

Využitie 3D skenerov vo virtuálnej realite

Bc. Peter Bitara

Diplomová práce
2020



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta aplikované informatiky

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta aplikované informatiky

Ústav elektroniky a měření

Akademický rok: 2019/2020

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: **Bc. Peter Bitara**
Osobní číslo: **A18405**
Studijní program: **N3902 Inženýrská informatika**
Studijní obor: **Bezpečnostní technologie, systémy a management**
Forma studia: **Prezenční**
Téma práce: **Využití 3D scanneru ve virtuální realitě**
Téma práce anglicky: **3D Scanner Use in Virtual Reality**

Zásady pro vypracování

1. Vypracujte literární rešerši zaměřenou na 3D skenery a virtuální realitu.
2. Analyzujte možnosti softwarových nástrojů pro vyobrazení naskenovaných 3D scén.
3. Naskenujte předlohovou scénu a exportujte ji do vybraného softwarového prostředí.
4. Implementujte interaktivní prvky předlohové 3D scény.
5. Umožněte zobrazení 3D scény ve virtuální realitě.

Rozsah diplomové práce:

Rozsah příloh:

Forma zpracování diplomové práce: **tištěná/elektronická**

Seznam doporučené literatury:

1. MINHUA MA, , ZHENG Huiru a LALLIE Harjinder. Virtual Reality and 3D Animation in Forensic Visualization*. *Journal of Forensic Sciences* [online]. 2010, 55(5), 1227-1231 [cit. 2019-11-21]. DOI: 10.1111/j.1556-4029.2010.01453.x. ISSN 00221198. Dostupné z: <http://doi.wiley.com/10.1111/j.1556-4029.2010.01453.x>
2. Süncksen Matthias, Hamester Frederik, Ebert Lars C. and Teistler Michael. 2019. Preparing and Guiding Forensic Crime Scene Inspections in Virtual Reality. In *Mensch und Computer 2019* (MuC 219), September 8-11, 2019, Hamburg, Germany. ACM, New York, NY, USA, 4 pages. <https://doi.org/10.1145/3340764.3344903>
3. Parisi Tony, *Learning Virtual Reality*. O'Reilly Media, Inc, USA, 2015, ISBN: 1491922834.
4. ems-usa. *Types of 3D Scanners and 3D Scanning Technologies* [online]. , 7 [cit. 2019-11-27]. Dostupné z: <https://www.ems-usa.com/tech-papers/3D%20Scanning%20Technologies%20.pdf>
5. creaform3d. An introduction to 3D scanning. *Creaform Ebook Series: Ebook#1* [online]. 2014, 29 [cit. 2019-11-27]. Dostupné z: https://www.creaform3d.com/sites/default/files/assets/technological-fundamentals/ebook1_an_introduction_to_3d_scanning_en_26082014.pdf
6. Daneshmand, Morteza & Helmi, Ahmed & Avots, Egjils & Noroozi, Fatemeh & Alisanoglu, Fatih & Arslan, Hasan & Gorbova, Jelena & Hamer, Rain & Ozcinar, Cagri & Anbarjafari, Gholamreza. (2018). 3D Scanning: A Comprehensive Survey. [cit. 2019-11-27]. Dostupné z: https://www.researchgate.net/publication/322756492_3D_Scanning_A_Comprehensive_Survey

Vedoucí diplomové práce: **doc. Mgr. Milan Adámek, Ph.D.**
Ústav bezpečnostního inženýrství

Datum zadání diplomové práce: **9. prosince 2019**

Termín odevzdání diplomové práce: **29. května 2020**



L.S.

doc. Mgr. Milan Adámek, Ph.D.
děkan

Ing. Milan Navrátil, Ph.D.
ředitel ústavu

Ve Zlíně dne 9. prosince 2019

Prohlašuji, že

- beru na vědomí, že odevzdáním diplomové práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, bez ohledu na výsledek obhajoby;
- beru na vědomí, že diplomová práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému dostupná k prezenčnímu nahlédnutí, že jeden výtisk diplomové/bakalářské práce bude uložen v příruční knihovně Fakulty aplikované informatiky Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně a jeden výtisk bude uložen u vedoucího práce;
- byl/a jsem seznámen/a s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, zejm. § 35 odst. 3;
- beru na vědomí, že podle § 60 odst. 1 autorského zákona má UTB ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- beru na vědomí, že podle § 60 odst. 2 a 3 autorského zákona mohu užít své dílo – diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen připouští-li tak licenční smlouva uzavřená mezi mnou a Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně s tím, že vyrovnání případného přiměřeného příspěvku na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše) bude rovněž předmětem této licenční smlouvy;
- beru na vědomí, že pokud bylo k vypracování diplomové práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tedy pouze k nekomerčnímu využití), nelze výsledky diplomové/bakalářské práce využít ke komerčním účelům;
- beru na vědomí, že pokud je výstupem diplomové práce jakýkoliv softwarový produkt, považují se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá. Neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

Prohlašuji,

- že jsem na diplomové práci pracoval samostatně a použitou literaturu jsem citoval. V případě publikace výsledků budu uveden jako spoluautor.
- že odevzdaná verze diplomové práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou totožné.

Ve Zlíně, dne 12.08.2020

Peter Bitara, v.r.

.....
podpis diplomanta

ABSTRAKT

Diplomová práca popisuje pracovný postup zobrazenia 3D naskenovaných dát vo virtuálnej realite. V teoretickej časti je popísaná história 3D skenerov a virtuálnej reality, princípy na ktorých pracujú 3D skenery a roztriedenie jednotlivých zariadení virtuálnej reality. V praktickej časti je popísaný pracovný postup pretvorenia naskenovanej scény. Konkrétne ručné premodelovanie jednotlivých objektov, unwrap, textúrovanie a ich zobrazenie v Unreal Engine. Následne je popísaná implementácia virtuálnej reality a vytvorenie interaktívnych prvkov, s ktorými môže užívateľ interagovať vo virtuálnej realite.

Kľúčová slova: 3D, 3D skener, virtuálna realita, VR, Unreal Engine, modelovanie, textúrovanie

ABSTRACT

Thesis describes the workflow of displaying 3D scanned data in virtual reality. The theoretical part describes the history of 3D scanners and virtual reality, the principles on which 3D scanners work and the classification of individual virtual reality devices. The practical part describes the workflow for transforming a scanned scene. Specifically, manual modeling of individual objects, unwrapping, texturing and their display in the Unreal Engine. Subsequently, the implementation of virtual reality and the creation of interactive elements with which the user can interact in virtual reality.

Keywords: 3D, 3D scanner, virtual reality, VR, Unreal Engine, modeling, texturing

Rád by som poďakoval vedúcemu diplomovej práce pánovi doc. Mgr. Milanovi Adámkovi, Ph.D. za odborné vedenie a smerovanie v priebehu tvorby diplomovej práce. Ďalej by som rád poďakoval pánovi Inžinierovi Jiřímu Ševčíkovi za poskytnutie znalosti v oblasti 3D skenovania a samotný naskenovaný model v čase corona krízy. Rovnako by som chcel poďakovať rodine a priateľke, ktorí mi boli oporou počas štúdia.

OBSAH

ÚVOD	9
I TEORETICKÁ ČÁST	10
1 3D SKENOVANIE	11
1.1 HISTÓRIA 3D SKENOVANIA.....	11
1.2 KONTAKTNÉ SKENOVACIE TECHNIKY	13
1.2.1 Skenery CMM	13
1.3 BEZKONTAKTNÉ AKTÍVNE SKENOVACIE TECHNIKY	14
1.3.1 Time Of Flight.....	14
1.3.1.1 Pulzná metóda	15
1.3.1.2 Fázový posun	15
1.3.2 Triangulácia.....	16
1.3.3 Bezkontaktné aktívne skenery.....	17
1.3.3.1 Skenery so štruktúrovaným svetlom	17
1.3.3.2 Konoskopická holografia	17
1.3.3.3 Modulované svetlo	18
1.4 BEZKONTAKTNÉ PASÍVNE SKENOVACIE TECHNIKY.....	18
1.4.1 Bezkontaktné pasívne skenery	18
1.4.1.1 Stereoskopické systémy	18
1.4.1.2 Fotometrické systémy	19
1.4.2 Skenery s užívateľským vstupom.....	19
1.5 VOLUMETRICKÉ TECHNIKY	20
2 VIRTUÁLNA REALITA	21
2.1 HISTÓRIA VIRTUÁLNE REALITY	22
2.2 ROZDELENIE ZARIADENÍ VIRTUÁLNEJ REALITY	26
2.2.1 Vstupné zariadenia	26
2.2.1.1 Ovládače	26
2.2.1.2 Navigačné zariadenia.....	27
2.2.1.3 Snímače polôh.....	28
2.2.2 Výstupné zariadenia.....	29
2.2.2.1 Optické výstupné zariadenia	29
2.2.2.2 Haptické výstupné zariadenia	32
2.2.2.3 Viac vnemové výstupné zariadenia	33
II PRAKTICKÁ ČÁST	35
3 HARDWAROVÉ SÚČASTI	36
3.1 SKENER LAICA 360BLK	36
4 SOFTVÉROVÉ SÚČASTI	37
4.1 LEICA CYCLONE.....	37
4.2 REALITY CAPTURE	37
4.3 MODIFIKOVANIE 3D MODELU	37
4.3.1 3D model.....	38
4.3.2 Textúrovanie, UV unwrap.....	39
4.3.3 Blender.....	40

4.4	ZOBRAZENIE 3D SCÉNY	40
4.4.1	Unreal Engine.....	41
4.4.2	Unity	41
5	PRAKTICKÝ POSTUP OD SKENOVANIA AŽ PO ZOBRAZENIE DÁT	42
5.1	SKENOVANIE MIESTA.....	42
5.2	ZAROVNANIE NASKENOVANÝCH DÁT A EXPORT MESH OBJEKTU.....	42
5.3	RUČNÉ PREROBENIE NASKENOVANÝCH DÁT	44
5.3.1	Modelovanie objektov	44
5.3.2	Unwrap objektov	46
5.3.3	Textúrovanie objektov	47
5.3.3.1	Postup textúrovania vybraného objektu.....	48
5.3.4	Zobrazenie objektov	49
5.4	ZJEDNODUŠENIE NASKENOVANÝCH DÁT NA ZOBRAZITELNÚ ÚROVEŇ.....	53
5.4.1	Zjednodušenie modelu.....	53
5.4.2	Tvorba textúry pre zjednodušený model	54
6	VLOŽENIE VIRTUÁLNEJ REALITY	55
6.1	INTERAKTÍVNE PRVKY V SCÉNE	56
6.1.1	Interaktivita s ručne vymodelovanými modelmi.....	56
6.1.1.1	Pohyb vybraných objektov	57
6.1.1.2	Zobrazenie dodatočných informácií u vybraných objektov.....	58
7	OBRÁZKY Z TESTOVANIA VIRTUÁLNE REALITY	64
	ZÁVER	65
	ZOZNAM POUŽITEJ LITERATURY	66
	ZOZNAM POUŽITÝCH SYMBOLOV A SKRATIEK.....	74
	ZOZNAM OBRAZKOV	75
	ZOZNAM PRÍLOH	77

ÚVOD

Virtuálna realita a 3D skenery sú v dnešnej dobe dostupnejšie a rozšírenejšie než kedykoľvek predtým. Využívajú sa v rôznych odvetviach, ako napríklad: zdravotníctvo, kartografia, alebo aj forenzné vedy. Ich schopnosť zachytiť trojdimenzionálny obraz a jeho následná analýza v počítači je pokroková.

Problémom je však spracovanie naskenovaných dát, ktoré majú hustú topológiu a vysoké nároky na výpočtový výkon. Tie je nutné niekoľkokrát zjednodušiť. Naskenovaná scéna, ktorá je použitá v práci mala po skenovaní približne 70 miliónov trojuholníkov. Dáta boli zredukované na 20 miliónov trojuholníkov a následne ďalej spracovávané ručne, kde výstupom bola scéna s celkovým počtom trojuholníkov 300 tisíc. Takto zredukovanú scénu už bolo možné zobrazit' v hernom engine.

V prvej metóde zjednodušovania scény boli využívané naskenované dáta iba ako veľkostná a tvarová predloha. Každý jeden objekt v scéne bol modelovaný a textúrovaný ručne. Týmto spôsobom sa síce porušila autenticnosť scény, avšak zvýšila sa možnosť interakcie vo virtuálnej realite.

Pri druhej metóde sa naskenované dáta využívali pri zjednodušovaní scény a pri textúrovaní. Týmto spôsobom sa zachová autenticnosť scény. V práci je postup popísaný iba po zjednodušenie scény. Textúrovanie a zobrazenie scény sa vzhľadom na aktuálnu situáciu a dlho uzatvorené hranice, ktoré komplikovalo naskenovanie scény nenachádza.

Interakciu vo virtuálnej realite predstavuje schopnosť premiestniť špecifické objekty, zvýraznenie špecifických objektov a zobrazenie dodatočných informácií o špecifickom objekte. Táto logika je tvorená v unreal engine pomocou blueprintov a tak je možnosť ich funkčnosť preniesť na ktorýkoľvek objekt v scéne.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 3D SKENOVANIE

3D skenery majú za úlohu nedeštruktívne zachytiť objekt, predlohu, scenériu z reálneho sveta a preniesť jeho vierohodnú kópiu do sveta virtuálneho. Táto kópia sa skladá z mračná bodov geometrických vzoriek na povrchu snímaného objektu. Z týchto bodov je následne možné vytvoriť tvar objektu, takzvaný mesh. Ak sa pri skenovaní zachytáva aj farba jednotlivých bodov, je možné vytvoriť farbu objektu, textúru.

Skenery sa v niektorých ohľadoch podobajú kamerám. Podobne ako kamery majú kužeľovité zorné pole a sú schopné zachytiť informácie iba o povrchu, ktorý vidia. Na rozdiel od kamier nezachytávajú informáciu len o farbe, ale aj vzdialenosť jednotlivých bodov od skeneru. Na dôkladne naskenovanie objektu nestačí objekt zo skenovať iba raz. Je nutné spraviť až niekoľko stovák snímok z viacerých uhlov, aby bol nasnímaný objekt čo najdetailnejší [1][2][3].



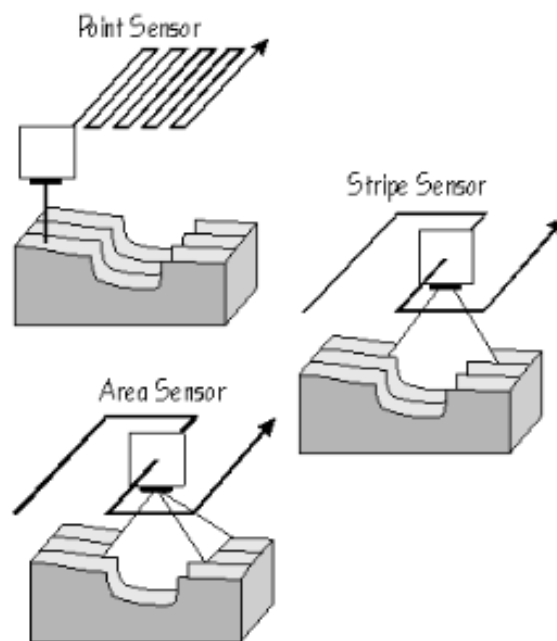
Obr. 1 Skenovanie pomocou 3D skenera [4]

1.1 História 3D skenovania

Vznik 3D skenerov sa datuje do druhej polovice dvadsiateho storočia. Prvé skenery sa objavili už v osemdesiatich rokoch. Využívali sa kontaktné skenery, ktoré boli presné, avšak tvorba 3D modelu bola časovo náročná. Technológia bola vyvinutá a hlavne využívaná v priemysle na kontrolu výrobkov.

Kvôli zvýšeniu rýchlosti skenovania začali byť vyvíjané optické techniky skenovania. Vo vývoji boli tri skenovacie techniky:

- Plocha. Skenovanie plochy sa preukázalo byť technicky náročné a nebolo až tak často používané,
- Bod. Skenovanie bodov pracovalo na rovnakom princípe ako skenovanie fyzickou sondou. Podobne ako u fyzickej sondy bol tento proces zdĺhavý a nebol často používaný.
- Pás. Využíva mnoho bodov v jednom páse, čím bol rýchlejší ako bodové skenovanie. Zachoval si presnosť bodových skenerov a preto bol používaný. Tento typ skenovania bol zdokonaľovaný a využíva sa dodnes.



Obr. 2 Skenovacie techniky vo vývoji [5]

Skenovanie pásov sa ujalo, ale problém nastal pri spracovaní dát. Množstvo nasnímaných dát bolo potrebné spojiť a odstrániť duplicitné dáta. Prvým prelomovým skenerom využívajúci pásové skenovanie bol Nikon ModelMaker. Využíval manuálne operovateľné rameno, na ktorom bol pripevnený skener. Dokázal zachytiť komplexné modely aj s textúrou. Dĺžka skenovania trvala niekoľko minút.

Počas vývoja 3D skenerov bolo stanovených päť bodov, ktoré by mali spĺňať:

- presnosť
- rýchlosť,
- skutočne trojdimenzionálne,
- schopné zachytiť farbu povrchu,

- cenovo prijateľné.

Počas vývoju sa skenery rozdelili do niekoľkých kategórií [3].

1.2 Kontaktné skenovacie techniky

Kontaktné skenovacie techniky skenujú objekt kontaktom, čiže dotykom. Najčastejšie ich tvorí robotická ruka so snímačom na konci. Principiálne sa robotická ruka pohybuje po snímanom objekte a jej poloha je zaznamenávaná v počítači. Údaje sú neskôr analyzované a je z nich vytvorený mesh.

Oproti bezkontaktným skenerom sú dosť pomalé a vyžadujú aby bol snímací objekt z tvrdého materiálu. Mäkšie objekty by mohli vykazovať chybné dáta, alebo by mohli byť nenávratne zničené.

Využívajú sa hlavne pri manufaktúre, ako včasná kontrola chybovosti výroby [3].

1.2.1 Skenery CMM

System Coordinate Measuring Machine v preklade Stroj Zachytávajúci Koordináty. Táto skenovacia technika je veľmi presná, avšak pomalá a kontaktom môže zničiť, alebo poškodiť snímací objekt. Preto sa využíva hlavne vo výrobnom sektore, alebo v oblasti reverzného inžinierstva.

System využíva tri pohyblivé ramena. Ramená sú schopné pohybu po osiach X, Y, Z. Snímacia hlavica je umiestnená na konci ramena s pohybom Z. Hlavica môže byť mechanická, optická, laserová, alebo využívať biele svetlo (white light). Pri mechanickej hlavici treba dbať na tvrdosť materiálu, pretože hlavica má priamy kontakt so snímaným objektom.

System CMM sa skladá z troch hlavných častí: hlavná kostra zariadenia vrátane troch hybných ramien, snímacia hlavica, výpočtová technika schopná kolekcie, redukcie a vyhodnotenia dát.



Obr. 3 Systém CMM od firmy Aberlink [6]

1.3 Bezkontaktné aktívne skenovacie techniky

Skenery využívajúce aktívne skenovacie techniky vysielajú na skenovací objekt žiarenie. Toto žiarenie môže mať podobu svetla, ultrazvuku, alebo röntgenového žiarenia. Používajú sa tri hlavné techniky: Time of Flight, fázový posun a laserová triangulácia. Skenery môžu využívať jednotlivé techniky oddelene, alebo aj v kombinácii [3].

1.3.1 Time Of Flight

Pracuje na princípe ožiarenia skenovaného objektu pomocou modulovaného svetla. Vzďialenosť objektu je následne vypočítaná ako rýchlosť svetla c násobená polovicou časového intervalu t medzi vyslanou a prijatou vlnou.

Skener zachytáva vzdialenosť jedného bodu a pre naskenovanie objektu je nutné meniť polohu tohto bodu. To je možné dosiahnuť rotovaním meracieho zariadenia, alebo využiť systém rotujúcich zrkadiel. Vo väčšine prípadov sa využíva systém rotujúcich zrkadiel, ktoré vďaka menšej váhe môžu rotovať rýchlejšie a tým naskenovať objekt za kratší časový interval. Skenery tým pádom dokážu zachytiť 10 000 až 100 000 bodov každú sekundu.

Vzdialenosť je počítaná pre každý pixel a výsledkom je hĺbková mapa (depth map). Hĺbková mapa je kolekciou jednotlivých bodov v trojdimenzionálnom priestore. Spojením týchto bodov následne vzniká mesh. Aplikovaním textúry na mesh vzniká virtuálna kópia skenovaného objektu.

Výhodou techniky time of flight je vzdialenosť, na ktorú je schopná naskenovať objekt. Pri niektorých skeneroch je táto vzdialenosť niekoľko kilometrov. Nevýhodou je nízka presnosť skenovania. Približne jeden milimeter. Ďalšou nevýhodou je nutnosť zafixovať skener aj skenovací objekt na jedno miesto. Akákoľvek vibrácia či pohyb môže vyvolať chyby v meraní.

