

České vysoké učení technické v Praze
Fakulta elektrotechnická

katedra počítačové grafiky a interakce

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Student: **Tereza Kašparová**

Studijní program: Softwarové technologie a management
Obor: Web a multimedia

Název tématu: **Interakce s 3D objekty ve virtuální realitě**

Pokyny pro vypracování:

Seznamte se s metodami vytváření interaktivního obsahu pro virtuální realitu na mobilním telefonu. Dále se seznamte s metodami pro ovládání 3D scény pomocí zařízení leap motion. Navrhněte a implementujte aplikaci pro provádění testů interakce s objekty ve virtuální scéně. V aplikaci bude možné interagovat s objekty pomocí klasického herního ovladače a pomocí zařízení leap motion. Následně interakci s objekty pomocí těchto dvou zařízení porovnejte pomocí testů s uživateli. Výsledky testů porovnejte s výsledky dostupnými v literatuře.

Seznam odborné literatury:


N. T. Dang. A survey and classification of 3D pointing techniques. 2007 IEEE International Conference on Research, Innovation and Vision for the Future, pp. 71-80, IEEE, 2007.

T. Grossman, and R. Balakrishnan. Pointing at trivariate targets in 3D environments. In Proceedings of the SIGCHI conference on Human factors in computing systems, pp. 447-454, ACM, 2004.


T. Ha, and W. Woo. An empirical evaluation of virtual hand techniques for 3D object manipulation in a tangible augmented reality environment. 2010 IEEE Symposium on 3D User Interfaces (3DUI), pp. 91-98, IEEE, 2010.

Vedoucí: Ing. Ladislav Čmolík, Ph.D.

Platnost zadání: do konce zimního semestru 2017/2018


prof. Ing. Jiří Zára, CSc.
vedoucí katedry



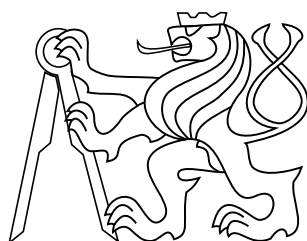

prof. Ing. Pavel Ripka, CSc.
děkan

V Praze dne 29. 2. 2016

bakalářská práce

Interakce s 3D objekty ve virtuální realitě

Tereza Kašparová



Květen 2016

Vedoucí práce: Ing. Ladislav Čmolík, Ph.D.

České vysoké učení technické v Praze
Fakulta elektrotechnická, Katedra počítačové grafiky a interakce

Poděkování

Ráda bych poděkovala vedoucímu své bakalářské práce Ing. Ladislavu Čmolíkovi Ph.D. za rady, připomínky a náměty, jimiž významně pomohl při zpracování této práce.

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem předloženou práci vypracovala samostatně, a že jsem uvedla veškeré použité informační zdroje v souladu s Metodickým pokynem o dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací.

V Praze dne 30.5.2016

.....

Abstrakt

Teoretická část této práce se zabývá analýzou/volbou zařízení pro zobrazení virtuální reality, vybraných zařízení pro interakci s 3D objekty a analýzou/volbou 3D kurzorů. Dále se věnuje 3D verzi Fittsova zákona a analýzou testování.

Praktická část se zabývá návrhem prototypů pro vybraná zařízení, které budou sloužit k otestování a porovnání ukazovacích technik. Zabývá se od kompletního návrhu scény po testovací scénáře a způsobem interakce s objekty zvolenými zařízeními.

Na návrh uživatelského rozhraní navazuje popis implementace prototypů. Závěr práce obsahuje přípravu uživatelského testování, průběh testování, postřehy participantů, výsledky testování a nakonec analýzu výsledků s dalšími možnostmi rozvoje prototypů.

Abstract

The theoretical part deals with analysis/selection of devices for displaying virtual reality, selected devices for interacting with 3D objects and analysis/selection of 3D cursors. It also discusses the 3D version of Fitts' Law and analysis of testing.

The practical part deals with designing of prototypes for selected devices, which will be used for usability testing and comparing pointing techniques. It deals with the complete design of scene, testing scenarios and ways to interact with the objects via selected devices.

Design of user interface is followed by a description of the implementation of prototypes. Conclusion of work includes preparation of usability testing, process of the testing, the participants' insights, test results, and finally analysis of the results of other possibilities for future development of prototypes.

Obsah

1. Úvod	1
1.1. Struktura práce	2
2. Analýza	3
2.1. Interakce s objekty v reálném světě	3
2.2. Využití virtuální reality	3
2.3. Analýza vybraných zařízení pro zobrazení virtuální reality	4
2.4. Analýza vybraných zařízení pro interakci s 3D objekty ve virtuální realitě	5
2.4.1. Ovladače	5
2.4.2. Zařízení pro snímání pohybu	5
2.4.3. Haptická zařízení	5
2.5. Analýza 3D kurzorů	6
2.6. Volba zařízení pro zobrazení scény	6
2.7. Volba zařízení pro interakci s objekty	7
2.8. Volba 3D kurzorů pro vybraná zařízení	8
2.9. Fittsův zákon pro virtuální realitu	8
2.10. Analýza testování	10
3. Návrh řešení	11
3.1. Návrh prototypů	11
3.1.1. Návrh scény pro prototyp	11
3.1.2. Kalibrace polohy hlavy uživatele a kurzoru/ruky	12
3.1.3. Scénář testovacího prototypu pro herní ovladač	12
3.1.4. Scénář testovacího prototypu pro Leap Motion	12
3.1.5. Detekce výběru objektu	13
3.1.6. Generování nové pozice objektu po výběru	13
3.1.7. Návrh interakce s objekty pro Leap Motion	14
3.1.8. Návrh interakce s objekty pro herní ovladač	14
3.2. Návrh testování	14
3.2.1. Úprava headsetu	14
3.2.2. Testovací scénář	14
3.2.3. Dotazníky	15
3.2.4. Logování dat	15
3.2.5. Hypotézy	15
4. Implementace prototypů	19
4.1. Knihovna pro Leap Motion Android	19
4.2. Společné třídy prototypů pro Leap Motion a herní ovladač	19
4.2.1. Sphere.class	19
4.2.2. WoldLayoutData.class	19
4.2.3. CardboardOverlayView.class	19
4.3. Rozdílné třídy prototypu pro Leap Motion	20
4.3.1. LeapEventProducer.class	20
4.3.2. HandBone.class	20
4.3.3. MainActivity.class	20
4.4. Rozdílné třídy prototypu pro herní ovladač	22
4.4.1. Controller.class	22

4.4.2. MainActivity.class	22
5. Uživatelské testování	25
5.1. Testovací prostředí	25
5.2. Průběh testování	26
5.3. Participanti	27
5.3.1. Participant 1	27
5.3.2. Participant 2	28
5.3.3. Participant 3	28
5.3.4. Participant 4	28
5.3.5. Participant 5	28
5.3.6. Participant 6	29
5.3.7. Participant 7	29
5.4. Výsledky testování	29
5.5. Výsledky hypotéz	32
5.6. Navrhované změny po testování s uživateli	33
6. Závěr	35
Seznam použité literatury	37
Přílohy	
A. Screening dotazník	39
B. Dotazník před testováním	41
C. Dotazník pro Leap Motion	43
D. Dotazník pro herní ovladač	45
E. Dotazník po testování	47
F. Grafy výsledků testování jednotlivých participantů	51
G. Obsah přiloženého CD	55

Seznam obrázků

1.	Google Cardboard	7
2.	Herní ovladač	7
3.	Leap Motion	7
4.	Kvadratická funkce proložená vybranými hodnotami pro f_W	9
5.	Exponenciální funkce proložená vybranými hodnotami pro f_W	9
6.	Kvadratická funkce proložená vybranými hodnotami pro f_D	10
7.	Exponenciální funkce proložená vybranými hodnotami pro f_D	10
8.	Návrh scény	11
9.	Finální podoba prototypu pro Leap Motion	20
10.	Algoritmus po úspěšné interakci s objektem	21
11.	Finální podoba prototypu pro herní ovladač	22
12.	Testovací prostředí	25
13.	Protivyvažovací metoda při testování	26
14.	Participant při testování s Leap Motion	27
15.	Participant při testování s herním ovladačem	27
16.	Úhel θ mezi vektory \vec{u} a \vec{v}	30
17.	Graf průměrných hodnot časů ve FOV napříč participanty	30
18.	Porovnání průměrných hodnot časů pro Leap Motion	31
19.	Porovnání průměrných hodnot rozdílů časů pro Leap Motion	31
20.	Výsledky testování pro participanta 6	31
21.	Výsledky testování pro participanta 3	31
22.	Porovnání průměrných časů pro ukazovací techniky herního ovladače	32
23.	Screening dotazník - první strana	39
24.	Screening dotazník - druhá strana	40
25.	Dotazník před testováním - první strana	41
26.	Dotazník před testováním - druhá strana	42
27.	Leap Motion dotazník	43
28.	Dotazník pro herní ovladač	45
29.	Dotazník po testování - první strana	47
30.	Dotazník po testování - druhá strana	48
31.	Dotazník po testování - třetí strana	49
32.	Graf hodnot časů pro Participanta 1	51
33.	Graf hodnot časů pro Participanta 2	52
34.	Graf hodnot časů pro Participanta 3	52
35.	Graf hodnot časů pro Participanta 4	53
36.	Graf hodnot časů pro Participanta 5	53

37.	Graf hodnot časů pro Participanta 6	54
38.	Graf hodnot časů pro Participanta 7	54

Seznam tabulek

1.	Participant, kteří se zúčastnili uživatelského testování	27
2.	Tabulka p-hodnot a průměr odpovědi pro jednotlivé výroky	33
3.	Možnosti, ze kterých participant vybírali odpověď pro výroky V1-V9 . .	33

Zkratky

VR	Virtuální realita
LCD	Liquid Crystal Display
IR	Infrared
LED	Light Emitting Diode
FOV	Field of View
GUI	Graphical User Interface
USB	Universal Serial Bus
GPU	Graphic Processing Unit
CAVE	Cave Automatic Virtual Environment

1. Úvod

Virtuální realita, nebo též virtuální prostředí, je technologie, která umožňuje uživateli interagovat s počítačově-simulovaným prostředím. Jedná se o prostředí imaginárního nebo reálného světa se snahou o maximální vtažení (immerse) uživatele. Virtuální realita uměle napodobuje smyslové zážitky, jako jsou například zrak, sluch, dotyk a čich za pomoci speciálních stereoskopických displejů, haptických systémů pro simulaci silového odporu předmětů v prostoru, popřípadě se může jednat o speciální audiovizuální helmy, nebo o oblečení snímající pohyb.

Virtuální realita má velký potenciál uplatnění a využití v mnoha oborech. Ať se jedná o vzdělávací účely, nebo jen o pouhou zábavu. Virtuální realita naráží uplatnění ve sportu k vytrénování správného pohybu a techniky, v armádě pro tvorbu simulátorů létání, ale též nachází využití i v lékařství, kde se využívá k zobrazení modelu orgánů či celého těla. Takovýchto příkladů, kde všude se může uplatnit virtuální realita by se dalo uvést mnohem více, ale pro představu se spokojíme s příklady uvedenými výše.

První pokusy [8] zaujmout širší veřejnost s audiovizuální helmou proběhly v devadesátých letech. Avšak kvůli vysoce cenově náročné technologii a nedostatečné výpočetní síle upadla VR do postranní a byla využita jen v medicíně, v leteckých simulátorech a pro armádní výcvik. Technologie se však neustále vyvíjí a dnes se znovu virtuální realita dostává do popředí zájmu. Za posledních šest let byla přivedena na trh řada senzorů a headsetů interagujících s různými oblastmi virtuální reality, od nových headsetů po senzory snímající pohyb rukou bez nutnosti speciálních rukavic. Velké rozšíření zájmu o virtuální realitu umožnil i vývoj chytrých telefonů, kde zakoupením papírových brýlí za necelých 14 dolarů může kdokoli okusit VR na vlastní kůži rychle a z pohodlí domova.

Vzhledem k zmíněným možnostem využití a potenciálu pro budoucí vývoj aplikací bylo motivací ke zkoumání interakcí s 3D objekty ve virtuální realitě s posledními a pro veřejnost cenově dostupnými technologiemi.

Záměrem této bakalářské práce je analyzovat, navrhnout, implementovat a otestovat prototypy, které umožní uživateli v každém z nich interagovat s 3D objekty ve virtuální realitě způsobem vhodným k vybranému senzoru/ovladači. Dále jsou tyto senzory/ovladače na základě testování porovnány a vyhodnoceny.

1.1. Struktura práce

Bakalářská práce je strukturována do následujících kapitol. Druhá kapitola se zabývá analýzou zařízení pro interakci a zobrazení virtuálních objektů. Třetí kapitola se zabývá návrhem řešení prototypů pro zvolená zařízení. Čtvrtá kapitola popisuje implementaci těchto prototypů, strukturu tříd a jejich funkčnost. Pátá kapitola popisuje postup při uživatelském testování prototypů, reakce participantů, výsledky testování a navrhované změny pro budoucí vývoj. Šestá kapitola obsahuje závěr práce.

2. Analýza

Následující kapitola se zabývá analýzou jakým způsobem interagujeme s objekty ve skutečném světě. Po ní následuje podkapitola, která rozebírá a porovnává zařízení, senzory a kurzory vhodné pro interakci s 3D objekty. Poslední část se zabývá volbou zařízení pro zobrazení scény, zařízení pro interakci s 3D objekty a ukazovacími technikami, zkoumá Fittsov zákon a analyzuje testování.

2.1. Interakce s objekty v reálném světě

Člověk má naučené a odpozorované již od malička jak svět vypadá a jak funguje. Od narození bereme do rukou rozdílné objekty a stiskem ruky cítíme různý odpor a povrch předmětu dle materiálu z jakého byl vyroben. Zde používáme a zdokonalujeme smysl - hmat. Předměty jsou však v prostoru různě daleko od nás a stejně tak jak na tyto předměty tak na pohyb naší ruky se v prostoru uplatňuje perspektiva. Tím se lidskému oku jeví vzdálenější předměty menší a bližší předměty větší. Zde se jedná o velmi důležitý smysl pro orientaci v prostoru – zrak.

Ve virtuálním světě je velmi důležité zachovat, nebo co nejlépe napodobit tyto aspekty naučené z reálného světa. Jen tak můžeme docílit maximálního vtažení (immerse) uživatele do námi vygenerované reality s maximálním zážitkem.

2.2. Využití virtuální reality

Jak bylo nastíněno v úvodu, virtuální realita má velmi široké uplatnění. Pro představu zde máme seznam [15] odvětví, kde všude virtuální realita nachází své uplatnění.

