



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA INFORMAČNÍCH TECHNOLOGIÍ

FACULTY OF INFORMATION TECHNOLOGY

ÚSTAV POČÍTAČOVÉ GRAFIKY A MULTIMÉDIÍ

DEPARTMENT OF COMPUTER GRAPHICS AND MULTIMEDIA

ZAŘÍZENÍ PRO INTERAKCI V ROZŠÍŘENÉ REALITĚ

INTERACTION DEVICE FOR AUGMENTED REALITY

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. PETER PAVLENKO

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. VÍTĚZSLAV BERAN, Ph.D.

BRNO 2017

Vysoké učení technické v Brně - Fakulta informačních technologií

Ústav počítačové grafiky a multimédií

Akademický rok 2016/2017

Zadání diplomové práce

Řešitel: **Pavlenko Peter, Bc.**

Obor: Počítačová grafika a multimédia

Téma: **Zařízení pro interakci v rozšířené realitě
Interaction Device for Augmented Reality**

Kategorie: Uživatelská rozhraní

Pokyny:

1. Seznamte se s problematikou rozšířené reality a sledování rukou uživatele pomocí speciálních zařízení (např. Leap Motion). Prostudujte metody pro prostorovou kalibraci více zařízení.
2. Navrhněte systém, který bude lokalizovat zobrazovací zařízení (brýle pro rozšířenou realitu) v prostoru, zobrazí virtuální objekty do prostředí a umožní interakci s těmito objekty. K systému navrhněte postup pro prostorovou kalibraci použitých zařízení (brýle, kamera a Leap Motion).
3. Vyberte vhodné existující nástroje a navržený systém (včetně kalibračního postupu) implementujte.
4. Navrhněte a naprogramujte experimentální aplikaci, která bude demonstrovat vlastnosti vytvořeného systému. Proveďte experimenty na stabilitu a přesnost systému.
5. Vytvořte plakát a krátké video prezentující klíčové výsledky vašeho řešení.

Literatura:

- M. Sonka, V. Hlaváč, R. Boyle. *Image Processing, Analysis, and Machine Vision, CL-Engineering*, ISBN-13: 978-0495082521, 2007.
- G. R. Bradski, A. Kaehler. *Learning OpenCV: Computer Vision with the OpenCV Library*, O'Reilly Media, Inc. 2008.
- Dále dle pokynu vedoucího.

Při obhajobě semestrální části projektu je požadováno:

- Body 1, 2 a částečně bod 3.

Podrobné závazné pokyny pro vypracování diplomové práce naleznete na adrese

<http://www.fit.vutbr.cz/info/szz/>

Technická zpráva diplomové práce musí obsahovat formulaci cíle, charakteristiku současného stavu, teoretická a odborná východiska řešených problémů a specifikaci etap, které byly vyřešeny v rámci dřívějších projektů (30 až 40% celkového rozsahu technické zprávy).

Student odevzdá v jednom výtisku technickou zprávu a v elektronické podobě zdrojový text technické zprávy, úplnou programovou dokumentaci a zdrojové texty programů. Informace v elektronické podobě budou uloženy na standardním nepřepisovatelném paměťovém médiu (CD-R, DVD-R, apod.), které bude vloženo do písemné zprávy tak, aby nemohlo dojít k jeho ztrátě při běžné manipulaci.

Vedoucí: **Beran Vítězslav, Ing., Ph.D., UPGM FIT VUT**

Datum zadání: 1. listopadu 2016

Datum odevzdání: 24. května 2017

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
Fakulta informačních technologií
Ústav počítačové grafiky a multimédií
612 66 Brno, Štětčova 2



doc. Dr. Ing. Jan Černocký
vedoucí ústavu

Abstrakt

Táto diplomová práca sa zaoberá interaktívnou rozšírenou realitou. Jej cieľom je navrhnuť, vytvoriť a otestovať zariadenie, ktoré umožní interakciu užívateľa s rozšírenou realitou. Najprv rozoberá rozšírenú realitu, zariadenia na jej zobrazovanie a potrebné kalibračné metódy. Potom, na základe nadobudnutých poznatkov, ukazuje návrh a stavbu niekoľkých prototypov takéhoto zariadenia. Na konci sa venuje experimentom na overenie správnosti návrhu.

Abstract

This master thesis explores interactive augmented reality. The aim is to design, create and test device, which allows interaction between user and augmented reality. First analyzes augmented reality, devices for its displaying and necessary calibration methods. Then, on the basis of acquired knowledge, shows design and construction of few prototypes of device like this. Finally it shows experiments to test correctness of the concept.

Kľúčové slová

Rozšírená realita, AR, interakcia, Vuzix, Oculus Rift, Kalibrácia, ARToolkit, Unity 3D, Leap Motion

Keywords

Augmented reality, AR, interaction, Vuzix, Oculus Rift, Calibration, ARToolkit, Unity 3D, Leap Motion

Citácia

PAVLENKO, Peter. *Zařízení pro interakci v rozšířené realitě*. Brno, 2017. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta informačních technologií. Vedoucí práce Beran Vítězslav.

Zařízení pro interakci v rozšířené realitě

Prehlásenie

Prehlasujem, že som túto diplomovú prácu vypracoval samostatne pod vedením pána Ing. Vítězslava Berana, Ph.D. Uviedol som všetky literárne pramene a publikácie, z ktorých som čerpal.

.....
Peter Pavlenko
22. mája 2017

Podakovanie

Rád by som poďakoval vedúcemu mojej diplomovej práce Ing. Vítězslavu Beranovi, Ph.D., za poskytnutie vybavenia, ústretový prístup a cenné rady, ktoré som pri písaní tejto práce využil.

Obsah

1	Úvod	3
2	Rozšírená realita a zariadenia umožňujúce rozšírenú realitu	4
2.1	Rozšírená realita	4
2.2	Prehľad zariadení umožňujúcich rozšírenú realitu	6
2.3	Stereoskopické kamery	9
2.4	Vstupné zariadenia	11
2.5	Podobné riešenia	12
3	Vyhľadávanie, registrácia a vykresľovanie v AR	14
3.1	Rovinné značky a vzory	14
3.2	Vykresľovanie v AR	17
4	Kalibrácia	18
4.1	Kalibrácia kamery	18
4.2	Kalibrácia priehľadnej obrazovky voči kamere	19
4.3	Pužitie kalibračných dát v Unity 3D	21
5	Interakcia v rozšírenej realite	23
5.1	Definícia cieľa a rozbor zadania	23
5.2	Výber vhodných zariadení	24
5.3	Návrh prototypov	25
5.4	Rozloženie prvkov zariadení	26
5.5	Návrh softwarovej časti riešenia	29
6	Zariadenie na interaktívnu AR	33
6.1	Prototyp 1	33
6.2	Prototyp 2	37
6.3	Prototyp 3	37
6.4	Návrh experimentov	40
7	Vyhodnotenie experimentov	43
7.1	Test kalibrácie	43
7.2	Test prototypu 1	43
7.3	Test prototypu 3	44
8	Záver	46
	Literatúra	47

Prílohy	49
A Obsah DVD	50
B Značka Hiro	51
C Značka optickej kalibrácie	52

Kapitola 1

Úvod

Odvetvie rozšírenej reality spolu s virtuálnou realitou zažíva v posledných rokoch nevídaný rozmach, aj keď rozšírená realita ako taká je tu už niekoľko desiatok rokov. Celé tie roky sa osobné zariadenia pre interakciu s rozšírenou a virtuálnou realitou zdali ako hudba ďalekej budúcnosti a zostávali len na pôde univerzít a výskumných laboratórií. Vedci stále narážali na problémy nedostatočného výkonu pre spracovanie obrazu v reálnom čase, alebo ich brzdili technologické nedostatky. Pokiaľ sa nejaké zariadenia vyrobili tak boli drahé a pre obyčajného človeka absolútne nedostupné.

Pred niekoľkými rokmi sa však výkon počítačov a mobilov zvýšil natoľko, že rozšírenú realitu dokáže bez problémov zobrazit každý smartphone s kamerou. Vďaka mnohým vydaným SDK už nebola rozšírená realita len vecou vedcov, ale sprístupnila sa bežným domácim vývojárom. To prinieslo vlnu aplikácií využívajúcich rozšírenú realitu vo všetkých možných odvetviach.

Technologický pokrok umožnil vyrábať priehľadné displeje a nastúpila éra okuliarov na rozšírenú realitu. Medzi jej prvých známych predstaviteľov patrili Google Glass. Hoci boli veľmi slávne, neboli používané až v takej miere ako sa očakávalo a preto Google ich vývoj ukončil. Mnohí výrobcovia však začali vyrábať podobné okuliare s označením smartglasses ako doplnky k mobilným telefónom. Posledný ambiciózný projekt v rozšírenej realite je určite Microsoft HoloLens, ktorý v dobe písania tejto práce už predáva verziu Developer Kit.

Logické členenie tejto práce sa skladá zo siedmich kapitol vrátane úvodu a záveru. Prvé tri časti vlastného textu sa zaoberajú opisom a vysvetlením teoretických poznatkov. Postupne v nich opíšem rozšírenú realitu vrátane jej histórie a používania. Potom predstavím zariadenia, s ktorými som mal možnosť pracovať v tejto práci a spomeniem už existujúce riešenia. Ďalej predstavím používané kalibračné postupy.

V nasledujúcej časti sa venujem rozboru zadania práce a z toho vyplývajúcich problémov. Postupne navrhнем riešenia týchto problémov v troch prototypoch môjho zariadenia na interakciu s rozšírenou realitou.

Ďalšia kapitola opisuje už samostatnú realizáciu navrhnutých riešení a predstaví výsledné produkty tejto práce. Na konci kapitoly ešte navrhнем experimenty na overenie funkčnosti mojich riešení.

V záverečnej časti už len v stručnosti zhrniem vykonané experimenty. A navrhнем riešenia odhalených problémov.

Kapitola 2

Rozšírená realita a zariadenia umožňujúce rozšírenú realitu

V tejto kapitole najprv stručne predstavím pojem rozšírená realita, zhrniem históriu tohto odvetvia informatiky a predstavím niekoľko známych príkladov využitia rozšírenej reality v praxi. [2.1](#)

Potom vyberiem a opíšem niekoľko zaujímavých zariadení, ktoré umožňujú zobrazovanie rozšírenej reality [2.2](#). Tiež predstavím kamery, vďaka ktorým počítač vie kam má dané objekty vykreslovať [2.3](#) a tiež zariadenia a spôsoby komunikácie s počítačom [2.4](#).

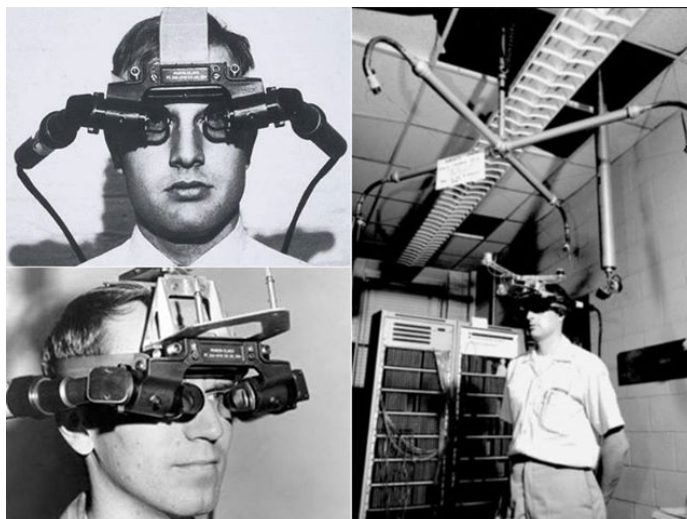
Nakoniec predstavím zaujímavé už vytvorené riešenia, ktoré sa približujú k tomu čo by som chcel v tejto práci dosiahnuť.

2.1 Rozšírená realita

Rozšírená realita (AR z angl. augmented reality) je variáciou virtuálneho prostredia, alebo tiež v poslednej dobe veľmi populárnej virtuálnej reality (VR z angl. virtual reality). Zatiaľ čo VR umiestňuje užívateľa do úplne umelého prostredia a neumožňuje mu vnímať svet okolo seba, AR umožňuje užívateľovi vidieť reálny svet, do ktorého vkladá virtuálne prvky v reálnom čase [\[4\]](#).

História

Prvý prototyp AR vytvoril Ivan Sutherland spoločne s jeho študentmi Harvardskej univerzity a Univerzity v Utahu v 60. rokoch minulého storočia. Bol to prvý displej umiestnený na hlave takzvaný Head mounted display (HMD) [2.1](#). Následne v roku 1975 Myron Krueger vytvoril laboratórium rozšírenej reality nazývané Videoplace. Neskôr začiatkom 90. rokov bol vytvorený pojem augmented reality použitý vedcami v Boeing Corporaation, ktorí s ňou experimentovali aby pomohli pracovníkom pri zapájaní prístrojov. O niekoľko rokov sa začali mobilné zariadenia znižovať ich výkon narástol na toľko aby podporovali vytvorenie prvého prototypu mobilného AR systému (MARS), ktorý sprostredkoval 3D grafického sprievodcu s informáciami o budovách artefaktoch, ktoré používateľ vidí. Koncom 90. rokov už bola rozšírená realita značnou oblasťou výskumu, konferencií a workshopov [\[13\]](#). Taktiež bolo možné jednoducho vyvíjať AR aplikácie vďaka a voľne šíriteľným vývojovým prostrediam ako napríklad ARToolKit alebo Wikitude.

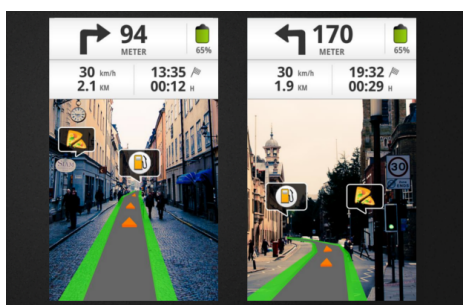


Obr. 2.1: Prvý Head mounted display (HMD)¹

Príklady využitia

V dnešnej dobe veľmi výkonných mobilných zariadení a počítačov je AR prístupná takmer každému. Vďaka tomu sa jej začalo venovať mnoho vývojárov a vzniká spektrum rozmanitých aplikácií využiteľných v rôznych odvetviach. Počnúc priemyslom (plánovanie dráhy robota, kontrola kvality, modelovanie súčiastok), cez medicínske a armádne použitie (tréning), po zábavu, vzdelávanie a umenie.

Z bežného využitia je celkom populárna mobilná navigácia, napríklad Wikitude Navigation, ktorá vykresľuje informácie o okolí a trasu priamo do obrazu snímaného kamerou smartfónu alebo tabletu [7]. Ďalšou používanou aplikáciou sú turistickí sprievodcovia informujúci o pamiatkach a budovách v dohľade.



(a) Wikitude



(b) Mercedes-Benz

Obr. 2.2: Navigácie s využitím rozšírenej reality²

Odvetvie zábavy a vzdelávaní pozná mnoho hier či iných aplikácií založených na AR. Hry vkladajú herné prvky priamo do hráčovho okolia vďaka kamere, GPS a kompasu. Najznámejším reprezentantom je Pokémon GO, hra ktorá rýchlo získala pozornosť a prinútila

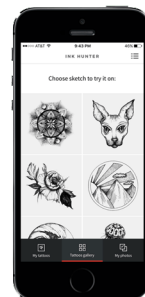
¹<http://desordemnosmiolos.blogspot.sk/2013/07/realidade-virtual-parte-1.html>

²<http://android.appstorm.net/roundups/utilities-roundups/30-apps-to-digitize-your-car-journey/>
<http://www.pcworld.com/article/2050509/the-same-augmented-reality-that-makes-games-more-immersive-will-make-in-car-navigation-more-vivid.html>

mnoho ľudí výjsť do ulíc a chytať pokémonov. Pokémon GO zobrazuje pokémonov s využitím GPS a kamery.[15]



(a) Pokémon GO



(b) InkHunter

Obr. 2.3: Hra a vzdelávacia aplikácia ³

AR môže pomôcť pri vizualizácii stavebných projektov. Počítačom generované obrázky návrhov budov môžu byť umiestnené priamo do prostredia kde majú stáť. Prípadne môže pomáhať pracovníkom pri práci (Daqri Smart Helmet), alebo pri návrhu a oprave celých ulíc (CityViewAR).



(a) Daqri Smart Helmet



(b) CityViewAR

Obr. 2.4: AR v architektúre a priemysle ⁴

2.2 Prehľad zariadení umožňujúcich rozšírenú realitu

Najdostupnejšími a najjednoduchšími zariadeniami na AR sú mobilné zariadenia. Medzi zložitejšie a značne drahšie patria HMD, alebo tiež okuliare. Pozostávajú z priehľadného displeja umiestneného na sklách okuliarov a prípadne kamery. Delíme ich na 2D a 3D podľa toho či majú displej na oboch očiach a umožňujú tak používateľovi vnímať aj hĺbku scény (napr. Vuzix 2.6) alebo len na jednom (napr. Google Glass 2.5).

