

**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, PhD.

Bratislava, 2015

Viktor Seč

Čestné prehlásenie

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

Bratislava 30. mája 2015

.....

Vlastnoručný podpis

Poděkování

Moja hluboká vdaka patří RNDr. Zuzane Berger Haladovej, PhD. za jej cenné podnety, rady, nápady, neustálu prístupnosť a priateľskosť. Bez ktorejkolvek z týchto vecí by táto práca nemohla byť takou, akou je.

Taktiež som vďačný organizácii FabLab Bratislava, ktorá mi sprístupnila 3D tlačiareň a poradila, ako s ňou narábať.

Záverom by som sa chcel podakovať všetkým ľuďom, ktorí prispievali alebo prispievajú do slobodných softvérových knižníc ktoré som použil - ARToolKit, DevIL, GLEW, GLUT a OpenCV.

Abstrakt

Rozšírená realita je počítačovým rozšírením 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 využitiach.

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

Kľúčové slová: rozšírená 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	6
Úvod	7
1 Prehľad problematiky	8
1.1 Definícia	8
1.2 Účel	9
1.3 Zariadenia	10
2 Aplikácie	12
2.1 Medicínske aplikácie	12
2.2 Požiarnici	13
2.3 Preklady	13
2.4 Armádne aplikácie	14
2.5 Šport	15
2.6 Konštrukcia	16
3 Metódy	17
3.1 Rozpoznávanie pomocou markerov	17
3.1.1 Algoritmus rozpoznávania markerov	18
3.2 Rozpoznávanie na základe významných bodov	19
3.2.1 Rozpoznávanie algoritmom SIFT	20
3.3 Rozpoznávanie na základe GPS	21
3.4 Prehľad softvérových knižníc	21

4 Implementácia	23
4.1 Zjednodušená demonštrácia	23
4.2 3D modely	24
4.2.1 Formát Wavefront OBJ	25
4.3 Registrácia scény	28
4.4 Kalibrácia kamery	28
4.5 Príprava oklúderu	30
4.5.1 Modelovanie	30
4.5.2 3D skener SMISS	30
4.5.3 3D tlač	31
4.6 Oklúzia v rozšírenej realite	33
5 Budúcnosť rozšírenej reality	39
5.1 Nové zariadenia	39
5.1.1 Google Glass	40
5.1.2 Eyeborg	41
5.2 Ďalšie zmysly	41
5.3 Uchytenie v bežnom živote	42
Záver	44
Literatúra	48

Zoznam obrázkov

todo

Úvod

Rozšírená 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. Rozšírená 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 ľiou zaoberať, nakoľko jej aplikácie môžu byť veľmi užitočné, ako ukážeme neskôr. V práci sú rozobrané jednotlivé možnosti aplikácií 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.

TODO pridať nieco o okluzii a o demo aplikacii

Kapitola 1

Prehľad problematiky

V tejto kapitole vysvetlíme, čo je rozšírená realita a ako bola definovaná. Popíšeme na čo všeobecne slúži a akými spôsobmi sa používa.

1.1 Definícia

Rozšírená realita (po angl. *augmented reality*, skrátene *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 nadalej vníma skutočný svet okolo seba doplnený o virtuálne objekty[Azuma97]. Ronald T. Azuma definuje rozšírenú realitu tromi pravidlami[Azuma97].

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 korektne registrovať pohľad kamery s virtuálnym svetom 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 vykreslovať neskutočné objekty tak aby vyzerali ako skutočné a patriace do okolitého prostredia. V druhom prípade je potrebné aby boli tieto objekty trojdimenzionálne a vykreslovali sa správne v súlade s perspektívou a skutočnými objektami (napr. prekrývali objekty za nimi, ale boli prekryté objektmi pred nimi)[Azuma01]. V prvom prípade je však podľa Azumovej definícii stále potrebné, aby sa dané informácie vykreslovali 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 obtiažna 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 zablokovať určitú časť pôvodného vnemu[Bimber05].

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 niektoej osoby v miestnosti) obtiažnejším problémom.

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

1.2 Účel

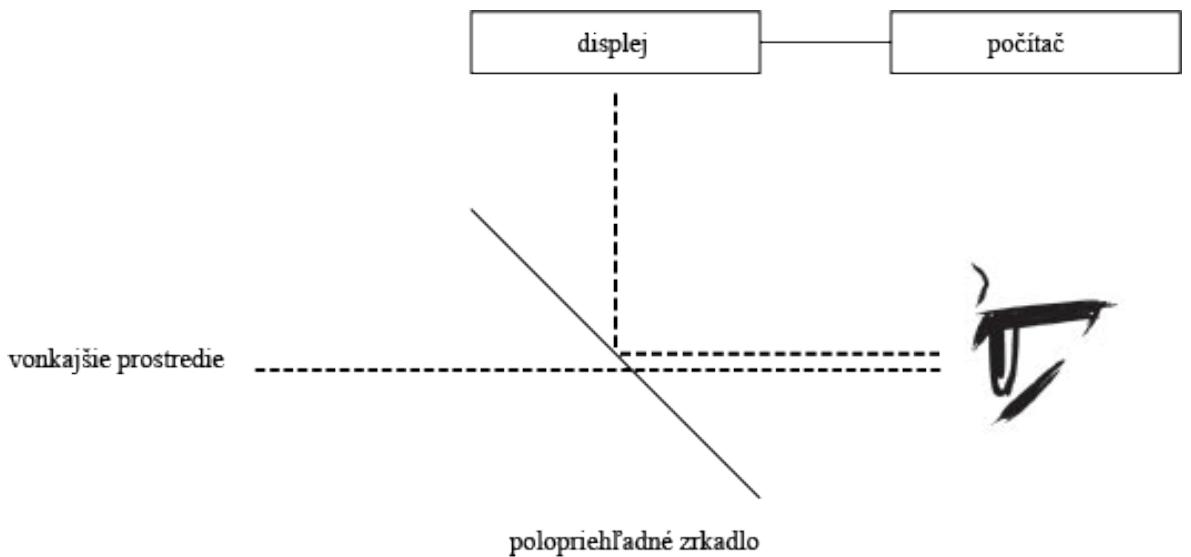
Dôvodov pre vývoj rozšírenej reality je niekolko. Pre používateľa môže byť rozšírená realita jedným z najjednoduchších spôsobov ako získavať určité druhy informácií. Toto môže zefektívňovať a zjednodušovať jeho skutočnú prácu. Obzvlášť prakticky vyzerajú napríklad koncepty, pri ktorých má používateľ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

Dobrým 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 otom, 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

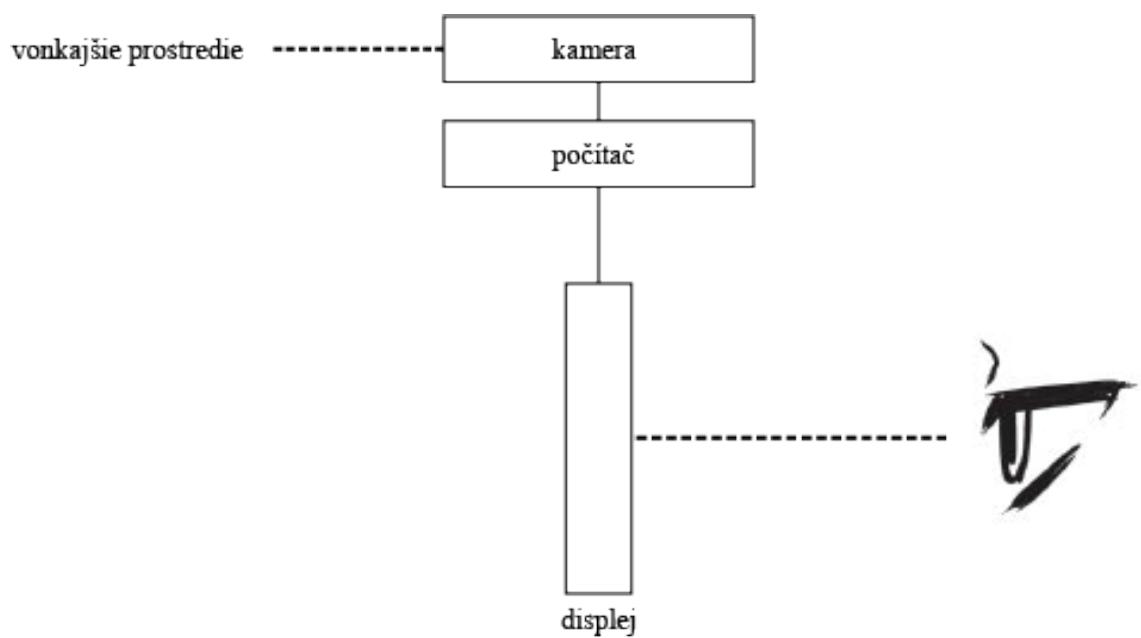
Rozšírená realita môže byť prezentovaná používateľovi buď priamo (napríklad vykreslovaním na priehľadný displej, cez ktorý je priamo vidno okolité prostredie), alebo nepriamo, čiže vykreslovaním do záznamu z videokamery, ktorý je vzápäť po rozšírení prezentovaný používateľovi na nepriehľadný displej.