- Vojenství
- Vzdělání
- Medicína
- Sport
- Média
- Vědecké vizualizace
- Telekomunikace
- Konstrukce
- Film
- Byznys
- Inženýrství

Ač tento seznam není zdaleka krátký, je zde mnohem více užití od akademického výzkumu po design, umění a zábavu. Ve všech těchto odvětvích jsou díky virtuální realitě produkována množství dat, která dále slouží k vývoji nových modelů, učících metod, komunikaci a interakci. Možností je vskutku nepřehledné množství. Jediným háčkem, který může zabraňovat vývoji je potřebný čas, cena a technologické limitace. Takovým

příkladem může být CAVE, který je drahý a časově náročný na vývoj. Taktéž aplikace vyvíjené pro virtuální realitu by neměly být náročné na používání a neměly by způsobovat uživatelům nevolnost.

2.3. Analýza vybraných zařízení pro zobrazení virtuální reality

Základní sestava pro zobrazení virtuální reality se skládá ze zobrazovacího zařízení, které umožní uživateli vidět prostorově, takzvaného headsetu, který si uživatel nasadí na hlavu. Dále součástí jsou sluchátka pro navození prostorového zvuku. Pro manipulaci s prostředím jsou používány různé typy ovladačů. Může se jednat o klasické herní ovladače nebo o přímo specificky vyrobené pro dané zařízení.

Následující přehled zahrnuje v současné nebo blízké době na trhu dostupná zařízení pro simulaci virtuální reality.

- **Oculus Rift**

Oculus Rift [19] je v zahraničí možné již pořídit, avšak v České republice bude k dispozici až v září 2016. Headset obsahuje dvojici OLED displejů, pro každé oko je tak k dispozici displej s rozlišením 1 080 1 200 pixelů, s celkovým tedy rozlišením 2 160 1 200 pixelů a frekvencí 90 Hz. Oculus rift má navíc i v konstrukci zabudovaná sluchátka, která jsou nastavitelná. Zaměřování polohy brýlí, pozice a směru pohledu probíhá sledováním headsetu pomocí systému využívajícího infračervených LED. Pro zaručený plynulý chod aplikací a plnohodnotný zážitek z Oculus Rift je potřeba vlastnit počítačovou sestavu, která splňuje minimální požadavky.

- **Samsung gear VR**

Tento headset [18] pro virtuální realitu je určen pro mobilní telefony Samsung Galaxy S6 a S6 edge. Použité čočky nabízejí zorné pole s úhlem 96°. Korektní zpracování náklonů hlavy je obstaráno senzory v mobilním telefonu; gyroskopem, akcelerometrem, čidlem pro přiblížení a senzorem magnetického pole.

- **HTC Vive**

HTC Vive [17] patří zatím z již zmíněných zařízení k nejdražším. V zahraničí je už nějakou dobu uveden v prodeji, v České republice bude k dispozici v červnu 2016. Stejně jako u Oculus Rift mají zobrazovací displeje rozlišení až 1 080 1 200 pixelů na každé oko a s frekvencí 90 Hz. Kromě headsetu jsou dodávány ještě dvě základny, které je třeba umístit do rohů místnosti. Tyto základny vysílají laserové paprsky směrem k sensorům headsetu, čímž je určena přesná poloha hráče v prostoru. Laserové paprsky detekují různé překážky a zdi v místnosti, což je následně využito ve hrách. Aplikace a hry jsou stejně jako u Oculus Rift spuštěny na počítači, který musí splňovat minimální požadavky.

- **Google Cardboard**

Google Cardboard [16] je nejlevnější variantou z výše zmíněných zařízení. V tomto případě headset je vyroben z kusu kartonu, který si uživatel sám sestaví. K dispozici jsou speciálně tvarované optické čočky a nízkofrekvenční magnet, který slouží jako potvrzovací tlačítko. Google Cardboard nemá uchycení k hlavě, a tak při používání je místo toho držen v ruce. Pro zobrazení aplikací může posloužit jakýkoli chytrý telefon.

2.4. Analýza vybraných zařízení pro interakci s 3D objekty ve virtuální realitě

Následující přehled ukazuje v současné nebo v blízké době na trhu dostupná zařízení vhodná k interakci s objekty ve virtuální realitě. Nejedná se o všechna zařízení, ale jen o výběr, který nabízí i potenciální společnou kombinaci zařízení pro ještě věrohodnější interakci. Zařízení jsou dělena do kategorií dle získání vstupních informací od uživatele.

2.4.1. Ovladače

- **Herní a specializované ovladače**

Herní ovladač je jedním z nejběžnějších způsobů, jak interagovat s virtuální realitou. Existují další možné verze specializovaných ovladačů určených jen pro jednu konkrétní činnost. Příkladem může být volant pro řízení automobilu nebo joystick určen pro leteckou simulaci.

2.4.2. Zařízení pro snímání pohybu

- **Leap Motion**

Ovladač Leap Motion je malé snímací zařízení. Připojuje se přes USB periférii. Jako vstupní data snímá pohyb ruky a prstů pomocí dvou monochromatických IR kamer a tří infračervených LED. Ovladač nevyžaduje žádný kontakt ani dotyk. Ruka se jen musí nacházet v hemisférické oblasti nad ovladačem v maximální vzdálenosti zhruba kolem jednoho metru. Leap Motion tak poskytuje levnou cestu, jak přidat sledování rukou přímo do virtuálního světa v reálném čase. Tento ovladač byl navrhnut pro umístění na plochu stolu, avšak je jen otázkou času, kdy bude spojen spolu se současnými headsety pro virtuální realitu. Ve světě již existují ukázkové aplikace spolupráce Leap Motion spolu s headsetem Oculus Rift.

- **PrioVR**

PrioVR [9][11] je technologie, která snímá pohyb celého těla. Jedná se o sérii sensorů připásaných k tělu, které umožňují, aby pohyb těla byl přesně zdigitalizován, což znamená, že vaše tělo může být namapováno na tělo virtuální postavy a tím ji máte pod kontrolou. Dohromady má „oblek“ dvanáct sensorů pro plné snímání postavy, které dovoluje velké množství pohybů pro herní účely. Existuje ještě verze PrioVR Pro, která má sedmnáct sensorů a může být použita pro profesionální zachycení pohybu, jelikož přidává přesné pozice chodidel, pohyb ramenou a boků.

2.4.3. Haptická zařízení

Existuje mnoho způsobů, jak můžeme vidět virtuální objekty a scény. LCD obrazovky, headsety, displeje pro rozšířenou realitou atd. Zařízení pro cítění virtuálního objektu ale nejsou v současné době tak pokročilá ani rozšířená mezi veřejností. Přístupů jak simulovat dotyk je mnoho. Jedná se např. o rukavice, texturově simulovaný povrch, nebo exoskeletony. Níže jsou zmíněné dva zajímavé projekty pro haptickou simulaci.

- **Hands Omni haptická rukavice**

Hands Omni je haptická rukavice cílena hlavně pro hráče. Dovoluje hráčům cítit tvary virtuálních objektů. Haptickou odezvu provádí skrze měchýřky, které jsou umístěny v konečcích prstů rukavice a které se buď rozšiřují nebo stahují čímž vyvolávají pocit dotyku. Jedná se zatím jen o prototyp a existuje zatím jen pro pravou ruku. Nepotřebuje být připojena kabelem, jelikož funguje bezdrátově.

- **Haptické zařízení od Geomagic – Geomagic Touch**

Zde se jedná o malou robotickou paži [10], která zakončením připomíná psací pero. Zařízení je umístěno na stole a uživatel pomocí paže může simulovat práci s rozdílnými nástroji jako například chirurgickými nástroji nebo nástroji pro modelování. Motůrky v zařízení tlačí proti směru působení pohybu ruky uživatele čímž simulují odpor přesné geometrie jednotlivých virtuálních objektů. Tento přístroj nachází hlavně profesionální uplatnění ve výzkumu a medicíně a i vzhledem k jeho ceně není tudíž pro domácí užívání vhodný.

2.5. Analýza 3D kurzorů

Různé typy 3D kurzorů jsou představovány světu již od roku 1987. Ve studii pana N.T. Dang [1] jsou tyto 3D kurzory a ukazovací techniky sesbírány a chronologicky seřazeny. My si zde z této studie ukážeme jen ty kurzory, které se zabývají lokálním výběrem objektů.

- **3D krychlový kurzor**

3D krychlový kurzor je reprezentován tvarem krychle. Koncept tohoto kurzoru je velmi podobný 2D kurzoru, kde se jedná o ukazovací objekt a je s ním pohybováno v prostoru na základě vstupního zařízení.

- **Virtuální ruka**

Virtuální ruka byla poprvé představena v roce 1995. Zde se jedná o grafickou interpretaci ruky. Aby byl objekt vybrán, musí náležet průniku s rukou a poté potvrzen buď tlačítkem, hlasovým příkazem, nebo gestem.

- **Hedvábný kurzor**

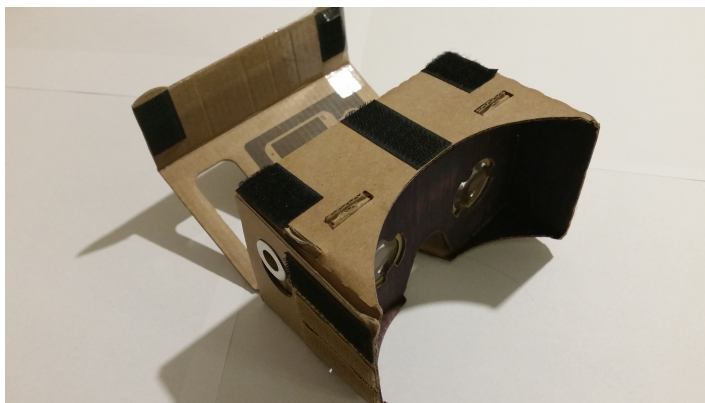
Tento kurzor byl poprvé představen v roce 1994. Hedvábný kurzor vybírá objekty, pokud spadají do jeho kubického objemu. Tento průhledný kubický objem navíc indikuje pozici cílového objektu, který může být před, uvnitř, nebo za tímto objemem.

- **Průhledná koule**

Tato technika kurzoru je velmi podobná virtuální ruce. Zde ale místo tvaru ruky máme průhlednou kouli. Pokud objekt náleží průniku s kurzorem, může uživatel tento objekt vidět uvnitř koule.

2.6. Volba zařízení pro zobrazení scény

Abychom mohli s objekty interagovat, budeme potřebovat prostředí, ve kterém budeme dané objekty zobrazovat. Smartphony jsou v dnešní době velmi rozšířené a nabízejí i velmi výkonný hardware. Pro simulaci virtuální reality tudíž zvolíme nejlépe cenově dostupnou metodu ze zmíněných zařízení z kapitoly 2.3 a to Google Cardboard, který můžeme vidět na obrázku 1.



Obrázek 1. Google Cardboard

2.7. Volba zařízení pro interakci s objekty

Volba zařízení, pro které budou vytvořeny prototypy pro interakci s virtuálními objekty proběhne dle následujících faktorů:

- Rozšířenost
- Cenová dostupnost
- Podpora pro vývojáře

Z výše uvedených faktorů a zmíněných zařízení uvedených v kapitole 2.4 zvolíme pro testovací prototyp klasický herní ovladač, který je velmi populární v herním průmyslu a tedy dostupný všude a za přijatelnou cenu. Jedná se též o obecnější způsob ovládání a vidět ho můžeme na obrázku 2. Jako další zařízení pro testování vybereme senzor Leap Motion, který nabízí nové možnosti ve stylu ovládání. Má silnou vývojářskou komunitu, kvalitní dokumentaci, širokou jazykovou podporu a navíc i vzhledem k tomu, že se stále jedná o poměrnou novinku, je k dostání za přijatelnou cenu. Zobrazen je na obrázku 3. Tímto máme zvolená dvě zařízení, která nabízí naprosto odlišný způsob přístupu k interakci s 3D objekty.



Obrázek 2. Herní ovladač



Obrázek 3. Leap Motion

2.8. Volba 3D kurzorů pro vybraná zařízení

Pro senzor Leap Motion je výběr kurzoru celkem jednoduchý. Samotný senzor je děláný pro snímání pohybu rukou v prostoru a tudíž nejvhodnějším kurzorem pro Leap Motion bude takzvaná virtuální ruka z části 2.5.

U herního ovladače nám volbu kurzoru ovlivňuje jeho možná manipulace v prostoru. K dispozici máme dva joysticky, které mohou reprezentovat pohyb po daných osách v prostoru. Abychom mohli kurzory mezi sebou i následně porovnat a zároveň, aby byl odlišný od virtuální ruky, vybereme pro herní ovladač takzvaný 3D krychlový kurzor. Zde, stejně jako s virtuální rukou, se budeme muset přesunem kurzoru dostat k objektu, abychom ho mohli vybrat.

2.9. Fittsův zákon pro virtuální realitu

Fittsův zákon [4] byl poprvé představen v roce 1954 Paulem Fittsem k modelování lidského pohybu. Jedná se o predikci času požadovaného k přesunu ruky nebo prstu (popřípadě pohybu kurzoru v GUI) od počáteční pozice k cílovému objektu. Do výpočetní funkce se bere v potaz vzdálenost cílového objektu a jeho velikost. Pokud pohyb ruky nebo prstu narazí na cílový objekt je považován úkol za splněný. Původní Fittsův zákon pracuje jen v jednodimenzionálním světě. Pohyb je prováděn jen podél jedné osy.

Podle Fittsova zákona pro průměrný čas MT k vybrání cílového objektu o šířce W (měřeno podél osy pohybu) a vzdálenosti A od zdroje ukazování po střed cílového objektu odpovídá vzorci (1)

$$MT = a + b \log\left(\frac{A}{W} + 1\right) \quad (1)$$

, kde a a b jsou empirické konstanty.

Pro práci ve dvoudimenzionálním prostoru předchozí vzorec nestačí, jelikož cílový objekt má jak šířku tak výšku. Proto byla navržena pány Accot a Zhai [5] 2D verze Fittsova zákona (2), která vypadá následovně

$$MT = a + b \log\left(\sqrt{\left(\frac{A}{W}\right)^2 + \eta\left(\frac{A}{H}\right)^2} + 1\right) \quad (2)$$

, kde a je z rozsahu $[-50, 200]$, b je z rozsahu $[100, 170]$, η z $[1/7, 1/3]$, A je vzdálenost potřebná k pohybu k cílovému objektu, W je šířka cílového objektu a H je jeho výška. Tato upravená verze Fittsova zákona je široce používána k různým studiím ukazovacích technik ve dvoudimenzionálním prostoru.

Pro práci ve virtuální realitě nám ale též předchází vzorec již nepostačuje, vzhledem k tomu, že nyní má cílový objekt i třetí rozměr.