³<http://www.digitaltrends.com/mobile/best-augmented-reality-apps/>

⁴<http://www.businessinsider.com/what-is-the-daqri-smart-helmet-2016-4>
<https://play.google.com/store/apps/details?id=com.hitlabnz.equar>

2D okuliare

Majú zvyčajne len jeden displej a preto neumožňujú zobrazíť 3D objekt. Využívajú sa skôr na zobrazovanie informácií ako objektov. Napríklad informácie o prostredí, správy, ovládanie mobilných zariadení (tiež označované ako smartglasses). Medzi najznámejších reprezentantov patria Google Glass [10], Vuzix M300 a mnoho ďalších.



Obr. 2.5: Prehľad 2D okuliarov ⁵

3D okuliare

Obsahujú displej pre každé oko a vďaka tomu môžu zobrazovať 3D objekty umiestnené do priestoru. To otvára mnohé možnosti využitia. Ak sa k tomu pridá vyhľadávanie objektov je možné napríklad zobrazovať virtuálnu TV na stene, alebo správy o počasí pri pohľade z okna, či hrať videohru na stole v obývačke.

Vuzix STAR 1200XLD

Vuzix STAR 1200XLD je optický priehľadný okuliarový systém umožňujúci rozšírenú realitu. Spájajú sa v ňom dva priehľadné displeje, HD kamera, snímač polohy hlavy, slúchadlá umožňuje pripojenie prostredníctvom HDMI.

Okuliare Vuzix STAR 1200XLD využívajú Vuzix Quantum Optics aby priniesli priehľadné displeje umožňujúce vidieť reálny svet priamo cez displej s video obsahom v zornom poli. Displeje sú schopné zobrazíť 2D alebo 3D obsah v 76 palcovom virtuálnom displeji akoby vo vzdialenosti 10 stôp (3m) . Množstvo nastavení je prístupné pomocou pripojeného ovládača. Zariadenie umožňuje fyzicky nastaviť uhol sklonu a tiež vzdialenosť očí.

Kvôli rozšírenej realite je zariadenie STAR 1200XLD vybavené 1080p HD kamerou umiestnenou tesne nad polohou očí. Výkonná kamera sa nezávisle pripája k PC pomocou USB portu a Windows ju vníma ako štandardnú webkameru. Kamera sa primárne využíva na vyhľadávanie značiek v priestore pre zobrazenie objektov rozšírenej reality.

Polohový senzor zvyšuje použiteľnosť týchto okuliarov pre aplikácie rozšírenej reality ešte viac. Pripája sa priamo k okuliarom a zaznamenáva natočenie hlavy v troch osách. Vuzix poskytuje tiež Windowsovú knižnicu (DLL) a jednoduché príklady použitia. Väčšina kľúčových komponentov tohto systému (displeje, kamera, slúchadlá) spolupracujú so systémom Windows bez nutnosti inštalácie špecializovaných programov čo zvyšuje použiteľnosť tohto systému.⁶

⁵<https://www.wareable.com/headgear/the-best-smartglasses-google-glass-and-the-rest>
<http://www.zive.sk/clanok/101701/predaj-okuliarov-google-glass-v-sucasnej-podobe-konci-buducnost-je-neista>

⁶<https://www.vuzix.com/Products/LegacyProduct/6>



Obr. 2.6: 3D okuliare Vuzix STAR 1200XLD ⁷

Hololens

Microsoft prišiel s vlastnou verziou systému pre rozšírenú realitu s názvom HoloLens. Základom sú priehľadné holografické šošovky používajúce pokročilý projekčný systém pre zobrazenie hologramov s veľmi malou odozvou. Medzi vstupné senzory patria štyri kamery pre skúmanie prostredia, hĺbková kamera, 2-megapixelová foto / HD video kamera, štyri mikrofóny a senzor okolitého osvetlenia. Je to plne funkčný počítač s operačným systémom Windows 10 bez nutnosti pripojenia k inému zariadeniu (PC, Smartphone) ovládaný hlasom a gestami užívateľa. [12]



Obr. 2.7: Microsoft HoloLens ⁸

⁷<https://www.vuzix.com/Products/LegacyProduct/6>

⁸<https://www.microsoft.com/en-us/hololens>

VR Headssety

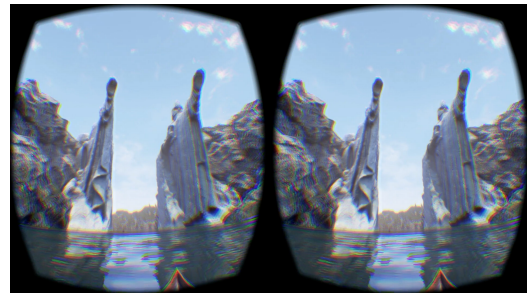
Ďalšou možnosťou je využiť nepriehľadné okuliare bežne používané na zobrazovanie virtuálnej reality a premietiť na nich obraz z kamier umiestnených na hlave a emulovať tak obraz vnímaný očami.

Oculus Rift Development Kit 2

Oculus Rift DK 2 je HMD zariadenie na virtuálnu realitu. Je zložené z displeja a dvoch šošoviek. Displej má veľkosť 5.70 palca a Full HD OLED rozlíšenie 960x1080 (na jedno oko), zobrazovaciu frekvenciu až do 70Hz a zobrazuje stereoskopický obraz. Táto veľkosť však neumožňuje pokryť celé zorné pole človeka. Čiastočným riešením tohto problému sú dve špeciálne šošovky ktoré opticky rozširujú zorné pole na 110°. [3]



(a) Oculus Rift DK2



(b) Zobrazenie na displeji oculusu

Obr. 2.8: Oculus rift a jeho zobrazenie ⁹

2.3 Stereoskopické kamery

Pre správne umiestnenie virtuálnych objektov do reálneho priestoru je potrebné vnímať okolie AR systému. Vhodným prostriedkom môže byť napríklad kamera. V niektorých prípadoch je lepšie použiť stereoskopickú kameru, ktorá umožní získať aj hĺbkové dáta. Stereoskopická kamera tiež nájde uplatnenie pri využití VR headsetu.

ZED Kamera

Stereoskopická 4MP kamera pre záznam 3D videa. Umožňuje zisťovanie hĺbky až do 20metrovej vzdialenosti. Obsahuje tiež určovanie pozície vďaka 6-DOF senzorum s presnosťou na 1mm a 0,1°. Vyhotovuje širokouhlý záznam v šírke 110° s pomerom strán 16:9. ¹⁰

⁹<http://www.theriftarcade.com/wp-content/uploads/2014/09/The-Great-River-Oculus-Rift-1.jpg>

¹⁰<https://www.stereolabs.com/zed/specs/>

Kvalita	FPS	Rozlíšenie
2.2K	15	4416x1242
1080p	30	3840x1080
720p	60	2560x720

Tabuľka 2.1: Tabuľka rozlíšení a frekvencií snímania kamery ZED.



Obr. 2.9: Kamera ZED ¹¹

DUO kamera

DUO MC je kompaktný obrazový senzor s štandardným USB rozhraním. Jeho rozmery a vysoký počet snímok za sekundu umožňuje jeho široké využitie. Najvyššie možné rozlíšenie záznamu je 752x480 rýchlosťou 56FPS. Šírka záznamu jež 170°. ¹²

56 FPS	752x480
62 FPS	640x480
123 FPS	640x240
240 FPS	640x120
93 FPS	320x480
184 FPS	320x240
360 FPS	320x120

Tabuľka 2.2: Tabuľka rozlíšení a frekvencií snímania kamery DUO 3D.



Obr. 2.10: Kamera DUO MC ¹³

¹¹<https://www.stereolabs.com/zed/specs/>

¹²<https://duo3d.com/product/duo-mc-lv1>

2.4 Vstupné zariadenia

Na komunikáciu s AR systémom bude potrebné zakomponovať aj niektoré zo vstupných zariadení. Vstupom by mohol byť napríklad hlas, alebo pohyb ruky.

Leap Motion

Je to malé USB periférne zariadenie navrhnuté na umiestnenie na stôl smerom hore. V dobe virtuálnej reality Leap Motion prichádza s projektom Orion a prispôsobuje senzor aj na použitie s okuliarmi na virtuálnu realitu.



Obr. 2.11: Leap Motion ¹⁴

Leap Motion používa infračervené premietanie na určenie pozície predefinovaného objektu v limitovanom priestore v reálnom čase. Technicky je známych veľmi málo detailov o používaných algoritmoch kvôli patentu a obchodnej známke spoločnosti. Z rozboru zariadenia je však známe, že obsahuje tri infračervené diódy v spojení s dvoma infračervenými kamerami. Vďaka tomu toto zariadenie môžeme klasifikovať ako optické sledovacie zariadenie založené na princípoch stereoskopického videnia.

Podľa oficiálnych informácií, software Leap Motion analyzuje objekty pozorované v zornom poli zariadenia. Rozpoznáva ruky, prsty a nástroje, zaznamenáva diskretnú pozíciu, gestá a pohyby. Zorné pole zariadenia je obrátený ihlan nad telom Leap Motion. Efektívna vzdialenosť sa pohybuje medzi 25 až 600 milimetrov nad zariadením. Senzor je sprístupnený cez viaceré API s podporou množstva programovacích jazykov ako sú C++, Python, C#, Java, atď. Pozície rozoznaných objektov sú získavané z API a sú reprezentované ako karteziánske a sférické súradnice v snímanom priestore vzhľadom k senzoru. Je potrebné spomenúť, že vzorkovacia frekvencia zariadenia je nestála, nedá sa nastaviť a výrazne kolíše.[8]

¹³<https://duo3d.com/product/duo-mc-lv1>

¹⁴<http://www.alphr.com/peripherals/32310/leap-motion-controller-review>

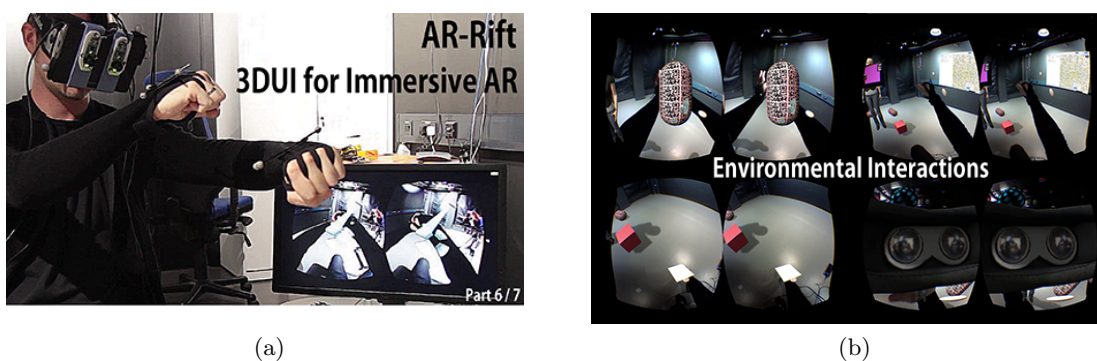
2.5 Podobné riešenia

Pri štúdiu problematiky som narazil na podobné riešenia, ktorými by som sa rád inšpiroval. Najdôležitejšími z nich sú zaujímavý nízko nákladový projekt Willa Steptoa s názvom AR-RIFT a tiež svetovo známy kúsok od Microsoftu Hololens.

AR-RIFT

V roku 2014 zverejnil Dr. William Steptoe na svojom blogu zariadenie na rozšírenú realitu, ktoré zostrojil. AR-Rift je zariadenie umiestnené na hlave s video priehľadným AR displejom pozostávajúce z nízko nákladových, komerčne dostupných komponentov. Obsiahly popis metodológie návrhu, stavby a kalibrácie, vrátane limitácií je umiestnený na stránke ¹⁵. Displej poostáva z VR HMD Oculus Rift DK1 s dvoma modifikovanými webkamerami Logitech C310 tvoriacimi širokouhlú stereoskopickú kameru. Rift DK1 obsahuje 7“ RGB LCD panel s rozlíšením 1280x800 a obnovovacou frekvenciou 60Hz. Stereoskopické zobrazenie je dosiahnuté vykreslovaním obrázkov ľavého a pravého oka na polovicách panela s rozlíšením 640x800 pixelov pre oko. Dve asférické šošovky umožňujú rozšíriť zorné pole na 90° horizontálne a 110° vertikálne. Každá šošovka sa sústreďuje na polovicu displeja, ktorý je vnímaný približne vo vzdialenosti 3.66m.

Optické a technické špecifikácie kamier sú približne rovnaké ako špecifikácia Riftu DK1. Rozlíšenie záznamu je 1280x960. Šošovky kamier boli nahradené šošovkami poskytujúcimi 120° zorné pole, čo je mierne viac ako zorné pole Oculusu. V špecifikácii kamier je uvedené, že pracujú frekvenciou 30FPS, ale sú spoľahlivo schopné zvládnuť aj 45FPS. Autor sa zameriava na nízko nákladovosť a preto nepoužíva drahé špecializované kamery. Sú použité zrkadlové značky, ktoré sú vyhľadávané NaturalPoint OptiTrack optickým systémom s dvanástimi Flex 3 kamerami zaznamenávajúcimi pracovný priestor s rozmermi 6x4x3m. Hlavným dôvodom je 6 stupňov voľnosti (6DoF) polohy a natočenia HMD, ktoré je posielané prostredníctvom UDP do frameworku vytvoreného s použitím Unity 4. [11].



Obr. 2.12: Prototyp od Williama Steptoa ¹⁶

Microsoft Hololens

Hololens je ako som už spomínal v popise zariadení ambicióznym projektom Microsoftu na okuliare zmiešanej reality (ako to nazýva Microsoft) bežiacim s OS Windows 10. Bol ohlásený

¹⁵<http://willsteptoe.com/post/66968953089/ar-rift-part-1>

¹⁶<http://willsteptoe.com/post/66968953089/ar-rift-part-1>

v januári 2015 a od 30. marca 2016 je možné zakúpiť si vývojársku verziu tohto HMD počítača za 3000\$. V októbri 2016 ohlásili predaj setu na komerčné účely za 5000\$. [2]

Je to HMD pozostávajúci z obruče, ktorá užívateľovi obopína hlavu a obsahuje v sebe všetky súčiastky počítača. V prednej časti sú spomínané senzory a displeje. Po nasadení sa zariadenie musí kalibrovať a určí sa vzdialenosť zreničiek. V súčasnosti je dostupných mnoho zaujímavých aplikácií, ktoré odhaľujú potenciál tohto zariadenia a vďaka prívetivému prispôsobenému prostrediu pre vývoj na Windows 10 môžeme očakávať mnoho nárast ich počtu. Vývoj je možný vo Visual Studiu a takisto aj v hernom engine Unity 3D.

Je to veľmi zaujímavé zariadenie s potenciálom rozšíriť používanie rozšírenej reality v spoločnosti.[12]

Kapitola 3

Vyhľadávanie, registrácia a vykresľovanie v AR

Keď hovoríme o rozšírenej realite je nutné aby virtuálne objekty boli vsadené do reálneho prostredia čo najpresnejšie a najdôveryhodnejšie. Aplikácia, ktorá užívateľa naviguje na neexistujúcu odbočku alebo zobrazí budovu v niekde vo vzduchu je nepoužiteľná. Preto je toto jedným zo základných problémov pri vytváraní dobrej a uveriteľnej AR aplikácie.

Prvou fázou je vyhľadávanie. Pre správne zobrazovanie objektov je nutné najprv zistiť polohu a stav užívateľa a jeho zariadenia v prostredí. Na to sa dá použiť množstvo rôznych senzorov. Medzi úplný základ patria GPS (v prípade vonkajších aplikácií), kamera a polohový senzor. Vyhľadávanie zjednodušuje používanie značiek (Markers).[14]

Ďalej je nutná registrácia, alebo umiestnenie objektu na správnom mieste v prostredí v reálnom čase. Preto je potrebné zistiť informácie o okolitom prostredí a nájdenie objektov v zornom poli užívateľa, aby sa objekty nezobrazovali v reálnych stenách a podobne.

Keď je nájdené správne miesto a virtuálny objekt je správne umiestnený nastupuje fáza renderovania. Objekt sa vykresľuje buď priamo v reálnom čase do videa, alebo na priehľadný displej HMD.

3.1 Rovinné značky a vzory

Návrh značiek a ich pridávanie do prostredia pre detekciu vo fotografiách a videu je aplikácia počítačového videnia užitočná pre rozšírenú realitu, vyhľadávanie pozície, fotomodeling a robotickú navigáciu. V rozšírenej realite a zmiešanej realite sa používa najmä na to aby boli virtuálne objekty renderované v správnej pozícii a perspektíve pre dôveryhodnosť ilúzie reality.

Pozícia HMD alebo kamery môže byť určená magnetickým polom, rádiovými vlnami, LED, laserom. No najjednoduchším a najlacnejším spôsobom je práve využitie značiek a počítačového videnia. V budúcnosti bude pravdepodobne možné určovanie polohy na základe prirodzeného prostredia, no v súčasnosti najrobustnejšie a najdostupnejšie systémy stále používajú vzory alebo objekty umiestnené do prostredia na určenie polohy kamery.

