuota *Singleton* projektavimo šablonu.
- *AppStateBehaviour* – klasė, kuri praneša apie programos būseną valdymo programai, vykdomai kitame įrenginyje. Duomenų persiuntimui naudojamas „Bluetooth Low Energy“ ryšys.
- *TestController* – klasė atsakinga už testų eigos valdymą virtualiosios realybės programoje. Šiai klasei perduodamos testo valdymo komandos iš valdymo programos „Bluetooth Low Energy“ ryšiu.
- *TestInstance* – konkretaus testo klasė. Jos objekte saugomas testo tipas (statinis, dinaminis ar realusis) ir kiekvieno testo bandymo rezultatai.
- *TestAttempt* – vieno testo bandymo klasė. Joje saugomas bandymo rezultatas – patvirtintas vertikalės nuokrypis.
- *TestType* – sąrašo klasė nusakanti testo tipą.

- *BallController* – dinaminio testo kamuoliukų valdymo klasė. Šiai klasei perduodami kamuoliukų konfigūracijos duomenys iš valdymo programos ir pagal juos nustatomas kamuoliukų kiekis ir greitis.
- *IVertical* – vertikalės valdymo sąsaja. Ji naudojama klasių, kurios realizuoja įvesties įrenginių sąveiką su vertikalės objektu virtualiojoje scenoje.
- *MyoRotation* – įvesties klasė skirta „Myo“ apyrankei. Ši klasė realizuoja *IVertical* sąsają. Vertikalės pasukimo kampui keisti naudojami „Myo“ apyrankės judesio duomenys, o patvirtinimui – apyrankės aptikti gestai.
- *GamePadRotation* – įvesties klasė skirta žaidimų pultui. Ši klasė naudojama vertikalės manipuliavimui ir realizuoja *IVertical* sąsają.

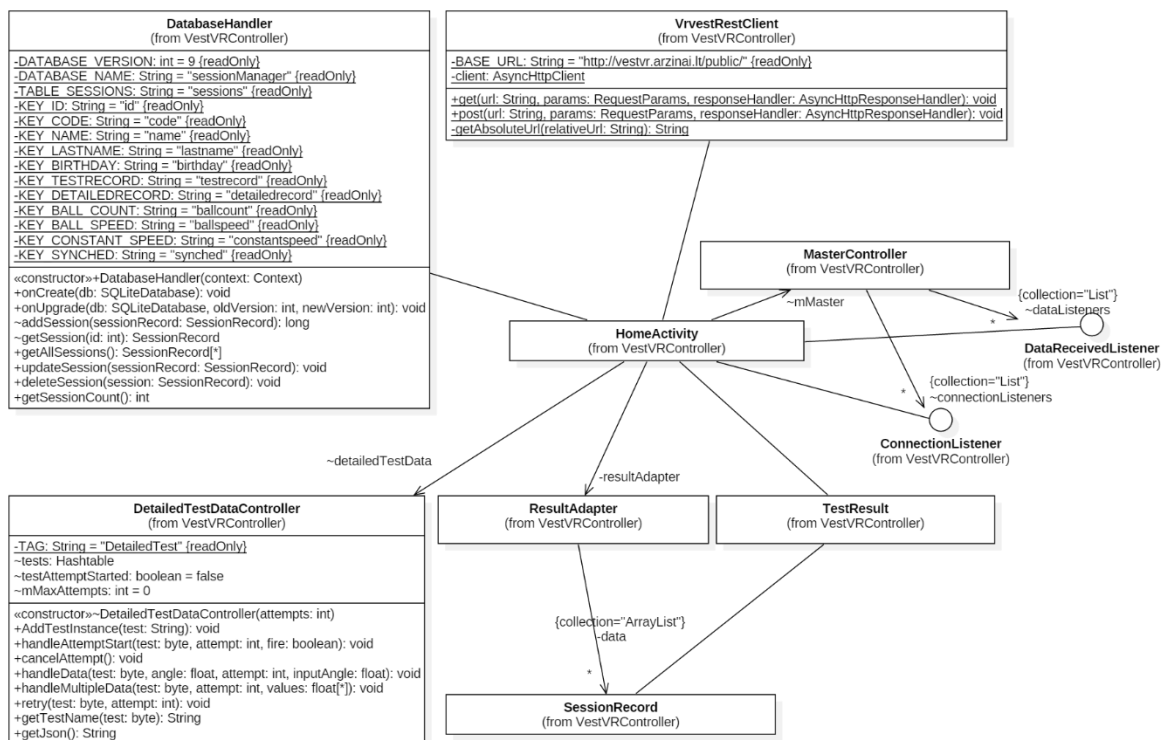


2.14 pav. „Bluetooth“ komunikacijos klasės virtualiosios realybės programoje

Klasės, susijusios su virtualiosios realybės programos komunikacija „Bluetooth Low Energy“ ryšiu, pavaizduotos 2.14 paveiksle:

- *Slave* – *Singleton* klasė, kuri turi nuorodas į „Java“ objektus komunikuojančius su išoriniais įrenginiais „Bluetooth“ ryšiu. Klasėje realizuoti metodai šių objektų naudojimui ir įvykiai pranešantys apie ryšio būsenos pakitimus.

- *SlaveEventBehaviour* – klasė skirta „Myo“ siunčiamos įvesties įvykiams kviešti ir apdoroti. Šios klasės įvykius naudoja *MyoRotation* klasė, kuri buvo apibūdinta praeitoje klasių diagramoje.
- *SlaveUI* – vartotojo sąsajos klasė „Bluetooth“ komunikacijos būsenai nusakyti. Ši klasė registruoja *Slave* klasės įvykius ir pagal juos atnaujina vartotojo sąsajos elementus. Taip pat generuoja mygtukus, skirtus prisijungti prie konkrečių „Bluetooth“ įrenginių.
- *ConnectionButton* – prisijungimo mygtukas, skirtas inicijuoti prisijungimui prie „Bluetooth“ įrenginių. *SlaveUI* klasė sugeneruoja mygtukus kiekvienam aptiktam „Bluetooth“ įrenginiui.



2.15 pav. Valdymo programos klasių diagrama

Testų valdymo programos pagrindinės klasės pateiktos 2.15 paveiksle:

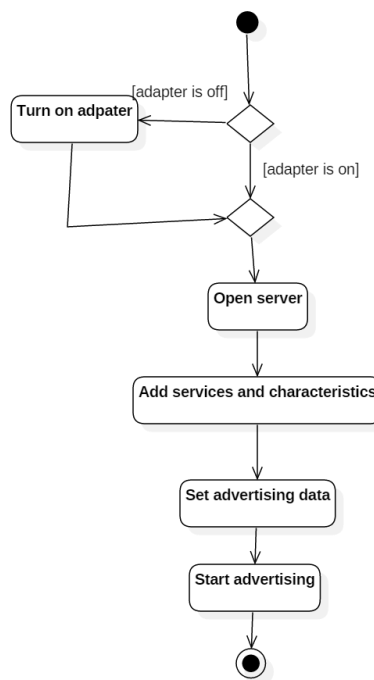
- *HomeActivity* – pagrindinė programos klasė. Ji turi nuorodas į programos vykdymui svarbius objektus, valdo vykdymo eigą ir vartotojo sąsaja. Joje atliekamas iš išorinių įrenginių gaunamų duomenų apdorojimas ir jų saugojimas programoje.
- *MasterController* – klasė atsakinga už komunikavimą su išoriniais įrenginiais „Bluetooth Low Energy“ ryšiu ir šios komunikacijos duomenų perdavimą kitiems programos komponentams.
- *DataReceivedListener* – sąsaja skirta duomenų, gautų iš išorinių įrenginių „Bluetooth Low Energy“ ryšiu, įvykiams generuoti ir apdoroti.

- *ConnectionListener* – ši sąsaja skirta ryšio būsenos su išoriniais įrenginiais įvykiams generuoti ir apdoroti.
- *ResultAdapter* – adapterio klasė pritaikyta testų duomenims atvaizduoti. Ji yra tarpinis objektas tarp programoje saugomų duomenų ir jų vizualinės reprezentacijos.
- *TestResult* – pagalbinė duomenų klasė, sauganti visų testų ir jų bandymų rezultatus.
- *DetailedTestDataController* – klasė skirta testo bandymo eigos duomenims registruoti. Klasė laike registruoja vertikalės pasukimo kampą ir įvesties įrenginio duomenis viso testo metu.
- *SessionRecord* – visos testavimo sesijos rezultatų įrašo klasė. Joje saugomi kiekvieno testo rezultatai, kiekvieno bandymo eigos duomenys, duomenys apie pacientą.
- *DatabaseHandler* – klasė skirta sąveikai su lokalia programos duomenų baze. Realizuoti metodai leidžia įrašyti duomenis į bazę, juos modifikuoti ir ištrinti.
- *VRvestRestClient* – klasė skirta programos komunikacijai su nutolusia informacine baze.

2.3.2 Dinaminis sistemos vaizdas

Didelė svarba projektuojamoje sistemoje skiriama sistemos įrenginių komunikacijai. Sistemoje dalyvauja trys įrenginiai, kurie komunikuoja tarpusavyje. Šiame skyriuje viena pateikta veiklos diagrama apibrėžia valdymo programos „Bluetooth“ serverio paleidimą. Kita diagrama specifikuoja komunikaciją tarp valdymo programos ir sutrikimų diagnostikos programos.

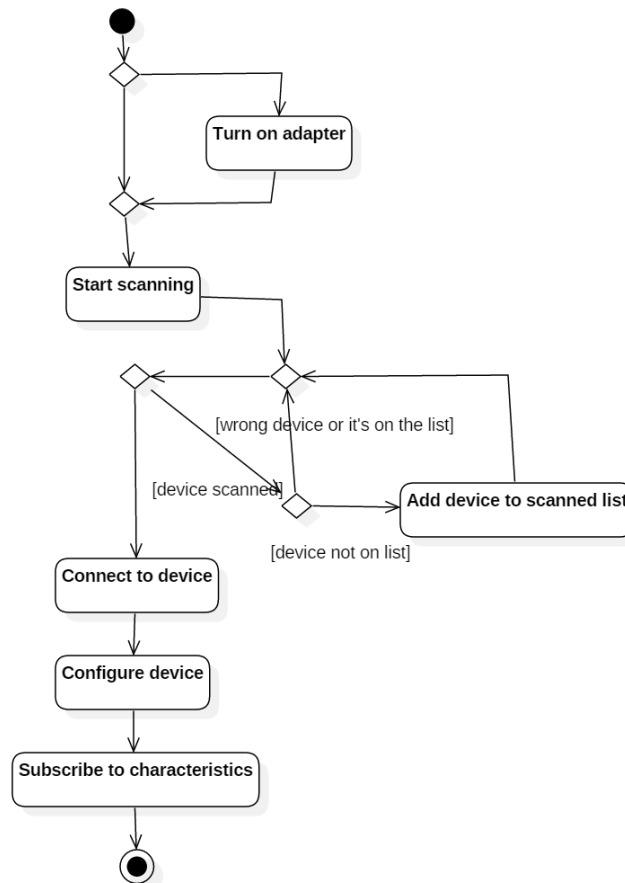
2.16 paveiksle pavaizduotas „Bluetooth“ serverio sukūrimo procesas.



2.16 pav. „Bluetooth“ serverio pradėjimo veiklos diagrama

Vienas esminių valdymo programos komponentų – „Bluetooth Low Energy“ serveris. Šis serveris telefonui leidžia užimti centrinio „Bluetooth“ įrenginio rolę ir priimti prisijungimo užklausas. Prieš paleidžiant serverį būtina užtikrinti, kad telefono „Bluetooth“ ryšys yra įjungtas Įjungus ryšį atidaromas serveris. Jį atidarius sukonfigūruojamos programai reikiamos paslaugos ir charakteristikos. Toliau nustatyti duomenis, kurie bus skleidžiami kitiems „Bluetooth“ įrenginiams ir pradėti šių duomenų skleidimą.

2.17 paveiksle pavaizduotas „Bluetooth“ komunikacijos procesas virtualiosios realybės programoje.



2.17 pav. „Bluetooth“ komunikacija virtualiosios realybės programoje

Virtualiosios realybės programoje serveris nėra sukuriamas, tačiau joje realizuota galimybė prisijungti prie dviejų centrinių „Bluetooth“ įrenginių. Vienas iš šių įrenginių yra valdymo programa, prie kurios būtina prisijungti, o kitas – „Myo“ apyrankė. Kadangi programai valdyti galima naudoti ir žaidimų pultą, tai prisijungimas prie „Myo“ apyrankės nėra būtinas. Bet koku atveju, prisijungimas prie valdymo programos ar apyrankės yra vienodas. Pirmiausia įjungiamas „Bluetooth“ ryšys, jeigu jis yra išjungtas. Įjungus ryšį pradedamas įrenginių aptikimas. Aptikus „Bluetooth“ įrenginį patikrinama ar jis yra aptiktų įrenginių sąrašė. Jei šiame sąrašė įrenginys egzistuoja su juo niekas nedaroma. Kitu atveju patikrinama ar įrenginys turi pagrindines valdymo programos arba „Myo“ apyrankės paslaugas.

Jei vieną iš šių paslaugų įrenginys turi, tuomet jis yra įrašomas į aptiktų įrenginių sąrašą. Vartotojui pasirinkus prisijungti prie vieno iš atrastų įrenginių prisijungimas yra inicijuojamas. Jeigu prisijungimas pavyksta, tuomet išorinis įrenginys sukonfigūruojamas darbui su programa. Po konfigūracijos surenkamos reikalingos programai charakteristikos ir nustatoma, kad pakeitus jų reikšmę apie tai būtų pranešama pačiai programai.

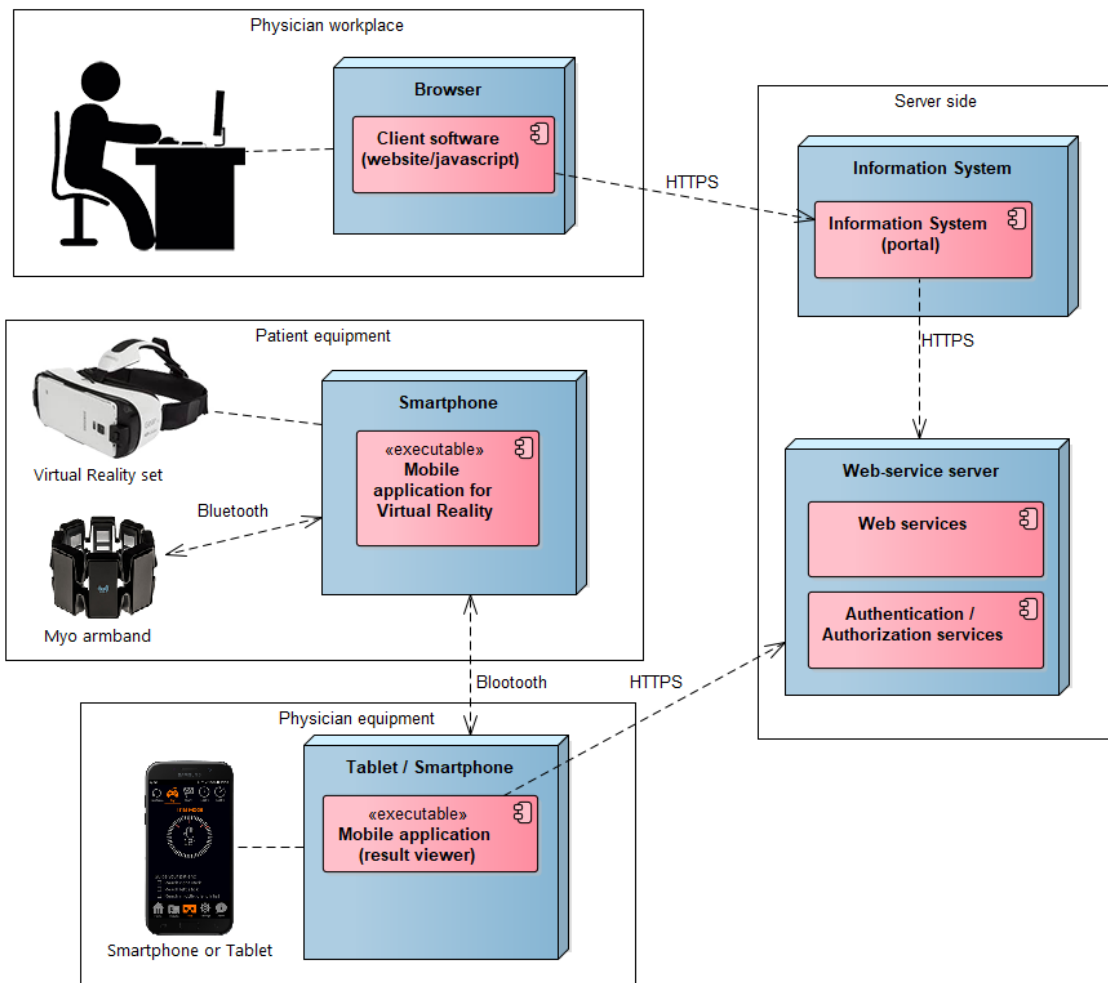
2.3.3 Sistemos sudėtis

Sistemos komponentų diagramoje (2.18 pav.) dalyvauja 3 aktoriai:

- *Pacientus tiriantis gydytojas* – medicinos darbuotojas, kuris naudoja sukurtą sistemą pacientų vestibulinio aparato sutrikimų diagnostikai. Šis gydytojas neprivalo dirbti medicinos įstaigoje ir gali vykti su įranga pas pacientus.
- *Pacientas* – žmogus, kuriam tiriami vestibulinio aparato sutrikimai.
- *Gydytojas* – medicinos darbuotojas, kuriam reikalingas priėjimas prie tyrimų rezultatų (gali būti ir pacientus tiriantis gydytojas)

Techninė ir programinė įranga reikalinga numatytiems aktoriams:

- Pacientas turi dėvėti virtualiosios realybės šalmą ir naudoti manipulatorių. Virtualiosios realybės šalmas veiks su technine įranga, kuri teiks virtualiąją aplinką. Tai gali būti virtualiajai realybei tinkamas išmanusis telefonas arba kompiuteris. Virtualiosios realybės šalme turi būti pateikiamos virtualiosios realybės scenos naudojant tuo tikslu sukurtą programą (žr. *Mobile application for Virtual Reality*).
- Tiriantis gydytojas turi valdyti testavimo sesiją ir fiksuoti rezultatus. Tuo tikslu gydytojas naudoja planšetinį kompiuterį, išmanųjį telefoną. Vieno iš šių įrenginių pagalba gydytojas gali valdyti testavimo sesiją, stebėti tyrimo rezultatą, jį užfiksuoti ir išsaugoti informacinėje sistemoje. Visa tai atliekama naudojant programinę įrangą schemoje pažymėtą kaip *Mobile application (result viewer)*.



2.18 pav. Sistemos komponentų diagrama

Gydytojas gali naudotis bet kuriuo kompiuteriu rezultatų peržiūrai ir analizei. Rezultatų peržiūra ir jų valdymas bus vykdomas sistemai skirtame tinklalapyje (žr. *Information system (portal)*).

3 TYRIMAS

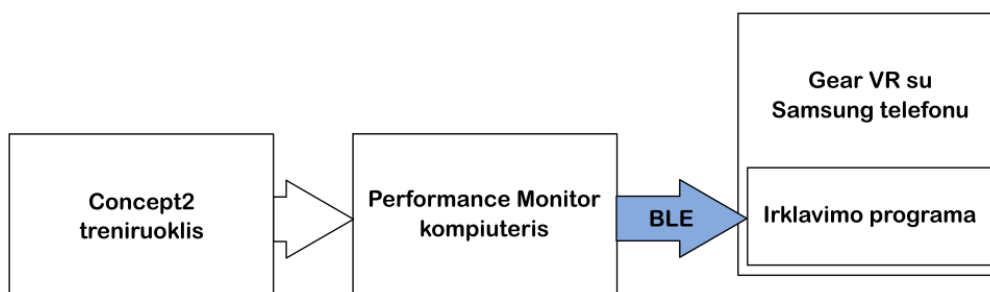
Tyrimas atliktas naudojant dvi sukurtas virtualiosios realybės programas. Viena programa skirta virtualiosios realybės pritaikymui sporte tirti, antra – pritaikymui medicinoje. Sportui skirta programinė įranga imituoja akademinį irklavimą naudojant „Concept2“ irklavimo treniruoklį. Programa skirta medicinai naudojama diagnozuoti vestibulinio aparato sutrikimus.

3.1 Virtualiojo irklavimo programa

„Concept2“ yra standartinis akademinio irklavimo treniruoklis. Šį treniruoklį naudoja profesionalūs sportininkai, su jais organizuojami oficialūs turnyrai. Kartu su treniruokliu komplektuojamas „Performance Monitor“ kompiuteris nuo antrosios versijos realizavo sąsają, kuria leido irklavimo duomenis perduoti asmeniniam kompiuteriui arba per tinklą. Penktoji kompiuterio versija realizavo „Bluetooth Low Energy“ sąsają, kuri atvėrė plačias galimybes kurti treniruokliui skirtą programinę įrangą ne tik asmeniniams kompiuteriams, bet ir mobiliems įrenginiams.

3.1.1 Įvestis ir valdymas

Irklavimo treniruotės duomenys yra kaupiami prie treniruoklio primontuotame kompiuteryje „Performance Monitor“ (toliau „PM“). Šis kompiuteris kaupia tokius duomenis kaip nuirkluotas atstumas metrais, vidutinis yrių skaičius per minutę, vidutinė yrių galia, sudegintos kalorijos ir t.t. Visi šie duomenys gali būti perduoti kitiems įrenginiams „Bluetooth Low Energy“ (toliau „BLE“) ryšiu arba per USB sąsają naudojant CSAFE protokolą.



3.1 pav. Irklavimo programos duomenų perdavimo schema

Irklavimo virtualiojoje realybėje programa vykdoma išmaniajame telefone, tad duomenis patogiau perduoti „BLE“ ryšiu (3.1 pav.). Be pagrindinių paslaugų „PM“ kompiuterio „BLE“ sąsaja turi keletą tik jam būdingų. Šios paslaugos yra skirtos treniruoklio ir kompiuterio informacijai nuskaityti, CSAFE protokolo komunikacijai imituoti ir irklavimo duomenims perduoti. Paskutinė paslauga yra aktuali irklavimo virtualiojoje realybėje programai. Paslauga turi kelias charakteristikas, kuriose saugoma įvairi irklavimo treniruotės informacija.