Pan Grossman a Balakrishnan [2] představili ve své studii dále upravenou a zvalidovanou verzi, která se třetím rozměrem objektu počítá. Také v této studii zjistili, že nezáleží nejen na vzdálenosti pohybu a rozměru cílového objektu, ale též záleží na úhlu pohybu kurzoru k cílovému objektu. Studie byla prováděna pro prst jako ukazovací techniku. Finální verze 3D Fittsova zákona (3) vypadá následovně

$$MT \approx 56 + 508 \log\left(\sqrt{f_W(\theta)\left(\frac{A}{W}\right)^2 + \frac{1}{9.2}\left(\frac{A}{H}\right)^2 + f_D(\theta)\left(\frac{A}{D}\right)^2} + 1\right) \quad (3)$$

, kde A je vzdálenost pohybu k cílovému objektu, W je šířka cílového objektu, H je jeho výška a D hloubka. Hodnoty pro $f_w(\theta)$ a $f_D(\theta)$ byli v této studii empiricky zjištěny a to konkrétně pro hodnoty, kde θ je rovna 0° , 45° a 90° . Výsledné hodnoty jsou následující $f_W(0^\circ)=0.211, f_W(45^\circ)=0.242, f_W(90^\circ)=0.717, f_D(0^\circ)=0.194, f_D(45^\circ)=0.147, f_D(90^\circ)=0.312$.

Více dat ani způsob výpočtu daných hodnot nebyl v této studii zmíněn. Abychom mohli tento vzorec využít pro různé úhly pohybu ruky ve virtuální realitě, budeme muset z těchto hodnot odvodit jejich možný přepis funkce. Proložíme hodnoty pro f_W i f_D kvadratickou a exponenciální funkcí.

Předpis kvadratické funkce na obrázku 4 na straně 9

$$f_W(x) = 0.00010963x^2 - 0.00424444x + 0.211 \quad (4)$$

, kde x jsou stupně.

Předpis exponenciální funkce na obrázku 5 na straně 9

$$f_W(x) = 0.135393e^{(0.0182929x)} \quad (5)$$

, kde x jsou stupně.

Předpis kvadratické funkce na obrázku 6 na straně 10

$$f_D(x) = 0.0000523457x^2 - 0.0034x + 0.194 \quad (6)$$

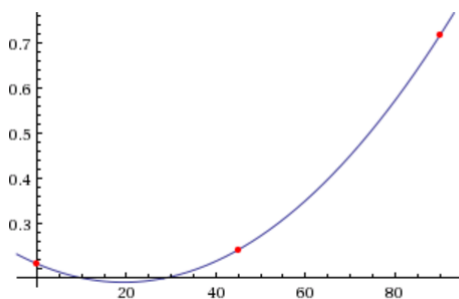
, kde x jsou stupně.

Předpis exponenciální funkce na obrázku 7 na straně 10

$$f_W(x) = 0.150997e^{(0.0072351x)} \quad (7)$$

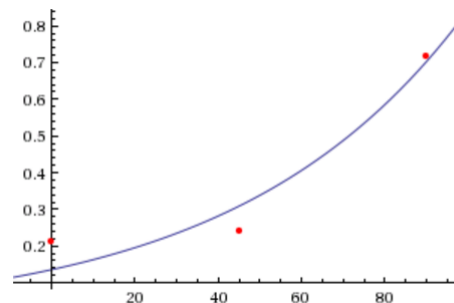
, kde x jsou stupně.

Plot of the least-squares fit:



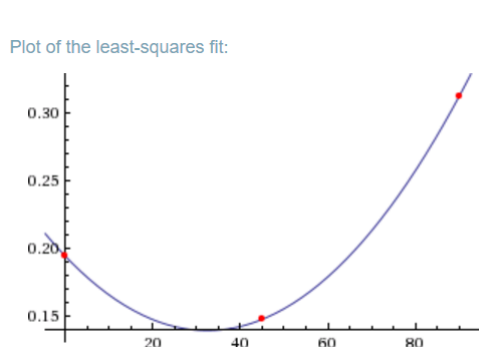
Obrázek 4. Kvadratická funkce proložená vybranými hodnotami pro f_W

Plot of the least-squares fit:

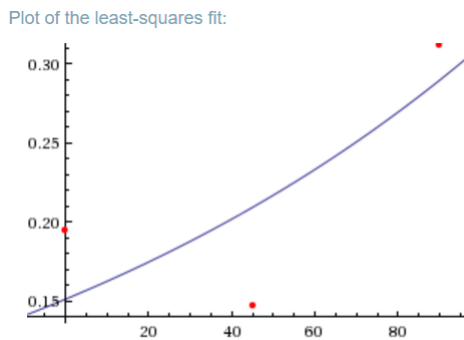


Obrázek 5. Exponenciální funkce proložená vybranými hodnotami pro f_W

2. Analýza



Obrázek 6. Kvadratická funkce proložená vybranými hodnotami pro f_D



Obrázek 7. Exponenciální funkce proložená vybranými hodnotami pro f_D

Porovnáním grafů pro hodnoty f_W na obrázku 4 a 5 můžeme vidět, že exponenciální funkce lépe odpovídá hodnotám pro úhly mezi 0° a 45° narozdíl od kvadratické. U funkce pro hodnoty f_D na obrázku 6 a 7 je tomu naopak, kde více vyhovuje kvadratická funkce. Tímto budeme pro získání hodnot f_W využívat vzorec (5) a pro hodnoty f_D vzorec (6).

2.10. Analýza testování

Cílem testování bude zjistit, která ze zvolených technik výběrů objektu je lepší. Techniky, které jsme v předchozích částech vybrali jsou následující. Pro senzor Leap Motion budeme vybírat objekty pomocí virtuální ruky. U herního ovladače pomocí 3D krychle. U 3D krychle budeme ještě testovat její verze, jelikož tento kurzor můžeme uživateli udržovat stále před očima, tedy s pohybem hlavy ho bude mít stále před sebou. Pojmenujme ho fixním kurzorem. Další možností je mít kurzor na jednom místě. Pokud tedy uživatel otočí hlavou, pak kurzor ztratí z dohledu. Tento kurzor nazvěme volným.

Abychom mohli určit, která technika výběru je lepší, budeme zaznamenávat časy potřebné k vybrání objektu. Tento čas je doba od přesunu kurzoru z původní polohy do polohy, kdy protíná cílový objekt a výběr je uživatelem potvrzen. Vzhledem k volbě kurzorů ve 2.8 a ke snímací vzdálenosti senzoru Leap Motion budeme testování provádět jen v dosahové vzdálenosti člověka. Aby nebyl volný kurzor znevýhodněn oproti těm ostatním, budeme testovat jen v zorném poli uživatele. Musíme též zabránit učení uživatele polohy cílových objektů. Toho docílíme tak, že po každém výběru objektu se ten další vygeneruje na náhodné pozici v zorném poli uživatele. Testování se tedy bude skládat z opakovaného výběru objektu, různými technikami, vygenerovaného na různých pozicích. Pro zajímavost otestujeme pro Leap Motion verzi, kdy se objekt bude generovat i mimo zorné pole. Tuto verzi pak můžeme porovnat Leap Motion verzi, která je v zorném poli.

3. Návrh řešení

Následující kapitola popisuje návrh řešení pro tvorbu scény, která bude společná pro obě vybraná zařízení, návrhem jednotlivých částí prototypu a přizpůsobení interakcí s objekty ve scéně podle zvolených zařízení.

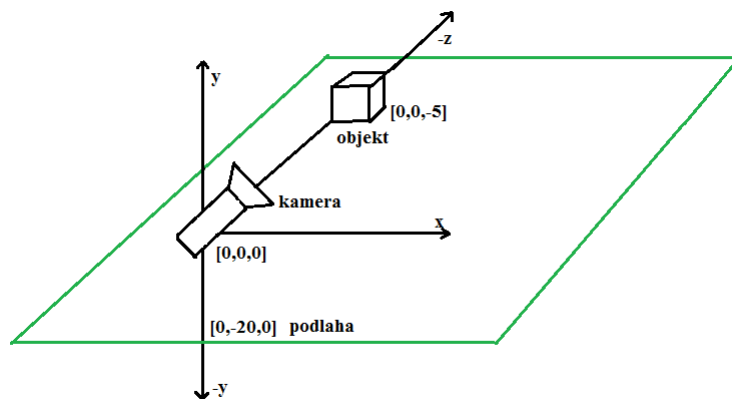
3.1. Návrh prototypů

3.1.1. Návrh scény pro prototyp

Abychom mohli s uživateli testovat různé způsoby interakce s objekty, tak budeme potřebovat navrhnut scénou.

Scéna bude vypadat identicky pro oba typy zařízení. Nebudeme umožňovat pohyb po scéně, jen otáčení kamery na jednom místě, jelikož pro interakci pohyb nebude nutný. S objekty budeme pracovat tedy z jednoho místa. Scéna bude minimální a bude obsahovat:

- Kameru
- Rovinu (podlaha)
- Objekt (krychle)



Obrázek 8. Návrh scény

Kamera bude umístěna v počátku tedy souřadnice budou $[0,0,0]$ ve směru pohledu osy $-z$ (jedná se o levotočivý souřadný systém). Rovina bude v souřadnici $[0,-20,0]$, aby se objevila pod uživatelem. Počáteční objekt bude zobrazen na souřadnici $[0, 0,-5]$, z toho důvodu, abychom ho poprvé měli přímo před kamerou. Barva objektu bude červená. Barva pozadí bude černá, aby byl objekt dobře viditelný. Při vykreslování scény i všech objektů bude použito perspektivní promítání. Kompletní návrh scény můžeme vidět na obrázku 8.

3.1.2. Kalibrace polohy hlavy uživatele a kurzoru/ruky

Po úspěšné interakci uživatele s objektem bude potřeba uživatele uvést do původní polohy před tím, než bude moci znovu interagovat. Tato kalibrace uživatele do původní polohy se bude lehce lišit od použitého zařízení k interakci. První, co budeme muset uvést do původní polohy je, kam se uživatel dívá. Toho docílíme takzvanou kalibrační koulí, kterou po interakci s objektem umístíme vždy na stejné místo, tedy souřadnice budou $[0,0,-5]$, totožné s prvním objektem. Kalibrační koule změní barvu pokud se na ní uživatel dívá. Zkalibrovaný pohled poté potvrdí tlačítkem. U herního ovladače budeme muset vždy kurzor vrátit do původní polohy, tedy na souřadnice $[0,0,-3]$. Toto se bude provádět automaticky po správné kalibraci pohledu. U zařízení Leap Motion musíme ještě zkalibrovat polohu ruky. Toho docílíme tak, že po kalibraci pohledu se zobrazí menší kalibrační koule na souřadnice $[0,-1,-3]$, kam uživatel umístí svou ruku. Teprve po kompletní úspěšné kalibraci se objeví nově vygenerovaný objekt k interakci. Při kalibrování se čas potřebný k interakci nepočítá.

3.1.3. Scénář testovacího prototypu pro herní ovladač

Prototyp pro herní ovladač po spuštění bude obsahovat jednoduchý scénář, který bude uživatel následovat pro interakci s objektem.

1. První objekt se zobrazí před kamerou uživatele
2. Uživatel se dotkne objektu pomocí kurzoru herního ovladače
3. Cílový objekt změní barvu
4. Uživatel potvrdí výběr tlačítkem
5. Objekt dá uživateli haptickou odezvu(vibrace telefonu) o potvrzení výběru
6. Objekt zmizí
7. Uživatel vykalibruje pohled na původní místo pomocí kalibrační koule
8. Uživatel potvrdí kalibraci tlačítkem
9. Kalibrační koule pohledu zmizí
10. 3D kurzor se sám vyresetuje do původní polohy
11. Objekt se zobrazí na novém náhodně vygenerovaném místě v zorném poli
12. Skok na krok 2

3.1.4. Scénář testovacího prototypu pro Leap Motion

Prototyp pro zařízení Leap Motion po spuštění bude obsahovat jednoduchý scénář, který bude uživatel následovat pro interakci s objektem.

1. První objekt se zobrazí před kamerou uživatele
2. Uživatel se dotkne objektu pomocí virtuální ruky
3. Cílový objekt změní barvu
4. Uživatel potvrdí výběr gestem chycení
5. Objekt dá uživateli haptickou odezvu(vibrace telefonu) o potvrzení výběru
6. Objekt zmizí
7. Uživatel vykalibruje pohled na původní místo pomocí kalibrační koule
8. Uživatel potvrdí kalibraci tlačítkem
9. Kalibrační koule pohledu zmizí
10. Zobrazí se kalibrační koule pro ruku

11. Uživatel umístí ruku na kouli
12. Kalibrační koule ruky zmizí
13. Objekt se zobrazí na novém náhodně vygenerovaném místě v zorném poli (pokud se jedná o verzi mimo zorné pole, pak se vygeneruje mimo zorné pole)
14. Skok na krok 2

3.1.5. Detekce výběru objektu

Detekce výběru objektu bude splněna, pokud následující tři formulace budou zároveň pravdivé.

1.formulace pro osu x:

$$objekt_x - radius \leq kurzor_x) \wedge (kurzor_x \leq objekt_x + radius)$$

2.formulace pro osu y:

$$(objekt_y - radius \leq kurzor_y) \wedge (kurzor_y \leq objekt_y + radius)$$

3.formulace pro osu z:

$$(objekt_z - radius \leq kurzor_z) \wedge (kurzor_z \leq objekt_z + radius)$$

, kde radius je poloměr cílového objektu a $kurzor_{xyz}$ jsou souřadnice kurzoru. U Leap Motion se jedná o všechny klouby, ze kterých se ruka skládá.

3.1.6. Generování nové pozice objektu po výběru

FOV v Google Cardboard je 40 stupňů, jak do stran tak nahoru a dolů. Z této informace také vychází následující algoritmus pro náhodné vygenerování objektu v zorném poli. Algoritmus pro generování mimo zorné pole je obdobný s rozdílem velikost stupňů, která se pohybuje od -180 do 180 stupňů.

Vygenerování nové pozice objektu probíhá následujícím algoritmem:

1. Orotuj rovinu XZ mezi -40 a 40 stupni (náhodně vygenerovaný úhel v daném rozmezí) = rotační_matice
2. Vygeneruj novou vzdálenost objektu, která je minimálně 4 a maximálně 5.5¹
3. Vypočítej scale faktor = nová_vzdálenost/stará_vzdálenost
4. Aplikuj scale faktor na rotační_matici
5. Vynásob rotační_matici maticí objektu (získaný vektor obsahuje nové souřadnice objektu pro x a z)
6. Vygeneruj úhel pro osu y mezi -40 a 40 stupni
7. Převed' na radiány
8. Zjistí tangens a vynásob novou_vzdáleností (nová souřadnice y)
9. Posuň objekt do nově získaných souřadnic

¹Maximální hodnota byla nejprve určena zvlášť pro délku mužské a ženské paže ze studie pana Dreyfuss [6]. Nakonec musela být hodnota zkrácena na jednotnou délku kvůli dosahu Leap Motion. Pro pohodlné chycení objektu se odečetla od hodnoty rezerva o velikosti 1.0

3.1.7. Návrh interakce s objekty pro Leap Motion

Ve scéně bude vykreslena ruka z primitivních tvarů. Klouby budou sestaveny z koulí a propojeny budou čarami. Dlaň bude znázorňovat větší koule. Zdali bude použita levá či pravá ruka uživatele nebude záležet.