Vlnová dĺžka, ktorú skener vysiela, sa nachádza v okolí blízkeho infračerveného žiarenia a prijímač je na túto vlnovú dĺžku citlivý. Svetlo, ktoré dopadá na senzor má ambientnú a reflektujúcu zložku. Vzdialenosť je počítaná iba z reflektujúcej zložky. Využívajú sa dva druhy detekcie rozdielu medzi vlnou vyslanou a vlnou odrazenou. A to pulzná metóda a fázový posun [7].

1.3.1.1 Pulzná metóda

Pri pulznej metóde sa skenované teleso ožiari na určitý čas a odrazené svetlo sa zachytáva v dvoch intervaloch s rôznou fázou. V týchto intervaloch sa následne počíta naakumulovaný náboj a vzdialenosť od objektu sa počíta vzťahom:

$$d = \frac{1}{2} c \Delta t \left(\frac{Q_2}{Q_1 + Q_2} \right) \quad (1.)$$

kde:

d – vzdialenosť od objektu

c – rýchlosť svetla

Δt – čas ožiarenia

Q_n – zachytený náboj

1.3.1.2 Fázový posun

Fázový posun vypočítava vzdialenosť objektu vďaka zmene fázy prijatej vlnovej dĺžky oproti vlne vyslanej. Pri zvyšovaní frekvencie vyslanej vlnovej dĺžky f sa zvyšuje presnosť merania, avšak znižuje sa dosah. Čo vyplýva aj zo vzťahu (2).

$$d = \frac{c}{2f} \cdot \frac{\varphi}{2\pi} \quad (2.)$$

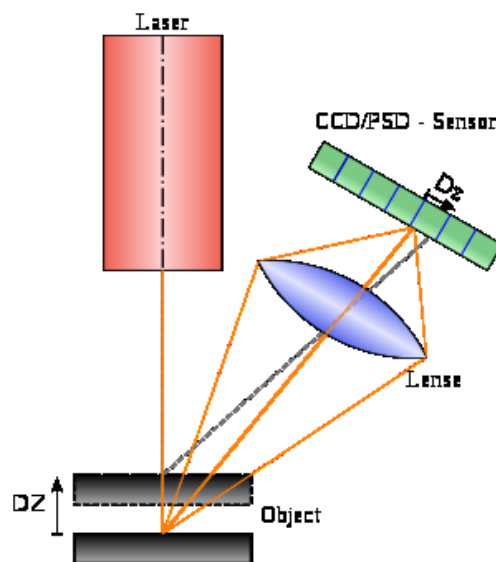
Pri tom ako vyslaná vlnová dĺžka prekonáva vzdialenosť d , je odrazená vlnová dĺžka pozmenená o fázu φ . Rozdiel fázy vyslanej a prijatej vlnovej dĺžky je úmerný vzdialenosti, ktorú svetlo prešlo.

Oproti pulznej metóde je fázový posun rýchlejší, avšak naskenované dáta sú viac zašumené. Vzdialenosť na ktorú dokážu skenery pracujúce s fázovým posunom nasnímať objekt sa pohybuje v okolí sedemdesiatich až osemdesiatich metrov. V prípade merania nad maximálnu vzdialenosť pre danú frekvenciu, vznikajú nejasnosti a chyby merania. Tieto chyby dokážu byť odstránené využitím viacerých frekvencií [8], [9], [17].

1.3.2 Triangulácia

Pri skenovaní je na objekt vyžiarený bod pomocou laseru. Tento bod je následne zachytený kamerou. Podľa vzdialenosti a tvaru objektu sa tento bod zobrazí na rôznych miestach zorného poľa kamery. Kamera, laser a snímací bod vytvoria trojuholník. V trojuholníku je známy uhol medzi laserom a bodom, kamerou a bodom a vzdialenosť kamery od laseru. Tieto údaje stačia na výpočet vzdialenosti bodu od laseru. Vo väčšine prípadov je na objekt vyžarovaná čiara namiesto jedného bodu, za cieľom zrýchlenia merania.

Výhodou skeneru pracujúceho s trianguláciou je presnosť skenovania. Tá sa pohybuje v desiatkach mikrometrov.



Obr. 4 Princíp triangulácie [10]

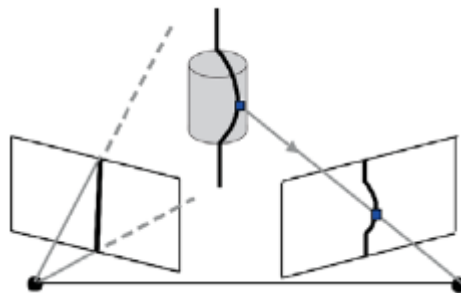
1.3.3 Bezkontaktné aktívne skenery

Bezkontaktné aktívne skenery využívajú bezkontaktné aktívne techniky skenovania ako time of flight, faze shift a trianguláciu. Patria sem napríklad laserové skenery, skenery so štruktúrovaným optickým svetlom, skenery s modulovaným svetlom, magnetická rezonancia, atď.

1.3.3.1 Skenery so štruktúrovaným svetlom

Pracujú na princípe triangulácie. Na objekt môžu premietat' čiaru (Obr. 5), alebo určitý dvojdimenzionálny vzor. Sú rozdelené do kategórií podľa toho, akým typom vzoru osvetľujú objekt. Napríklad čiarové, sínusoidy, binárne, deBruijn kódy.

Tieto skenery sa skladajú z projektoru, kamery a počítaču na spracovanie údajov. Na skenovaný objekt je pomocou projektoru premietnutý určitý vzor, ktorého deformáciu zachytí kamera. Táto deformácia je porovnaná z pôvodným vzorom a výsledkom je trojdimenzionálny zhluk bodov. Zvyčajne sa využíva viacero premietaných vzorov na zvýšenie presnosti skenovania.



Obr. 5 Princíp skenerov so štruktúrovaným svetlom [11]

Rýchlosť skenovania je závislá na rýchlosti počítaču na ktorom sa údaje analyzujú a na počte vzorov, ktoré sú na objekt premietané. Výhodou skenerov so štruktúrovaným svetlom je rýchlosť skenovania. Dokážu nasnímať veľkú časť objektu naraz. Ďalšou výhodou je možnosť skenovať pohybujúci sa objekt. Nevýhodou je citlivosť na okolité svetlo. V prípade interferencie externého svetla vznikajú chybné dáta, v respektíve určitá časť dát nie je nasnímaná. Tento problém vzniká aj pri vysoko reflektívnych materiáloch [11], [12].

1.3.3.2 Konoskopická holografia

Konoskopická holografia spadá do aktívneho bezkontaktného skenovania a pracuje na princípe triangulácie. Triangulačný proces je využitý pre získanie vzdialenosti, avšak jeden bod

sa skenuje tisícnásobne z rôznych perspektív. Proces viacnásobného skenovania dovoľuje zachytiť presnejšie dáta zo snímaného objektu a preto aj lepšie rozlíšenie. Presnejšie u konoskopických skenerov sa pohybuje v okolí $0,1 \mu\text{m}$ [13], [14].

1.3.3 Modulované svetlo

Skenery využívajúce modulované svetlo sa skladajú z dvoch hlavných častí. Je to zdroj svetla a kamera. Pri výpočte vzdialenosti sa využíva zmena amplitúdy v svetelnom zdroji. Tá sa mení sínusoidným vzorom. Kamera túto zmenu zaznamená, počítač ju pomocou algoritmov vyhodnotí a vypočíta vzdialenosť. Výhodou je, že ambientné osvetlenie nemá vplyv na skenovací proces.

1.4 Bezkontaktné pasívne skenovacie techniky

Bezkontaktné pasívne techniky nevyžarujú na skenovaný objekt žiadne vlnenie. Miesto toho využívajú odrazené ambientné svetlo. Väčšina skenerov pracuje s viditeľným svetlom.

1.4.1 Bezkontaktné pasívne skenery

Väčšinou pracujú s viditeľnou zložkou svetla. Môžu však pracovať i s ostatnými typmi ambientného osvetlenia, ako napríklad infračerveným žiarením. Oproti aktívnym skenerom je ich hlavnou výhodou cena. Tá je nízka hlavne preto, lebo bezkontaktné pasívne skenery nevyžadujú špecializované vybavenie, stačí im kamera.

Medzi bezkontaktné pasívne skenery patria stereoskopické skenery, fotometrické skenery, siluetné skenery a modelovacie skenery zakladajúce sa na obrázkoch (image-based modeling scanners).

1.4.1.1 Stereoskopické systémy

Stereoskopické systémy získavajú trojdimenzionálne dáta z dvoch dvojdimenzionálnych obrázkov. K zachyteniu obrázkov sa využíva model dierkovej kamery. Táto metóda je založená na rovnakých princípoch ako vnímanie vzdialenosti pomocou ľudského zraku.

Stereoskopický systém je možné rozdeliť na päť častí. Sú to: získavanie obrázkov, kalibrácia kamery, predspracovanie obrázkov a extrakcia črtou, nájdenie stereo zhody, odhad vzdialenosti.

K získavaniu obrázkov sa využívajú dve kamery zarovnané v jednej priamke.

Pri kalibrácii kamier sa využíva vzdialenosť kamier od seba, ktorá sa väčšinou pohybuje v rámci centimetrov a fokálna dĺžka kamier.

Predspracovanie obrázkov a extrakcia funkcií rieši minimalizovanie a prípravu dát pre ďalšie kroky. Minimalizovanie je riešené odstránením pozadia z obrázkov. Pri predpríprave sa obrázok preniesie do čiernobieleho spektra a následne na binárnu podobu, s ktorou už môže ďalší krok pracovať.

Nachádzanie stereo zhody je najťažší a najdôležitejší krok pri vytváraní 3D modelu zo stereoskopického systému. Je nutné, aby obrázky, na ktorých má algoritmus nájsť zhody boli predpripravené.

Pri odhade vzdialenosti sa využívajú dva zhodné body z predchádzajúcich krokov. Následne transformácia dvojdimenzionálnych súradníc na trojdimenzionálne sa rieši cez lineárnu algebru.

Problémom je nájdenie rovnakých bodov na oboch obrázkoch. Sú k tomu použité výpočtovo náročné algoritmy. Taktiež v prípade slabého farebného kontrastu obrazu vzniká nedostatok spoločných bodov a nekorektné vyobrazenie vzdialenosti [15].

1.4.1.2 Fotometrické systémy

Skenery pracujúce s fotometrickou technikou získavajú údaje o vzdialenosti objektu pomocou svetla a kamery. Na rozdiel od stereoskopického systému sa vo fotometrickom nachádza iba jedna kamera. Skenovaný objekt je osvetľovaný z viacerých svetelných zdrojov (minimálne troch) a každé osvetlenie je zaznamenané kamerou. Z vytvorených obrázkov je potom možné vypočítať normálové vektory povrchu a gradientové rozdelenie. Trojdimenzionálny povrch je následne zrekonštruovaný pomocou metódy dvojrozmernej integrácie alebo optimalizácie [16].

1.4.2 Skenery s užívateľským vstupom

Pri modelovaní podľa predlohy sa objekty neskenujú, ale fotografujú. Tieto fotografie následne spracováva osoba v programe, kde vytvára približný trojdimenzionálny obraz skenovacieho objektu. Využíva princípu fotogrametrie [17].

1.5 Volumetrické techniky

Medzi volumetrické techniky spadajú 3D skenery, ktoré vytvárajú trojdimenzionálny obraz pomocou veľkého počtu dvojdimenzionálnych snímkov. Tieto snímky sú robené prierezom objektu. Táto technológia sa používa napríklad v zdravotníctve vo forme výpočtovej tomografie (Computed tomography - CT).

2 VIRTUÁLNA REALITA

Virtuálna realita je definovaná ako vysoko interaktívne, počítačovo vytvorené multimedialne prostredie, v ktorom sa používateľ stáva účastníkom počítačom vytvoreného sveta. Tento počítačom simulovaný svet môže byť vnímaný v troch rozmeroch, pričom interakcia s týmto prostredím môže užívateľovi vrátiť spätnú väzbu. Či už v podobe obrazu, vibrácií, alebo zvuku. Virtuálna realita je podobná vylepšenej realite (AR- Augmented reality), avšak pri AR sa upravuje reálny svet, kde pri VR je tento svet generovaný [18].

Cieľom virtuálnej reality je vytvoriť počítačom generované prostredie, ktoré užívateľ vidí a vníma ako reálne prostredie. Čím je kvalita prostredia vyššia, tým sa do neho užívateľ môže viac „ponoriť“ (immersion). Ideálne virtuálne prostredie by užívateľovi malo stimulovať všetky zmysly a užívateľ by mal byť schopný ovplyvňovať dianie v tomto prostredí. Avšak prakticky je to veľmi ťažké uskutočniť. Podľa typu a kvality spracovania prostredia je možné rozdeliť virtuálnu reality na niekoľko stupňov:

- Non-immersive (bez ponorné) - najnižší stupeň ponorenia do virtuálnej reality. Nazýva sa aj Desktop VR. Virtuálna realita je zobrazovaná na počítačovej obrazovke. Užívateľ má možnosť interakcie s prostredím, avšak vnímanie tohto prostredia je ohraničené. Typickým príkladom sú napríklad počítačové hry (*Obr. 6*).



Obr. 6 Príklad non-immersive VR [19]

- Semi-Immersion (čiastočne ponorné) – virtuálna realita je stále zobrazovaná na počítačovej obrazovke. Využíva však pohyb hlavy na zmenu uhlu pohľadu vo virtuálnom svete. Môže byť doplnená rôznymi trenažermi. Napríklad pre zábavu (*Obr. 7*), alebo pre výcvik.



Obr. 7 Příklad Semi-Immersive VR [20]

- Imersive (ponorné) – užívateľ vníma virtuálnu realitu cez HDM (head mounted device), ktoré podporujú stereoskopické zobrazenie scény (Obr. 8). Systém zachytáva svoju polohu a orientáciu. Tá je prenášaná do virtuálneho sveta a užívateľ má pocit, akoby sa v ňom nachádzal. Ide o najvyšší stupeň ponorenia do virtuálneho sveta [21].



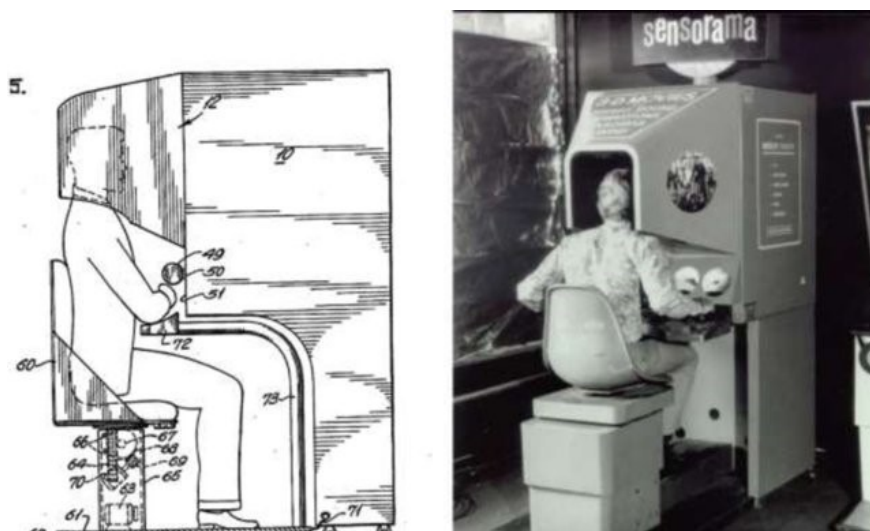
Obr. 8 Příklad immersive VR [22]

2.1 História virtuálne reality

Prvé zmienky o virtuálnej realite sa datujú do roku 1839, kedy bol predstavený Brewsterov stereoskop. Toto zariadenie zobrazovalo dva obrázky, odfotené z dvoch trošku rozdielnych uhlov. Tie boli umiestnené v zariadení a boli určené každé pre jedno oko. Tým sa dosiahlo stereoskopické videnie a obrázok sa javil trojrozmerný. Táto technika sa využíva dodnes aj

vo forme virtuálnej reality, presnejšie ju využívajú mobilné HDM, napríklad Google Cardboard [23], [24].

Stereoskopické videnie bolo využité aj v prvom HDM. To bolo patentované vynálezcom Mortonom Heiligom v roku 1960 pod názvom Telesphere Mask. Zariadenie sa náramne podobá na dnešné okuliare virtuálnej reality. Obsahovalo dve čiernobiele CRT obrazovky [25]. V roku 1962 si Morton Heilig nechal patentovať ďalšie zariadenie s názvom Sensorama (Obr. 9). Tento mechanický stroj obsahoval stereoskopické farebné videnie, ventilátory, vstrekače vône, stereo zvukový systém, a pohyblivú sedačku. Toto zariadenie bolo schopné ovplyvňovať viacero ľudských zmyslov a teda išlo o prvé zariadenie, ktoré dokázalo ponoriť človeka do virtuálnej reality. Sensorama obsahovala päť krátkych filmov, v ktorých si napríklad užívateľ mohol vychutnať jazdu na motorke. Kvôli nedostatku finančnej podpory na ďalší vývoj, bol vývoj Sensoramy a aj Telesphere Mask zastavený [26], [27].

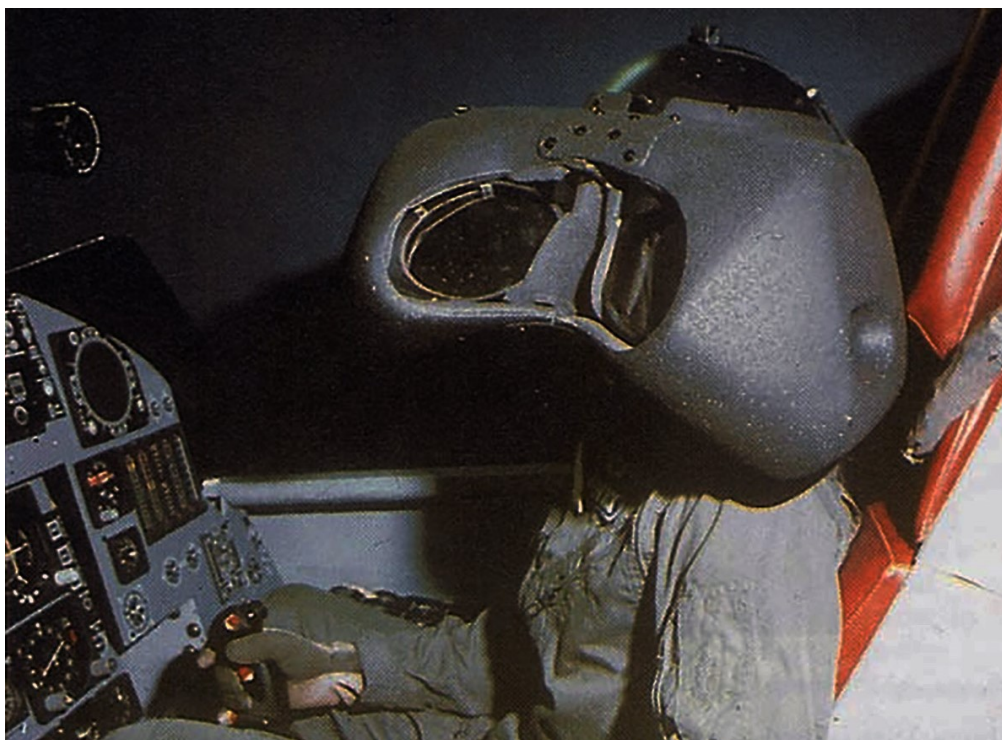


Obr. 9 Sensorama [28]

Osem rokov po vzniku Telesphere Mask prišiel na svet s patentom VR zariadenia počítačový vedec Ivan Sutherland s pomocou študentov Boba Sproulla, Quintina Fostera a Dan-yho Cohena. Zariadenie dostalo názov Damoklov Meč a niektorý ho považujú za prvé HMD, aj napriek Telesphere Mask, ktorá bola patentovaná o osem rokov skôr. Pomenovanie Damoklov Meč dostalo vďaka mechanickým rukám, ktoré kvôli veľkej váhe zariadenia boli ukotvené v strope. Užívateľ sa mohol pohybovať a aj rotovať s hlavou, avšak jeho pohyb bol obmedzený na približne jeden meter a 40 stupňový uhol náklonu. Vďaka mechanickým rukám bolo možné zachytiť relatívnu pozíciu užívateľa a miestnosti. Tá bola využitá pri výpočtoch a následnom obmedzení vykreslenia zobrazovaného objektu. Zobrazovala sa iba tá časť, ktorú užívateľ reálne videl. Scéna bola zobrazená pomocou CRT technológie.