2D rovinné vzory môžu byť jednoducho umiestňované do prostredia a rozpoznávané kamerou. 2D značkové systémy pozostávajú zo súboru rovinných vzorov a prislúchajúcich algoritmov počítačového videnia pre ich rozpoznávanie v obraze. Niektoré systémy umožňujú až 6 stupňov voľnosti polohy rozpoznávaného vzoru pokiaľ je vyžadované pre aplikáciu rozšírenej reality. 3D objekty môžu byť zobrazované s využitím polohy rozpoznávanej značky

v obrázku ak sú známe parametre kamery. Informácie o polohe môžu byť extrahované z homografie, ktorá prirovnáva vzor k rovine obrázka.

Metriky opisujúce výkon týchto značkovacích systémov sú:

- Miera falošne pozitívnych výsledkov
- Miera zámeny značiek
- Miera falošne negatívnych výsledkov

Miera falošne pozitívnych výsledkov je miera nesprávneho označenia vzoru napriek tomu že nie je prítomný. Miera zámeny značiek znamená že značka je detegovaná, ale systém ju považuje za inú známu značku. Posledným a asi najmenej závažným kritériom je miera falošne negatívnych výsledkov, kde je značka na obrázku, ale systém ju nerozpozná. Miery falošne pozitívnych a negatívnych výsledkov sú protikladné a reprezentujú kompromis medzi prehľadnutím značky a videním neexistujúcej značky. Napríklad v ARToolkite je možné užívateľovi nastaviť si vlastný prah, ktorý jeho aplikácii vyhovuje. [6]

ARToolkit

Tento bezplatný software umožňuje programátorom jednoducho vyvíjať aplikácie rozšírenej reality. Jeho zdrojové kódy sú dostupné na GitHub a podporuje všetky platformy (Mac OS X, PC, Linux, Android, iOS). Taktiež je dostupný ako plug-in modul pre Unity3D. Balíky pre platformy obsahujú README súbor a príklady aby sa pomohli rýchlo zorientovať v API. Má rozsiahlu dokumentáciu s množstvom návodov príkladov ako pre nováčikov tak aj pre skúsenejších programátorov.

Hlavné vlastnosti sú:

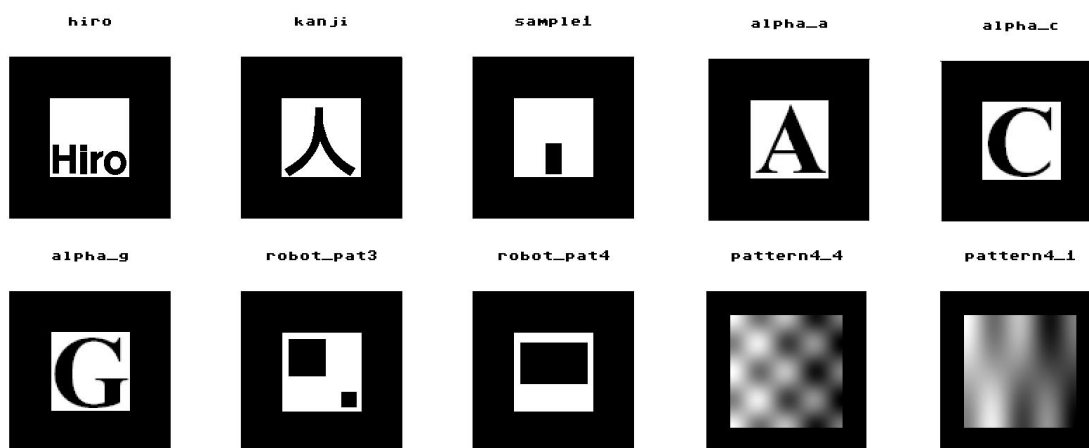
- Robustný systém sledovania objektov vrátane vyhľadávania prirodzených vlastností
- Silné nástroje pre kalibráciu kamier
- Podpora stereo kamery a simultánneho vyhľadania objektov
- Viacjazyčnosť
- Optimalizácia pre mobilné zariadenia
- Plná podpora Unity3D a OpenSceneGraph

Jedným z najväčších problémov pri vývoji aplikácie rozšírenej reality je presne vypočítať polohu užívateľových očí v reálnom čase aby boli virtuálne predmety umiestnené na správnom mieste s ohľadom na reálne objekty. ARToolkit využíva pokročilé techniky počítačového videnia na výpočet reálnej pozície kamery a jej orientácie k štvorcovým tvarom alebo plochým objektom aby umožnil vývojárovi prekryť ich správne virtuálnym objektom. Aktuálne podporuje ARToolkit klasické štvorcové značky, 2D čiarové kódy, multiznačky a tiež vyhľadávanie prirodzených vlastností. Tiež sú podporované všemožné kombinácie týchto vyhľadávaní. Toto rýchle a presné vyhľadávanie umožnilo rýchly vývoj tisícov aplikácií rozšírenej reality.

Dokumentácia obsahuje úplné vysvetlenie ARToolkit knižnice, podrobný návod inštalácie a používania funkcií v AR aplikáciách. Taktiež poskytuje niekoľko jednoduchých aplikácií

aby umožnila vývojárovi jednoduchý začiatok hneď po inštalácii. ARToolkit poskytuje vyhľadávacie knižnice a tiež ich kompletný zdrojový kód, vďaka čomu si ich môžu programátori prispôsobiť pre vlastné platformy a nové použitie.

ARToolkit je prispôsobený na video AR ako aj na AR prostredníctvom priehľadného zariadenia. Video AR vkladá virtuálne objekty v reálnom čase do videa. AR cez priehľadné zariadenie prekrýva reálny svet zobrazovaným objektom čo je omnoho zložitejšie na kalibráciu a registráciu objektov. [1]



Obr. 3.1: Príklady značiek pre ARToolkit.

Vuforia

Vuforia je softwarová platforma na vývoj aplikácií rozšírenej reality hlavne pre mobilné zariadenia. Vývojári môžu vďaka nej pridať do svojich aplikácií možnosti rozšírenej reality. Umožňuje rozpoznávanie obrázkov a objektov v reálnom svete.

Nová Vuforia SDK 6 prináša vylepšenie VuMark technológie umožňujúce zobrazenie AR na akomkoľvek objekte a tiež podporu Windows 10. VuMark je úplne kustomizovateľná značka, ktorá môže byť umiestnená na akomkoľvek povrchu.¹



Obr. 3.2: Príklad značky pre vuforiu s vykresleným objektom²

¹<https://developer.vuforia.com/>

3.2 Vykresľovanie v AR

Na vykresľovanie a celkové zostavovanie scény je možné použiť rozličné prístupy od klasického OpenGL až po prepracované herné enginy. Príkladmi týchto enginov môžu byť napríklad Unity 3D a Unreal Engine 4. Oba spomenuté enginy majú určitú podporu VR a AR a sú pre nich prispôsobené SDK na vývoj aplikácií rozšírenej reality.

Unity 3D

Unity je multiplatformový herný engine vyvíjaný firmou Unity Technologies od roku 2006 využívaný predovšetkým na vývoj 2D a 3D videohier pre PC, konzoly, mobilné zariadenia a webové prehliadače. V prostredí počítačov podporuje Windows s využitím Direct 3D a tiež Linux a OS X vďaka OpenGL. Vývojár môže pri programovaní použiť C# a JavaScript s natívnou integráciou Visual Studio, ale tiež aj Unity Scripting, čo je vlastný jazyko enginu. Unity tiež podporuje vývoj pre mnoho zariadení virtuálnej reality ako sú Oculus Rift, Vive a ďalšie.

Veľkou výhodou tohto enginu je Unity Asset Store, čiže obchod s obrovskou paletou modelov, skriptov, textúr, zvukov, animácií, utilít, shaderov a iných predpripravených prvkov vyvíjaných a zdieľaných širokou komunitou. Tento obchod umožňuje vývojárom zjednodušený vývoj bez nutnosti ovládať všetky aspekty vývoja hier. Mierna nevýhoda tohto obchodu spočíva v tom, že aj keď sa tam nachádza mnoho bezplatných artiklov, niektoré veľmi zaujímavé sú spoplatnené.

Ak sa zameriame na vývoj aplikácií rozšírenej reality, tak v dnešnej dobe existuje mnoho knižníc a modulov zameraných na vývoj AR a VR aplikácií, ktoré sa dajú jednoducho integrovať do prostredia Unity a značne tak uľahčujú prácu vývojárov. Vďaka tejto integrácii je teda jednoduchšie spojiť viaceré knižnice a moduly do jedného celku. [5]

Unreal Engine 4

Unreal Engine 4 je bezplatný herný engine vyvíjaný spoločnosťou Epic Games na tvorbu hier a aplikácií od AAA konzolového trhu až po indie mobilný vývoj. Funguje na Windowse aj na operačných systémoch Mac a je ním možné publikovať na Windows, Mac, Linux, PS, Xbox a tiež mobilné platformy. V najjednoduchšej forme je to súbor editorov používaných v rôznych odvetviach tvorby aplikácií. [9]

²<https://library.vuforia.com/articles/Training/Image-Target-Guide>

Kapitola 4

Kalibrácia

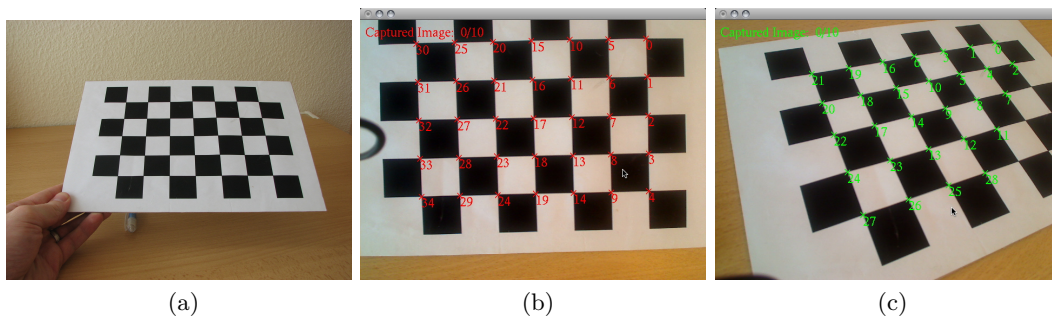
Dôležitou časťou tejto práce bude nájsť, vybrať a použiť rôzne druhy kalibrácie. Bude to kalibrácia samotnej kamery, kalibrácia displejov oproti kamerám a potom jednotlivé druhy kalibrácie ostatných vstupných zariadení voči displeju, prípadne oku užívateľa.

4.1 Kalibrácia kamery

Prvou kalibráciou je kalibrácia kamery. Aj keď ARToolkit prichádza s kalibračnými dátami pre široké spektrum kamier a mal by prirodzene fungovať hneď po pripojení, je vhodné vlastnú novú kameru skalibrovať pre dosiahnutie čo najlepšej presnosti rozpoznávania značiek. Túto maximálnu presnosť potrebujeme hlavne v prípade použitia priehľadných okuliarov.

Na kalibráciu kamery sa používa software s názvom *calib_camera* a šachovnica s presne zadanými rozmermi vytlačená na rovnom povrchu. Pre čo najlepší výsledok je tiež nutné mať dostatok svetla.

Kalibrácia začína spustením utility s určeným vstupným zariadením (kamerou) a nastavením rozlíšenia a pokračuje nasnímaním šachovnice z vrchu tak aby bola celá v zábere. Pokiaľ je všetko v poriadku a kamera vidí všetky štvorce šachovnice tak sa v rohoch objavia červene sfarbené symboly X. Vtedy je možné zaznamenať kalibračný obrázok. Takýchto obrázkov potrebuje táto utilita minimálne 10 z rôznych strán, uhlov a vzdialeností kamery voči šachovnici. Pokiaľ kamera nevidí nejaký štvorec symbol X je zelený a obrázok sa nedá uložiť. Po vyhotovení všetkých 10 obrázkov utilita spočíta kalibračné dáta a uloží ich do súboru *camera_para.dat*, ktorý je možné neskôr použiť v SDK ARToolkit.



Obr. 4.1: Kalibrácia kamery

Aplikácia zobrazí vypočítaný faktor skreslenia.

```
Distortion factor: k1=-0.064153, k2=0.000674,  
                  p1=-0.003693, p2=-0.011219,  
                  fx=6819.694824, fy=4906.716797,  
                  x0=-13355.703125, y0=1494.664429,  
                  s=-0.891334  
-7651.11364 -0.00000 -13355.70312 0.00000  
-0.00000 -5504.91609 1494.66443 0.00000  
0.00000 0.00000 1.00000 0.00000
```

A potom všetky vypočítané chyby napr.:

```
Err[ 1]: 0.384557[pixel]
```

Hlavným dôvodom tejto kalibrácie je to, že pohľad cez šošovku kamery spôsobí na okrajoch šošovky skreslenie, ktoré je potrebné opraviť. Skreslenie na šošovke spôsobí, že rovné čiary na hranách štvorcov vyzerajú zaoblene. *Calib_camera* program používa knižnicu OpenCV aby našiel rohy štvorcov a zmeral ich vzdialenosti. Tieto informácie použije na vypočítanie skreslenia šošovky. Čím viac je záberov šachovnice z rozličných uhlov tým je menšia výpočtová chyba skreslenia.

U stereo kamery je tiež potrebná kalibrácia, no dobre skalibrovaná stereo kamera dokáže výrazne zvýšiť presnosť vsadenia virtuálnych objektov do reality. Kalibrovať stereo kameru má zmysel iba v prípade, že šošovky (alebo kamery) nemenia svoju vzájomnú polohu. Tým že používame jedno zariadenie a nie 2 samostatné kamery je táto podmienka splnená. Ďalej je potrebné zvážiť či má použitý počítač dostatočný výkon procesora a pamäť aby zvládol spracovať obraz z dvoch kamier v rozumnom rozlíšení v reálnom čase.

Kalibrácia prebieha nasledovne. Najprv sa musí skalibrovať každá kamera samostatne ako v predchádzajúcom prípade s tým, že sa nastaví parametrom ktorá kamera sa kalibruje. Potom sa spustí program *calib_stereo* s oboma konfiguračnými súbormi predošlého kroku. Po spustení je vidieť obraz z oboch kamier vedľa seba. Je nutné vytvoriť niekoľko obrázkov kde je vidieť celá šachovnica tak ako v jednoduchej kalibrácii. Tento program vypočíta offset jednej kamery voči druhej a vytvorí konfiguračný súbor s užívateľom zadaným menom.¹

4.2 Kalibrácia priehľadnej obrazovky voči kamere

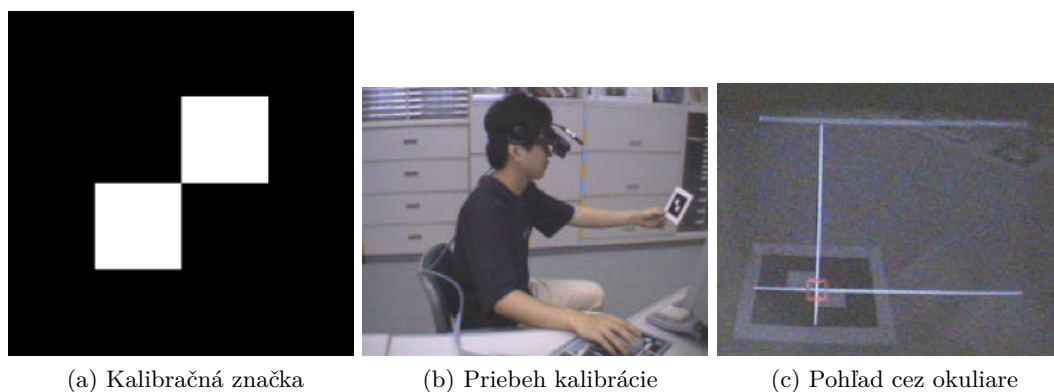
Ďalšou kalibračnou metódou, ktorú umožňuje ARToolkit je kalibrácia kde sa kalibruje navzájom poloha oka, kamery a priehľadnej obrazovky okuliarov. Takúto pomerne zložitú kalibráciu rieši ARToolkit veľmi elegantne, a to tým že užívateľ drží v ruke značku a prechádza ňou po určitých miestach v priestore. Princíp je veľmi podobný kalibrácii dotykových displejov a je jednoduchý, keďže pozostáva zo skupiny triviálnych krokov.

Táto kalibrácia je veľmi subjektívna a pri zmene akéhokoľvek komponentu zariadenia je nutné kalibráciu zopakovať. Hlavne pri okuliaroch je vhodné kalibráciu uskutočniť aj pri zmene užívateľa, pretože ľudia majú rôznu vzdialenosť očí, tvar nosa a podobne takže displej okuliarov nie je vždy na rovnakom mieste. Ideálnym stavom by bolo uskutočniť túto kalibráciu vždy na začiatku používania zariadenia na rozšírenú realitu.