Různé techniky selekce a manipulace s objektem virtuální rukou byli prezentovány ve studii pány T.Ha a W.Woo [3]. My z této studie využijeme lehce modifikovanou metodu selekce, takzvanou "krychlovou techniku". Selekcí touto technikou je umožněna pokud virtuální čára, kterou objekt vybírají je nepřetržitě uvnitř objektu po dobu patnácti snímků. My místo virtuální čáry bude používat klouby/spoje prstů a nebudeme muset udržet stálou polohu ruky po nějakou dobu, neboť to se neprojeví ve studii jako přirozené. Pro nás bude selekce okamžitá a jako korektní interakce s objektem bude brána po vykonání gesta uchopení.

3.1.8. Návrh interakce s objekty pro herní ovladač

Interakce pomocí herního ovladače bude umožněna zobrazeným kurzorem před kamerou uživatele. Tvar kurzoru bude krychle o velikosti 0.1. Počáteční souřadnice kurzoru bude $[0, 0, -3]$. U fixního kurzoru se bude kurzor při otáčení hlavou držet v zorném úhlu kamery. U volného kurzoru nebude mít otáčení hlavy vliv na jeho pozici. Pozici kurzoru měníme na herním ovladači následovně. Pohyb po ose $\pm x$ a $\pm y$ je umožněn levým joystickem ovladače. Pohyb po ose $\pm z$ druhým joystickem. Korektní interakce s objektem nastane, pokud kurzor bude v kolizi s objektem. Výběr objektu musí být potvrzen tlačítkem na herním ovladači.

3.2. Návrh testování

3.2.1. Úprava headsetu

Pro testování s herním ovladačem bude muset být Google Cardboard upraven tak, aby ho bylo možné připevnit na hlavu. Uživatel při testování bude potřebovat obě ruce pro manipulaci s herním ovladačem. U Leap Motion už není problém, aby uživatel v jedné ruce držel Google Cardboard a druhou interagoval s objektem. Další nutnou úpravou je připevnění senzoru Leap Motion na čelní stranu Google Cardboard. Ta je z toho důvodu, aby uživatel měl senzor při otáčení hlavy stále před sebou a ten byl schopen zaznamenávat pohyby ruky.

3.2.2. Testovací scénář

Každý uživatel projde čtyřmi testovacími scénáři.

- Leap Motion - v zorném poli
- Leap Motion - mimo zorné pole
- Herní ovladač - fixní kurzor
- Herní ovladač - volný kurzor

Abychom získali dostatek dat z testování, bude uživatel požádán, aby během každého scénáře vybral danou technikou dvacet objektů. Do tohoto množství se nepočítají první cvičné objekty, kdy se uživatel učí ovládat danou techniku.

3.2.3. Dotazníky

Pro subjektivní data sestavíme dotazníky, kterými získáme potřebné informace od uživatelů před, během a po testování viz přílohy A-E.

3.2.4. Logování dat

Abychom mohli využít 3D Fittsova zákona později při zpracování výsledků, budeme pro prototypy logovat následující objektivní data

- Pozice objektu
- Rozměr objektu
- Pozice kurzoru
- Čas potřebný pro úspěšný výběr objektu

3.2.5. Hypotézy

V této části představíme seznam hypotéz, které budeme testovat. Pro větší přehlednost označme výroky, které nás budou při testování hypotéz zajímat, V1-V9. Na výroky V1-V9 odpovídají účastníci na konci testování. Slouží pro subjektivní porovnání technik.

V1: Leap motion(ruka) - Tato metoda mi dovolila rychle pracovat

V2: Leap motion(ruka) - Tato metoda pro mě byla nepohodlná

V3: Leap motion(ruka) - Tato metoda mi dovolila být si sebejistý při odpovědi

V4: Herní ovladač (fixní kurzor) - Tato metoda mi dovolila být si sebejistý při odpovědi

V5: Herní ovladač (fixní kurzor) - Tato metoda pro mě byla nepohodlná

V6: Herní ovladač (fixní kurzor) - Tato metoda mi dovolila rychle pracovat

V7: Herní ovladač (volný kurzor) - Tato metoda mi dovolila být si sebejistý při odpovědi

V8: Herní ovladač (volný kurzor) - Tato metoda pro mě byla nepohodlná

V9: Herní ovladač (volný kurzor) - Tato metoda mi dovolila rychle pracovat

Hypotéza pro výrok V1:

nulová hypotéza

$$H_{01} : \text{Lidé nemají vyhraněný názor na V1.} \quad (8)$$

alternativní hypotéza

$$H_{11} : \text{Lidé mají vyhraněný názor na V1.} \quad (9)$$

Hypotéza pro výrok V2:

nulová hypotéza

$$H_{02} : \text{Lidé nemají vyhraněný názor na V2.} \quad (10)$$

alternativní hypotéza

$$H_{12} : \text{Lidé mají vyhraněný názor na V2.} \quad (11)$$

3. Návrh řešení

Hypotéza pro výrok V3:

nulová hypotéza

$$H_{03} : \text{Lidé nemají vyhraněný názor na V3.} \quad (12)$$

alternativní hypotéza

$$H_{13} : \text{Lidé mají vyhraněný názor na V3.} \quad (13)$$

Hypotéza pro výrok V4:

nulová hypotéza

$$H_{04} : \text{Lidé nemají vyhraněný názor na V4.} \quad (14)$$

alternativní hypotéza

$$H_{14} : \text{Lidé mají vyhraněný názor na V4.} \quad (15)$$

Hypotéza pro výrok V5:

nulová hypotéza

$$H_{05} : \text{Lidé nemají vyhraněný názor na V5.} \quad (16)$$

alternativní hypotéza

$$H_{15} : \text{Lidé mají vyhraněný názor na V5.} \quad (17)$$

Hypotéza pro výrok V6:

nulová hypotéza

$$H_{06} : \text{Lidé nemají vyhraněný názor na V6.} \quad (18)$$

alternativní hypotéza

$$H_{16} : \text{Lidé mají vyhraněný názor na V6.} \quad (19)$$

Hypotéza pro výrok V7:

nulová hypotéza

$$H_{07} : \text{Lidé nemají vyhraněný názor na V7.} \quad (20)$$

alternativní hypotéza

$$H_{17} : \text{Lidé mají vyhraněný názor na V7.} \quad (21)$$

Hypotéza pro výrok V8:

nulová hypotéza

$$H_{08} : \text{Lidé nemají vyhraněný názor na V8.} \quad (22)$$

alternativní hypotéza

$$H_{18} : \text{Lidé mají vyhraněný názor na V8.} \quad (23)$$

Hypotéza pro výrok V9:
nulová hypotéza

$$H_{09} : \text{Lidé nemají vyhraněný názor na V9.} \quad (24)$$

alternativní hypotéza

$$H_{19} : \text{Lidé mají vyhraněný názor na V9.} \quad (25)$$

3. Návrh řešení

4. Implementace prototypů

Po analýze a návrhu řešení následuje samotná realizace. Pro každý typ možnosti interakce je implementována samostatná aplikace pro mobilní telefon s operačním systémem Android verze 5.0 [14]. Aplikace je implementována v jazyce Java a v OpenGL ES 3.1. OpenGL ES je část OpenGL rozhraní pro počítačové vykreslování 2D a 3D grafiky akcelerovaných za pomoci GPU a je určen pro malé vestavěné systémy, jakým je například chytrý telefon. Obě aplikace vycházejí ze základního ukázkového kódu pro Google Cardboard Treasure Hunt¹. Společná sekce obou aplikací pokrývá implementaci kamery, roviny s mřížkovým polem, a krychle před kamerou uživatele, tedy základní scénu. Bylo použito vývojové prostředí Android Studio 1.2.2 a Cardboard SDK [13] pro Android v0.6.0².

4.1. Knihovna pro Leap Motion Android

V současné době není knihovna pro Leap Motion [12] Android veřejně dostupná. Existuje alpha verze pro výzkumné účely a lze se k ní dostat po kontaktování vývojářů Leap Motion³. Verze knihovny použita v této aplikaci je Leap Motion Android alpha SDK 2.3.2+35031D.

4.2. Společné třídy prototypů pro Leap Motion a herní ovladač

4.2.1. Sphere.class

V této třídě dochází k vytvoření koule podle zadaných parametrů. Kontruktoru se zadá počet prstenců, sektorů a radius a třída vytvoří pole vrcholů potřebné k vykreslení koule v OpenGL. Hlavní využití této třídy je ke generování koulí pro klouby ruky a ke kalibračním koulím.

4.2.2. WoldLayoutData.class

V této třídě jsou uložena statická pole dat pro krychli(náš cílový objekt) a rovinu. Jedná se o data souřadnic jednotlivých bodů, jejich barvy a normály.

4.2.3. CardboardOverlayView.class

Tato třída slouží ke zobrazování textu v OpenGL. Text je uživateli zobrazen vždy po kompletní kalibraci, aby věděl kolikátý objekt hledá.

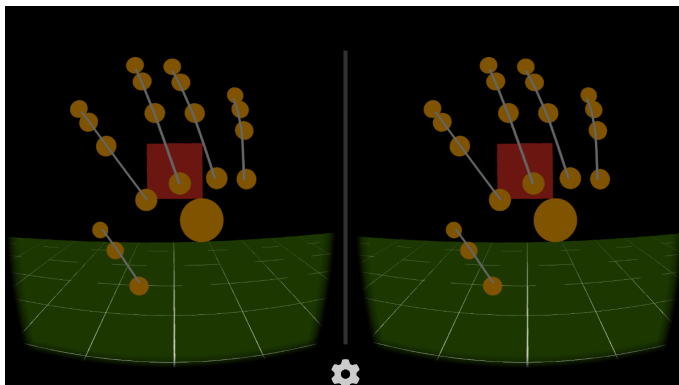
¹<https://developers.google.com/cardboard/android/get-started>

²<https://developers.google.com/cardboard/android/download>

³e-mailová adresa developers@leapmotion.com

4.3. Rozdílné třídy prototypu pro Leap Motion

V následující kapitole je popsána struktura tříd a funkčnost důležitých metod prototypu pracující s ovladačem Leap Motion. Zda-li se jedná o prototyp v zorném poli nebo mimo, je nastaveno flagem, který jen mění úhly pro které bude nový objekt vygenerován. Obrázek 9 zobrazuje finální podobu prototypu pro Leap motion.



Obrázek 9. Finální podoba prototypu pro Leap Motion

4.3.1. LeapEventProducer.class

V této třídě probíhá hlavní spolupráce s ovladačem Leap Motion a shromažďování potřebných dat o pohybu rukou. LeapEventProducer objekt vzniká inicializací ve třídě MainActivity.class ihned po spuštění aplikace. Třída dědí Listener a v metodě public void onFrame(Controller controller) přes Controller získáváme takzvané framy. Framy obsahují všechny informace týkající se veškerého pohybu nad senzorem. Nesou informace o počtu rukou, umístění jednotlivých spojů prstů, jejich délku a mnohem více. V této metodě proiterujeme všemi prsty ruky a uložíme pozice všech spojů prstů do seznamu vektorů. Do druhého seznamu uložíme kosti, které získáme propojením spojů prstů. V této metodě jsme také schopni zaznamenat, zda-li bylo vykonáno gesto chycení ruky. Toto gesto nebylo třeba implementovat, jelikož je již součástí Leap Motion implementace. Poslední, co si zaznamenáme je pozice dlaně. Seznamy se spoji prstů, kostmi a pozice dlaně jsou dále k dispozici třídě MainActivity.class, která je jádrem prototypu.

4.3.2. HandBone.class

Tato třída definuje strukturu kosti. Ta se skládá ze dvou vektorů; počátku a konce kosti.

4.3.3. MainActivity.class

Toto je hlavní třída projektu. Zodpovídá za veškerou inicializaci, vykreslování a zobrazení objektů v hlavní scéně a za samotné vykreslené hlavní scény. Obsahuje též hlavní logiku chodu scénáře.

Důležité metody:

```
void hideObject()
```

Tato metoda provádí generování nových souřadnic pro objekt dle algoritmu z kapitoly 3.1.6

```
boolean isIntersectingCube(float[] joint_coord, float[] cube_coord)
```

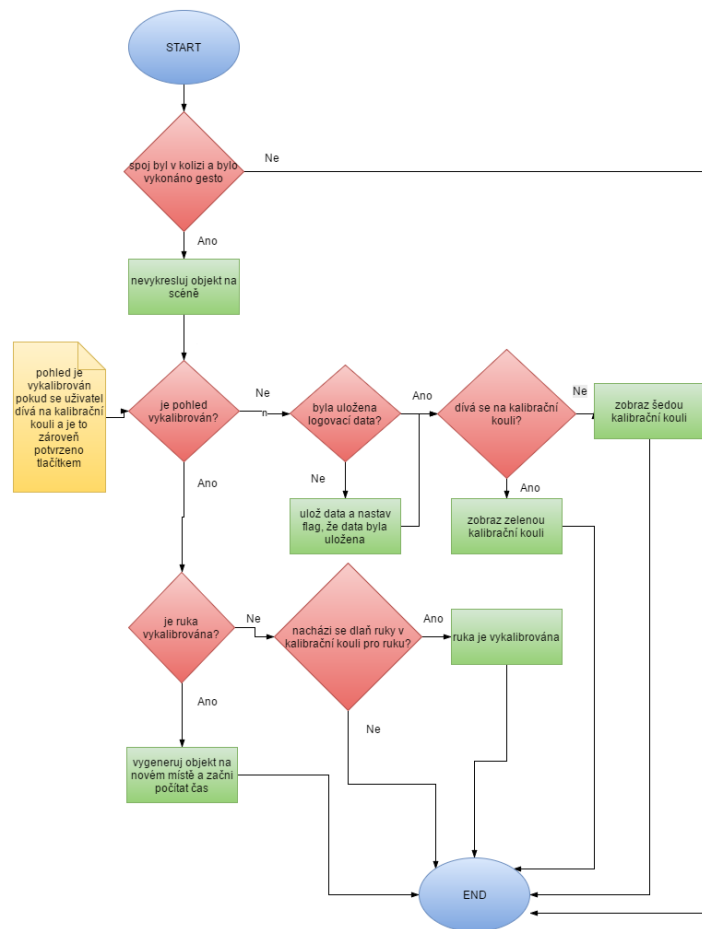
Tato metoda zjišťuje zdali spoj je v kolizi s objektem vyhodnocením booleanovských výrazů zdefinovaných v kapitole 3.1.5

```
boolean isLookingAtObject()
```

Tato metoda slouží pro kalibraci pohledu a vrací true, pokud se uživatel na kalibrační kouli dívá.

```
public void onDrawEye(Eye eye)
```

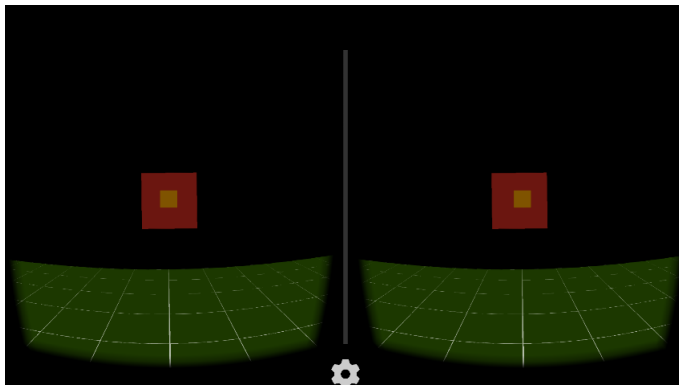
Metoda, která vykresluje snímek pro oko. Dochází zde k veškerému vykreslování objektů ve scéně, jak podlahy, cílového objektu, tak i kompletní ruka zobrazená pomocí primitiv. Ruka se vykresluje následovně. Pro každý vektor ze seznamu spojů vytvoříme kouli a přesuneme ji do souřadnic spoje. Takto vytvoříme všechny dostupné spoje ze seznamu. Následuje propojení spojů kostmi, což je jen vykreslování čar mezi spoji ruky. Ruku musíme lehce zmenšit, aby působila přirozeněji. Dále převedeme spoje a kosti do systému kamery a aplikujeme perspektivu. Před vykreslením však ještě musíme vyhodnotit, zdali spoj není v kolizi s objektem. Ta se testuje metodou zmíněnou výše, která přebírá jako parametry souřadnici jednoho spoje a pozici objektu. Takto otestuje všechny spoje ruky a pokud na kolizi narazí, označí si to v seznamu kolizí. Na začátku dalšího vykreslení se vždy tento seznam kolizí vyprázdní. Pokud se narazí na kolizi s objektem, je objekt přebarven z původní červené barvy na žlutou. K poslednímu vyhodnocení ke kterému dochází je znázorněno diagramem na obrázku 10.