Obrázok 1.1: Schéma priamej rozšírenej reality

V prípade priamej optickej rozšírenej reality za použitia priehľadného displeja 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 displeja umiestneného nad ňou, alebo pod ňou[Bimber05]. Keď sa cez ne používateľ pozrie, obrazy sa mu skombinujú.

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* (sprostredkovane). V demo aplikácií, ktorá bola vyvinutá, ako súčasť tejto práce ukazujeme sprostredkovanú rozšírenú realitu pomocou počítaču, ku ktorému je pripojená kamera.



Obrázok 1.2: Schéma sprostredkovanej rozšírenej reality

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 a zobrazovať sa im prekryte priamo cez telo pacienta. Na získanie údajov by sa mohlo použiť ľuboľné diagnostické zariadenie, ktoré produkuje 3D dátá o pacientovi. Napríklad vyšetrenie magnetickou rezonanciou, počítačom, či ultrazvukom. Tieto vizualizácie by mohli byť obzvlášt cenné pri minimálne invazívnych zákrokoch, kedy vidí chirurg vnútro tela pacienta horšie, ako pri bežnej operácii[Azuma97].

Vedci z Mníchovského Institut für Informatik vyvinuli trenažér pre gynekológov na nácvik pôrodov, ktorý využíva rozšírenú realitu. Pôvodný simulátor, ktorý vypisoval fiziologické dátá 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 polopriehľadný virtuálny model dieťaťa uloženého v maternici. Na to, aby to bolo možné je potrebné registrať 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[Sielhorst04].

V roku 2004 bol v Kalifornii vykonaný prvý úspešný chirurgický zákrok prevedený za asistencie rozšírenej reality. Štyridsaťpäťročný pacient podstúpil laparoskopickú adrenalektómiu (odobranie nadobličky). Chirurgovi sa pri operácií na monitor zobrazovala 3D rekonštrukcia nadobličiek a iných okolitých orgánov vsadená na správne miesto do pohľadu z kamery. Toto pozíciovanie sa vypočítavalо na základe siedmich markerov

nalepených na koži pacienta [Marescaux04].

2.2 Požiarnici

Patrick Jackson, požiarnik zo Severnej Karolíny vyvýja požiarnicku 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 [Google14-a]. Na zobrazovanie mapy okolia sa využívajú údaje z GPS a na navigovanie k hydrantu aj presné natočenie hlavy. Táto aplikácia je ukážkovým príkladom, ako by mohla rozšírená realita v kritických situáciach zachraňovať životy.

Podobný softvér (s vlastným hardvérom) vyvíja tím na Technickej univerzite vo Viedni. Požiarnikovi ukazujú v okuliaroch obraz z termánej kamery registrovaný s 3D modelom štruktúry budovy, ktorý je rekonštruovaný v reálnom čase. Vďaka tomu vie ako vyzerá jeho okolie aj v prípade hustého dymu [Schonauer13].



Obrázok 2.1: Projekt má požiarnikom zabezpečiť životne dôležité informácie v podmienkach slabej viditeľnosti [Schonauer13].

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 [Fragoso11].



Obrázok 2.2: Demo aplikácie TranslatAR[Fragoso11]

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 okolií. Keď vojak pozerá do mapy, ohrozuje sa, pretože dáva nižší pozor na svoje okolie.

Vedci z Naval Research Laboratory v USA vytvárajú helmu, ktorá bude vojakom sprostredkovávať najdôležitejšie informácie. Používateľ môže vidieť nad budovami napísané ich mená a plány interiérov, na zemi zas môže vidieť napísané názvy ulíc. Tiež sa mu môžu zobrazovať ikony na presných lokáciach, kde boli nahlásení snajperi[Livingston02][Julier00].

Inou aplikáciou rozšírenej reality na armádne účely je systém rozširujúci videnie pilota lietadla. Úlohy ako zameriavanie ciela, 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 dátu za podmienok slabej viditeľnosti. Všetky tieto dátu sa potom môžu premietať do pilotovej helmy, umožniť mu vidieť to, čo by inak nevidel a zvýrazniť dôležité body[Livingston11].

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 rýchlosi.

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



Obrázok 2.3: Rozšírená realita v kokpite lietadla Boeing 737-800[Havenga]

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 Sportvision dodnes virtuálne rozširuje prenášané záznamy už od roku 1998.

Na hraciu plochu dokážu zobrazovať rôzne dočasné čiary a zóny, informácie o bôdovom 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 [Sportvision][Ismert12]. Mimo Spojených štátov sú zrejme najznámejšimi 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 tyčí získané magnetickými senzormi, káble vedúce elektrinu v stenách, či samotné označenia nosných stien[Webster96].

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[Reiners98].

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.

Na riešenie problému sa obvykle používajú metódy počítačového videnia. Na ich aplikáciu je potrebné zariadenie s digitálnou kamerou, ktorej záznam softvér analyzuje.

Inou možnosťou je získať informáciu o polohe a smere zorného poľa pomocou iných senzorov.

poznamka: viem, že Azuma povazoval (povazuje?) za rozsirenu realitu len spracovanie obrazu (ostatne keď ju definoval bolo este GPS sifrovane) a to je aj to, cím sa zaobera tato praca, ale vieme ze su aplikacie, ktore dokresljujú do obrazu kamery virtuálne objekty na zaklade inych udajov a sami sa promuju ako AR. Je to este skutočne AR? Napriek ani ten spojenecky Gyro Sight co si mi poradila vyssie neanalyzoval obraz. Ale ak si myslis ze to sem nepatri, tak tieto veci odstranim

TODO odstran poznamku

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 posunie a otočí do uhlu pohľadu a zoškáluje do veľkosti ako je vo videu. Touto transformáciou sa potom transformuje aj virtuálny model, ktorý sa vzápäť 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. Ďalšiou 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 budť inštalovaním siete markerov do pozadia, ktoré v sebe majú zakódované svoje súradnice, alebo sledovaním (*trackovaním*) pohybu kamery¹. Softvéru potom stačí, aby bol v zábere kamery dobre viditeľný vždy aspoň jeden. Pokiaľ markery neznehodnotia scénu a vývojári potrebujú maximalizovať šance systému na správnu registráciu, môžu sa rozhodnúť použiť pole markerov (po anglicky *marker field*), ktoré pokrýva komplettný 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 prefarbi na biely a všetky ostatné sa prefarbia na čierne. Výsledkom je binárny obraz. Ak sa prah nastaví správne malo byť v tomto obraze jasne vidno aspoň jeden čiernobiely marker na jednofarebnom pozadí[Kato99].

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, navzájom sa dorovnávajú a preto 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, ktoré zobrazia rohy štvorca na rohy týchto komponentov. Výsledkom sú rotačné matice, ktorými sa transformujú 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[ARToolKit-a]. Binárny obrázok s komponentmi už ďalej nie je potrebný. Pri porovnávaní originálneho snímku s pretransformovaným markerom sa použije niektorá z metód hodnotenia podobnosti. Napríklad sa pre každý pixel vypočíta hodnota rozdielu jasu a potom sa urobí suma všetkých týchto hodnôt. Čím je

¹Dá sa namerat priamo z optického toku dát, pomocou informácií z gyroskopu, akcelerometra, magnetometra, alebo ich kombinácie.

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 aplikácí používa viac markerov) a homografie, určujúce ako na ne niečo premietnuť.

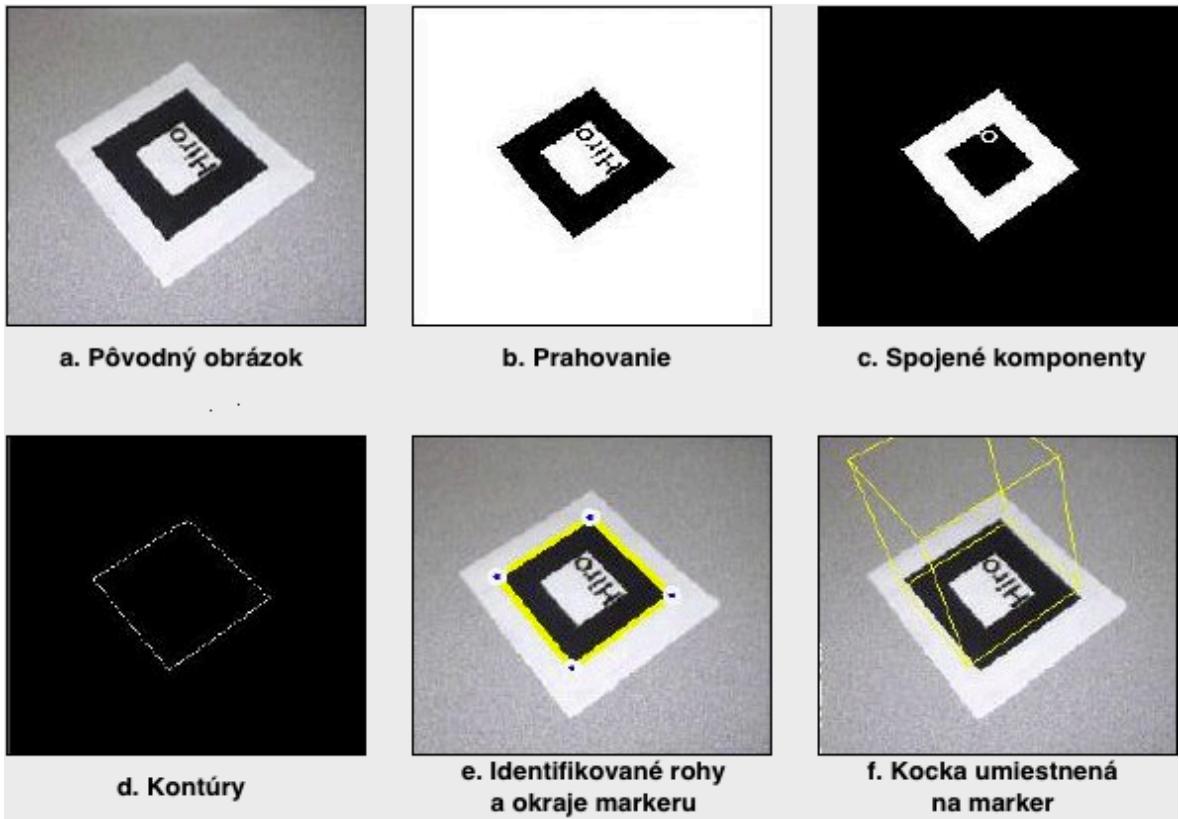
V prípade, že je snahou umiestniť virtuálny objekt priamo na marker, môže sa na jeho 3D model použiť daná homografia, čím sa správne umiestní, naškáluje a zrotuje, a vyrenderovať buď do pôvodného snímku, alebo na priečladný displej. Ak je marker posunutý, považuje sa za počiatok súradnicovej sústavy a virtuálny objekt sa adekvátnie posunie.

