

Univerzita Komenského v Bratislave
Fakulta Matematiky, Fyziky a Informatiky

Využitie oklúzie v rozšírenej realite

Bakalárska práca

Študijný program: aplikovaná informatika
Študijný odbor: aplikovaná informatika (2511)
Školiace pracovisko: Katedra aplikovanej informatiky
Školiteľ: RNDr. Zuzana Berger Haladová

Čestné prehlásenie

Čestne vyhlasujem, že som bakalársku prácu vypracoval samostatne s použitím uvedenej odbornej literatúry.

Bratislava 28. mája 2015

.....

Vlastnoručný podpis

Pod'akovanie

TODO

Abstrakt

Rozšířená realita je počítačovým rozšířením skutočného fyzického sveta o virtuálne objekty v reálnom čase. Táto práca pojednáva o jednotlivých používaných technikách a metódach na dosahovanie rozšírenej reality a o jej možných praktických využitíach.

Súčasťou riešenia práce je tvorba vlastnej aplikácie s rozšírenou realitou obohatenou o oklúziu s reálnymi objektmi.

Kľúčové slová: rozšířená realita, počítačové videnie, rozpoznávanie markerov, oklúzia

Abstract

Augmented reality is a real time computer augmentation of the real physical world with virtual objects. This thesis describes the used techniques and methods in the field and also discusses the potential practical applications.

The thesis solution also includes development of custom application demonstrating augmented reality.

Keywords: augmented reality, computer vision, marker registration, occlusion

Obsah

Zoznam obrázkov	7
Úvod	8
1 Prehľad	9
1.1 Definícia	9
1.2 Účel	10
1.3 Zariadenia	11
2 Aplikácie	13
2.1 Medicínske aplikácie	13
2.2 Požiarnici	14
2.3 Preklady	14
2.4 Armádne aplikácie	15
2.5 Šport	15
2.6 Konštrukcia	16
3 Metódy	18
3.1 Rozpoznávanie pomocou markerov	18
3.1.1 Algoritmus rozpoznávania markerov	19
3.2 Rozpoznávanie na základe významných bodov	21
3.2.1 Rozpoznávanie algoritmom SIFT	21
3.3 Rozpoznávanie na základe GPS	21

3.4	Prehľad softvérových knižníc	22
4	Implementácia	24
4.1	Registrácia	24
4.2	3D modely	25
4.2.1	Formát Wavefront OBJ	25
4.3	Kalibrácia kamery	27
4.4	Oklúzia v rozšírenej realite	27
4.4.1	3D skener SMISS	28
4.4.2	3D tlač	29
5	Budúcnosť	31
5.1	Nové zariadenia	31
5.1.1	Google Glass	32
5.1.2	Eyeborg	33
5.2	Ďalšie zmysly	33
	Záver	34
	Literatúra	39

Zoznam obrázkov

todo

Úvod

Rozšířená realita, teda počítačom obohatený pohľad na skutočný svet nachádza čoraz väčšie uplatnenie v zábave, medicíne, armáde, reklame a mnohých ďalších priemysloch, pretože sa rozširujú hardvérové možnosti. To, na čo bolo kedysi treba drahé laboratórne vybavenie, ako výkonné počítače, profesionálne kamery a senzory, dnes dokáže takmer každý moderný mobilný telefón s kamerou. Rozšířená realita otvára nové možnosti interakcie medzi virtuálnym a fyzickým svetom, čo môže byť v budúcnosti veľmi zaujímavé.

O tejto téme je počuť čoraz viac a stojí za to sa ňou zaoberať, nakoľko jej aplikácie môžu byť veľmi užitočné, ako ukážeme neskôr. V práci sú rozobrané jednotlivé možnosti aplikácii tejto technológie aj s konkrétnymi príkladmi. Ďalej sa pojednáva o niektorých metódach používaných na vytvorenie rozšírenej reality. Práca je ukončená krátkym pojednaním o perspektíve budúceho využitia tejto technológie a o tom, čo bude potrebné pre to, aby sa používanie rozšírenej reality rozšírilo.

Kapitola 1

Prehľad

1.1 Definícia

Rozšírená realita (po angl. *augmented reality*, skrátené *AR*) je počítačom rozšírený pohľad na reálny svet. Je to variácia virtuálnej reality, v ktorej používateľ nevníma svet okolo seba a je prenesený do sveta virtuálneho. Tento virtuálny svet je úplne umelý a nezávislý. Oproti tomu, pri rozšírenej realite používateľ naďalej vníma skutočný svet okolo seba doplnený o virtuálne objekty[7]. Ronald T. Azuma definuje rozšírenú realitu tromi pravidlami[7].

1. Rozšírená realita musí kombinovať reálne a virtuálne objekty.
2. Aplikácia musí prebiehať v reálnom čase a nejakým spôsobom reagovať na zmeny v prostredí, teda byť interaktívna.
3. Rozšírená realita musí byť registrovaná v trojdimenzionálnom priestore. To znamená, že musí rozumieť pohľadu kamery a správne identifikovať na ktoré pozície je potrebné vykresliť virtuálne objekty.

Cieľom rozšírenej reality môže byť v jednoduchšom prípade prezentovať používateľovi nejaké informácie (napríklad informácie o určitých skutočných objektoch, ako je ich vzdialenosť, poloha, identifikácia a podobne), alebo vykresľovať neskutočné objekty tak aby vyzerali ako skutočné a patriace do okolitého prostredia. V druhom prípade je potrebné aby boli tieto objekty trojdimenzionálne a vykresľovali sa správne v súlade s perspektívou a skutočnými objektami (napr. prekrývali objekty za nimi, ale boli prekryté objektmi pred nimi)[6]. V prvom prípade je však podľa Azumovej definície stále potrebné, aby sa dané informácie vykresľovali vo výstupe na správne miesta, závisiace od vstupu kamery, alebo iných senzorov. Príklady oboch sú uvedené v nasledujúcej kapitole.

Rozšírená realita sa, rovnako ako virtuálna realita, nemusí nutne týkať iba vizuálneho obrazu. Teoreticky by mohla ovplyvňovať každý druh senzorického vnímania. Je to však

obťažná úloha, pretože na rozdiel od virtuálnej reality, v ktorej stačí tieto umelé zmyslové podnety len generovať, rozšírená realita musí upravovať skutočný svet. To znamená, že okrem dopĺňania virtuálnych objektov občas potrebuje retušovať skutočné objekty, aby zanikli. Na to, aby sa to dalo dosiahnuť je potrebné vedieť zablokovat' určitú časť pôvodného vnemu[9].

V prípade zraku je potrebné prekresliť skutočný objekt pozadím, ktoré sa nachádza za ním. Pri sluchu je filtrovanie jednotlivých zvukových stôp zo zmixovaného vstupu a navyše v reálnom čase (napr. odfiltrovanie hlasu niektorej osoby v miestnosti) obťažnejším problémom.

Jedným krokom záznamu kamery je jedno filmové políčko (frame), teda jeden obrázok. Tento obrázok obsahuje všetky informácie potrebné na spracovanie v rozšírenej realite, teda na identifikáciu pohľadu na scénu a dokreslenie žiadaných objektov. Lepšie AR systémy môžu využívať trackovanie objektov, teda históriu ich polôh na predikciu tých nasledujúcich pre zlepšenie výsledkov, samotný jeden snímok je však postačujúci. V kontraste oproti tomuto je v prípade zvukového záznamu jedným krokom iba tón, teda zvuková vlna určitej frekvencie. Na to, aby počítač, alebo človek porozumel, čo je obsahom záznamu, potrebuje históriu predchádzajúcich krokov a veľmi dobrú predikciu toho, čo bude nasledovať. Vytvoriť systém, ktorý upravuje prijímaný zvuk na základe jeho sémantiky je preto obťažné. Upravovanie ostatných zmyslov je ešte zložitejšie, pretože okrem iného je hardvér na ich detegciu aj reprodukciu pozadu oproti audiovizuálnym prístrojom.

Rozšírená realita sa z praktických dôvodov obvykle zameriava na obraz. Týmto aspektom sa zaoberá aj táto práca.

1.2 Účel

Dôvodov pre vývoj rozšírenej reality je niekoľko. Pre používateľa môže byť rozšírená realita jedným z najjednoduchších spôsobov ako získavať určité druhy informácií. Toto môže zefektívňovať a zjednodušovať jeho skutočnú prácu. Obzvlášť prakticky vyzerajú napríklad koncepty, pri ktorých má používateľ špeciálne okuliare, ktoré mu zobrazujú požadované dáta zo senzorov a databáz priamo na sklá a používateľovi ostávajú voľné ruky na prácu.