¹https://artoolkit.org/documentation/doku.php?id=2_Configuration:config_camera_calibration

Pred kalibráciou je dôrazne odporúčané uskutočniť najprv kalibráciu kamery. To je veľmi dôležité hlavne ak sa plánujú používať dve obrazovky, pre obe oči užívateľa. Požíva sa utilita *calib_optical*, ktorá vygeneruje kalibračný súbor. Kalibruje sa jedna obrazovka pre jedno oko, pričom je druhé oko zavreté. Celou kalibrácia prebieha v jednotlivých krokoch a na väčšinu akcií sa používa medzerník:

1. Po nasadení okuliarov/HMD užívateľ spustí *calib_optical*.
2. Začína sa stlačením medzerníka. Na obrazovke sa objaví biely kríž.
3. Užívateľ pozerá počas celej kalibrácie len cez oko pre ktoré práve kalibruje a v natiahnutej ruke drží kalibračnú značku.
4. Pokiaľ sa okolo kríža zobrazuje štvorec (zelený alebo červený) je značka viditeľná kamerou a rozpoznávaná. Drží značku v natiahnutej ruke.
5. Užívateľ presunie značku tak aby jej stred bol čo najpresnejšie na zobrazovanom kríži a pri tom sa stále zobrazoval štvorec.
6. Stlačí medzerník a pokiaľ boli kalibračné dáta zaznamenané štvorec zmení farbu.
7. Užívateľ priblíži značku čo najbližšie k oku tak aby bola viditeľná kamerou (zobrazený štvorec) a opakuje kroky 5 a 6.
8. Po zaznamenaní údajov značky vzdialenej a priblíženej sa kríž presunie a opakuje sa postup od kroku 3 do 7. Takto sa zaznamenajú dáta pre 5 kalibračných pozícií.



Obr. 4.2: Kalibrácia priehľadného displeja ²

Počas kalibrácie sa do konzoly zaznamenáva celý priebeh kalibrácie. Najprv je to skreslenie kamery zistené z kalibrácie kamery.

```

SIZE = 640, 480
Distortion factor = 311.500000 226.000000 1.006924 1.000000
11.000000 4.400000 804.38635 0.000000 312.50000 0.000000
0.000000 803.87536 239.000000 0.000000
0.000000 0.000000 1.000000 0.000000

```

²http://www.artoolworks.com/support/library/Using_an_optical_see-through_display

Potom postupne zameranáva pri jednotlivých záznamoch vypisuje ich pozíciu v priestore.

```
Position 1 (far) captured.
-- 3D position -115.184635, 57.446030, 564.060060.
-- 2D position 160.000000, 120.000000.
Position 1 (near) captured.
-- 3D position -103.269729, 60.947248, 410.983793.
-- 2D position 160.000000, 120.000000.
```

Nakoniec zobrazí vypočítané hodnoty ako je relatívna poloha oka voči kamere, vypočítané zorné pole a nakoniec najdôležitejšiu transformačnú maticu. Tieto hodnoty v uvedenom poradí zapíše do určeného súboru ako binárna reprezentácia čísla s pohyblivou desatinnou čiarkou s dvojnásobnou presnosťou.

```
Expressed relative to camera axes, eye is -70.561950 mm to the right,
-70.495486 mm above, and 30.678455 mm behind the camera.
Eyepoint error is 124.106253.
-----
Field-of-view vertical, horizontal = 27.056970, 32.055244 degrees,
aspect ratio = 1.184731
Transformation (eye to camera) =
0.98718 -0.14631 0.05781 -70.56195
0.15453 0.96684 -0.11723 -70.49549
-0.03987 0.12466 0.97706 30.67845
0.00000 0.00000 0.00000 1.00000
```

V tomto momente je možné zadať meno kalibračného súboru a uložiť ho. Pokiaľ sa kalibruje stereoskopické zobrazenie, môže užívateľ vymeniť oči a pokračovať v kalibrácii druhej obrazovky. Tento spôsob kalibrácie môže z počiatku zabráť nejaký čas, ale s trochou praxe to užívateľ zvládne veľmi rýchlo pri čom mu to pomôže dosiahnuť veľmi dobré výsledky pri zobrazovaní rozšírenej reality. ³

4.3 Pužitie kalibračných dát v Unity 3D

ARToolkit plugin pre Unity dokáže jednoducho používať vygenerované dáta jednoduchej ale aj stereo kalibrácie. Pretože Unity rozpoznáva len typ `.bytes` a nie typ `.dat`, ktorý majú vygenerované kalibračné súbory, je nutné tieto súbory premenovať tak aby mali požadovanú koncovku. Potom sa musia súbory premiestniť do priečinka `Assets/Resources/ardata/optical` v Unity projekte Kde ich očakáva skript `ARCamera`, ktorý by sa mal pridať ako komponent kamery. Pokiaľ sú súbory v priečinku tak skript umožní zvoliť priehľadný mód a vybrať z daných kalibračných súborov. Pri priehľadnom zobrazení sa nastaví pozadie na čiernu, ktorú priehľadná obrazovka nezobrazuje. Skript tiež umožňuje zvoliť danú kameru ako kameru pre pravé, respektíve ľavé oko. To umožňuje 3D zobrazenie a samozrejme predpokladá kalibračné súbory pre stereoskopické zobrazenie. Pokiaľ máme kalibračný súbor len pre jedno oko je tu možnosť alternatívneho stereo zobrazenia tak že sa nastaví manuálne offset pre druhé oko. Offset by mala byť vzdialenosť očí užívateľa a je počiatkovo nastavený

³https://artoolkit.org/documentation/doku.php?id=2_Configuration:config_camera_calibration

na 0.065 čo predstavuje 65 mm. To je priemerná vzdialenosť u dospelého človeka. Počíta sa s kalibračnými dátami pre ľavé oko. V prípade použitia pravého oka je treba zmeniť hodnotu na zápornú.

Limitácie

Dokonca aj keď sa v rozšírenej realite urobili obrovské pokroky je zložité dosiahnuť presnú registráciu (presné zobrazenie v reálnom svete) v priehľadných displejoch. Najväčšie limitácie vyplývajú zo stále nedokonalých vlastností týchto displejov. Kalibrácia je závislá od zvládnutia a pochopenia vzťahu medzi dvoma optickými sústavami: okom a kamerou. Aj keď dokážeme určiť presnú vzdialenosť medzi tými sústavami, tak pozícia medzi dúhovkou oka užívateľa a displejom nie je fixná. To sa dá čiastočne riešiť pripevnením displeja čo najpevnejšie na hlave užívateľa. Pozícia sa však bude mierne meniť medzi jednotlivými používaniami a pri zmene užívateľov. Presná registrácia teda nebude zaručená pokiaľ sa v zariadeniach nebudú vyskytovať aj senzory na snímanie pohybu očí.

Kapitola 5

Interakcia v rozšírenej realite

V tejto kapitole najprv rozoberiem zadanie tejto práce a vymenujem problémy, ktoré z neho vyplývajú 5.1. Potom predstavím komponenty, pomocou ktorých sa pokúsím navrhnúť viaceré prototypy požadovaného zariadenia 5.3. Tiež popíšem a odôvodním navrhnuté rozostavenie komponentov 5.4. Ďalej sa budem venovať návrhu softwarovej časti riešenia problému 5.5.

5.1 Definícia cieľa a rozbor zadania

Cieľom tejto práce je vytvoriť zariadenie, ktoré umožní užívateľovi nielen vidieť objekty rozšírenej reality, ale tiež s nimi aj manipulovať, prípadne ich inak ovládať bez nutnosti mať v rukách nejaký typ ovládača.

Toto zadanie by som mohol rozdeliť na niekoľko problémov, ktoré sa budem snažiť v ďalších kapitolách vyriešiť. Prvým problémom je výber vhodného zariadenia na zobrazovanie rozšírenej reality a tiež na interakciu s virtuálnymi objektmi a prípadné ovládanie. Pokúsím sa zhrnúť výhody a nevýhody jednotlivých zariadení a vybrať tie, ktoré najviac vyhovujú mojim predstavám o riešení daného problému.

Ďalšou dôležitou časťou bude navrhnúť vhodné rozloženie jednotlivých prvkov systému. Zariadenie by malo byť relatívne ľahké a jednoducho použiteľné. Najvhodnejšie by bolo ak by boli všetky ovládacie a vstupné prvky umiestnené priamo na zobrazovacom zariadení. To by umožnilo užívateľovi vstúpiť do rozšírenej reality jednoduchým nasadením okuliarov, prípadne VR headsetu. No ak by sa niektoré časti zariadenia nachádzali na pevne daných miestach mohlo by to značne uľahčiť kalibráciu a zjednodušiť implementáciu zariadenia. Po dokončení návrhu hardwarovej časti projektu bude nutné tiež zvoliť vhodné softwarové riešenia v podobe frameworkov a enginu ktoré sa postarajú o správne vyhľadávanie a registráciu virtuálnych objektov.

Keďže užívateľom produktu mojej práce môže byť prakticky hocikto od školákov až po dôchodcov, objavuje sa hneď niekoľko problémov. A to sú určenie polohy užívateľových očí voči polohe displeja a tiež voči polohám kamery a iných ovládacích prvkov. Riešenie tohto problému je kľúčové vzhľadom na požadovaný výsledok. Pri nesprávnej kalibrácii všetkých zariadení na polohu užívateľa by výsledok vyzeral nepresvedčivo a mohol by tiež spôsobovať napríklad nevoľnosť. Čo by robilo toto zariadenie v celkovom výsledku nepoužiteľným a zbytočným.

Po zostrojení a skalibrovaní zariadenia bude potrebné ešte navrhnuť a vytvoriť nejakú jednoduchú demonštračnú aplikáciu, aby bolo možné overiť funkčnosť systému a tiež navrhnuť vhodné užívateľské testy.



Obr. 5.1: Microsoft HoloLens. Zariadenie na interakciu s rozšírenou realitou.¹

5.2 Výber vhodných zariadení

Pri zamýšľaní sa nad problémom výberu vhodných zariadení som musel zväžiť všetky súčasne možnosti prístupu k riešeniu zobrazovania rozšírenej reality. Keďže chcem zobrazovať 3D objekty s prípadnou možnou interakciou s prostredím tak som hneď na začiatku vylúčil 2D okuliare, ktoré sú na tento účel nevhodné.

Keď som vylúčil 2D okuliare, ostal mi výber medzi klasickou priehľadnou technológiou okuliarov, alebo rozšírenou realitou sprostredkovanou cez kameru. Keďže oba prístupy sú veľmi zaujímavé a mohli by vyprodukovať celkom dobré výsledky, rozhodol som sa, že skúsím navrhnuť a zhotoviť oba takéto systémy a po tom ich vzájomne porovnam.

Z technológie okuliarov som si najprv vyskúšal Vuzix STAR 1200XLD. So zapojením a spustením týchto okuliarov na svojom notebooku som nemal takmer žiadne problémy, pretože výrobca k nim pridáva stručný, ale presný návod na prvé spustenie. Po nastavení sklonu displejov a ich vzájomnej vzdialenosti podľa očí som hneď otestoval aj funkčnosť polohového senzoru. Usúdil som, že tieto okuliare budú vhodné ako prvý kandidát na mnou navrhovaný systém.

Vzhľadom k druhému prístupu som si potreboval vybrať niektorý z množstva VR headsetov. V laboratóriu boli prístupné Oculus Rift DK2 a Vive od Valve a HTC. Z týchto dvoch som sa rozhodol pre Oculus Rift. Oculus som si vybral z viacerých dôvodov. Hlavný dôvod je, že je to staršie zaradenie, preto má menšiu zobrazovaciu frekvenciu (60Hz/70Hz) a tiež rozlíšenie (960x1080 na jedno oko) bude jednoduchšie nájsť vhodné kamery na zachytávanie okolia. Menšie rozlíšenie prináša aj rýchlejšie spracovanie tohto videa. To bude musieť byť spracované v reálnom čase. K VR headsetu je nutné vybrať tiež vhodnú kameru. V ponuke boli dve, DUO 3D a tiež ZED kamera. Pri prezretí špecifikácií bola moja voľba jasná. Vybral som si kameru ZED, pretože umožňuje záznam vo vysokom rozlíšení, zaznamenáva

¹<https://www.microsoft.com/en-us/hololens>

zorný uhol 110° (čo je presne zobrazovací uhol v zariadení Oculus Rift DK2) a jednotlivé senzory sú vzdialené od seba približne ako ľudské oči, čo sa mi javí ako možná výhoda pri neskoršej kalibrácii.

Po výbere zobrazovacích zariadení prišli na rad možné ovládacie zariadenia. Najviac som zvažoval dve možnosti. Prvou bolo použiť kameru, ktorú už AR zariadenie obsahuje a rozpoznávať ňou 6DoF značku podobne ako to urobil vo svojom projekte William Steptoe. Táto možnosť je v podstate jednoduchá a jej veľkou výhodou je, že nie je potrebné pridávať ďalšie zariadenie na HMD. Stačí ak si užívateľ pripevní značky na ruky. Druhá možnosť je použiť skener pohybu rúk Leap Motion. To prináša veľmi presné rozpoznávanie gest nie len rúk ale aj jednotlivých prstov, čo značne zvýši použiteľnosť môjho AR systému. Rozhodol som sa pre Leap Motion. Aj keď budem musieť vymyslieť ako pripojiť Leap Motion skener na HMD bude to zariadenie v jednom celku a odstránim tak použitie značiek. Tiež získam veľkú presnosť.

Pre správnu funkčnosť prototypov bude užívateľ musieť vopred nainštalovať ovládače a SDK pre všetky pripojené komponenty (Vuzix okuliare, ZED kamera, Oculus Rift a Leap Motion). Pre kalibráciu kamier bude nutné zabezpečiť dostatočné svetelné podmienky a pre fungovanie Leap Motion tiež zabrániť iným zdrojom infračerveného svetla svietiť v blízkosti senzora. Vhodným prostredím by teda malo byť laboratórium, prípadne iná miestnosť s možnosťou obmedziť priame slnečné žiarenie.

5.3 Návrh prototypov

V tejto časti sa budem venovať návrhu prototypov, ktoré by som chcel zostrojiť. Popíšem ich teoretické klady a zápory a tiež popíšem a zdôvodním rozloženie jednotlivých prvkov na týchto zariadeniach.

Vuzix okuliare + Leap Motion umiestený na stole (Prototyp 1)

Toto je prvotný návrh. Počíta s použitím okuliarov Vuzix STAR 1000XLD a pracovným stolom na ktorom bude presne umiestnená značka (prípadne viac značiek) a tiež Leap Motion senzor na rozpoznávanie gest rúk označený značkou, alebo umiestnený v presnej vzdialenosti. Tieto značky vytvoria na stole pracovnú plochu, alebo priestor, v rámci ktorej sa budú zobrazovať objekty rozšírenej reality. Užívateľ bude sedieť za stolom a interagovať s virtuálnymi objektmi umiestnenými v tomto priestore. K tomuto rozloženiu ma priviedlo hlavne to, že plánovaný prototyp by sa mohol potom využívať s interaktívnym stolom, ktorý už je na fakulte vytvorený.

Výhodou tohto rozloženia prvkov je hlavne, že nie je potrebné pridávať prvky na užívateľa. Jednoducho si nasadí okuliare a sadne k stolu. Ďalšou výhodou by mala byť jednoduchšia realizácia, keďže značky a Leap Motion senzor sú pevne umiestnené, takže nie je potrebná nejaká zložitá kalibrácia. Taktiež použiteľnosť s interaktívnym stolom. Vďaka značkám by malo toto rozvrhnutie umožňovať zobrazovanie rovnakej scény pre viac užívateľov zároveň.

Najväčšou nevýhodou prvého návrhu je hlavne nutnosť užívateľa nachádzať sa v blízkosti stola a nemožnosť voľného pohybu ako je to pri ostatných návrhoch. Tiež je dôležité, aby kamera okuliarov videla značku, inak sa nedá určiť kde sa presne hlava užívateľa nachádza a objekty sa nebudú zobrazovať na správnom mieste. Tento problém by sa dal prípadne riešiť pridaním pohybového senzora, alebo značkami na okuliaroch a ďalšou pevne umiestnenou kamerou.

Vuzix okuliare + Leap Motion umiestnený na okuliaroch (Prototyp 2)

Druhým návrhom je zariadenie, ktoré má pripevnený Leap Motion senzor na okuliaroch , prípadne niekde inde na užívateľovi, takže umožňuje užívateľovi voľnejší pohyb a možnosť stálej interakcie s rozšírenou realitou. Pracovná plocha v tomto prípade je v podstate stále pred užívateľom ale tiež nevyklučuje umiestnenie značiek v priestore , prípadne spoluprácu s interaktívnym stolom. Kalibrácia týchto zariadení bude však o čosi zložitejšia.

Medzi výhody patrí hlavne to, že umožňuje viac menej neobmedzený pohyb v priestore a interaktívna časť je stále pred užívateľom a pohybuje sa s ním. Pri použití značiek tiež poskytuje možnosť interakcie s interaktívnym stolom a zobrazenie pre viacerých užívateľov ako v predchádzajúcom návrhu. Tiež umožní zobrazenie a interakciu s virtuálnymi objektami aj keď nie je vidieť značku pokiaľ na ňu nie sú viazané keďže interaktívny priestor je pohyblivý.