Marker samozrejme nemusí byť čiernobiely ani štvorcový, v týchto prípadoch sa algoritmus príslušne upraví. Nakoľko vypočítavanie celého tohto 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 snímkov a prednostne ich vyskúša. Taktiež môže pri plynulom pohybe predpovedať lokácie na nasledovných snímkoch.

Implementáciu tohto algoritmu v knižnici ARToolKit využívame aj v demonštračnej aplikácii vytvorennej 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 prostrediach, ktoré na tento účel neboli predpripravené, je potrebné túto úlohu riešiť zložitejšou analýzou. Pri riešení týmto spôsobom musí byť známe ako vyzerá okolie, do ktorého je žiadané vykresliť virtuálny objekt. Toto okolie je potom potrebné rozoznať v zábere kamery. Táto metóda sa obvykle používa na aplikácie, ktoré napríklad dopisujú v galérií údaje k obrazom a podobne. V tomto prípade slúži obraz ako špeciálny marker.



Obrázok 3.1: Jednotlivé kroky aplikované pri rozpoznávaní markeru, tak ako sú uvedené v dokumentácii knižnice ARToolKit[ARToolKit-a]

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 vektorov 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 vyhľadáva v tejto databáze významných bodov[Lowe99][Volosin11].

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 približne osem krát rýchlejší. SURF je patentovaný Herbertom Bayom[Bay06]. Ďalšími algoritmami na rozpoznávanie významných bodov sú BRIEF (*Binary Robust Independent Elementary Features*), ktorý má podobné, alebo lepšie výsledky ako SURF[Calonder10], BRISK (*Binary Robust Invariant Scalable Ke-*

ypoints)[Leutenegger11], FREAK (*Fast Retina Keypoint*)[Alahi12], SUSSAN[Smith97], FAST[Tuzel06] a DAISY[Tola10].

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 dokreslujú mapu okolia, názvy firiem 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 uhľom a v akej veľkosti ho má byť vidno[Bimber05].

Aby aplikácia splňala Azumovu definíciu rozšírenej reality je túto metódu potrebné skombinovať s metódami rozpoznávania obrazu. V praxi však existujú aj aplikácie, ktoré sa spoliehajú čisto na dátu z GPS a v prípade použitia zariadenia s priečelným displejom kamery 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[ARToolKit-b]. 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[Wagner07].

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

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

Vuforia je proprietárnej knižnicou, ktorá dokáže rozpoznať obrázky a jednoduché 3D objekty. Dá sa používať v C++, Java a Objective-C, vďaka čomu je oblúbená na mobilných platformách iOS a Android[Vuforia].

Kapitola 4

Implementácia

V rámci riešenia práce sme navrhli aplikáciu na demonštráciu rozšírenej reality obohatenú o oklúzii fyzických objektov.

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*).

V tejto kapitole popisujeme proces vývoju demonštračnej aplikácie od začiatku po finálnu verziu.

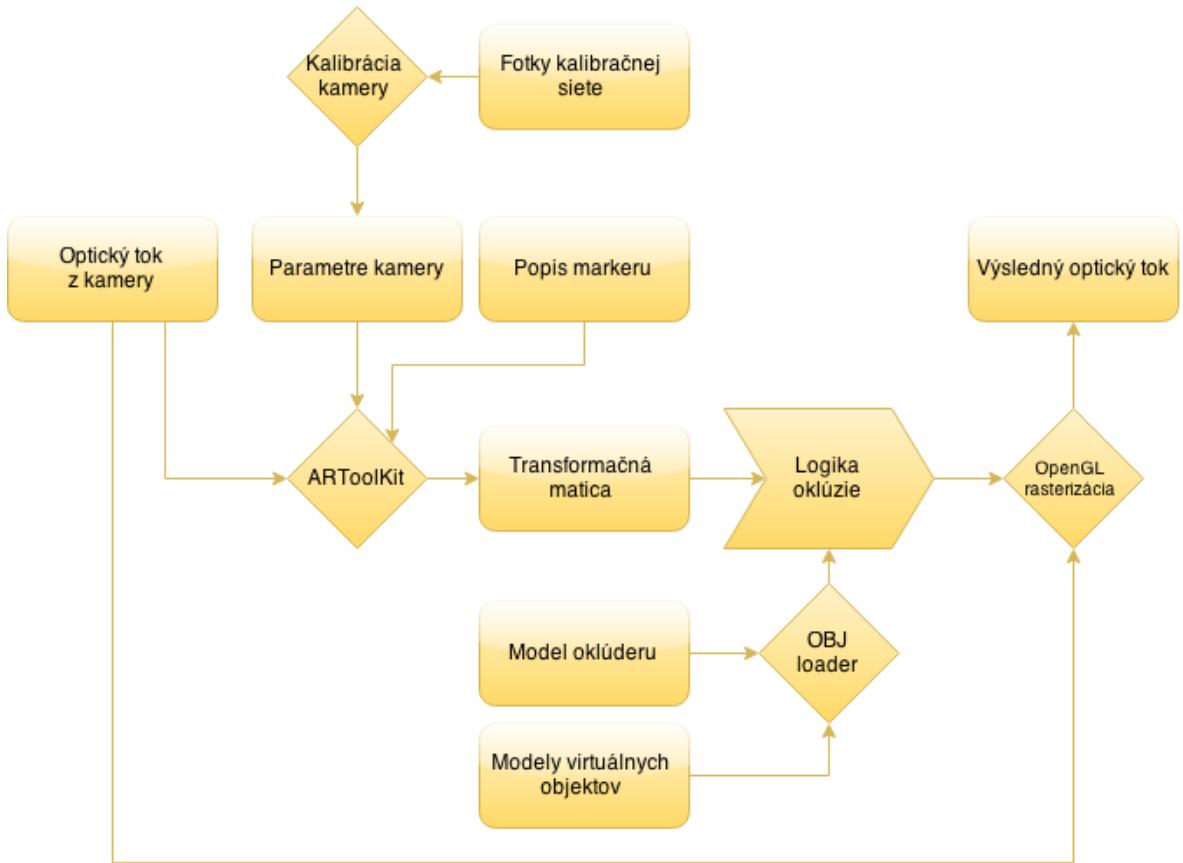
TODO nakresliť ilustráciu, čo je oklúzia

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 implementovať samotnú oklúziu.

Táto kapitola opisuje všetky kroky nasledovnej schémy.

4.1 Zjednodušená demonštrácia

Na obrázku je snímok obrazovky prvého funkčného prototypu našej demonštračnej aplikácie. Aplikácia registruje scénu pomocou markeru a dokresľuje na ňu virtuálnu kocku okludovanú fyzickou kockou. Kroky tohto procesu sú chronologicky popísané v nasledujúcich sekciách.