Irklavimo programai svarbios dvi saugomos reikšmės – nuirkluotas atstumas ir yrio būseną. Treniruoklio kaupiamas nuirkluotas atstumas naudojamas judinti virtualiąją valtį, o yrio būseną –

imituoti virtualiosios valtės riklų traukimą. Šias reikšmes galima pasiekti nuskaitant „C2 rowing general status“ charakteristiką. Charakteristikos duomenys yra laikomi sugrupuoti dvidešimties baitų masyve. Iš šio masyvo reikiami duomenys turi būti išrenkami. Nuirklutas atstumas masyve saugomas centimetrų tikslumu trijuose baituose pradedant nuo trečio indekso (3.2 pav.). Yrio būseną saugoma viename vienuolikto indekso baite. Yriui priskiriamos penkios būsenos:

- laukiama kol treniruoklio smagratis pasieks minimalų greitį (būsenos reikšmė yra 0);
- laukiama kol treniruoklio smagratis įsibėgės (būsenos reikšmė – 1);
- irklotojas iriasi (būsenos reikšmė – 2);
- irklotojas baigia yrį (būsenos reikšmė – 3);
- irklotojas grįžta į yrio pradžią (būsenos reikšmė – 4).

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|

3.2 pav. „C2 rowing general status“ charakteristikos paketas

Charakteristikos duomenis atnaujiną pats „PM“ kompiuteris. Kiekvieną kartą atnaujinus reikšmes, jos yra persiunčiamos „BLE“ ryšiu išmaniajam telefonui. Toliau šios reikšmės panaudojamos programos būsenos atnaujinimui. Pagal nutylėjimą „PM“ kompiuteris reikšmes atnaujiną kas 500 ms. Siuntimo dažnis gali būti padidintas įrašant konkrečią reikšmę į „C2 rowing general status and additional status sample rate“ charakteristiką. Galimos reikšmės yra:

- 0 – nustatomas 1 sekundės duomenų atnaujinimo periodas;
- 1 – nustatomas 500 ms duomenų atnaujinimo periodas (ši reikšmė yra nutylėtoji);
- 2 – nustatomas 250 ms duomenų atnaujinimo periodas;
- 3 – nustatomas 100 ms duomenų atnaujinimo periodas.

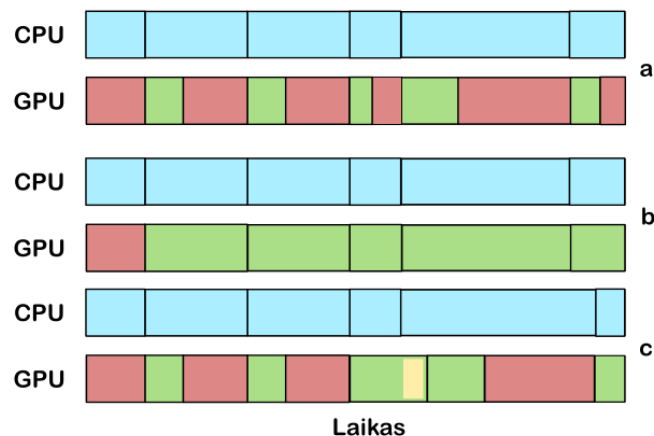
Irklavimo programai reikia kuo dažnesnio duomenų atnaujinimo, tad jos susiejimo su „PM“ kompiuteriu metu, periodas nustatomas į 100 ms.

3.1.2 Virtualiosios scenos paruošimas

Irklavimo programai parinkta virtualiosios realybės platforma nėra pati našiausia, tad parengta virtualioji scena turi būti optimizuota, kad programos veikimas būtų sklandus. Idealiomis sąlygomis programa turi veikti 60 kadru per sekundę dažniu. Kadru dažnis trumpesniais laiko tarpais gali būti ir mažesnis, tačiau jeigu jis ilgesniu laiko periodu siekia per pus mažesni, 30 kadru per sekundę, sceną būtina optimizuoti. Pagal kūrėjams skirtas rekomendacines gaires scenoje reikia apriboti piešimo instrukcijų kiekį, atvaizduojamos geometrijos poligonų ir perpaišomų pikselių skaičių.

Atvaizduojant kiekvieną trimatį objektą scenoje, piešimo variklio būseną turi būti paruošiama vaizdavimui. Paruošimo metu susiejamos reikiamos tekstūros, geometrijai skirti viršūnių buferiai ir

kiti duomenys. Kiekvienas šios būsenos pakeitimas sugeneruoja piešimo instrukcijas, kurių generavimo metu grafinis procesorius yra nenaudojamas ir taip švaistomas jo laikas. Šis atvejis pavaizduotas 3.3a paveiksle. Centrinis procesorius generuoja piešimo instrukcijas (jų vykdymo laikas pažymėtas mėlynai), o grafinis procesorius šias instrukcijas vykdo (pažymėta žaliai). Neišnaudojamas grafinio procesoriaus laikas atsiranda tarp instrukcijų vykdymo pabaigos ir naujų instrukcijų vykdymo pradžios (pažymėta raudonai). Piešimų instrukcijų sukeliamų pauzių kiekį galima mažinti grupuojant atvaizduojamus objektus, kad keli objektai būtų atvaizduojami vienos piešimo instrukcijos metu. Grupuojant objektus taip pat ilgėja šių objektų atvaizdavimas grafiniam procesoriui, kas praverčia mažinant šio procesoriaus pauzių trukmę. Idealiausias šio produktyvaus grafinio procesoriaus darbas atvaizduotas 3.3b paveiksle. Šiuo atveju objektų grupės atvaizdavimas trunka tiek pat kiek užtrunka sugeneruoti piešimo instrukcijas. Grupuojant objektus reikia surasti pusiausvyrą, kad atvaizdavimo laikas nebūtų ilgesnis už piešimo variklio būsenos perjungimą. Paveiksle 3.3c matoma, kai grafinis procesorius nespėja įvykdyti paskutinės piešimo instrukcijos, o jam jau pateikiama nauja (laikas pažymėtas geltonai).

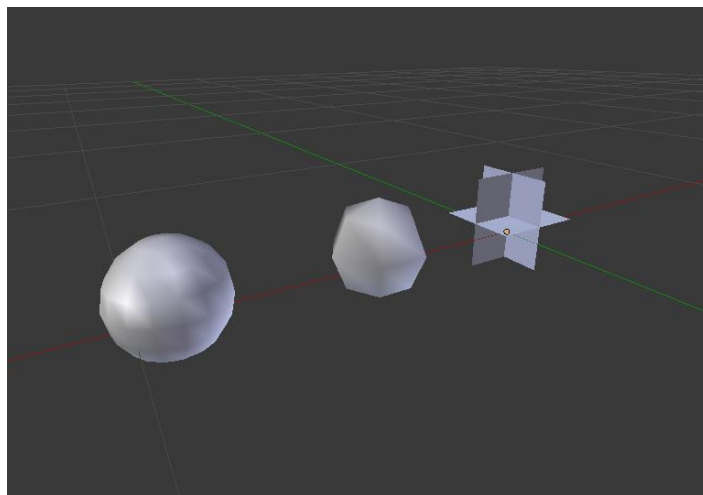


3.3 pav. Scenos atvaizdavimo laiko schemas skirtingiems procesoriams

Grupuojant objektus taip pat svarbu, kad objektų grupė nebūtų per didelė ploto ir tūrio atžvilgiu. Jeigu grupė padaroma per didelė, gali įvykti taip, kad scenos dalys, esančios už matomo lauko, bereikalingai įtraukiamos į atvaizdavimo skaičiavimus. Dėl to taip pat reikia rasti grupių dydžio pusiausvyrą.

Ruošiant sceną ir siekiant naudoti kuo mažesnę poligonų skaičių geometrijai atvaizduoti buvo stengiamasi panaikinti visas trimačių modelių dalis, kurių vartotojas programos vykdymo metu neturės galimybės pamatyti. Tuo pačiu tikslu naudojami detalumo lygiai, kurie didinant atstumą nuo modelio mažina modelį sudarančių poligonų skaičių (3.4 pav.). Modeliai, kurie scenoje buvo toli nuo vartotojo,

buvo pakeisti apsimetėliais – plokštumomis su tekstūromis (3.5 pav.). Objektai yra pakankamai toli, todėl skirtumo tarp modelio ir plokštumos su modelio tekstūra nesimato.

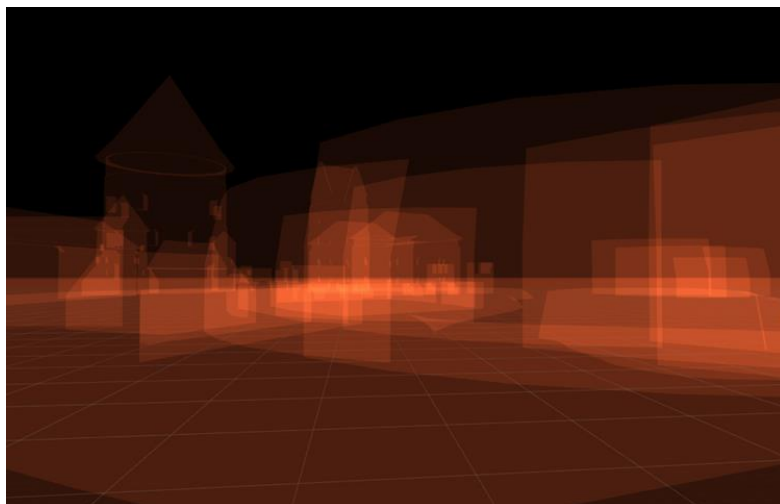


3.4 pav. Trimatėje scenoje naudojamas plūduras ir jo detalumo lygiai



3.5 pav. Vietoje medžių modelių naudojami apsimetėliai – tekstūruotos plokštumos

Pikselių perpaišymas įvyksta, kai viename kadre to pačio pikselio reikšmė kadro buferyje yra pakeičiama kelis kartus. 3.6 paveiksle pavaizduota pikselių perpaišymo vizualizacija „Unity3D“ redaktoriuje. Kuo šviesesnė pikselio spalva šioje vizualizacijoje tuo daugiau kartų tas pikselis yra perpaišomas. Taip bereikalingai naudojamas grafinio procesoriaus laikas. Pikselių perpaišymui vengti nebuvo naudojami vaizdo koregavimo efektai, kaip spalvų korekcija ar ryškinimo filtrai. Taip pat buvo stengiamasi išvengti atvaizduoti objektus su permatomumu, nes net tuo atveju jeigu atvaizduojamas pikselis būna permatomas, jo reikšmė vis tiek perskaičiuojama. Išimtis buvo apsimetėliai, kurių atvaizdavimui naudojamas permatomumas.



3.6 pav. Perpaišomų pikselių vizualizacija „Unity3D“ žaidimų variklio redaktoriuje

3.1.3 Treniruoklio ir virtualiosios realybės programos sinchronizavimas

Virtualiosios realybės programa veikdama telefone geriausiomis sąlygomis veikia 60 kadrų per sekundę dažniu. Duomenys iš irklavimo treniruoklio siunčiami 10 Hz dažniu. Iškyla problema, kad programa kas 6 kadrus negauna naujų duomenų ir negali atnaujinti savo būsenos. Taip vykdant irklavimo programą vartotojas matytų distancijos „šuolius“, vykstančius kas 0,1 sekundės. Sprendimas – vykdyti įvesties duomenų prognozę ir apskaičiuoti tarpines šių duomenų reikšmes.

Prognozuoti kiek vartotojas pairklus kol bus gaunamas kitas duomenų paketas iš irklavimo treniruoklio reikia tam, kad būtų turima kažkokia reikšmė iki kurios bus interpoliuojama valties pozicija tuose kadruose, kurie negaus duomenų. Pats paprasčiausias būdas prognozuoti kito kadro duomenis – daryti prielaidą, kad duomenų pokytis tarp dabartinių ir būsimų bus toks pats kaip ir skirtumas tarp esamų ir buvusių duomenų. Taip realizavus nuolatos saugomi praeito kadro duomenys ir prognozuojami kito kadro duomenys. Prognozė atliekama suskaičiuojant duomenų pokytį tarp praeito kadro ir esamo kadro. Šis pokytis pridedamas prie esamų duomenų ir gaunama prognozuojama duomenų reikšmė.

Apskaičiavus prognozuojamą reikšmę valties pozicija interpoliuojama nuo buvusios pozicijos iki spėjamos per tą laiko tarpą per kurį gaunama nauja duomenų reikšmė. Šio metodo trūkumas yra tai, kad jis reikalauja naujos reikšmės idealiu (0,1 s.) duomenų siuntimo periodu. Jei tokiu laiku duomenys nebus gaunami, tuomet gali įvykti valties šuolis, kuris sutrikdys tolydų ir įtikinamą valties judesio iliuziją. Šios programos atveju metodas reikalautų naujų įvesties duomenų idealiai kas 0,1 s. Norint apeiti šį trūkumą reikia valties interpoliacijos pradinei pozicijai naudoti iki to laiko momento interpoliuotą poziciją. Taip išlieka tolydus judėjimas.

Dėl vėliau gaunamų duomenų gali iškilti dar viena problema. Duomenims vėluojant interpoliacija spėja pasibaigti ir valtis kelis kadrus gali likti stovėti vietoje. Kad to būtų išvengiama, valties pozicijos interpoliacija turi būti vykdoma per dvigubai didesnę laiką nei duomenų periodas, o spėjamam

pozicijos taškui apskaičiuoti naudotą pokytį reikia dauginti iš dviejų. Taip bus pasiekiamas tolydus valties judėjimas, jeigu naujų duomenų atsiuntimas nevēluos ilgiau nei du numatyti periodai, šiuo atveju – 0,2 s.

Realizavus šį prognozavimo metodą programoje vis tiek pastebimai vykdavo valties judėjimo netikslumai. Todėl buvo ieškoma kitų judesio prognozės sprendimų.

Kita duomenų spėjimo realizacija bandoma prognozuoti ne valties poziciją, bet jos greitį. Kaip ir prieš tai minėtoje realizacijoje nuolatos saugomi buvusio kadro duomenys. Gavus naujus duomenis, suskaičiuojamas duomenų pokytis tarp buvusio kadro ir esamo. Šis rezultatas tada padalinamas iš duomenų siuntimo periodo. Taip gauname valties greitį likusiems programos kadrams, kol negaunami nauji duomenys. Toks metodas gerai veikia ir tada kai duomenų siuntimo periodas svyruoja, nes nustatytas greitis gali nuolatos judinti valtį. Jeigu irklautojas irkludamas visos distancijos metu dažnai keičia tempą gali atsirasti irklavimo treniruoklio ir programoje esančios valties distancijos paklaida. Irklavimo metu ši paklaida didėja kartu su nuirkluota distancija.

Paklaidos mažinimui ar eliminavimui galima įvesti konstantą, kuri kiekvieno programos kadro metu stebėtų valties greitį ir jį stengtųsi taisyti. Greitis būtų padidinamas pagal konstantą jeigu programoje esančios valties nuirkluotas atstumas atsilieka nuo gautų iš irklavimo treniruoklio duomenų. Kai valtis juda greičiau už gaunamus duomenis – konstanta naudojama greičio mažinimui. Taip valties pozicija teisingai svyruoja ties irklavimo treniruoklio duomenimis ir paklaida nesiakumuliuoja.

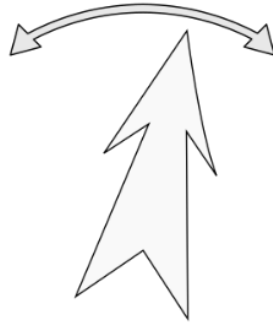
3.2 Vestibiulinio aparato diagnozės programa

Subjektyvios vizualinės vertikalės testas gali patikimai būti naudojamas vestibulinio aparato sutrikimams nustatyti. Didžioji dalis šiam testui atlikti skirtos įrangos naudojimui reikalauja specialistų, yra brangi ir nemobili. Dažnai kaip pigesnė alternatyva yra naudojamas kibiro testas, tačiau jis nėra visiškai tikslus ir yra statinis.

3.2.1 Diagnozės testų projektavimas

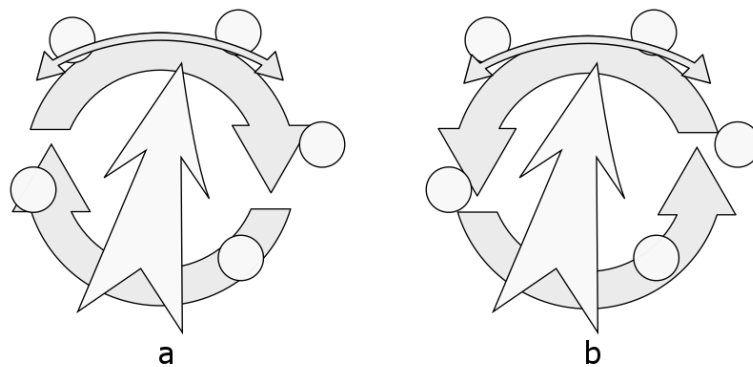
Diagnozę sudaro penki etapai. Pirma vartotojas sau prisitaiko virtualiosios realybės akinius, kad jų rodomą vaizdą matytų aiškiai. Tada atliekami keturi testai – statinis, dinaminis (pagal laikrodžio rodyklę), dinaminis (prieš laikrodžio rodyklę) ir „realusis“. Visų testų tikslas – pasukti matomą objektą taip, kad jis sutaptų su paciento suvokiama vertikale. Kiekvieną testą pacientas atlieka po šešis kartus. Po kiekvieno bandymo vizuali vertikalė atsitiktinai pasukama intervale nuo 10 iki 15 laipsnių į vieną arba kitą pusę.

Statinio testo metu matoma juodame fone esanti rodyklė. Šiame teste ji yra vertikalė, kurią pacientas sukinėja (3.7 pav.). Rodyklės modelis sudarytas taip, kad jame nebūtų naudojami statūs kampai. Neturint stačių kampų rodyklė negali išduoti tikrosios vertikalės.



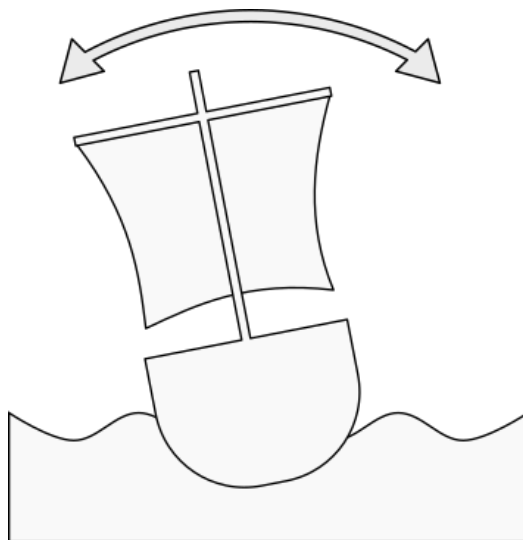
3.7 pav. Statinio testo schema

Dinaminiam teste matoma ta pati rodyklė juodame fone, tačiau papildomai erdvės atsitiktinėse pozicijose yra sugeneruojami įvairių spalvų kamuoliukai (3.8 pav.). Šie kamuoliukai matomame lauke sukasi pastoviu greičiu aplink rodyklę. Sukimosi kryptis nustatoma pagal testo pavadinimą. Erdvėje pateikiama 10 kamuoliukų, kurie sukasi pastoviu 10 laipsnių per sekundę kampiniu greičiu. Šie parametrai yra konfigūruojami.



3.8 pav. Dinaminio testo schema

„Realaus“ testo metu pacientas yra patalpinamas virtualiojoje scenoje, kurioje matomas laivas plaukiantis atviroje jūroje. Kamera, iš kurios matomas vaizdas, perkeliama prie laivo vairo. Šiame teste paciento sukiojamas objektas yra pats laivas ir jo tikslas yra šį laivą pastatyti vertikaliai (3.9 pav.). Siekiant, kad horizonto linija negalėtų padėti nustatyti vertikalės, scenoje naudojamas bangavimas. Papildomai laivas yra siūbuojamas šonine ašimi nuo $-7,5$ iki $7,5$ laipsnių kampu, $0,1$ Hz dažniu. Siūbavimas vyksta pagal sinuso funkciją.



3.9 pav. „Realaus“ testo schema

3.2.2 Programos įvestis

Programa projektuota palaikyti dvi valdymo sąsajas – natūralios įvesties ir standartinę. Natūraliosios įvesties įrenginiu buvo parinkta „Myo“ apyrankė. Standartiniu sistemos įvesties įrenginiu parinktas „Bluetooth“ žaidimų pultelis. Įvesties signalai telefonui abiejuose įrenginiuose perduodami „Bluetooth“ ryšiu.

„Myo“ apyrankės veikimas paremtas elektromiografija. Apyrankė turi keletą elektromiografinių jutiklių, kurie matuoja elektros signalus dilbio raumenyse. Turėdama šią informaciją kartu su įmontuotų judesio jutiklių duomenimis apyrankė gali nustatyti rankos gestus. Apyrankė gali būti panaudojama įvairių programų valdymui.

„Myo“ įvesties apdorojimas buvo realizuotas pačioje programoje. Įvesties duomenys perduodami „Bluetooth Low Energy“ ryšiu. Šie duomenys yra laikomi kelių paslaugų charakteristikose.