Obrázek 10. Algoritmus po úspěšné interakci s objektem

4.4. Rozdílné třídy prototypu pro herní ovladač

V následující části je popsána struktura tříd a funkčnost jednotlivých metod prototypu pracující s herním ovladačem. Zda-li se jedná o prototyp s fixním nebo s volným kurzorem je nastaveno jedním flagem, který jen přepíná kurzor do pohledové matice, nebo do matice kamery. Obrázek 11 zobrazuje finální podobu prototypu pro herní ovladač.



Obrázek 11. Finální podoba prototypu pro herní ovladač

4.4.1. Controller.class

Tato třída hlavně zpracovává eventy vyvolané joystickem na herním ovladači. V metodě `int getDirectionPressed(InputEvent event)` vrátí podle zadaných integerů směr jakým byl joystick pohnut.

4.4.2. MainActivity.class

Toto je hlavní třída projektu. Zodpovídá za veškerou inicializaci, vykreslování a zobrazení objektů v hlavní scéně a za samotné vykreslené hlavní scény a logiku scénáře.

Důležité metody:

```
boolean onGenericMotionEvent(MotionEvent event)
```

je metoda, která zachycuje eventy z herního ovladače prováděné joystickem. Směr stisku z jistí zavoláním metody `int getDirectionPressed(InputEvent event)` ve třídě `Controller.class` Zjištěný směr a hodnotu uloží do proměnných.

```
boolean onKeyDown(int keyCode, KeyEvent event)
```

je metoda, která zachycuje eventy z herního ovladače prováděné stiskem tlačítka. Hodnotu (hodnota stisknutého tlačítka je 0) a kód tlačítka uloží do proměnných.

```
boolean onKeyUp(int keyCode, KeyEvent event)
```

je metoda, která zachycuje eventy z herního ovladače prováděné uvolněním tlačítka. Hodnotu (hodnota uvolněného tlačítka je 1) a kód tlačítka uloží do proměnných.

```
void onDrawEye(Eye eye)
```

Kromě vykreslení objektu a roviny, zde dochází k určení nové pozice kurzoru před jeho vykreslením. Hodnota nové pozice je určena podle vyhodnocení předchozích dvou metod. V této metodě se také aplikuje rychlost pohybu kurzoru na základě následujícího vzorce `cursorPos[1] = (float) (cursorPos[1]-keyPressedValue/speed);`

`speed=speed-acceleration`; `keyPressedValue` je hodnota vždy nabývající 1, `speed` je nastaveno defaultně na 100, aby posun po obrazovce byl 0,01. Tento posun kurzoru je přiměřeně rychlý, ale dá se samořejmě změnit podle preferencí uživatele. Pokud je joystick stále stisknut, aplikuje se `speed=speed-acceleration`, kde `acceleration=0.1` tím se hodnota `speed` stále zmenšuje a nová hodnota posunu stále zvětšuje což umožňuje zrychlování posunu kurzoru po obrazovce. Když je tlačítko uvolněno, vrátí se hodnota `speed` do defaultní hodnoty, tedy 100.

Kolize je vyhodnocována úplně stejně jako v implementaci pro leap motion, až na ten rozdíl, že nám stačí jediné boolean vyhodnocení pro aktuální pozici kurzoru

```
intersection=isIntersectingCube(joint_coord,cubePosition);
```

`joint_coord=>kurzor` Taktéž diagram je totožný s předchozím. Kromě gesta je nahrazeno zmáčknutým tlačítkem a kalibrace ruky se vůbec neřeší, jelikož kurzor se pokaždé automaticky vyresetuje do původní polohy.

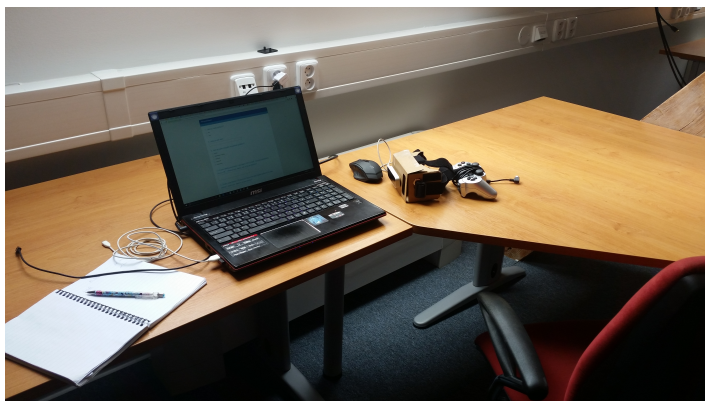
4. Implementace prototypů

5. Uživatelské testování

Následující kapitola se zabývá testováním prototypů s participanty. V jednotlivých sekcích je popsáno testovací prostředí, průchod jednotlivými testovacími scénáři a postřehy během testování od participantů. Dále následuje zpracování a souhrnný přehled získaných dat jak subjektivních získaných formou dotazníků, tak objektivních získaných logováním informací z prototypů. Součástí jsou též navrhované změny pro budoucí vývoj prototypů.

5.1. Testovací prostředí

Testování proběhlo v prozatimní prázdné místnosti ve 4. patře budovy E Fakulty Elektrotechnické ČVUT na Karlově náměstí v Praze. Testování se celkem zúčastnilo 7 osob a v průměru jedno testování trvalo 40 minut. Testované byly osoby, které prošly předchozím screening dotazníkem. Tento dotazník sloužil k vyřazení osob, které nebyly vhodné pro testování. Jednalo se tedy o osoby, které neměli problémy se zrakem jako je například dalekozrakost, která by mohla negativně ovlivnit testování vzhledem k tomu, že uživatel má krabíčku cardboard přímo před očima a znemožňovala by mu zároveň nosit ony potřebné brýle. Žádná z testovaných osob neměla závažné problémy s virtuální realitou nebo 3D kinem; neschopnost vidět 3D, nebo nepřiměřenou bolest hlavy. První participant, který se zúčastnil testování sloužil jako pilotní pro zjištění případných problémů s technikou nebo s implementovanými prototypy. Vzhledem k bezproblémovému průchodu scénářem byla tato získaná data zahrnuta do výsledků studie.



Obrázek 12. Testovací prostředí

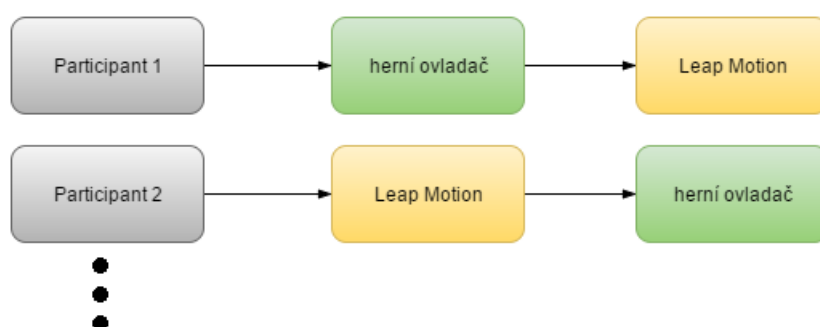
Testovací místnost byla zvolena z důvodu dobrého osvětlení a dostatečného místa potřebného k testování se zařízením Leap Motion. Testovací místnost vypadala následovně; stůl na kterém byl umístěn počítač pro průběžné vyplňování dotazníků od zrovna testovaného participanta a dále pro kontrolu správnosti a uchování dat získaných během testování z mobilního telefonu. Nedílnou součástí testovací místnosti byla i nabíječka mobilního telefonu, jelikož testování se senzorem Leap Motion způsobovalo větší odběr

elektrické energie. Poslední částí testovací místnosti byly dvě židle; na otočné židli seděl testovaný participant pro pohodlnou manipulaci během testování a na druhé židli byl vedle participanta po celou dobu usazen moderátor, který poskytoval potřebné informace k testovacím scénářům a popřípadě pomoc během testování. Kompletní testovací prostředí je vidět na obrázku 12.

5.2. Průběh testování

Přehled průběhu testování v bodech:

1. Vyplnění úvodního dotazníku (Pre-questionnaire)
2. Vysvětlení průběhu celého testování
3. Vysvětlení ovládání zařízení Leap Motion a průběh testu
4. Testování se zařízením Leap Motion - v zorném poli
5. Testování se zařízením Leap Motion - mimo zorném poli
6. Kontrola a přetažení logovaných dat z mobilního zařízení
7. Vyplnění dotazníku týkající se testování s Leap Motion
8. Vysvětlení ovládání herního ovladače a průběh testu
9. Testování s herním ovladačem - s volným kurzorem
10. Testování s herním ovladačem - s fixním kurzorem
11. Vyplnění dotazníku týkající se testování s herním ovladačem
12. Kontrola a přetažení logovaných dat z mobilního zařízení
13. Vyplnění závěrečného dotazníku srovnávající předchozí techniky (Post-questionnaire)
14. Na závěr byl zjištěn stav participanta a položena dodatečná otázka



Obrázek 13. Protivyvažovací metoda při testování

Participant nejdříve vyplnil úvodní dotazník. Poté byl seznámen o čem celé testování bude a byla mu vždy před danou částí testu vysvětlena manipulace s daným zařízením. Participant měl vždy možnost si manipulaci se zařízením vyzkoušet jak dlouho potřeboval, dokud se necítil dostatečně sebevědomý. Poté oznámil moderátorovi, kolik zkušebních kostek vybral. Moderátorem byl poté vyzván k následnému vybrání dvaceti kostek, která se již započítala do testování. Takto bylo zacházeno se všemi testovacími částmi, tedy s body 4,5,9 a 10. Po každé části testování (testování s Leap Motion a s herním ovladačem) byl participant vždy požádán o vyplnění příslušného dotazníku, týkající se vždy daného zařízení. Během testování s herním ovladačem byl vždy participant usazen na otočné židli. Avšak při testování se senzorem Leap Motion, kdy se testovalo vybírání objektu mimo zorné pole, bylo participantovi doporučeno, pro pohodlnější manipulaci, vykonat test ve stoje. Na obrázcích 14 a 15 na straně 27 můžeme vidět participanta během testování.

Na závěr testování, kdy participant prošel všemi částmi, vyplnil závěrečný dotazník zhodnocující testované techniky výběru 3D objektu ve virtuální realitě a završeno vše bylo doplňující otázkou moderátora týkající se o participantův osobní zájem o budoucím pořízení některé současně dostupné virtuální reality na trhu.

Testování herního ovladače a senzoru Leap Motion bylo prováděno takzvanou protivažovací metodou, která je jedna z nejlepších možností, jak se vyhnout úskalí při měření opakovaných standardních vzorů. Tímto uzpůsobeným pořadím jednotlivých úrovní předejdeme tomu, aby samo pořadí nemohlo negativně ovlivňovat vnitřní validitu. V našem případě opakového testu s Leap motion a s herním ovladačem. Vzor pořadí, který byl následován při testování je zobrazen na obrázku 13 na straně 26.



Obrázek 14. Participant při testování s Leap Motion



Obrázek 15. Participant při testování s herním ovladačem

5.3. Participant

V této části se budeme zabývat jednotlivými participanty a jejich postřehy a připomínkami sesbírané pomocí dotazníků během testování se zařízením Leap Motion a s herním ovladačem. V tabulce 1 můžeme vidět přehled všech zúčastněných participantů uživatelského testování. Celkem se testování zúčastnilo sedm osob, z toho šest mužů a jedna žena, s průměrným věkem dvacetčtyři let.

Participant #	Pohlaví	Věk	Nejvyšší dosažené vzdělání
Participant 1	Muž	24	bakalářské
Participant 2	Muž	23	středoškolské s maturitou
Participant 3	Muž	23	středoškolské s maturitou
Participant 4	Muž	25	středoškolské s maturitou
Participant 5	Muž	25	bakalářské
Participant 6	Muž	25	magisterské
Participant 7	Žena	25	středoškolské s maturitou

Tabulka 1. Participant, kteří se zúčastnili uživatelského testování

5.3.1. Participant 1

Prvnímu participantovi nejlépe vyhovovala manipulace se zařízením Leap Motion. Kromě jednoho případu, kdy objekt byl problém vybrat mu připadala manipulace s Leap Motion více přirozenější než s herním ovladačem. U herního ovladače přišla participantovi manipulace s volným kurzorem přesnější než s fixním. Fixní kurzor působil nepřirozeně

5. Uživatelské testování

a navíc si u něj musel dávat pozor na hlavu při výběru objektu, aby s kurzorem z objektu nevyjel.

Seřazené techniky od nejpreferovanější: 1.Leap Motion - ruka, 2.Herní ovladač - volný kurzor, 3.Herní ovladač - fixní kurzor

Do budoucna plánuje koupit VR podle peněz. Nejvíce preferuje HTC Vive.

5.3.2. Participant 2

Druhému participantovi nejvíce vyhovoval fixní kurzor u herního ovladače. U Leap Motion se mu občas stávalo, že to zaznamenávalo gesto, aniž by ho provedl. S vylepšením technologie by si však dovedl představit, že se v budoucnu mohou změnit jeho osobní preference.

Seřazené techniky od nejpreferovanější: 1.Herní ovladač - fixní kurzor, 2.Herní ovladač - volný kurzor, 3.Leap Motion - ruka

Do budoucna neplánuje koupit VR. Mají headsety jako Samsung gear a Oculus Rift k dispozici v práci.

5.3.3. Participant 3

Třetímu participantovi stejně tak jako předchozímu nejvíce vyhovoval fixní kurzor. Připadal mu jako nejrychlejší a nejpresnější způsob. U Leap Motion, se občas stávalo, obdobně jako u předchozího participanta, že objekt byl vybrán navzdory neprovedení gesta. Též senzoru trvalo déle než zaznamenal ruku.