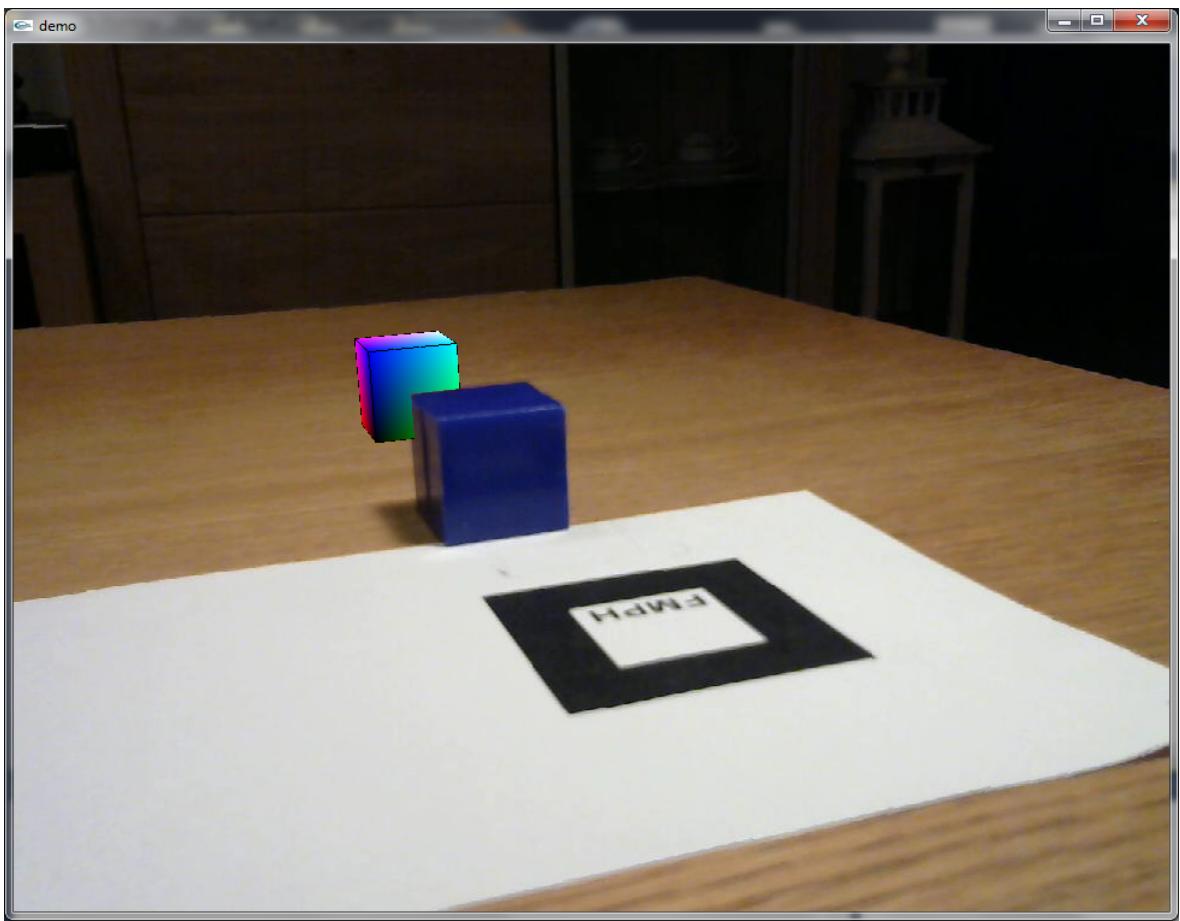
Obrázok 4.1: Podrobná schéma demonštračnej aplikácie

4.2 3D modely

Aby bolo možné vykreslovať 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 dátia naimportovať je uložiť ich do súboru.

Pre prácu s 3D modelmi existujú štandardizované formáty. Koncom deväťdesiatych rokov bol oblúbený formát VRML, ktorý je aj natívne podporovaný v ARToolkite, neskôr ho nahradil následník X3D[Web3D]. Medzi dnes používanejšie formáty patrí napríklad COLLADA vyvíjaná združením Khronos Group[Collada], jej výhodou je vysoká kompatibilita s väčšinou nástrojov na modelovanie aj hernými enginmi. Iným oblúbeným 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 neexist-



Obrázok 4.2: Jednoduchá ukážka oklúzie s kockami v našej aplikácii

tujúcou 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 vrcholy (*vertexy*), ich normály, textúrne súradnice a steny. Steny sú reprezentované n-uholníkmi danými zoznammi už definovaných vertexov. Tie-to vertexy sú v zoznamoch uvedené v poradí v smere hodinových ručičiek.[Wavefront]

Nasleduje ukážka jednoduchého dvanásťstenu 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 súradnice¹. Riadky začínajúce znakmi *vt* obsahujú textúrne súradnice zaznačené dvomi, či tromi číslami. Riadky začínajúce sa na *vn* obsahujú normály vrcholov uložené tromi číslami.

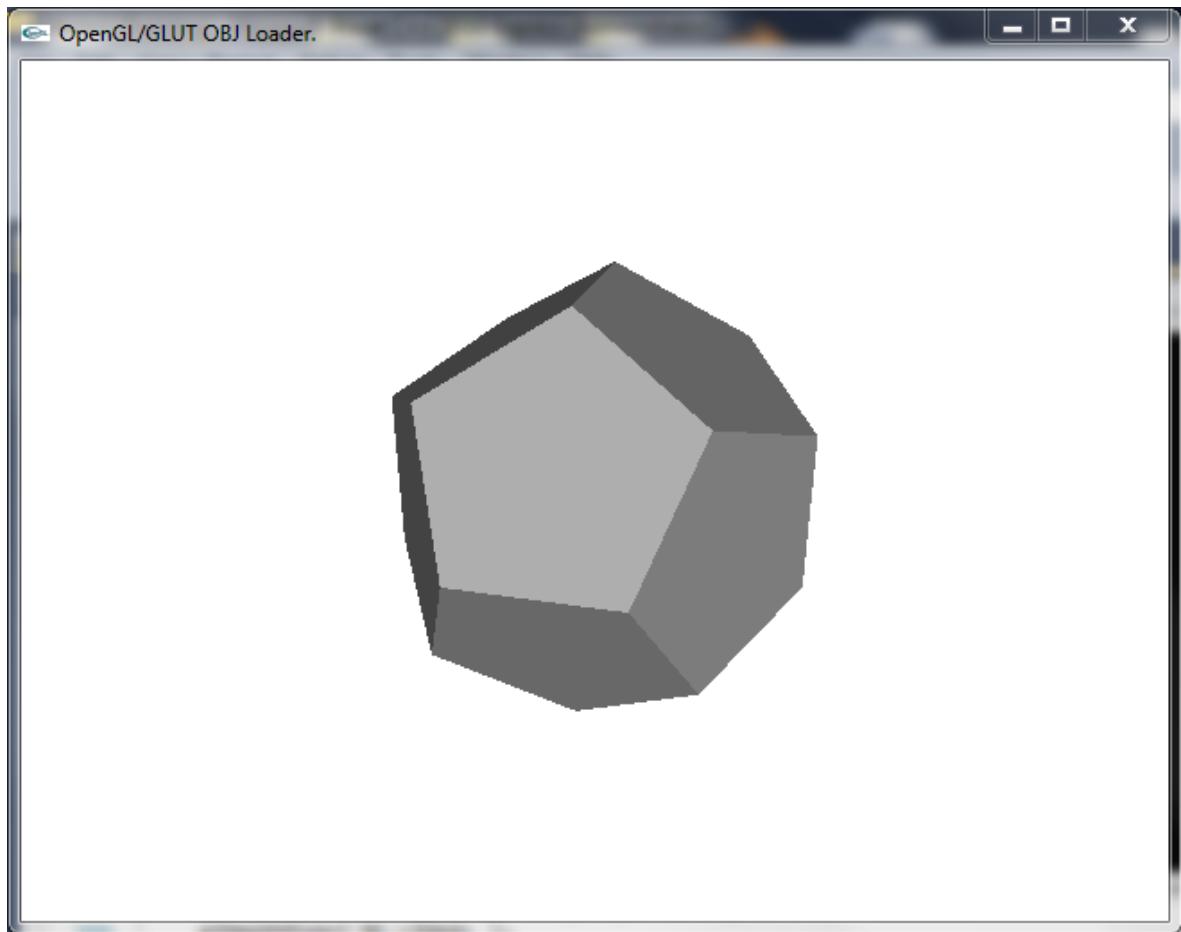
Steny sú uložené na riadkoch začínajúcich znakom *f*, po ktorom nasleduje zoznam vertexov. Tieto vertexte sú označené číslami, ktoré sa odvolávajú na poradie v ktorom boli predtým definované. Steny môžu v svojich vrcholoch uchovávať aj textúrne súradnice, prípadne normály vrcholov. Tieto ďalšie informácie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

¹Môže obsahovať štyri homogénne súradnice

Aby sme si ušetrili starosti pri spracovávaní a vykreslovaní modelu, rozhodli sme sa ho reprezentovať trojuholníkovou sieťou (*triangulated geometry*). 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.



Obrázok 4.3: Dvanásťsten načítaný zo súboru OBJ a vykreslený na obrazovku

4.3 Registrácia scény

Na registráciu scény sme sa rozhodli použiť slobodnú knižnicu ARToolkit. Vznikla už v roku 1999[ARToolKit-b], 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. V prípade, že vieme aké bude osvetlenie fyzickej scény, môžeme podľa toho nastaviť osvetlenie vo virtuálnej scéne, aby neskutočné objekty pôsobili skutočnejšie.

Marker, ktorý používame na registráciu je priložený v prílohe A tejto práce.



Obrázok 4.4: Model sovy vyrenderovaný a umiestnený na marker v našej demo aplikácii

4.4 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.