Nevýhodou je nutnosť brať do úvahy a zložitejšie kalibrovať polohu Leap Motion senzora voči kamere a obrazovkám okuliarov. Ďalšou nevýhodou je, že aj keď je možné pracovať s objektami mimo značiek tak bez pohybového senzora sa daný objekt bude pohybovať a nakláňať s okuliarmi.

Oculus Rift + ZED Stereo kamera + Leap Motion umiestnený na okuliaroch (Prototyp 3)

Posledným návrhom je použiť zariadenie na zobrazovanie virtuálnej reality a spojiť ho so stereoskopickou kamerou, ktorá doňho bude premietiť obraz a takto emulovať rozšírenú realitu. Leap Motion sa bude tiež nachádzať na tomto zariadení ako v predchádzajúcom prípade. Tento prístup bude vyžadovať lepšie hardvérové vybavenie, keďže zariadenie na virtuálnu realitu má vysoké požiadavky. Tiež by mal umožňovať prácu so značkami a interaktívnym stolom.

Výhodou tohto prístupu je, že sa nemusí kalibrovať priehľadná obrazovka s kamerou, keďže sa dané objekty vykresľujú priamo do zobrazovacieho zariadenia tak isto ako obraz z kamery. Ďalšou výhodou je to, že toto zariadenie natívne obsahuje polohový senzor, takže dokáže zobrazovať objekt aj keď stratí značku z dohľadu kamier.

Medzi nevýhody patria napríklad už spomínané hardvérové nároky. Tie vznikajú aj z dôvodu spracovávať súbežne dva obrazy z HD kamier pri frekvencii 60 záberov za sekundu čo si vyžaduje tiež USB 3.0. Umiestnenie kamery a sprostredkovanie obrazu na správnom mieste bude kľúčové pretože tieto zariadenia na virtuálnu realitu môžu spôsobovať nevoľnosť.

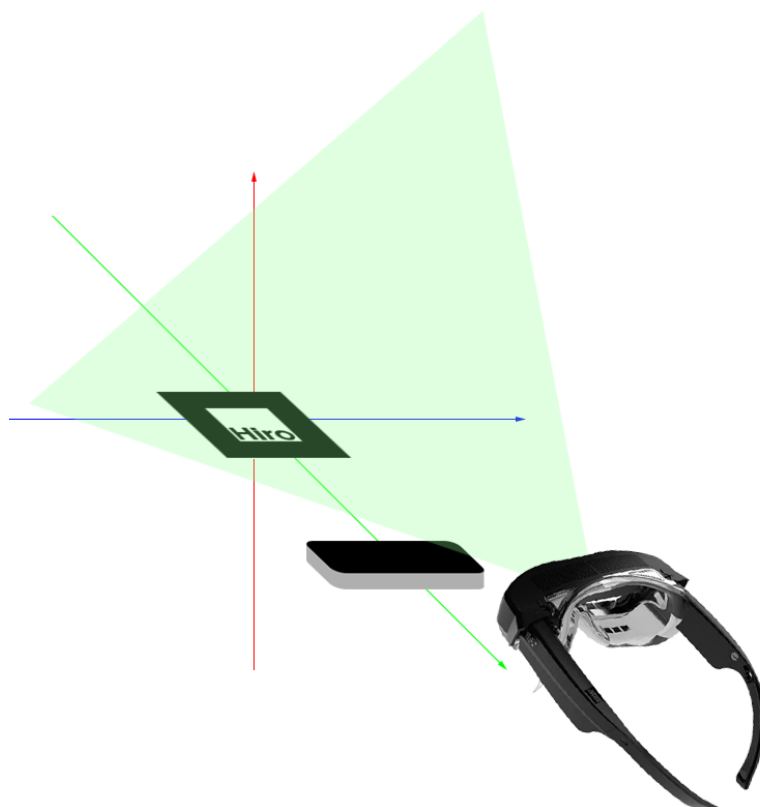
5.4 Rozloženie prvkov zariadení

Keď už mám vymyslené jednotlivé typy prototypov zariadení, musím presne naplánovať umiestnenie jednotlivých prvkov na týchto prototypoch, tak aby sa nijako neobmedzovali a ich využite bolo čo najefektívnejšie a tiež aby užívateľovi nijako nevadili pri používaní zariadenia. Pokúsím sa opísať a zdôvodniť svoj návrh v jednotlivých prototypoch.

Prototyp 1

Pri variante Vuzix okuliarov a Leap Motion skenera uloženého na stole som sa rozhodol pre začiatok použiť jednu značku zo základného setu ARToolkit značiek a to značku Hiro s rozmermi 8x8 cm. K nej umiestnim vo vzdialenosti 15 cm od spodnej hrany značky senzor

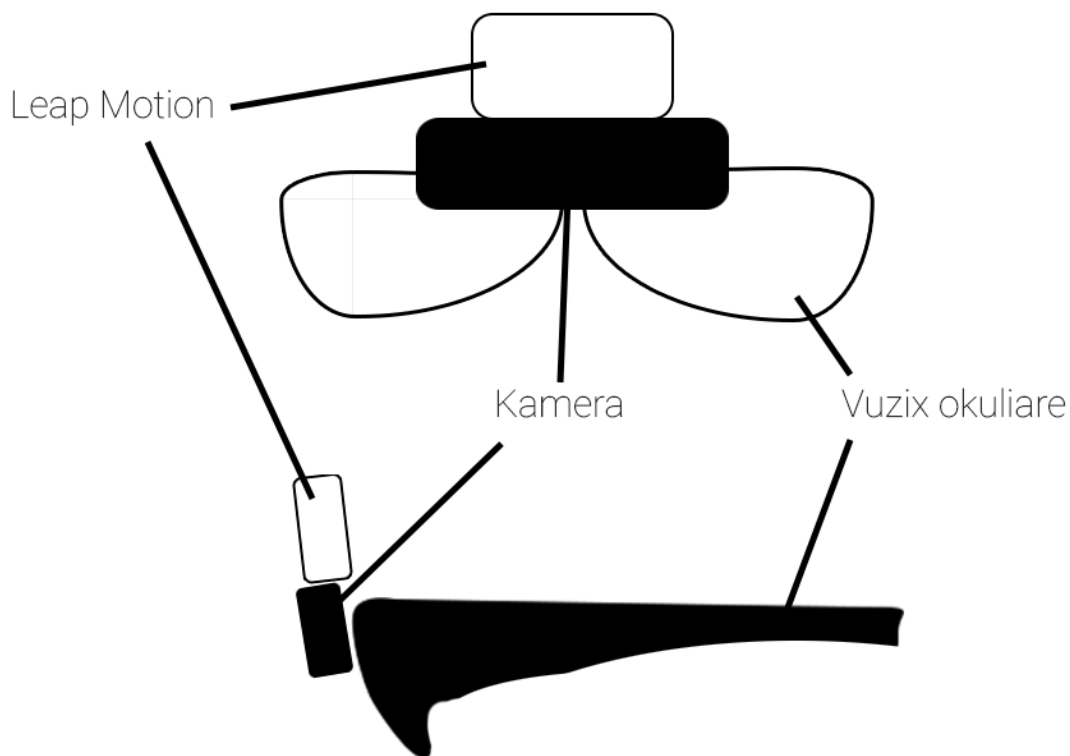
Leap Motion. Takto Leap Motion nebude zakrývat značku ani při pohledu z strany a bude dostatočně blízko aby mohl zaznamenávat pohyb rúk aj priamo nad značkou.



Obr. 5.2: Diagram rozloženia prvkov prototypu s okuliarmi a Leap Motion na stole.

Prototyp 2

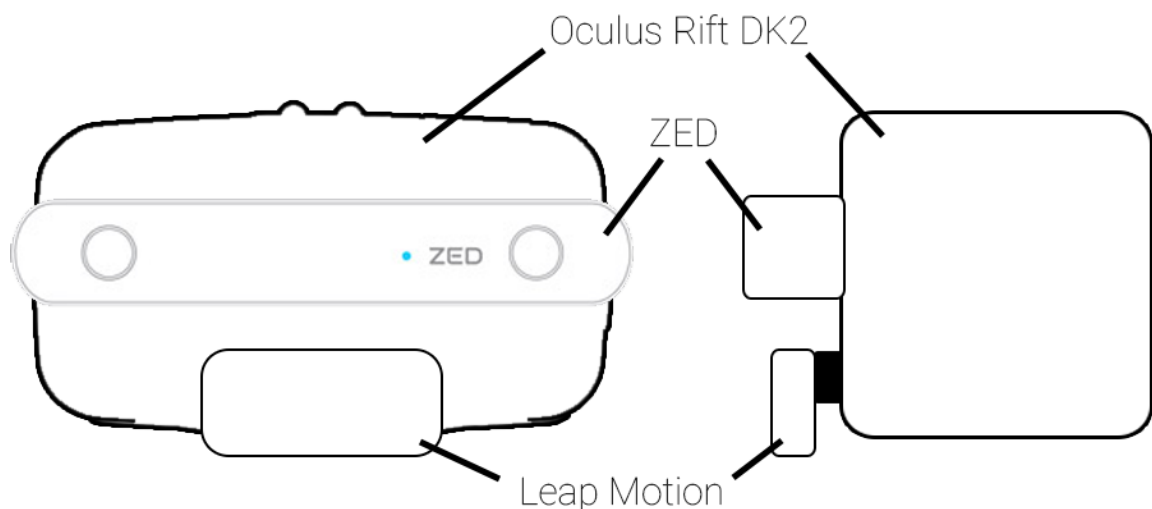
Keďže okuliare Vuzix STAR 1200XDL už obsahujú kameru, ktorá sa nakláňa v závislosti na nastavení uhla displejov je potrebné pripojiť len Leap Motion skener. Skener by mal byť umiestnený v strede a zároveň by mu nič nemalo brániť pri vnímaní pohybov. Vhodným miestom sa zdá byť miesto na vrchu kamery. To prinesie tiež tú výhodu, že bude nastaviteľný spolu s uhlom kamery a displejov.



Obr. 5.3: Diagram rozloženia prvkov prototypu s okuliarmi a Leap Motion na okuliaroch.

Prototyp 3

Pri zariadení s Oculus Rift je potrebné pripojiť aj skener aj kameru, čo je trochu zložitejšie. No výhodou VR headsetu je, že všetko môže byť umiestnené priamo pred očami užívateľa a nebude mu to brániť vo výhlade. Preto som sa rozhodol dať kameru presne pred oči, aby som tak napodobil zrak užívateľa a Leap Motion skener pod kameru, prípadne nad, s menším odstupom. Odstup som zvolil preto, aby si nebránili vo výhlade. Po skonštruovaní prototypu bude vhodné overiť vlastnosti umiestnenia pod a nad kamerou a zvoliť vyhovujúcejšiu konfiguráciu.



Obr. 5.4: Diagram rozloženia prvkov prototypu Oculus Rift.

5.5 Návrh softwarovej časti riešenia

Softwarový návrh všetkých troch prístupov k tomuto problému by som chcel udržať čo najpodobnejší a čo najjednoduchší. Podobnosť by nemala byť problémom v prvých dvoch pretože využívajú rovnaké komponenty. U tretieho budem musieť pridať podporu pre Oculus a tiež počítať s dvoma kamerami na rozdiel od prvých dvoch. Mojim plánom je aby výsledkom tejto práce boli projekty alebo pluginy, ktoré budú znovu použiteľné pre ďalšie možné projekty na fakulte.

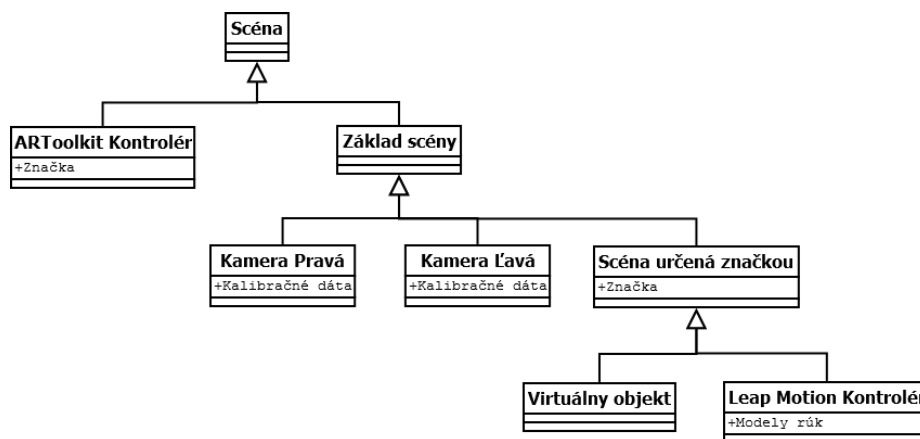
Rozhodol som sa pre použitie herného engine Unity 3D z viacerých dôvodov. Hlavnými dôvodmi sú jeho intuitívnosť a tiež to, že mám s týmto engine predošlé skúsenosti takže by m to mohlo uľahčiť prácu na demo aplikácii. Ďalším dôvodom je, že všetky komponenty, ktoré som sa rozhodol využiť (ARToolkit, ZED, Leap Motion) poskytujú podporu pre tento engine v podobe pluginov a Oculus Rift má dokonca nejakú natívnu podporu už zabudovanú. Veľmi mi pomôže aj obrovská komunita okolo Unity, ktorá prináša množstvo návodov a na fórach rieši všetky typy problémov, s ktorými sa možno stretnem.

Pri všetkých troch návrhoch by som tiež chcel využiť 2D značky a s ich obsluhou sa spoľahnem na ARToolkit. Zvolil som ho hlavne preto, lebo elegantne rieši základné problémy počítačového videnia a mal by mi uľahčiť tiež prácu s kalibráciou pretože poskytuje silné nástroje riešiace práve tieto problémy. Jeho zásuvný modul do Unity tiež prináša jednoduché ukážkové projekty, ktorými sa inšpirujem.

Prototyp 1

Jednotlivé časti tohto návrhu budú v Unity reprezentované objektami. Tieto som usporiadal do grafu, ktorý znázorňuje ich zanorenie a závislosť na súradnom systéme nadradeného objektu. Návrh pozostáva z hlavnej scény do ktorej je umiestnený ARToolkit kontrolér, v ktorom sú definované hľadané rovinné značky. Ten by mal riadiť príjem obrazu z kamery

a rozpoznávanie daných značiek. Potom je tam samotný základ scény, ktorý zapuzdruje kamery pre jednotlivé oči a objekt ktorý bude reprezentovať polohu značky. Kamery budú obsahovať kalibračné dáta pre jednotlivé oči, na základe ktorých budú zobrazovať transformovaný obraz. Od polohy značky sa odvíja poloha Leap Motion senzora, keďže plánujem jeho umiestnenie na presnom mieste na stole.



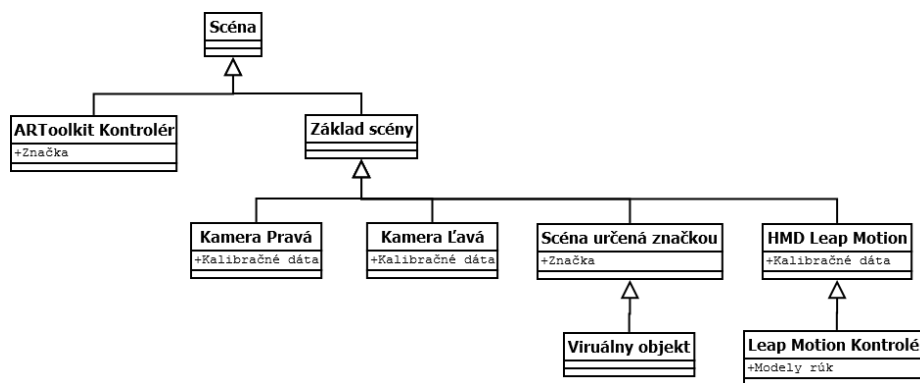
Obr. 5.5: Návrh komponentov v scéne prototypu 1.

Pri používaní tohto prototypu plánujem využiť kalibračné dáta vytvorené utilitou *calib_optical.exe* popísanou v kapitole 4. Dáta bude možné vložiť pred kompiláciou priamo v skripte pre objekt kamier, alebo po vytvorení binárneho súboru prostredníctvom priečinka s pomocnými súbormi, ktorý vytvára Unity. Nastavenie Leap Motion bude pevne dané, keďže plánujem jeho umiestnenie na presne miesto od značky a kamera a displej sa kalibrujú voči značke.