Seřazené techniky od nejpreferovanější: 1.Herní ovladač - fixní kurzor, 2.Herní ovladač - volný kurzor, 3.Leap Motion - ruka

Do budoucna plánuje koupit VR, ale zatím není rozhodnut pro žádnou konkrétní možnost. Cena hodně ovlivňuje. Plánoval s koupí Oculus Rift, ale ten je nakonec moc drahý.

5.3.4. Participant 4

Čtvrtý participant nejvíce preferoval fixní kurzor. U Leap Motion se jen jednou stalo, že gesto bylo provedeno aniž by ho participant vykonal. Jinak se mu s ním pracovalo pohodlně a bez obtíží.

Seřazené techniky od nejpreferovanější: 1.Herní ovladač - fixní kurzor, 2.Leap Motion - ruka, 3.Herní ovladač - volný kurzor

Asi do dvou let plánuje koupit VR. Nemá ale zatím žádné preference.

5.3.5. Participant 5

Pátému participantovi taktéž nejvíce vyhovoval fixní kurzor. U volného kurzoru mu připadalo provádění zbytečného pohybu. Se zařízením Leap Motion se mu manipulovalo celkem dobře. Chybělo mu ale zobrazení paže. S ní si myslí, že by dokázal lépe odhadnout, jak daleko rukou sahá. Též participantovi vadilo, že ruka mizí.

Seřazené techniky od nejpreferovanější: 1.Herní ovladač - fixní kurzor, 2.Leap Motion -

ruka, 3.Herní ovladač - volný kurzor

Neplánuje si do budoucna pořídit VR.

5.3.6. Participant 6

Šestému participantovi se nejlépe manipulovalo s fixním kurzorem. Byl pro něj rychlý, velmi přesný, pohodlný a lepší pro dlouhodobé použití. S porovnáním s volným kurzorem je pohyb hlavy rychlejší než pomocí joysticku. U Leap Motion nebylo vždy gesto ihned rozpoznáno. Taktéž po chvíli participanta bolela ruka. Jinak participant považoval jako výhodu možnost používat jen jednu ruku.

Seřazené techniky od nejpreferovanější: 1.Herní ovladač - fixní kurzor, 2.Herní ovladač - volný kurzor, 3.Leap Motion - ruka

Zatím si neplánuje koupit VR. Uvidí do budoucna, která verze bude nejvíce dostupná a bude nabízet větší množství aplikací.

5.3.7. Participant 7

Sedmému participantovi se taktéž jako předchozím pracovalo nejlépe s fixním kurzorem. S touto možností participant nemusel používat pro ovládaní jeden joystick, jelikož ho nahradil otáčením hlavy. Pro objekty vygenerovány výše byl záklon hlavy omezen. U Leap Motion participantovi ruka mizela a občas bylo gesto zaznamenáno, aniž by bylo vykonáno. Pokud by byly tyto problémy odstraněny, participant by si dovedl tuto techniku představit jako nejlepší.

Seřazené techniky od nejpreferovanější: 1.Herní ovladač - fixní kurzor, 2.Herní ovladač - volný kurzor, 3.Leap Motion - ruka

Zatím si neplánuje koupit VR. Pořizovací cena je zatím moc vysoká.

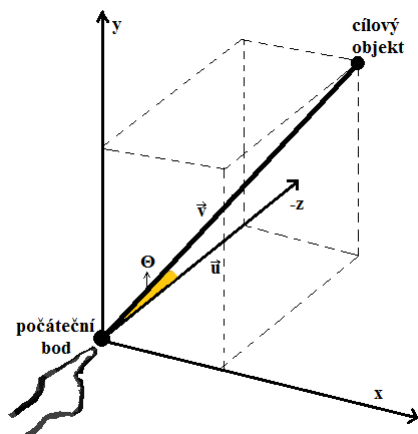
5.4. Výsledky testování

Tato kapitola se zabývá zpracováním a reprezentací objektivních dat získaných z logů během testování.

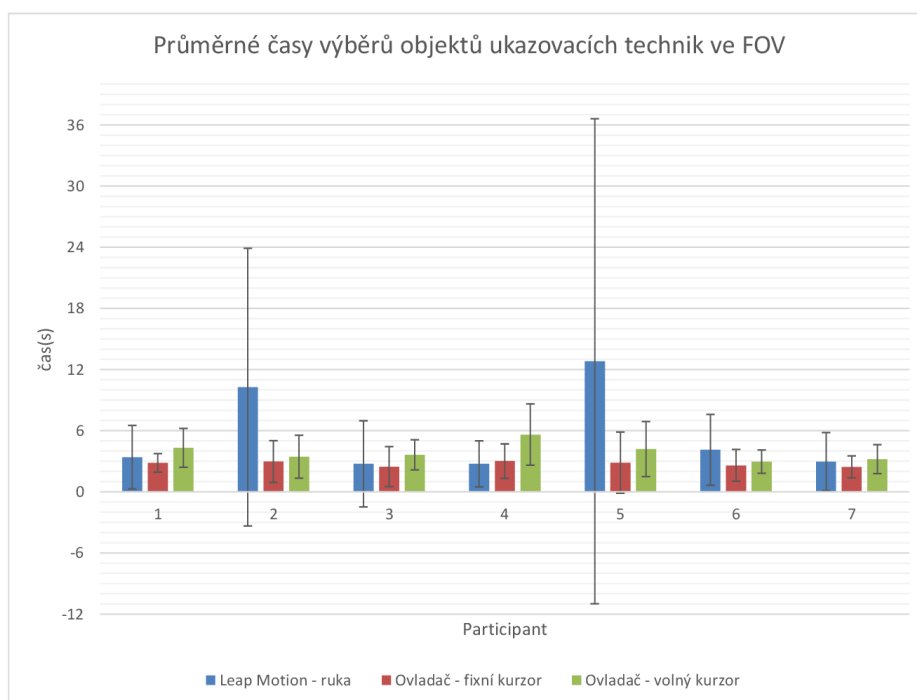
Abychom mohli použít 3D Fittsova zákona (3), bude nejdříve potřeba dopočítat úhly pro pohyb ruky a kurzoru k objektu. To provedeme podle následujícího vzorce

$$\cos \theta = \frac{\vec{u} \cdot \vec{v}}{(\|\vec{u}\| \cdot \|\vec{v}\|)} \quad (26)$$

, kde \vec{u} je vektor ruky/kurzoru na rovině XZ a \vec{v} je vektor mezi pozicí ruky/kurzoru a pozicí objektu. Vektory u úhel, který svírají můžeme vidět na obrázku 16.

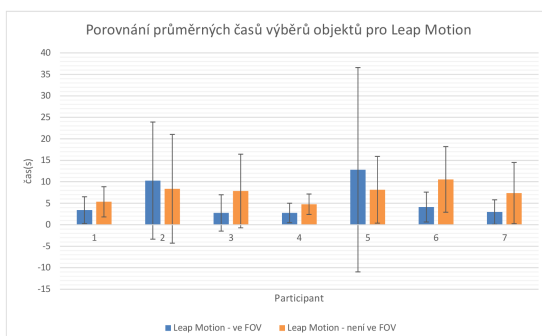
Obrázek 16. Úhel θ mezi vektory \vec{u} a \vec{v}

Dále potřebujeme zjistit hodnoty $f_W(\theta)$ a $f_D(\theta)$, kde θ je úhel pohybu ruky/kurzoru. Pro zjištění hodnot f_W dosazujeme vypočtené úhly θ do vzorce (5) a pro zjištění hodnot f_D do vzorce (6). Tímto získáme všechna potřebná data pro výpočet průměrného času 3D Fittsova zákona.

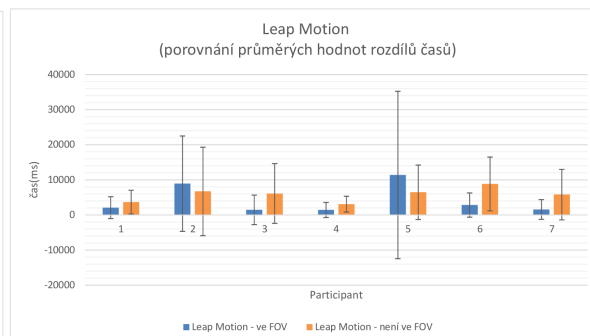


Obrázek 17. Graf průměrných hodnot časů ve FOV napříč participanty

Graf na obrázku 17 zobrazuje průměrné časy, které participantům trvaly na vykonání úkolů pro ukazovací techniky testované v zorném poli. Jak zde můžeme vidět, tak pro fixní kurzor jsou tyto hodnoty nejnižší s porovnáním s ostatními testovanými technikami. Je tomu tak pro všechny participanty, vyjma čtvrtého. Tato skutečnost je též podložena subjektivními názory většiny participantů.



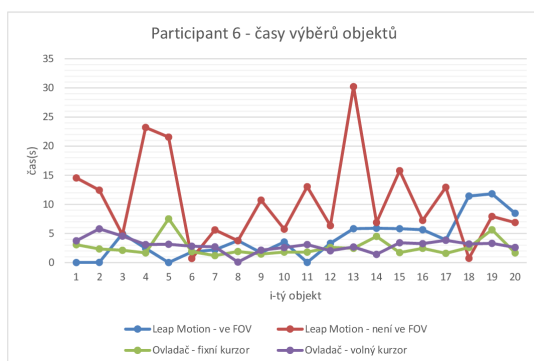
Obrázek 18. Porovnání průměrných hodnot časů pro Leap Motion



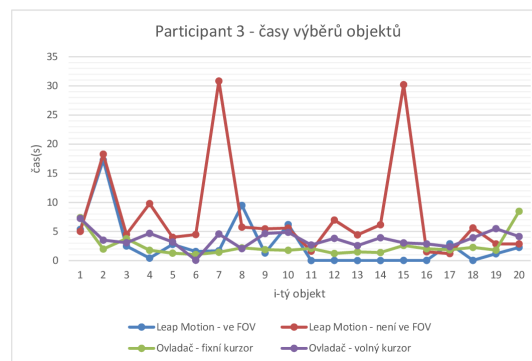
Obrázek 19. Porovnání průměrných hodnot rozdílů časů pro Leap Motion

Na grafu 18 vidíme porovnání zařízení Leap Motion pro zorné pole a mimo něj. Většině participantům se průměrné časy mimo zorné pole zhoršily, což je převážně zapříčiněno tím, že se participant musel otáčet za objektem, který se generoval v prostoru 360° . Větší směrodatné odchylky u některých participantů jsou způsobeny nepřesností senzoru Leap Motion. Vyšší kladné odchylky se týkají především nezaznamenání gesta uchopení a záporné odchylky nám ukazují, kdy naopak gesto bylo zaznamenáno, aniž by bylo participantem vykonáno.

Na grafu 19 máme porovnání průměrných hodnot rozdílů časů pro Leap Motion. Jedná se o rozdíl časů pro vybrání objektu a vypočteného času podle 3D Fittsova zákona. Hodnoty na ose y nám ukazují o kolik průměrně milisekund byly úkoly vykonány pomaleji oproti 3D Fittsovu zákonu.



Obrázek 20. Výsledky testování pro participanta 6



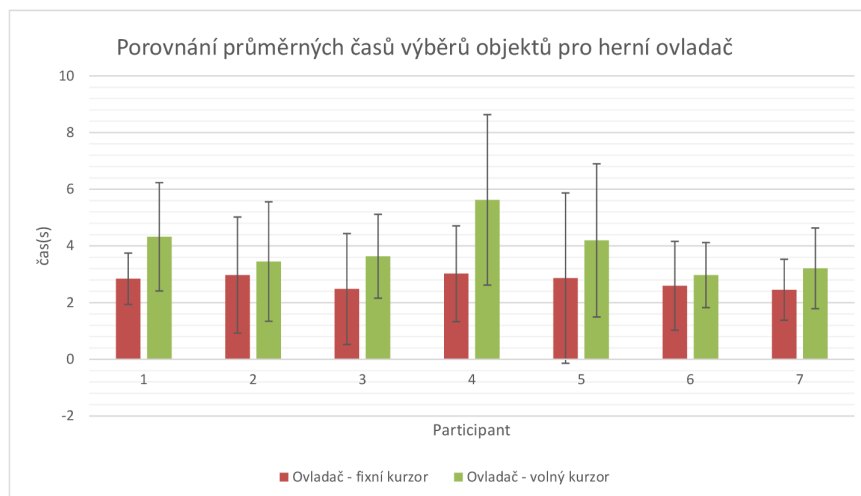
Obrázek 21. Výsledky testování pro participanta 3

Na grafu 20 u participanta 6 si můžeme všimnout problému, kdy gesto trvalo déle než bylo zaznamenáno. Jedná se o výběry objektů čtyři, pět, devět, jedenáct, třináct, patnáct a sedmáct pro testování mimo zorné pole.

Na grafu 21 u participanta 3 si zase můžeme všimnout druhého problému s Leap Motion v zorném poli a to, když gesto bylo zaznamenáno, aniž by ho participant vykonal. Jedná se o sérii objektů jedenáct až šestnáct. Toto byla kombinace problému gesta a vygenerování objektu poblíž ruky.

5. Uživatelské testování

Tyto problémy s gesty byly též zaznamenány v subjektivních dotaznících u obou participantů.



Obrázek 22. Porovnání průměrných časů pro ukazovací techniky herního ovladače

Porovnáním hodnot z grafu 22 vidíme lepší výsledné časy pro fixní kurzor. Tato ukazovací technika vyšla jako nejrychlejší ze tří testovaných a její preference se projevili taktéž v subjektivních dotaznících participantů.

5.5. Výsledky hypotéz

Pro otestování hypotéz zdefinovaných v 3.2.5 použijeme jednovýběrový oboustranný t-test. Tento test slouží k porovnání střední hodnoty μ s konstantou ($H_0: \mu = \mu_0$)

Testovací statistiku T vypočteme následovně

$$T = \frac{\bar{X} - \mu_0}{\frac{S^2}{\sqrt{N}}} \quad (27)$$

, kde \bar{X} je průměr výběrového souboru, S^2 je rozptyl výběrového souboru, μ je střední hodnota základního souboru a N je počet členů výběrového souboru.

O výsledku testu rozhodneme porovnáním p-hodnoty a hladiny významnosti α (tu si před testem určíme sami). P-hodnota je pravděpodobnost za platnosti nulové hypotézy, s níž bychom, vzhledem k oboustrannosti testu získali stejnou nebo extrémnější (tím tedy méně pravděpodobnou) hodnotu testovací statistiky T. Pro zjištění p-hodnoty určíme stupeň volnosti $N-1$ a zvolíme hladinu významnosti. Z tabulky pro p-hodnoty poté pomocí těchto informací nalezneme její hodnotu.

Pro hypotézy platí následující:

- Zamítáme nulovou hypotézu H_0 , když p-hodnota $\leq \alpha$.
- Nezamítáme nulovou hypotézu H_0 , když p-hodnota $> \alpha$.