V prípade bežnej dierkovej komory (*pinhole camera*) sa tieto parametre usporiadavajú do matice parametrov kamery (*camera matrix*), ktorá je vynásobením matice vnútorných (*intrinsic*) parametrov s vonkajšími (*extrinsic*) parametrami, ktoré udávajú transformáciu 3D súradníc svetu na 3D súradnice kamery. Určenie matice vnútorných parametrov kamery sa nazýva kalibrácia kamery.

$$A = \begin{Bmatrix} \alpha_x & \gamma & u_0 \\ 0 & \alpha_y & v_0 \\ 0 & 0 & 1 \end{Bmatrix}$$

Matica vnútorných parametrov obsahuje parametre, ktoré sa dajú vypočítať nasledovne.

$$\alpha_x = f \cdot m_x$$

$$\alpha_y = f \cdot m_y$$

Kde m_x a m_y sú škálovacie faktory hĺbky a f je hĺbková ohnisková vzdialenosť.

toto sa určite povie po slovensky nejak inak?

TODO zmazat poznamku

gamma je skresľovací koeficient medzi osami x a y a obvykle ho môžeme nastaviť na 0. u_0 a v_0 označujú posunutie ohniska v oboch osiach [Hartley03].

TODO tuto matiku treba v latexu opravit lebo sa to vykresluje späťne

Tieto parametre je možné vypočítať z fotky kalibračnej siete². Vhodné je fotiť napríklad šachovnicu alebo pole kruhov. Od začiatku merania nesmie kamera opticky preostrovať, ani meniť ohniskovú vzdialenosť (priблиžovať), pretože by sa parametre zmenili.

²Obvykle sa pre zvýšenie presnosti použijú výsledky z viacerých fotiek vytvorených z rôznych uhlov. My sme ich pri kalibrácii vyhotovili dvadsať.

Po transformácií maticou parametrov kamery vieme zvrátiť deformáciu obrazu.

$$\mathbf{z}_c \begin{bmatrix} u \\ v \\ 1 \end{bmatrix} = A \begin{bmatrix} R & T \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_w \\ y_w \\ z_w \\ 1 \end{bmatrix}$$

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

TODO fotka

4.5 Príprava oklúderu

Predtým ako môžeme implementovať oklúziu, potrebujeme mať vybraný oklúder a jeho digitálnu 3D reprezentáciu. Zvolili sme si na to viacero postupov.

4.5.1 Modelovanie

Najzákladnejší spôsob ako získať 3D model skutočného objektu, je ho jednoducho odmerať a vymodelovať v modelovacom programe. Pri prvom prototype ukázanom v časti 4.1 sme zašli ešte ďalej a zvolili si za oklúder obyčajnú kocku. Bol to dobrý výber pretože všetky kocky sú si navzájom podobné a majú len osem vrcholov na jednoducho vymenovateľných súradničiach. Vďaka tomu sme mohli vynechať načítavanie modelu a kocku sme popísali priamo v programe. Stačilo už len nájsť správnu škálovaciu konštantu a mali sme skorý funkčný prototyp.

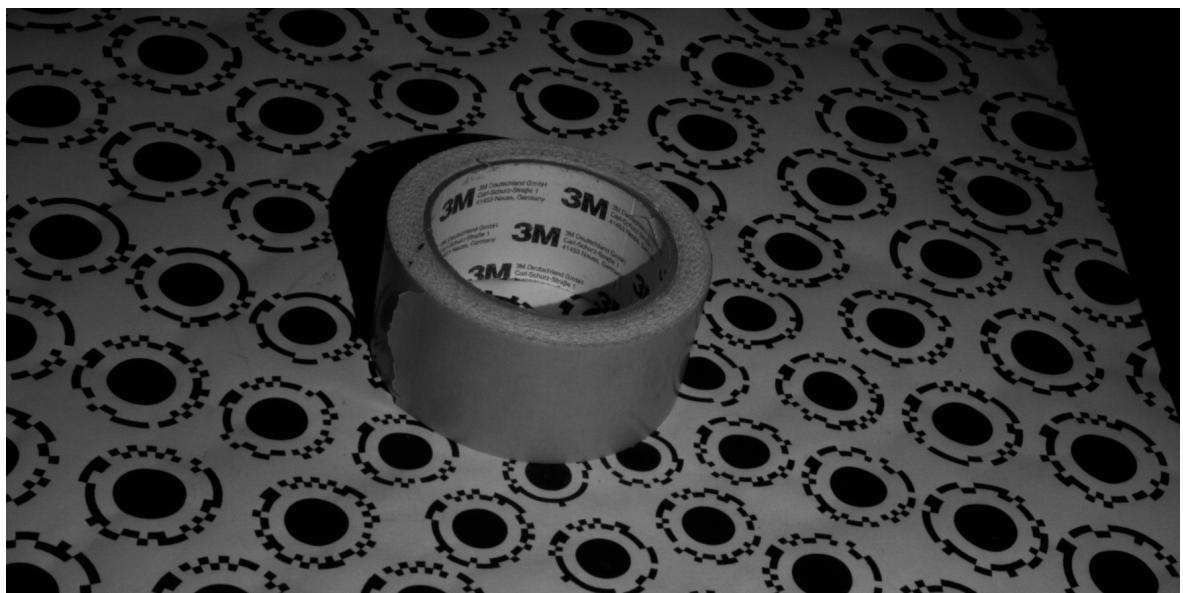
```
const GLfloat cube_vertices [8][3] = {
    {1.0, 1.0, 1.0}, {1.0, -1.0, 1.0}, {-1.0, -1.0, 1.0}, {-1.0, 1.0, 1.0},
    {1.0, 1.0, -1.0}, {1.0, -1.0, -1.0}, {-1.0, -1.0, -1.0}, {-1.0, 1.0, -1.0}};
const short cube_faces [6][4] = {
    {3, 2, 1, 0}, {2, 3, 7, 6}, {0, 1, 5, 4}, {3, 0, 4, 7}, {1, 2, 6, 5}, {4, 5, 6, 7}};
```

4.5.2 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[Kovacovsky13]. 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. Toto svetlo projektuje pruhy, ktorými rozreže skenovaný objekt na jednotlivé roviny, pričom každá rovina je 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. Ked sú nasnímané všetky požadované nasvietenia, motor stôl pootočí a projektor začne objekt znova nasvecovať z nového uhlu[Kovacovsky12-a][Kovacovsky12-b].

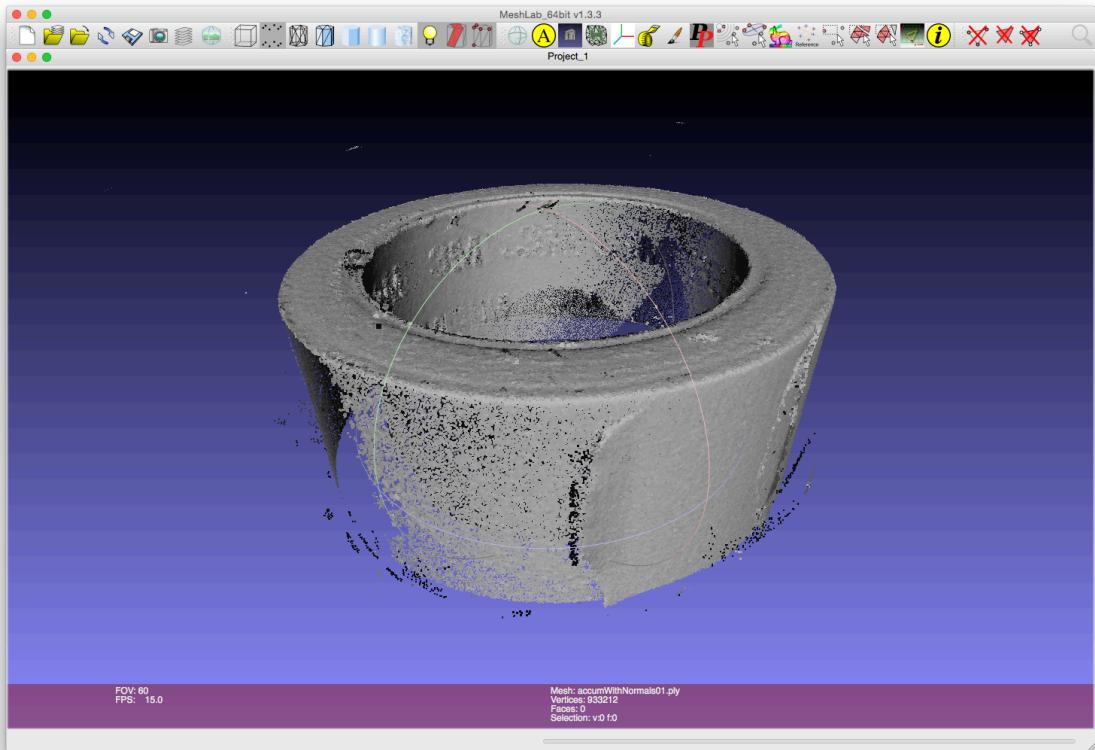
Počítač z obrazu dekóduje jednotlivé roviny a po zosnímaní zo všetkých strán vytvorí mračno bodov (anglicky *point cloud*) reprezentujúce objekt. Toto mračno je potom potrebné v modelovacom nástroji obalíť stenami a výsledný model sa môže použiť ako model oklúderu. Priemerná prestonosť SMISSu je 500 µm[Kovacovsky12-b].