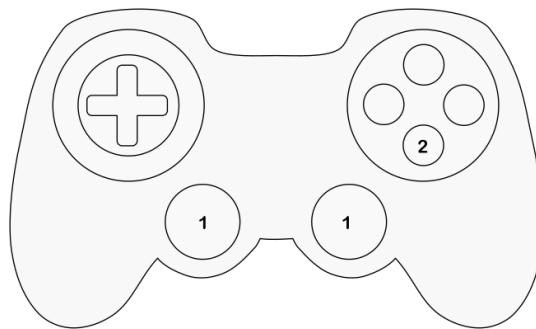
Apyrankė valdoma naudojant komandų charakteristiką, kuri yra valdymo paslaugoje. Charakteristiką galima naudoti išsiunčiant įvairias komandas, tačiau šioje programoje naudojama tik apyrankės siunčiamų duomenų sukonfigūravimui. Apyrankė sukonfigūruojama, kad programai būtų siunčiami judesio jutiklių duomenys ir gestų klasifikavimo įvykiai. Judesio jutiklio duomenys susideda iš akcelerometro ir giroskopo duomenų, o programoje naudojami vertikalei sukiooti. Gestų klasifikatorius iš apyrankės elektromiografijos duomenų aptinka rankų gestus ir programai praneša apie jų atlikimą. Šie gestai naudojami kaip vertikalės patvirtinimo signalas. Kuris konkrečiai gestas skirtas vertikalės patvirtinimui, galima nurodyti nustatymuose. Galimi tokie gestai:

- atpalaiduota ranka;
- suspaustas kumštis;
- rankos mostas į save;
- rankos mostas nuo savęs;

- pirštų išskleidimas;
- dvigubas pirštų suspaudimas.

Apyrankės judesio duomenys tiesiogiai nekeičia vertikalės pasukimo. Apyrankės pasukimo kampo ir atskaitinio pasukimo kampo skirtumas valdo koks sukimo momentas bus suteikiamas vertikalei. Atskaitinis pasukimo kampas yra užfiksuojamas vertikalės valdymo pradžioje. Nuo -5 iki 5 pasukimo kampo laipsnių intervale vertikalė nėra sukama, kad vartotojas galėtų patikimai ją laikyti nejudančią, ypač tada, kai jis pasiruošęs ją patvirtinti kaip suvokiamą vertikalę. Pasukimo kampo intervalai nuo -5 iki -20 ir nuo 5 iki 20 vertikalei suteikia sukimo momentą nuo 0 iki -10 laipsnių per sekundę ir nuo 0 iki 10 laipsnių per sekundę atitinkamai. Tolesni intervalai nuo -20 iki -180 ir nuo 20 iki 180 suteikia sukimo momentą nuo -10 iki -90 ir nuo 10 iki 90 atitinkamai.

Naudojant „Bluetooth“ žaidimų pultelį vertikalės posūkio kampui keisti naudojamas pultelio analoginis grybelis (3.10 pav. 1). Grybeliu valdoma vertikalė gali įgyti nuo -5 iki 5 laipsnių per sekundę sukimo momentą, priklausomai nuo grybelio krypties. Jį atleidus sukimo momentas prilyginamas nuliui. Vertikalė patvirtinama pultelio apatiniu mygtuku (3.10 pav. 2).



3.10 pav. „Bluetooth“ žaidimų pulto schema

3.2.3 Programos scenų paruošimas

Statinio ir dinaminių testų virtualiosios scenos paprastos ir didelių optimizacijų nereikalauja. Statinio testo metu scenoje vaizduojama tik vertikalė. Dinaminiuose pagal laiko rodyklę ir prieš laiko rodyklę prisideda kamuoliukų modeliai, kurie sukami aplink vieną ašį. Kamuoliukų kiekis priklauso nuo programos konfigūracijos, tačiau jų atvaizdavimas nėra sudėtingas, tad programa veikia sklandžiai ir su didesniu jų kiekiu.

Realaus testo scena imituoja realią aplinką – jūroje plaukiantį laivą. Ši scena gerokai detalesnė nei kitų testų ir dėl to jai prireikė optimizacijos. Scenos ruošimo metu buvo atsižvelgiama į tuos pačius aspektus kaip ir ruošiant virtualiojo irklavimo programos sceną. Šiuo atveju daugiausiai buvo mažinamas scenos laivą sudarančių poligonų skaičius. Kadangi buvo žinoma, iš kokios perspektyvos vartotojas matys sceną (3.11 pav.) joje buvo pašalinti visi laivo paviršiai, kurie niekada nebus matomi

(3.12 pav.). Detalumo lygiai laivui naudojami nebuvo, nes matomo vaizdo atstumas iki modelio programos vykdymo metu nesiskiria.



3.11 pav. „Reali“ scena iš žaidėjo perspektyvos



3.12 pav. „Reali“ scena redaktoriuje

4 EKSPERIMENTINĖ DALIS

4.1 Virtualiosios realybės irklavimo programos eksperimentai

Šioje dalyje aprašomi eksperimentai, kuriais siekiama nustatyti virtualiosios realybės pritaikomumą sporte. Pritaikomumas nagrinėjamas šiais aspektais:

- Ar taikomoji programa pakankamai naši, kad galėtų būti skirta pasirinktai virtualiosios realybės platformai;
- Ar išsprendžiama problema, kai įvesties ir išvesties įrenginių duomenų pateikimo dažniai skiriasi. Šiuo atveju įvesties ir išvesties įrenginių dažnis skiriasi 6 kartus.

4.1.1 Greitaveikos eksperimentas

Siekiant, kad virtualiosios realybės programą būtų patogų naudoti – ji turi atitikti minimalius greitaveikos reikalavimus. Mobilijai virtualiajai realybei reikia, kad programa veiktų 60 kadru per sekundę dažniu. Kitaip sakant – kadro vykdymo trukmė turi neviršyti 16,67 ms. Šis reikalavimas gali būti sumažinamas iki 30 kadru per sekundę (33,33 ms kadrai) asinchroninės laiko transformacijos (angl. *asynchronous timewarp*) technologijos dėka, kuri imituoja veikimą 60 kadru per sekundę dažniu.

Šie reikalavimai keliami ir virtualiosios realybės irklavimo programai, todėl buvo atliktas programos greitaveikos eksperimentas. Eksperimento tikslas – nustatyti vidutinę vieno kadro trukmę veikiant programai ir įsitikinti, kad programa atitinka virtualiosios realybės greitaveikos reikalavimus.

Eksperimentui atlikti buvo naudojamas „Concept2“ irklavimo treniruoklis, prie jo primontuotas „Performance Monitor 5“ kompiuteris, „Samsung Gear VR“ virtualiosios realybės akiniai ir trys „Samsung Galaxy“ išmaniųjų telefonų modeliai – „Galaxy S7 Edge“, „Galaxy S8“ ir „Galaxy S9+“. Kiekvienam telefonui buvo įdiegta virtualiojo irklavimo programa. Eksperimento metu su kiekvienu telefonu buvo atlikta po 10 irklavimo sesijų. Vienos sesijos metu irkluotojui buvo duodama nuirkluoti 250 metrų distanciją. Per visą distancijos trukmę buvo fiksuojamas kiekvieno programos kadro vykdymo laikas. Šis laikas fiksuotas nuskaitant „Unity3D“ variklio „Time“ klasės „deltaTime“ kintamąjį, kuris nurodo buvusio kadro vykdymo trukmę sekundėmis. Kiekvienos irklavimo sesijos trukmė skyrėsi ir priklausė nuo irkluotojo tempo.

Atlikus eksperimentą gauti rezultatai pavaizduoti 4.1 lentelėje.

4.1 lentelė Irklavimo programos greitaveikos rezultatai.

| Telefonas | Vidutinė kadro trukmė | Maksimali kadro trukmė |
|--------------------------|-----------------------|------------------------|
| „Samsung Galaxy S7 Edge“ | 17,19 ms | 34,45 ms |
| „Samsung Galaxy S8“ | 16,75 ms | 33,30 ms |
| „Samsung Galaxy S9+“ | 16,73 ms | 33,65 ms |

Skaičiuojant vidutinę konkretaus įrenginio kadro trukmę pirmiausia buvo suskaičiuojama vidutinė kiekvienos sesijos kadro trukmė. Tada suskaičiuojamas dar vienas vidurkis iš visų vienam įrenginiui priklausančių sesijų vidurkių.

Maksimali kadro trukmė gauta surandant kiekvienos sesijos, priklausančios vienam įrenginiui, ilgiausią vykdyto kadro trukmę ir su šiomis reikšmėmis suskaičiuojamas vidurkis.

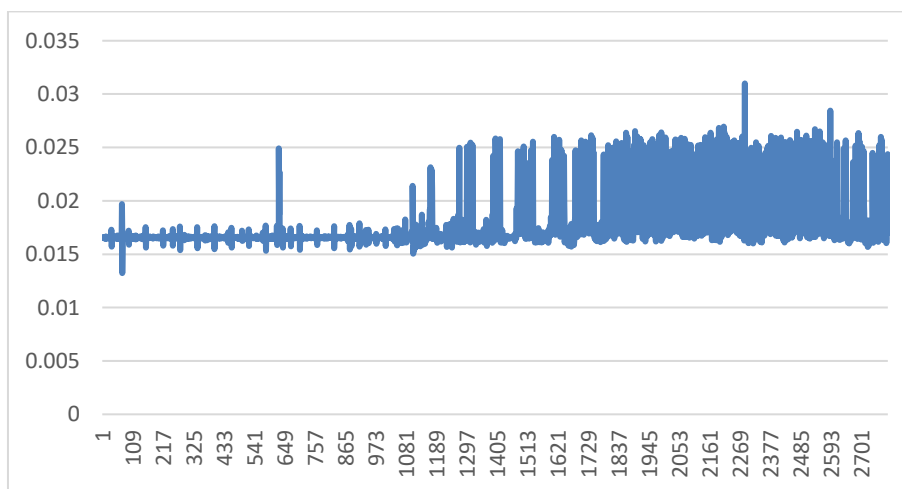
Pagal vidutinę kadro trukmę galime spręsti, kad sklandžiausiai veikia programa vykdyta „Samsung Galaxy S9+“ telefone. „Galaxy S8“ telefonas programos kadrus vykdo nežymiai lėčiau, o „Galaxy S7 Edge“ kadrai užtrunka apie 0,45 ms ilgiau nei abu naujesni įrenginiai. Ir išties šio rezultato buvo galima tikėtis dėl to, kad telefonai yra trijų skirtingų įrenginių kartų.

Žiūrint į maksimalią kadro trukmę matome, kad, kaip ir vidutinėje, „Galaxy S7 Edge“ šiek tiek atsilieka nuo savo naujesnių modelių. „Galaxy S8“ ir „Galaxy S9+“ kadrai apie 1 ms greitesni nei jų pirmtakas.

Žiūrint į rezultatus bendrai, visų įrenginių kadro vykdymo trukmės yra labai arti 16,67 ms, todėl galima teigti, kad programos veikimas yra sklandus. Tai, kad maksimali kadro trukmė pasiekia, o „Galaxy S7 Edge“ atveju net viršija, 33,33 ms trukmę reiškia, kad tam tikrais laiko momentais programos veikimo sklandumą dar turi palaikyti asinchroninio laiko transformacijos technologija.

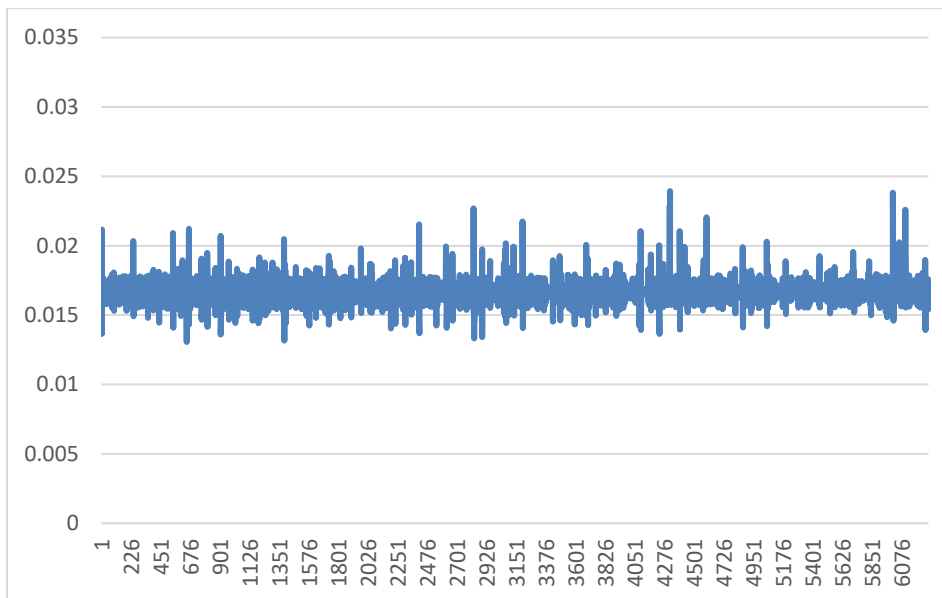
Vienos „Samsung Galaxy S7 Edge“ telefone atliktos sesijos grafikas pavaizduotas 4.1 paveiksle. Jame matome, kad kadro vykdymo trukmė svyruoja 16 ms aplinkoje. Tačiau sesijos viduryje kadro trukmė išauga. Taip gali atsitikti dėl to, kad tostant nuo starto linijos vis matosi didesnė trimatės scenos dalis. Kai matoma daugiau scenos, tuomet kadre turi būti atvaizduojama daugiau objektų ir kadro trukmė ilgėja.

Šiame grafike taip pat matosi, kaip kadro trukmė gali keistis nuo to kur žiūri irklautojas. Tokio pokyčio epizodai matomi, kai pusėje distancijos padidėjusi kadro trukmė retkarčiais trumpam laiko tarpui sumažėja.



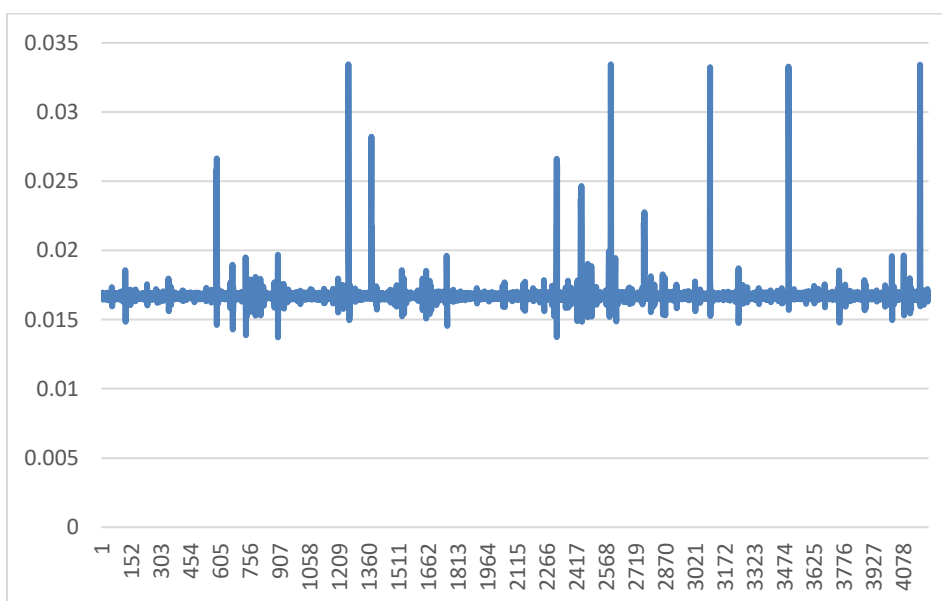
4.1 pav. Vienos „Samsung Galaxy S7 Edge“ sesijos duomenys

Palyginus su „Samsung Galaxy S8 Edge“, „Samsung Galaxy S8“ vykdytų kadro trukmė nėra tokia stabili (4.2 pav.), tačiau ji svyruoja nedidele amplitude. Taip pat galima atkreipti dėmesį, kad kadro trukmė išlieka panaši visos distancijos metu. To galima tikėtis, nes „Samsung Galaxy S8“ yra naujesnės kartos modelis ir turi geresnes skaičiavimo galimybes, todėl matant didesnę dalį scenos su atvaizdavimo darbo krūviu susitvarko.



4.2 pav. Vienos „Samsung Galaxy S8“ sesijos duomenys

„Samsung Galaxy S9+“ vykdytos programos kadrai atrodo stabiliausi iš visų trijų įrenginių (4.3 pav.). Čia kadro dažnių svyravimų beveik nėra, matomi keli nežymūs pasikeitimai tam tikrais momentais. Taip pat galima pastebėti pavienius kadrus, kurių trukmė padidėja ganėtinai ryškiai. Kita vertus, jų trukmė neviršija 33,33 ms, todėl yra apdorojami asinchroninio laiko transformacijos.



4.3 pav. Vienos „Samsung Galaxy S9+“ sesijos duomenys

4.1.2 Valties judėjimo prognozavimo eksperimentai

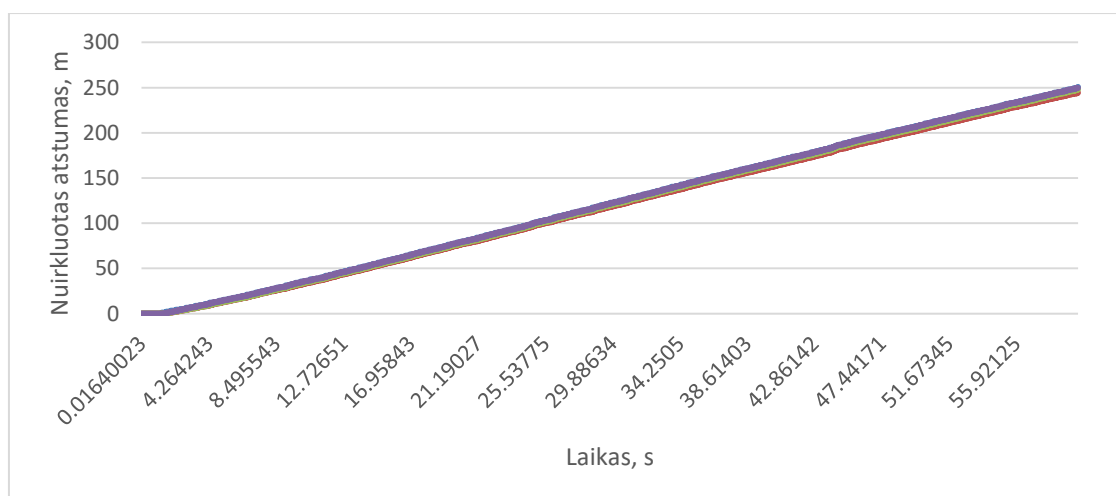
Eksperto tikslas – nustatyti realizuotų judėjimo prognozavimo ir interpoliacijų metodų tikslumą bei irklavimo tolydumą.

Ekspertui atlikti buvo naudojami „Samsung Gear VR“ virtualiosios realybės akiniai. Su jais naudotas „Samsung Galaxy S7“ išmanusis telefonas, kuriame buvo įrašyta virtualiojo irklavimo programa. Irklavimui imituoti buvo naudotas „Concept2“ irklavimo treniruoklis. Irklavimo duomenų rinkimui ir perdavimui „Samsung Galaxy S7“ telefonui naudotas „Performance Monitor 5“ kompiuteris.

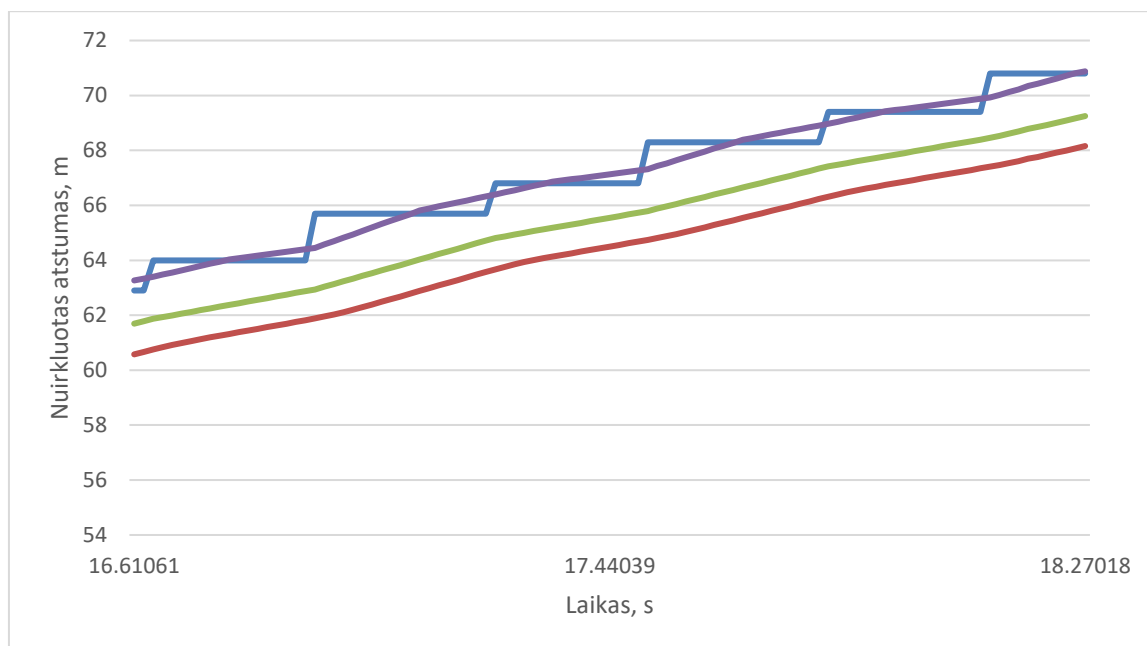
Atliekant šį eksperimentą buvo naudojama modifikuota virtualiojo irklavimo programa. Šioje programoje įvesčiai buvo naudojamos trys „Bluetooth Low Energy“ charakteristikos. Charakteristikų reikšmių nuskaitymas nebuvo automatinis. Kadangi vienu metu gali būti atliekama tik viena „Bluetooth Low Energy“ charakteristikos nuskaitymo operacija, tai reikšmės po vieną nuskaitytos nustatyta seka iš eilės. Perskaičius visas charakteristikas nuskaitymo seka kartojama. Kadangi nauja skaitymo operacija vykdoma tik pasibaigus buvusiai, tai tarp nuskaitymų atsiranda laiko tarpas lygus 0,1 s. Skaitant tris charakteristikas vienos charakteristikos reikšmės nuskaitymo dažnis tampa 3,33 Hz.

Eksperto duomenys buvo surinkti iš dešimties 250 m distancijos trasos irklavimo bandymų. Eksperto metu virtualiosios realybės programa kiekviename kadre fiksavo valties poziciją pagal treniruoklio duomenis ir visus tris judesio prognozavimo metodus.