Pokud zamítneme nulovou hypotézu, pak můžeme prohlásit, že lidé mají vyhraněný názor na výrok V_x pro α =námi zvolená hodnota.

Pro tento test zvolíme hladinu významnosti $\alpha=0.05$. To znamená, že výsledky testů, které splňují tuto hladinu významnosti mají nejvýše 5% šanci, že budou výsledkem čisté náhody. Jinými slovy, existuje 95% šance, že výsledky byly způsobeny člověkem, který manipuloval s experimentálními proměnnými a nikoli náhodou. Pro většinu studií je 95% jistota pro korelaci dvou proměnných dostatečná pro prokázání jako úspěšné korelace.

Výrok	průměr odpovědi	p-hodnota
V1: Leap motion(ruka) - Tato metoda mi dovolila rychle pracovat	2.857142857	0.766260066
V2: Leap motion(ruka) - Tato metoda pro mě byla nepohodlná	2.714285714	0.457051648
V3: Leap motion(ruka) - Tato metoda mi dovolila být si sebejistý při odpovědi	2.714285714	0.522236441
V4: Herní ovladač (fixní kurzor) - Tato metoda mi dovolila být si sebejistý při odpovědi	1.142857143	1.27601E-05
V5: Herní ovladač (fixní kurzor) - Tato metoda pro mě byla nepohodlná	4.714285714	8.77319E-05
V6: Herní ovladač (fixní kurzor) - Tato metoda mi dovolila rychle pracovat	1.285714286	8.77319E-05
V7: Herní ovladač (volný kurzor) - Tato metoda mi dovolila být si sebejistý při odpovědi	1.571428571	0.000400878
V8: Herní ovladač (volný kurzor) - Tato metoda pro mě byla nepohodlná	4.428571429	0.000400878
V9: Herní ovladač (volný kurzor) - Tato metoda mi dovolila rychle pracovat	2.142857143	0.045256265

Tabulka 2. Tabulka p-hodnot a průměr odpovědi pro jednotlivé výroky

Výsledné p-hodnoty můžeme vidět v tabulce 2. Pro výroky V1-V3 jsou p-hodnoty větší než α a tudíž se nepodařilo vyvrátit jejich nulové hypotézy z 3.2.5 pro $\alpha=0.05$.

Pro výroky V4-V9 jsou p-hodnoty menší než α a tudíž zamítáme jejich nulové hypotézy z 3.2.5 pro $\alpha=0.05$. Navíc pro výroky V4-V8 můžeme dokonce nulové hypotézy zamítnout pro hladinu významnosti $\alpha=0.01$. Tímto jsme zjistili, že účastníci měli vyhraněné názory pro výroky V4-V9.

Připomeňme si váhy odpovědi pro výroky V1-V9, ze kterých účastníci vybírali. Přehled můžeme vidět v tabulce 3.

Odpověď	Silně souhlasím	Souhlasím	Nevím	Nesouhlasím	Silně nesouhlasím
Váha	1	2	3	4	5

Tabulka 3. Možnosti, ze kterých účastníci vybírali odpověď pro výroky V1-V9

Pokud se podíváme v tabulce 2 na průměr odpovědi u těchto výroků, můžeme vidět k jaké odpovědi se nejvíce účastníci uchýlili. Těchto šest výroků se týkalo kurzorů u herního ovladače a jak vidíme, tak u fixního typu kurzoru účastníci více souhlasili respektive méně s výroky, nežli tomu je u volného kurzoru.

5.6. Navrhované změny po testování s uživateli

Většina návrhů na změnu se týká převážně zařízení Leap Motion, neboť zde měli účastníci nejvíce problémů a připomínek.

Prvním návrhem je vylepšení zobrazování ruky. Ruka během testování účastníkům často mizela a to jim znepříjemňovalo manipulaci s ní. Možným vylepším by mohlo být efektivnější předávání souřadnic spojů ruky do vykreslovací metody. Taktéž se nepropracovalo s predikcí pohybu ruky, která by onen problém mohla efektivněji vyřešit.

Mezi další návrh patří vylepšení designu ruky. Ruka byla vykreslena samostatně bez paže. Její dodání by vylepšilo vnímání hloubky v prototypu.

Dalším problémem bylo gesto, které nefungovalo stoprocentně. Možná implementace vlastního zpracování gesta by mohla problém vyřešit.

5. Uživatelské testování

Poslední návrh se týká kurzoru u herního ovladače. Někteří participantů nebyli úplně spokojeni s jeho rychlostí. Bylo by vhodné otestovat různé rychlosti pro kurzor a zvolit tu neoptimálnější rychlost, která by ještě více zpříjemnila manipulaci s ním.

6. Závěr

Cílem bakalářské práce bylo analyzovat, navrhnout, otestovat a následně porovnat prototypy pro interakci s 3D objekty ve virtuální realitě. Interakce objektů probíhala přes vybraná zařízení a to s Leap Motion a s herním ovladačem a k nim zvolené nejvhodnější ukazovací techniky.

Volba ukazovacích technik z návrhu pro vybraná zařízení se ukázala být vhodná.

Testování prototypů s uživateli přineslo zajímavé poznatky. Návrhy na zlepšení prototypů jsou popsány v části NAVRHOVANÉ ZMĚNY PO TESTOVÁNÍ S UŽIVATELI. Doufám, že poslouží k dalšímu vývoji prototypů.

Seznam použité literatury

- [1] DANG, N.T. *A survey and classification of 3D pointing techniques*. 2007 IEEE International Conference on Research, Innovation and Vision for the Future, pp. 71-80, IEEE, 2007.
- [2] T. GROSSMAN, and R. BALAKRISHNAN. *Pointing at trivariate targets in 3D environments*. In Proceedings of the SIGCHI conference on Human factors in computing systems, pp. 447-454, ACM, 2004.
- [3] T. HA, and W. WOO. *An empirical evaluation of virtual hand techniques for 3D object manipulation in a tangible augmented reality environment*. 2010 IEEE Symposium on 3DnUser Interfaces (3DUI), pp. 91-98, IEEE, 2010.
- [4] FITTS, P. M. *The measure of man: human factors in design*. Whitney Library of design New York, 1960.
- [5] J. ACCOT, and S. ZHAI. *Refining Fitts' law models for bivariate pointing*, in Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors C. Summary in Computing Systems, CHI'03. ACM Press, New York, NY, 2003, pp.193-200.
- [6] DREYFUSS, H. *The information capacity of the human motor system in controlling the amplitude of movement*, Journal of Experimental Psychology, 47, 1954, pp.381-391.
- [7] BROTHALER, Kevin. *OpenGL ES 2 for Android*. 1. vydání. The Pragmatic Bookshelf, 2013. ISBN 978-1-93778-534-5.
- [8] The Rise and Fall and Rise of Virtual Reality, *Drummond, Katie*, 2014 viděno 22. ledna, 2016 z <http://www.theverge.com/a/virtual-reality/intro>
- [9] PrioVR: Suit up. Game on., *YEI Technology*, Květen 2014 viděno 22. ledna, 2016 z <https://www.kickstarter.com/projects/yeitechnology/priovr-suit-up-game-on/posts/859068>
- [10] Geomagic® Touch™ X Haptic Device, *Geomagic*, viděno 22. ledna, 2016 z <http://www.geomagic.com/en/products/phantom-desktop/overview>
- [11] PrioVR: Suit up. Game on., *Moss, Richard*, Duben 2015 viděno 22. ledna, 2016 z <http://www.gizmag.com/hands-omni-haptic-glove-lets-gamers-feel-virtual-objects/37188/>
- [12] Leap Motion Developer portal, *Leap Motion*, viděno 22. ledna, 2016 z <https://developer.leapmotion.com/documentation/java/index.html>
- [13] Google cardboard, *Google*, Leden 2016 viděno 22. ledna, 2016 z <https://developers.google.com/cardboard/>
- [14] Android developer, *Google*, Leden 2016 viděno 22. ledna, 2016 z <http://developer.android.com/index.html>

Seznam použité literatury

- [15] AR Blog, *B.Jackson*, Květen 2016 viděno 25. května, 2016 z
<http://www.marxentlabs.com/what-is-virtual-reality-definition-and-examples/>
- [16] Google Cardboard, *Google*, Květen 2016 viděno 26. května, 2016 z
<https://vr.google.com/cardboard/>
- [17] HTC Vive, *HTC*, Květen 2016 viděno 25. května, 2016 z
<https://www.htcvive.com/eu/product/>
- [18] GearVR, *Samsung*, Květen 2016 viděno 26. května, 2016 z
<http://www.samsung.com/global/galaxy/wearables/gear-vr/>
- [19] Oculus Rift, *Oculus VR*, Květen 2016 viděno 26. května, 2016 z
<https://www.oculus.com/en-us/rift/>

Příloha A.

Screening dotazník

Screening

1. Vaše jméno(stačí křestní)

2. Trpíte nějakou oční vadou? (krátkozrakost, dalekozrakost, atd.) Pokud ano jakou (popřípadě jakými)

3. Zkoušel/a jste někdy VR(virtuální realitu - google cardboard,oculus, jiné) nebo jste byl/a někdy v 3D kině?

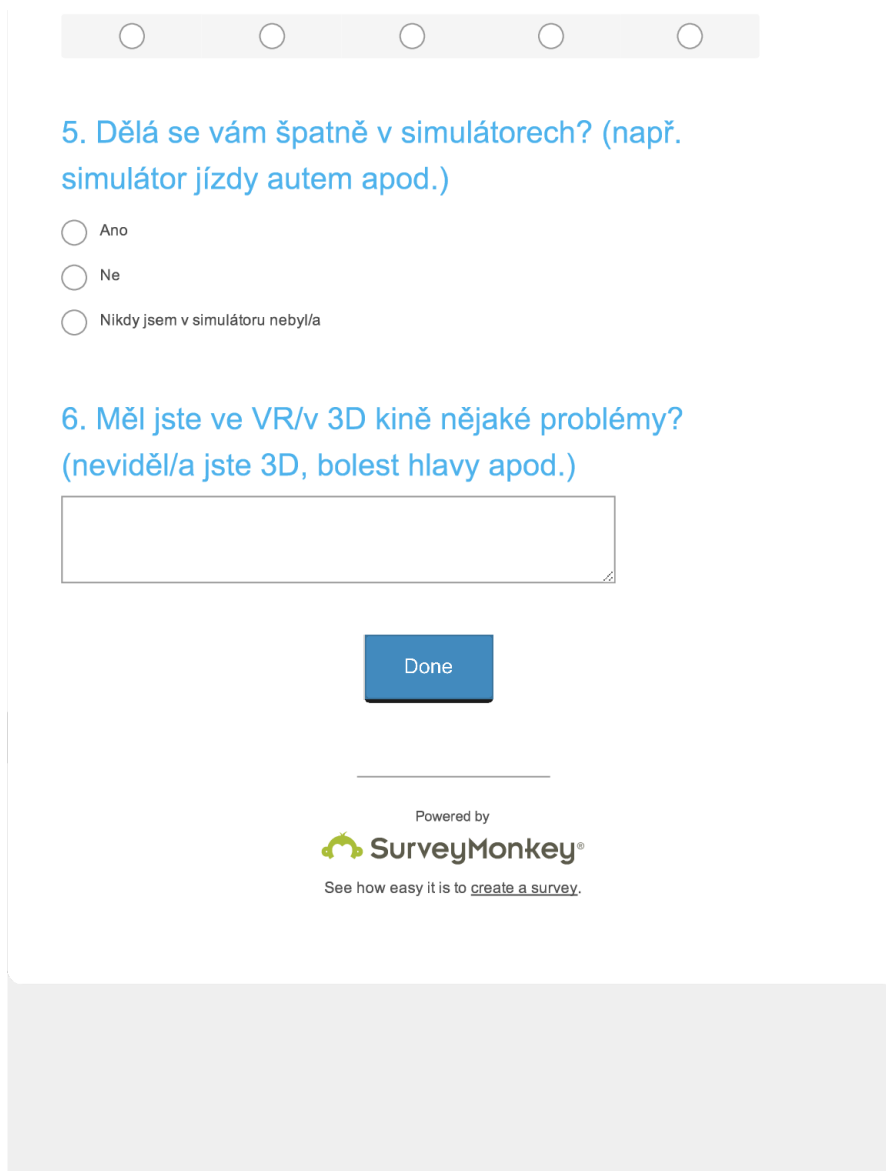
Ano

Ne

4. Pokud jste na předchozí otázku odpověděl/a ano. Jak moc s následujícím výrokem souhlasíte. VR mi nedělá dobře do takové míry, že jej musím okamžitě přestat používat.

Silně souhlasím Souhlasím Nevím Nesouhlasím Silně nesouhlasím

Obrázek 23. Screening dotazník - první strana



The image shows a survey interface with a progress bar at the top containing five circles. The first circle is filled, indicating the current question. Below the progress bar, there are two questions:

5. Dělá se vám špatně v simulátorech? (např. simulátor jízdy autem apod.)

Ano

Ne

Nikdy jsem v simulátoru nebyl/a

6. Měl jste ve VR/v 3D kině nějaké problémy? (neviděl/a jste 3D, bolest hlavy apod.)

Below question 6 is a text input field. At the bottom of the survey area is a blue button labeled "Done". Below the button, it says "Powered by" followed by the SurveyMonkey logo and the text "See how easy it is to [create a survey.](#)"

Obrázek 24. Screening dotazník - druhá strana

Příloha B.

Dotazník před testováním

Pre-questionnaire

1. Jaké je vaše pohlaví?

Muž

Žena

2. Jaký je váš věk?

3. Jaké je vaše nejvyšší dosažené vzdělání?

základní

středoškolské s maturitou

bakalářské

magisterské

doktorandské

4. Už jste někdy používal/a / zkoušel/a VR?
(CAVE, Google Cardboard, Oculus rift,...) Pokud ano, které, kde a na jak dlouho?

Obrázek 25. Dotazník před testováním - první strana

5. Znáte Leap Motion? Pokud ano zkoušel/a jste nějaké aplikace s Leap motion? Jestli ano, které a na jak dlouho?

6. Hrajete konzolové hry? (XboxOne, PS4)

- Ano
- Ne

7. Pokud jste odpověděli ano na předchozí otázku kolik hodin denně pak strávíte hraním na konzoli?

Done

Powered by

 SurveyMonkey®

See how easy it is to [create a survey](#).

Obrázek 26. Dotazník před testováním - druhá strana

Příloha C.

Dotazník pro Leap Motion

Leap motion - mid-questionnaire

1. Jak se vám manipulovalo s rukou? Měli jste nějaké obtíže? Pokud ano, jaké a s čím.

Done

Powered by
 SurveyMonkey®
See how easy it is to [create a survey](#).

Obrázek 27. Leap Motion dotazník

Příloha D.