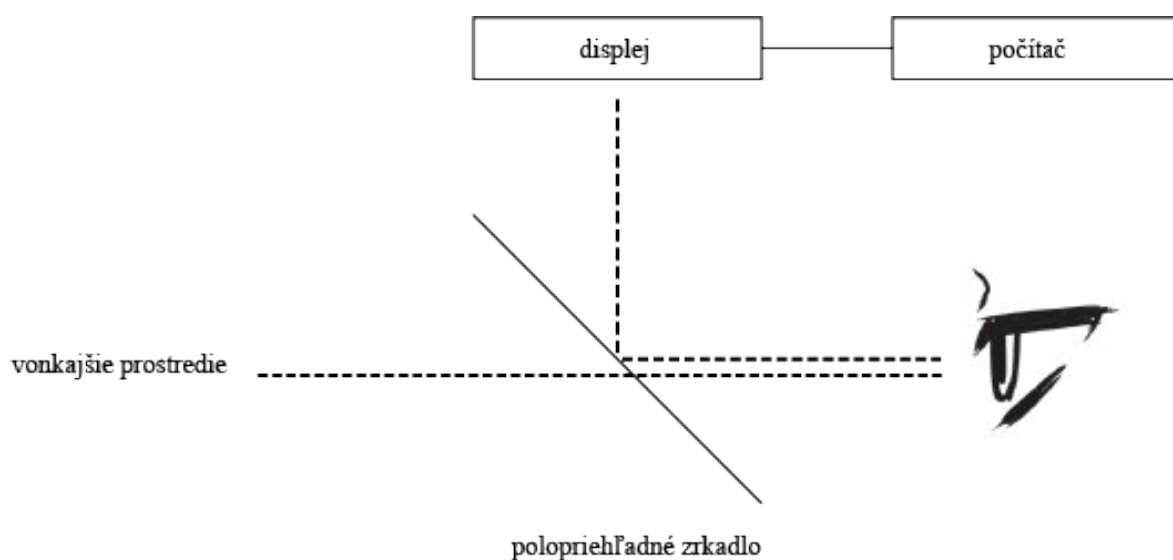
Dobрым príkladom je napríklad aplikácia firmy Boeing, vyvinutá pre mechanikov servisujúcich lietadlá. Keď mechanik odstráni niektorý z krycích panelov na lietadle, môže namieriť kameru tabletu na zväzky káblov a rozvodov, ktoré sa pod ním

nachádzajú. Softvér v reálnom čase na obrazovku dopĺňa údaje o tom, ktorý kábel, alebo trubica kam vedie a na čo slúži. Šetrí sa tak množstvo času oproti vyhľadávaniu v hrubých manuáloch.

Rozšírená realita má samozrejme taktiež široké spektrum využitia v zábave alebo marketingu.

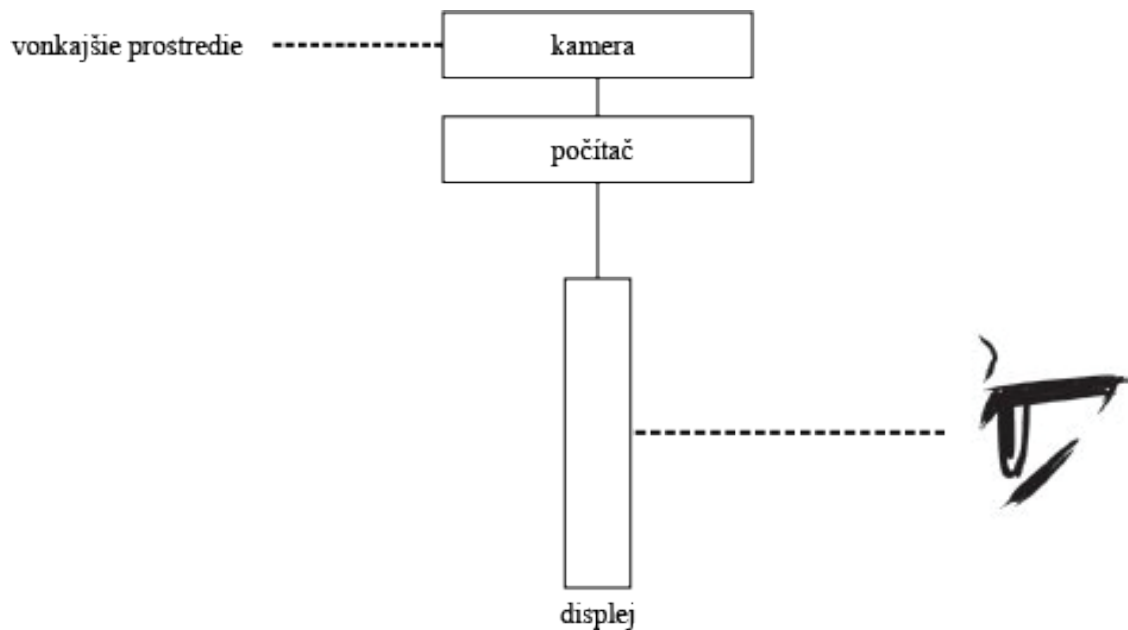
1.3 Zariadenia

Rozšírená realita môže byť prezentovaná používateľovi buď priamo (napríklad vykreslovaním na priehľadný displej, cez ktorý je priamo vidno okolité prostredie), alebo nepriamo, čiže vykreslovaním do záznamu z videokamery, ktorý je vzápätí po rozšírení prezentovaný používateľovi na nepriehľadný displej.



Obr. 1.1: Schéma priamej rozšírenej reality

V prípade priamej optickej rozšírenej reality za použitia priehľadného displeju sa obvykle používa nejaký typ okuliarov, alebo helmy. Tieto okuliare obsahujú šikmú poloreflexnú plochu, cez ktorú je priamo vidno, ale taktiež odráža obraz z malého displeju umiestneného nad ňou, alebo pod ňou[9]. Keď sa cez ne používateľ pozrie, obrazy sa mu skombinujú.



Obr. 1.2: Schéma sprostredkovanej rozšírenej reality

Pre videom sprostredkovanú rozšírenú realitu sa používajú ľubovoľné zariadenia s obrazovkami, ako sú telefóny tablety, či počítače. Ani v tomto prípade však nie je vylúčené použitie špeciálnej helmy. Takéto helmy sa označujú ako HMD z anglického *head-mounted display*. Podľa vysvetleného použitia sa delia na *optical see through* (priame) a *video see through* (sprostredkované). V demo aplikácií, ktorá bola vyvinutá, ako súčasť tejto práce ukazujeme sprostredkovanú rozšírenú realitu pomocou počítaču, do ktorého je pripojená kamera.

Kapitola 2

Aplikácie

Rozšírená realita má množstvo využití od zábavy až po záchranu životov. Nižšie sú vybrané niektoré z nich.

2.1 Medicínske aplikácie

Rozšírená realita by mohla mať bohaté využitie na poli medicíny. Lekárom by sa pomocou nej mohli vytvárať detailné vizualizácie vnútorných orgánov, nádorov a podobne priamo na zobrazenie pacienta. Na získanie údajov by sa mohlo použiť ľubovoľné diagnostické zariadenie, ktoré produkuje 3D dáta o pacientovi. Napríklad vyšetrenie magnetickou rezonanciou, počítačom, či ultrazvukom. Tieto vizualizácie by mohli byť obzvlášť cenné pri minimálne invazívnych zákrokoch, kedy vidí chirurg vnútro tela pacienta horšie, ako pri bežnej operácii[7].

Vedci z Mníchovského Institut für Informatik vyvinuli trenažér pre gynekológov na nácvik pôrodov, ktorý využíva rozšírenú realitu. Pôvodný simulátor, ktorý vypisoval fyziologické dáta ako sú krvný tlak, tep, úroveň bolesti, či údaje o prívode kyslíka na monitor pristavený pri nemocničnej posteli, prestavali tak, aby sa všetky potrebné údaje vypisovali na okuliare špeciálnej helmy. Okrem vypisovania týchto jednoduchých dát sa však na okuliare dokresluje aj poloprieľadný virtuálny model dieťaťa uloženého v maternici, ako vidno na obrázku 3. Na to, aby to bolo možné je potrebné registrovať vzájomnú polohu hlavy používateľa a simulátoru.

Podľa autorov hrá toto dôležitú rolu pri zvyšovaní efektivity tréningu, nakoľko sa lekár môže plne koncentrovať na simulovaný vaginálny pôrod namiesto sledovania počítačových monitorov[33].

V roku 2004 bol v Kalifornii vykonaný prvý úspešný chirurgický zákrok prevedený za asistencie rozšírenej reality. Štyridsaťpäťročný pacient podstúpil laparoskopickú adrenalectómiu (odoberanie nadobličky). Chirurgovi sa pri operácii na monitor zobrazovala 3D rekonštrukcia nadobličiek a iných okolitých orgánov vsadená na správne miesto

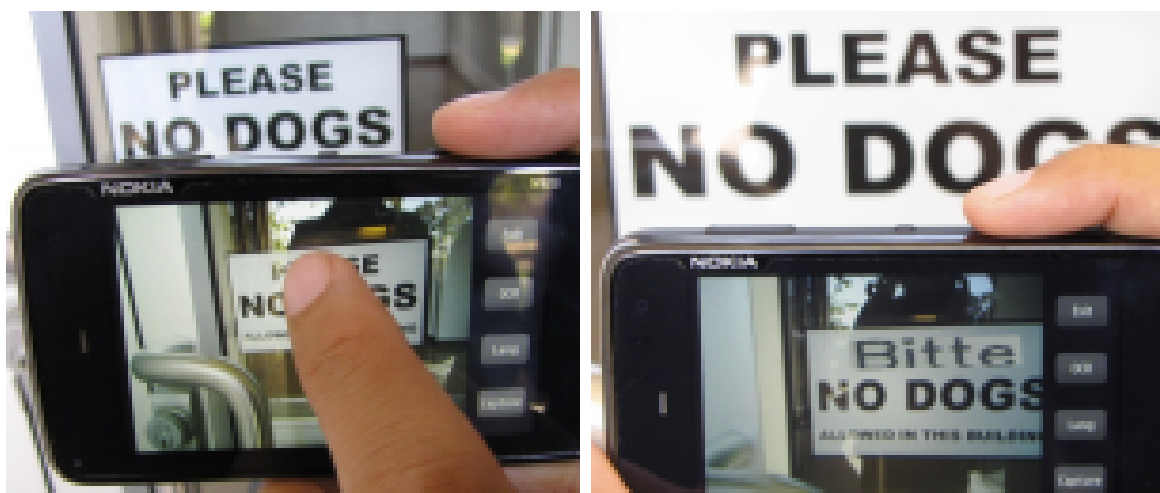
do pohľadu z kamery. Toto pozícovanie sa vypočítavalo na základe siedmich markerov nalepených na koži pacienta[29].