Zariadenie dokázalo zobrazit' jednoduché obrazce, tvorené čiarami (wireframe). Na technológii Damoklovho meču bola založená AR používaná v helmách pilotov bojových helikoptér [29].

Virtuálna realita sa následne rozmohla v mnohých oblastiach. Išlo najmä o armádu, zdravotníctvo, letečné simulátory a automobilový design. V oblasti armádneho letectva bol prieborníkom Thomas Furness, ktorý je nazývaný praotcom virtuálnej reality. Počas pôsobenia v Letectve Spojených Štátov v rokoch 1986 až 1989 skonštruoval zariadenie Super Kokpit (*Obr. 10*). Jeho hlavnou úlohou bolo premiestniť dôležité informácie z kokpitu priamo do helmy pilota. Helma dokázala sledovať pohyb hlavy a zobrazovať relevantné dáta podľa toho, kam sa pilot pozeral. Super kokpit podporoval ovládanie pomocou gést a dokázal prehrávať trojrozmerný zvuk. Všetko bolo doplnené jednoduchým zobrazením 3D sveta okolo pilota [30], [31].



Obr. 10 Helma super kokpitu [32]

Na svojom zariadení pracovala aj NASA. V roku 1988 prišla s publikáciou [33], v ktorej popisovala zariadenie s názvom Virtual Interface Environment Workstation (VIEW). VIEW slúžilo ako tréningové zariadenie pre operátorov rôznych zariadení. Užívateľ bol vnorený do virtuálneho prostredia s 360° možnosťou otáčania. Vo virtuálnom svete mohol manipulovať s objektmi, alebo ovládať telerobota. Pomocou ovládacej (tactile) rukavice mohol užívateľ

ovládat jednotlivé ramená robota. Tak isto mohol prepínať medzi viacerými robotmi a viacerými kamerami robotov.

V komerčnej sfére sa preslávila firma VPL Research na čele s Jaronom Lanierom. Tá bola založená v roku 1984 a špecializovala sa na vstupné zariadenia. Najznámejším bola rukavica DataGlove. Rukavica dokázala zaznamenať pohyb, rotáciu ruky a zovretie prstov. Pomocou optických vlákien vedela zachytiť 256 pozícií. Pri väčšom ohybe sa priesvit svetla obmedzil a mikroprocesor vyhodnotil ohyb. Ďalším vstupným zariadením bol celotelový oblek DataSuite. Ten bol napríklad využívaný pri tvorbe animovaných filmov, kde vystriedal ručné tvorenie animácií. VPL Research vyvinul aj vlastný HMD s názvom EyePhone. Spoločnosť predávala DataGlove s EyePhone v cene 45 000 \$ a s počítačom vyšla jedna stanica VR na 200 000 \$. V roku 1999 však firma skrachovala a prevzala ju firma Sun Microsystems [34], [35][36], [37].

S vlastným HMD prišla aj spoločnosť Sega. Zariadenie bolo pomenované Sega VR a pôvodne malo prísť na trh v roku 1993. Vydanie bolo odložené na rok 1994 a neskôr kompletne zrušené. Sega to odôvodnila tým, že užívatelia by si pri používaní mohli ublížiť. Napríklad sa príliš vnoriť do VR a nevnímať prostredie okolo seba. Problémom boli aj bolesti hlavy a nevoľnosť z pohybu (motion sickness) [38], [39].

Ďalším výrobkom v komerčnej sfére bol Virtuality od firmy Virtuality Group. Virtuality bol jedným z prvých komerčných herných systémov na trh. Nachádzal sa v heriách od roku 1990 a podporoval stereoskopické vnímanie VR, ovládanie pomocou joystickov a sieťové hranie pre viacerých užívateľov. Hracie zariadenie bolo celkom úspešné a celkovo sa predalo cez 55000 kusov [40].

V roku 1992 na Univerzite Illinois bol vyvinutý systém s názvom CAVE. Na rozdiel od ostatných VR zariadení, CAVE nebol umiestnený na užívateľovi, ale užívateľ bol umiestnený v ňom. Systém tvorilo niekoľko projektorov (v závislosti na rozlíšení), ktoré premietali obraz na premietacie plátno zo zadnej strany. Premietacie plátna, tak mohli obkolesiť užívateľa a uzavrieť ho do virtuálnej miestnosti. Na zobrazenie trojrozmerného virtuálneho svetla boli využité okuliare s tekutým kryštálom, ktoré boli synchronizované s projekciou obrazu pre ľavé a pravé oko. Pohyb užívateľa bol zaznamenaný vďaka 3SPACE Polhemus Isotrak sensoru, ktorý bol namontovaný na okuliaroch. Užívateľ mal k dispozícii ovládač s tlačidlami, ktorým mohol vykonávať interakciu s VR prostredím. Systém mohol byť doplnený o trojrozmerný zvuk a tým ponoriť užívateľa do VR ešte viac. Systém CAVE bol aj je využívaný

vo viacerých projektoch, avšak kvôli náročnosti a cene nie je tak rozšírený ako HMD [34], [41][40].

2.2 Rozdelenie zariadení virtuálnej reality

Virtuálna realita má za sebou už polstoročia, ale stále by sa dalo povedať, že je vo svojich začiatkoch. Niektoré zariadenia sa vylepšovali a pretrvali dodnes, iné zanikli a ich vývoj nepokračoval. Dnes je na trhu veľa úspešných VR zariadení. Pri rozdelení VR zariadení je nutné zahrnúť aj zariadenia vo vývoji, ktoré sú už schopné pracovať. Vďaka tomu je možné vytvoriť hardwarové kategórie a stanoviť trendy vývoju.

Virtuálnu realitu je možné rozdeliť do dvoch hlavných kategórií. A to vstupné a výstupné zariadenia. Avšak v dnešnej dobe existujú kombinované zariadenia, napríklad HDM, ktoré dokážu zobrazit' užívateľovi výstup a zároveň snímať polohu ovládačov [42].

2.2.1 Vstupné zariadenia

Do kategórie vstupných zariadení spadajú zariadenia, ktoré zabezpečujú užívateľský vstup do virtuálneho prostredia. Spadajú sem hlavne ovládače, navigačné zariadenia a snímače polôh.

2.2.1.1 Ovládače

Ovládače sú ručne držané zariadenia schopné vykonávať vstup vo forme tlačidiel, joystickov a dotykových plôch. Tak isto zaznamenávajú svoju polohu v 6 DOF (6 Degrees Of Freedom), čiže polohu v osi X, Y, Z. Na trhu sa nachádza pár komerčne dostupných, pričom ich väčšinou vydáva výrobca priamo k HDM. Medzi hlavné ovládače na trhu patria:

2.2.1.1.1 Oculus Touch

Oculus Touch je ovládač vyvíjaný spoločnosťou Oculus. Je kompatibilný so zariadeniami Oculus Rift, Oculus Rift S a Oculus Quest. Existujú dve verzie ovládačov. Prvá bola vydaná v roku 2016. Obsahovala štyri tlačidlá, jeden joystick a bola schopná rozoznávať jednoduché gestá užívateľov. Snímanie polohy bolo dosiahnuté podobne ako u Oculus Riftu pomocou infračervených LED diód. Druhá verzia je vylepšenou verziou prvého ovládaču. Bolo zmenené umiestnenie diód, aby ich dokázal sledovať aj headset [43],[44].

2.2.1.1.2 HTC Vive Controller

Ovládač vyvíjaný spoločnosťou HTC a Valve, má päť tlačidiel a jednu dotykovú plochu. Snímanie pohybu má na starosti dvadsaťštyri infračervených senzorov. Tie zachytia infračervené svetlo vysielané zo stanice a tak dokážu vyhodnotiť pohyb ovládaču. Odozva užívateľovi je zabezpečená pomocou haptickej odozvy. HTC Vive Controller je kompatibilný s HTC Vive HMD a SteamVR [45], [46], [47].

2.2.1.1.3 Valve Index Controller

Ako bolo spomenuté, spoločnosť Valve spolupracovala na vývoji zariadenia HTC Vive. Skúsenosti, ktoré nadobudli pri vývoji uplatnili na vlastné zariadenia. To platí aj pri ovládači Valve Index Controller. Ten je kompatibilný s Valve Index HMD a tak isto i HTC Vive. Na rozdiel od ostatných zariadení na trhu ovládače od Valve dokážu zachytiť zovretie jednotlivých prstov (*Obr. 11*). Na to ovládač využíva osemdesiatšedem senzorov, pričom užívateľ nemusí ovládač držať, ale má ho k ruke pripavený. Tým sa zabezpečí to aby sa užívateľ mohol naplno venovať svojej činnosti vo VR [48].



Obr. 11 Valve Index Controller [49]

2.2.1.2 Navigačné zariadenia

Navigačné zariadenia majú za úlohu vytvoriť užívateľovi ilúziu pohybu vo VR. Pôvodne existovali iba v podobe bežiacich pásov a užívateľ mal možnosť pohybu iba po jednej osi. Dnes existujú štyri kategórie navigačných zariadení a niektoré dokážu simulovať pohyb v dvoch osiach. Sú to:

- Side Mill (dvojsovové pásy), ako už názov napovedá, jedná sa o kategóriu zariadení, ktoré dovoľujú užívateľovi pohyb v dvoch osách. Záznam pohybu je zachytený pomocou mechanických senzorov. Jedným z takýchto zariadení je Virtuix Omni. Ten vyžaduje špeciálnu obuv, alebo návleky, ktoré znižujú trenie. Podporuje chôdzu i beh v niekoľkých aplikáciách [42], [52].
- Rotačné disky, podobne ako dvojsovové pásy dovoľujú užívateľovi pohyb v dvoch osách. Vizuálne a prakticky sú si veľmi podobné, rozdiel je v princípe akým zachytávajú pohyb. Ten je pri rotačných diskoch zachytený pomocou rotačných valcoch umiestnených v kruhu okolo užívateľa. Jediným reprezentantom tejto kategórie je zariadenie WalkMouse., ktoré na rozdiel od Virtuix Omni nepodporuje beh. Je vo vývoji od roku 2013 a od roku 2014 nie je o ňom ani zmienka. WalkMouse tak možno ostane v prototypovej fázy navždy [51].
- Stacionárne, sú také pri ktorých užívateľ stojí, alebo sedí na jednom mieste. Jedno z najlepších zariadení na trhu je RotoVR. Je kombináciou vstupno-výstupných zariadení. Na zariadenie je možné napojiť klávesnicu, joystick, volant a šliapadlá. RotoVR má podobu kancelárskej stoličky, schopnej sa otočiť o 360 stupňov. Otáčanie však vykonáva automaticky, buď podľa užívateľského vstupu, alebo podľa výstupu z aplikácie [52].
- Bežecké pásy, svojou konštrukciou a funkčnosťou pripomínajú klasické bežecké pásy. Zástupcami tejto kategórie sú Infina Deck a Space WalkerVR. Infina Deck dokáže pohybovať pásom v 360 stupňoch a tak simulovať voľný pohyb po virtuálnom svete. Space WalkerVR sa vybral inou cestou a neponúka 360 stupňov otočný pás. Pás sa pohybuje iba v jednej ose, ale zariadenie samotné rotuje v 360 stupňoch [53], [54].

2.2.1.3 Snímače polôh

V angličtine nazývané Tracking Devices, sú zariadenia určené na sledovanie užívateľovej polohy a postoju tela v priestore. Na detekciu pohybu sa využívajú hlavne optické snímače, akcelometre a gyroskopy, magnetické pole. Snímače polôh sa na dve pod kategórie, a to:

- Celotelové, sú schopné zachytiť pohyb celého tela. Využívané sú hlavne v oblasti animácií hier a filmov. Prvým celotelovým snímačom polohy bol STEM. Ten sa skladá zo stanice a senzorov. Senzor je zložený z troch magnetických cievok, ktoré zachytávajú polohy v troch osách. Sensory je možno pripojiť na jednotlivé časti tela

a tak sledovať jeho pohyb. Podobným produktom je PrioVR, ktoré tiež ponúka bezdrôtové senzory, avšak tie zachytávajú polohu pomocou magnetometrov a akcelometrov.

- Ručné, majú za úlohu zachytiť pohyby a gestá rúk. Tie sa následne prenesú do virtuálneho sveta a užívateľ má pocit hlbšieho ponorenia do virtuálnej reality. Na trhu je množstvo zariadení pracujúcich na rôznych princípoch zachytávania pohybu. Na princípe ohybu optických vlákien pracuje Glove One. Ďalším výrobkom na trhu pracujúci s inou technológiou je Myo. Myo spracováva elektrické signály, ktoré prúdia rukou užívateľa a podľa nich vyhodnotí ohyb jednotlivých prstov [42].

2.2.2 Výstupné zariadenia

Výstupné zariadenia virtuálnej reality majú za úlohu ponoriť užívateľa čo najviac do virtuálneho sveta. Čím viac vnemov má užívateľ ovplyvnených, tým viac je ponorený vo virtuálnej realite. Keďže človek vníma svet na 83% zrakom [55], väčšina výrobcov sa zamerala práve na zobrazovanie dát užívateľovi. V tomto smere sa najviac ujali Head Mounted Devices – HMD v preklade zariadenia pripevnené na hlavu. Tie sa na trhu vyskytujú v rôznom prevedení, od krabicového Google Cardboard až po ValveVR. Cenové rozdiely týchto zariadení sú v tisícoch eur a rozdielna kvalita zariadení je viditeľná. Avšak výrobcovia prišli na trh aj so zariadeniami, ktoré neovplyvňujú iba zrak. Výstupné zariadenia môžu užívateľovi vrátiť spätnú väzbu v podobe vibrácií, alebo vetru či dokonca vône. Podľa dostupných zariadení na trhu môžeme rozdeliť aktuálne zariadenia do troch kategórií: vizuálne, haptické, viac vnemové [42][41].

2.2.2.1 Optické výstupné zariadenia

Ich hlavným cieľom je ovplyvniť stereoskopické videnie človeka a tak navodiť dojem trojrozmerného virtuálneho sveta. Vývoj započal už v polovici dvadsiateho storočia (viď. kapitola 2.1) a dizajn zariadení sa v podstate nezmenil od deväťdesiatich rokov. Na zobrazenie dát užívateľovi sa používajú LCD alebo OLED obrazovky. HMD sa delia na dve podkategórie, konkrétne káblové a mobilné.

2.2.2.1.1 Káblové optické zariadenia

Podkategória HMD do ktorej spadajú zariadenia vyžadujúce externý výpočtový výkon. Ten je zabezpečený formou výkonného počítača, ktorý je pripojený k zariadeniu pomocou káblu.

V tejto kategórii sa nachádzajú nevýkonnejšie, najkvalitnejšie, ale aj najdrahšie zariadenia. Medzi ktoré patria Valve Index, HTC Vive, FOVE, Oculus Rift, PlayStation VR a ďalšie.

Valve Index

Navrhnutý a vyvinutý spoločnosťou Valve a patrí medzi najlepšie HMD na trhu. Ohlásený bol v apríli 2019 a na trh prišiel o tri mesiace neskôr. Zobrazenie virtuálnej scény majú za úlohu dva LCD displeje s rozlíšením 1440 x 1600 pixelov a obnovovacou frekvenciou od 80 Hz až po 144 Hz. Spolu s nízkou odozvou od 0.33 ms do 0.53 ms, dokáže Index plynulý a čistý obraz. Index je doplnený o dva reproduktory v blízkosti uší. Na ovládanie sa využívajú dva ovládače Valve Index Controller, ktoré sú popísané v kapitole 2.2.1.1.3. Aktuálna situácia vo svete obmedzila produkciu zariadení Index ku dňu 20.03.2020 nie sú dostupné [56], [57].



Obr. 12 Valve Index VR kit [58]

HTC Vive

Vyvinutý spoločnosťou HTC. Spoločnosť má na trhu aktuálne niekoľko zariadení, napríklad: Cosmos, Eye, Pro a spomínaný Vive. V mnohých ohľadoch je podobný so zariadením Valve Index VR, pretože spoločnosti spolu spolupracovali pri vývoji. Rozlíšenie displejov je o niečo menšie oproti Indexu a to 1080 x 1200 pixelov. Obnovovacia frekvencia je iba 90 Hz. Výhodou HTC Vive je veľkosť sledovaného priestoru. Užívateľ sa môže pohybovať v priestore 15 m² a HTC Pro až 100 m². Tak veľký priestor dovoľujú iba HTC Vive / Pro a Steam Index VR. HTC aktuálne ponúka bezdrôtové rozšírenie pre svoje zariadenia. To má výdrž dve a pol hodiny. Zároveň umožní napojiť na jeden počítač až tri HMD [59], [60].

FOVE

Prvý HMD, ktorý podporoval sledovanie očí (eye tracking). To mohlo byť využité v niektorých aplikáciách, takisto pri vykresľovaní scény, kedy by engine obmedzoval kvalitu textúr a modelom mimo zorné pole užívateľa. Jeho vývoj a výroba bola financovaná na kickstartery a do konca kampane vyzbieral na svoj vývoj 480 000 dolárov. FOVE sa však moc neujal, a to hlavne z dôvodu nízkeho počtu aplikácií, ktoré využívali sledovanie očí [61].

2.2.2.1.2 Mobilné optické zariadenia

Jedná sa o najjednoduchšiu formu optických výstupných zariadení. Hlavnú časť zariadenia tvorí obal a šošovky. Delia sa na tri podkategórie, a to: zariadenia s jednoduchým puzdrom, ergonomické zariadenia a ostatné zariadenia.

Zariadenia s jednoduchým puzdrom sa skladajú z obalu a šošoviek. Samotné zobrazovacie zariadenie je následne smartphone. Takéto zariadenia sú lacné na výrobu, avšak ich výpočtový výkon je viazaný na smartphone zariadenie.. Ďalšou nevýhodou je kvalita šošoviek, ktorá sa odvíja od ceny zariadenia a často sa vyskytujú fresnelové šošovky. Do tejto kategórie patrí napríklad Google CardBoard, Virtual Vizer a Wearality SKY [62].



Obr. 13 Google Cardboard

zdroj: <https://www.imedicalapps.com/wp-content/uploads/2015/06/image02.jpg>

Pri ergonomických zariadení je kvalita spracovania o úroveň vyššia. Obaly majú podobu plnohodnotných HMD a používajú sklenené šošovky. Zobrazovacie zariadenie je znova tvorené smartphonovým zariadením. Spadá sem napríklad Samsung Gear VR, alebo Zeiss

VROne. K Samsung Gear je možné dokúpiť ovládacie zariadenie, ktoré síce nemá sledovanie polohy, ale pomocou dotykového plochy je možné ovládať kurzor vo virtuálnom svete. To pri zariadeniach s jednoduchým puzdrom nebolo možné a kurzor sa ovládal iba pohybom hlavy [63].

Na rozdiel od dvoch predchádzajúcich kategórií, sem spadajú zariadenia, ktoré nepotrebujú smartphone k svojej funkčnosti, konkrétne sú to zariadenia Gameface Mark V a Auravisor. Gameface sa snaží vytvoriť zariadenie pracujúce na Androide, schopné spustiť Android aplikácie a v prípade pripojenia do počítača by malo byť schopné spustiť aplikácie SteamVR. Spoločnosť už mala niekoľko funkčných prototypov, avšak žiaden ešte nevyšiel na komerčný trh. Auravisor je komerčne dostupný, avšak nenaplnil očakávania [65], [66].

2.2.2.2 Haptické výstupné zariadenia

Do tejto kategórie spadajú zariadenia, ktoré užívateľovi vracajú odozvu z virtuálneho sveta v podobe vibrácií, rotácií a pohybu. Spadajú sem rôzne vesty, celotelové obleky, ale aj trenážery. Na trhu a vo vývoji je plno haptických oblekov, napríklad: ARAIG, KOR-FX, Subpac M2, alebo TeslaSuit. Avšak ARAIG je vo vývoji niekoľko rokov a posledných 5 rokov nie su o ňom žiadne novinky. KOR-FX je síce na trhu s cenou 99 dolárov, ale jeho konštrukciu tvorí jednoduchá vesta spolu so subwooferovými reproduktormi. A Subpac M2 pracuje na rovnakom princípe ako KOR-FX, len kvalita spracovania je o niečo vyššia a cenovka je 400 dolárov. Jediným schopným produktom z tejto kategórie je TeslaSuit [66].

TeslaSuit

Celotelový haptický oblek od spoločnosti TeslaSuit. Je schopný generovať haptickú odozvu vo forme elektrických impulzov. Tie spôsobia kontrakciu svalov na určitom mieste a tak môžu simulovať dotyk vo virtuálnej realite. TeslaSuit je možné využiť aj ako motion capture zariadenie a tak sledovať pohyb užívateľa. Pohyb následne môže byť prenesený do virtuálnej reality, alebo využitý na animácie. TeslaSuit je schopný zachytiť biometrické funkcie, ako napríklad tep. TeslaSuit je však stále vo vývoji a podľa CTO Serge Khurs by mal byť dostupný pre verejnosť do roku 2024.