Dotazník pro herní ovladač

Ovladač - mid-questionnaire


1. Jaký typ kurzoru preferujete a proč? (kurzor fixně před kamerou nebo volně)

2. Rychlost pohybu kurzoru mi přišla vyhovující.

Silně souhlasím Souhlasím Nejsm si jistý/á Nesouhlasím Silně nesouhlasím

3. Jak se vám manipulovalo s kurzorem pomocí ovladače? Měli jste nějaké obtíže? Pokud ano, jaké a s čím.

Done

Powered by
 SurveyMonkey®
See how easy it is to [create a survey](#).

Obrázek 28. Dotazník pro herní ovladač

Příloha E.

Dotazník po testování

Post-questionnaire

1. Leap motion(ruka) - Tato metoda mi dovolila rychle pracovat

Silně souhlasím Souhlasím Nevím Nesouhlasím Silně nesouhlasím

2. Leap motion(ruka) - Tato metoda pro mě byla nepohodlná

Silně souhlasím Souhlasím Nevím Nesouhlasím Silně nesouhlasím

3. Leap motion(ruka) - Tato metoda mi dovolila být si sebejistý při odpovědi

Silně souhlasím Souhlasím Nevím Nesouhlasím Silně nesouhlasím

4. Herní ovladač (fixní kurzor) - Tato metoda mi dovolila být si sebejistý při odpovědi

Silně souhlasím Souhlasím Nevím Nesouhlasím Silně nesouhlasím

5. Herní ovladač (fixní kurzor) - Tato metoda pro

Obrázek 29. Dotazník po testování - první strana

mě byla nepohodlná

Silně souhlasím	Souhlasím	Nevím	Nesouhlasím	Silně nesouhlasím
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

6. Herní ovladač (fixní kurzor) - Tato metoda mi dovolila rychle pracovat

Silně souhlasím	Souhlasím	Nevím	Nesouhlasím	Silně nesouhlasím
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

7. Herní ovladač (volný kurzor) - Tato metoda mi dovolila být si sebejistý při odpovědi

Silně souhlasím	Souhlasím	Nevím	Nesouhlasím	Silně nesouhlasím
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

8. Herní ovladač (volný kurzor) - Tato metoda pro mě byla nepohodlná

Silně souhlasím	Souhlasím	Nevím	Nesouhlasím	Silně nesouhlasím
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

9. Herní ovladač (volný kurzor) - Tato metoda mi dovolila rychle pracovat

Silně souhlasím	Souhlasím	Nevím	Nesouhlasím	Silně nesouhlasím
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

10. Které z vyzkoušených technik výběru objektu preferujete a proč? (herní ovladač – fixní kurzor,

Obrázek 30. Dotazník po testování - druhá strana

herní ovladač – volně kurzor, leap motion - ruka)
seřadte vyzkoušené techniky podle preference (od
nejvíce preferované po nejméně)

Done

Powered by

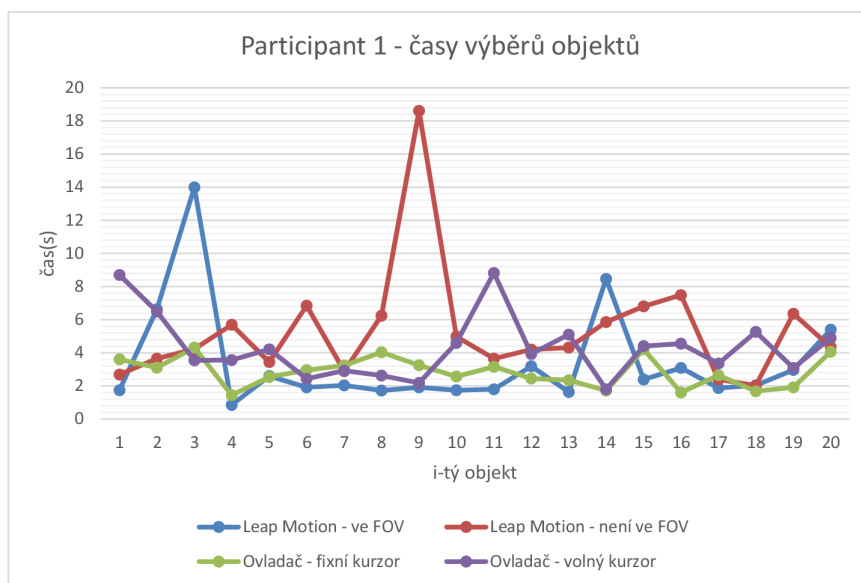
 SurveyMonkey®

See how easy it is to [create a survey](#).

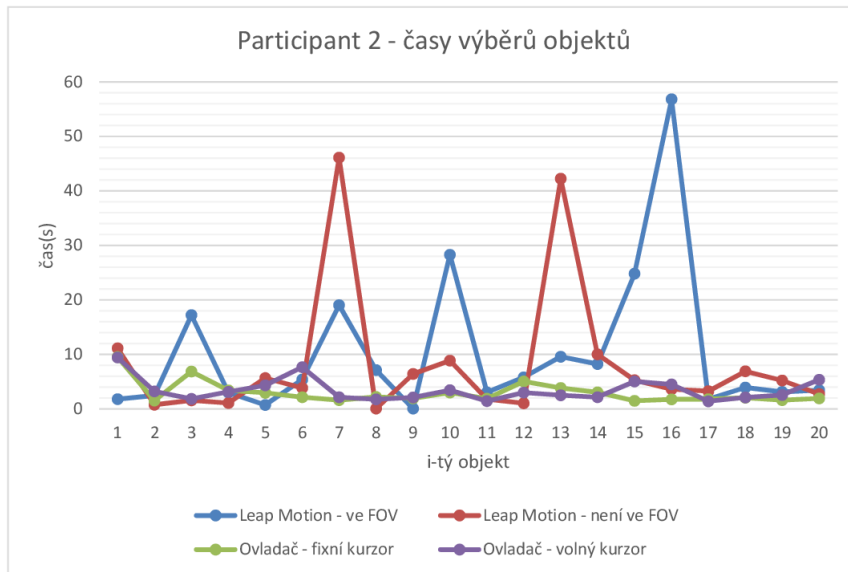
Obrázek 31. Dotazník po testování - třetí strana

Příloha F.

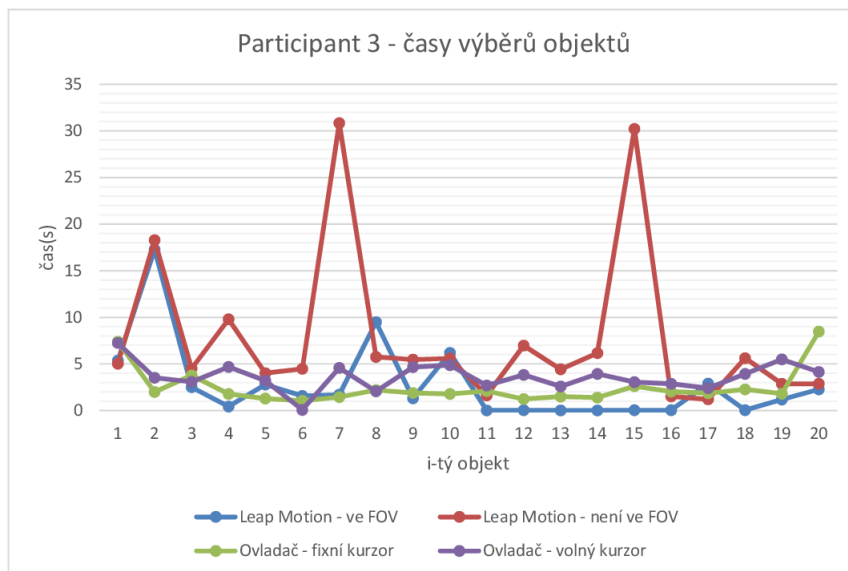
Grafy výsledků testování jednotlivých participantů



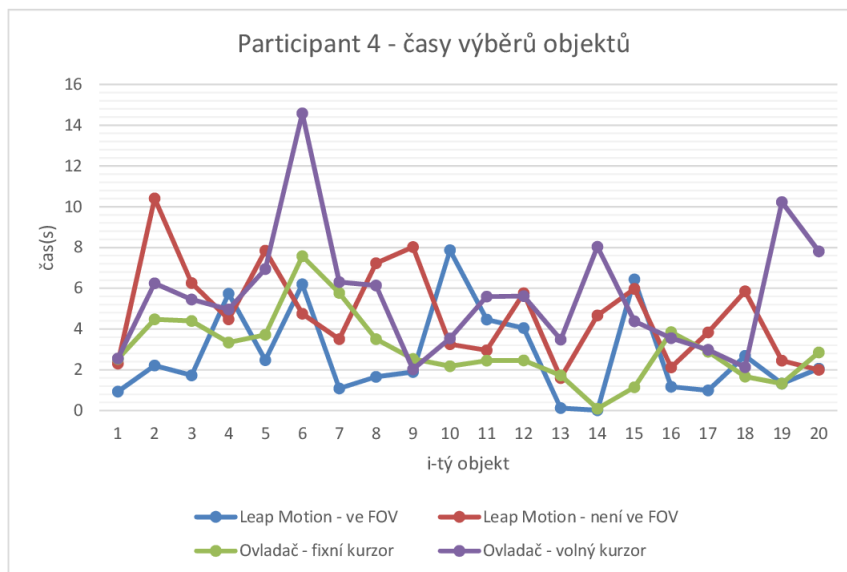
Obrázek 32. Graf hodnot časů pro Participanta 1



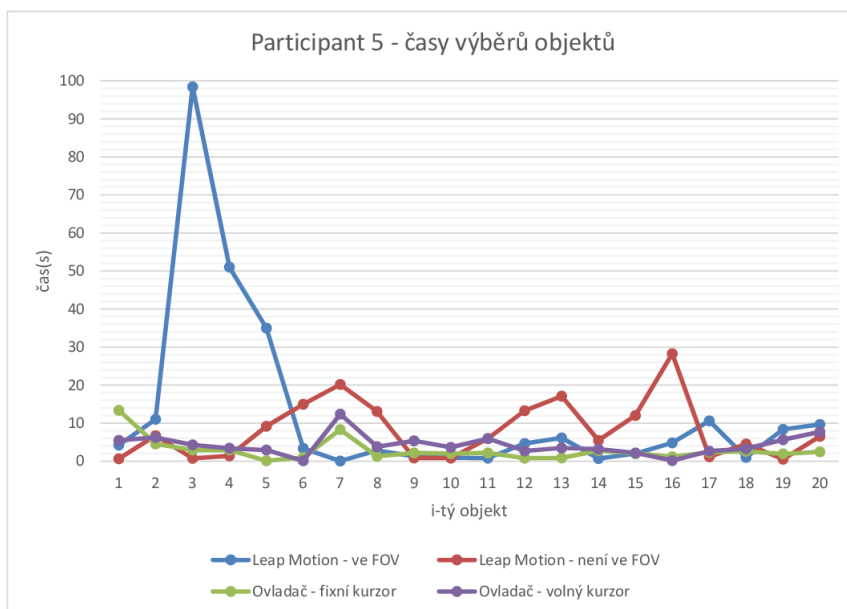
Obrázek 33. Graf hodnot časů pro Participanta 2



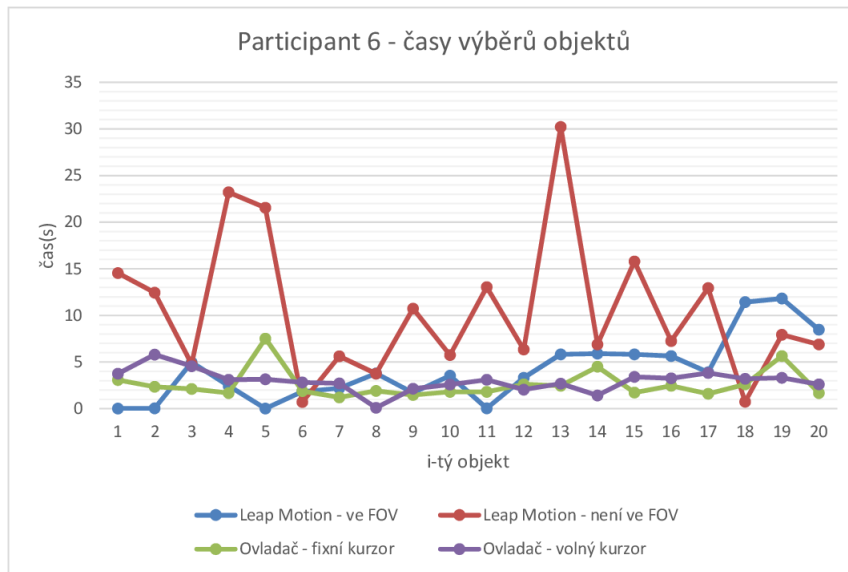
Obrázek 34. Graf hodnot časů pro Participanta 3



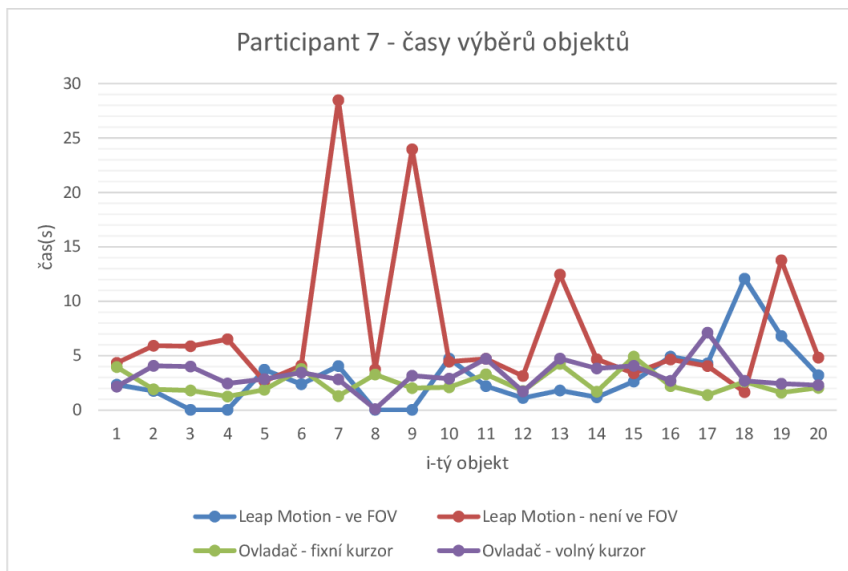
Obrázek 35. Graf hodnot časů pro Participanta 4



Obrázek 36. Graf hodnot časů pro Participanta 5



Obrázek 37. Graf hodnot časů pro Participanta 6



Obrázek 38. Graf hodnot časů pro Participanta 7

Příloha G.

Obsah příloženého CD

/data

_____/logy ... logovaná data participantů

_____/dotazniky.txt ... internetové linky na vyplněné dotazníky

_____/vysledky.xlsm .. zpracovaná data z logů

/src

_____/cardboard-java-master-controller ... prototyp pro herní ovladač

_____/cardboard-java-master-leap-motion ... prototyp pro Leap Motion

/text

_____/latex ... bakalářská práce v latexu

_____/BP.pdf ... text bakalářské práce

/readme.txt