2.2 Požiarnici

Patrick Jackson, požiarnik zo Severnej Karolíny vyvíja požiarnickú aplikáciu pre Google Glass. Do okuliarov sa mu premietajú údaje od operátora tiesňovej linky, mapy a ukazovateľ k najbližšiemu hydrantu. V budúcnosti má zobrazovať napríklad aj plány budov, alebo schémy rozrezávania vrakov jednotlivých modelov áut[15]. Na zobrazovanie mapy okolia sa využívajú údaje z GPS a na navigovanie k hydrantu aj presné natočenie hlavy. Táto aplikácia je ukázkovým príkladom, ako by mohla rozšírená realita v kritických situáciách zachraňovať životy. Podobný softvér (pre iné chytré okuliare) vyvíjajú aj na Technickej univerzite vo Viedni.

2.3 Preklady

Na University of California vytvorili mobilnú aplikáciu, ktorá cez rozšírenú realitu prekladá text. Používateľ jednoducho namieri telefón na nápis, ktorý chce preložiť, a aplikácia text v obraze z kamery zdeteguje pomocou optického rozoznávania znakov. Softvér vzápätí text preloží a vykreslí na obrazovku telefónu priamo do videa z kamery. Pri tomto vložení dbá nielen na to, aby preložený text umiestnil na správne miesto a v správnej farbe a veľkosti, ale aj aby vyretušoval pôvodný text, ktorý by bol umiestnený pod tým preloženým[13].



Obr. 2.1: Demo aplikácie TranslatAR[13]

2.4 Armádne aplikácie

Vojenské operácie sa často vykonávajú v mestskom prostredí. Bojové zóny v ktorých sa nachádzajú poschodové budovy sú veľmi komplikované a pre úspech misie sú pre vojaka mimoriadne dôležité informácie o okolí. Ak vojak konzultuje mapu, ohrozuje sa, pretože dáva nižší pozor na svoje okolie.

Vedci z Naval Research Laboratory v USA vytvárajú helmu, ktorá bude vojakom sprostredkovať najdôležitejšie informácie. Používateľ môže vidieť nad budovami napísané ich mená a plány interiérov, na zemi zas môže vidieť napísané názvy ulíc. Taktiež sa mu môžu zobrazovať ikony na presných lokáciach, kde boli nahlásení snajperi[27][42].

Inou aplikáciou rozšírenej reality na armádne účely je systém rozširujúci videnie pilota lietadla. Úlohy ako zameriavanie cieľa, dodávky zbraní a zásob na padákoch, či obyčajný let v nízkej výške vyžadujú aby pilot presne rozoznával terén pod sebou. Senzory na stíhačke môžu sledovať oblasť, ktorú pilotovi v zornom poli zakrýva samotné lietadlo, alebo mu poskytovať dáta za slabých viditeľnostných podmienok. Všetky tieto dáta sa potom môžu premietiť do pilotovej helmy, umožniť mu vidieť to, čo by inak nevidel a zvýrazniť dôležité body[26].

Prvé podobné primitívne systémy vznikli už pred Druhou svetovou vojnou. Spojeneckí piloti používali v niektorých lietadlách napríklad Mark II Gyro Sight, teda gyroskopický zameriavač. Toto zariadenie pilotovi ukazovalo na polopriehladný displej, kam poletí strela na základe údajov z gyroskopu a meraču rýchlosti.

Podobné aplikácie by mohli mať význam aj pre vojenské a civilné pozemné dopravné prostriedky.

2.5 Šport

Pri športových televíznych prenosoch je používanie rozšírenej reality pomerne bežné. Prvý krát bol prenos rozšírený už počas Olympijských hier 1996 a napríklad firma



Obr. 2.2: Rozšírená realita v kokpite lietadla Boeing 737-800[18]

Sportvision dodnes virtuálne rozširuje prenášané záznamy už od roku 1998.

Na hraciu plochu dokážu zobrazovať rôzne dočasné čiary a zóny, informácie o bodovom stave, logá, zástavy a podobne a to tak, že sú prekrývané skutočnými hráčmi, ktorí sú na nej. Podobnými spôsobmi rozširujú napríklad televízne prenosy z NHL, NFL, alebo NASCAR [34][20]. Mimo Spojených štátov sú zrejme najznámejšími virtuálne zástavy dokreslované do plaveckých bazénov na Olympijských hrách.

2.6 Konštrukcia

Rozšírená realita by mohla pomôcť aj stavbárom, či statikom. V okuliaroch by im do reálneho pohľadu mohli byť dokreslované napríklad stĺpy za stenami, presné polohy roxorových tyč získané magnetickými senzormi, káble vedúce elektrinu v stenách, či samotné označenia nosných stien[41].

Iné využitie uľahčuje prácu mechanikom. Napríklad bola vyvinutá aplikácia, ktorá zobrazuje automechanikovi do helmy všetky súčiastky vo dverách auta. Výmena zámku,

či motorčeku na otváranie okna je pri tomto modeli vozidla pomerne obtiažna, pretože automechanik musí strčiť ruky dnu do dverí a nevidí, čo robí. Do aplikácie boli nahrané modely všetkých súčiastok a tá ich premieta na ich skutočné miesto[32].

Kapitola 3

Metódy

Pre dosiahnutie rozšírenej reality je potrebné rozoznať na ktoré miesto v obraze sa má vykresliť ktorý virtuálny objekt. Tiež treba správne rozhodnúť aký má byť tento objekt veľký a ako má byť natočený. Na toto rozhodnutie je treba poznať vzájomnú polohu virtuálneho objektu a kamery, respektíve očí používateľa. Existujú dva hlavné spôsoby akými môže softvér tento problém riešiť.

V prípade, že je známe ako vyzerá miesto, na ktoré je potrebné vykresliť virtuálny objekt a nie je známa presná poloha tohoto objektu, je potrebné problém riešiť pomocou metód počítačového videnia. Na aplikáciu tohoto prístupu stačí zariadenie s digitálnou kamerou, ktorej záznam softvér analyzuje.

3.1 Rozpoznávanie pomocou markerov

Najjednoduchší spôsob, ako sa dá tento prístup implementovať, je za pomoci markerov. Markery sú obvykle jednoduché asymetrické čiernobiele značky, ktoré sa umiestnia do skutočného sveta tak, aby boli vždy v zábere kamery. Je potrebné zaznačiť aká je presná poloha, na ktorú sa má vykresliť virtuálny objekt voči tomuto statickému markeru. Občas sa vykresluje priamo na marker, ale obvyklejšie je umiestniť marker len niekam do pozadia. Softvér s rozšírenou realitou potom hľadá vo videu tento marker a keď ho odhalí, tak nájde transformáciu, ktorá marker prevedie do uhlu pohľadu a veľkosti ako je vo videu. Touto transformáciou sa potom transformuje aj virtuálny model, ktorý sa vzápätí vykreslí buď späť do videa, alebo zvlášť na priehľadný displej.

Táto technológia má veľmi dobrú presnosť, čo sa týka umiestňovania jednotlivých objektov, pretože je limitovaná iba kvalitou snímaného obrazu. Vyskytujú sa však chyby, kedy aplikácia pre zlú viditeľnosť nerozozná marker a nič nevykreslí, alebo rozozná za marker skutočný objekt, ktorý markerom nie je a vykreslí virtuálny objekt aj keď ho vykresliť nemá. Ďalšou nevýhodou je samozrejme to, že v momente keď sa stratí marker zo záberu, prestane sa vykreslovať aj k nemu prislúchajúci objekt. Tento problém sa dá riešiť inštalovaním siete markerov do pozadia, ktoré v sebe majú

zakódované svoje súradnice. Softvéru potom stačí, aby bol v zábere kamery dobre viditeľný vždy aspoň jeden. Pokiaľ markery nezhodnotia scénu a vývojári potrebujú maximalizovať šance systému na správnu registráciu, môžu sa rozhodnúť použiť pole markerov (po anglicky *marker field*), ktoré pokrýva kompletný povrch scény.

3.1.1 Algoritmus rozpoznávania markerov

Hľadanie markerov sa zvykne robiť nasledovným postupom, ktorý sa zvlášť aplikuje na každý snímok z kamery. Snímok najprv prejde prahovaním, čo znamená, že sa zmení na binárny. Určí sa istý prah jasu a každý bod obrázku, ktorý má vyšší jas sa prefarbí na biely a všetky ostatné sa prefarbia na čierne. Výsledkom je binárny obraz. Ak sa prah nastaví správne malo by byť v tomto obraze jasne vidno aspoň jeden čiernobiely marker na jednofarebnom pozadí[21].