Novinkou od spoločnosti TeslaSuit je haptická rukavica TeslaSuit Glove, ktorá môže byť použitá spolu s TeslaSuit oblekom, alebo samostatne. Podobne ako oblek, rukavica je schopná motion capture, vracáť haptickú odozvu, sledovať biometrické funkcie, ale aj vrátiť silovú odozvu. Rukavica tak môže navodiť užívateľovi dojem držania predmetu, alebo

zachytiť jeho pohyb a preniesť ho do virtuálnej reality. Rukavica má široké využitie od herného a animačného priemyslu, až po výrobný priemysel a medicínu [66], [67].



Obr. 14 TeslaSuit Glove [68]

Feel Three

Zariadenie určené hlavne na haptickú odozvu cestných, vodných a vzdušných strojov. Spracováva údaje prístupné z rôznych aplikácií, napríklad preťaženie pri brzdení v automobilovom simulátore a využíva ich pri pohybe a rotácii zariadenia. Feel Tree je schopné 100 stupňového sklonu a piatich 360 stupňových otočiek. Na rotáciu sú využívané všesmerové kolesá (omni wheels). Cena sa pohybuje v rozmedzí 3000 až 12000 eur, v závislosti na konfigurácií [69].



Obr. 15 Feel Three [70]

2.2.2.3 Viac vnemové výstupné zariadenia

Zameriavajú sa na ostatné vnemové zmysli, ako napríklad čuch a dotyk. Predstaviteľom tejto kategórie je FeelReal. Ten sa jednoducho pripne pod HMD a dokáže simulovať vietor,

teplo, zimu a rôzne vône. Je kompatibilný s majoritou HMD zariadení na trhu. V ponuke má aj pár aplikácií, ktoré ho podporujú. Avšak užívateľ má možnosť vytvoriť vlastné prednastavené efekty vo filmoch. Tie sa pridávajú na časovej osi a môžu byť zdieľané s ostatnými užívateľmi [71].

II. PRAKTICKÁ ČÁST

3 HARDWAROVÉ SÚČASTI

Pri skenovaní a následným zobrazením dát vo virtuálnej realite sú potrebné tri hlavné hardwarové časti: 3D skener, výkonný počítač a VR. Ako už bolo spomínané v teoretickej časti, existuje široká škála skenerov pracujúcich na rôznych skenovacích technikách. V práci bol použitý skener značky Laica 360blk.

Dáta boli spracované na osobnom PC. Najväčšia záťaž bola kladená na RAM pamäť a procesor. Osobný PC obsahoval 16GB DDR4 pamäte, ktorá bola z dôvodu nedostatku rozšírená na 32GB. Skenované dáta boli uložené na SSD disk, vzhľadom na ich veľkosť.

Na zobrazenie dát bola využitá virtuálna reality značky HTC Vive, ktorej jednotlivé súčasti sú popísane v teoretickej časti.

3.1 Skener Laica 360blk

Je kompaktný 3D, ktorý má 360° vertikálne a 300° horizontálne skenovacie pole. Pracuje na princípe Time of Flight vylepšenú o Waveform Digitizing technológiu. Skenovacím rozsahom pokryje od 0.6 – 60m a rýchlosť skenovania predstavuje 360 000 bodov za sekundu. Rozlíšenie skeneru je 4mm pri skenovaní do 10m a 7mm pri skenovaní do 20m. Skener obsahuje tri 15 Mpixel kamery schopné zachytiť 360° fotku. Kamery sú využívané pri tvorbe textúry objektu a majú možnosť tvoriť fotografie v infračervenom spektre. Skenovanie jednej pozície trvá približne 6 minút a dáta sú posielané, spracované na Ipade [73].



Obr. 16 Skener Leica BLK360 [73]

4 SOFTVÉROVÉ SÚČASTI

Práca si vyžiadala širokú škálu softwarového vybavenia. Od skenovacieho procesu, pri ktorom bol využívaný software od výrobcu skeneru, cez úpravu a modelovanie skenovaných dát, až po ich zobrazenie vo VR. Každý tento proces si vyžadoval iný druh softwaru.

Párovanie a zarovnávanie jednotlivých skenov bolo robené v softwary Leica Cyclone. V Cyclone bol vytvorený poin cloud, ktorý bol exportovaný do programu Reality Capture. V Reality Capture bol vytvorený z point cloudu mesh objekt, ktorý bol vkladáný do modelovacieho 3D programu Blender, alebo ďalej upravovaný a zjednodušovaný. Z Blenderu bol následne mesh objekt exportovaný do herného enginu, napríklad Unreal Engine 4.

4.1 Leica Cyclone

Je software vytvorený a spravovaný firmou Leica Geosystems. Software je schopný spracovať skenovacie data z 3D skenerov. Hlavnou úlohou je spojenie skenovacích pozícií a ich následne zarovnanie. Tým sa docieli vysoká presnosť skenovacieho miesta. Výsledným exportovaným súborom je zarovnaný point cloud.

4.2 Reality Capture

Pre vytvorenie mesh objektu bolo nutné využiť program Reality Capture od firmy Capturing Reality. Software dokáže spracovávať point cloudy, vytvárať point cloudy zo snímok, kombinovať point cloud zo skeneru s obrázkami a následne vytvárať detailnejšiu textúru. Reality Capture má veľké množstvo nástrojov na úpravu, zjednodušenie a vyhladenie dát. Výsledným exportom z programu je mesh.

4.3 Modifikovanie 3D modelu

Software Reality Capture dokáže zjednodušiť mesh skenovaného objektu až na takú úroveň, aby bolo možné ju použiť v hernom engine. Problém je však nedostatočná kontrola užívateľa a príliš veľká strata detailu. Zvýšiť kontrolu užívateľa a aj kvality výsledného meshu je možné vďaka programom na tvorbu 3D objektov. Tie ponúkajú široké spektrum nástrojov na úpravu, zjednodušenie a exportovanie objektov a textúr do herného enginu. Medzi najsilnejšie programy patria: Blender, 3DS Max, Maya a Cinema 4D, Zbrush. Editácia je však časovo náročná a v závislosti na výkone počítaču môže trvať niekoľko hodín.

4.3.1 3D model

3D model môže nadobúdať rôznych tvarov, veľkosti i farieb (textúr). V anglickej literatúre sa nazýva *mesh*. Skladá sa z troch základných štruktúr. Sú to: vertex, edge, face.

Vertex

Vertex, bod je najzákladnejšou časťou 3D modelu a samostatne nie je v 3D priestore renderovateľný. Tvoria ho súradnice X, Y, Z. 3D model je v podstate zoskupenie (array) vertexov. Pri spojení dvoch vertexov vzniká edge. V programy Blender je možné vertexom priradiť váhy, skupiny alebo farby. To sa využíva pri rôznych typoch modelovania, animovania a textúrovania.

Point Cloud

Ide o špeciálnu skupinu 3D dát využívanú hlavne pri 3D skenovaní. V podstate sa jedná o veľkú skupinu vertexov, z ktorých je následne generovaný 3D model. Pri modernejších skeneroch je uložená aj farebná informácia vertexu, z ktorej je následne možné vytvoriť textúru objektu [72].

Edge

Edge vzniká pri spojení dvoch vertexov. V podstate sa jedná o priamku medzi dvoma vertexami v 3D priestore. Podobne ako vertex, nie je renderovateľná a zatiaľ sa nepovažuje za 3D objekt.

Face

Vzniká pri spojení minimálne troch vertexov. Budujú viditeľnú a renderovateľnú časť 3D objektov. Podľa počtu edgov, ktoré jednotlivý face tvoria, sa delia na:

- Trojuholníky (triangle, tris), vznikajú pri spojení troch bodov a sú najjednoduchšou face štruktúrov. Taktiež sú neustále ploché a pre počítač sa ľahko počítajú. Preto sa využívajú v 3D grafike, najmä v hernom priemysle.
- Štvorce (quadrangles, quads), vznikajú pri spojení štyroch vertexov a sú hlavne využívané pri modelovaní. Väčšina modifikátorov pracuje práve so štvorcami a pri čo i len jednom trojuholníku, alebo mnohouholníku sa môže vyskytnúť neočakávaná chyba na modely. Využívajú sa hlavne priamo pri modelovaní, alebo animovaní.

- Mnohouholníky (n-gon), vznikajú pri spojení piatich a viac vertexov. Pri určitých štýloch modelovania ničomu neprekážajú, avšak pri používaní modifikátorov sú nechcené a musia sa meniť na štvorce [74].

4.3.2 Textúrovanie, UV unwrap

Textúrovanie, nazývané aj shading, je proces priradenia „farby“ na model. Tento proces je celkom zložitý a vyžaduje plno skúsenosti s programom. V prípade jednoduchého modelu je možné využiť procedurálne textúrovanie, pri ktorom sa nemusí vytvárať UV unwrap. Procedurálne textúrovanie využíva projekciu, alebo matematické algoritmy na pridelenie textúry 3D modelu. Pri zložitejšom modeli, hlavne z hľadiska textúr, je nutné spraviť UV unwrap.

UV unwrapping je proces pri ktorom sa z trojdimenzionálneho objektu vytvára dvojdimenzionálna mapa. Existujú rôzne algoritmy na automatické vytvorenie tejto mapy (smart UV unwrap), avšak pre zachovanie čo najväčšieho detailu je nutné vytvoriť túto mapu ručne. Pri ručnom procese vytvárania sa povrch 3D objektu „strihá“ a následne rozkladá na dvojdimenzionálnu plochu. Na UV mapu môžu byť následne aplikované textúry.

Textúra nemusí niesť iba farebné údaje, ale aj informácie o lesklosti materiálu, priepustnosti materiálu a i čiastočnú geometriu materiálu. Dnes sa najčastejšie používa systém farieb PBR, čo znamená Physically Based Rendering. Tento systém textúrovania má za úlohu simulovať povrch objektu z reálneho sveta. Používa niekoľko rôznych textúr, ktoré dodávajú modelu realistické svetelné vlastnosti. Medzi tieto textúry patria:

- Base Color, Albedo (základná farba), dáva objektu farbu, nenesie informáciu o odlesku a svetle
- Metallic (kovovosť), predstavuje čiernobielu mapu „kovovosti“ objektu. Čím je farba bližšie k bielej, tým je objekt viac kovový. Väčšinou platí, že hodnoty u tejto mapy by mali byť buď čierne (0), alebo biele (1). Čiže buď je objekt kovový, alebo nekovový.
- Roughness (tvrdosť), čiernobiela mapa predstavujúca tvrdosť objektu. Čím je farba černejšia (0), tým je objekt viac lesklý. Čím je belšia, tým je viac tvrdší. Napríklad pri plávajúcej podlahe bude táto mapa černejšia, ako napríklad pri betónovej stene.
- Normal mapa, je špeciálny druh textúry zachytávajúci trojrozmernú informáciu. Navodzuje dojem zmeny geometrie modelu, pri zachovanom počte polygónov. Využíva

sa hlavne pri PBR textúrach a prenášaní detailov z modelu s vyšším detailom (high poly) na model s menším detailom (low poly). Tým sa dosiahne takmer identická kvalita pri menšom počte polygónov.

- Displacement mapa, čiernobiela mapa zachytávajúca deformáciu objektu. V podstate má veľmi podobný efekt ako normálová mapa. Displacement mapa však ovplyvňuje priamo geometriu objektu a hýbe jednotlivými vertexmi, podľa textúry. Nevýhodou displacement mapy je nutnosť vysokého počtu polygónov. Totiž to, čím väčší počet, tým väčší detail sa dokáže preniesť z textúry na objekt.

4.3.3 Blender

Blender je voľne stiahnuteľný open source program na spracovanie a vytváranie 3D modelov a dát. Spadá pod GNU General Public License (GPL) a o jeho vývoj sa stará stály tím vývojárov, ale i jednotlivci z celého sveta. Jeho využívanie je bezplatné a vývojári sú platení z vývojárskeho fondu a malých i veľkých príspevkov od jednotlivcov, alebo spoločností. V počiatkoch Blender nemal šancu konkurovať plateným programom, za ktorými stáli veľké vývojové tímy. Avšak od verzie 2.7 a hlavne od 2.8 je schopný konkurovať aj plateným produktom. V niektorých oblastiach ich dokonca predbehol. Z veľkej časti za to môže práve voľná licencia a možnosť pridávania obsahu priamo užívateľmi, v podobe addonov [76].

Na trhu existujú aj platené programy, ako napríklad: 3ds Max, Maya, Cinema 4D, ktoré je možno využiť pri úprave dát, avšak ceny ich licencií sa pohybujú v stovkách za mesiac.

4.4 Zobrazenie 3D scény

Po úprave nasnímaných dát nasleduje ich zobrazenie. To je možné docieľiť i v programoch na modifikovanie dát. Napríklad v Blendri je možné využiť addon Blender XR od firmy MARUI-Plugin, ktorá tak isto vytvára podobné rozšírenie pre Autodesk Maya. Avšak ich hlavnou úlohou je iba zobrazenie a úprava. V prípade pokročilej funkčnosti by bolo nutné scripty napísať od začiatku [77].

Na zobrazenie dát sa najviac hodia herné enginey. Ich hlavnou výhodou je vývojové prostredie a množstvo scriptov, ktoré je možné pri vytváraní scény použiť. Ďalšou výhodou je veľké množstvo edukačných materiálov a návodov. Dva hlavné enginey na trhu sú Unreal Engine a Unity.

4.4.1 Unreal Engine

Je kompletným vývojárskym nástrojom pre prácu s 3D prostredím vykresľovaným v reálnom čase. Hlavným programovacím jazykom je UnrealScript, ktorý je v podstate C++. Vyvíja ho spoločnosť Epic Games a prvým produktom vyrobeným v Unreal Engine bola v roku 1998 strielačka Unreal. Spočiatku bol Unreal Engine navrhnutý a využívaný hlavne na tvorbu FPS – First Person Shooter, čiže strielačiek z pohľadu prvej osoby. Neskôr sa začal používať aj na ostatné typy hier. Medzi najznámejšie série vytvorené na Unreal engine patria: Gear of war, Killing floor, Mass Effect, Tom Clancy's, Borderlans, Medel of Honor a ďalšie.

Do roku 2015 bol spoplatnený čiastkou 15\$ mesačne. Aktuálne je Unreal Engine zdarma a vývojári platia iba v prípade, že ich produkt zarobil za štvrtrok viac ako 3000\$. Po prekročení danej čiastky musí vývojár platiť 5% zo zisku. Unreal engine podporuje všetky majoritné platformy, ako napríklad: Windows, macOS, Linux, iOS, Andriod, konzoly a tak isto zariadenia virtuálnej reality. Súčasťou Unreal Engine je široko obsiahnutá knižnica s návodmi a tutoriálmi. Od jednoduchých základov až po prácu s jednotlivými zariadeniami virtuálnej reality [78], [79].

4.4.2 Unity

Podobne ako Unreal Engine sa jedná o kompletný vývojársky nástroj na tvorbu aplikácií, hier a simulácií. Programovacím jazykom je Unity Scripting, v podstate C#. Predstavený a sprístupnený bol v roku 2005 ako exkluzívny engine pre macOS. Jeho zameranie sa však rozšírilo a podobne ako Unreal Engine, dnes podporuje všetky hlavné platformy a tak isto virtuálnu realitu. Ďalším podobným znakom s Unreal Enginom je jeho cenová politika. Licencia bola do roku 2016 platená. Od roku 2016 Unity vydalo licencie zdarma pre študentov a malých vývojárov, ktorý nedosahujú ročný zisk nad 100 000\$. Hlavným rozdielom oproti Unreal Engine je práve táto suma. Preto plno malých nezávislých vývojárov a štúdií pracuje práve s Unity [80], [81].

5 PRAKTICKÝ POSTUP OD SKENOVANIA AŽ PO ZOBRAZENIE DÁT

Ako už bolo spomenuté, samotné nasnímané dáta nie je možné zobrazit' vo virtuálnej realite. Zobraziteľný je až point cloud a to s obmedzenou funkcionalitou. Výsledný mesh z point cloudu má vysoký počet polygónov a pre virtuálnu realitu je nezobraziteľný. Pre to je nutné mesh upraviť do použiteľnej formy. V práci boli použité dve metódy na úpravu dát. Prvá je ručné prerobenie všetkých modelov v scéne, vrátane textúr, kde 3D naskenované dáta slúžia ako veľkostná referencia a ako pozičný údaj jednotlivých objektov. A druhou je zjednodušenie modelu do použiteľnej úrovne a následná aplikácia textúr z naskenovaného modelu.

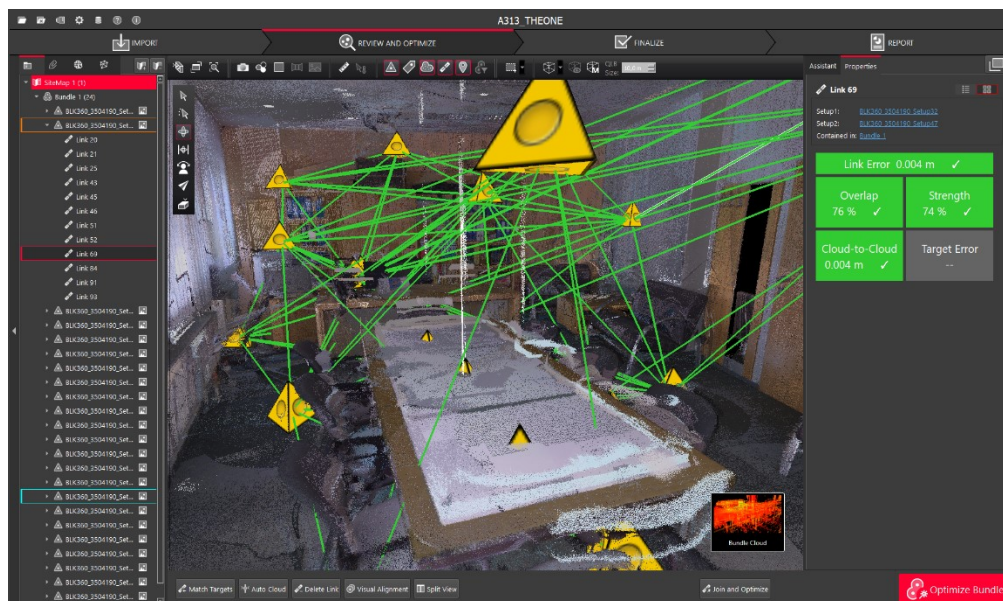
5.1 Skenovanie miesta

Ako skenovacie miesto bola vybraná miestnosť A313. Vzhľadom na aktuálnu situáciu mi bol prvý sken v čase koronakrízy poskytnutý pánom Inžinierom Ševčíkom. Ten bol využívaný na ručné prerobenie scény. Druhý sken, ktorý bol zjednodušený v Zbrush a následne zobrazený vo VR, bol skenovaný po otvorení hraníc.

Na skenovanie bol využitý skener Leica 360BLK. Celkovo bolo skenovaných 24 pozícií, pričom nasnímanie jednej pozície trvalo 6 minút. Skener zachytával fotografie, z ktorých následne mohla byť vytvorená textúra miestnosti.

5.2 Zarovnanie naskenovaných dát a export mesh objektu

Pred vytvorením point cloudu celej miestnosti bolo nutné zarovnať jednotlivé skeny, aby miera chybovosti merania bola čo najnižšia. Zarovnanie jednotlivých skenov bolo vykonané v programe Leica Cyclone. Na základné zarovnanie bol využitý nástroj Auto Alignment, ktorý automaticky zarovnaj jednotlivé skeny. Po prvotnom zarovnaní boli pomocou manuálneho zarovnania upravené skeny s vysokou odchýlkou (*Obr. 17*). Po dosiahnutí požadovanej odchýlky bol point cloud exportovaný vo formáte e57.



Obr. 17 Zarovnanie skenovacích pozícií v programe Leica Cyclone

Následným krokom bolo vytvorenie mesh objektu miestnosti. Na to bol využitý program Reality Capture, do ktorého bol importovaný point cloud miestnosti. Reality Capture má širokú škálu nástrojov na úpravu dát. Point cloud bol orezaný v rozmeroch miestnosti pomocou reconstruction region. Ten bol nastavený tak, aby zachytával iba podstatné časti objektu. Časti objektu, ktoré sa nachádzali mimo reconstruction region boli z point cloudu odstránené. Patria sem napríklad odrazy v zrkadle, ktoré skener vytvorí za zrkadlom a dáta naskenované za oknami miestnosti.