Objekt ARToolkit kontrolér bude obsahovať skript AR controller, ktorom sa bude nastavovať zvolená kamera a tiež skript AR marker pre pridanie hľadanej značky. V objektoch kamier bude najdôležitejší skript AR camera, ktorý rozhoduje o tom, pre ktoré oko sa zobrazuje a či sa používa zobrazené pre rozšírenú realitu s nastávaním čierneho pozadia. Tento skript budem musieť upraviť aby pracoval s kalibračnými dátami takým spôsobom ako by to vyhovovalo danému navrhnutému použitiu. K Leap Motion kontroléru pridám zmeny polohy zariadenia v priestore pomocou klávesnice pre prípad, že by navrhnuté miesto pre Leap Motion úplne nevyhovovalo užívateľovým zámerom a chcel by ho počas behu aplikácie zmeniť. Ostatné objekty použijem tak ako sa štandardne používajú v ukázkových scénach ARToolkitu.

Prototyp 2

Pri tomto návrhu bude graf veľmi podobný predošlému. Jedinou zmenou je pridanie objektu, ktorý reprezentuje HMD obsahujúce Leap Motion a správa sa ako ďalšia stredná kamera. Je možné ho ovplyvniť kalibračnými dátami a určuje tak polohu senzora v scéne voči značke a kamerám. Leap Motion senzor je tak umiestnený na tomto objekte a nie je priamo závislý na značke ako to bolo predtým.

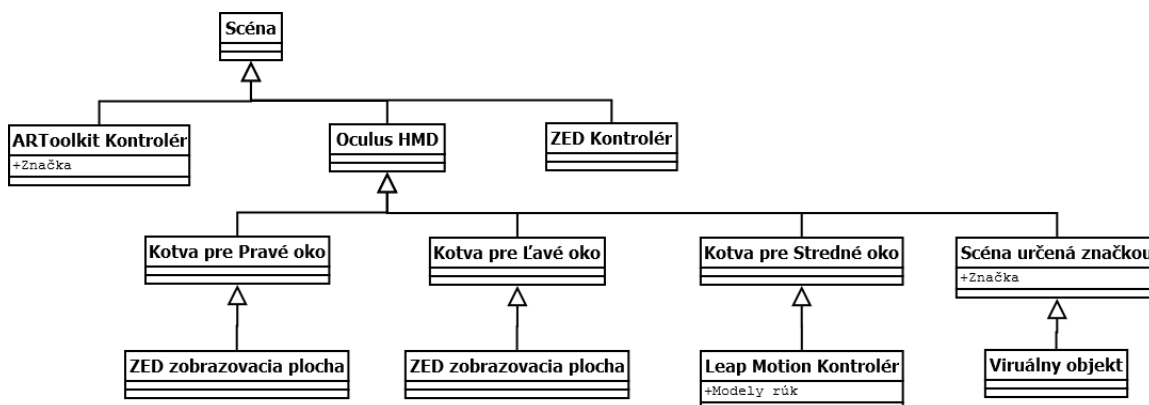


Obr. 5.6: Návrh komponentov v scéne prototypu 2.

V tomto prípade ostávajú skripty na objektoch rovnaké. Jedinou zmenou je priradenie transformačného skriptu pre HMD Leap Motion kontroléra, ktorý bude meniť svoju polohu na základe ľavej kamery s pridaným ofsetom.

Prototyp 3

Posledný návrh obsahuje ARToolkit kontrolér tak, ako to bolo aj u predchádzajúcich. Pridal som tiež objekt ZED Kontrolér, ktorý bude prijímať dáta zo stereoskopickej kamery ZED a sprostredkovať ich zobrazovacím plochám. Asi najdôležitejším objektom je Oculus HMD. Ten predstavuje hlavu užívateľa vo virtuálnom prostredí. Pod ním sú dve kotvy pre oči, ktoré sa starajú o správne zobrazenie pre jednotlivé oči v HMD. Tieto kotvy v sebe obsahujú premietacie plátna pre zobrazenie obrazu z oboch častí kamery ZED. Kotva stredného oka predstavuje zobrazenie pre obe oči zároveň a preto som na ňu umiestnil Leap Motion senzor aby boli modely rúk viditeľné. Scéna určená značkou bude mimo pretože len ovplyvňuje zobrazenie na jednotlivých obrazoch z kamier.



Obr. 5.7: Návrh komponentov v scéne prototypu 3.

Kalibrácia kamier voči displejom a oku ARToolkitu nebude potrebná pretože bude možné zobrazovať objekty priamo na značku vo videách. Pre Leap Motion som sa rozhodol použiť pevné nastavenie v závislosti na polohe a natočení HMD tak ako to je v ukážkovom projekte Leap Motion AR s pridaním ofsetov aby ho bolo možné zmeniť napríklad pri použití inej kamery, alebo inom usporiadaní prvkov na HMD.

Skripty na objekte ARToolkit kontrolér ostávajú rovnaké. Objekt predstavujúci užívateľa s HMD použijem už pripravený zo zásuvného modulu Oculus a pridám k nemu skript ovládača ZED kamery, keďže má byť nadradený kotvám kamier. Kotvám kamier pridám skripty na riadenie Leap Motion a predávanie obrazu z kamier. Tiež bude nutné zvoliť vhodné rozloženie zobrazovaných vrstiev pre jednotlivé oči. V Leap Motion kontroléry treba tiež nastaviť optimalizáciu pre HMD. Tiež budem musieť pridať skript na jednoduché nastavovanie ofsetov.

Kapitola 6

Zariadenie na interaktívnu AR

Pri zostrojovaní zariadení na interakciu s rozšírenou realitou som využil zozbierané poznatky o kalibračných metódach, nadobudnuté vedomosti o jednotlivých zariadeniach a o ich softwarových podporách. Jednotlivé návrhy som realizoval tak aby boli jednoducho použiteľné ako možný framework pre ďalšiu prácu na fakulte. Po oboznámení sa so všetkými potrebnými vývojovými nástrojmi a SDK a po návrhu som sa musel pozrieť na jednotlivé komponenty bližšie a zistiť všetky možnosti, ktoré ich SDK ponúkajú. Po vyskúšaní všetkých možností som si zvolil jednotlivé verzie SDK ktoré mi vyhovovali a nemali žiadne problémy s funkčnosťou na školskom počítači s nainštalovaným operačným systémom Windows 7. Potom som sa pustil do samotnej realizácie jednotlivých projektov. Najprv som pripravil hardwarové časti jednotlivých navrhnutých prototypov. Potom som postupne riešil jednotlivé frameworky. Väčšina vývoja prebiehala v laboratóriu na fakulte. Hlavným dôvodom bolo, že jednotlivé komponenty sú pomerne drahé a v laboratóriu som mal prístup dokonca k viacerým druhom zariadení. Tiež bol veľmi nápomocný poskytnutý výkonný počítač. Ku koncu vývoja, keď som mal vybrať potrebné časti mi boli niektoré zapožičané, čo značne urýchlilo nejaké fázy vývoja.

6.1 Prototyp 1

Hardwarová realizácia bola pomerne jednoduchá. Vytlačil som značku Hiro v požadovanej veľkosti aj a presne som odmeral naplánované miesto polohy Leap Motion. Tento papier som umiestnil na stôl a naň som na vyznačené miesto položil Leap Motion. Pri pripájaní Vuzix okuliarov som narazil na problém, keďže model, ktorý bol na fakulte patril k staršej rade a disponoval iba VGA konektorom. Počítače v laboratóriu však obsahovali len grafické karty s HDMI a Display Port výstupmi. Problém som riešil redukciami. Následne už stačilo len natočiť displej kamery do správnej polohy priamo pred oči.

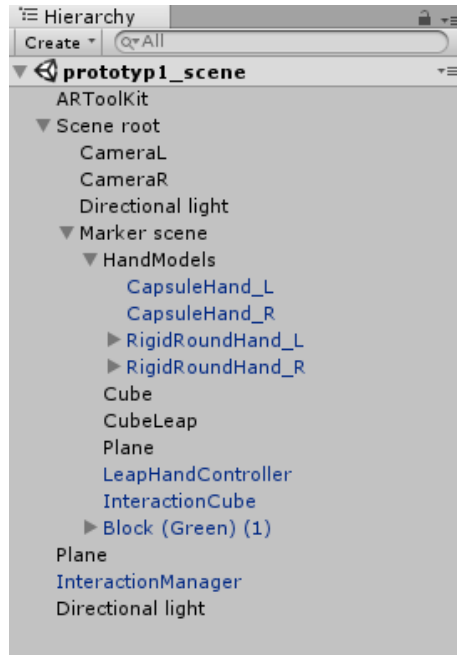
Pred samotným vývojom softwaru som však ešte musel vykonať kalibráciu kamery a kalibráciu pohľadu užívateľa voči pohľadu kamery. Okuliare som nastavil na odporúčané rozlíšenie 1280x720 a v pre toto rozlíšenie som ďalej kalibroval aj vyvíjal samotný program.



Obr. 6.1: Prototyp 1

Vývoj programu začal postupným pridávaním pluginov do Unity. Vo všetkých projektoch som použil Unity vo verzii 5.5.0 a neskôr som prešiel na 5.5.2. Plánoval som využiť aj verziu 5.6.0 ale tá spôsobila nefunkčnosť Leap Motion pluginu kvôli nekompatibilitě NUnit frameworku. Vývoj prebiehal podľa návrhu. Po pridaní všetkých potrebných pluginov som vyriešil konflikty v niektorých súboroch a odstránil všetky varovné hlášky. V tejto časti som použil ARToolkit Unity balíček 5.3.2 a Leap Motion Core Assets 4.1.5. Keď som mal pripravené a funkčné jednotlivé pluginy záložoval som si túto verziu projektu aby som z nej mohol pokračovať aj v nasledujúcich dvoch prototypoch. Potom som začal postupne podľa návrhu tvoriť objekty a pridávať k nim potrebné komponenty a skripty z balíčkov.

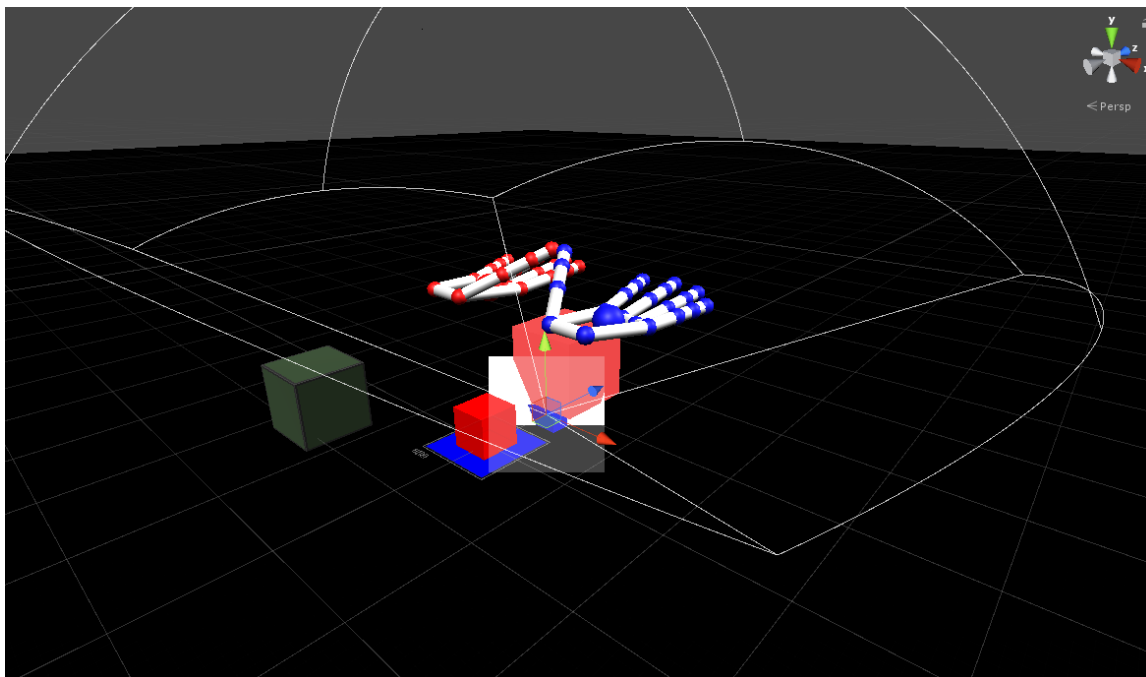
Okuliare, ktoré som používal fungujú tak, že vykresľujú objekty na displej pričom ignorujú čiernu farbu a tá sa berie ako priehľadné prostredie. Tento spôsob vykresľovania a nutnosť zobrazovať aplikáciu na celú obrazovku robilo vstavaný testovací mód prostredia nepoužiteľný a jednotlivé verzie som musel kompilovať aj pre testovacie účely. V okuliaroch bolo tiež nutné pomocou priloženého ovládača nastaviť zobrazovanie pre jednotlivé oči zvlášť aby sa dosiahlo trojdimenzionálne zobrazenie.



Obr. 6.2: Herné objekty prototypu 1 v Unity engine.

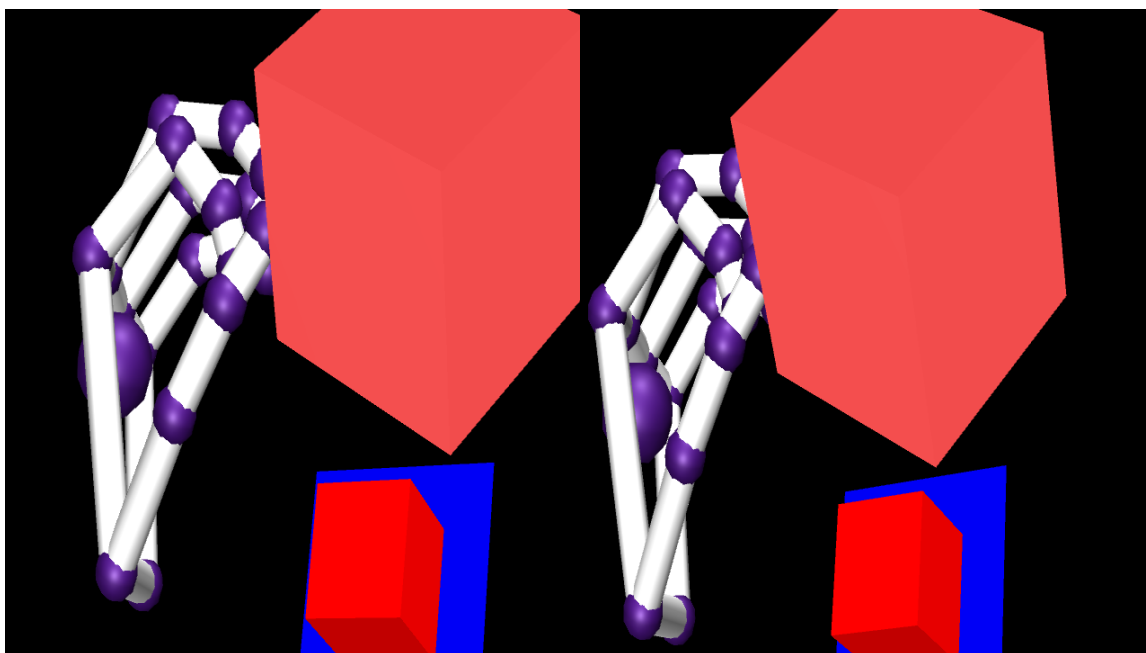
Scéna je podľa návrhu rozdelená na ARToolKit kontrolér a základnú scénu. Tá obsahuje kamery, ktoré maskujú vrstvy pozadia a zobrazujú len virtuálne objekty. Tiež majú priradený skript ktorý vykonáva transformáciu na základe zvoleného kalibračného súboru. Ďalej je tam prostredie značky. Jeho stred je v strede značky a umiestnil som doňho všetky virtuálne objekty vrátane Leap Motion kontroléra.

Potom som pridal a nastavil modely rúk, vrátane fyzikálnych modelov pre umožnenie interakcie. Kontrolér som umiestnil v prostredí na presnú pozíciu voči značke a to 0,15 m od spodného okraja značky. Projekt som otestoval. Pri testoch som zistil, že umiestnenie Leap Motion kontroléra tak ďaleko od značky značne skresľuje polohu rúk voči prostrediu. Najvhodnejším miestom sa javí miesto čo najbližšie za značkou. Blízko preto aby sa potlačilo skreslenie a za značku aby nezakrýval značku pri pohľade užívateľa. Potom som ešte posunul kontrolér do výšky 0,035 pretože snímacia plocha je umiestnená vyššie kvôli výške zariadenia. Po týchto úpravách sa poloha vykreslených rúk relatívne zhodovala s pozíciou reálnych rúk.



Obr. 6.3: Rozloženie objektov v scéne.

Po úspešnej kalibrácii bolo na rade pripojiť interakčný engine pre Leap Motion aby bolo možné rozoznávať gestá a interagovať s virtuálnymi objektmi. Pre umožnenie tejto interakcie som pridal objekt InteractionManager, ktorý bude interakcie riadiť. Objektom, ktoré majú byť interaktívne musí byť priradený správny materiál. Potom som pridal do scény nejaké objekty aby som overil interakciu. Neskôr som na základe tohto projektu vytvoril demonštračnú a zároveň experimentálnu aplikáciu.



Obr. 6.4: Výsledné zobrazenie pre okuliare Vuzix.