Obrázok 4.5: Lepiaca páska z pohľadu skeneru SMISS

4.5.3 3D tlač

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



Obrázok 4.6: Mračno bodov, ktoré je výstupom skenovania SMISSom

STL model nahráme do *sliceru*, 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 dátu 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 siet vnútorných stien, aby sa nerozpadol. V prípade, že tlačený predmet obsahuje časti, ktoré prevísajú von a teda by ich nebolo ako tlačiť do vzduchu, môže slicer dopočítať podpery, ktoré sa vytlačia spolu s modelom a po vytlačení sa odrezú. 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 $100 \mu\text{m}$, čo je okolo 255 dpi, teda 255 vrstiev na jeden palec výšky. Nevýhodou je, že s kvalitou rýchlo narastá aj čas, ktorý tlačenie potrvá.

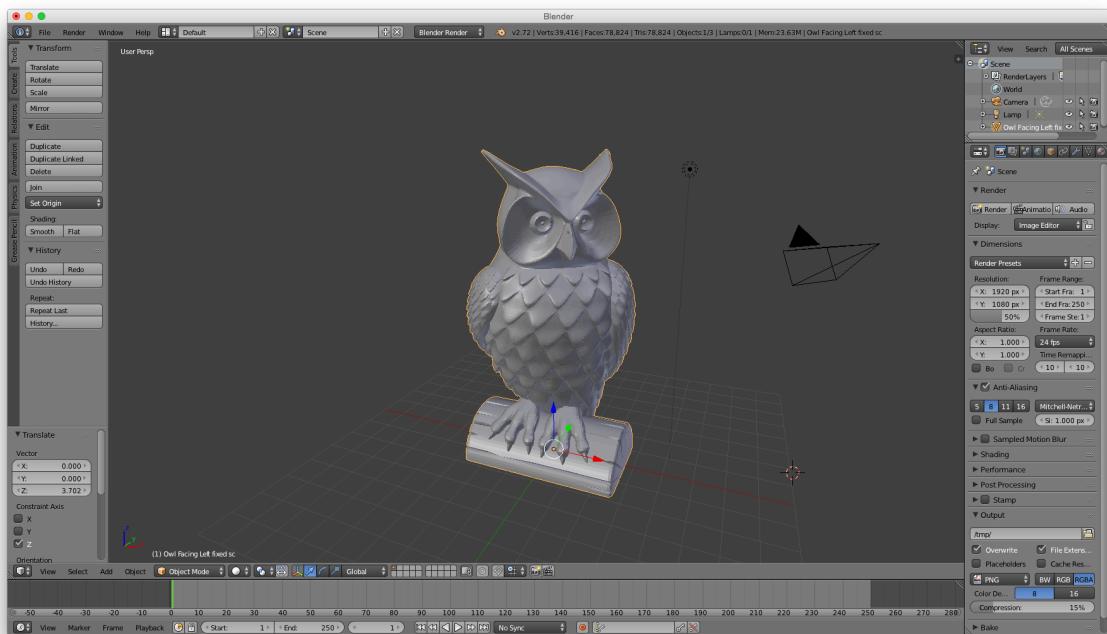
Poznamka: hovorila si, že SMISS by mal byt presnejši, možno som nieco zle pochopil, alebo vychadzam zo starých údajov. K tej svojej tlačiarne MakerBot uvadza vyskuu vrstvy 0.1mm , toto je uvedene aj na wiki ako presnosť dobrych komercných

tlaciarni. Tomas uvadza v tom clanku z 2012: Average accuracy of our system was measured as 0.5 millimeter, when we scan a flat ceramic table in distance of 800 millimeters. Je to stara informacia?

TODO odstran poznamku

blabla³

TODO footnote na nieco prives



Obrázok 4.7: Digitálny model sovy, otvorený v modelovacom programme Blender

4.6 Oklúzia v rozšírenej realite

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 okrem virtuálneho 3D modelu poznala aj jeho veľkosť a polohu na scéne voči markeru, prípadne ho vedela inak rozoznať.

³Slobodný model sovy vytvoril modelár Tom Cushwa[Thingiverse]



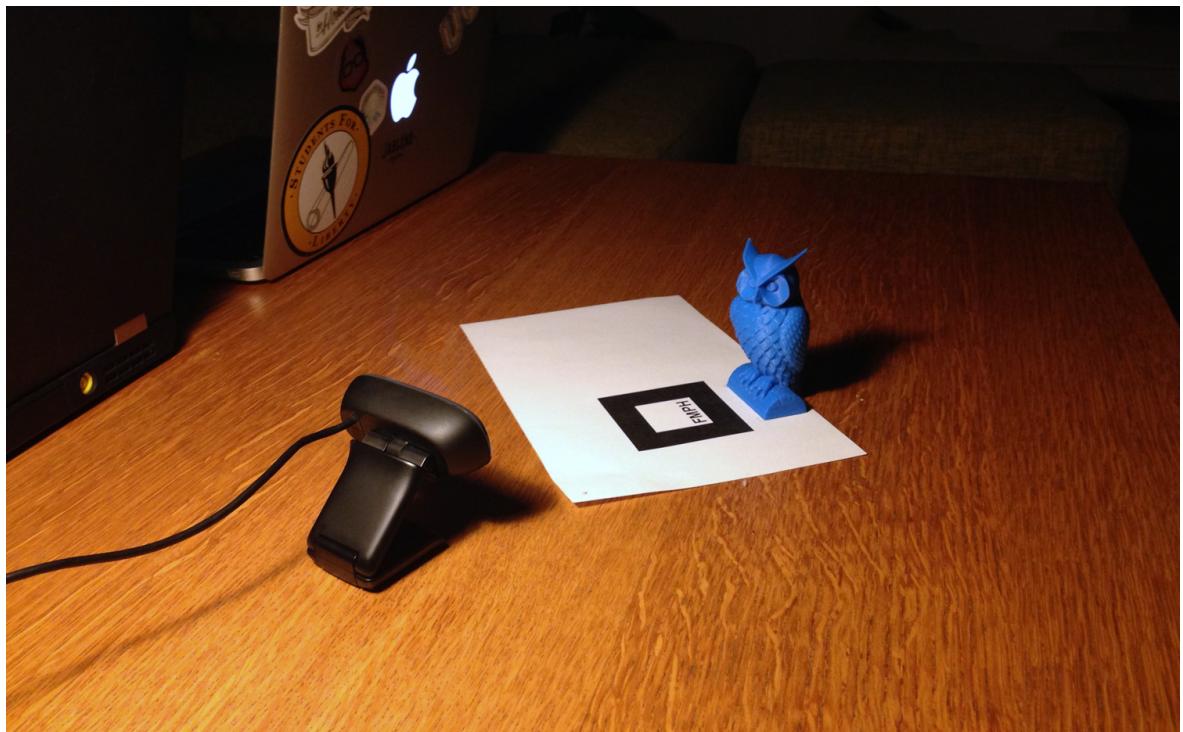
Obrázok 4.8: Fyzický model sovy, ktorý sme vytlačili na 3D tlačiarni

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 mat správne nakalibrovanú kameru, aby sa virtuálne objekty premietali čo najpresnejšie na svoje miesta.

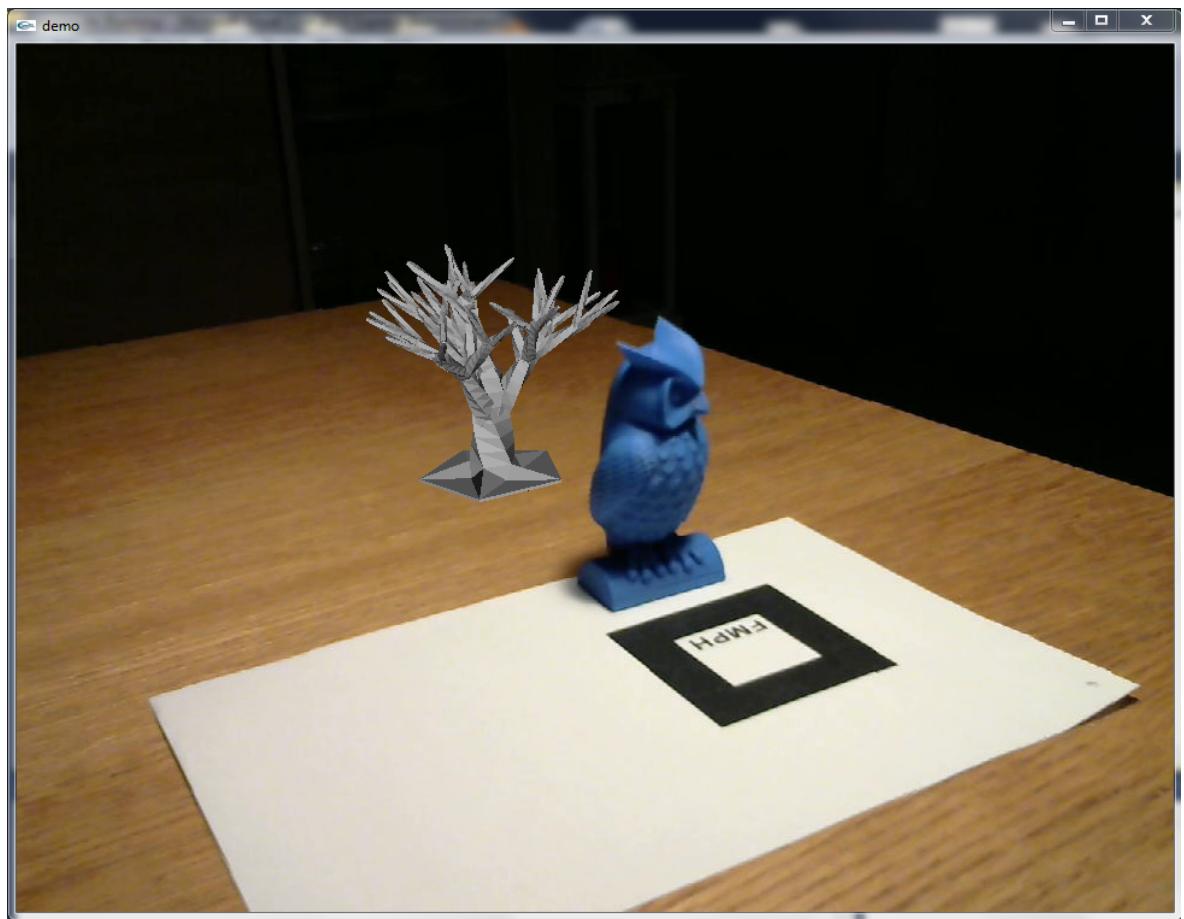
Najprv si vykreslíme pomocou OpenGL oklúder do *stencil bufferu*. Tento buffer je binárnym obrázkom veľkosti vykreslovaného okna a slúži ako úložné miesto na dočasné informácie o danom obraze. Na každý bod v stencil bufferi zapíšeme true, pokiaľ by sa na dané súradnice v normálnom pohľade vyrenderovala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

```
//render occluder to stencil buffer
glEnable(GL_STENCIL_TEST);
glStencilOp(GL_REPLACE, GL_REPLACE, GL_REPLACE);
glStencilFunc(GL_ALWAYS, 1, 0xffffffff);
DrawOccluder();
```