Vienos sesijos duomenys su įvesties ir interpoliacijų palyginimu pavaizduoti 4.4 paveiksle. Horizontalioje ašyje pavaizduotas irklavimo laikas, o vertikalioje – nuirklauta distancija. Mėlyna kreivė (4.5 pav.) yra įvesties duomenys, raudona – dvigubos pozicijos prognozė su interpoliacija, žalia – prognozė pagal greitį, violetinė – prognozė pagal greitį su pataisymu. Iš šių duomenų taip pat buvo užfiksuoti valties sustojimai, kurie nurodo, kiek naudojamo prognozavimo metode pasireiškia atvejų, kai dėl duomenų trūkumo valtis stovi vietoje.



4.4 pav. Vienos irklavimo sesijos duomenys



4.5 pav. Dalis irklavimo sesijos duomenų

4.2 lentelė Eksperimento rezultatai

| | Įvestis | Dvigubos pozicijos prognozė su interpoliacija | Prognozė pagal greitį | Prognozė pagal greitį su pataisymu |
|--|---------|---|-----------------------|------------------------------------|
| Vidutinis pozicijos nuokrypis nuo įvesties finišo linijoje | 0,00 m | 6,11 m | 2,07 m | 0,78 m |
| Vidutinis nuokrypis nuo įvesties viso irklavimo metu | 0,00 m | 3,53 m | 1,37 m | 0,08 m |
| Vidutinis sustojimų skaičius | 197,20 | 12,80 | 0,00 | 0,00 |
| Vidutinė sustojimų trukmė | 0,28 s | 0,03 s | 0,00 s | 0,00 s |

4.2 lentelėje matome, kad ties trasos finišu tiksliausias yra prognozės pagal greitį su pataisymu metodas. Šis metodas šiek tiek daugiau nei du kartus tikslesnis už prognozės pagal greitį be pataisymo ir beveik aštuonis kartus tikslesnis nei dvigubos pozicijos prognozė su interpoliacija. Visos distancijos metu prognozės pagal greitį be pataisymo ir dvigubos pozicijos prognozės su interpoliacija nuokrypis prognozės pagal greitį su pataisymu atžvilgiu išauga apie 16 ir 41 karto atitinkamai.

Žiūrint į valties sustojimų kiekį dėl duomenų trūkumo, matome, kad jų daugiausia įvestyje ir jie vidutiniškai trunka 0,28 s. Iš įvesties duomenų tokio rezultato ir tikimasi, nes įvestis gaunama 3,33 Hz dažniu, arba kas 0,3 s. Dvigubos pozicijos prognozės su interpoliacija metode valties sustojimai vidutiniškai pasireiškia 12,8 kartų per distanciją. Prognozės pagal greitį be pataisymo ir su pataisymu metoduose valties sustojimai nevyksta.

Galime daryti išvadą, kad tiksliausias judėjimo prognozavimo metodas yra prognozės pagal greitį su pataisymu metodas, kuris vidutiniškai pasireiškia 0,78 m nuokrypiu nuo įvesties duomenų finišo linijoje ir vos 0,08 m visos distancijos metu. Dėl duomenų trūkumo sukeliama valties sustojimai naudojant šį metodą niekada neįvyksta.

4.2 Virtualiosios realybės taikymas medicinoje

Šioje dalyje aprašomi eksperimentai, kuriais siekiama nustatyti virtualiosios realybės pritaikomumą medicinoje. Pritaikomumas nagrinėjamas šiais aspektais:

- Ar sukurtos virtualiosios realybės programos gali būti pakankamai lengvai naudojamos, kad būtų eksploatuojamos medicinos praktikoje.
- Ar virtualiosios realybės programos naudojimas nustatant vestibulinio aparato sutrikimus sukelia svaigimą.
- Ar virtualiosios realybės programa teisingai nustato vestibulinio aparato sutrikimų neturinčius asmenis;
- Ar taikomoji programa pakankamai naši, kad galėtų būti skirta pasirinktai virtualiosios realybės platformai.

Tiriant kaip gali būti pritaikyta virtualioji realybė buvo atlikti trys eksperimentai. Pirmas eksperimentas įvertina ar programoje suprojektuoti ir realizuoti teisingai. Kitas eksperimentas įvertina kaip patogiu vartotojams naudotis programa, o trečiuoju nustatoma ar sukurtos programos vykdymas yra sklandus ir nesukelia svaigimo.

Eksperimento sistemą sudarė „Samsung Galaxy S7“ ir „Samsung Galaxy Note 4“ išmanieji telefonai, „Samsung Gear VR“ virtualiosios realybės akiniai, „Myo“ valdymo apyrankė ir „Bluetooth“ žaidimų valdiklis. „Galaxy S7“ telefone buvo įdiegta ir vykdoma vestibulinio aparato sutrikimo diagnozės programa. „Galaxy Note 4“ telefone įrašyta testų valdymo programa. „Myo“ apyrankė ir „Bluetooth“ žaidimų valdiklis naudoti kaip įvesties įrenginiai.

Eksperimente dalyvavo 22 vestibulinio aparato sutrikimų neturintys asmenys. Jie vykdė keturis subjektyvios vizualinės vertikalės testus: statinį, dinaminį (pagal laikrodžio rodyklę), dinaminį (prieš laikrodžio rodyklę) ir „realų“ testus. Visi testai buvo atlikti pakaitomis įvesčiai naudojant „Myo“ apyrankę ir „Bluetooth“ žaidimo valdiklį. Kiekvienas testas buvo atliekamas jį kartojant 6 kartus, po kurių buvo suskaičiuotas kiekvieno testo vertikalės nuokrypio vidurkis. Šie eksperimentai atlikti Kauno Klinikinėje ligoninėje.

Nustatant ar vartotojams naudoti programą patogiu visiems eksperimento dalyviams buvo duotas sistemos naudojamo skalės klausimynas (51). Klausimyną sudaro dešimt teiginių apie tai, kaip patogiu naudotis programa. Kiekvienam teiginiui pateikta 5 reikšmių skalė, kurios pirmoji reikšmė įvertinta vienu tašku reiškia visišką nesutikimą su teiginiu, o dešinioji – penkiais taškais ir reiškia

visišką sutikimą. Įvertinant dalyvių atsakymus iš nelyginiu skaičiumi pažymėtų teiginių rezultato atimamas vienetas, o lyginiu skaičiumi pažymėtų teiginių reikšmė atimama iš penketo. Taip gaunami kiekvieno teiginio taškai intervale nuo 0 iki 4, kur 4 yra palankiausias įvertinimas. Visi taškai sudedami ir padauginami iš 2,5, kad būtų gaunamas sistemos įvertinimas intervale nuo 0 iki 100. Vertinat sistemos naudojamumo skalės rezultatus laikoma, kad sistemą surinkusią 68 taškus yra vidutiniškai patogu naudoti.

Ar programa sukelia dalyviams svaigimą buvo įvertinta naudojant vizualinę analoginę skalę (52). Ši skalė yra naudojama pamatuoti konkrečią charakteristiką, kuriai negalima išreikšti diskrečių reikšmių. Dažnai ši skalė naudojama pacientų skausmo vertinimui. Skalė atvaizduojama kaip fiksuoto, dažniausiai 100 mm, ilgio tiesė. Tiesės galai laikomi matuojamos charakteristikos ekstremumų ribomis. Visiems dalyviams buvo liepta pažymėti skalėje, kokį svaigimo lygį jautė naudojant programą. Tada nuo kairio tiesės krašto buvo centimetrais pamatuotas atstumas iki dalyvio pažymėjimo ir gauta reikšmė naudota svaigimo įvertinimui. Vertinant vizualinės analoginės skalės rezultatus, charakteristikai apibrėžti naudojami šie intervalai: nuo 0 cm iki 0,4 cm nejaučiamas joks svaigimas, nuo cm 0.5 iki 4.4 cm jaučiamas silpnas svaigimas, nuo 4.5 cm iki 7,4 cm – vidutinis svaigimas ir nuo 7,5 cm iki 10 cm – stiprus svaigimas.

4.2.1 Testų validacijos eksperimentas

Šio eksperimento tikslas patvirtinti, kad suprojektuotos ir realizuotos sistemos, skirtos vestibulinio aparato sutrikimams diagnozuoti, testai atitinka nustatytas vertikalės nuokrypių ribas.

4.3 lentelė Atliktų testų rezultatai

| | | „Myo“ apyrankė | Žaidimų valdiklis |
|---|------------|----------------|-------------------|
| Statinis testas | Vidurkis | 1,10 | 0,90 |
| | Minimumas | 0,00 | 0,00 |
| | Maksimumas | 2,50 | 2,50 |
| Dinaminis (pagal laikrodžio rodyklę) testas | Vidurkis | 2,24 | 1,92 |
| | Minimumas | 0,30 | 0,10 |
| | Maksimumas | 4,80 | 4,30 |
| Dinaminis (prieš laikrodžio rodyklę) testas | Vidurkis | 1,35 | 1,25 |
| | Minimumas | 0,10 | 0,00 |
| | Maksimumas | 3,00 | 3,60 |
| „Realus“ testas | Vidurkis | 0,90 | 1,00 |
| | Minimumas | 0,00 | 0,00 |
| | Maksimumas | 3,30 | 2,70 |

Iš testų rezultatų (4.3 lentelė) matome, kad atliekant dinامينius subjektyvios vizualinės vertikalės testus atsiranda didesnės vertikalės nuokrypio reikšmės, nei statiniame ar „realiame“ testuose. Nors nuokrypiai ir didesni, jie vis tiek vidutiniškai išlieka normaliose vertikalės nuokrypio ribose, kurios turėtų neviršyti 2,5 laipsnių. Dar galima atkreipti dėmesį į tai, kad naudojant žaidimų

valdiklį, kaip įvestį, beveik visi testai vidutiniškai turi mažesnius nuokrypius. Tai gali reikšti, kad žaidimų pultas yra patikimesnis ir žmonėms paprasčiau perprantamas įvesties įrenginys.

4.2.2 Įvesties įrenginių naudojamo eksperimentas

Vestibiulinio aparato sutrikimų diagnozės programos vartotojai – eiliniai žmonės kuriems šią programą turi būti patogiu naudoti. Šio eksperimento tikslas yra įvertinti kaip patogiu vartotojams naudotis programa.

4.4 lentelė Sistemos naudojamo skalės rezultatai

| Įvesties įrenginys | Vidurkis | Minimumas | Maksimumas |
|--------------------|----------|-----------|------------|
| „Myo“ apyrankė | 82,5 | 15 | 100 |
| Žaidimų valdiklis | 95,0 | 55 | 100 |

Pagal sistemos naudojamo skalės rezultatus (4.4 lentelė) dalyviai teigiamai įvertino programos naudojamo. Naudojant ir vieną ir kitą įvesties įrenginį sistemos naudojamo skalėje buvo vidutiniškai įvertintas didesniu nei 68-ies taškų kiekiu. Šis taškų kiekis yra vertinamas kaip vidutinė naudojamo riba, kai laikoma, kad programos naudojamo yra patenkinamas. Verta atkreipti dėmesį, kad naudojant žaidimų valdiklį programa yra valdoma patogiau. Tikėtina, kad dėl to žaidimo valdikliu atlikti testai turėjo ir mažesnius subjektyvios vizualinės vertikalės nuokrypius atliekant testų validacijos eksperimentą.

4.2.3 Virtualiosios realybės sukulto svaigimo ir eksperimentas

Ruošiant programas virtualiajai realybei reikia atkreipti dėmesį, kad programa būtų vartotojui patogi ir nesukeltų svaigimo. Dažnai virtualiosios realybės sukeltas svaigimas atsiranda dėl vaizduojamo staigaus judesio arba dėl lėtos programos greitaiveikos. Šio eksperimento tikslas – nustatyti ar programa atitinka minimalius sklandaus veikimo reikalavimus ir kokį svaigimą sukelia vartotojams.

4.5 lentelė Vizualinės analoginės skalės rezultatai

| Įvesties įrenginys | Vidurkis | Minimumas | Maksimumas |
|--------------------|----------|-----------|------------|
| „Myo“ apyrankė | 0,7 | 0 | 8,0 |
| Žaidimų valdiklis | 0,7 | 0 | 6,4 |

Pagal vizualinės analoginės skalės rezultatus (4.5 lentelė), galime teigti, kad sistemos naudojimas dalyviams beveik nesukėlė jokio diskomforto ar galvos svaigimo.

Šis tyrimas buvo atliktas straipsniui „Mobile virtual reality system for investigation of subjective visual vertical“ išleistame „Biomedical Engineering 2016“ konferencijos leidinyje (53).

4.2.4 Greitaveikos eksperimentai

Kadangi vestibulinio aparato sutrikimų diagnozės programa kurta virtualiajai realybei, ji turi atitikti minimalius greitaveikos reikalavimus. Programa turi veikti bent 30 kadru per sekundę dažniu

(kadro trukmė lygi 33,33 ms), o rekomenduojama greitaveika – 60 kadrų per sekundę dažniu (kadro trukmė lygi 16,67 ms). Šiuo eksperimentu siekiama patikrinti ar šie reikalavimai yra išpildomi.

Šio eksperimento metu buvo naudota modifikuota vestibulinio aparato sutrikimo diagnostikos programa. Programos modifikacija fiksavo kadrų vykdymo laikus naudojant „Unity3D“ žaidimo variklio „Time“ klasės „deltaTime“ kintamąjį, kuris nurodo kiek laiko praėjo po praeito kadro vykdymo. Kadrų vykdymo laikai buvo fiksuojami nuo konkretaus testo bandymo pradžios, kai pradedama valdyti vertikale, iki testo bandymo pabaigos, kai patvirtinama vertikales pozicija.

Eksperimento eigoje išviso buvo atlikta 18 kiekvieno testo bandymų. Kadrų vykdymo trukmės sugrupuotos pagal testo tipus ir apskaičiuotas jų vidurkis. Taip pat apskaičiuotas visų testų bandymų maksimalios vykdymo trukmės vidurkis. Eksperimentai buvo atlikti naudojant „Samsung Galaxy S7 Edge“ išmanųjį telefoną ir „Samsung Gear VR“ virtualios realybės akinius.

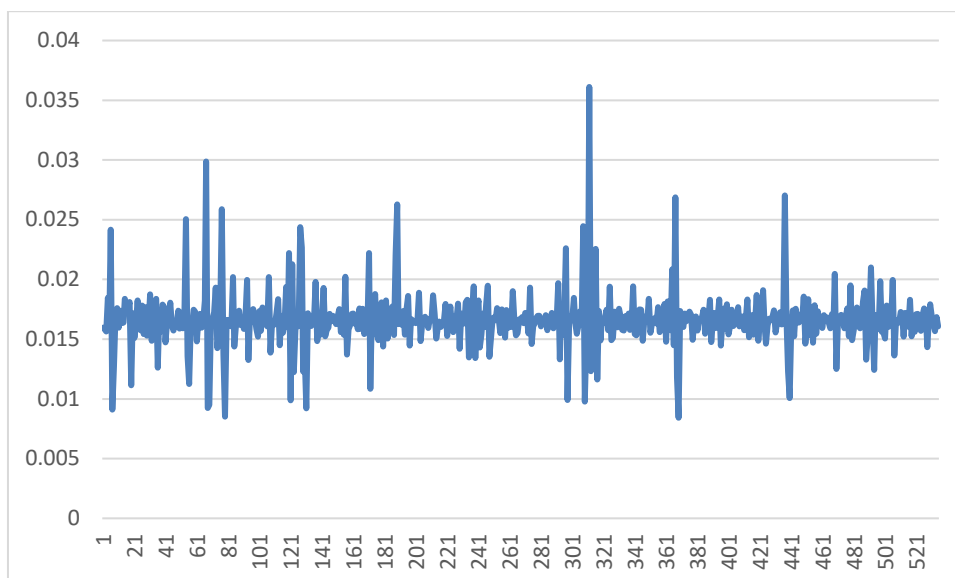
Eksperimento rezultatai pateikiami 4.6 lentelėje.

4.6 lentelė Diagnostikos programos testų greitaveikos rezultatai

| Testas | Statinis | Dinaminis (pagal laikrodžio rodyklę) | Dinaminis (prieš laikrodžio rodyklę) | „Realusis“ |
|------------------------|----------|--------------------------------------|--------------------------------------|------------|
| Vidutinė kadro trukmė | 16,60 ms | 16,62 ms | 16,60 ms | 23,18 ms |
| Maksimali kadro trukmė | 26,74 ms | 25,91 ms | 26,65 ms | 40,12 ms |

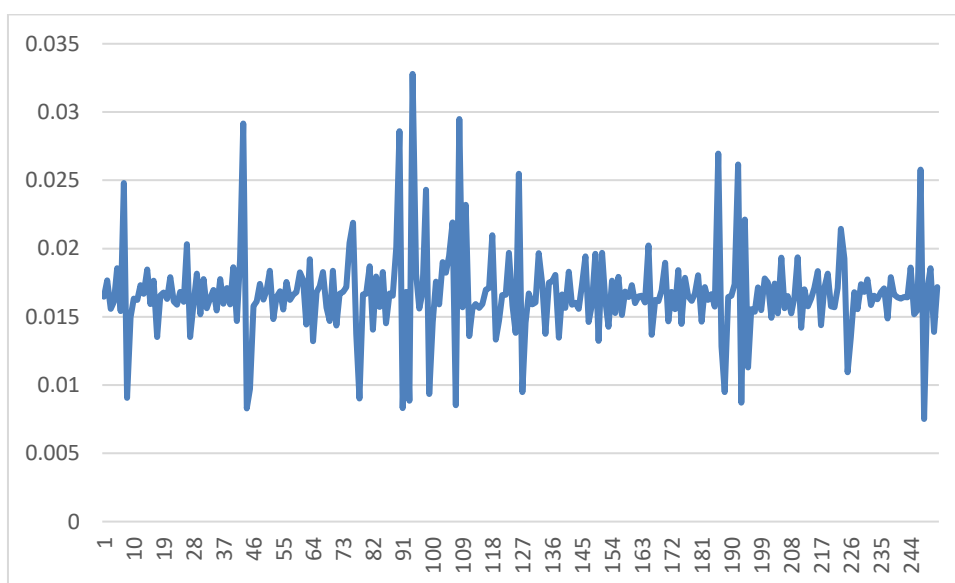
Iš rezultatų matome, kad beveik visų testų vidutinis kadro vykdymo laikas buvo apytiksliai 16,61 ms. Vienintelio, realiojo testo, metu programos kadro vykdymo vidurkis siekė 23,18 ms. Tačiau šis laikas vis tiek išpildo minimalaus kadrų dažnio sąlygą – kadro vykdymas netrunka ilgiau 33,33 ms. Nuo kitų testų skiriasi ir realiojo testo ilgiausias kadras, vidutiniškai trukęs 40,12 ms. Tai vidutiniškai 13 ms ilgesnis kadras nei kitų testų.

Analizuojant individualų statinio testo bandymą galime pamatyti kiek laiko užtruko įvykdyti kiekvieną bandymo kadrą (4.6 pav.). Didžioji dalis kadrų vykdomi 16,67 ms trukmės aplinkoje. Galima pastebėti ir keletą kadrų, kurių vykdymo laikas stipriai išauga, bet tokios trukmės pasirodo sąlyginai retai.



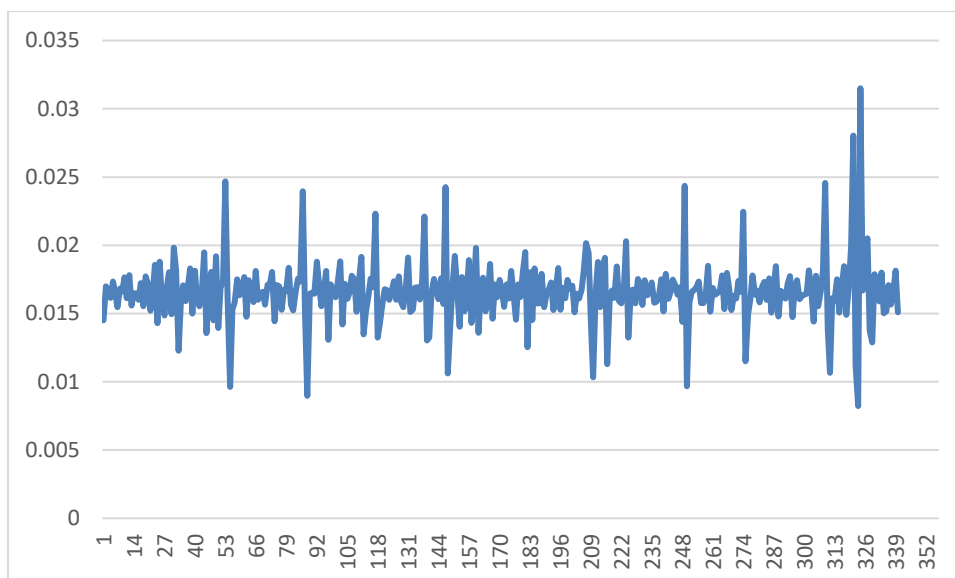
4.6 pav. Vieno statinio testo bandymo kadru vykdomo laikai

Dinaminio testo metu bandymo kadru vykdomo laikai sutampa su statinio (4.7 pav.). Tai reiškia, kad dinaminio testo elementu – kamuoliuku, kurie sukasi aplink vertikale – įtaka scenos vaizdavimui nėra didelė. Kadru vykdomo laikai gali padidėti keičiant scenoje esančių kamuoliuku kieki. Kaip ir statiniame teste, čia matomi ir retkarčiais stipriau išaugantys kadru vykdomo laikai.