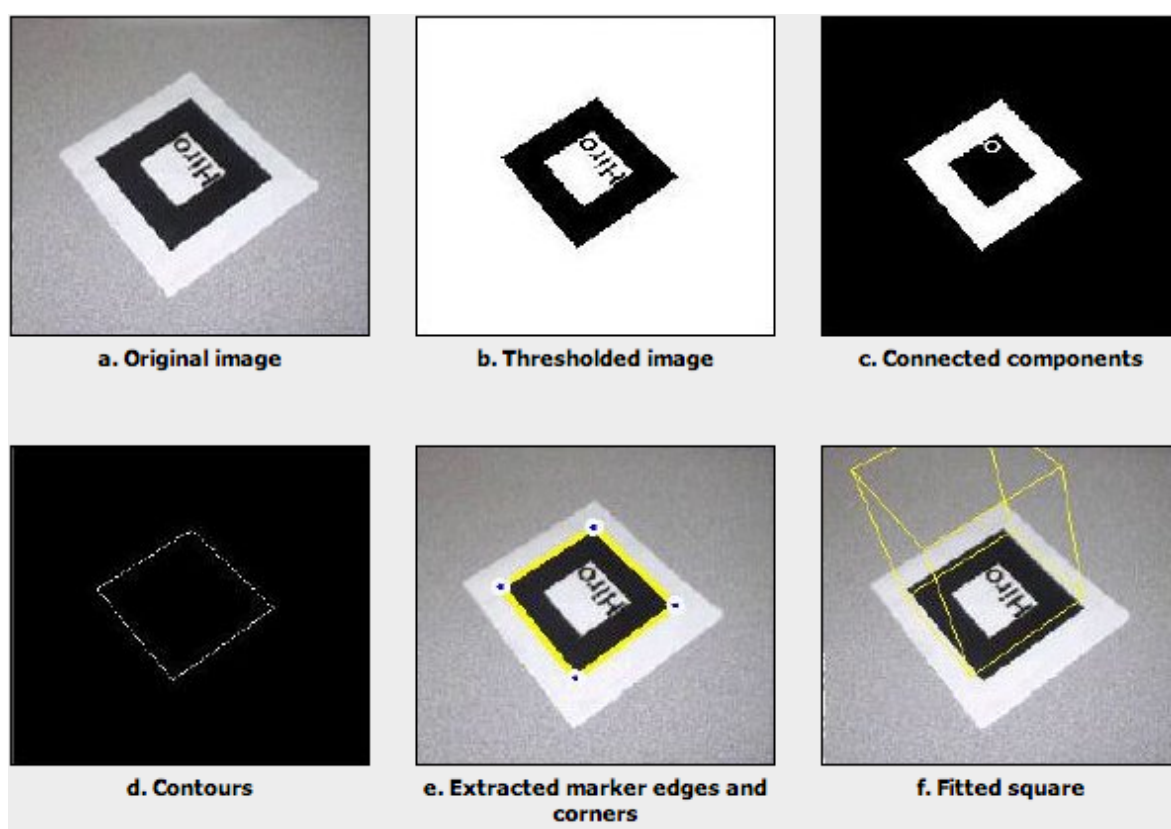
Ako ďalší krok sa označia jednotlivé jednofarebné komponenty a zdetegujú sa ich kontúry. Tieto objekty sú kandidátmi na markery. Kontúry sa rozložia na úsečky a softvér medzi nimi označí uhly. Uhly, ktoré sú blízko pri sebe a výrazne neovplyvňujú tvar objektu sa odignorujú, pretože sú pravdepodobne chybou. Komponenty, ktoré nemajú štyri ostré vrcholy sa vyradia, pretože nemajú štvorcový tvar. Zvyšné komponenty ostanú kandidátmi na markery. Algoritmus ďalej nájde všetky možné homografie, teda obojsmerné transformácie, ako zobrazíť rohy štvorca na rohy týchto komponentov. Výsledkom sú rotačné matice, do ktorých sa vložia uložené obrázky markerov. Týchto markerov môže byť viac, napríklad ak chce program zobrazovať rôzne objekty na rôzne markery. Po tom, čo sa pre každý komponent vypočítajú cez všetky jeho matice všetky markery z pamäte, sa tieto výsledné obrázky prekryjú s originálnym snímkom a porovnajú[?]. Binárny obrázok s komponentmi už ďalej nie je potrebný. Pri porovnávaní originálneho snímku s prerotovaným markerom sa použije niektorá z metód hodnotenia podobnosti. Napríklad sa pre každý pixel vypočíta hodnota rozdielu jasu a farby a potom sa urobí suma všetkých týchto hodnôt. Čím je výsledná hodnota nižšia, tým sú si obrázky podobnejšie.

Pre každého kandidáta na marker sa vyberie ten obrázok, ktorý je mu najpodobnejší a zapamätá sa akou konkrétnou homografiou vznikol. Ak je podobnosť nižšia ako istá hranica, kandidát sa vymaže z výberu a považuje sa za chybu. Výsledkom je zoznam jednotlivých kandidátov, ich súradníc v rámci snímky, k nim prislúchajúce identifikácie markerov (ak sa v aplikácii používa viac markerov) a homografie, určujúce ako na ne niečo premietnuť.

V prípade, že je snahou umiestniť virtuálny objekt priamo na marker, môže sa na

jeho 3D model použiť daná homografia, čím sa správne umiestni, naškáluje a zrotuje, a vyrenderovať buď do pôvodného snímku, alebo na priehľadný displej. Ak je marker posunutý, považuje sa za počiatok súradnicovej sústavy a virtuálny objekt sa adekvátne posunie.

Marker samozrejme nemusí byť čiernobiely ani štvorcový, v týchto prípadoch sa algoritmus príslušne upraví. Nakoľko vypočítavanie celého tohoto postupu pre každý snímok v reálnom čase môže byť náročné, často sa využívajú techniky sledovania pohybu. To znamená, že si program pamätá pre objekt jednotlivé polohy a homografie z predchádzajúcich snímok a prednostne ich vyskúša. Taktiež môže pri plynulom pohybe predpovedať lokácie na nasledovných snímkoch.



Obr. 3.1: Jednotlivé kroky aplikované pri rozpoznávaní markeru, tak ako sú uvedené v dokumentácii knižnice ARToolKit[1]

Implementáciu tohoto algoritmu v knižnici ARToolKit využívame aj v demonštračnej aplikácii vytvorenej v rámci tejto práce.

3.2 Rozpoznávanie na základe významných bodov

V prípade, že nie je žiadúce použitie markeru, pretože nie je možné modifikovať prostredie, prípadne je potrebné aby aplikácia fungovala aj v prostrediách, ktoré na tento účel neboli predpripravené, je potrebné túto úlohu riešiť zložitejšiou analýzou. Pri riešení týmto spôsobom musí byť známe ako vyzerá okolie, do ktorého je žiadané vykresliť virtuálny objekt. Toto okolie je potom potrebné rozoznávať v zábere kamery. Táto metóda sa obvykle používa na aplikácie, ktoré napríklad dopisujú v galérii údaje k obrazom a podobne. V tomto prípade slúži obraz ako špeciálny marker.

3.2.1 Rozpoznávanie algoritmom SIFT

Scale-invariant feature transform, alebo SIFT je algoritmus na rozpoznávanie a popisovanie významných bodov vyvinutý Davidom Lowe. Idea je, že objekt, ktorý chceme rozoznávať obsahuje významné body, ktoré sa dajú popísať. Výsledkom je deskriptor, s pomocou ktorého sa dá tento objekt lokalizovať na iných obrázkoch.

Algoritmus generuje z obrazu objektu množstvo vektorov významných bodov. Tieto vektory sú invariantné na rotáciu a škálovanie obrazu. Významné body obvykle ležia na rohoch, hranách a iných kontrastných miestach, vďaka čomu sú dobre viditeľné aj za zhoršených podmienok. Pri detekcii sa potom vyhladáva v tejto databáze významných bodov[28][38].

Jednou z výhod algoritmu SIFT je, že dokáže rozpoznávať aj objekty, ktoré sú čiastočne zakryté. Jedným z následníkov SIFT je napríklad SURF (celý názov *Speeded Up Robust Features*), ktorý je o približne osem krát rýchlejší. SURF je patentovaný Herbertom Bayom[8]. Ďalšími algoritmami na rozpoznávanie významných bodov sú BRIEF (*Binary Robust Independent Elementary Features*), ktorý má podobné, alebo lepšie výsledky ako SURF[10], BRISK (*Binary Robust Invariant Scalable Keypoints*)[25], FREAK (*Fast Retina Keypoint*)[2], SUSSAN, FAST a DAISY.