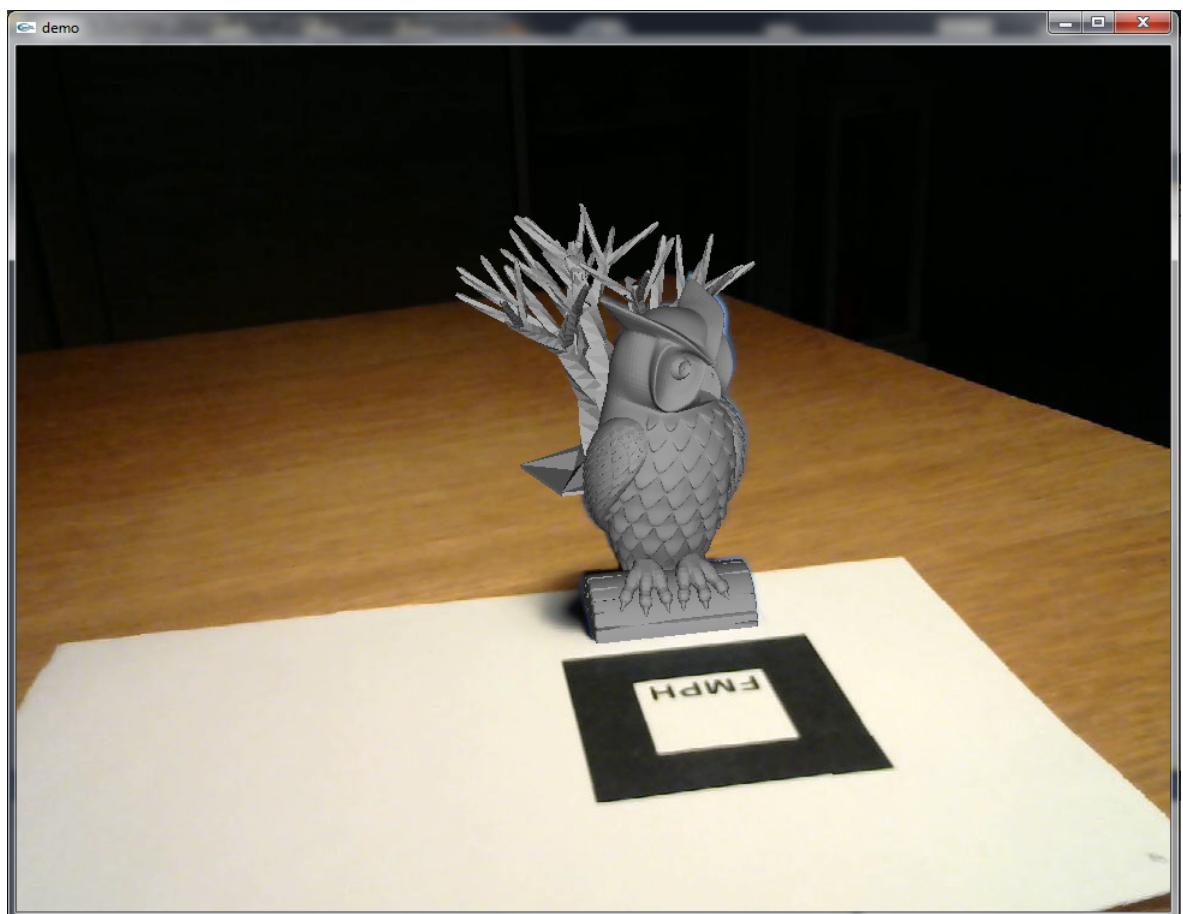
```
//render occluded object  
glStencilFunc(GL_GREATER, 1, 0xffffffff);  
glStencilOp(GL_KEEP, GL_KEEP, GL_KEEP);  
DrawObject();  
glDisable(GL_STENCIL_TEST);
```



Obrázok 4.9: Scéna na ktorej demonštrujeme oklúziu. Modrý model sovy je oklúderom.



Obrázok 4.10: Skutočný a virtuálny objekt sa neprekryvajú, takže k oklúzii nedochádza



Obrázok 4.11: Natočili sme scénu tak, aby sa objekty prekrývali a nechali sme vykreslovať aj virtuálny model oklúderu, ktorý sa pomocou markeru registruje cez skutočnú sovu.



Obrázok 4.12: V predchádzajúcej scéne sme nechali oklúder renderovať iba do stencil bufferu a výsledkom je oklúzia s fyzickým objektom.

Kapitola 5

Budúcnosť rozšírenej reality

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 laboratóriach. Vďaka tomu, že na sprostredkovanie 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 spúštať 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 vela vyťažiť [Zhou08].

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

Velké 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 tarlavé. Počítače, displeje a kamery boli väčšie, nepresnejšie a potrebovali viac energie. Batérie boli ľahšie a zaberali viac priestoru. Helmy s rozšírenou realitou najprv pokrývali celú hlavu, boli ľahké 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 vyzerať dobre a ich používateľia sa nesmú cítiť divnými.

5.1.1 Google Glass

Jednými z okuliarov, ktorým by sa mohlo podarí stať sa používanými na verejnosti sú Google Glass. Glass sú futuristické okuliare od Googlu, ktoré majú v rámne zabudovanú malú batériu, počítač, kamery a projektor, ktorý premietá 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[Google14-b]. Napriek tomu sa na nich dá rozšírená realita aplikovať — napríklad firma Layar pre ne vytvorila svoju aplikáciu, ktorá používateľovi na domy, na ktoré sa pozera umiestňuje v prípade, že sú na predaj ikonky a zobrazuje ich stránky v realitných kanceláriach[LayarAR]. 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 verzií.



Obrázok 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

Kanadčan 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[Eyeborg]. Momentálne musí používateľ pozerať 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[Dobelle00]. Až sa podobné operácie stanú úplne bežnými, tieto bionické oči budú ideálnou platformou na rozšírenú realitu.

5.2 Ďalšie zmysly

poznamka: na toto mi neostal cas, bud si precitam co pises v tej dizertacke o zmysloch a nieco sem napisem, alebo tuto sekciu vyhodim TODO vyriesit

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 používať počuje[Azuma97][Bimber05]. Táto technológia je veľkou výzvou, pretože zvuk sa retušívať fajšie, ako obraz, ale okrem toho jeho zmysel závisí od okolia v čase. Video vstup zastavený v jednom bode času je obraz. Tento obraz súčasťne neobsahuje všetky informácie z videa, ale má sám o sebe zmysel. Počítač môže rýchlo každý obraz rozanalizovať, 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 obtiažná, má momentálne aj nízke praktické využitie. V budúcnosti to ale pravdepodobne bude jeden zo smerov, kam sa výskum posunie.

5.3 Uchytenie v bežnom živote

Poznamka: tuto časť som prehodil sem, pretože mi pride zaujímava a paci sa mi. uznavam že sa tyka temy len okrajovo a ak si myslis že je to uz moc (je to malo exaktne, prilis nazorove), tak ju vyhodim. Tiež pochopim ak povies ze pisem hluposti o veciach ktorym nerozumiem, ale vsetky myslenky som prebral z podla mna relevantnych zdrojov TODO zmazat poznamku

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. Jednou z otázok súčasnosti je aj to, či sa tento koncept naozaj presadí v bežnom živote.