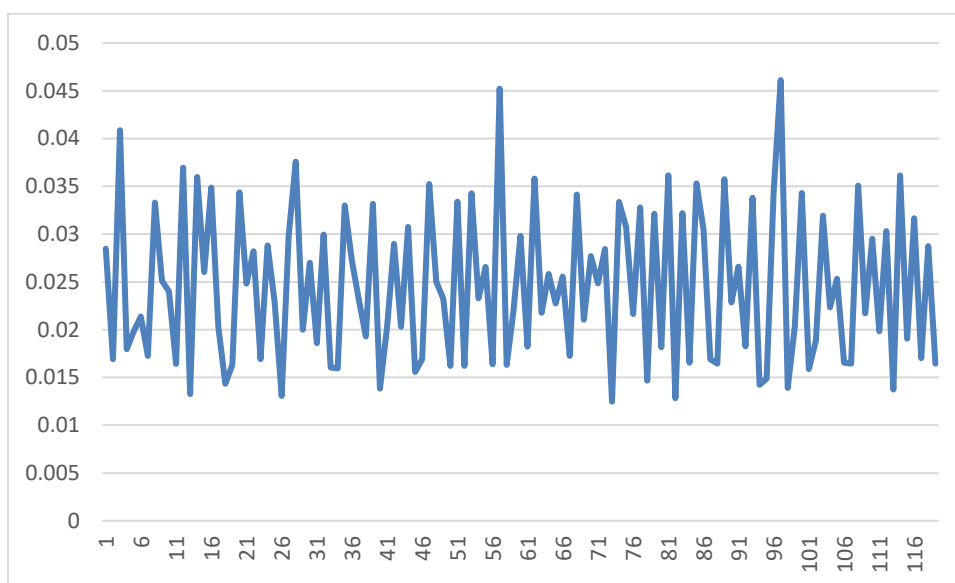


4.7 pav. Vieno dinaminio testo (pagal laikrodžio rodyklę) bandymo kadru vykdomo laikai

Kito dinaminio testo grafikas (4.7 pav.) panašus kaip ir vaizduojamo 4.8 paveiksle. Kadru vykdomo laikai panašūs į statinio testo. Čia taip pat išlieka tie patys rečiau pasirodantys, ilgesni kadrai.



4.8 pav. Vieno dinaminio testo (prieš laikrodžio rodyklę) bandymo kadro vykdymo laikai „Realaus“ testo kadro vykdymas užtrunka ryškiai ilgiau už statinio arba dinaminių testų kadro vykdymą (4.9 pav.). Kadro trukmės retkarčiais peržengia maksimalią 33,33 ms vykdymo trukmę, bet tai įvyksta su pavieniais kadrais. Kadro dažnio sumažėjimo (kadro vykdymo laiko padidėjimo) išties šiame teste ir tikimasi kadangi scenos atvaizdavimas yra daug sudėtingesnis – scenoje yra imituojamas vandens bangavimas ir atvaizduojamas laivas.



4.9 pav. Vieno „realaus“ testo bandymo kadro vykdymo laikai
Bendra programos greitimeika atitinka minimalius reikalavimus mobiliajai virtualiai realybei, nes programos testų metu vidutinis kadro vykdymo laikas neviršijo 33,33 ms. Statinio ir dinaminių testų metu programa atitinka rekomenduojamą kadro dažnį. Tai, kad programa atitinka minimalius kadro vykdymo trukmės reikalavimus galėjo lemti ir programos keliamo svaigimo įvertinimą – dalyviai nurodė, kad programa beveik nesukelia jokio svaigimo.

5 IŠVADOS

Darbo metu padarytos tokios išvados:

- Atlikus virtualiosios realybės įrenginių analizę pastebėta, kad „Samsung Gear VR“ platforma yra mobili, teikia kokybišką vaizdą, turi pakankamai kokybišką judesio sekimą ir yra pakankamai naši. Dėl šių priežasčių šį platforma buvo pasirinkta siūlomų sprendimų realizacijai. Be to, sukurtas programos ateityje bus galima naudoti su „Oculus Go“ platforma, nes pastaroji palaiko „Gear VR“ programas.
- Atlikus egzistuojančių virtualiosios realybės sprendimų analizę sportui pastebėta, kad virtualiajai realybei didelė pridėtinė vertė suteikiama tuomet, kai išgaunamas ne tik betarpiškas vaizdas (žmogus nemato nieko kito tik virtualiąją aplinką), bet ir naudojami realūs valdymo prietaisai, kurie tikroviškai imituoja sportinę veiklą. Todėl nuspręsta sukurti virtualiosios realybės sprendimą irklavimo įrenginiui „Concept2“.
- Atlikus egzistuojančių virtualiosios realybės sprendimų analizę medicinai pastebėta, kad virtualioji realybė suteikia saugią aplinką, kurioje galima pateikti įvairius pojūčius dirginančius stimulus. todėl natūralu ją taikyti vestibulinio aparato sutrikimų diagnozei ir reabilitacijai. Nuspręsta sukurti mobilių sprendimą, išnaudojantį natūraliosios valdymo sąsajos privalumus, ir virtualiajai realybei skirtus vestibulinio aparato sutrikimų diagnozės testus.
- Tiriant sporto sričiai skirtos virtualiosios realybės realizacijos ypatumus buvo aprašytos pritaikytos našumo optimizavimo priemonės, pasiūlyti valties poziciją aprašančių duomenų prognozavimo metodai.
- Tiriant medicinos sričiai skirtos virtualiosios realybės realizacijos ypatumus buvo aprašytos pritaikytos našumo optimizavimo priemonės, pasiūlytas natūraliosios valdymo sąsajos metodas, pasiūlytas vestibulinio aparato sutrikimo diagnozės testo metodas.
- Atlikus eksperimentinius tyrimus nustatyta, kad realizuota virtualaus irklavimo sistema tenkina pasirinktai platformai iškeltus našumo (vaizdavimo dažnis ~60 kadrų per sekundę) reikalavimus, o pasiūlytas prognozavimo metodas yra pakankamai tikslus (nuplaukus 250 metrų, paklaida 78 cm).
- Atlikus eksperimentinius tyrimus nustatyta, kad vestibulinio aparato sutrikimų diagnozės sistema tiksliai identifikuoja sveikus asmenis (vertikalės nuokrypio vidurkis neviršija 2,5 laipsnių kampo). Vizualios analoginės skalės testu nustatyta, kad sistema nesukelia pastebimo svaigimo (įverčio vidurkis – 0,7). Sistemos panaudojamumo skalės testu nustatyta, jog sprendimas turi aukštą panaudojamumo įvertinimą (82,5 ir 95 taškai). Pasiūlytas natūraliosios sąsajos valdymo metodas nebuvo toks efektyvus kaip valdymas

įprastiniu valdikliu (SUS įvertis 12,5 taškų mažesnis). Atlikus sistemos našumo testus paaiškėjo, jog trijuose testuose sistema atitinka rekomenduojamus reikalavimus (vaizdavimo dažnis ~60 kadrų per sekundę), tuo tarpu „realusis“ testas tenkina minimalius reikalavimus (generuoja kadrus ne mažesniu nei 30 kadrų per sekundę dažniu). Asinchroninio laiko transformacijos metodas išsprendžia šią problemą, tačiau tai yra sistemos dalis, kurią reikia patobulinti ateityje.

5.1 Darbo sklaida

- Projektas „Virtualios realybės stimulo sukūrimas ir panaudojimas inovatyviame vestibulinės sistemos tyrimo prietaise“, kurio pagrindas yra magistriniame darbe aprašomas sukurtas produktas, pripažintas geriausiu 2016 metų KTU-LSMU bendru mokslo projektu.
- Straipsnyje „Subjective visual vertical assessment with mobile virtual reality system“ (7.1 skyrius), išleistame žurnale „Medicina“, aprašoma sukurta vestibulinio aparato sutrikimų aptikimo sistema.
- Straipsnyje „Mobile Virtual Reality System for Investigation of Subjective Visual Vertical“ (7.2 skyrius), išleistame konferencijos „Biomedical Engineering“ pranešimų medžiagoje, aprašoma sukurta vestibulinio aparato sutrikimų aptikimo sistema.
- Virtualaus irklavimo sprendimas pristatytas plakatų sesijoje tarptautinėje konferencijoje "Duomenų analizės metodai programų sistemoms" (santrauka 7.3 skyriuje).
- Vestibulinio aparato sutrikimų sistema pristatyta 4-ajame ORL_HNS (*Otorhinolaryngology and Head and Neck Surgery*) kongrese Barselonoje (santrauka 7.4 skyriuje).
- Vestibulinio aparato sutrikimų sistema pristatyta 4-ajame Lietuvos-Lenkijos LOR specialistų kongrese Augustave (santrauka 7.5 skyriuje).
- Vestibulinio aparato sutrikimų sistema pristatyta pasaulio LOR specialistų kongrese ("Diversity. Innovation. Evaluation"), Paryžiuje.
- Virtualiosios realybės irklavimo sprendimas pristatytas „SwitchIT“, „Login“, „GameON“, „Gintariniai irklai“, „Technorama“, jaunių irklavimo čempionate ir kituose renginiuose.

6 LITERATŪROS SĄRAŠAS

- [1] RICHTER, F. *The Diverse Potential of AR & VR Applications.*, 2016 [žiūrėta 2018-05-21]. Prieiga per: <https://www.statista.com/chart/4602/virtual-and-augmented-reality-software-revenue/>.
- [2] MAPLES-KELLER, J., BUNNELL, B., KIM, S. and ROTHBAUM, B. *The use of Virtual Reality Technology in the Treatment of Anxiety and Other Psychiatric Disorders.*, 2017-05-01.
- [3] BUN, P., et al. *Low – Cost Devices used in Virtual Reality Exposure Therapy.* , Invalid date Prieiga per: <http://www.sciencedirect.com.ezproxy.ktu.edu/science/article/pii/S187705091730159X> ISBN 1877-0509. DOI //doi-org.ezproxy.ktu.edu/10.1016/j.procs.2017.01.158.
- [4] „HTC Vive“ *Virtualiosios Realybės Akiniai.* [žiūrėta 2018-05-10]. Prieiga per: <https://www.varle.lt/static/uploads/products/26/vir/virtualios-realybes-akiniai-htc-vive-2.jpg>.
- [5] „Oculus Rift“ *Virtualiosios Realybės Akiniai.* [žiūrėta 2018-05-10]. Prieiga per: <https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/0/09/Oculus-Rift-CV1-Headset-Front.jpg/1200px-Oculus-Rift-CV1-Headset-Front.jpg>.
- [6] „Oculus Touch“ *Valdikliai.* [žiūrėta 2018-05-10]. Prieiga per: <https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/d/d8/Oculus-Rift-Touch-Controllers-Pair.jpg/1200px-Oculus-Rift-Touch-Controllers-Pair.jpg>.
- [7] „Samsung Gear VR“ *Virtualiosios Realybės Akiniai.* [žiūrėta 2018-05-10]. Prieiga per: <https://img.tuttoandroid.net/wp-content/uploads/2016/12/Samsung-Vr.jpg>.
- [8] „Samsung Gear VR“ *Valdiklis.* [žiūrėta 2018-05-10]. Prieiga per: [http://images.samsung.com/is/image/samsung/uk-gear-vr-controller-et-yo324bbegww-frontblack-64224999?\\$PD_GALLERY_JPG\\$](http://images.samsung.com/is/image/samsung/uk-gear-vr-controller-et-yo324bbegww-frontblack-64224999?$PD_GALLERY_JPG$).
- [9] „Google Daydream“ *Virtualiosios Realybės Akiniai.* [žiūrėta 2018-05-10]. Prieiga per: <https://vr.google.com/daydream/static/images/pages/home/daydream-view-fog.png>.
- [10] „Oculus Go“ *Virtualiosios Realybės Akiniai.* [žiūrėta 2018-05-10]. Prieiga per: <https://roadtovr.live-5ea0.kxcdn.com/wp-content/uploads/2018/05/oculus-go-lrg.jpg>.
- [11] „Lenovo Mirage Solo“ *Virtualiosios Realybės Akiniai.* [žiūrėta 2018-05-10]. Prieiga per: [https://cdn.vox-cdn.com/thumbor/cxlqKWedgFy7sKZkr5boSwCymfs=/0x0:2000x1126/1200x800/filters:focal\(840x403:1160x723\)/cdn.vox-cdn.com/uploads/chorus_image/image/59040107/lenovo_mirage_solo.0.jpg](https://cdn.vox-cdn.com/thumbor/cxlqKWedgFy7sKZkr5boSwCymfs=/0x0:2000x1126/1200x800/filters:focal(840x403:1160x723)/cdn.vox-cdn.com/uploads/chorus_image/image/59040107/lenovo_mirage_solo.0.jpg).
- [12] „Google Cardboard“ *Virtualiosios Realybės Akiniai.* [žiūrėta 2018-05-10]. Prieiga per: https://assets.umart.com.au/newsite/images/201607/source_img/35244_G_1468280329324.jpg.
- [13] „Playstation VR“ *Virtualiosios Realybės Akiniai.* [žiūrėta 2018-05-10]. Prieiga per: [https://psmedia.playstation.com/is/image/psmedia/psvr-listing-thumb-01-ps4-eu-14mar16_psd?\\$Icon\\$](https://psmedia.playstation.com/is/image/psmedia/psvr-listing-thumb-01-ps4-eu-14mar16_psd?$Icon$).
- [14] MONAHAN, T., MCARDLE, G. and BERTOLOTTI, M. *Virtual Reality for Collaborative E-Learning.* , 2008 gegužė Prieiga per: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360131506001989> ISBN 0360-1315. DOI //doi-org.ezproxy.ktu.edu/10.1016/j.compedu.2006.12.008.
- [15] HARRINGTON, C.M., et al. *Development and Evaluation of a Trauma Decision-Making Simulator in Oculus Virtual Reality.* , 2018 sausis Prieiga per: <http://www.sciencedirect.com.ezproxy.ktu.edu/science/article/pii/S0002961017300405> ISBN 0002-9610. DOI //doi-org.ezproxy.ktu.edu/10.1016/j.amjsurg.2017.02.011.
- [16] DUBOVI, I., LEVY, S.T. and DAGAN, E. *Now I Know how! the Learning Process of Medication Administration among Nursing Students with Non-Immersive Desktop Virtual Reality Simulation.* , 2017 Spalis Prieiga per: <http://www.sciencedirect.com.ezproxy.ktu.edu/science/article/pii/S0360131517301148> ISBN 0360-1315. DOI //doi-org.ezproxy.ktu.edu/10.1016/j.compedu.2017.05.009.
- [17] DECHANT, M., et al. *Potential of Virtual Reality as a Diagnostic Tool for Social Anxiety: A Pilot Study.* , 2017 lapkritis Prieiga per: <http://www.sciencedirect.com.ezproxy.ktu.edu/science/article/pii/S074756321730417X> ISBN 0747-5632. DOI //doi-org.ezproxy.ktu.edu/10.1016/j.chb.2017.07.005.
- [18] ROSE, T., NAM, C.S. and CHEN, K.B. *Immersion of Virtual Reality for Rehabilitation - Review.* , 2018 gegužė Prieiga per: <http://www.sciencedirect.com.ezproxy.ktu.edu/science/article/pii/S0003687018300176> ISBN 0003-6870. DOI //doi-org.ezproxy.ktu.edu/10.1016/j.apergo.2018.01.009.

- [19] OUADAHI, N., CHADLI, S., ABABOU, A. and ABABOU, N. *A Simulator Dedicated to Strengthening Exercises for Windsurfers.*, 2016 Prieiga per: <http://www.sciencedirect.com.ezproxy.ktu.edu/science/article/pii/S1877705816306804> ISBN 1877-7058. DOI //doi-org.ezproxy.ktu.edu/10.1016/j.proeng.2016.06.233.
- [20] VON, Z.J., et al. Real-time Rowing Simulator with Multimodal Feedback. *Sports Technology*, 2008, vol. 1, no. 6. pp. 257-266 ISSN 1934-6182.
- [21] MISHKIND, M.C., NORR, A.M., KATZ, A.C. and REGER, G.M. Review of Virtual Reality Treatment in Psychiatry: Evidence Versus Current Diffusion and Use. *Current Psychiatry Reports*, 2017 rugsėjo 18, vol. 19, no. 11. pp. 80 ISSN 1535-1645.
- [22] MALINVAUD, D., et al. *Auditory and Visual 3D Virtual Reality Therapy as a New Treatment for Chronic Subjective Tinnitus: Results of a Randomized Controlled Trial.*, 2016 kovas Prieiga per: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378595515002488> ISBN 0378-5955. DOI //doi.org/10.1016/j.heares.2015.12.023.
- [23] POURNAJAF, S., et al. *Virtual Reality Rehabilitation in Patients with Total Knee Replacement: Preliminary Results.*, 2017 rugsėjis Prieiga per: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0966636217307816> ISBN 0966-6362. DOI //doi.org/10.1016/j.gaitpost.2017.07.070".
- [24] VINGERHOETS, G., et al. Multitasking and Prospective Memory: Can Virtual Reality be Useful for Diagnosis?. *Behavioural Neurology*, 2010, vol. 23, no. 4. pp. 209-211 ISSN 09534180.
- [25] CLARKE, D.B., et al. Virtual Reality Simulator: Demonstrated use in Neurosurgical Oncology. *Surg Innov*, 2013 balandis, vol. 20, no. 2. pp. 190-197 ISSN 1553-3506.
- [26] TSUTOMU, N., et al. Laparoscopic Skill Improvement After Virtual Reality Simulator Training in Medical Students as Assessed by Augmented Reality Simulator. *Asian Journal of Endoscopic Surgery*, 2015 liepos 28 d., vol. 8, no. 4. pp. 408-412 ISSN 1758-5902.
- [27] *Virtual & Augmented Reality: Understanding the Race for the Next Computing Platform.*, 2016 [žiūrėta 2018-05-18]. Prieiga per: <http://www.goldmansachs.com/our-thinking/pages/technology-driving-innovation-folder/virtual-and-augmented-reality/report.pdf>.
- [28] *Autism Spectrum Disorder.* 2018 balandžio 26 d. [žiūrėta 2018-04-18]. Prieiga per: <https://www.cdc.gov/ncbddd/autism/data.html>.
- [29] *Floreo.* [žiūrėta 2018-04-18]. Prieiga per: https://floreotech.com/wp-content/uploads/2016/10/Floreo_Home_feature_01.jpg.
- [30] *What Complementary and Integrative Approaches do Americans use?* 2017 rugsėjo 24 [žiūrėta 2018-05-24]. Prieiga per: <https://nccih.nih.gov/research/statistics/NHIS/2012/key-findings>.
- [31] TASHJIAN, C.V., et al. Virtual Reality for Management of Pain in Hospitalized Patients: Results of a Controlled Trial. *JMIR Ment Health*, 2017 kovo 29 d., vol. 4, no. 1. pp. e9.
- [32] *Farmoo.* [žiūrėta 2018-05-18]. Prieiga per: https://i1.wp.com/thelastsource.com/en/files/2016/06/E_p3_farmoo_1.jpg?w=538.
- [33] *VisitU.* [žiūrėta 2018-05-18]. Prieiga per: <http://visitu.nl/>.
- [34] MEACHAM, M. *A New Reality: Learning Empathy through Virtual Reality.*, 2017 birželio 16 d. [žiūrėta 2018-05-18]. Prieiga per: <https://news.nlm.gov/ner/a-new-reality/>.
- [35] *We are Alfred.* [žiūrėta 2018-05-18]. Prieiga per: https://news.nlm.gov/ner/wp-content/uploads/sites/9/2017/06/IMG_20170518_110702_077-768x768.jpg.
- [36] MASKELIŪNAS, R., et al. IDO: Modelling a Serious Educational Game Based on Hands on Approach for Training Dementia Carers. *International Journal of Engineering & Technology*, 2018 [žiūrėta 2018-05-18]. pp. 143. Prieiga per: <https://www.sciencepubco.com/index.php/ijet/article/view/12898> DOI 10.14419/ijet.v7i2.28.12898.
- [37] *Mindmaze.* Prieiga per: <https://www.mindmaze.com/>.
- [38] GARCIA, A.P., et al. *Vestibular Rehabilitation with Virtual Reality in Ménière's Disease.*, 2013 gegužė-birželis Prieiga per: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1808869415301798> ISBN 1808-8694. DOI //doi.org/10.5935/1808-8694.20130064.
- [39] CARDOŞ, R.A.I., DAVID, O.A. and DAVID, D.O. *Virtual Reality Exposure Therapy in Flight Anxiety: A Quantitative Meta-Analysis.*, 2017 liepa Prieiga per: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0747563217301565> ISBN 0747-5632. DOI //doi.org/10.1016/j.chb.2017.03.007.
- [40] PASCO, D. The Potential of using Virtual Reality Technology in Physical Activity Settings. *Quest*, 2013 spalio 1 d., vol. 65, no. 4. pp. 429-441 ISSN 0033-6297.

- [41] LEGRAND, F.D., et al. Interactive-Virtual Reality (IVR) Exercise: An Examination of in-Task and Pre-to-Post Exercise Affective Changes. *Journal of Applied Sport Psychology*, 2011 sausio 27 d., vol. 23, no. 1. pp. 65-75 ISSN 1041-3200.
- [42] HOFFMANN, C.P., FILIPPESCHI, A., RUFFALDI, E. and BARDY, B.G. Energy Management using Virtual Reality Improves 2000-M Rowing Performance. *Journal of Sports Sciences*, 2014 balandžio 3 d., vol. 32, no. 6. pp. 501-509 ISSN 0264-0414.
- [43] WELLNER, M., et al. Does a Virtual Audience Influence Rowing?. *Proceedings of the IMechE*, 2010 kovas, vol. 224, no. 1. pp. 117-128 ISSN 1754-3371.
- [44] MURRAY, E.G., NEUMANN, D.L., MOFFITT, R.L. and THOMAS, P.R. *The Effects of the Presence of Others during a Rowing Exercise in a Virtual Reality Environment.*, 2016 sausis Prieiga per: <http://www.sciencedirect.com.ezproxy.ktu.edu/science/article/pii/S1469029215300145> ISBN 1469-0292. DOI//doi-org.ezproxy.ktu.edu/10.1016/j.psychsport.2015.09.007.
- [45] *Gydantys Virtualios Realybės Sprendimai.*, 2018 sausio 31 d., [žiūrėta 2018-05-19]. Prieiga per: <https://mita.lrv.lt/lt/simtmetis/100-lietuvos-inovaciju/27>.
- [46] VASAUSKAITĖ, R. *Inovacijų Dieną Viešojoje Bibliotekoje Neįtikėtina Dovana Bibliotekos Lankytojams – Skrydis Virtualios Realybės Parasparniu Fly VR.*, 2016 [žiūrėta 2018-05-19]. Prieiga per: <https://regionas.kvb.lt/2016/10/inovaciju-diena-viesojoje-bibliotekoje-neitiketina-dovana-bibliotekos-lankytojams-skrydis-virtualios-realybes-parasparniu-fly-vr/>.
- [47] BLIJUS, N. *Išmanusis Lietuvių Sprendimas Ateityje Padės Milijonams.*, 2017 [žiūrėta 2018-05-19]. Prieiga per: <http://m.kauno.diena.lt/naujienos/sveikata/sveikata/ismanusis-lietuviu-sprendimas-ateityje-pades-milijonams-801996>.
- [48] HILTON, M.P. and PINDER, D.K. *The Epley (Canalith Repositioning) Manoeuvre for Benign Paroxysmal Positional Vertigo.* John Wiley & Sons, Ltd, 2002 ISBN 1465-1858. DOI 10.1002/14651858.CD003162.pub3.
- [49] *Epley VR App by Aresi Labs*, [žiūrėta 2018-05-20]. Prieiga per: <https://www.youtube.com/watch?v=0CN61Ktj-1E>.
- [50] STANAİTIS, S., et al. *Virtual Reality Based System for Investigation of Peripheral Vestibular Function.* KYRIACOU, Efthymoulos, CHRISTOFIDES, Stelios and PATTICHIS, Constantinos S. eds., Cham: Springer International Publishing, 2016 ISBN 978-3-319-32703-7.
- [51] BROOKE, J. SUS: A "Quick and Dirty" Usability Scale in PW Jordan, B. Thomas, BA Weerdmeester, & AL McClelland. *Usability Evaluation in Industry*, 1996.
- [52] BIJUR, P.E., WENDY, S. and JOHN, G.E. Reliability of the Visual Analog Scale for Measurement of Acute Pain. *Academic Emergency Medicine*, 2001 gruodis, vol. 8, no. 12. pp. 1153-1157 ISSN 1069-6563.
- [53] 53. TOTILIENĖ, M., et al. Mobile Virtual Reality System for Investigation of Subjective Visual Vertical. *Biomedical Engineering 2016 : Proceedings of International Conference*, 2016. pp. 106-112 ISSN 2029-3380.