3.3 Rozpoznávanie na základe GPS

V prípade, že sú známe presné polohy virtuálnych objektov a nie je známe ako vyzerá okolie, do ktorého sa majú tieto objekty vykresliť, ako napríklad pri aplikáciach, čo do reálneho sveta dokresľujú mapu okolia, názvy friem a podobne, problém sa rieši pomocou GPS. Tieto aplikácie majú databázu, v ktorej majú pri všetkých údajoch ob-

siahnuté aj súradnice GPS. Používateľ potom potrebuje zariadenie s GPS a digitálnym kompasom, ktoré na základe dát z GPS a kompasu vypočíta na ktorý objekt v databáze je namierená kamera, alebo hlava používateľa, kde by sa tento objekt mal nachádzať v zábere a pod akým uhlom a v akej veľkosti ho má byť vidno[9].

Aby aplikácia spĺňala Azumovu definíciu rozšírenej reality je túto metódu potrebné skombinovať s metódami rozpoznávania obrazu. V praxi však existujú aj aplikácie, ktoré sa spoliehajú čisto na dáta z GPS a v prípade použitia zariadenia s priehľadným displejom kameru ignorujú, pretože žiadnu analýzu obrazu nevykonávajú. Táto metóda je všeobecne menej presná ako metódy rozpoznávania obrazu, pretože používané senzory obvykle nie sú také presné a virtuálne objekty sa teda nemusia vykresliť presne na to správne miesto a môžu byť posunuté. Malou výhodou techniky je, že by sa pri jej používaní nemali vyskytovať chyby, pri ktorých nie je detegovaná potreba vykresliť objekt (napríklad nerozoznaný marker), prípadne chyby, pri ktorých sa vykreslí objekt na miesto, na ktoré sa žiaden objekt vykresliť nemá.

3.4 Prehľad softvérových knižníc

Existuje niekoľko softvérových knižníc uľahčujúcich implementáciu aplikácií vytvárajúcich rozšírenú realitu.

Jednou z prvých takýchto knižníc je ARToolKit vyvinutý Hirokazu Katom v roku 1999 pre jazyky C a C++. Táto knižnica deteguje markery a prepočítava pod akým uhlom ich používateľ vidí. Vývojárom ďalej poskytuje súradnicový systém, ktorý do tohto priestoru transformuje. ARToolKit je k dispozícii zadarmo pod licenciou GNU/GPL[4]. Z tejto knižnice vychádza množstvo ďalších nasledovníkov a dodnes sa používa. Využívame ju za účelom registrácie objektov v aplikácií s rozšírenou realitou, ktorá je súčasťou tejto práce.

ARToolkitPlus bol otvorený tracker, ktorý vychádzal z ARToolKitu. Jeho vývoj sa zastavil v roku 2007 a bol nahradený Studierstube trackerom, ktorý už však nie je verejne prístupný[40].

Studierstube je framework vyvinutý na *Graz University of Technology*. Na trackovanie sa odporúča použiť OpenTracker od rovnakých autorov. Vývoj bol ukončený v roku 2008[35][36].

ArUco je minimalistická knižnica pre C++. Rozpoznáva markery, alebo polia markerov a je veľmi rýchla vďaka tomu, že sa opiera o OpenCV[5].

Vuforia je proprietárnou knižnicou, ktorá dokáže rozpoznávať obrázky a jednoduché 3D objekty. Dá sa používať v C++, Jave a Objective-C, vďaka čomu je obľúbená na mobilných platformách iOS a Android[39].

Kapitola 4

Implementácia

V rámci riešenia práce sme navrhli aplikáciu na demonštráciu rozšírenej reality obohatenú o oklúziu s fyzickými objektmi. To znamená aplikáciu, ktorá vie do obrazu z kamery dokreslovať virtuálne objekty tak, že môžu byť prekryté skutočnými materiálnymi objektmi (oklúdermi). V tejto kapitole popisujeme proces jej vývoju od začiatku po finálnu verziu.

TODO nakresliť ilustráciu, čo je oklúzia

Pre takúto demonštráciu je potrebné vyriešiť niekoľko problémov. Získať, alebo vyrobiť samotný oklúder (anglicky *occluder*), a jeho digitálnu 3D reprezentáciu. Je potrebné vymodelovať objekty, ktoré chceme vykreslovať a naimportovať ich do grafickej knižnice. Tiež potrebujeme nejakým spôsobom registrovať scénu do ktorej chceme objekty renderovať. Potrebujeme nakalibrovať kameru, aby bola ilúzia čo najpresnejšia. Na záver potrebujeme vyriešiť, ako vykreslovať prekrývaný objekt prekrývane bez toho aby sme vykreslili objekt prekrývajúci - oklúder, pretože ten máme už vo vstupe z videa.

4.1 Registrácia

Na registráciu scény sme sa rozhodli použiť otvorenú knižnicu ARToolkit. Je už pomerne stará, ale stále sa používa pre svoju jednoduchú rozšíriteľnosť. ARToolkit deteguje markery spôsobom popísaným v predchádzajúcej kapitole a nájde nám transformáciu, ktorou zarovnáme virtuálnu scénu v počítači do reálnej scény z kamery.

Do tejto virtuálnej scény môžeme pomocou OpenGL vykreslovať to, čo potrebujeme. Marker, ktorý pre tento účel používame je priložený v prílohe A tejto práce.

4.2 3D modely

Aby bolo možné vykresľovať 3D objekty na obrazovku, je potrebné ich reprezentovať v pamäti. Počas behu programu sa o to stará grafická knižnica, ale najjednoduchší spôsob ako do nej dáta nainportovať je uložiť ich do súboru.

Pre prácu s 3D modelmi existujú štandardizované formáty. Koncom deväťdesiatych rokov bol obľúbený formát VRML, ktorý je aj natívne podporovaný v ARToolkite, neskôr ho nahradil následník X3D[11]. Medzi dnes používané formáty patrí napríklad COLLADA vyvíjaná združením Khronos Group[17], jej výhodou je vysoká kompatibilita s väčšinou nástrojov na modelovanie aj hernými enginmi. Iným obľúbeným formátom je STL (*stereolithography*) používaný najmä na inžinierske účely ako je automatické projektovanie (po anglicky *computer-aided design*, alebo CAD) a 3D tlač. Výhodou je možnosť ukladania do textových aj binárnych súborov.

Zrejme najpoužívanejším 3D formátom je dnes Wavefront OBJ vyvinutý už neexistujúcou firmou Wavefront Technologies. OBJ je jednoduchý otvorený formát, ktorý sme sa rozhodli použiť.

4.2.1 Formát Wavefront OBJ

OBJ sme si vybrali, pretože sa jednoducho spracováva (*parsuje*) a zároveň je všeobecne používaný a kompatibilný.

Formát vie zaznamenávať vertexy (vrcholy), ich normály, textúrne súradnice a steny. Steny sú reprezentované n-uholníkmi danými zoznammi už definovaných vertexov. Tieto vertexy sú v zoznamoch uvedené v poradí v smere hodinových ručičiek.[37]

Nasleduje ukážka jednoduchého dvanáststenu uloženého vo formáte OBJ.

```
# Dodecahedron
v -0.57735 -0.57735 0.57735
v 0.934172 0.356822 0
v 0.934172 -0.356822 0
v -0.934172 0.356822 0
v -0.934172 -0.356822 0
v 0 0.934172 0.356822
v 0 0.934172 -0.356822
v 0.356822 0 -0.934172
v -0.356822 0 -0.934172
v 0 -0.934172 -0.356822
v 0 -0.934172 0.356822
v 0.356822 0 0.934172
v -0.356822 0 0.934172
v 0.57735 0.57735 -0.57735
v 0.57735 0.57735 0.57735
v -0.57735 0.57735 -0.57735
v -0.57735 0.57735 0.57735
v 0.57735 -0.57735 -0.57735
v 0.57735 -0.57735 0.57735
```

```

v -0.57735 -0.57735 -0.57735
f 19 3 2
f 12 19 2
f 15 12 2
f 8 14 2
f 18 8 2
f 3 18 2
f 20 5 4
f 9 20 4
f 16 9 4
f 13 17 4
f 1 13 4
f 5 1 4
f 7 16 4
f 6 7 4
f 17 6 4
f 6 15 2
f 7 6 2
f 14 7 2
f 10 18 3
f 11 10 3
f 19 11 3
f 11 1 5
f 10 11 5
f 20 10 5
f 20 9 8
f 10 20 8
f 18 10 8
f 9 16 7
f 8 9 7
f 14 8 7
f 12 15 6
f 13 12 6
f 17 13 6
f 13 1 11
f 12 13 11
f 19 12 11

```

Riadky začínajúce mriežkou slúžia na komentáre. Riadok začínajúci znakom *v* reprezentuje vertex a obsahuje tri, alebo štyri súradnice. Riadky začínajúce znakmi *vt* obsahujú textúrne súradnice zaznačené dvomi, či tromi číslami. Riadky začínajúce sa na *vn* obsahujú normály vrcholov uložené tromi číslami.

Steny sú uložené na riadkoch začínajúcich znakom *f*, po ktorom nasleduje zoznam vertexov. Tieto vertexy sú označené číslami, ktoré sa odvolávajú na poradie v ktorom boli predtým definované. Steny môžu v svojich vrchoch uchovávať aj textúrne súradnice, prípadne normály vrcholov. Tieto ďalšie informácie sa značia tak, že za poradové číslo vertexu napíšeme lomku a pridáme poradové číslo predtým definovaných textúrnych súradníc. Za ďalšiu lomku môžeme zaznačiť poradové číslo normálu. Pokiaľ je potrebné zaznamenať iba vrcholy a ich normály, vložia sa medzi ne dve lomky[37].