Proces úpravy dát pre dve metódy zobrazenia, ktoré sú rozpracované v tejto práci sa nelíši. Pri prvej metóde, v ktorej naskenované dáta slúžia iba ako referencia bolo nutné dáta zjednodušiť na toľko, aby boli zobraziteľné v Blendri. Bez úpravy by naskenované dáta obsahovali 78 miliónov trojuholníkov, čo by v Blendri nebolo možné zobraziť a nie to ešte editovať. Počet trojuholníkov bol preto znížený pomocou Simplify Tool na 22 miliónov trojuholníkov. Takto zjednodušený model už bolo možné nahráť do Blendru a následne upravovať na použiteľnú úroveň.



Obr. 18 Zobrazenie point cloudu v Reality Capture

Pri druhej metóde je nutné model rovnako zjednodušiť. Vysoký počet trojuholníkov a komplexná topológia spôsobujú vysoké vyťaženie procesoru a tým aj spomalenie programu Zbrush. Podobne ako pri prvej metóde je dostačujúce zjednodušenie na 22 miliónov trojuholníkov.

5.3 Ručné prerobenie naskenovaných dát

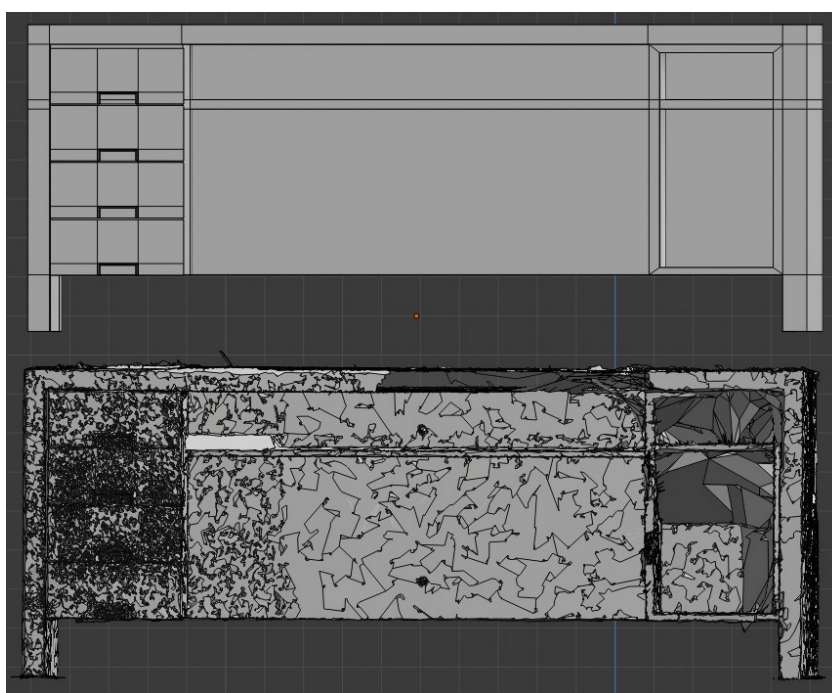
Pri použití tejto metódy je nutná znalosť širokej škály aplikácií a pracovných postupov. Každý objekt v scéne je nutné vymodelovať, unwrapnúť, natextúrovať a umiestniť v hernom engine. V závislosti od komplexnosti scény a požadovanej vierohodnosti sa odvíja časová náročnosť prerobenia scény.

5.3.1 Modelovanie objektov

Na modelovanie objektov bol využitý program Blender. Pri modelovaní boli vyžívané klasické modelovacie metódy ako extrude, bevel, modifikátory mirror, subdivision surface a podobne. Hlavným cieľom bola redukcia počtu polygónov. Tú bolo možné dosiahnuť hlavne na rovných povrchoch, ako napríklad: steny, stoly, skrine. Napríklad na *Obr. 19 Pôvodný naskenovaný objekt (dole) a vymodelovaný (hore)* je zobrazený naskenovaný a vymodelovaný objekt. Na pôvodnom objekte je možné spozorovať vysokú koncentráciu vertexov (čierné bodky) a chyby v modeli na miestach kde to skener nenasnímal. Pôvodný

objekt mal 307 000 trojuholníkov a upravený 607. Pomer týchto dvoch čísiel predstavuje 500 násobnú redukciu topológie. Takúto redukciu topológie nie je možné dosiahnuť inými postupmi za podmienky zachovania tvaru objektu.

Najväčšia redukcia môže byť docielená na rovných povrchoch a celkovo na objektoch ktoré vyrobil človek (man made structure). Tie sú jednoduchšie z hľadiska modelovania, pretože využívajú rovné povrchy, rovnomerne zakrivené povrchy a podobne. V prípade exteriérového skenovania a skenovania prírodných objektov by modelovanie objektov bolo časovo náročnejšie a možno priam zbytočné, pretože jeho kvalita by sa skenovaným dátam nemusela priblížiť.



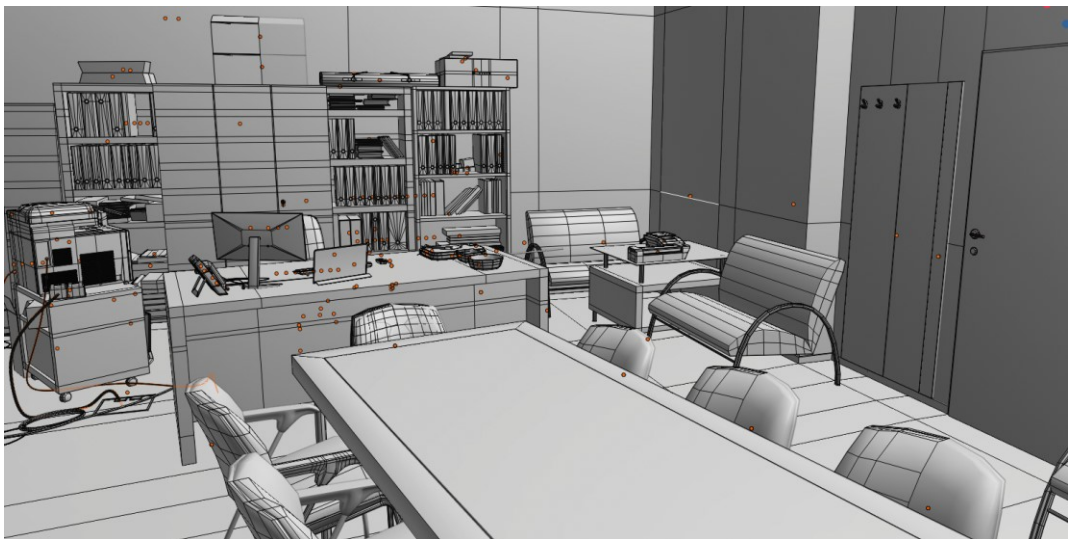
Obr. 19 Pôvodný naskenovaný objekt (dole) a vymodelovaný (hore)

Celková redukcia topológie je zobrazená na Obr. 20 Pôvodná topológia miestnosti Obr. 21 Vymodelovaná topológia miestnosti. Pôvodný naskenovaný model po počiatočnej úprave obsahoval 6 460 000 trojuholníkov, tento počet sa ručným premodelovaním podarilo zredukovať na 306 000 trojuholníkov. Tento počet by mohol byť ďalej znížený ručnou trianguláciou objektov a následným odstránením nepotrebných vertexov a edgov.

Ručným modelovaním sa opravili chyby, ktoré skener naskenoval, hlavne pri lesklých materiáloch ako zrkadlo, oceľ a priepustných materiáloch ako sklo.



Obr. 20 Pôvodná topológia miestnosti



Obr. 21 Vymodelovaná topológia miestnosti

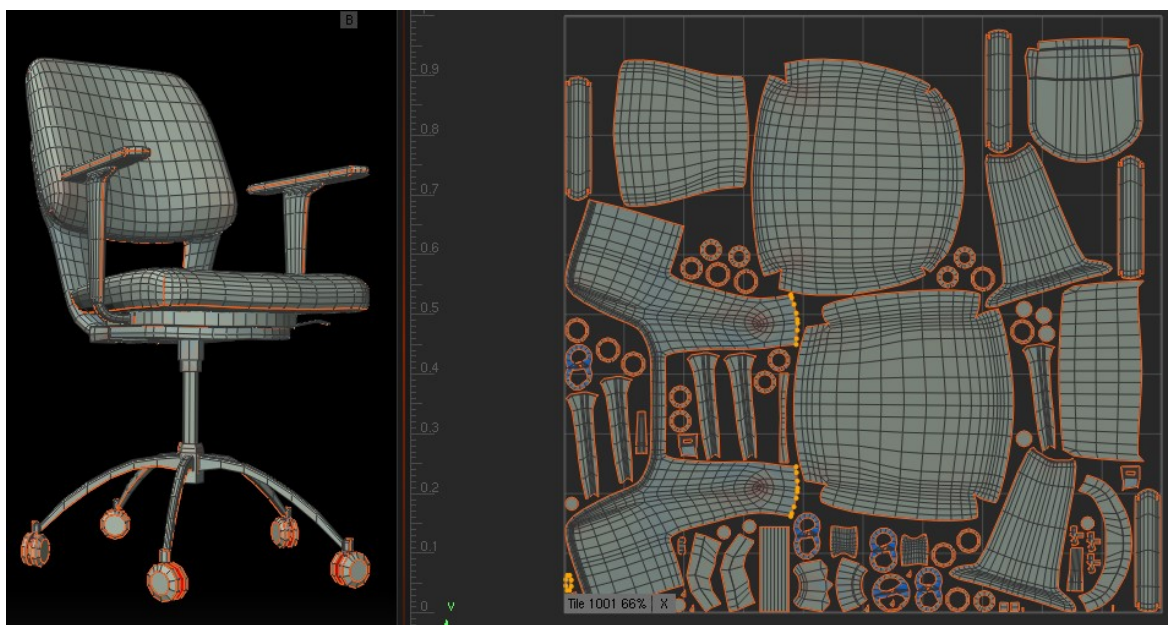
5.3.2 Unwrap objektov

Druhým krokom je unwrap jednotlivých objektov. Pri obidvoch metódach sa vyskytuje unwrap objektov, avšak pri zjednodušení celého nasnímaného modelu sa unwrapuje celý objekt, kde pri ručnom pretváraní sa unwrapujú objekty jednotlivo. Tento proces je možné vykonávať v Blendri, v inom programe zameranom na 3D modelovanie, alebo v programe špecificky zameranom na unwrap. Sem spadá napríklad RizomUV, ktorý ponúka oproti Blendru lepší workflow, jednoduchšiu prácu a hlavne lepší autounwrap. Pre komunikáciu medzi Blendrom a RizomUV bol použitý plugin RizomUV Bridge. Pomocou pluginu boli

objekty exportované z Blendru do RizomUV a po unwrapu, importované späť do Blendru, poprípade uložené na disk.

U väčšiny objektov boli zmenené veľkosti jednotlivých islandov, za cieľom zvýšenia počtu pixelov, ktoré priliehali jednotlivým islandom. Napríklad na *Obr. 22* je možné pozorovať priradenú väčšiu plochu častiam objektu ktoré sú viac viditeľné v scéne. Napríklad operadlo, sedadlo a opierky rúk majú väčšiu plochu (texture space), ako napríklad kolieska, alebo spodná časť stoličky.

Tento proces bolo nutné zopakovať pre každý objekt v scéne. Väčšina objektov bola unwrapnutých samostatne. Podobné objekty, napríklad zakladače boli unwrapované po skupinách, čím sa ušetril počet textúr, ktoré engine musí načítavať pri zobrazení objektov.



Obr. 22 Unwrap stoličky

5.3.3 Textúrovanie objektov

Pri textúrovacom procese bol využitý program Substance Painter a knižnica textúr od Quixel Megascan Library. Substance Painter je profesionálny program na tvorbu textúr a vlastní ho firma Adobe. Quixel Megascan Library je knižnica 3D skenovaných textúr a objektov, ktorú vlastní Epic games a pri použití s Unreal enginom sú všetky textúry zdarma.

Základný podklad textúr bol použitý z Quixel Megascan, alebo Substance Painter. Do podkladu patrili napríklad plasty, papier, kartón, steny a drevo. V prípade objektov, ktoré mali dodatočnú textúru, napríklad potlač na krabiciach, nálepky na tlačiarňi, boli využité fotografie priamo z miesta, z ktorých boli dané časti vystrihnuté, upravené a vložené do textúry.

Avšak tie neboli fotené priamo na tvorbu textúr a niektoré zachytávajú tieň, odrazy svetla a podobne. Časť týchto nežiadúcich prvkov na textúrach bola odstránená vo Photoshope, avšak ich viditeľnosť na niektorých objektoch je evidentná.

5.3.3.1 Postup textúrovania vybraného objektu

Ako zvolený objekt bola krabica od LCD monitoru LG vid'. Obr. 23. Podobne ako v reálnom svete sa textúra objektu skladá z viacerých vrstiev, tak aj v Substance Painter sa textúra vytvára po vrstvách.



Obr. 23 Referenčný objekt, krabica od LCD monitoru

Základnou vrstvou bol kartón, na ktorý bol následne pridaný vystrihnutý obrázok potlače z fotografie. Ten však bolo nutné upraviť a odstrániť zakrivenie spôsobené objektívom fotoaparátu. Cez stred potlače prechádzala lepiaca páska, ktorej odlesk bol nasimulovaný vďaka nižšej hodnote tvrdosti. Na zvýšenie detailu bola vystrihnutá časť úchopu krabice. Tá bola prevedená do čiernobieleho spektra a upravená tak aby sa dala použiť ako výšková mapa (height map). Tá bola následne konvertovaná v Substance Paintry na normal mapu a tak mohla simulovať nerovný povrch v týchto miestach. Výsledný natextúrovaný objekt je zobrazený na Obr. 24.



Obr. 24 Výsledný natextúrovaný objekt

Po dokončení textúrovacieho procesu je nutné textúry exportovať. Substance Painter dokáže optimalizovať textúry priamo pre Unreal Engine a to tak, že zlúči 3 čiernobiele textúry do jednej farebnej. Konkrétne zlučuje metallic, roughnes a ambient occulsion. Týmto krokom sa zníži počet textúr, ktoré musí engine načítavať pri zobrazení objektu a tak isto aj využitie grafickej pamäte.

Pri práci s objektom, ktorý obsahuje viacero materiálov, napríklad stolička, ktorá sa skladá z plastov, kovov a textílii, Substance Painter exportuje textúry pre každý jeden materiál. To je z hľadiska úspory grafickej pamäte nežiadúce. Preto je nutné tieto jednotlivé textúry zlúčiť do jednej. To je možné vykonať vo Photoshope, ale proces je zdĺhavý a častokrát opakujúci sa. Vhodnou alternatívou je program Texture Set Combiner, ktorý dokáže skombinovať viac texture setov do jedného.

5.3.4 Zobrazenie objektov

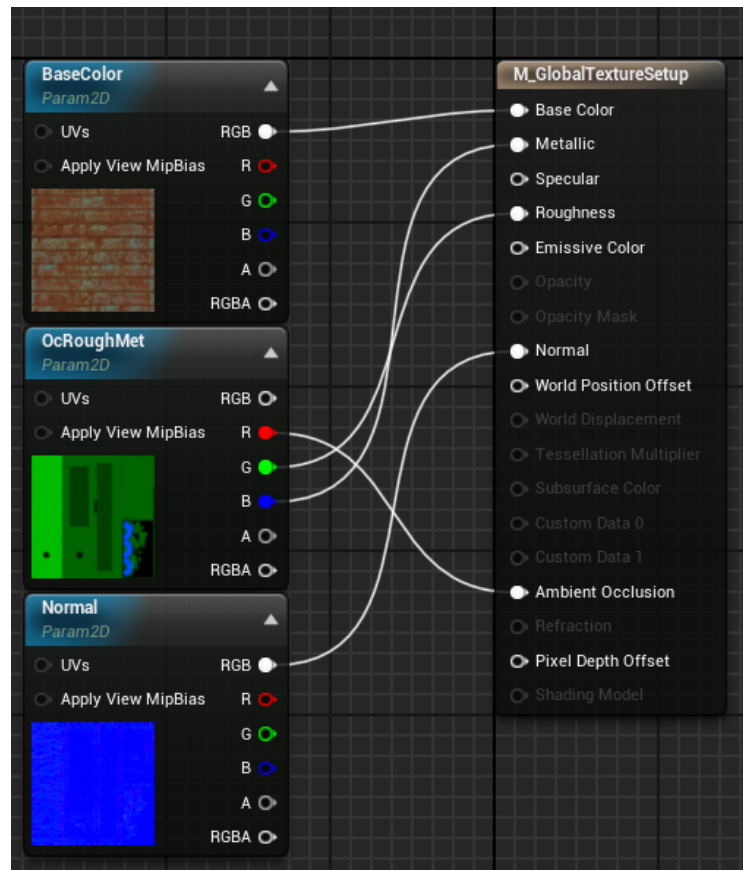
Na výsledné zobrazenie objektov a celej scenérie bol použitý program Unreal Engine 4. Na zobrazenie objektu je nutné:

- importovať objekt,
- importovať textúry,
- vytvoriť materiál z textúr,
- priradiť materiál objektu,
- vložiť objekt do scény a
- nesvietiť objekt.

Import objektov a textúr je jednoduchý a vybrané položky stačí pretiahnuť do prehliadačovho okna Unreal engine. Pri importe objektu je možné upravovať nastavenia importu, ako napríklad generáciu Light mapy, zmenu origin bodu a podobne. Unreal engine určuje origin bod objektov podľa world origin bodu z Blendru. Toto je výhodou pri rekonštrukcii miesta, pretože ak sú objekty modelované a umiestňované podľa naskenovaných dát v Blendri, ich poloha sa pri presune do Unreal engine, kde ostane pôvodná zo skenovaných dát..

Tvorba materiálu je zložitejšia a používa node systém, podobne ako Blender. Na rozdiel od Blendru používa iné funkcie a nody. Materiály využívajú PBR workflow a majú vstup pre jednotlivé druhy textúr podľa sekcie 4.3.2. Jednoduché zapojenie textúr do materiálu je zobrazené na *Obr. 25*. Na obrázku je možné pozorovať zapojenie Base Color a Normal priamo do vstupu materiálu. Kombinovanú textúru Occulsion, Roughnes a Metallic, pričom každá využíva jeden farebný channel.

V práci je použitý komplikovanejší materiál, s názvom *MS_DefaultMaterial*, ktorý dovoľuje použiť textúry pre unwrapnuté objekty, procedurálne textúry, imperfecions textúry a celkovo meniť farbu, intenzitu jednotlivých textúr. Základom tohto materiálu bol materiál od Quixel Megascan Library, ktorý bol modifikovaný, aby poskytoval viac možností.



Obr. 25 Tvorba materiálu v UE4

Globálne zapojenie textúr do materiálu je využité pri väčšine materiálov. Výnimkou sú prieľadne materiály ako sklo, priesvitné materiály ako žalúzie a reflexné materiály ako zrkadlo. Pri týchto materiáloch bol vytvorený vlastný materiál.

Z hlavného materiálu boli vytvorené inštancie, v ktorých boli menené textúry pre jednotlivé objekty. Inštancie boli následne pridelované na jednotlivé objekty. Objekt ktorý obsahoval inštanciu materiálu mohol byť následne vložený do scény.

Ďalším krokom je vloženie otextúrovaných objektov do scény. Rovnako ako pri importe objektov a textúr do Unreal Engineu je proces jednoduchý a stačí objekt z prehliadačového okna pretiahnuť do scény. Ak sa objekt umiestni do nulových súradníc, zaručí sa tým jeho originálna poloha z Blendru.

Posledným krokom je nasvetlenie objektov. Unreal engine podporuje 3 druhy objektov. Statické, stacionárne a pohyblivé.

- Statické objekty ovplyvňujú svetelnú mapu pri bakovaní, po vytvorení svetelnej mapy s nimi nie je možné pohybovať, inak sa odstráni ich light mapa.

- Stacionárne sú mix medzi statickými a pohyblivými objektami. Neovplyvňujú svetelnú mapu pri bakovaní a využívajú dynamické svetlá. Tak isto ako statické, ich poloha nemôže byť zmenená. Ich tieň sa vypočíta iba raz, uloží do Cached Shadow Map a ak sa poloha svetla, ktoré ožaruje daný objekt nemení, tak sa pri ďalšom snímku svetelné údaje spätne načítajú z Cached Shadow Map.
- Pohyblivé sú kompletne pohyblivé objekty. Statické svetla ovplyvňujú výzor objektu, avšak nevrhajú tieň. Tiene vrhajú až stacionárne a pohyblivé svetlá [80].

V práci je väčšina objektov statických, čiže aby bolo možné zobrazit' tiene, je nutné bakenúť svetlo. Nasvietenie scény sa skladá zo:

- Skyboxu, guľa s invertovanými normálmi (textúra smeruje dnu), aplikovanou HDRI textúrou, ktorá obaluje celú scénu a okrem farebnej informácie nesie aj informáciu svetelnosti.
- Smerové svetlo, vychádza z približného miesta, kde sa nachádza slnko na skyboxe a simuluje slnko.
- Štvorcové svetlá, nachádzajú sa na vnútornej strane žalúzií. Slúžia k vyššej kontrole svetla v scéne a odstráneniu nedostatkov, ktoré sa vytvorili na žalúziách. Taktiež simulujú tieň, ktorý vrhajú steny na žalúzie.