7.1 Straipsnis „Subjective visual vertical assessment with mobile virtual reality system“

MEDICINA 53 (2017) 394–402

Available online at www.sciencedirect.com

ScienceDirect

journal homepage: <http://www.elsevier.com/locate/medici>

Original Research Article

Subjective visual vertical assessment with mobile virtual reality system

Ingrida Ulozienė^a, Milda Totilienė^{a,*}, Andrius Paulauskas^b, Tomas Blažauskas^b, Vaidotas Marozas^c, Diego Kaski^d, Virgilijus Ulozas^a^a Department of Otorhinolaryngology, Medical Academy, Lithuanian University of Health Sciences, Kaunas, Lithuania^b Department of Software Systems, Faculty of Informatics, Kaunas University of Technology, Lithuania^c Biomedical Engineering Institute, Kaunas University of Technology, Lithuania^d Sobell Department for Motor Control, University College London, United Kingdom

ARTICLE INFO

Article history:

Received 3 October 2017

Received in revised form

18 January 2018

Accepted 8 February 2018

Available online 19 February 2018

Keywords:

Subjective visual vertical

Virtual reality

Vestibular

ABSTRACT

Background and objective: The subjective visual vertical (SVV) is a measure of a subject's perceived verticality, and a sensitive test of vestibular dysfunction. Despite this, and consequent upon technical and logistical limitations, SVV has not entered mainstream clinical practice. The aim of the study was to develop a mobile virtual reality based system for SVV test, evaluate the suitability of different controllers and assess the system's usability in practical settings.

Materials and methods: In this study, we describe a novel virtual reality based system that has been developed to test SVV using integrated software and hardware, and report normative values across healthy population. Participants wore a mobile virtual reality headset in order to observe a 3D stimulus presented across separate conditions – static, dynamic and an immersive real-world (“boat in the sea”) SVV tests. The virtual reality environment was controlled by the tester using a Bluetooth connected controllers. Participants controlled the movement of a vertical arrow using either a gesture control armband or a general-purpose gamepad, to indicate perceived verticality. We wanted to compare 2 different methods for object control in the system, determine normal values and compare them with literature data, to evaluate the developed system with the help of the system usability scale questionnaire and evaluate possible virtually induced dizziness with the help of subjective visual analog scale.

Results: There were no statistically significant differences in SVV values during static, dynamic and virtual reality stimulus conditions, obtained using the two different controllers and the results are compared to those previously reported in the literature using alternative methodologies. The SUS scores for the system were high, with a median of 82.5 for the Myo controller and of 95.0 for the Gamepad controller, representing a statistically significant difference between the two controllers ($P < 0.01$). The median of virtual reality-induced dizziness for both devices was 0.7.

* Corresponding author at: Department of Otorhinolaryngology, Medical Academy, Lithuanian University of Health Sciences, Eivenių 2, 50161 Kaunas, Lithuania.

E-mail address: milda.totilienne@ismuni.lt (M. Totilienė).

<https://doi.org/10.1016/j.medic.2018.02.002>

1010-660X/© 2018 The Lithuanian University of Health Sciences. Production and hosting by Elsevier Sp. z o.o. This is an open access article under the CC BY-NC-ND license (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

Conclusions: The mobile virtual reality based system for implementation of subjective visual vertical test, is accurate and applicable in the clinical environment. The gamepad-based virtual object control method was preferred by the users. The tests were well tolerated with low dizziness scores in the majority of patients.

© 2018 The Lithuanian University of Health Sciences. Production and hosting by Elsevier Sp. z o.o. This is an open access article under the CC BY-NC-ND license (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

1. Introduction

The subjective visual vertical (SVV) refers to an individual's ability to indicate what he or she perceives to be an Earth vertical line, in the absence of an external reference frame. A tilt of the SVV is a sensitive sign of a vestibular tone imbalance, resulting from lesions affecting central and peripheral vestibular pathways. Peripheral pathways run from the vestibular apparatus (semicircular canals and otolith organs) to the vestibular nuclei, via the vestibular nerve, and central pathways from the vestibular nuclei via the medial longitudinal fasciculus (MLF) and interstitial nucleus of Cajal (INC) to a widespread cortical vestibular network [1]. SVV tilts are therefore observed across a range of vestibulopathies. Indeed, abnormal SVV has been reported in over 90% of patients with acute unilateral brainstem lesions affecting central pathways involved in gravitational perception [2]. SVV tilts are thought to arise as part of the ocular tilt reaction (OTR) characterized by the additional features of head tilt, ocular torsion, and skew deviation [3]. In support of this hypothesis, a tight correlation between torsional eye position and the SVV tilt has been described [4]. Unilateral brainstem lesions caudal to the pons lead to ipsiversive OTR and SVV tilts, whereas more rostral lesions involving the MLF or INC typically cause contraversive OTR and SVV tilt [2,5].

SVV is usually tested in a "static" condition, where subjects are asked to align a rod or line to Earth vertical against a black stationary background, devoid of reference frames. Recent studies demonstrate additional benefits of dynamic SVV test, whereby the rod or line is presented against a moving background (typically consisting of "dots" or "spheres") [6–8]. Dynamic conditions increase the sensitivity of the test, in addition to quantifying the degree of visual dependency – an over-reliance on vision for balance where other sensory modalities may be more appropriate [9]. Despite its clinical value in the diagnosis, topographical localization, and identification of impaired graviceptive (otolithic and vertical semicircular canal) function, the SVV has not entered mainstream clinical practice. This is mostly because SVV has been traditionally measured using specialist equipment involving the computerized "hemispheric dome" method, or a computerized "light-bar in the dark" method [8,10]. More recently, the "bucket test" was introduced as an inexpensive, easy-to-make, and easy to apply and operate method of testing the SVV at the bedside [11,12]. Although it has yielded reliable results, such a method is not without its limitations; namely a low resolution, and the ability to perform only static SVV tests [11,12]. Additional software-based, flexible multi-function systems have been proposed, but these systems are

PC- or laptop-based and are less readily portable than handheld devices [13].

In this study, we describe a virtual reality (VR) based system (VIRVEST) that has been developed to test SVV, and report normative values across healthy population. We sought to compare SVV results using VIRVEST system with previously reported in the literature using alternative methodologies. Additionally we wanted to choose controller which would be accurate and at the same time easy to use for the participants. Therefore, we selected 2 possible control devices and compared the differences between them. As it is known that virtual reality itself can cause dizziness, we wanted to evaluate possible virtually induced dizziness.

2. Materials and methods

2.1. VIRVEST system

VIRVEST is a wearable VR-based system that enables the physician or technician (herewith termed "tester") to acquire SVV data from a subject or patient (herewith termed "participant"). The equipment is integrated by using the proposed software and hardware applications shown in Fig. 1. The participant wears a mobile virtual reality application (Mobile Application for Virtual Reality) in order to observe a 3D stimulus presented across four separate conditions. The virtual reality environment is controlled by the patient using a Bluetooth connected controller. In this study, we used the Samsung Galaxy S7 smartphone and Samsung Gear VR headset for virtual reality scene presentation. Participants controlled the movement of an "arrow" (Tests 1–3), or "boat" (Test 4) using either a Myo gesture control armband (Thalmic Labs Inc., Canada) or a general purpose gamepad (Red Samurai gamepad, GameStop Corp. Inc., US). The Myo armband (Fig. 1) was worn over the participant's forearm, and enabled the participant to rotate the arrow or boat wirelessly using pronation and supination arm motions. The Myo device consists of a set of electromyographic sensors, combined with a gyroscope, accelerometer and magnetometer to recognize arm gestures. The gamepad consisted of two buttons, left and right, which participants were asked to press to adjust the arrow or boat to their perceived vertical.

A second mobile device and software application (see mobile application in Fig. 1) was used to control the delivery of the VR stimulus. Additionally, this application allows the tester to visualize the test results both online and offline. The two mobile applications use Bluetooth connection in order to exchange the commands and data. The mobile application of the tester allows the data to be saved to a local database or to

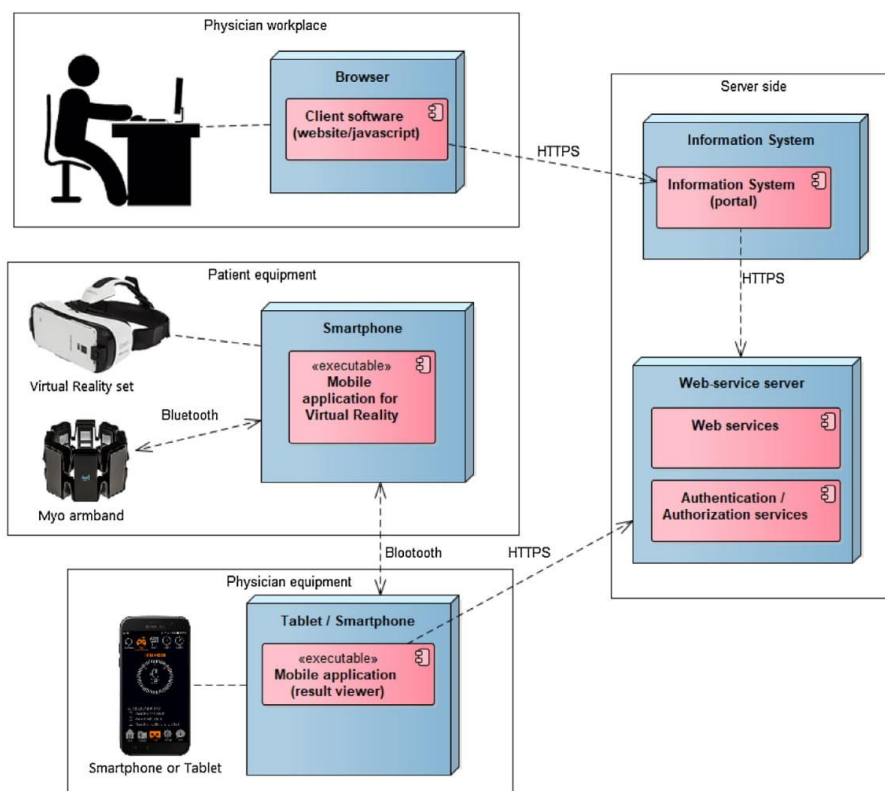


Fig. 1 – The component diagram of the proposed software system VIRVEST for assessment of subjective visual vertical.

be sent to the web server. In order to send the data to the web server, an Internet connection must be available. Authentication and authorization is performed using OAuth 2 protocol while the security of the transferred data is guaranteed by using https protocol. The received data is stored in the information system. The website incorporates a responsive web design in order to provide adapted view for different devices.

2.2. Participants

A total of 41 healthy young adult volunteers participated in this study: 14 men (age 28.14 ± 0.6 years) and 27 women (age 27.52 ± 0.5 years). All participants signed an informed consent and the study was approved by Kaunas Regional Biomedical Research Ethics Committee (NR-BEC-LSMU(R) 06). Participants had no complaints of dizziness or vertigo during the last 6 months. A full neuro-otological assessment comprising videonystagmography and cervical vestibular myogenic evoked potentials were performed for all participants and revealed no pathological changes.

This study was approved by the appropriate ethics committee and has been performed in accordance with the ethical standards laid down in the 1964 Declaration of Helsinki

and its later amendments. All subjects gave their informed consent prior to their inclusion in the study.

2.3. SVV tests using the VIRVEST system

Prior to starting the SVV acquisition, a calibration of the controller device was performed and the participants asked to adjust the focus on the VR headset. Four tests were performed: static SVV (Test 1), dynamic SVV with clockwise background stimulus rotation (Test 2), dynamic SVV with counter-clockwise background stimulus rotation (Test 3), and SVV with a virtual reality background (Test 4). The screenshots for all tests are shown in Fig. 2A-C. Six trials were performed for each test. For all tests and trials, participants using the Myo armband were asked to manipulate the arrow (or boat) using the controller and to verbally indicate when they had reached their perceived vertical. The tester then activated the next trial (or condition) from his/her mobile device. When using the gamepad, participants were instructed to press one button to orient the arrow (or boat) to their perceived vertical, and the second button to confirm they had reached the perceived vertical. The second press of this button activated the subsequent trial (or test).

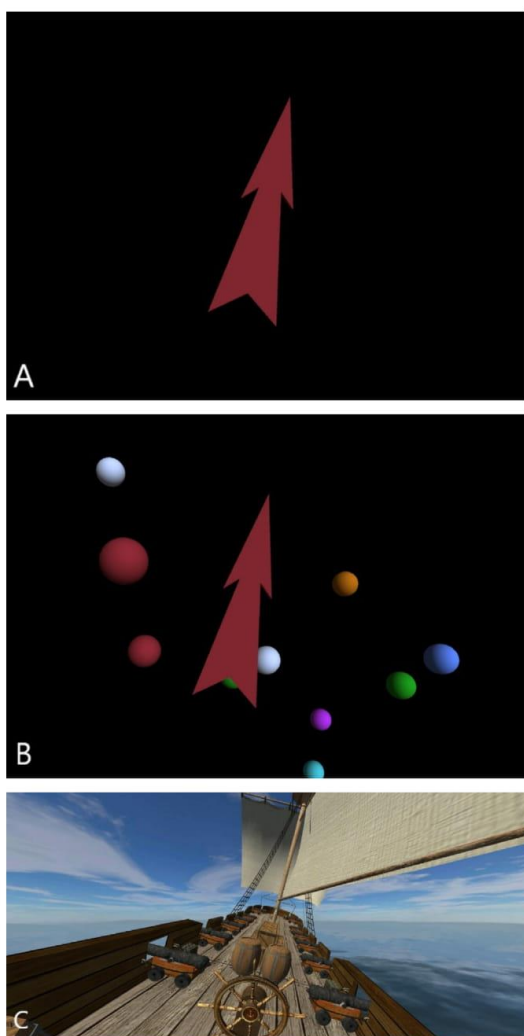


Fig. 2 – The view of virtual reality application: (A) static SVV test, (B) dynamic SVV test, (C) “realistic” SVV test. During static and dynamic SVV tests, the patient is asked to align the object vertically, the same holds for “realistic SVV” test – the patient is asked to align the boat vertically.

In the static test the visual stimulus consists of a block arrow over a black background (Fig. 2A). The subject is instructed to align the tip of the arrow to the perceived Earth vertical (“ceiling to floor”). An arrow shape was chosen to avoid any 90° angles and thus avoid presenting additional right-angled frames of reference that may bias the perception of verticality and thus the SVV data. At the beginning of the test, the stimulus is presented with an initial random inclination of 10–15°.

For the dynamic test, the black background includes colored spheres (to increase the salience of the background

stimulus [8]) rotating in either clockwise or counter-clockwise directions (Fig. 2B). Predetermined parameters for the dynamic SVV were selected for this study, but can be modified on the tester’s mobile application. Thus, the number of spheres in the background screen was set to ten. Based on pilot data, the background motion was set to a constant velocity of 10°/s given that higher values tended to interfere with accurate verticality perception in healthy controls. The software program does allow for variable velocities of the spheres, each sphere moving at a randomized different velocity between 5°/s and 15°/s. Dynamic SVV tests include clockwise and counter-clockwise background motion rotation as handedness is known to exert different effects on SVV according to the direction of the background motion.

The “realistic” SVV refers to a dynamic, immersive real-world stimulus, consisting of a boat sailing in an open sea, with the subject perceiving to stand directly in front of the boat’s mast (Fig. 2C). In the beginning of the test, the central stimulus (the boat) is presented at a random inclination of 10–15°. Participants were instructed to align the boat to the Earth vertical, with no specific instruction as to whether they should focus on the mast. In order to ensure that the horizon did not present a reference point, horizon was set to naturally oscillate where it intersected with sea waves. Furthermore, the boat was set to sway in the pitch plane (in addition to its roll incline) as it ascends and descends each wave, thus obscuring the horizon. The boat sway was set using a sinusoidal function with declinations from 7.5° to 7.5° at a frequency of 0.1 Hz while horizon waves expose random behavior. Additional stimuli such as heavy clouds, raining, and fog can be switched on in order to further distort evidence of verticality but were not utilized in the current study.

We report normative values across a healthy population and compare our SVV results using the VIRVEST system to previously published SVV values that have used alternative computerized methodologies [10,13]. We also sought to evaluate differences in SVV tilt in healthy controls comparing the use of the Myo armband and a general purpose gamepad to control the arrow (or boat).

Moreover, we wanted to evaluate the developed system with the help of system usability scale questionnaire and to evaluate possible virtually induced dizziness with the help of subjective visual analog scale.

2.4. System usability scale (SUS)

To assess the usability of the VIRVEST, a measure of the ease of use for learning and handling, we employed the system usability scale (SUS), a global, widely employed, subjective assessment of usability [14]. The scale is an effective, reliable tool for measuring the usability of a wide variety of products and services, including Web sites and applications, cell phones, interactive voice response systems, and TV applications [15]. The SUS is composed of 10 statements, each having a 5-point Likert-style scale that ranges from 1 (strongly disagree) to 5 (strongly agree), with five positive statements and five negative statements, that alternate [14]. Scoring is accomplished by subtracting 1 from odd-numbered (positively worded) responses and subtracting the even-numbered negatively worded responses from 5. The sum of scores is

then multiplied by 2.5 to obtain a score between 0 and 100. A total of 68 points represent the average usability score across systems [15]. The total scores also correspond with seven qualitative adjective ratings, ranging from “worst imaginable” at the low end to “best imaginable” at the high end or range 0–64 (not acceptable), 65–84 (acceptable), and 85–100 (excellent) [15,16]. The linguistically and culturally adapted Lithuanian version of the SUS was utilized in this study. All participants were asked to evaluate separately the usability of the VIRVEST system after using each of two control modalities, i.e. SUS Myo and SUS Gamepad immediately after performing the SVV tests. A cross-over design was used such that participants using the Myo armband were asked to repeat all conditions using the Gamepad, within a 24-h period. The order (Myo first versus Gamepad first) was randomized across participants. Participant evaluations were completed after completing each paradigm.

2.5. Virtual reality induced dizziness

Additionally we assessed for possible virtual reality-induced dizziness (VRID) using a subjective visual analog scale (VAS). Subjects were asked to evaluate their VRID on a 10-cm long VAS from 0 indicating no dizziness at all to 10 indicating severe dizziness.

2.6. Statistical analysis

The mean value of the six measurements for each condition was used for the data analysis, which was performed with SPSS 22 for Windows. Shapiro–Wilk test variables of SVV with normal distribution were analyzed with paired Student t test and variables which did not present normal distribution were analyzed with Wilcoxon Signed Ranked Test. In all tests, the criterion for statistical significance was $P < 0.05$.

3. Results

3.1. SVV tilts

The results for the SVV values for both the Myo armband and Gamepad controllers are presented in Table 1. We found no

significant differences between the distribution of positive and negative values of SVV deviations therefore only positive values were used in the analysis. There were no statistically significant differences in SVV values obtained using the two different controllers.

3.2. System usability scale

In the present study, the SUS scores indicated the degree to which the VIRVEST design was appropriate and easy to use from the participant’s point of view. As shown in Table 2, the SUS scores for the VIRVEST system were high, with a median of 82.5 for the Myo controller and of 95.0 for the Gamepad controller, representing a statistically significant difference between the two controllers ($P < 0.01$).

3.3. VRID results

VRID was evaluated by means of the VAS and the results are summarized in Figs. 3 and 4, showing that several participants experienced some degree of dizziness, with the vast majority experiencing only very mild dizziness. Overall results show that the VIRVEST system tests did not cause dizziness in the majority of participants.

4. Discussion

We have developed a VR system for SVV evaluation. This system has the advantage of being fully portable, comfortable, able to test SVV across static and dynamic conditions, with a high angular resolution, and able to capture temporal and spatial characteristics of the SVV behavior within trials.