Aby sme si ušetrili starosti pri spracovávaní a vykresľovaní modelu, rozhodli sme sa uložiť ho v trojuholníkovej geometrii. To znamená, že každá stena je rozložená na steny ktoré majú len tri vrcholy. To má tú výhodu, že tieto trojuholníky sa dajú neskôr jednoducho renderovať pomocou OpenGL.

Na trianguláciu modelov sme použili otvorený modelovací nástroj Blender, ktorý dokáže exportovať modely do formátu OBJ v tejto podobe. Vyššie uvedený OBJ príklad

bol vytvorený týmto spôsobom.

Takto pripravený súbor načítame, spracujeme a vrcholy, normály a steny si uložíme do polí, z ktorých ich cez OpenGL rasterizujeme a vykresľujeme na správne miesto na scéne, napríklad priamo na marker.

4.3 Kalibrácia kamery

Pokiaľ vytvárame aplikáciu s rozšírenou realitou dosiahnutou pomocou počítačového videnia a potrebujeme aby zobrazovala virtuálne objekty, čo najpresnejšie, je potrebné nakalibrovať kameru.

Kamery sa líšia kus od kusu a preto je potrebné vykonať meranie, ktorým získame parametre konkrétneho zariadenia. Tieto parametre potom zohľadníme pri rozpoznávaní obrazu. Patrí medzi ne ohnisková vzdialenosť, šírka a výška fotosenzoru, faktory roztiahnutia v oboch smeroch a iné. Tieto parametre je možné vypočítať z niekoľkých (približne dvadsiatich) fotiek kalibračnej siete z rôznych uhlov. Vhodné je fotiť napríklad šachovnicu alebo pole kruhov. Od začiatku merania nesmie kamera opticky preostrovať, ani približovať, pretože by sa parametre zmenili.

Pre kalibráciu kamery sme použili jednoduchý program využívajúci knižnicu pre počítačové videnie OpenCV. Táto knižnica implementuje široké metódy na detekciu kalibračnej siete aj výpočet parametrov z nameraných údajov.

todo fotka

4.4 Oklúzia v rozšírenej realite

Oklúzia, po anglicky *occlusion culling*, je proces počas ktorého algoritmus rozhoduje ktoré objekty, alebo prípadne časti objektov na scéne sú viditeľné. Pokiaľ je nejaký objekt sčasti, alebo kompletne skrytý za iným objektom, znamená to, že je okludovaný a teda sčasti alebo vôbec nie je viditeľný. Objekt, ktorý ho zakrýva sa nazýva oklúderom (po anglicky *occluder*).

Pokiaľ je potrebné aby bol v rozšírenej realite použitý fyzický objekt ako oklúder, softvér potrebuje použiť jeho virtuálny trojdimenzionálny model. Ak chceme v rozšírenej realite zobrazovať virtuálne objekty tak, aby ich úplne, alebo čiastočne prekrývali fyzické objekty na scéne, je potrebné, aby pre každý tento fyzický objekt aplikácia ok-

rem virtuálneho 3D modelu poznala aj jeho veľkosť a polohu na scéne voči markeru, prípadne ho vedela inak rozoznať. Tento 3D model je možné odmerať a vymodelovať na počítači, ale presnejšie výsledky sú dosiahnuté vytvorením skenu na 3D skeneri. Inou možnosťou je oklúder dopredu vymodelovať na počítači a potom ho vytlačiť v 3D tlačiarňi.

Program následne objekty, prípadne ich časti, ktoré sú prekryté oklúderom nevykreslí a rovnako nevykreslí ani samotný oklúder. Na mieste, kde majú byť objekty prekryté sa teda zobrazí stopa z videa, ktorá je na pozadí. Táto stopa na danom mieste obsahuje pôvodný fyzický objekt zosnímaný kamerou a tým sa vytvorí ilúzia, že virtuálne objekty sú prekryté tými reálnymi. Pri oklúzií je obzvlášť dôležité mať správne nakalibrovanú kameru, aby sa virtuálne objekty premietali čo najpresnejšie na svoje miesta.

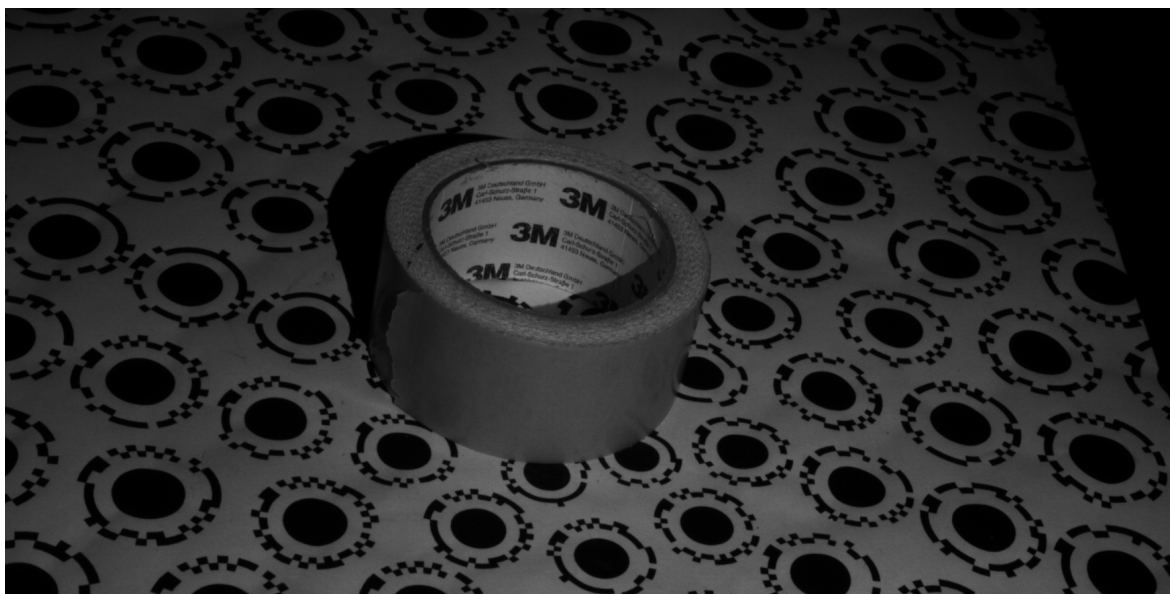
V demonštračnej aplikácii riešime oklúziu v grafickej knižnici OpenGL. Okrem virtuálneho objektu máme aj model oklúdera, ktorý sme načítali rovnakým spôsobom.

Najprv si vykreslíme pomocou OpenGL oklúder do *stencil bufferu*. Tento buffer je binárnym obrázkom veľkosti vykresľovaného okna a slúži ako úložné miesto na dočasné informácie o danom obraze. Na každý bod v stencil bufferi zapíšeme true, pokiaľ by sa na dané súradnice v normálnom pohľade vyrenderovala časť oklúdera. Neskôr pri renderovaní virtuálnych objektov, ktoré sa majú nachádzať za oklúderom, robíme pre každý pixel jednoduchú kontrolu. Nachádza sa na týchto súradniciach v stencil bufferi hodnota true? Ak sa nachádza, tak pixel nevykreslíme, pretože nemá byť vidieť a pokračujeme ďalej.

4.4.1 3D skener SMISS

SMISS, teda *Scalable Multifunctional Indoor Scanning System* je zariadenie vyvinuté na *Fakulte matematiky, fyziky a informatiky Univerzity Komenského*, ktoré dokáže skenovať trojrozmerné objekty[22]. Objekt, ktorý je potrebné nasnímať sa položí na otočný stôl. Na tento stôl je pod uhlom namierená kamera a projektor. Projektor premieta na snímaný objekt štruktúrované svetlo, teda svetlo, ktoré nesie informáciu podľa toho na ktoré miesta dopadá. Systém si skenovaný objekt rozdelí na množstvo jednotlivých rovín. Každá rovina je postupne osvetlená a zakódovaná iným vzorom svetla. Každé nasvietenie je odfotené kamerou. Na začiatku skenovania je objekt rozdelený iba na zopár rovín, tie sa ale postupne delia na tenšie rezy, čím vzniká vyššia detailnosť. Keď sú nasnímané všetky požadované nasvietenia, motor stôl pootočí a projektor začne objekt znovu nasvecovať z nového uhlu[24][23].

Počítač z obrazu dekóduje jednotlivé roviny a po zosnímaní zo všetkých strán vytvorí mračno bodov (anglicky *point cloud*) reprezentujúce objekt.



Obr. 4.1: Lepiaca páska z pohľadu skeneru SMISS

4.4.2 3D tlač

Druhou možnosťou, ako získať oklúder a jeho virtuálny 3D model je namodelovať ho v počítači a potom ho vytlačiť na 3D tlačiarňu. Na vytvorenie takéhoto modelu je vhodný napríklad Blender, z ktorého ho potom môžeme vyexportovať do OBJ pre aplikáciu aj STL pre tlač.

STL model nahráme do *slicera*, to je program, ktorý zoberie model a rozreže ho na veľký počet 2D vrstiev. Príkladom je slicer MakerBot Desktop, dodávaný k tlačiarňam značky MakerBot. Výška vrstvy závisí od nastaveného rozlíšenia. Tieto dáta sa potom vložia do tlačiarne a tá začne roztápať plastovú náplň (*fillament*) a nanášať ju vrstvu po vrstve na seba.