6.2 Prototyp 2

Pri tomto prototypy som opäť použil vytlačенú rovinnú značku, ako v predchádzajúcom prípade. Podobné bolo tiež použitie redukcie a trojrozmerný režim. Jediný rozdiel je, že som umiestnil Leap Motion na vrch kamery okuliarov a upevnil tak aby nezakrývala žiadne senzory.



Obr. 6.5: Hardwarová realizácia druhého prototypu.

Aj keď som mal pripravenú hardwarovú realizáciu tohto prototypu a mohol som použiť značnú časť softwarovej realizácie prvého projektu rozhodol som sa vo vývoji tejto vetvy nepokračovať. Hlavnými dôvodmi bolo to, že poskytnuté okuliare, hoci sú na veľmi vysokej úrovni, neposkytovali dostatočné zorné pole na použitie v takom rozsahu ako som zamýšľal. Ďalším dôvodom bola nízka snímacia frekvencia zabudovanej kamery, čo spôsobovalo takzvané plávanie objektu pri pohyboch hlavy a výsledný efekt bol nedostačujúci. Tieto problémy som si všimol už pri vývoji prvej vetvy práce, ale kvôli porovnaniu vlastností s prototypom Oculus som chcel mať jedno použitie okuliarov kompletne.

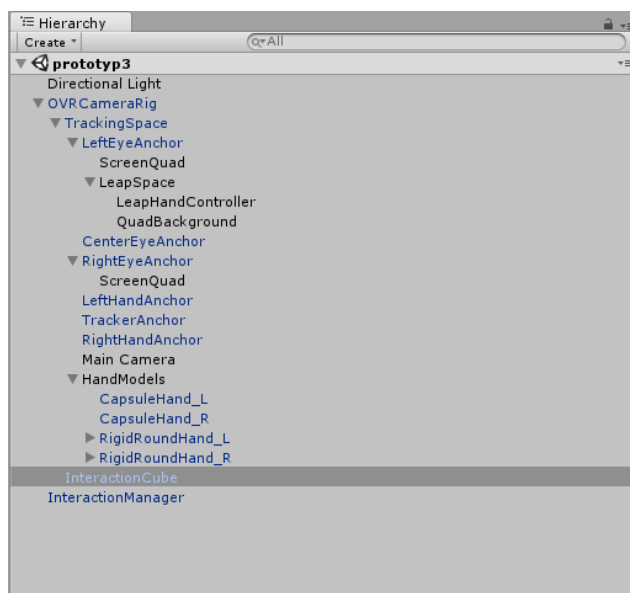
6.3 Prototyp 3

Tento posledný prototyp bol najzložitejší, keďže pozostával z najväčšieho počtu komponentov a bolo ich nutné umiestniť čo najlepšie a najpevnejšie (kamera ZED je pomerne objemná a ťažká oproti napríklad kamere DUO) bez toho aby som zakryl niektorý zo senzorov kamery a Leap Motion. Pri realizácii som sa snažil čo najpresnejšie dodržať naplánované rozloženie komponentov a to sa mi aj podarilo. Leap Motion vďaka polohe na spodnej strane HMD a miernemu natočeniu presne sníma plánovaný priestor pred užívateľom. Kamera vyžadovala predĺžovací USB kábel, keďže pôvodný kábel obmedzoval v pohybe užívateľa. Predĺžovací kábel musel byť verzie 3.0 a vyššej aby som udržal čo najvyšší tok dát z kamery a takto dosiahol stabilných 60 obrázkov za sekundu pri rozlíšení 1280x720.



Obr. 6.6: Hardwarová realizácia tretieho prototypu.

Základ softwarovej časti riešenia som použil ako som už spomínal z prvej vetvy práce a k nemu som pridal postupne SDK pre kameru ZED vo verzii 1.2.0. Aj keď nedávno vyšla verzia 2.0 použil som staršiu pretože nová verzia z bližšie nezistených dôvodov nefungovala správne. Aj napriek viacerým testom a reinstaláciám sa mi nepodarilo sprístupniť kamery pre Unity. Ovládanie Nastavenie a vývoj pre Oculus Rift DK2 bolo našťastie plynulé a bezproblémové. Herný engine si s virtuálnou realitou vedel skvele poradiť. Po pridaní objektu HMD som postupne pridal ovládač kamery.

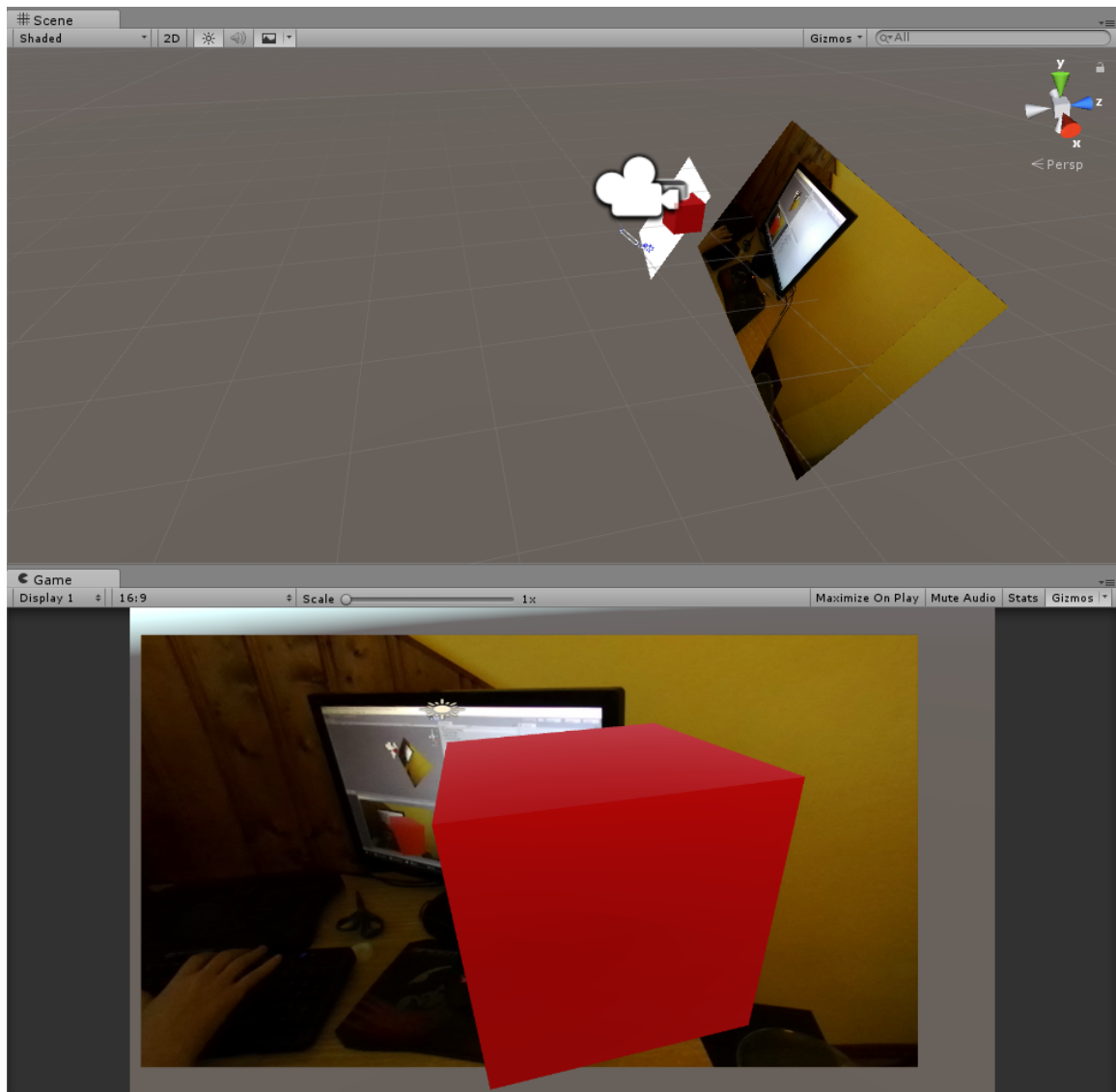


Obr. 6.7: Použité herné objekty.

Ovládač kamery som nastavil na 720p s obmedzením na 60FPS. Potom som ku kotvám kamier pre obe oči pridal zobrazovacie plátna obrazu z kamery. Plátna som umiestnil do vzdialenosti dvoch metrov od HMD tak aby pokrývali väčšinu zorného poľa užívateľa. Tým že vertikálny zorný uhol v HMD Oculus Rift DK2 je okolo 110° a musel som zachovať pomery strán videa vzniká pod a nad plátnom slepé miesto. Keďže stereoskopická kamera ponúka možnosť získavať aj hĺbkové dáta, experimentoval som aj s touto možnosťou u zobrazovacích povrchov. Výsledky však neboli uspokojivé, často sa stávalo, že vypočítané vzdialenosti neboli v niektorých prípadoch presné a prekryvali bližší virtuálny objekt. Preto som sa rozhodol hĺbkové dáta z kamier nepoužiť.

Pri postavení zobrazovacích plôch som vzdialenosť medzi nimi najprv nastavil najprv na 6cm. Toto zobrazenie bolo uspokojivé pri strednej vzdialenosti objektov. Scéna vyzerala trojrozmerné a určovanie vzdialenosti mi nerobilo problém. Ale pri blízkych objektoch sa obraz rozostroval. Keďže zariadenie má byť určené aj na interakciu, blízke zobrazenie je dôležitejšie ako zobrazenie vzdialených objektov. Preto som plátna prestavil do vzdialenosti 40cm od seba vo vzdialenosti plátna 2m. To mi umožnilo vidieť blízke objekty pomerne ostro v rámci možností rozlíšenia HMD. Po tomto nastavení zariadenie dobre zobrazovalo aj virtuálne objekty. Oči nemuseli zaostrávať pri zmene pohľadu na virtuálny alebo reálny objekt. Vzdialené objekty však boli rozostrené. Toto by sa dalo v budúcnosti riešiť adaptívnou vzdialenosťou medzi zobrazovacími plochami, ktorá by sa prispôbovala na základe nejakých spoľahlivých hĺbkových dát.

Pri kalibrácii Leap Motion som sa nakoniec rozhodol použiť pevnú kalibráciu ako je to v prípade príkladu z balíka Leap Motion pre rozšírenú reality. Na základe experimentálne zistených hodnôt som teda kameru a Leap kontrolér umiestnil do vzdialenosti 12 centimetrov od stredu HMD. Nakoniec som pridal InteractionManager objekt, ktorý sa stará o interakciu.



Obr. 6.8: Zobrazenie v skúšobnom móde Unity.

6.4 Návrh experimentov

Aby bolo možné vyhodnotiť úspešnosť implementácie a kalibračného softwaru, budem musieť vytvoriť sadu užívateľských experimentov, v ktorých si jednotlivé vlastnosti overím. Tieto testy postačí vykonať len na pár užívateľoch. To by malo stačiť na ohodnotenie spoľahlivosti kalibrácie a určenie funkčnosti všetkých častí prototypov a algoritmov. Tieto jednotlivé testy sa pokúsím navrhnuť tak aby sa dali použiť aj ako demonštračná aplikácia prezentujúca vlastnosti vytvorených prototypov. Rozhodol som sa spraviť testovacie aplikácie pre overenie správnosti kalibračných metód pre okuliare s priehľadnými displejmi. Potom by som chcel otestovať správanie sa jedného z prototypov okuliarov s Leap Motion a nakoniec aj jednoduchý test prototypu s Oculusom.

Test kalibračnej metódy

V tomto experimente som sa rozhodol zamerať sa len na správnosť kalibrácie okuliarov s priehľadným displejom a 3D zobrazenie pre užívateľa. Keďže je toto vnímanie veľmi subjektívne, kalibrácia displejov s užívateľom musí byť individuálna. Táto kalibrácia tiež zaberie nejaký čas, aj preto som sa rozhodol že budem testovať na malom množstve subjektov. Zameriam sa pri tom hlavne na to aby som určil v akej miere ovplyvnia správne dáta vnímanie užívateľa a do akej miery môžem tie to dáta upraviť aby užívateľ pozoroval nesprávne zobrazovanie virtuálnych objektov.

Experiment bude prebiehať tak, že na začiatku prevediem užívateľa kalibráciou a pokúsime sa získať čo najpresnejšie transformačné dáta. Tieto dáta vložím do svojej testovacej aplikácie, v ktorej z nich vytvorím 5 testovacích kôl. Jednotlivé kolá budú obsahovať jeden test so správnymi dátami a do zvyšných sa vnesie odstupňovaná chyba tak aby bola transformácia oboch očí rovnaká a pridám aj jeden prípad rozdielnej transformácie očí. Bude ma zaujímať užívateľov pohľad na presnosť zobrazenia objektu na miesto a správnosť 3D zobrazenia objektu, keďže pracujem s dvoma displejmi a kalibračnými dátami. Užívateľa počas testu poprosím aby odpovedal na tieto 4 otázky:

1. Ohodnoťte presnosť prekrytia značky objektom od 1 do 5 kde 5 je najpresnejšie.
2. Ohodnoťte presnosť prekrytia značky objektom len pre ľavé oko od 1 do 5 kde 5 je najpresnejšie.
3. Ohodnoťte presnosť prekrytia značky objektom len pre pravé oko od 1 do 5 kde 5 je najpresnejšie.
4. Je daný objekt zobrazený trojrozmerné správne? (1 do 5)

Scéna experimentu bude pozostávať z kocky umiestnenej do vnútornej časti značky Hiro. Jednoduchú kocku som zvolil preto, lebo jej hrany budú presne priliehať na značku a bude jednoduché určiť presnosť zobrazenia. Tiež je to jednoduchý 3D objekt takže užívateľ nebude mať problém určiť či je v jednotlivých displejoch obraz premietaný správne tak aby sa zobrazila trojrozmerné a nie s rozmazanými hranami. Ďalej pridám farebný vonkajší obrys značky ako ďalšiu možnosť určiť presnosť zobrazenia.

Po teste vyhodnotím ako moje zmeny ovplyvnili vnímanie užívateľa a či narušili zobrazenie 3D objektu. Tiež ma bude zaujímať či dokáže určiť ktoré kolo prebiehalo s neporušenými kalibračnými dátami

Test pre okuliare Vuzix s Leap Motion

V nasledujúcom experimente sa zameriam na testovanie kalibrácie kamery voči polohe Leap Motion senzora. Rozhodol som sa použiť prvú verziu zariadenia, teda zariadenie s Leap Motion umiestneným na stole. V teste chcem overiť či bude kalibrácia na základe značky a vzdialeností úspešná, ako bude Leap Motion spracovávať gestá užívateľa a či bude môcť užívateľ vykonať jednoduché úlohy. Pri tomto teste budem môcť využiť kalibračné súbory z predchádzajúceho experimentu a urýchliť tak proces testovania. Scéna by mala pozostávať zo zvýraznenej značky aby bolo hneď možné overiť správnosť kalibrácie kamery. V presnej vzdialenosti bude umiestnený objekt prekrývajúci Leap Motion zariadenie v reálnom prostredí. Ďalej do prostredia vložím pár objektov, ktoré budú reagovať na dotyk ruky užívateľa. Objekty bude možné posúvať a tiež budú reagovať na uchytanie. S užívateľom

najprv overíme správnosť kalibrácie zobrazenia. Potom mu dám pár jednoduchých úloh, v ktorých sa bude musieť dotknúť objektov z rôznych uhlov. Zhodiť vežu z kociek a potom ju znova postaviť. V tomto teste budem merať čas splnenia všetkých úloh. Ale keďže správnosť reagovania systému na polohu rúk a zároveň zobrazenia je opäť individuálna budem musieť položiť užívateľovi otázky na jeho vnímanie systému.

1. Ohodnoťte presnosť zobrazenia objektu na značke od 1 do 5 kde 5 je najlepšie.
2. Ohodnoťte presnosť prekrytia virtuálneho a reálneho Leap Motion senzora od 1 do 5 kde 5 je najlepšie.
3. Dotknite sa postupne zobrazených objektov z vrchu, z boku a z prednej strany a ohodnoťte správnosť reakcií na dotyk od 1 do 5 kde 5 je najlepšie.
4. Zhodte zobrazenú vežu z kociek a kocky odsuňte na vyznačené miesto. Ohodnoťte správanie objektov na posun.
5. Postavte z daných kociek vežu pomocou uchopenia objektu. Ohodnoťte reakciu objektu na uchopenie.

Z dotyku objektov z rôznych strán by som mal byť schopný približne určiť nepresnosť kalibrácie. Z ďalších dvoch testov uvidím presnosť kolízií, overím rozoznávanie gest Leap Motion a tiež to posluží ako jednoduchá demonštrácia možností. Na záver ma budú zaujímať postrehy a pocity užívateľa.