Despite large variations in SVV paradigms across studies, in conditions of darkness and in an upright trunk posture, normal SVV values (mean of SVV estimates) range from -2.5° to 2.5° [2]. Thus, a difference $\geq 2^\circ$ between repeated measures for a given patient can be interpreted as a real change in SVV perception [17]. Our healthy participant SVV data using the VIRVEST system are comparable with normative values reported in the literature. For example, in Pavan et al. healthy static SVV reported values were $0.37 \pm 1.21^\circ$, dynamic SVV

Table 1 – SVV results for two object control methods in VIRVEST system.

| Test type | Values obtained with Myo (n = 41) | Values obtained with Gamepad (n = 41) | P |
|--|-----------------------------------|---------------------------------------|-------------------|
| Static SVV, ^a | 1.25 (0.68) [1.02–1.47] | 1.13 (0.77) [0.87–1.38] | 0.3 ^a |
| Dynamic clockwise SVV, ^a | 2.34 (1.07) [1.98–2.69] | 1.94 (1.3) [1.51–2.37] | 0.07 ^b |
| Dynamic counter clockwise SVV, ^a | 1.31 (0.8) [1.05–1.58] | 1.25 (0.79) [0.99–1.51] | 0.57 ^b |
| Virtual reality stimulus (boat on the water), ^a | 1.12 (0.8) [0.85–1.39] | 1.05 (0.8) [0.79–1.32] | 0.68 ^a |

Values are mean (standard deviation) [95% confidence interval].

^a Wilcoxon signed ranked test.

^b Paired Student t test.

Table 2 – Results of the SUS evaluation (n = 41).

| Control modality | Median | Minimum | Maximum | Interquartile range |
|------------------|--------|---------|---------|---------------------|
| Myo | 82.5 | 15 | 100 | 22.50 |
| Gamepad | 95.0 | 55 | 100 | 12.50 |

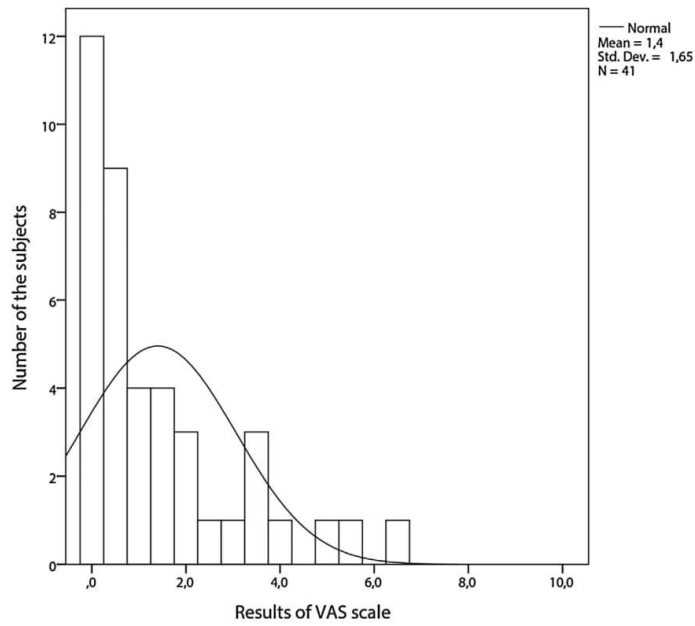


Fig. 3 – Results of VAS evaluation after testing with Myo (n = 41).

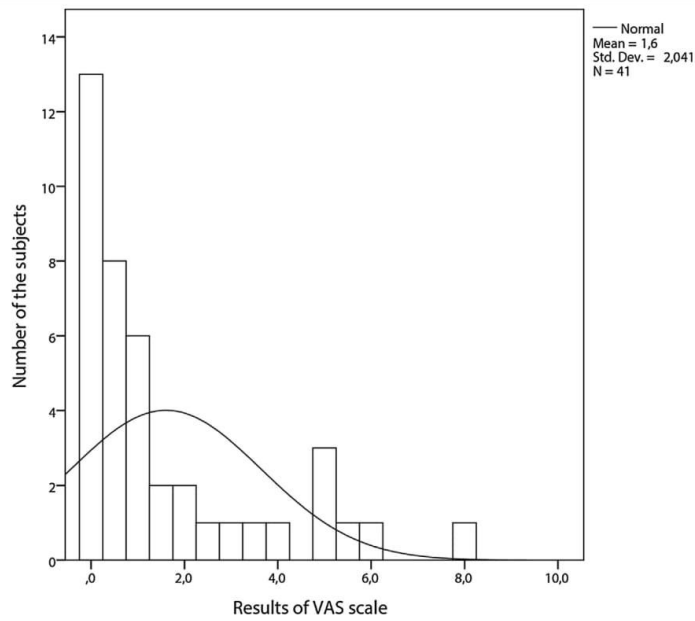


Fig. 4 – Results of VAS evaluation with Gamepad (n = 41).

(clockwise) $1.53 \pm 1.8^\circ$, and dynamic SVV (counter clockwise) $1.11 \pm 2.46^\circ$ [13]. Similarly, in an Indian healthy population, Ashish et al. reported static SVV values of $1.52 \pm 0.70^\circ$, dynamic SVV (clockwise) of $1.96 \pm 0.65^\circ$, and dynamic SVV

(counter clockwise) of $1.96 \pm 0.65^\circ$ (see Table 1 for comparison) [10]. The virtual reality stimulus (boat on the water) SVV tilts were comparable to those of the static SVV, despite the 'dynamic' nature of the scene. This is not unexpected, as the

background scene did not rotate uniformly or unidirectionally, as is the case for the dynamic SVV with the moving spheres. Studies assessing the perceived upright of a variety of scenes have shown that SVV tilts are affected by the nature of the scenes being viewed. Thus, man-made scenes (such as the

inside of a room) tend to cause lesser SVV tilts than natural scenes (such as a park) perhaps related to a greater number of vertical lines present in man-made scenes compared to natural scenes, thus offering greater orientation cues [18]. Therefore, VIRVEST offers the possibility to introduce different

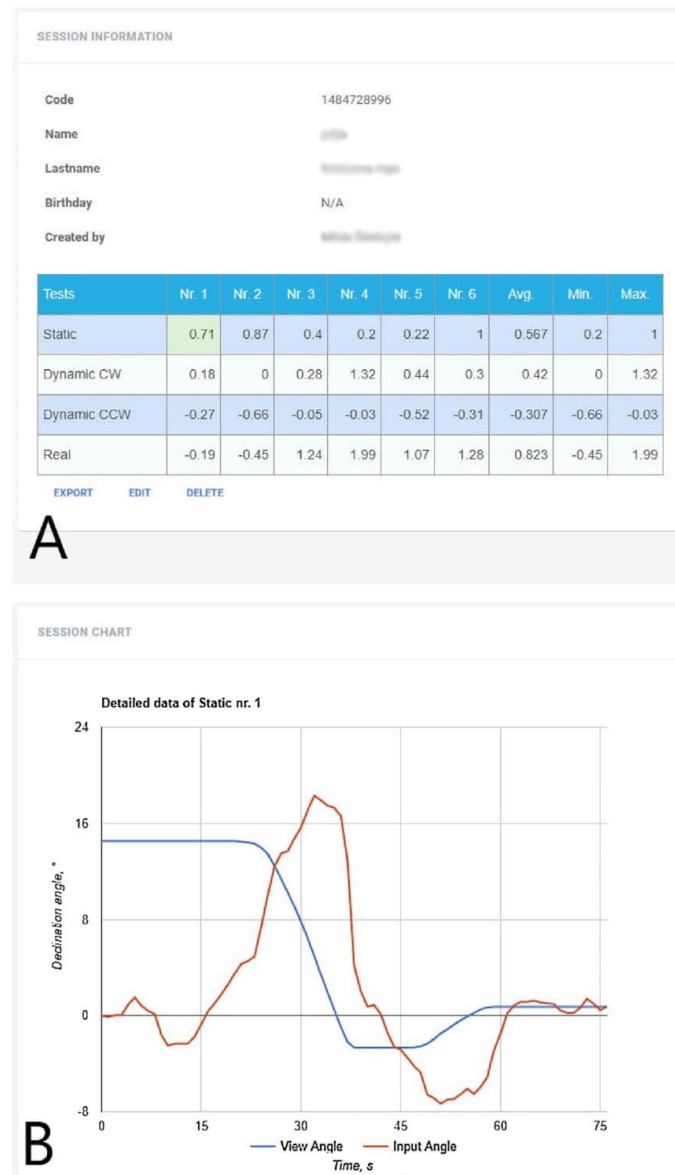


Fig. 5 – Session view in a website: (A) representative tabulated outcome data showing obtained results of each test, performed 6 times and the estimated average, (B) the angle of the vertical over time (blue curve) and rotation of the controller over time (red line). The arrow starts with a rotation angle of 16° clockwise (0–20 s). The patient rapidly rotates the arrow using the Myo device to an approximate vertical position (20–35 s). Following this, the patient makes smaller adjustments to achieve a more precise perceived vertical position (35–60 s). The participant required only two rotations to complete the trial. The behavioral waveform suggests that the participant was certain about their verticality perception.

scenes that can be tested across different populations, to explore man-made scenes versus natural scenes further. Moreover, “reality” stimuli may be useful for testing the pediatric population as it provides a more “everyday” life environment.

It is increasingly recognized that SVV should be performed not only in static conditions but also incorporate dynamic conditions to increase the sensitivity of the test [7,8,10,13]. A full-field roll-plane rotation of the visual scene induces a sensation of apparent self-motion, therefore the dynamic visual vertical induces a greater tilt of the perceived visual vertical than the static condition [19]. This is most marked in patients with increased “visual dependency”, for example in labyrinthine deficient patients [20]. It is however worth noting that there exists great variability in dynamic SVV values within a healthy population, with tilts ranging from 0.49° to almost 11° between studies [7,10,13]. Whilst such variability could be due to different dynamic stimuli, age of the subjects, and study size, one wonders whether this may also represent variation in visual dependency within the healthy population. Indeed, patients with migraine often report symptoms of increased visual dependency, but many normative studies of SVV have not screened for this condition [7,10,13,21].

SVV measurements are being increasingly used in the assessment of spatial cognition, to investigate otolith vestibular function and identify altered verticality perception as a possible cause of postural disorders in a range of conditions [22-26]. Faralli et al. have published that dynamic SVV test had a higher sensitivity compared to static test in diagnosing vestibular neuronitis (VN). Patients with vestibular neuritis appear to show more rapid normalization of static SVV than dynamic SVV, suggesting that dynamic SVV may be a clinically silent biomarker of central adaptation following peripheral vestibulopathies, and a complementary diagnostic test in the subacute stage of VN [6]. Given the similar SVV tilt values observed using the VIRVEST system, we predict that abnormalities in SVV in patients with peripheral and central vestibulopathies using this system would mirror those described elsewhere in the literature [22-26]. Further work using the VIRVEST system in patients with a range of vestibular and neurological conditions will be required to verify this. Moreover, there has been growing interest in understanding the mechanism of aging and its effect upon gait and postural control [17]. Age-related changes affecting the vestibular system have been demonstrated anatomically and physiologically [27-30]. The contribution of altered gravity perception in gait and postural instability in the elderly has not however been investigated. Given the increased sensitivity of the dynamic SVV with age, future studies using VIRVEST should assess dynamic SVV in the elderly and correlate this with postural instability and falls [7,8].

One significant advantage of the VIRVEST as compared to other SVV tools is the capacity to record a participant's behavior during each trial, and to review this later for offline analysis. This allows the tester to ensure that data has been appropriately acquired, and to assess the degree of certainty in the participant's responses. The tabulated data set allows the tester to visualize performed test values as well as short summary (average value, minimal and maximal values; see Fig. 5A). The graphical data output further details the temporal

characteristics of the participant's behavior, showing how the participant approached the decision, and adjusted the angle of the vertical using the controller (see Fig. 5B). Such information uncovers the cognitive processes involved in SVV perception, which may be of clinical relevance in patients with specific neurodegenerative conditions.

We have also shown high SUS levels for the VIRVEST. There are several characteristics of the SUS that makes its use attractive: (a) it is composed of only ten statements and is therefore relatively quick and easy for study participants to complete and for administrators to score, (b) it is cost effective to use and can be scored very quickly, immediately after completion, (c) the SUS is technologically agnostic, therefore it can be utilized by a broad group of users to evaluate almost any type of user interface, (d) the result of the SUS is a single score, ranging from 0 to 100, and is relatively easy to understand by a wide range of people from other disciplines who work on project themes [15]. Moreover, the total scores also correspond with qualitative adjective ratings and help users to interpret individual SUS scores [16]. High usability scores of VIRVEST system were likely related to perspicuity and simplicity of use, requiring only two buttons to control the system with help of Gamepad modality or rather simple hand rotating movements in case of Myo gesture control armband. Both control modalities were used independently by participants after minimal instruction.

With an increasing application of VR technology in the biomedical sphere, there has been growing interest in the effects of vestibulo-somatosensory conflict induced by virtual reality on subjective dizziness, postural stability, and motion sickness [31]. Whilst increased motion sickness has been reported following 5 min of VR immersion, data shows that such symptoms decrease with adaptation to the stimulation delivered, such that it is less evident after 39 min of immersion [31]. The VAS is commonly used to evaluate patient's symptoms of dizziness. Some studies show that in the VAS symptom severity is classified as mild when the score is between 0 and 3; moderate, between 4 and 6; and severe between, 7 and 10 [32,33]. Given a median VAS value of 0.7 in our study, the VIRVEST appears not to induce any meaningful dizziness.

We investigated the degree of VRID following exposure to 4 SVV tests and found no dizziness or mild levels of dizziness following VR SVV assessments. As expected, we found no significant differences in VRID between participants using the Myo armband and Gamepad controller devices.

5. Conclusions

VIRVEST is a mobile virtual reality based system for implementation of subjective visual vertical test, is accurate and applicable in the clinical environment. There were no statistically significant differences in SVV values during static, dynamic and virtual reality stimulus conditions, obtained using the two different controllers and the results are compared to those previously reported in the literature using alternative methodologies. Gamepad-based virtual object control method was preferred by the users. The tests were well tolerated with low dizziness scores in the majority of participants.

Conflicts of interest

The authors declare that they have no conflict of interest.

Acknowledgments

This work was supported by joint KTU-LSMU (Kaunas University of Technology-Lithuanian University of Health Sciences) project no. MTEPI-L-16015.

REFERENCES

- [1] Baier B, Conrad J, Stephan T, Kirsch V, Vogt T, Wilting J, et al. Vestibular thalamus: two distinct graviceptive pathways. *Neurology* 2016;86(2):134-40.
- [2] Dieterich M, Brandt T. Ocular torsion and tilt of subjective visual vertical are sensitive brainstem signs. *Ann Neurol* 1993;33(3):292-9.
- [3] Rabinovitch HE, Sharpe JA, Sylvester TO. The ocular tilt reaction. A paroxysmal dyskinesia associated with elliptical nystagmus. *Arch Ophthalmol* 1960;95(8):1395-8.
- [4] Bronstein AM, Pérennou DA, Guerraz M, Playford D, Rudge P. Dissociation of visual and haptic vertical in two patients with vestibular nuclear lesions. *Neurology* 2003;61(9):1260-2.
- [5] Halmagyi GM, Gresty MA, Gibson WPR. Ocular tilt reaction with peripheral vestibular lesion. *Ann Neurol* 1979;6(1):80-3.
- [6] Faralli M, Ricci G, Molini E, Longari F, Altissimi G, Frenguelli A. Determining subjective visual vertical: dynamic versus static testing. *Otol Neurotol* 2007;28:1069-71.
- [7] Jovanović S, Ribarić-Jankes K. Subjective visual vertical test: normative values in healthy population. *Srp Arh Celok Lek* 2008;136:585-9.
- [8] Kobayashi H, Hayashi Y, Higashino K, Saito A. Dynamic and static subjective visual vertical with aging. *Auris Nasus Larynx* 2002;29:325-8.
- [9] Cousins S, Cutfield NJ, Kaski D, Palla A, Seemungal BM, Golding JF, et al. Visual dependency and dizziness after vestibular neuritis. *PLOS ONE* 2014;9(9):e105426.
- [10] Ashish G, Augustine A, Tyagi A, Lepcha A, Balraj A. Subjective visual vertical and horizontal: normative values using a software-based test in the Indian population. *Indian J Otol* 2016;22(3):208.
- [11] Zwergal A, Rettinger N, Frenzel C, Dieterich M, Brandt T, Strupp M. A bucket of static vestibular function. *Neurology* 2009;72(19):1689-92.
- [12] Ferreira MM, Cunha F, Ganança CF, Ganança MM, Caovilla HH. Subjective visual vertical with the bucket method in Brazilian healthy individuals. *Braz J Otorhinolaryngol* 2016;82(4):442-6.
- [13] Zeferino Pavan T, Funabashi M, Ailton J, Carneiro O, Grespan TE, Pontelli S, et al. Software for subjective visual vertical assessment: an observational cross-sectional study. *Braz J Otorhinolaryngol* 2012;78(17).
- [14] Brooke J. SUS - a quick and dirty usability scale. *Usability Eval Ind* 1996;189(194):4-7.
- [15] Bangor A, Kortum PT, Miller JT. An empirical evaluation of the system usability scale. *Int J Hum Comput Interact* 2008;24:574-94.
- [16] Mclellan S, Muddimer A, Peres SC. The effect of experience on system usability scale ratings. *J Usability Stud* 2012;7(2):56-67.
- [17] Strupp M, Dieterich M, Zwergal A, Brandt T. Diagnosis and treatment options in vertigo syndromes. *Nervenarzt* 2015;86(10):1277-90.
- [18] Haji-Khamneh B, Harris LR. How different types of scenes affect the subjective visual vertical (SVV) and the perceptual upright (PU). *Vision Res* 2010;50:1720-7.
- [19] Dichgans J, Held R, Young LR, Brandt T. Moving visual scenes influence the apparent direction of gravity. *Science* 1972;178(4066):1217-9.
- [20] Bronstein AM, Yardley L, Moore AP, Cleeves L. Visually and posturally mediated tilt illusion in Parkinson's disease and in labyrinthine defective subjects. *Neurology* 1996;47(3):651-6.
- [21] Huang J, Cooper TG, Satana B, Kaufman DI, Cao Y. Visual distortion provoked by a stimulus in migraine associated with hyperneuronal activity. *Headache J Head Face Pain* 2003;43(6):664-71.
- [22] Crevits L, Venhovens J, Vanoutrive J, Debruyne J. False perception of visual verticality in multiple sclerosis. *Eur J Neurol* 2007;14(2):228-32.
- [23] Gómez García A, Jáuregui-Renaud K. Subjective assessment of visual verticality in follow-up of patients with acute vestibular disease. *Ear Nose Throat J* 2003;82(6):442-6.
- [24] Min KK, Ha JS, Kim MJ, Cho CH, Cha HE, Lee JH. Clinical use of subjective visual horizontal and vertical in patients of unilateral vestibular neuritis. *Otol Neurotol* 2007;28(4):520-5.
- [25] Shin JE, Kim C-H, Park HJ. Vestibular abnormality in patients with Meniere's disease and migrainous vertigo. *Acta Otolaryngol* 2013;133(2):154-8.
- [26] Ogawa Y, Otsuka K, Shimizu S, Inagaki T, Kondo T, Suzuki M. Subjective visual vertical perception in patients with vestibular neuritis and sudden sensorineural hearing loss. *J Vestib Res* 2012;22(4):205-11.
- [27] Rasmussen AT. Studies of the VIIIth cranial nerve of man. *Laryngoscope* 1940;50(1):67-83.
- [28] Manchester D, Woollacott M, Zederbauer-Hylton N, Marin O. Visual, vestibular and somatosensory contributions to balance control in the older adult. *J Gerontol* 1989;44(4):118-27.
- [29] Peterka RJ, Black FO, Schoenhoff MB, Peterka RJ. Age-related changes in human vestibulo-ocular reflexes: sinusoidal rotation and caloric tests. *J Vestib Res* 1990;1:49-59.
- [30] Peterka RJ, Black FO. Age-related changes in human posture control: sensory organization tests. *J Vestib Res* 1990;1(1):73-85.
- [31] Nishiike S, Okazaki S, Watanabe H, Akizuki H, Imai T, Uno A, et al. The effect of visual-vestibulosomatosensory conflict induced by virtual reality on postural stability in humans. *J Med Invest* 2013;60:236-9.
- [32] Grigol TA, de AES, Silva AM, Ferreira MM, Manso A, Ganança MM, et al. Dizziness handicap inventory and visual vertigo analog scale in vestibular dysfunction. *Int Arch Otorhinolaryngol* 2016;20(3):241-3.
- [33] Hansson EE, Mansson N-O, Hakansson A. Effects of specific rehabilitation for dizziness among patients in primary health care. A randomized controlled trial. *Clin Rehabil* 2004;18(5):558-65.

7.2 Straipsnis „Mobile Virtual Reality System for Investigation of Subjective Visual Vertical“

Conference “Biomedical Engineering“

Mobile Virtual Reality System for Investigation of Subjective Visual Vertical

M. Totilienė^{1*}, A. Paulauskas², T. Blažauskas², V. Uloza¹,
V. Marozas³, I. Ulozienė¹

¹Department of Otorhinolaryngology, Lithuanian University of Health Sciences, Lithuania

²Department of Software Systems, Kaunas University of Technology, Lithuania

³Biomedical Engineering Institute, Kaunas University of Technology, Lithuania

*E-mail: milda.totilienne@fc.lsmuni.lt

Introduction. The spatial orientation in relation to the Earth's gravitational axis is important for the maintenance of posture, gait and other human motor activities. Smooth interplay of four human body sensory subsystems: somatosensory, proprioceptive, visual and vestibular, must be ensured to maintain body postural balance [1]. The subjective visual vertical (SVV) assessment is a valid clinical exam that evaluates an individual's capacity to determine, if an object is aligned in the vertical position without any real vertical reference. The test is performed by asking an individual to align a luminous bar with a position that the individual judges to be vertical. The tilts of individual's chosen position with respect to the Earth's vertical are measured in degrees [2-4]. SVV tilt is a sensitive sign of vestibular dysfunction. It can be present in either peripheral or central disorders of vestibular system and can be located at any level of the vestibular pathway from labyrinth to vestibular cortex [2, 3, 5, 6].

In spite of the importance of the SVV test, instruments currently used to perform it are quite obsolete. Most of them are stationary, expensive and time consuming. For the long time SVV test was performed just in static conditions. Recent studies demonstrate additional benefits of dynamic SVV tests.

A bucket test [1,7] was introduced as an instrument for assessment of SVV, however it lacks of accuracy and functionality also no dynamic tests are possible. Recently software based, flexible multifunction systems were proposed [4,8]. However, these systems are PC based, stationary and limited mobility.

In this study, a mobile virtual reality (VR) based system to perform SVV test was developed.