Po umiestnení, nastavení svetiel bolo bakenuté svetlo a výsledná scéna je zobrazená na *Obr. 26*.



Obr. 26 Zobrazenie scény v UE4

5.4 Zjednodušenie naskenovaných dát na zobraziteľnú úroveň

Pri zjednodušovaní naskenovaných dát sa na rozdiel od prvej metódy nemodelujú všetky modeli zvlášť, ale sa upravuje pôvodný model. Ten je nutné zjednodušiť, aplikovať naň textúru a následne ho importovať do herného engine. V práci je spracovaná časť zjednodušenia modelu.

5.4.1 Zjednodušenie modelu

Pôvodný model, ktorý obsahoval 20 miliónov trojuholníkov nie je možné zobrazit' vo virtuálnej realite a bolo ho nutné zredukovať. Redukcia bola robená v programe Instant Meshes, kde si užívateľ môže navoliť spôsob redukcie topológie. Program umožňuje dva typy redukcie pomocou štvorcov a jeden spôsob pomocou trojuholníkov. Workflow v programe je jednoduchý a priamočiari. Po importe meshu vo formáte .obj, alebo .ply bol nastavený požadovaný spôsob tvorby topológie na trojuholníky a ich počet po redukcii na 100 000. Následne program počítal orientation field a position field. Po výpočte bolo možné zredukovanú mesh exportnúť. Pred exportom program zobrazí výslednú mesh (*Obr. 27*).



Obr. 27 Zjednodušenie topológie v programe Instant Meshes

5.4.2 Tvorba textúry pre zjednodušený model

Rovnako ako pri prvej metóde je nutné pred aplikovaním textúry zjednodušený model un-wrapnúť. Na unwrap bol využitý automatický unwrap dostupný v Blenderi. Po un-wrape je možné aplikovať textúru. Tá sa aplikuje z pôvodného modelu, v ktorom je uložená, či už v obrázkovom formáte, alebo v podobe vertex color. V práci boli využité vertex color, pričom bol v Blenderi využitý ako emission materiál, z ktorého bolo možné spraviť bake na zjednodušený model. Práve v tomto kroku bol výkon osobného PC nedostatočný a nebolo možné bakenúť textúru na zjednodušený model.

6 VLOŽENIE VIRTUÁLNEJ REALITY

Základná funkcionálnosť virtuálnej reality je vytvorená v predlohe od Unreal Engine. Pre jej prístupnosť je nutné vytvoriť nový projekt -> herný projekt -> virtuálna realita. V projekte sa budú nachádzať všetky potrebné prvky virtuálnej reality, ako:

- nastavenie jednotlivých typov VR,
- nastavenie výšky užívateľa,
- spárovanie ovládačov,
- teleportovanie pomocou ovládačov,
- chytanie, prenášanie povolených objektov a
- objekty, textúry využívané pri teleportáciách.

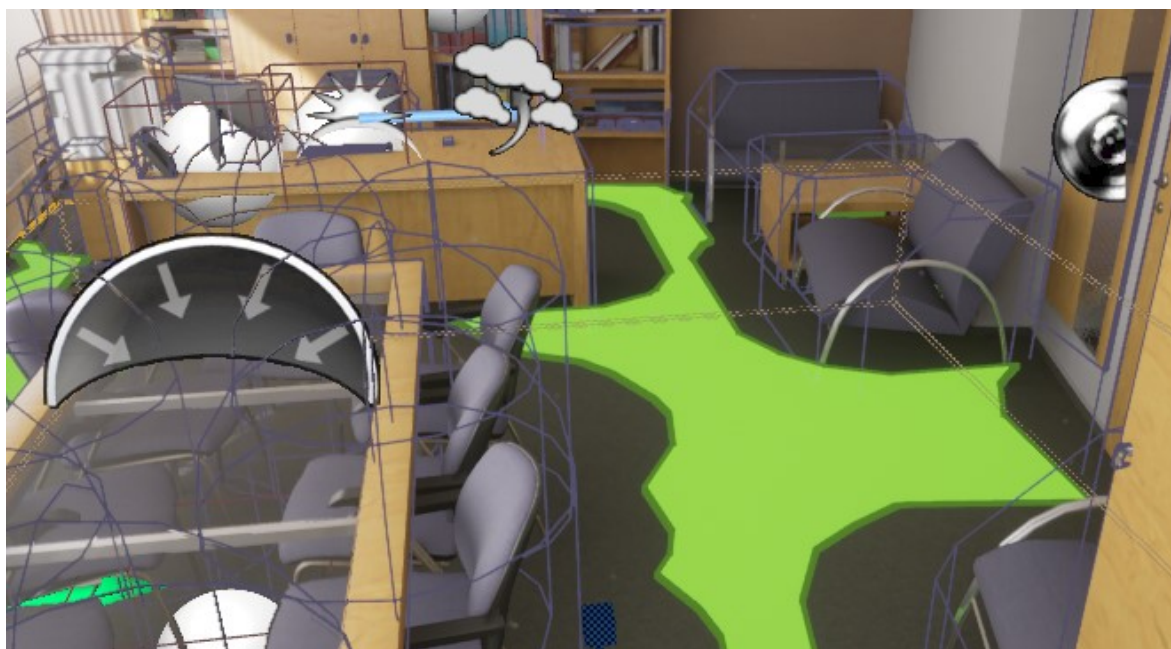
Aby bolo možné využiť VR v projekte, je nutné premiestniť celú funkcionálnosť do projektu, alebo opačne, preniesť projekt do predlohy VR. Bol zvolený postup premiestnenia VR do projektu.

Hlavnú časť a funkcionálnosť VR obsahuje *MotionControllerPawn*, ktorý je nutné umiestniť do scény. Po umiestnení je nutné zmeniť nastavenie na *Pawn -> Auto possess player -> Player 0*. Ak by ostalo pôvodné nastavenie *Disabled*, engine by nevedel, že hráč má ovládať práve túto kameru a v prípade spustenia aplikácie by automaticky vytvoril novú kameru, ktorá by nebola vytvorená na správnom mieste. Po importovaní a nastavení hráča, je možné použiť VR v projekte, avšak funkcionálnosť bude obmedzená a hráč sa nebude môcť teleportovať po miestnosti a interagovať s prostredím.

Na určenie miesta, kam sa hráč môže teleportovať, využíva UE4 volume s názvom *Nav mesh bounds volume*. V podstate je to *collision box*, v ktorom sa na povrchu objektov generuje vrstva, na ktorú sa užívateľ môže teleportovať. Táto vrstva je ovplyvnená okolitými objektami, presnejšie ich kolíziami. Tam kde sa nachádza kolízny objekt, tam je teleportačná vrstva odstránená. V prípade, že kolízne objekty nestačia a je nutné vrstvu ešte dopraviť, je možné využiť *Nav modifier volume*, ktorý zamedzí vytvoreniu teleportačnej vrstvy v miestach, kde sa vyskytuje.

Pre požadovaný detail zobrazenia *Nav mesh volume* je nutné upraviť nastavenia priamo v *project settings*. Presnejšie *Edit > Project Settings > Engine > Navigation Mesh > Generation*. V týchto nastaveniach je možné zmeniť rozlíšenie, v respektíve veľkosť trianglov z ktorých sa bude *Nav mesh volume* skladať, výšku schodu, ktorý bude považovať za

akceptovatelný a mnohé iné. Po zmene určitých nastavení a vytvorení ciest (*Build > Build Paths*) je možné pozorovať miesta, kam sa užívateľ môže teleportovať, vid' Obr. 28.



Obr. 28 Scéna s Nav mesh bounds volume (zelená)

6.1 Interaktívne prvky v scéne

Medzi interaktívne prvky v scéne radíme také prvky, s ktorými užívateľ môže interagovať, manipulovať. Patria sem napríklad objekty, ktoré je možné hýbať, na ktoré je možné kliknúť a rôzne menu widgety atď.

Pri scéne, kde je vymodelovaný každý objekt zvlášť je možnosť interakcie omnoho väčšia ako pri naskenovaných a upravených dátach. Naskenované dáta sa vkladajú ako jeden objekt a aby bola možnosť interakcie z jednotlivými objektami, je nutné tieto objekty vystrihnúť, alebo ručne premodelovať. Inak interakcia s jednotlivými objektami odpadá a ostáva iba interakcia s widgetmi.

6.1.1 Interaktivita s ručne vymodelovanými modelmi

Pri ručne vymodelovaných objektoch je možnosť interakcie omnoho väčšia. Objekty je možné pohybovať, meniť ich materiál, vytvoriť ich obrys, klikať na ne a následne zobrazovať rôzne widget menu atď. To môže byť využité napríklad pri rekonštrukcii činu, kde páchatel' môže premiestňovať objekty podľa toho, ako to urobil vo svete fyzickom. Tak isto sa môže rôznym objektom vytvoriť vyskakovacie okno, ktoré upresní informácie o objekte.

V práci bola použitá interakcia s objektami v podobe pohybu vybraných objektov a zobrazenia dodatočných informácií vybraných objektov.

6.1.1.1 Pohyb vybraných objektov

Základná logika pohybu objektov v scéne je vytvorená vo VR šablóne od Unreal Engine. Preto je jej implementácia do projektu celkom jednoduchá. Od VR šablóny sa v projekte nachádza Blueprint s názvom *BP_PickupCube*, ktorý predstavuje kocku, s ktorou môže užívateľ manipulovať. Pri kontakte s virtuálnou rukou a stlačení ľavého triggeru sa objekt prilepí na ruku a po pustení sa aktivuje simulácia fyzických vlastností objektu. Túto logiku je možné využiť aj na ostatné objekty, ktoré môžu byť pohyblivé v scéne.

Ako pohyblivý objekt bola zvolená konferenčná stolička. Pre povolenie hybnosti a interakcie bolo nutné vytvoriť child objekt z *BP_PickupCube*, v ktorom bol nahradený základný objekt (kocka) za konferenčnú stoličku. Pôvodné kolízie konferenčnej stoličky (*Obr. 28*, fialová kapsula), boli zmenené na komplexnejšie (*Obr. 29*). Kolízie udávajú miesto, kde je možné objekt uchopiť a kde bude objekt kolidovať s inými objektami.



Obr. 29 Komplexnejšie kolízie na objekte

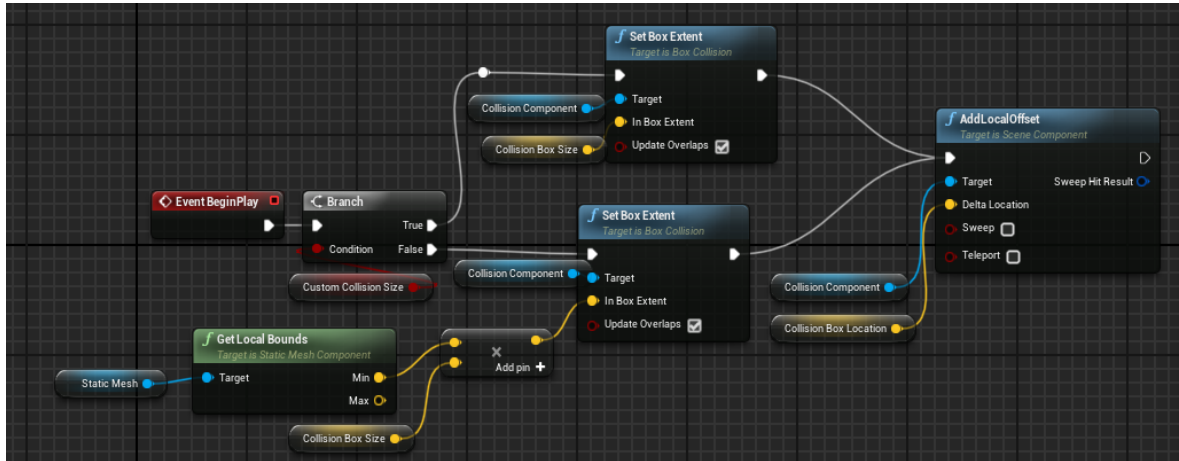
Takto vložený objekt do scény je možné uchopiť, manipulovať s ním a položiť ho na iné miesto.

6.1.1.2 Zobrazenie dodatočných informácií u vybraných objektov

Ďalšou formou interakcie je zobrazenie dodatočných informácií u vybraných objektoch. Táto funkcionálnosť nie je vytvorená v šablóne od Unreal Engine a tak je ju nutné vytvoriť od začiatku. Bol vytvorený nový Blueprint s názvom *Item*, ktorý sa skladá z:

- StaticMesh – objekt, ktorý má byť interaktívny
- CollisionBox – kolízie v okolí objektu, ktorými sa zistí, že užívateľ miery na objekt,
- Widget – ktorý sa zobrazí pri kliknutí na objekt.

Keďže daný BP bude používať viacero objektov rôznych veľkostí, je nutné upravovať kolízny box podľa potreby. To je možné robiť ručne pre každý objekt, alebo globálne pre všetky objekty podľa Local Bounds objektu. Na *Obr. 30* je zobrazená logika zmeny kolízneho boxu, kde sa rozhoduje, či sa kolízny box riadi podľa Local Bounds, alebo veľkosť boxu je zadaná manuálne. V prípade Local Bounds sa veľkosť násobí premennou, ktorá môže byť upravená podľa potrieb. V prípade manuálneho nastavenia sa veľkosť nastavuje priamo. Ďalším krokom je posun kolízneho boxu, pomocou premennej. Všetko sa vychádza z eventu Begin Play, ktorý sa zavolá vždy pri spustení aplikácie.



Obr. 30 Zmena kolízneho boxu objektov

Po počiatočných úpravách je možné vytvárať child objekty z vytvoreného BP a meniť jednotlivé StaticMesh objekty, v objekty, ktoré majú byť interaktovateľné. Avšak aby užívateľ dostal odozvu od objektu, je nutné ukázať ktorý objekt je aktuálne vybraný užívateľom. Na to aby užívateľ dostal odozvu je nutné objekt zviditeľniť od ostatných objektov. Zviditeľnenie objektov môže prebiehať zmenou materiálu, alebo vytvorením obrysu objektu.

6.1.1.2.1 Vytvorenie obrysového materiálu

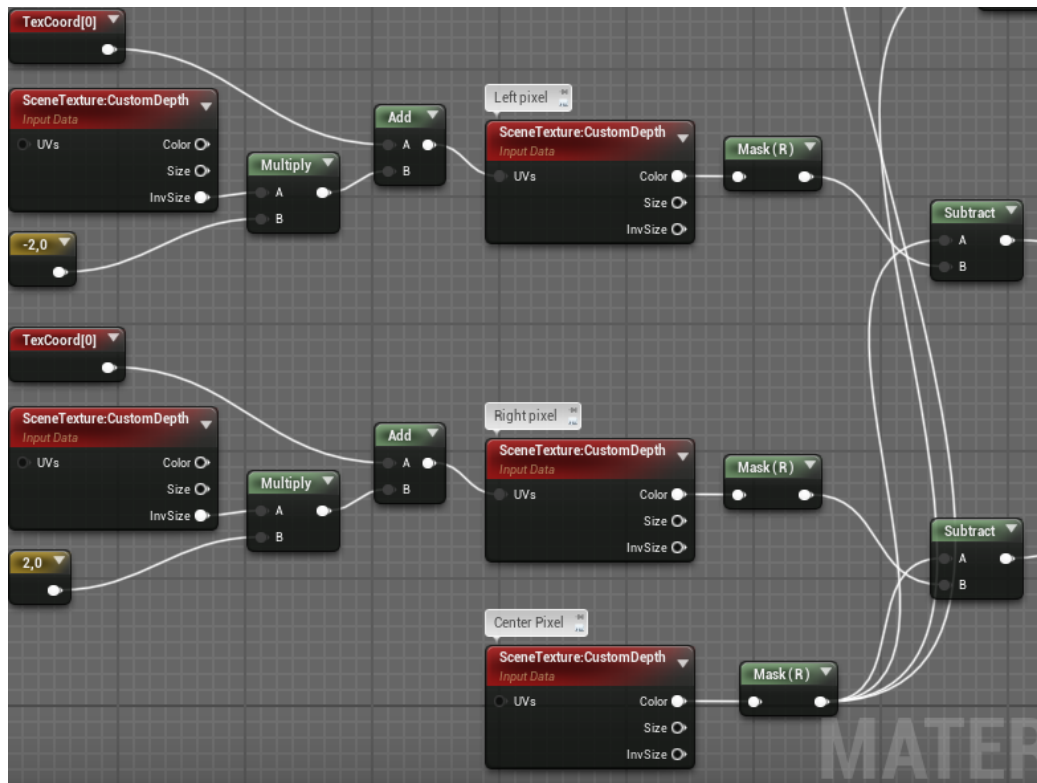
Existujú dve hlavné metódy vytvorenia obrysového materiálu. Prvá využíva samotný objekt a jej postup je:

- duplikovanie vybraného objektu,
- zväčšenie objektu,
- prevrátenie normál, textúra nesmeruje von z objektu, ale dnu a
- zmena shaderu pre duplicitný objekt na emisívny s požadovanou farbou

Pri tejto metóde je vytvorenie outline shaderu rýchle a jednoduché, avšak pri komplexnejších objektoch vznikajú nežiadúce artefakty a objekt nemusí odpovedať požadujúcemu vzhľadu. Ďalšou nevýhodou je duplicita objektov, čím sa duplikuje aj počet topológie, ktorú musí engine vykresliť každú snímku.

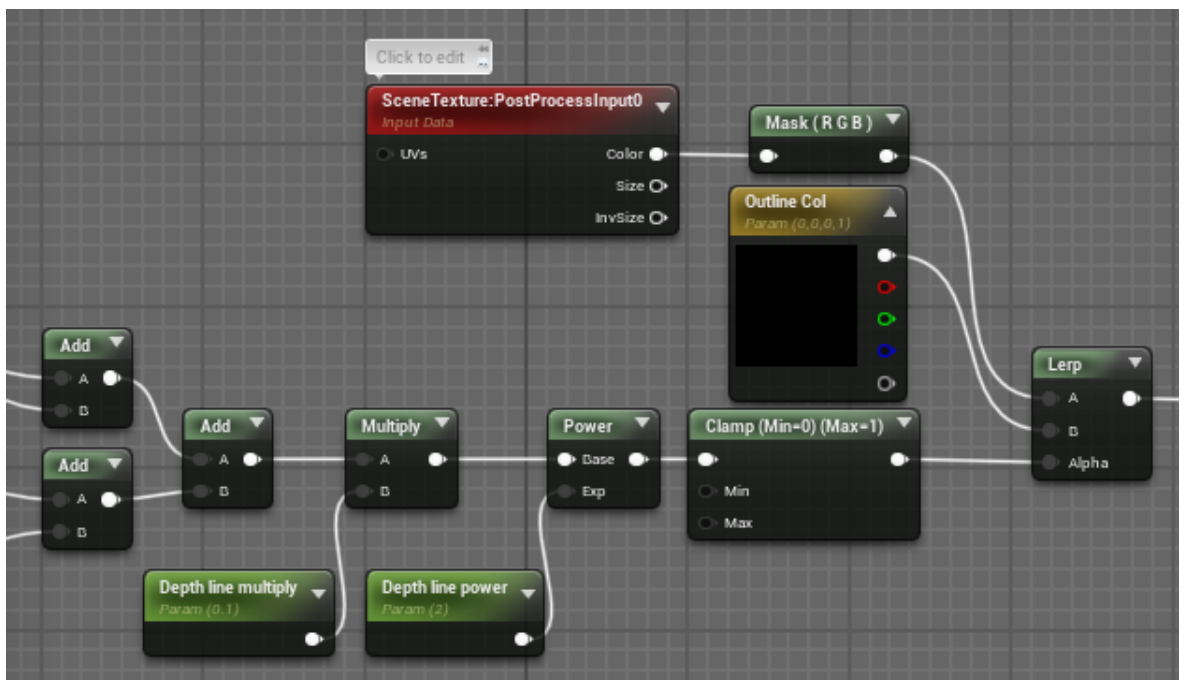
Druhá metóda pracuje s Custom Depth mapou. Táto mapa predstavuje čiernobielu mapu vzdialenosti od kamery. Čím je pixel bledší, tým sa nachádza bližšie ku kamere. Pôvodne sa v tejto mape nenachádza žiaden objekt a celá mapa je čierna. Iba ak je na objekte nastavená Render Custom Depth, tak je objekt vykreslený v Custom Depth mape. Týmto spôsobom je možné určovať, ktoré objekty majú mať obry a ktoré nie.