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[Orgonas10]. Tieto aplikácie sa staly okamžitým hitom, pretože väčšina používateľov si na nich mohla vyskúšať rozšírenú realitu po prvý krát. Ich popularita však postupne klesla, ako je vidno aj v rebríčkoch mobilných obchodov s aplikáciami, pravdepodobne preto, že praktické využitie a pohodlie používania bolo nízke.

S príchodom chytrých okuliarov dostane rozšírená realita druhú šancu. Najlepšiu použitelnosť a praktickosť by mohli mať napríklad aplikácie s navigáciou. Tieto okuliare sa však zrejme budú musieť rozšíriť za iným cielom, 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[Gross14]. Mat Honan, jeden z prvých používateľov povedal, že nevie kam ich má nosiť. Nenosí ich do reštaurácie, pretože by to vyzeralo drzo, akoby počas jedla pracoval na telefóne. Nenosí ich do barov, neenosí 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[Honan13].

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[Honan13]. 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 tažké predpovedať ktoré technológie budú úspešné a rozšírené. Doba nositeľných a všadeprítomných počítačov však vyzerá pre rozšírenú realitu ako stvorená.

Záver

Úlohou práce bolo naprogramovanie aplikácie, ktorá v reálnom čase zaregistrouje objekt a vykreslí zaň iný virtuálny objekt, čiastočne prekrytý tým skutočným.

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.

Tromi rôznymi metódami sme si pripravovali oklúdery, naprogramovali sme načítavanie modelov, kalibrovali kameru, vytvorili vlastný marker, korektne registrovali scénu, zabezpečili oklúziu a poskladali to celé do jednej demonštrácie. Týmto považujeme cieľ práce za naplnený.

Podobná aplikácia (rozšírená realita obohatená o oklúziu) by mohla mať využitie v umení, zábave, na vyučovaní alebo v ľubovoľnom prípade v ktorom chceme zvýšiť pocit realickosti z rozšírenej reality.

TODO uz mi to nemysli, ale realickost nie je skutočne slovo.

TODO pridaj marker do prilohy

Literatúra

- [Alahi12] Alexandre Alahi, Raphael Ortiz, and Pierre Vandergheynst. “Freak: Fast retina keypoint”. In: *Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), 2012 IEEE Conference on.* Ieee. 2012, pp. 510–517.
- [ARToolKit-a] *ARToolKit Documentation.* <http://www.hitl.washington.edu/artoolkit/documentation/vision.htm>.
- [ARToolKit-b] ARToolKit. <http://www.hitl.washington.edu/artoolkit/>.
- [ArUco] ArUco. <http://www.uco.es/investiga/grupos/ava/node/26>.
- [Azuma01] Ronald Azuma et al. “Recent advances in augmented reality”. In: *Computer Graphics and Applications, IEEE* 21.6 (2001), pp. 34–47.
- [Azuma97] Ronald T Azuma et al. “A survey of augmented reality”. In: *Presence* 6.4 (1997), pp. 355–385.
- [Bay06] Herbert Bay, Tinne Tuytelaars, and Luc Van Gool. “Surf: Speeded up robust features”. In: *Computer vision–ECCV 2006*. Springer, 2006, pp. 404–417.
- [Bimber05] Oliver Bimber and Ramesh Raskar. *Spatial augmented reality: merging real and virtual worlds*. Vol. 6. AK Peters Wellesley, MA, 2005.
- [Calonder10] Michael Calonder et al. “Brief: Binary robust independent elementary features”. In: *Computer Vision–ECCV 2010*. Springer, 2010, pp. 778–792.
- [Collada] Khronos Group. <http://www.khronos.org/collada>.
- [Dobelle00] Wm H Dobelle. “Artificial vision for the blind by connecting a television camera to the visual cortex”. In: *ASAIO journal* 46.1 (2000), pp. 3–9.
- [Eyeborg] Eyeborg Project. <http://eyeborgproject.com/>.
- [Fragoso11] Victor Fragoso et al. “Translatar: A mobile augmented reality translator”. In: *Applications of Computer Vision (WACV), 2011 IEEE Workshop on.* IEEE. 2011, pp. 497–502.

- [Google14-a] Google. *Explorer Story: Patrick Jackson (through Google Glass)*. <https://www.youtube.com/watch?v=QPbZy2wrTGk>. 2014.
- [Google14-b] Google. <https://www.google.com/glass/start/>.
- [Gross14] Anisse Gross. <http://www.newyorker.com/currency-tag/whatsthe-problem-with-google-glass>.
- [Hartley03] Richard Hartley and Andrew Zisserman. *Multiple view geometry in computer vision*. Cambridge university press, 2003.
- [Havenga] Barend Havenga. http://www.reddit.com/r/pics/comments/lplfb/hud_on_a_boeing_737800.
- [Honan13] Mat Honan. <http://www.wired.com/2013/12/glasshole/>.
- [Ismert12] Ryan Ismert. *Rich Sports Data and Augmented Reality*. <http://strataconf.com/strata2012/public/schedule/detail/22627>. 2012.
- [Julier00] Simon Julier Yohan et al. “Bars: Battlefield augmented reality system”. In: *In NATO Symposium on Information Processing Techniques for Military Systems*. Citeseer. 2000.
- [Kato99] 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*. IEEE. 1999, pp. 85–94.
- [Kovacovsky12-a] Tomáš Kovačovský. “Scalable multifunctional indoor scanning system”. PhD thesis. Citeseer, 2012.
- [Kovacovsky12-b] Tomáš Kovačovský. “HDR SMISS–Fast High Dynamic Range 3D Scanner”. In: () .
- [Kovacovsky13] Tomáš Kovačovský. <https://www.youtube.com/watch?v=TWlhbInC7vc>.
- [LayarAR] Layar AR. <https://www.youtube.com/watch?v=rBPmG5mqWfI>.
- [Leutenegger11] Stefan Leutenegger, Margarita Chli, and Roland Yves Siegwart. “BRISK: Binary robust invariant scalable keypoints”. In: *Computer Vision (ICCV), 2011 IEEE International Conference on*. IEEE. 2011, pp. 2548–2555.
- [Livingston02] Mark A Livingston et al. *An augmented reality system for military operations in urban terrain*. Tech. rep. DTIC Document, 2002.
- [Livingston11] Mark A Livingston et al. “Military applications of augmented reality”. In: *Handbook of augmented reality*. Springer, 2011, pp. 671–706.

- [Lowe99] David G Lowe. “Object recognition from local scale-invariant features”. In: *Computer vision, 1999. The proceedings of the seventh IEEE international conference on*. Vol. 2. Ieee. 1999, pp. 1150–1157.
- [Marescaux04] Jacques Marescaux et al. “Augmented-reality-assisted laparoscopic adrenalectomy”. In: *Jama* 292.18 (2004), pp. 2211–2215.
- [Orgonas10] Jozef Orgonáš. <http://www.itnews.sk/spravy/software/2010-01-18/c131299-augmented-reality-realne-na-slovensku-zlate-stranky-pouzivaju-layar?ref=rss>.
- [Reiners98] Dirk Reiners et al. “Augmented reality for construction tasks: Dorlock assembly”. In: *Proc. IEEE and ACM IWAR* 98.1 (1998), pp. 31–46.
- [Schonauer13] In:
- [Sielhorst04] Tobias Sielhorst et al. “An augmented reality delivery simulator for medical training”. In: *International Workshop on Augmented Environments for Medical Imaging-MICCAI Satellite Workshop*. Vol. 141. 2004.
- [Smith97] Stephen M Smith and J Michael Brady. “SUSAN—a new approach to low level image processing”. In: *International journal of computer vision* 23.1 (1997), pp. 45–78.
- [Sportvision] Sportvision. <http://www.sportvision.com/>.
- [Studierstube-a] Studierstube. <http://studierstube.icg.tugraz.at/download.php>.
- [Studierstube-b] Studierstube. <http://studierstube.icg.tugraz.at/opentracker/>.
- [Thingiverse] MakerBot Thingiverse. <http://www.thingiverse.com/thing:18218>.
- [Tola10] Engin Tola, Vincent Lepetit, and Pascal Fua. “Daisy: An efficient dense descriptor applied to wide-baseline stereo”. In: *Pattern Analysis and Machine Intelligence, IEEE Transactions on* 32.5 (2010), pp. 815–830.
- [Tuzel06] Oncel Tuzel, Fatih Porikli, and Peter Meer. “Region covariance: A fast descriptor for detection and classification”. In: *Computer Vision-ECCV 2006*. Springer, 2006, pp. 589–600.
- [Volosin11] Marek Vološín. “Rozpoznávanie obrazov v robotike”. MA thesis. Technická univerzita v Košiciach, 2011.
- [Vuforia] Vuforia. <https://www.qualcomm.com/products/vuforia>.

- [Wagner07] Daniel Wagner and Dieter Schmalstieg. *Artoolkitplus for pose tracking on mobile devices*. na, 2007.
- [Wavefront] Wavefront Technologies. *Object file specification*. <http://www.martinreddy.net/gfx/3d/0BJ.spec>.
- [Web3D] Web3D Consortium. <http://www.web3d.org/x3d/what-x3d>.
- [Webster96] Anthony Webster et al. “Augmented reality in architectural construction, inspection and renovation”. In: *Proc. ASCE Third Congress on Computing in Civil Engineering*. 1996, pp. 913–919.
- [Zhou08] 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*. IEEE Computer Society. 2008, pp. 193–202.