Inteligentný slicer dokáže do dutého modelu dorobiť sieť vnútorných stien, aby sa nerozpadol. V prípade, že tlačný predmet obsahuje časti, ktoré prevísajú von a teda by ich nebolo ako tlačiť do vzduchu, môže slicer dopočítavať podpery, ktoré sa vytlačia spolu s modelom a po vytlačení sa odrežú. V prípade použitia tlačiarne s dvomi tlačiacimi hlavami je dokonca možné použiť dva fillamenty, z toho jeden vodou rozpustný, ktorým sa tlačia podpery. Po tlači sa model len ponorí do vody.

Dnešné 3D tlačiarne zvládajú rozlíšenie okolo 100 μm , čo je okolo 255 dpi, teda 255 vrstiev na jeden palec výšky. Nevýhodou je, že s kvalitou rýchlo narastá aj čas, ktorý tlačenie potrvá.

Kapitola 5

Budúcnosť

Cena zariadení, na ktorých sa dá vytvárať rozšírená realita sa neustále znižuje, zatiaľ čo ich výkon sa rapídne zvyšuje. Pred dvadsiatimi rokmi si bolo možné vyskúšať rozšírenú realitu iba na drahých zariadeniach vo výskumných laboratóriách. Vďaka tomu, že na sprostredkovanú rozšírenú realitu postačí počítač s kamerou sa dostupnosť a rozšírenie týchto zariadení zväčšuje. Ľudia si nekupujú zariadenia preto, aby s nimi používali rozšírenú realitu, ale kupujú si zariadenia, ako sú chytré telefóny a tablety, ktoré dokážu spúšťať rozšírenú realitu, aj keď to nie je ich primárny účel. Počítače sa postupne dostávajú do stále väčšieho množstva chytrých zariadení. Z javu všadeprítomných počítačov (po anglicky *ubiquitous computing*) by mohla rozšírená realita veľa vyťažiť[43].

Rozšírená realita má už dnes množstvo praktických využití, väčšina z nich je ale veľmi špecifická, určená pre úzku skupinu ľudí, alebo veľmi konkrétnu úlohu. Na to, aby sa rozšírená realita v budúcnosti používala viac, je potrebné vyvinúť všeobecnejšie a praktickejšie aplikácie.

5.1 Nové zariadenia

Veľké pokroky v miniaturizácii len posledné desaťročie umožnili praktické používanie nositeľných počítačov (anglicky *wearable computers*), teda počítačov, ktoré používateľ nosí na svojom tele tak, ako oblečenie. Koncept okuliarov s rozšírenou realitou existuje už desaťročia, ale ešte donedávna boli všetky helmy vyrobené na tento účel príliš ťarbavé. Počítače, displeje a kamery boli väčšie, nepresnejšie a potrebovali viac energie. Batérie boli ťažšie a zaberali viac priestoru. Helmy s rozšírenou realitou najprv pokrývali celú hlavu, boli ťažké a obmedzovali používateľa pri pohybe. Zo začiatku k nim bolo potrebné nosiť ruksak v ktorom sa ukrýval počítač a batérie. Tieto helmy sa postupne zmenšovali, až sa zmenili na okuliare, ale žiadne z nich nedosiahli úroveň, ktorá by mohla dosiahnuť komerčného úspechu a rozšíriť používanie. Pri nositeľných počítačoch je používanie ovplyvnené aj módou. Tieto zariadenia musia vyzeráť dobre a ich používatelia sa nesmú cítiť divnými.

5.1.1 Google Glass

Jednými z okuliarov, ktorým by sa mohlo podariť stať sa používanými na verejnosti sú Google Glass. Glass sú futuristické okuliare od Googlu, ktoré majú v ráme zabudovanú malú batériu, počítač, kameru a projektor, ktorý premieta obraz na sklenený hranol pred okom používateľa. Na rozšírenú realitu nie sú zrovna ideálne, pretože tento hranol je iba v pravom hornom rohu pravého oka, zobrazovacia plocha teda pokrýva iba malú časť zorného pola[14]. Napriek tomu sa na nich dá rozšírená realita aplikovať — napríklad firma Layar pre ne vytvorila svoju aplikáciu, ktorá používateľovi na domy, na ktoré sa pozerá umiestňuje v prípade, že sú na predaj ikonky a zobrazuje ich stránky v realitných kanceláriach[3]. Táto aplikácia ale beží iba v rohu užívateľovho zorného pola a domy, ktoré sa v tejto zóne nenachádzajú ignoruje, pretože nemá možnosť na ne ikonky vykresliť. V januári 2015 Google ukončil experimentálnu fázu projektu a prisľúbil, že pracuje na novej verzii.



Obr. 5.1: Spoluzakladateľ Google, Sergej Brin demonštruje Google Glass; autor: Kimihiro Hoshino

Google Glass nie sú dôležité, preto, že by to boli okuliare, ktoré sú dobre uspôsobené na rozšírenú realitu — to nie sú. Sú dôležité preto, že majú potenciál stať sa v budúcnosti komerčne rozšírenou platformou, ktorá môže naštartovať celé nové technologické odvetvie chytrých okuliarov. Práve tak ako chytré telefóny nie sú určené na

rozšírenú realitu a napriek tomu sú na ňu používané viac ako zariadenia špeciálne vyvinuté len pre rozšírenú realitu, by sa mohli aj Google Glass, nevyvíjané primárne pre rozšírenú realitu stať budúcou klasickou platformou pre šírenie tejto technológie.

5.1.2 Eyeborg

Kanaďan Rob Spence prišiel pri nehode o pravé oko. Svojpomocne si skonštruoval protézu s bezdrôtovou kamerou, ktorú odvtedy vylepšuje. Cez toto robotické oko nevidí - zatiaľ sa z neho video odosiela do iného zariadenia, na ktorom sa dá prehrávať. Tento systém obsahuje rozšírenú realitu a dokáže rozoznávať vo videu objekty a manipulovať s nimi[31]. Momentálne musí používateľ pozerieť svojim zdravým okom na displej a svalmi v pravej očnej dutine ovláda kameru. Na výskume v oblasti umelého zraku sa pracuje a sú prípady keď sa podarilo pacientom napojiť signál z kamery na optický nerv a navrátiť im veľmi obmedzené videnie[?]. Až sa podobné operácie stanú úplne bežnými, tieto bionické oči budú ideálnou platformou na rozšírenú realitu.

5.2 Ďalšie zmysly

Jedným z nevelmi preskúmaných potenciálov rozšírenej reality je rozšírená realita ďalších zmyslov, nielen zraku. Napríklad rozšírená realita so sluchom by mohla fungovať tak, že používateľ by mal nasadenú helmu, ktorá izoluje všetok zvuk. Zvonku by mala mikrofón, zvnútra slúchadlá a počítač by manipuloval so zvukmi, ktoré používateľ počuje[7][9]. Táto technológia je veľkou výzvou, pretože zvuk sa retušuje ťažšie, ako obraz, ale okrem toho jeho zmysel závisí od okolia v čase. Video vstup zastavený v jednom bode času je obraz. Tento obraz síce neobsahuje všetky informácie z videa, ale má sám o sebe zmysel. Počítač môže rýchlo každý obraz rozanalyzovať, zmanipulovať a poslať ďalej. Zvuková stopa zastavená v jednom bode času je tón. Tento tón nesie iba malú informáciu. Riešením je manipulovať naraz malé úseky zvuku a predpovedať, čo bude nasledovať ďalej. Toto však treba vykonávať tak, aby si používateľ nevšimol omeškanie. Okrem toho, že rozšírená realita zvuku je obtiažna, má momentálne aj nízke praktické využitie. V budúcnosti to ale pravdepodobne bude jeden zo smerov, kam sa výskum posunie.

Záver

V práci boli vysvetlené princípy rozšírenej reality, možné aplikácie a techniky na jej dosiahnutie. Ukázali sme, ako vytvoriť aplikáciu s rozšírenou realitou, ktorá demonštruje oklúziu s reálnym svetom a túto aplikáciu sme aj vytvorili. Niečo podobné by mohlo mať využitie v umení, zábave, na vyučovaní a inde.

Ukazuje sa, že oblasť je už zrejme dostatočne vyspelá na to, aby bola použiteľná v bežnej praxi. Nový hardvér umožňuje využívať rozšírenú realitu viac ľuďom ako kedykoľvek predtým. Hlavná otázka súčasnosti je, či sa tento koncept naozaj presadí.

V období okolo roku 2009 malo veľké množstvo ľudí svoje prvé chytré mobilné telefóny. V tom čase vzniklo množstvo aplikácií, ktoré využívali rozšírenú realitu rôznymi spôsobmi. Jednou z týchto aplikácií boli napríklad aj slovenské Zlaté Stránky, ktoré na obrazovku telefónu do obrazu z kamery dopisovali názvy firiem na miesta, kde sídlia[30]. Tieto aplikácie sa stali okamžitým hitom, pretože väčšina používateľov si na nich mohla vyskúšať rozšírenú realitu po prvý krát. Ich popularita však klesla, ako je vidno aj v mobilných obchodoch s aplikáciami, pretože praktické využitie a pohodlie používania bolo nízke.