Samotné vykreslenie má na starosti Post Process Volume, v ktorom je nastavený špeciálny materiál. Tento materiál zisťuje podľa Custom Depth mapy rozdiel medzi pixelmi. Oproti strednému pixelu porovnáva okolité 4 pixeli ak je medzi nimi rozdiel, tak je pixel označený a vytvára masku pre materiál. Na *Obr. 31* je zobrazený proces porovnávania pravého a ľavého pixelu. Kde sa hodnoty okolitých pixelov odčítajú od hodnoty stredného pixelu.



Obr. 31 Vytvorenie masky pravého a ľavého pixelu pre obrysový materiál

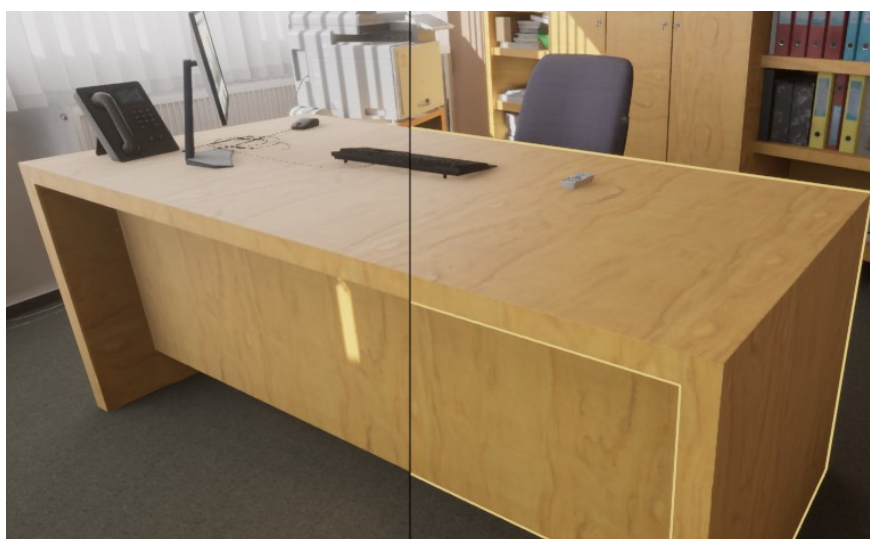
Následne sa všetky pixeli zrátajú a vytvoria tak čiernobielu masku. Tá určuje, kde sa bude zobrazovať pôvodná scéna a kde sa bude zobrazovať Post Proces Volume s obrysovým materiálom (Obr. 32).



Obr. 32 Sčítanie jednotlivých pixelov a vytvorenie masky Post Proces Volume

Po vytvorení materiálu bolo nutné vložiť do scény Post Process Volume a v sekcii nastavení *Rendering Features* nastaviť materiál na vytvorený materiál. Aby Post Process Volume zabral celú scénu a nie iba oblasť ktorá sa v ňom nachádza bolo nutné zapnúť *Infinite Extent*, ktorý aplikuje volume na celý svet.

Následným zapnutím nastavenia *Render Custom Depth* u objektu je zapnutý a obrysový materiál. Na *Obr. 33* je zobrazený objekt s obrysovým materiálom (vpravo) a bez obrysového materiálu (vľavo).



Obr. 33 Objekt bez obrysového materiálu (vľavo) a s obrysovým materiálom (vpravo)

6.1.1.2.2 Vytvorenie virtuálneho ukazovadla

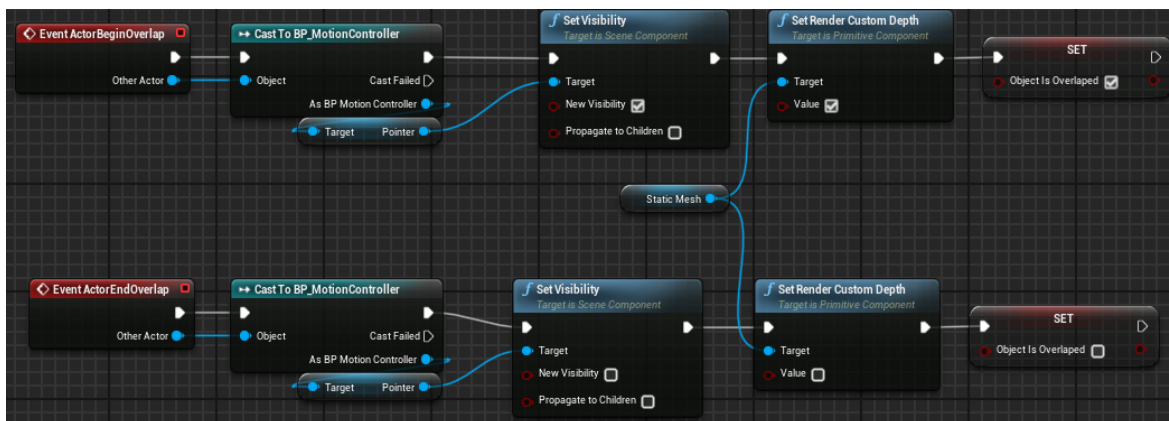
Aby užívateľ mohol interagovať s jednotlivými objektami, je nutné vytvoriť virtuálne ukazovadlo. Práve kolíziou medzi ukazovadlom a vybraním objektom je možné vykonávať ďalšie akcie. Ukazovadlo bolo vytvorené v *BP_MotionController*. Skladá sa zo *StaticMesh* boxu, ktorý bol zmenšený vo všetkých osách a natiahnutý v jednej ose. Tým sa vytvoril obdĺžnik smerujúci z ruky užívateľa. Aby ukazovadlo nebolo viditeľné neustále, bolo zmenené nastavenie *Visible* na *false*.

6.1.1.2.3 Vizualna odozva vybraného objektu

Základný princíp zobrazenia vizuálnej odozvy jednotlivých objektov je kolízia kolíznych boxov objektov. Ak ukazovadlo koliduje s kolíznym boxom objektu, objektu sa nastaví *Render Custom Depth* na *true*, a ukazovadlu *Set visibility* na *true*. Tým sa zobrazí obrys objektu

na ktorý užívateľ miery a zároveň sa zobrazí ukazovadlo. Takto užívateľ vie na ktorý objekt miery a s ktorým objektom chce interagovať.

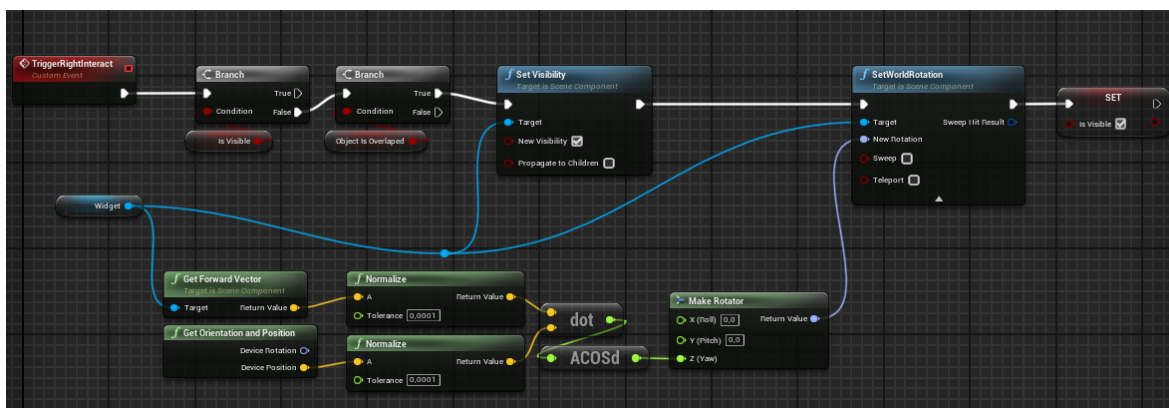
Na *Obr. 34* je zobrazená logika, ktorá sa nachádza v BP *Item*. Ak nejaký objekt začne kolidovať s kolíznym boxom, tak Cast zistí, či sa jedná o časť objektu *BP_MotionController*, ak áno, zobrazí ukazovadlo a obrys objektu. Po skončení kolízie, sa zobrazenie obrysu objektu vypne a ukazovadlo z neviditeľní.



Obr. 34 Zapnutie, vypnutie zobrazenia ukazovadla a obrysu

6.1.1.2.4 Zobrazenie informácií u vybraného objektu

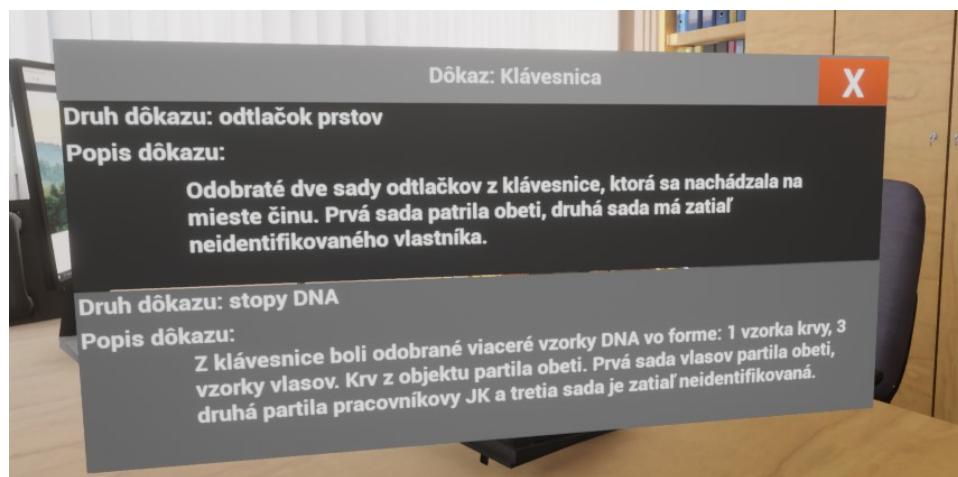
Po vytvorení vizuálnej odozvy pre užívateľa, bola pridaná logika zobrazenia widgetu po kliknutí na určitý objekt (*Obr. 35*). Logika bola implementovaná v BP *KlavesnicaOutline*, kde po stlačení trigerru na pravom ovládači je zisťované, či je widget už zobrazený a ak nie, tak či užívateľ na klávesnicu miery ovládačom. Ak na ňu užívateľ miery, tak widgetu sa nastaví viditeľnosť na true a rotácia v závislosti od užívateľovej lokácie v priestore a widget sa zobrazí smerom k užívateľovi.



Obr. 35 Zobrazenie a otočenie widgetu

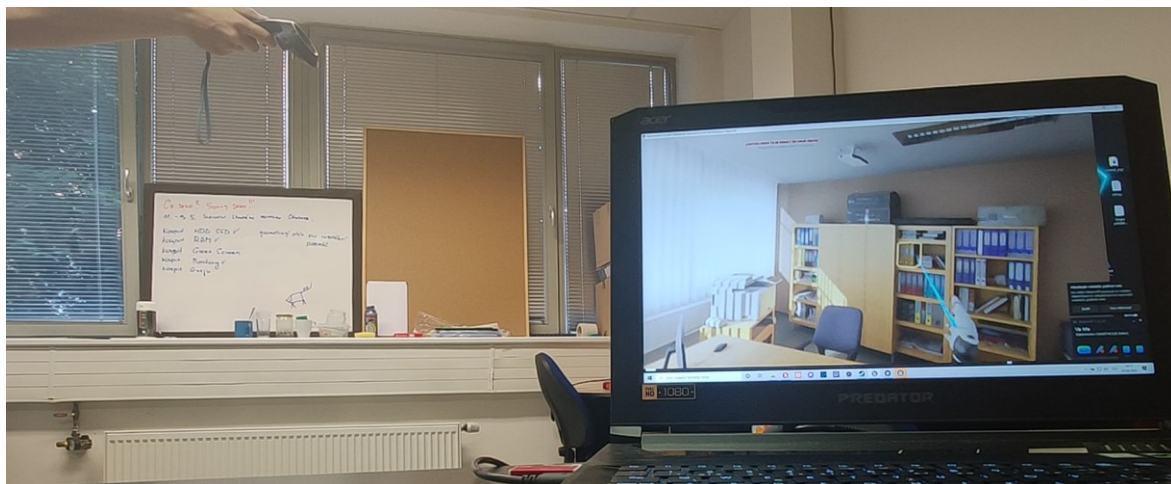
Výsledné zobrazenie widgetu je zobrazené na *Obr. 36*. Widget sa skladá z textových blokov a tlačidla, ktorá volá funkciu *Set Visibility* a nastavuje ju na *collapsed*, čím zatvára Widget, zároveň nastavuje *IsVisible* v *BP KlavesnicaOutline* na *false*, aby bolo možné widget znovu zobrazit'. Aby však užívateľ mohol interagovať z tlačidlom vo widgete, je nutné vytvoriť v *BP_MotionController* nový komponent *WidgetInteracion*, ktorý je vizuálne podobný už vytvorenému ukazovadlu, avšak dokáže intaraktovať s widgetmi. Jeho viditeľnosť bola zmenená na *false* a zapína sa iba v prípade, ak je nejaký widget v scéne aktívny.

Taktiež bolo nutné vytvoriť logiku interakcie z tlačítkom vo widgete, pri čom sa pravý trigger zmenil na left click. Následne volá vlastný event s názvom *TriggerRightInteract*, ktorý je využívaný pri zobrazovaní widgetu

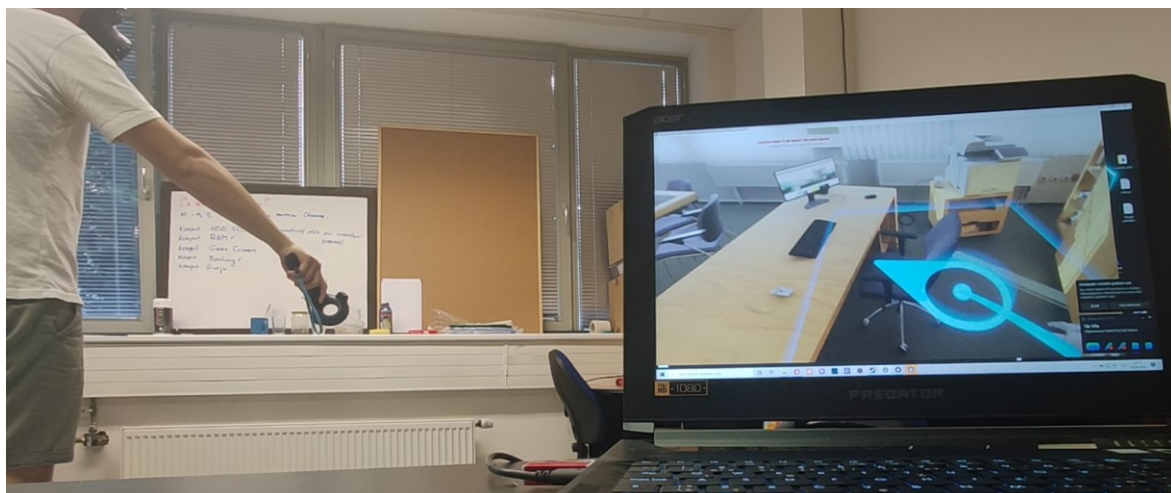


Obr. 36 Výsledné zobrazenie widgetu

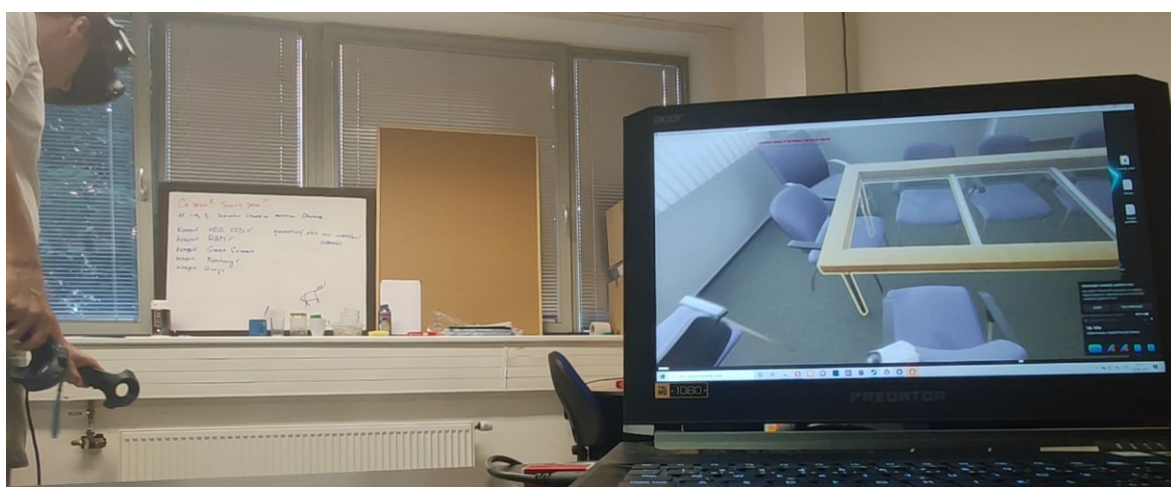
7 OBRÁZKY Z TESTOVANIA VIRTUÁLNE REALITY



Obr. 37 Zvýraznenie vybraného objektu a pointru



Obr. 38 Teleportovanie



Obr. 39 Presúvanie stoličiek

ZÁVER

Cieľom diplomovej práce bolo zobrazenie 3D naskenovaných dát vo virtuálnej realite. Práca pozostáva z dvoch pracovných postupov. V prvom bola scéna pretváraná ručne a ponúkala vysokú možnosť interakcie s okolitým prostredím vo virtuálnej realite. Avšak problémom bola časová náročnosť pretvorenia scény. I keď sa jednalo o jednoduchú interiérovú scénu, pretvorenie do aktuálnej podoby trvalo približne dva mesiace. V prípade, že by scéna obsahovala organické objekty, ako napríklad ľudí, rastliny a podobne, čas spracovania by sa ešte viac posunul. Ďalšou nevýhodou tejto metódy bola strata pôvodnej textúry z predlohovej scény. Takto upravená scéna môže byť využitá pri rekonštrukcii miesta činu, pri čom sa osoba môže pohybovať po miestnosti, hýbať predmetmi a vytvárať doplňujúce informácie o určitých objektoch.

Vzhľadom na aktuálnu situáciu s corona krízou, plánovaný druhý spôsob pretvorenia dát nebol dokončený. V práci bol popísaný postup zjednodušenia dát a spôsob vytvorenia textúry z pôvodného skenu. Avšak vzhľadom na časovo náročnú prvú metódu a nedostatočný výkon osobného PC, nebola tvorba textúry uskutočnená. Časová náročnosť oproti prvej metóde je výrazne nižšia, avšak možnosť interakcie z objektami, sa tak isto znižuje.

Ideálnym spôsobom spracovania 3D naskenovaných dát, ktoré majú byť použité vo virtuálnej realite je kombinácia dvoch spomínaných metód. Pri ktorej by sa dáta spracovávali iba druhou metódou a vybrané objekty, s ktorými by užívateľ mohol interagovať, by boli modelované ručne.