Test prototypu s Oculus Rift

Posledný experiment vykonám na prototypu Oculus. U tohto zariadenia ma budú zaujímať iné faktory a vlastnosti ako v predchádzajúcich prípadoch. Zameriam sa na použiteľnosť tohto prístupu simulovanej rozšírenej reality. Čiže ma budú zaujímať vlastnosti ako správne trojrozmerné zobrazenie a z toho vyplývajúce určovanie vzdialeností. Potom tiež ostrosť a kvalita obrazu a tiež počet snímkov za sekundu. Scéna preto bude tentoraz vyzeráť inak. Užívateľa umiestnim v laboratóriu a budú ma zaujímať jeho vnemy blízkych a vzdialených objektov. Potom budem chcieť aby užívateľ prečítal text a pár krát sa pozrel zo strany na stranu. Nakoniec užívateľovi umiestnim do scény objekty a bude ma zaujímať presnosť jeho zobrazenia. Tiež budem chcieť aby sa objektov dotkol, posunul ho a preniesol ako v predchádzajúcom experimente. Počas pokusu sa budem pýtať na tieto otázky.

1. Sú blízke objekty dobre viditeľné? (1-5 kde 5 je najlepšie)
2. Sú blízke objekty veľkosťou rovnaké ako reálne? (1-5 kde 5 je najlepšie)
3. Je čítaný text dobre viditeľný? (1-5 kde 5 je najlepšie)
4. Bolo zobrazenie pri otáčaní hlavy súvislé? (1-5 kde 5 je najlepšie)
5. Reagoval objekt na dotyk správne? (1-5 kde 5 je najlepšie)
6. Bol pohyb pri posune a uchopení plynulý? (1-5 kde 5 je najlepšie)

Po ukončení experimentu ma tiež bude zaujímať subjektívny názor užívateľa na fungovanie celého systému, jeho postrehy a návrhy na zlepšenie. Tiež budem zvedavý či toto riešenie nespôsobí závrate, prípadne nevoľnosť, pretože u niektorých aplikácií virtuálnej reality je tento jav niekedy pozorovaný a nemalo by to dobrý vplyv na použiteľnosť zariadenia v budúcnosti.

Kapitola 7

Vyhodnotenie experimentov

Experimenty prebiehali v robotickom laboratóriu na fakulte. Zúčastnili sa ich dvaja moji spolužiaci a tiež som si ich pre porovnanie skúsil aj ja. Na začiatku som pripravil tri testovacie projekty podľa návrhu. Potom som pripravil prostredie laboratória a zapojil všetky prototypy. Nakoniec prišlo samotné testovanie.

7.1 Test kalibrácie

V tomto teste musel najprv testovací subjekt prejsť kalibráciou Vuzix okuliarov pre obe oči. Všimol som si, že prvá kalibrácia trvala podstatne dlhšie ako ostatné. Pri ďalších kalibráciách to užívatelia zvládli s uspokojivým výsledkom v priebehu jednej minúty. Po vložení kalibračných dát do programu subjekty hlásili len minimálne nezhody prekrytia značky a objektu. Po zmenách transformačnej matice užívatelia neregistrovali zmenu pokiaľ sa pohybovala v rámci 0,001 do 0.01. Pri zmene polohy oka sa zmena neprejavovala aj pri väčších výchyľkách. Najväčší vplyv na nepresnosť kalibrácie mal hlavne aj nepatrný posun okuliarov na hlave.

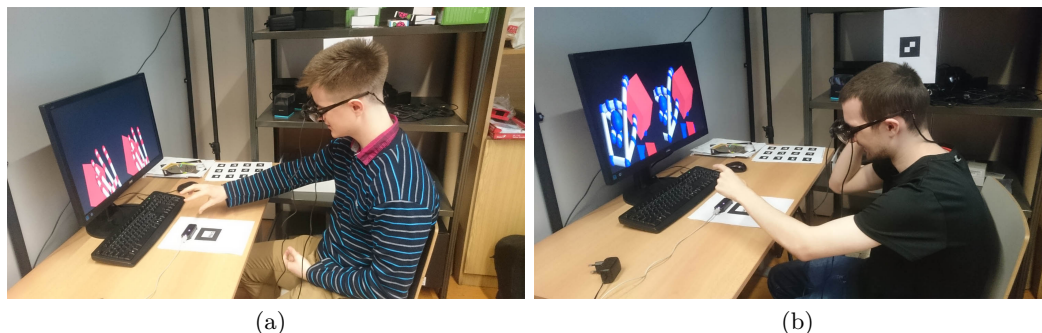
Trojrozmerné zobrazenie fungovalo spoľahlivo. Užívatelia videli objekt trojrozmerné a nestožovali sa na prípadné rozmazanie alebo nepresnosti. Testovaní presnosť a zobrazenie hodnotili pozitívne a nemali väčšie výhrady okrem toho, že jednému z nich okuliare nesedeli a musel si ich rukou pridržiavať. Pri použití iných okuliarov, alebo dostatočnom upevnení by sa vyriešilo aj nepresnosť kalibrácie v prípade posunutia.

7.2 Test prototypu 1

Pri tomto experimente som použil najlepšie kalibračné dáta od každého testovaného subjektu. V scéne boli dva objekty, ktoré reagovali na modely rúk. Užívatelia s posúvaním objektu nemali problém. Test uchopenia vyžadoval však viac pokusov, kým boli schopní chytiť kocku a presunúť ju. Novšia verzia interakčného enginu, ktorý Leap Motion snád čoskoro poskytne by mohla tieto problémy vyriešiť.

Pri testoch sa mi však potvrdil predpoklad, že zorné pole okuliarov Vuzix nie je pre takéto využitie dostačujúce. Užívatelia si často rukou prekryli značku, prípadne vychádzali rukou mimo zorné pole a nutnosť videnia značky ich značne obmedzovala. Tento problém by bolo možné riešiť pridaním senzoru, ktorý by snímal pohyb hlavy v priestore a potlačil by nutnosť mať značku stále v zábere kamery. Prípadne použiť okuliare, s väčším zorným polom.

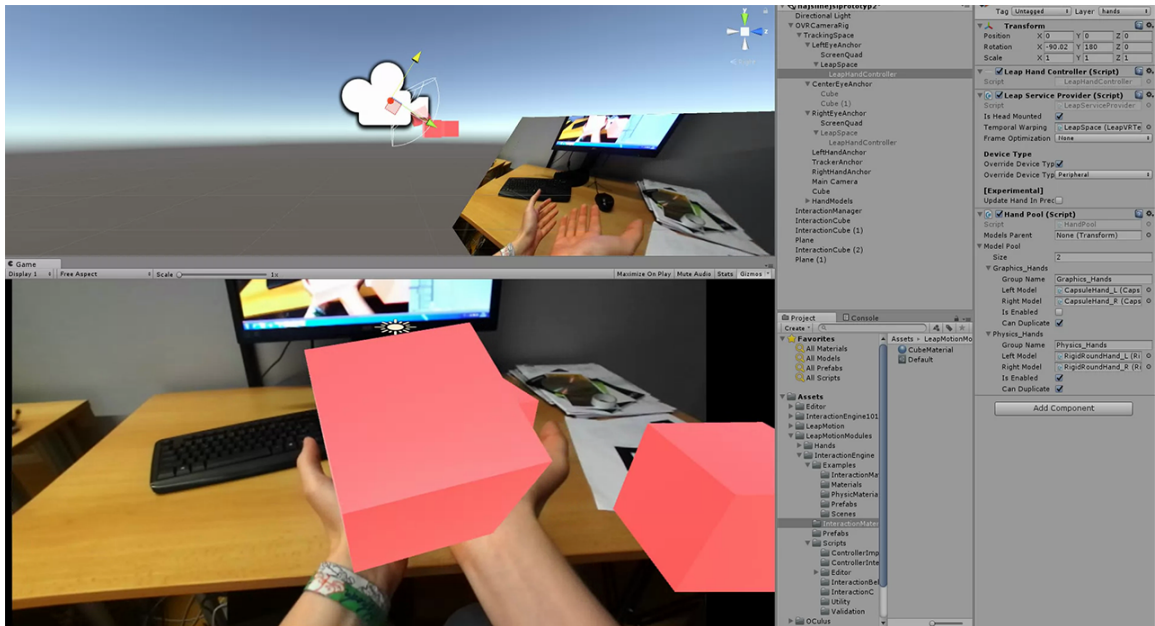
Ďalším odhaleným problémom bola nízka frekvencia snímok za sekundu u kamery okuliarov. Pri rozlíšení 1280x720 bola najvyššia možná frekvencia 10 snímok za sekundu. Toto spôsobovalo takzvané plávanie objektu a neskoré reakcie na zmeny pohľadu na značku. Tento problém je tiež jednoduché vyriešiť nahradením kamery za kvalitnejšou.



Obr. 7.1: Experimenty s prototypom 1

7.3 Test prototypu 3

Tretia časť experimentov sa zaobišla bez nutnosti individuálnej kalibrácie a užívatelia mohli ihneď po nasadení okuliarov začať. Scéna pozostávala z troch kociek a neviditeľnej plochy stola. Po spustení testu kocky spadli na stôl pred užívateľa tak aby na nich bolo možné dosiahnuť. Zobrazovanie bežalo plynule na 60 snímkach za sekundu a ani pri otáčaní hlavy nebolo spozorované spomalenie, alebo sekanie. Zobrazovanie okolia v blízkosti okolo dvoch metrov bolo správne a užívateľ nemal problém sa v ňom zorientovať. Čítanie väčších písmen textu prebiehalo tiež veľmi dobre, menšie nebolo možné čítať kvôli limitácii rozlíšenia Oculus Rift. Dokonca si nebolo treba skladať prototyp ani pri práci s PC pri reštartovaní testovacieho módu.



Obr. 7.2: Experimenty s prototypom 3

Najväčšou obavou bolo, že používanie prototypu po dlhší čas bude spôsobovať závrate, prípadne nevoľnosť. Táto obava sa našťastie nepotvrdila a ani jeden z testovacích subjektov žiadne problémy nepocítil. Samotná interakcia s kockami bola bezproblémová. Posúvanie bolo prirodzené a uchopenie vyžadovalo trochu tréningu podobne ako pri predchádzajúcom prípade.

Nedostatok ktorý som si všimol je, že pri vypnutí virtuálnych rúk je boli normálne ruky vykresľované za objektom aj keď reálne sa nachádzali pred. Tento nedostatok by bolo v budúcnosti možné riešiť pridaním kvalitných hĺbkových dát a vykresľovaním vnímaného videa podľa nich.

Ďalším pozorovaným nedostatkom je, že objekty neboli prichytené v prostredí a pohybovali sa pri výraznej zmene polohy HMD v priestore. Tento problém vyplýva z toho, že sa mi nepodarilo sfunkčnit dostatočne dobre rozpoznávanie značiek ARToolkitu v prostredí v súčinnosti s kamerou ZED. Jednoduchým riešením, ktoré by mohlo nahradiť rozpoznávanie značiek by malo byť pridanie polohového senzora, ktorý v súčasnosti patrí k príslušenstvu takmer každého VR headsetu.

Kapitola 8

Záver

Cieľom tejto práce bolo získať a spracovať teoretické poznatky potrebné pre návrh a zhotovenie zariadenia umožňujúceho užívateľom interakciu s rozšírenou realitou a toto zariadenie aj vyrobiť a otestovať.

V začiatkoch práce som sa venoval štúdiu dostupných materiálov týkajúcich sa samotnej rozšírenej reality a jej využitia. Následne som sa podrobne oboznámil s všetkými zariadeniami, ktoré by som mohol pri riešení tohto problému využiť a boli dostupné v laboratóriu. Zariadenia som dôkladne otestoval aby som získal predstavu o ich možnostiach. To obnášalo taktiež preštudovať ich dostupnú softwarovú podporu.

Na základe získaných skúseností som navrhol tri prototypy, ktoré by mali plniť zadaný cieľ. Rozhodol som sa ísť cestou projektu v hernom engine Unity, aby bolo možné tieto zariadenia upravovať a znovu použiť pri ďalších projektoch fakulty. Z týchto navrhnutých prototypov boli dve, ktoré využívali klasické okuliare na rozšírenú realitu a jeden, ktorý rozšírenú realitu simuluje prostredníctvom headsetu Oculus Rift a stereoskopickej kamery.

Dve z navrhnutých zariadení som aj implementoval. Konkrétne jedno s využitím okuliarov Vuzix a druhé so simulovanou rozšírenou realitou. Návrh a stavbu som dôkladne zdokumentoval. Tiež som vysvetlil dôvody prečo som sa rozhodol neimplementovať druhý navrhnutý prototyp.

Nakoniec som vykonal experimenty s užívateľmi pri ktorých som si overil správnosť návrhu a funkčnosť vytvorených prototypov. Súčasťou experimentov bolo aj otestovanie použitých kalibračných nástrojov pre AR okuliare. Riešenia vo veľkej miere splňali moje očakávania. Experimenty ale odhalili aj niektoré nedostatky. Tieto nedostatky som zanalyzoval a navrhol ich riešenia.

V tejto práci by bolo možné v budúcnosti pokračovať na oprave odhalených nedostatkov. Napríklad skúsiť vylepšiť prvý prototyp o novšie okuliare a kameru, pre zlepšenie zorného poľa a rýchlosti reakcie objektov na pohyb užívateľa. Posledný prototyp je možné vylepšiť o rozpoznávanie značiek pomocou nástroja ARToolkit v novej chystanej verzii, ktorá by mohla opraviť chybu spustenia stereo kamery v Unity. Ďalším zlepšením, ktoré by bolo schopné nahradiť rozpoznávanie značiek by bolo pridanie pohybového senzora k VR headsetu.

Literatúra

- [1] ARToolkit Documentation. [Online; navštívené 4.1.2017].
URL <https://artoolkit.org/documentation/>
- [2] Hands on with Microsoft's HoloLens: Augmented reality gets more refined but is still a little clumsy. [Online; navštívené 20.3.2017].
URL <https://qz.com/652090/hands-on-with-microsofts-hololens-augmented-reality-gets-more-refined-but-is-still-a-little-clumsy/>
- [3] Aukstakalnis, S.: *Practical Augmented Reality: A Guide to the Technologies, Applications, and Human Factors for AR and VR*. Usability, Pearson Education, 2016, ISBN 9780134094359.
URL https://books.google.sk/books?id=4oz_DAAAQBAJ
- [4] Azuma, R. T.: A survey of augmented reality. *Presence: Teleoperators and virtual environments*, ročník 6, č. 4, 1997: s. 355–385.
- [5] Creighton, R.: *Unity 3D Game Development by Example Beginner's Guide: Lite*. Packt Publishing, Limited, 2011, ISBN 9781849691611.
URL https://books.google.sk/books?id=7H_6HzPj2sYC
- [6] Fiala, M.: Artag, an improved marker system based on artoolkit. *National Research Council Canada, Publication Number: NRC*, ročník 47419, 2004: str. 2004.
- [7] GmbH, W.: Wikitude Navigation. [Online; navštívené 29.12.2016].
URL <http://www.wikitude.com/showcase/wikitude-navigation/>
- [8] Guna, J.; Jakus, G.; Pogačnik, M.; aj.: An Analysis of the Precision and Reliability of the Leap Motion Sensor and Its Suitability for Static and Dynamic Tracking. *Sensors*, ročník 14, č. 2, 2014: s. 3702–3720, ISSN 1424-8220, doi:10.3390/s140203702.
URL <http://www.mdpi.com/1424-8220/14/2/3702>
- [9] Lee, J.: *Learning Unreal Engine Game Development*. Packt Publishing, 2016, ISBN 9781784395964.
URL <https://books.google.sk/books?id=RFpLDAAAQBAJ>
- [10] Peddie, J.: *Augmented Reality: Where We Will All Live*. Springer International Publishing, 2017, ISBN 9783319545028.
URL <https://books.google.sk/books?id=fw-1DgAAQBAJ>
- [11] Steptoe, W.; Julier, S.; Steed, A.: Presence and discernability in conventional and non-photorealistic immersive augmented reality. In *2014 IEEE International Symposium on Mixed and Augmented Reality (ISMAR)*, Sept 2014, s. 213–218, doi:10.1109/ISMAR.2014.6948430.

- [12] Taylor, A.: *Develop Microsoft HoloLens Apps Now*. Apress, 2016, ISBN 9781484222027.
URL <https://books.google.sk/books?id=26B1DQAAQBAJ>
- [13] Van Krevelen, D.; Poelman, R.: A survey of augmented reality technologies, applications and limitations. *International Journal of Virtual Reality*, ročník 9, č. 2, 2010: str. 1.
- [14] Wagner, D.; Schmalstieg, D.: First steps towards handheld augmented reality. In *ISWC*, ročník 3, 2003, str. 127.
- [15] Widder, B.: BEST AUGMENTED-REALITY APPS. [Online; navštívené 2.1.2017].
URL <http://www.digitaltrends.com/mobile/best-augmented-reality-apps/>

Prílohy

Príloha A

Obsah DVD

\bin - skompilované spustiteľné súbory
\plagat - plagát k práci
\projekt - zdrojové súbory
\sdk - potrebné inštalátory SDK
\sprava - technická správa
\video - video k práci
\readme.txt - návod na spustenie

Príloha B

Značka Hiro



Príloha C

Značka optickej kalibrácie