Proposed system. The proposed system VIRVEST includes three actors: 1) the patient who is being assessed; 2) the physician who assesses the patient; 3) the physician who supervises all the data gathered during assessment process. All these actors use specific equipment in order to achieve their goals. The equipment is integrated by using the proposed software system shown in Fig. 1.

The patient uses mobile virtual reality application (Mobile Application for Virtual Reality) in order to observe the 3D stimulus showed in a row of five

tests. The virtual reality environment is controlled by the patient using a Bluetooth connected controllers. In our implementation, we used Samsung Galaxy S7 smartphone for virtual reality scene presentation, Myo (Thalmic Labs Inc.) gesture control armband and gamepad as the devices for VR object control by the patient.

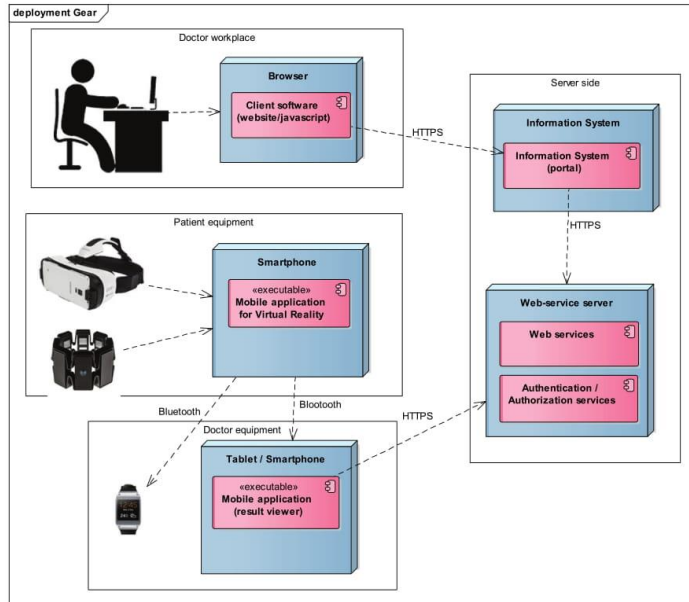


Fig. 1. The component diagram of the proposed software system VIRVEST

The physician uses another mobile device and software application (Mobile application in Fig. 1) during the assessment of patient. This application controls virtual reality tests as well as presents the current test results. The two mobile applications use Bluetooth connection in order to exchange the commands and data. The mobile application of the physician can save the data to local database or optionally send it to the web server. In order to send the data to web server, the internet connection must be available.

The web-services are exposed in order to receive data from physician's mobile application. Authentication and authorization is performed using *OAuth 2* protocol while the security of the transferred data is guaranteed by using https protocol. The received data is stored into information system.

The physician who supervises obtained data can access information system by using a web browser. Information system presents data in a form of a

website. Physician can use most of the devices, which can run browsers. The website uses responsive design in order to provide adapted view for different devices.

Brief software system description. As mentioned before, the *virtual reality application* is designed to provide virtual reality tests for gathering data about SVV. Four tests are implemented in our VIRVEST system. One of the test is static SVV test, two of the tests are dynamic SVV tests and the last one belong to dynamic SVV tests as well, although we call it "realistic" SVV test, as it puts the patient into a "real-world" environment. The screenshot of "realistic" test is shown in Fig. 2.



Fig. 2. The view of virtual reality application

During this test, the patient is asked to align the boat vertically.

Several characteristic screenshots of the mobile application, which is dedicated for physicians working with patients, are presented in Fig. 3.

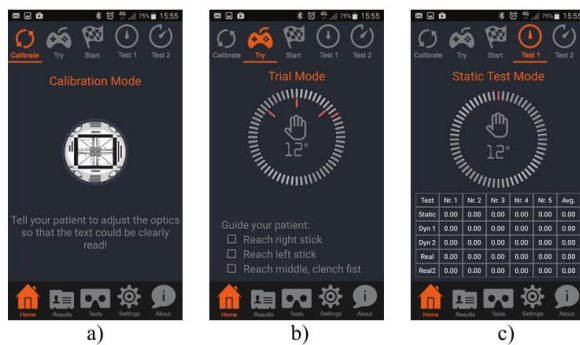


Fig. 3 The mobile application views

These screenshots depict how patient is guided by the physician during SVV tests. At the beginning (Fig. 3a), the patient needs to calibrate virtual

reality device so that the text shown in virtual reality application could be clearly seen. After the calibration, the software behavior is introduced to the patient (Fig. 3b). The patient needs to perform several tasks. This step is optional and it can be skipped if the patient is already familiar with the system. After this step, the session is started and the testing begins. The physician can see the current testing results in real time as well as the results of previously finished tests (Fig. 3c). After testing is done, the session is finished; the data are saved and (optionally) transferred to the web server. All the transferred sessions can be viewed and analyzed within a website. According to the allowed access the physician can see his own or all sessions.

System evaluation design. The group of 15 healthy young adult volunteers participated in the study. There were three objectives of the experiment.

The first objective – to compare three different methods for object control in VIRVEST system: Myo, Myo with assistance and by using Gamepad. In the first case, patient uses Myo gesture controlled armband to control SVV. Each session starts with fingers spread, then patient swirls his hand in order to assess SVV and completes test with gesture of fingers spread. In the Myo with assistance case, patient swirls his hand in order to assess SVV and says "Yes" when the task is completed. Each session is started and confirmed by an assistant. In a Gamepad case, patient uses two buttons: 1 – for the start and for confirmation of the test, 2 – for the manipulation of SVV.

The second objective - to evaluate the developed system with the help of System Usability Scale (SUS) questionnaire. The SUS represents a global, widely employed, subjective assessment of usability. This scale consists of 10 items rated with a Likert-style five-point response format ranging from 1 (strongly disagree) to 5 (strongly agree). [9]. A total of 68 points represent the average usability score across systems [10]. In the present study, the scores indicated the degree to which the VIRVEST design was appropriate and easy to use for from the participant's point of view. The linguistically and culturally adapted Lithuanian version of SUS was utilized in this study. The subjects were asked to evaluate the usability of each testing modality separately.

The third objective - to evaluate possible virtually induced dizziness with the help of subjective visual analog scale (VAS). Subjects were asked to evaluate their virtually induced dizziness on 10 cm long VAS from "0" – no dizziness at all till "10" – severe dizziness.

Results. The results for the three VR object control methods are presented in the Table 1. There were no statistically significant differences found among the methods for object control in virtual scenes.

System usability evaluation (SUS questionnaire) results are summarized in Table 2. Wilcoxon Signed Ranks Test was applied to compare SUS results for the three methods of system control: – Myo (SUS evaluation marked as SUS1), Myo with assistance of the physician (SUS evaluation marked as SUS2) and using gamepad (SUS evaluation marked as SUS3).

Table 1. SVV results for the three VR object control methods in VIRVEST system

| | | Myo | Myo with assistance | Gamepad | <i>p</i> values for comparisons of the methods |
|--|----------------------------------|-----------|---------------------|-----------|--|
| Static SVV | Mean | 2.62 | 1.3 | 1.33 | 0.16/0.07/0.92 |
| | 95% Confidence interval | 1.76-3.47 | 0.78-1.81 | 0.94-1.71 | |
| Dynamic Clockwise SVV | Mean | 3.72 | 3 | 2.66 | 0.43/0.08/0.43 |
| | 95% Confidence interval for mean | 2.77-4.66 | 2.24-3.76 | 1.50-3.83 | |
| Dynamic Counter Clockwise SVV | Mean | 4.37 | 1.7 | 1.51 | 0.07/0.04/0.15 |
| | 95% Confidence interval for mean | 1.98-6.76 | 0.86-2.72 | 0.54-2.48 | |
| Virtual Reality Stimulus (boat on the water) | Mean | 3.03 | 2.18 | 1.04 | 0.40/0.25/0.44 |
| | 95% Confidence interval for mean | 0.42-5.64 | 0.4-4.4 | 0.48-1.61 | |

Table 2. Results of the SUS evaluation (n=15)

| | Mean | Std. d. | Minimum | Maximum | Percentiles | | |
|------|--------|---------|---------|---------|-------------|---------------|-------|
| | | | | | 25th | 50th (Median) | 75th |
| SUS1 | 68.69 | 24.15 | 19.6 | 98.0 | 56.00 | 72.80 | 89.60 |
| SUS2 | 85.86 | 16.10 | 47.6 | 106.4 | 72.80 | 89.60 | 98.00 |
| SUS3 | 102.85 | 8.02 | 86.8 | 112.0 | 98.00 | 100.80 | 112.0 |

Wilcoxon Signed Ranks test showed that gamepad based control system (SUS3) is statistically significantly the best for the users – *p* values for comparison of SUS3-SUS1 was 0.01, SUS3-SUS2 was 0.02 and for SUS2-SUS1 was 0.14.

Virtually reality induced dizziness (VRID) was evaluated by means of the VAS. The evaluation was performed only once after all three tests had been completed. The obtained results showed that the mean of VRID was 2.2, the 95% Confidence interval for the mean was 1.21-3.19, median 2, standard deviation 1.78. Overall results show that the test using virtual reality stimuli did not cause dizziness in this experiment.

Discussion. SVV measurements are being increasingly used for routine clinical assessment of spatial cognition, to investigate otolithic vestibular function and identify altered verticality perception as a possible cause of postural disorders after various medical conditions. SVV assessment

procedures varied widely in paradigm, type of stimulus, patient posture, number of trials and outcome measures. However, some emerging guidelines recommend assessing SVV in absolute darkness, with an even number of trials, from 6 to 10, with the body maintained upright (at least the trunk). Under these conditions, normal SVV orientation (mean of SVV estimates) can be considered from -2.5° to 2.5° and is highly reliable for use in clinical practice and research. A difference $\geq 2^{\circ}$ between repeated measures for a given patient can be interpreted as a real change in SVV perception [11]. The most known studies about SVV are that of Strupp and co-authors where the normal values of the static SVV were presented [1, 11, 12,]. They were obtained by the "bucket" test. The most recent published research is focused on the evaluation of aging effect for the perception of visual verticality [11]. Our data for healthy subjects obtained with mobile VR system conforms to the published norms and are in the range of 0 and 3 degrees. There are only a few published papers about the normal values of the dynamic SVV, which show that the normal values could reach 11 degrees [13, 14].

The effects of sensory inputs of visual-vestibulosomatosensory conflict induced by virtual reality on subjective dizziness, posture stability and visual dependency on postural control in humans is a relevant topic in the recent scientific literature. Conflict in the visual-vestibulosomatosensory condition induced by virtual reality, might cause the experience of motion sickness, which results as subjective dizziness and postural instability. However, data shows that these complains decrease due to adaptation to the conflict condition. [15].

Conclusions. VIRVEST is the mobile virtual reality based system for implementation of subjective visual vertical test. It is accurate and applicable in the clinical environment. Gamepad based virtual object control method is preferred by the users, so this method should be used in further testing. No virtually induced dizziness was observed in healthy subjects during the tests.

Acknowledgment. This work was supported by joint KTU – LSMU (Kaunas University of Technology – Lithuanian University of Health Sciences) project MTEPI-L-16015.

References

1. Zwergal A, Rettinger N, Frenzel C, Dieterich M, Brandt T, Strupp M. A bucket of static vestibular function. *Neurology*. 2009;72:1689-92.
2. Kanashiro AMK, Pereira CB, Maia FM, Scaff M, Barbosa ER. Subjective visual vertical evaluation in normal Brazilian subjects. *Arq Neuropsiquiatr*. 2007;65(2B):4472–5.
3. Vibert D, Hausler R, Safran AB. Subjective visual vertical in peripheral unilateral vestibular diseases. *Journal of vestibular research : equilibrium & orientation*. 1999;9(2):145–52.
4. Pavan TZ, Funabashi M, Carneiro JAO, Santos-Pontelli TEG, Tedeschi W, Colafemina JF, et al. Software for subjective visual vertical assessment: an observational cross-sectional study. *Rev Bras Otorrinolaringol*. 2012 In press.

5. Kumagami H, Sainoo Y, Fujiyama D, Baba A, Oku R, Takasaki K, et al. Subjective Visual Vertical in acute attacks of Ménière's disease. *Otol Neurotol.* 2009;30(2):206–9.
6. Lang EE, Walsh RM. Vestibular function testing. *Ir J Med Sci.* 2010;179(2):173–8.
7. Ferreira MM, Cunha F, Ganança CF, Ganança MM, Caovilla HH. Subjective visual vertical with the bucket method in Brazilian healthy individuals. *Braz J Otorhinolaryngol.* 2016 Jul-Aug;82(4):442-6.
8. Stanaitis S., Marozas M., Šileikaitė M., Liutkevičienė R., Ulozas V., Marozas V., Ulozienė I. Virtual reality based system for investigation of peripheral vestibular function // IFMBE Proceedings : XIV Mediterranean conference on medical and biological engineering and computing, MEDICON 2016, March 31st - April 2nd 2016, Paphos, Cyprus. Cham: Springer, 2016, vol. 57, p. 110-113.
9. Brooke J. SUS—a quick and dirty usability scale. *Usability Eval Ind.* 1996;189:194.
10. Bangor A, Kortum PT, Miller JT. An empirical evaluation of the System Usability Scale. *Int J Hum Comput Interact.* 2008;24:574–594.
11. Strupp M, Dieterich M, Zwergal A, Brandt T. Diagnosis and treatment options in vertigo syndromes. *Nervenarzt.* 2015 Oct;86(10):1277-90.
12. Cnyrim CD, Rettinger N, Mansmann U, Brandt T, Strupp M. Central compensation of deviated subjective visual vertical in Wallenberg's syndrome. *J Neurol Neurosurg Psychiatry.* 2007 May;78(5):527-8.
13. Kheradmand A, Gonzalez G, Otero-Millan J, Lasker A. Visual perception of upright: Head tilt, visual errors and viewing eye. *J Vestib Res.* 2016;25(5-6):201-9.
14. Schuler JR, Bockisch CJ, Straumann D, Tarnutzer AA. Precision and accuracy of the subjective haptic vertical in the roll plane. *BMC Neurosci.* 2010 Jul 14;11:83.
15. Nishiike S, Okazaki S, Watanabe H, Akizuki H, Imai T, Uno A, Kitahara T, Horii A, Takeda N, Inohara H. The effect of visual-vestibulosomatosensory conflict induced by virtual reality on postural stability in humans. *J Med Invest.* 2013; 60(3-4):236-9.

Mobile Virtual Reality System for Investigation of Subjective Visual Vertical

M. Totilienė¹, A. Paulauskas², T. Blažauskas², V. Ulozas¹, V. Marozas³, I. Ulozienė¹

¹*Department of Otorhinolaryngology, Lithuanian University of Health Sciences, Lithuania*

²*Department of Software Systems, Kaunas University of Technology, Lithuania.*

³*Biomedical Engineering Institute, Kaunas University of Technology, Lithuania*

In this study, a mobile virtual reality (VR) based system to perform subjective visual vertical SVV tilt test was developed. The system is able to perform the following tests: static SVV test, two dynamic SVV tests and "realistic" SVV test. The group of 15 healthy young adult volunteers participated in the evaluation study. The system was evaluated in terms of the preferred control method of VR object, by using System Usability Scale questionnaire, and by visual analog scale to evaluate VR induced dizziness. The mobile virtual reality based system is accurate and applicable in the clinical environment. Gamepad based virtual object control method was preferred by the users, so this method should be used in further testing. No virtually induced dizziness was observed in healthy subjects during the tests.

7.3 Santrauka „Investigation of Interpolation Methods for Virtual Reality“

In this work, two parallel versions of the SMACOF algorithm have been developed and evaluated on multicore and GPU platforms. To help the user of SMACOF, we provide these parallel versions and a complementary Python code based on a heuristic approach to explore the optimal configuration of the parallel SMACOF algorithm on the available platforms in terms of energy efficiency (GFLOPs/watt). Three platforms, 64 and 12CPU-cores and a GPU device, have been considered for the experimental evaluation.

Investigation of Interpolation Methods for Virtual Rowing Simulator

A. Paulauskas, T. Valatkevičius, C. Canbulut

Faculty of Informatics
Kaunas University of Technology
cenker.canbulut@ktu.edu

The aim of this introduction is to provide an example of virtual reality solution for rowing training machine. In this introduction, we developed a “Virtual Reality” supporting application that takes data of a rowing machine where the user performs rowing exercise and translates it to a visual representation of a rowing experience. This lets users or performers to practice their daily training using the rowing simulator rather than performing it outside in bad weather conditions or busy life time periods. When it comes to exchanging the data of a rowing machine into virtual reality environment, there is a major issue comes with it. This issue occurs because of the different behaviour of virtual reality environment and real-life environment. It is necessary to translate the data which will behave and take action according to the performers behaviour in real life within the virtual reality. That is why we look at the various issues arising when integrating virtual reality with mechanical devices. Refresh rate between machine behaviour and the actual data behaviour depend on the data exchange between those two devices (rowing machine and Virtual Reality device). It is a necessity to provide high refresh rates to let users experience real rowing experience to get precise data on board and present the result reliable to the fact of the user effort. This way, we get close result if the user would provide the same exercise in real life.

We purpose and investigate a solution to this issue by using several algorithms to predict the behaviour of the rowing machine at the time we are lacking some data. Using some of these algorithms provide life-like rowing immersion while being quite accurate at the same time.

7.4 Santrauka „Investigation of Subjective Visual Vertical with Mobile Virtual Reality System“



[Home](#)
[General Information](#)
[Programme](#)
[Help](#)
[Survey](#)

All

Home > Posters > List by Topic > Posters List > Search > Abstract

ABSTRACT

[Back](#)

| | |
|------------------------|--|
| Title | Investigation of Subjective Visual Vertical with Mobile Virtual Reality System |
| Speaker: | MILDA TOTILIENE |
| Author(s): | MILDA TOTILIENE ¹ ; INGRIDA ULOZIENE; VIRGILIJUS ULOZAS ² ; TOMAS BLAZAUSKAS; ANDRIUS PAULAUSKAS; VAIDOTAS MAROZAS |
| Affiliation(s): | ¹ Dept. Otorhinolaryngology, Lithuanian University of Health Sciences, Kaunas, Lithuania; ² Department of Otorhinolaryngology, Lithuanian University of Health Sciences, Kaunas, Lithuania |
| Session: | Oral Abstract Session 51 |
| Date: | Tuesday - October 10, 2017 16:00 - 16:30 |
| Location: | HALL 6 - ASPENDOS |
| Topic: | Otology / Neurotology |

OBJECTIVE: The aim of the study was to develop a mobile virtual reality based system to perform subjective visual vertical (SVV) test.

Methods: In this study, a mobile virtual reality based system to perform SVV test was developed. During examination the patient uses mobile virtual reality application in order to observe stimulus. The virtual reality environment is controlled by the patient using a Bluetooth connected controllers - Myo gesture control armband or Gamepad. The physician uses another mobile device and software application. The two mobile applications use Bluetooth connection in order to exchange the commands and data. The data can be saved to local database or optionally send to the web server. Four tests were implemented in our system: static SVV test, two dynamic SVV tests and "realistic" („boat in the sea") SVV test. The group of 41 healthy young adult volunteers participated in the study. There were three objectives of the experiment: to compare two different methods for object control – using Myo gesture controlled armband and the assistant help or Gamepad, to evaluate the developed system with the help of System Usability Scale (SUS) questionnaire, to evaluate possible virtually induced dizziness with the help of visual analog scale.

Results: There were no statistically significant differences found among the methods for object control in virtual scenes, SVV values did not exceed 2.5 degrees. Gamepad based control system, evaluated by SUS, is statistically significantly the best for the users. The median of virtual reality induced dizziness was 0,7 with both methods.

Conclusions: The mobile virtual reality based system for implementation of subjective visual vertical test is accurate and applicable in the clinical environment. Gamepad based virtual object control method is preferred by the users. No virtually induced dizziness was observed in healthy subjects during the tests.

7.5 Santrauka „Development of Mobile Virtual Reality System for Subjective Visual Vertical Test“



DEVELOPMENT OF MOBILE VIRTUAL REALITY SYSTEM FOR SUBJECTIVE VISUAL VERTICAL TEST

Ingrida Uloziene (1), Virgilijus Uloza (2), Milda Totiliene (3), Vaidotas Marozas (4), Tomas Blazauskas (5), Andrius Paulauskas (6)

(1) Dept. Otorhinolaryngology, Lithuanian University of Health Sciences, Kaunas, Lithuania, (2) Dept. Otorhinolaryngology, Lithuanian University of Health Sciences, Kaunas, Lithuania, (3) Dept. Otorhinolaryngology, Lithuanian University of Health Sciences, Kaunas, Lithuania, (4) Biomedical Engineering Inst., Kaunas University of Technology, Lithuania, (5) Department of Software Systems, Kaunas University of Technology, Lithuania, (6) Department of Software Systems, Kaunas University of Technology, Lithuania

OBJECTIVE:

The aim of the study was to develop a mobile virtual reality based system to perform subjective visual vertical (SVV) test.

METHODS:

In this study, a mobile virtual reality based system to perform SVV test was developed. During examination the patient uses mobile virtual reality application in order to observe stimulus. The virtual reality environment is controlled by the patient using a Bluetooth connected controllers - Myo gesture control armband or Gamepad. The physician uses another mobile device and software application. The two mobile applications use Bluetooth connection in order to exchange the commands and data. The data can be saved to local database or optionally send to the web server. Four tests were implemented in our system: static SVV test, two dynamic SVV tests and "realistic" („boat in the sea") SVV test. The group of 41 healthy young adult volunteers participated in the study. There were three objectives of the experiment: to compare two different methods for object control – using Myo gesture controlled armband and the assistant help or Gamepad, to evaluate the developed system with the help of System Usability Scale (SUS) questionnaire, to evaluate possible virtually induced dizziness with the help of visual analog scale.

RESULTS:

There were no statistically significant differences found among the methods for object control in virtual scenes, SVV values did not exceed 2.5 degrees. Gamepad based control system, evaluated by SUS, is statistically significantly the best for the users. The median of virtual reality induced dizziness was 0,7 with both methods.

CONCLUSIONS:

The mobile virtual reality based system for implementation of subjective visual vertical test is accurate and applicable in the clinical environment. Gamepad based virtual object control method is preferred by the users. No virtually induced dizziness was observed in healthy subjects during the tests.