ZOZNAM POUŽITEJ LITERATURY

- [1] PFEIFLE, Sam, SPAR POINT GROUP, ed. *What is 3D data capture* [online]. In: . 2012, s. 17 [cit. 2020-07-30]. Dostupné z: <https://www.ucl.ac.uk/slade/know/wp-content/uploads/What-is-3D-Data-Capture1.pdf>
- [2] TREBUŇA, Peter, Jozef TROJAN, Marek MIZERÁK a Marek KLIMENT. *3D skenovanie - história a aplikácie* [online]. In: . 2018, s. 6 [cit. 2020-07-30]. Dostupné z: http://sjf.tuke.sk/umpadi/taipvpp/2018/index.files/11_Trebuna_Trojan_et_3Dskenovanie_Historia_aplikacie.pdf
- [3] ABDEL-BARYEBRAHIM, Mostafa. 3D Laser Scanners' Techniques Overview. *International Journal of Science and Research* [online]. 2015, **10**(4), 1-8 [cit. 2020-07-30]. ISSN 2319-7064.
- [4] <https://pick3dprinter.com/what-is-3d-scanning/>
- [5] ABDEL-BARYEBRAHIM, Mostafa. *3d laser scanners: history, applications and future* [online]. 2014, 4-25 [cit. 2020-07-30]. DOI: 10.13140/2.1.3331.3284. Dostupné z: https://www.researchgate.net/publication/267037683_3D_LASER_SCANNERS_HISTORY_APPLICATIONS_AND_FUTURE
- [6] <https://devicecenters.com/product/zenith-3-cnc-cmm/>
- [7] TEXAS INSTRUMENTS. Time-of-Flight Camera – An Introduction. In: *Technical White Paper* [online]. 2014, s. 1-6 [cit. 2020-07-30]. Dostupné z: <https://www.ti.com/lit/wp/sloa190b/sloa190b.pdf>
- [8] YOON, Heesun, Hajun SONG a Kyihwan PARK. A phase-shift laser scanner based on a time-counting method for high linearity performance. *Review of Scientific Instruments* [online]. 2011, **82**(7) [cit. 2020-07-30]. DOI: 10.1063/1.3600456. ISSN 0034-6748. Dostupné z: <http://aip.scitation.org/doi/10.1063/1.3600456>
- [9] M. Hansard, S. Lee, O. Choi, R. Horaud, “Time-of-Flight Cameras: Principles, Methods and Applications”, Springer Brief in Computer Science, 2012.
- [10] https://en.wikipedia.org/wiki/File:Laserprofilometer_EN.svg
- [11] GUPTA, Mohit, Qi YIN a Shree K. NAYAR. Structured Light in Sunlight. In: *2013 IEEE International Conference on Computer Vision* [online]. IEEE, 2013, 2013, s. 545-552 [cit. 2020-01-24]. DOI: 10.1109/ICCV.2013.73. ISBN 978-1-4799-2840-8. Dostupné z: <http://ieeexplore.ieee.org/document/6751177/>

- [12] Peng, T., and Gupta, S. K. (July 29, 2007). "Model and Algorithms for Point Cloud Construction Using Digital Projection Patterns." ASME. *J. Comput. Inf. Sci. Eng.* December 2007; 7(4): 372–381. http://terpconnect.umd.edu/~skgupta/Publication/JCISE07_Peng2_draft.pdf
- [13] SIRAT, G. Y., J. VECHT a Y. MALET. Conoscopic systems. In: *Proceedings of 19th Convention of Electrical and Electronics Engineers in Israel* [online]. IEEE, 1996, s. 549-552 [cit. 2020-01-24]. DOI: 10.1109/EEIS.1996.567037. ISBN 0-7803-3330-6. Dostupné z: <http://ieeexplore.ieee.org/document/567037/>
- [14] GABURRO, Nicola, Giacomo MARCHIORO a Claudia DAFFARA. Conoscopic laser microprofilometry for 3D digital reconstruction of surfaces with sub-millimeter resolution. In: *2017 IEEE International Conference on Environment and Electrical Engineering and 2017 IEEE Industrial and Commercial Power Systems Europe (EEEIC / I&CPS Europe)* [online]. IEEE, 2017, 2017, s. 1-4 [cit. 2020-01-24]. DOI: 10.1109/EEEIC.2017.7977779. ISBN 978-1-5386-3917-7. Dostupné z: <http://ieeexplore.ieee.org/document/7977779/>
- [15] SCHUBERT, R. Using a flatbed scanner as a stereoscopic near-field camera. *IEEE Computer Graphics and Applications* [online]. 20(2), 38-45 [cit. 2020-01-25]. DOI: 10.1109/38.824535. ISSN 02721716. Dostupné z: <http://ieeexplore.ieee.org/document/824535/>
- [16] WANG, Lei, Ke XU a Peng ZHOU. Online Detection Technique of 3D Defects for Steel Strips Based on Photometric Stereo. In: *2016 Eighth International Conference on Measuring Technology and Mechatronics Automation (ICMTMA)* [online]. IEEE, 2016, 2016, s. 428-432 [cit. 2020-01-25]. DOI: 10.1109/ICMTMA.2016.109. ISBN 978-1-5090-2312-7. Dostupné z: <http://ieeexplore.ieee.org/document/7488585/>
- [17] MOSTAFA, A-B Ebrahim. 3D Laser Scanners' Techniques Overview. *International Journal of Science and Research* [online]. 2015, 10-2015, , 323-330 [cit. 2020-07-31]. ISSN 2319-7064. Dostupné z: https://www.researchgate.net/publication/282753883_3D_Laser_Scanners%27_Techniques_Overview
- [18] OKECHUKWU, Moses a Felista UDOKA. Understanding Virtual Reality Technology: Advances and Applications. SCHMIDT, Matthias, ed. *Advances in Computer Science and Engineering* [online]. InTech, 2011, 2011-03-22 [cit. 2020-03-02]. DOI: 10.5772/15529. ISBN 978-953-307-173-2. Dostupné z:

- <http://www.intechopen.com/books/advances-in-computer-science-and-engineering/understanding-virtual-reality-technology-advances-and-applications>
- [19] <https://www.businessghana.com/site/news/technology/194827/How-playing-video-games-could-get-you-a-better-job>
- [20] <https://cyberpulse.info/what-is-semi-immersive-virtual-reality/>
- [21] *Brief Introduction of Virtual Reality & its Challenges* [online]. 4. 2013 [cit. 2020-07-30]. ISSN 2229-5518. Dostupné z: <https://www.ijser.org/researchpaper/Brief-Introduction-of-Virtual-Reality-its-Challenges.pdf>
- [22] <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=62840930>
- [23] *Zone, Ray (2007). Stereoscopic Cinema and the Origins of 3-D Film, 1838–1952. Lexington: University Press of Kentucky. pp. 9–10. ISBN 0813124611.*
- [24] Stereoscope. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2020 [cit. 2020-07-30]. Dostupné z: <https://en.wikipedia.org/wiki/Stereoscope>
- [25] Forgotten genius: the man who made a working VR machine in 1957. *Techradar* [online]. 2016, 03-04-2016 [cit. 2020-07-30]. Dostupné z: <https://www.techradar.com/news/wearables/forgotten-genius-the-man-who-made-a-working-vr-machine-in-1957-1318253/2>
- [26] *Craig, Alan; Sherman, William; Will, Jeffrey (2009). Developing Virtual Reality Applications: Foundations of Effective Design. Amsterdam: Morgan Kaufmann Publishers. p. 4. ISBN 9780080959085.*
- [27] *Regrebsubla, Namron (2015). Determinants of Diffusion of Virtual Reality. GRIN Publishing. p. 5. ISBN 9783668228214.*
- [28] https://www.researchgate.net/publication/317640892_Digitizing_the_chemical_senses_Possibilities_pitfalls/figures?lo=1
- [29] Sutherland, I. E. (1968). "A head-mounted three dimensional display". *Proceedings of AFIPS 68*, pp. 757-764
- [30] E. LOWOOD, Henry. Virtual reality. *Encyclopædia Britannica* [online]. Encyclopædia Britannica inc., 11-11-2019, , 1 [cit. 2020-07-30]. Dostupné z: <https://www.britannica.com/technology/virtual-reality/Living-in-virtual-worlds>
- [31] MERTZ, Leslie. Virtual Reality Pioneer Tom Furness on the Past, Present, and Future of VR in Health Care. *IEEE Engineering in Medicine & Biology Society* [online]. 2019, 06-2019 [cit. 2020-07-30]. Dostupné z:

- <https://www.embs.org/pulse/articles/virtual-reality-pioneer-tom-furness-on-the-past-present-and-future-of-vr-in-health-care/>
- [32] <https://www.roadtovr.com/50-years-vr-tom-furness-super-cockpit-virtual-retinal-display-hit-lab-virtual-world-society/>
- [33] FISHER, S.S., E.M. WENZEL, C. COLER a M.W. MCGREEVY. Virtual Interface Environment Workstations. *Proceedings of the Human Factors Society Annual Meeting* [online]. 2016, 32(2), 91-95 [cit. 2020-07-30]. DOI: 10.1177/154193128803200219. ISSN 0163-5182. Dostupné z: <http://journals.sagepub.com/doi/10.1177/154193128803200219>
- [34] ROBERTSON, Adi a Michael ZELENKO. Voices from a Virtual Past: An oral history of a technology whose time has come again. *Theverge* [online]. [cit. 2020-07-30]. Dostupné z: https://www.theverge.com/a/virtual-reality/oral_history
- [35] PAMPLONA, Vitor, Leandro FERNANDES, João PRAUCHNER a Manuel OLIVEIRA. *The image-based data glove* [online]. 2008, 01-2008 [cit. 2020-07-30]. Dostupné z: https://www.researchgate.net/publication/228862660_The_image-based_data_glove
- [36] GALL, Sarab a Josepb PRAMHERGER. *NASA Spinoffs : 30 year commemorative edition, commemorating International Space Year*. 1. Technology Transfer Division, National Aeronautics and Space Administration, 1992. ASIN B0010KIF4C.
- [37] VPL Research. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- 2019 [cit. 2020-07-30]. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/VPL_Research
- [38] Sega VR. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2020 [cit. 2020-07-30]. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/Sega_VR
- [39] *The Story of Sega VR: Sega's Failed Virtual Reality Headset* [online]. 2019 [cit. 2020-07-30]. Dostupné z: <https://www.designnews.com/electronics-test/story-sega-vr-segas-failed-virtual-reality-headset>
- [40] Virtuality (product). In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2020 [cit. 2020-07-30]. Dostupné z: [https://en.wikipedia.org/wiki/Virtuality_\(product\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Virtuality_(product))
- [41] MUHANNA, Muhanna A. Virtual reality and the CAVE: Taxonomy, interaction challenges and research directions. *Journal of King Saud University - Computer and*

- Information Sciences* [online]. 2015, **27**(3), 344-361 [cit. 2020-07-30]. DOI: 10.1016/j.jksuci.2014.03.023. ISSN 13191578. Dostupné z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1319157815000439>
- [42] ANTHES, Christoph, Ruben Jesus GARCIA-HERNANDEZ, Markus WIEDEMANN a Dieter KRANZLMULLER. State of the art of virtual reality technology. In: *2016 IEEE Aerospace Conference* [online]. IEEE, 2016, 2016, s. 1-19 [cit. 2020-07-30]. DOI: 10.1109/AERO.2016.7500674. ISBN 978-1-4673-7676-1. Dostupné z: <http://ieeexplore.ieee.org/document/7500674/>
- [43] LANG, Ben. *Oculus Reveals 'Oculus Touch' Half Moon Prototype VR Input Controller* [online]. 2015 [cit. 2020-07-31]. Dostupné z: <https://www.roadtovr.com/oculus-reveals-oculus-touch-half-moon-prototype-vr-input-controller-breaking/>
- [44] Oculus Touch. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2020 [cit. 2020-07-31]. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/Oculus_Touch
- [45] HTC Vive. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2020 [cit. 2020-07-31]. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/HTC_Vive
- [46] HTC Vive Controller Specs. *VRBound* [online]. [cit. 2020-07-31]. Dostupné z: <https://www.vrbound.com/accessories/htc/vive-controller>
- [47] BROWN, Matt. Exploring the magic behind the HTC Vive controller. *VRHeads* [online]. 28-06-2016 [cit. 2020-07-31]. Dostupné z: <https://www.vrheads.com/exposing-magic-behind-htc-vive-controller>
- [48] Controllers - Valve Index. *ValveSoftware* [online]. 28-06-2016 [cit. 2020-07-31]. Dostupné z: <https://www.valvesoftware.com/en/index/controllers>
- [49] <https://www.youtube.com/watch?v=cjXSXmH3P3Q>
- [50] Virtuix Omni. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2020 [cit. 2020-07-31]. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/Virtuix_Omni
- [51] KOROLOV, Maria. *WalkMouse offers motorized omnidirectional treadmill for enterprises* [online]. 2014 [cit. 2020-07-31]. Dostupné z: <https://www.hypergridbusiness.com/2014/06/walkmouse-offers-motorized-omnidirectional-treadmill-for-enterprises/>

- [52] *Roto VR Chair* [online]. 2018 [cit. 2020-07-31]. Dostupné z: <https://www.rotovr.com/vrchair>
- [53] *Infinadeck* [online]. 2020 [cit. 2020-07-31]. Dostupné z: <https://infinadeck.com/>
- [54] *SpaceWalkerVR* [online]. 2018 [cit. 2020-07-31]. Dostupné z: <http://www.spacewalkervr.com/>
- [55] ROSENBLUM, Lawrence. *See What I'm Saying: The Extraordinary Powers of Our Five Senses*. W. W. Norton & Company, 2010. ISBN 978-0393067606.
- [56] NUNNELEY, Stephany. *Coronavirus has affected the production schedule for Valve Index, fewer units to be made available* [online]. 2020 [cit. 2020-07-31]. Dostupné z: <https://www.vg247.com/2020/02/21/coronavirus-has-affected-the-production-schedule-for-valve-index-fewer-units-to-be-made-available/>
- [57] *Headset - Valve Index* [online]. 2020 [cit. 2020-07-31]. Dostupné z: <https://www.valvesoftware.com/en/index/headset>
- [58] <https://www.shacknews.com/article/111491/valve-index-vr-hmd-price-specs-release-date-and-preorder>
- [59] *VIVE Wireless Adapter* [online]. 2020 [cit. 2020-07-31]. Dostupné z: <https://www.vive.com/eu/accessory/wireless-adapter/>
- [60] *VIVE Specs* [online]. 2020 [cit. 2020-07-31]. Dostupné z: <https://www.vive.com/eu/product/vive/#vive-spec>
- [61] *FOVE: The World's First Eye Tracking Virtual Reality Headset* [online]. 2017 [cit. 2020-07-31]. Dostupné z: <https://www.kickstarter.com/projects/fove/fove-the-worlds-first-eye-tracking-virtual-reality/description>
- [62] *Wearality Sky* [online]. 2017 [cit. 2020-07-31]. Dostupné z: <https://www.kickstarter.com/projects/wearality/wearality-sky-limitless-vr/description>
- [63] *Samsung Gear VR with Controller* [online]. 2020 [cit. 2020-07-31]. Dostupné z: <https://www.samsung.com/global/galaxy/gear-vr/>
- [64] LEE, Nicole. *In a fragmented VR market, one company wants to unite them all* [online]. 2017 [cit. 2020-07-31]. Dostupné z: https://www.engadget.com/2017/07/17/gameface-labs-vr/?guce_referrer=aHR0cHM6Ly93d3cuZ29vZ2xlLnNrLw&guce_referrer_sig=AQAAA-Get89pcYfc0H8oQ0NkLO8rSGXhnPC0tEhJCrGM1dmgbzA5ibjVW10l2mad-tpSig53NYn9PuJu5dj8SMGow0LxabQqgp8qgy--

S57YZO2nNBEiQXgDhMRXTdCw_GQBgv46l_6SYDPVN72AbEUqAb6hqtyPFP
uYsQj77L2zzSK5NF&guccounter=2

- [65] PENNY, Brain. *10 Reasons AuraVisor Fails to Meet Expectations for VR Enthusiasts* [online]. 2019 [cit. 2020-07-31]. Dostupné z: http://thoughtforyourpenny.com/technology/10-reasons-auravisor-fails-meet-expectations/?doing_wp_cron=1584615363.4412829875946044921875
- [66] *TESLASUIT: Haptic feedback VR suit for motion capture and VR training* [online]. 2020 [cit. 2020-07-31]. Dostupné z: <https://teslasuit.io/the-suit/>
- [67] MIKHALCHUK, Dimitri. *TESLASUIT Introduces its Brand-New VR-Gloves* [online]. 2019 [cit. 2020-07-31]. Dostupné z: <https://teslasuit.io/blog/teslasuit-introduces-its-brand-new-vr-gloves/>
- [68] <https://www.techvia.sk/teslasuit-predstavuje-svetu-svoju-novu-rukavicu-pre-vr/>
- [69] *FeelTree Order* [online]. 2019 [cit. 2020-07-31]. Dostupné z: <https://www.feelthree.com/order/>
- [70] <https://forums.oculusvr.com/community/discussion/67817/feel-three-motion-simulator-update-launch-incoming>
- [71] *Feelreal: The World's First Multisensory VR Mask* [online]. 2019 [cit. 2020-07-31]. Dostupné z: <https://www.indiegogo.com/projects/feelreal-the-world-s-first-multisensory-vr-mask--2#/>
- [72] Point cloud. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2020 [cit. 2020-07-31]. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/Point_cloud
- [73] *Leica BLK360 Imaging Laser Scanner: The smallest and lightest imaging laser scanner available* [online]. 2020 [cit. 2020-08-05]. Dostupné z: <https://leica-geosystems.com/products/laser-scanners/scanners/blk360>
- [74] *Structure: Blender Manual* [online]. 2020 [cit. 2020-07-31]. Dostupné z: <https://docs.blender.org/manual/en/latest/modeling/meshes/structure.html>
- [75] Zbrush. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2020 [cit. 2020-08-05]. Dostupné z: <https://en.wikipedia.org/wiki/ZBrush>
- [76] *About: Blender* [online]. 2020 [cit. 2020-07-31]. Dostupné z: <https://www.blender.org/about/>

- [77] *MARUI: PlugIn for Autodesk Maya* [online]. 2020 [cit. 2020-07-31]. Dostupné z: <https://www.marui-plugin.com/>
- [78] List of Unreal Engine games. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2020 [cit. 2020-07-31]. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/List_of_Unreal_Engine_games
- [79] Unreal Engine. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2020 [cit. 2020-07-31]. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/Unreal_Engine
- [80] *Unity Real-Time Development Platform: 3D, 2D, VR & AR* [online]. 2020 [cit. 2020-07-31]. Dostupné z: <https://unity.com/>
- [81] Unity (game engine). In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2020 [cit. 2020-07-31]. Dostupné z: [https://en.wikipedia.org/wiki/Unity_\(game_engine\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Unity_(game_engine))
- [82] *Actor Mobility: Unreal Engine Documentation* [online]. 2020 [cit. 2020-07-31]. Dostupné z: <https://docs.unrealengine.com/en-US/Engine/Actors/Mobility/index.html>

ZOZNAM POUŽITÝCH SYMBOLOV A SKRATIEK

CT	Cumputed topography
AR	Augumented reality
VR	Virtual reality
HMD	Head mounted display
CRT	Cathode-ray tube
VIEW	Virtual interface enviroment workspace
LED	Light emitting diode
LCD	Liquid crystal display
OLED	Organic light emitting diode
UE4	Unreal engine 4

ZOZNAM OBRÁZKOV

<i>Obr. 1 Skenovanie pomocou 3D skenera [4]</i>	11
<i>Obr. 2 Skenovacie techniky vo vývoji [5]</i>	12
<i>Obr. 3 Systém CMM od firmy Aberlink [6]</i>	14
<i>Obr. 4 Princíp triangulácie [10]</i>	16
<i>Obr. 5 Princíp skenerov so štruktúrovaným svetlom [11]</i>	17
<i>Obr. 6 Príklad non-immersive VR [19]</i>	21
<i>Obr. 7 Príklad Semi-Immersive VR [20]</i>	22
<i>Obr. 8 Príklad immersive VR [22]</i>	22
<i>Obr. 9 Sensorama [28]</i>	23
<i>Obr. 10 Helma super kokpitu [32]</i>	24
<i>Obr. 11 Valve Index Controller [49]</i>	27
<i>Obr. 12 Valve Index VR kit [58]</i>	30
<i>Obr. 13 Google Cardboard</i>	31
<i>Obr. 14 TeslaSuit Glove [68]</i>	33
<i>Obr. 15 Feel Three [70]</i>	33
<i>Obr. 16 Skener Leica BLK360 [73]</i>	36
<i>Obr. 17 Zarovnanie skenovacích pozícií v programe Leica Cyclone</i>	43
<i>Obr. 18 Zobrazenie point cloudu v Reality Capture</i>	44
<i>Obr. 19 Pôvodný naskenovaný objekt (dole) a vymodelovaný (hore)</i>	45
<i>Obr. 20 Pôvodná topológia miestnosti</i>	46
<i>Obr. 21 Vymodelovaná topológia miestnosti</i>	46
<i>Obr. 22 Unwrap stoličky</i>	47
<i>Obr. 23 Referenčný objekt, krabica od LCD monitoru</i>	48
<i>Obr. 24 Výsledný natextúrovaný objekt</i>	49
<i>Obr. 25 Tvorba materiálu v UE4</i>	51
<i>Obr. 26 Zobrazenie scény v UE4</i>	53
<i>Obr. 27 Zjednodušenie topológie v programe Instan Meshes</i>	54
<i>Obr. 28 Scéna s Nav mesh bounds volume (zelená)</i>	56
<i>Obr. 29 Komplexnejšie kolízie na objekte</i>	57
<i>Obr. 30 Zmena kolízneho boxu objektov</i>	58
<i>Obr. 31 Vytvorenie masky pravého a ľavého pixelu pre obrysový materiál</i>	60
<i>Obr. 32 Sčítanie jednotlivých pixelov a vytvorenie masky Post Proces Volume</i>	60

<i>Obr. 33 Objekt bez obrysového materiálu (vľavo) a s obrysovým materiálom (vpravo)</i>	61
<i>Obr. 34 Zapnutie, vypnutie zobrazenia ukazovadla a obrysu.....</i>	62
<i>Obr. 35 Zobrazenie a otočenie widgetu</i>	62
<i>Obr. 36 Výsledné zobrazenie widgetu</i>	63
<i>Obr. 37 Zvýraznenie vybraného objektu a pointeru</i>	64
<i>Obr. 38 Teleportovanie</i>	64
<i>Obr. 39 Presúvanie stoličiek.....</i>	64

ZOZNAM PRÍLOH

PI DVD s projektom v Unreal Engine verzia 4.25 a vyššie