S príchodom chytrých okuliarov dostane rozšírená realita druhú šancu. Najlepšiu použiteľnosť a praktickosť by mohli mať napríklad aplikácie s navigáciou. Tieto okuliare sa však zrejme budú musieť rozšíriť za iným cieľom, ako napríklad komunikácia a rozšírená realita sa na tomto trende iba zvezie. V oblasti stále existujú veľké sociálne prekážky. Ľudia majú pocit, že používatelia chytrých okuliarov nedávajú pozor a pri rozhovore sa venujú niečomu inému. Cítiť je aj obavy o súkromie, pretože nevedia, či ich niekto používajúci chytré okuliare tajne nenatáča. Vyskytol sa už aj prípad kedy používanie Google Glass vyvolalo krčmovú bitku[16]. Mat Honan, jeden z prvých používateľov povedal, že nevie kam ich má nosiť. Nenosi ich do reštaurácie, pretože by to vyzeralo drzo, akoby počas jedla pracoval na telefóne. Nenosi ich do barov, nenosi ich do kina a podobne. Hovorí, že keď má nasadené okuliare na verejnosti cíti sa nekomfortne, pretože ostatní ľudia sú z neho nesvoji a hnevá ich to[19].

Na druhej strane, v osemdesiatych rokoch sa objavil v spoločnosti takzvaný Walkman efekt. Rozmohli sa hudobné prehrávače Walkman od spoločnosti Sony a ľudia začali na verejnosti nosiť slúchadlá[19]. Mnohých to hnevalo, pretože to považovali za drzé a zdalo sa im, že používatelia Walkmanov nevnímajú svoje okolie. Časom sa prirodzene vyvinuli nové pravidlá etikety hovoriace napríklad o tom, kedy a kde si má človek vytiahnuť slúchadlá z uší. Podobne by sa spoločnosť mohla adoptovať aj na chytré okuliare.

Je veľmi ťažké predpovedať ktoré technológie budú úspešné a rozšírené. Doba nositeľných a všadeprítomných počítačov však vyzerá pre rozšírenú realitu ako stvorená.

Literatúra

- [1] *ARToolKit Documentation*. <http://www.hitl.washington.edu/artoolkit/documentation/vision.htm>.
- [2] Alexandre Alahi, Raphael Ortiz, and Pierre Vandergheynst. Freak: Fast retina keypoint. In *Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), 2012 IEEE Conference on*, pages 510–517. Ieee, 2012.
- [3] Layar AR. <https://www.youtube.com/watch?v=rBPmG5mqWfI>.
- [4] ARToolKit. <http://www.hitl.washington.edu/artoolkit/>.
- [5] ArUco. <http://www.uco.es/investiga/grupos/ava/node/26>.
- [6] Ronald Azuma, Yohan Baillot, Reinhold Behringer, Steven Feiner, Simon Julier, and Blair MacIntyre. Recent advances in augmented reality. *Computer Graphics and Applications, IEEE*, 21(6):34–47, 2001.
- [7] Ronald T Azuma et al. A survey of augmented reality. *Presence*, 6(4):355–385, 1997.
- [8] Herbert Bay, Tinne Tuytelaars, and Luc Van Gool. Surf: Speeded up robust features. In *Computer vision–ECCV 2006*, pages 404–417. Springer, 2006.
- [9] Oliver Bimber and Ramesh Raskar. *Spatial augmented reality: merging real and virtual worlds*, volume 6. AK Peters Wellesley, MA, 2005.
- [10] Michael Calonder, Vincent Lepetit, Christoph Strecha, and Pascal Fua. Brief: Binary robust independent elementary features. In *Computer Vision–ECCV 2010*, pages 778–792. Springer, 2010.
- [11] Web3D Consortium. <http://www.web3d.org/x3d/what-x3d>.
- [12] Wm H Dobelle. Artificial vision for the blind by connecting a television camera to the visual cortex. *ASAIIO journal*, 46(1):3–9, 2000.

- [13] Victor Fragoso, Steffen Gauglitz, Shane Zamora, Jim Kleban, and Matthew Turk. Translatar: A mobile augmented reality translator. In *Applications of Computer Vision (WACV), 2011 IEEE Workshop on*, pages 497–502. IEEE, 2011.
- [14] Google. <https://www.google.com/glass/start/>.
- [15] Google. Explorer story: Patrick jackson (through google glass), 2014. <https://www.youtube.com/watch?v=QPbZy2wrTGk>.
- [16] Anisse Gross. <http://www.newyorker.com/currency-tag/whats-the-problem-with-google-glass>.
- [17] Khronos Group. <http://www.khronos.org/collada>.
- [18] Barend Havenga. http://www.reddit.com/r/pics/comments/lplfb/hud_on_a_boeing_737800.
- [19] Mat Honan. <http://www.wired.com/2013/12/glasshole/>.
- [20] Ryan Ismert. Rich sports data and augmented reality, 2012. <http://strataconf.com/strata2012/public/schedule/detail/22627>.
- [21] Hirokazu Kato and Mark Billinghurst. Marker tracking and hmd calibration for a video-based augmented reality conferencing system. In *Augmented Reality, 1999.(IWAR'99) Proceedings. 2nd IEEE and ACM International Workshop on*, pages 85–94. IEEE, 1999.
- [22] Tomáš Kovačovský. <https://www.youtube.com/watch?v=TWlhbInC7vc>.
- [23] Tomáš Kovačovský. Hdr smiss—fast high dynamic range 3d scanner.
- [24] Tomáš Kovačovský. *Scalable multifunctional indoor scanning system*. PhD thesis, Citeseer, 2012.
- [25] Stefan Leutenegger, Margarita Chli, and Roland Yves Siegwart. Brisk: Binary robust invariant scalable keypoints. In *Computer Vision (ICCV), 2011 IEEE International Conference on*, pages 2548–2555. IEEE, 2011.
- [26] Mark A Livingston, Lawrence J Rosenblum, Dennis G Brown, Gregory S Schmidt, Simon J Julier, Yohan Baillot, J Edward Swan II, Zhuming Ai, and Paul Maassel. Military applications of augmented reality. In *Handbook of augmented reality*, pages 671–706. Springer, 2011.
- [27] Mark A Livingston, Lawrence J Rosenblum, Simon J Julier, Dennis Brown, Yohan Baillot, II Swan, Joseph L Gabbard, Deborah Hix, et al. An augmented reality

- system for military operations in urban terrain. Technical report, DTIC Document, 2002.
- [28] David G Lowe. Object recognition from local scale-invariant features. In *Computer vision, 1999. The proceedings of the seventh IEEE international conference on*, volume 2, pages 1150–1157. Ieee, 1999.
 - [29] Jacques Marescaux, Francesco Rubino, Mara Arenas, Didier Mutter, and Luc Soler. Augmented-reality–assisted laparoscopic adrenalectomy. *Jama*, 292(18):2211–2215, 2004.
 - [30] Jozef Orgonáš. <http://www.itnews.sk/spravy/software/2010-01-18/c131299-augmented-reality-realne-na-slovensku-zlate-stranky-pouzivaju-layar?ref=rss>.
 - [31] Eyeborg Project. <http://eyeborgproject.com/>.
 - [32] Dirk Reiners, Didier Stricker, Gudrun Klinker, and Stefan Müller. Augmented reality for construction tasks: Doorlock assembly. *Proc. IEEE and ACM IWAR*, 98(1):31–46, 1998.
 - [33] Tobias Sielhorst, Tobias Obst, Rainer Burgkart, Robert Riener, and Nassir Navab. An augmented reality delivery simulator for medical training. In *International Workshop on Augmented Environments for Medical Imaging-MICCAI Satellite Workshop*, volume 141, 2004.
 - [34] Sportvision.
 - [35] Studierstube. <http://studierstube.icg.tugraz.at/download.php>.
 - [36] Studierstube. <http://studierstube.icg.tugraz.at/opentracker/>.
 - [37] Wavefront Technologies. *Object file specification*. <http://www.martinreddy.net/gfx/3d/OBJ.spec>.
 - [38] Marek Vološin. Rozpoznávanie obrazov v robotike. Master’s thesis, Technická univerzita v Košiciach, 2011.
 - [39] Vuforia. <https://www.qualcomm.com/products/vuforia>.
 - [40] Daniel Wagner and Dieter Schmalstieg. *Artoolkitplus for pose tracking on mobile devices*. na, 2007.

- [41] Anthony Webster, Steven Feiner, Blair MacIntyre, William Massie, and Theodore Krueger. Augmented reality in architectural construction, inspection and renovation. In *Proc. ASCE Third Congress on Computing in Civil Engineering*, pages 913–919, 1996.
- [42] Simon Julier Yohan, Simon Julier, Yohan Baillot, Marco Lanzagorta, Dennis Brown, and Lawrence Rosenblum. Bars: Battlefield augmented reality system. In *In NATO Symposium on Information Processing Techniques for Military Systems*. Citeseer, 2000.
- [43] Feng Zhou, Henry Been-Lirn Duh, and Mark Billinghurst. Trends in augmented reality tracking, interaction and display: A review of ten years of ismar. In *Proceedings of the 7th IEEE/ACM International Symposium on Mixed and Augmented Reality*, pages 193–202. IEEE Computer Society, 2008.