

UNIVERZA V LJUBLJANI
FAKULTETA ZA RAČUNALNIŠTVO IN INFORMATIKO

Rok Lukšič

**Realistično združevanje videa z
računalniško generiranimi predmeti**

DIPLOMSKO DELO

UNIVERZITETNI STROKOVNI ŠTUDIJSKI PROGRAM PRVE
STOPNJE RAČUNALNIŠTVO IN INFORMATIKA

MENTOR: doc. dr. Matija Marolt

Ljubljana 2013

Rezultati diplomskega dela so intelektualna lastnina avtorja in Fakultete za računalništvo in informatiko Univerze v Ljubljani. Za objavlanje ali izkoriščanje rezultatov diplomskega dela je potrebno pisno soglasje avtorja, Fakultete za računalništvo in informatiko ter mentorja.

Besedilo je oblikovano z urejevalnikom besedil $\text{\LaTeX}$.



Št. naloge: 00087/2013

Datum: 10.04.2013

Univerza v Ljubljani, Fakulteta za računalništvo in informatiko izdaja naslednjo nalogo:

Kandidat: **ROK LUKŠIČ**

Naslov: **REALISTIČNO ZDRUŽEVANJE VIDEO Z RAČUNALNIŠKO
GENERIRANIMI PREDMETI**
**REALISTIC INTEGRATION OF VIDEO WITH COMPUTER GENERATED
MODELS**

Vrsta naloge: Diplomsko delo univerzitetnega študija prve stopnje

Tematika naloge:

V diplomskem delu raziščite in opišite postopke, ki se uporabljajo pri združevanju video posnetkov z računalniško generiranimi 3D predmeti. Posvetite se zajemu gibanja kamere in osvetlitvi predmetov ter izpostavite ključne dejavnike za doseganje realističnega izgleda. Za ilustracijo izdelajte praktičen primer združitve videa in 3D predmetov.

Mentor:


doc. dr. Matija Marolt

Dekan:


prof. dr. Nikolaj Zimic



IZJAVA O AVTORSTVU DIPLOMSKEGA DELA

Spodaj podpisani Rok Lukšič, z vpisno številko **63090018**, sem avtor diplomskega dela z naslovom:

Realistično združevanje videa z računalniško generiranimi predmeti

S svojim podpisom zagotavljam, da:

- sem diplomsko delo izdelal samostojno pod mentorstvom doc. dr. Matije Marolta,
- so elektronska oblika diplomskega dela, naslov (slov., angl.), povzetek (slov., angl.) ter ključne besede (slov., angl.) identični s tiskano obliko diplomskega dela
- soglašam z javno objavo elektronske oblike diplomskega dela v zbirki "Dela FRI".

V Ljubljani, dne 26. avgusta 2013

Podpis avtorja:

Zahvaljujem se mentorju mojega diplomskega dela, docentu, dr. Matiji Maroltu, za strokovno vodenje pri izdelavi naloge.

Diplomsko delo je posvečeno vsem ljubiteljem filmske umetnosti in navdušencem, ki vedo da je film veliko več kot le gibajoča slika na platnu.

Kazalo

Povzetek

Abstract

1	Uvod	1
1.1	Kje se s problemom srečujemo?	2
1.2	Cilji	3
2	Zajem gibanja	5
2.1	Prepoznavanje značilnih točk	6
2.2	Rekonstrukcija 3d prostora	10
2.3	Snemanje	18
3	Doseganje realizma	23
3.1	Zajem gibanja	23
3.2	Osvetlitev	24
3.3	Sence	34
3.4	Interakcija z okolico	34
3.5	HDRI	35
3.6	Zvok	41
4	Primer združitve videa z računalniško generiranimi elementi	43
4.1	Priprava in snemanje	43
4.2	Uporabljene tehnologije in programi	44
4.3	Komentar	48

5 Sklepne ugotovitve	51
----------------------	----

Povzetek

V tem diplomskem delu so opisani glavni postopki, ki se uporabljajo pri združevanju video posnetkov z računalniško generiranimi 3d elementi. Največji del je posvečen zajemu gibanja, ki je osnova za uspešno združitev. Prav tako pa se dotika različnih načinov osvetljevanja ter pripadajočih senc. Predstavljeni so ključni dejavniki, ki vplivajo na realističen izgled posnetka po uspešni združitvi. Pri nastajanju tega dela so bila preučena številna dela iz področja zajema gibanja, računalniškega vida, projektivne geometrije, fotografije in računalniške grafike. Za boljši prikaz predstavljenih konceptov je izdelan tudi praktičen primer združitve videa in kasneje umeščenih 3d objektov. Primer je nastal z upoštevanjem smernic, ki jih podajajo glavni strokovnjaki na tem področju, vendar je zaradi potreb tega dela ohranil svojo enostavno zgradbo.

Abstract

This work contains main procedures which are used by integrating computer generated 3d elements with video material. Main part is dedicated to motion capture which is the foundation for successful integration. It also contains different ways of lightning techniques and shading as well. Key factors are presented which have most impact on the realistic look after successful integration. By creating this work literature from motion capture, computer vision, projective geometry, photography and computer graphics was studied. For enhancing presentation of concepts included was also created practical experiment of an integration. Experiment was made according guidelines of leading experts in this field, but for the purpose of this work it remains in simple form.

Poglavje 1

Uvod

Če hočemo zares dobro razumeti problem združevanja računalniško generiranih elementov z videom, je najbolje, da si najprej predstavljamo, da želimo posneti akcijski film. V tem filmu želimo imeti akcijski kader, kjer vojaški helikopterji letijo po ozki ulici v pregonu za zločinci. Problem je, da nimamo dovolj denarja, da bi sceno zares posneli, sploh pa je izvedba prenevarna. Ostane nam samo to, da z uporabo napredne programske opreme izdelamo 3d model vojaških helikopterjev in jih poizkusimo združiti z video posnetkom ulice, kjer hočemo, da se naša akcija odvije. Naš problem je torej, kako združiti originalni posnetek z računalniško generiranimi objekti na tak način, da se umetno generiran objekt zlije s prvotnim videom in je za gledalca čim bolj naraven. Cilj takih posegov je, da izgledajo tako pristno, kot da posega sploh ne bi bilo.

Pri umestitvi računalniško generiranih objektov v video se srečujemo s precejšnjim številom dejavnikov, ki vplivajo na izgled končnega produkta. Prvi problem nastane, ko skušamo ugotoviti, kakšne so zakonitosti prostora na posnetku, da bi lahko pravilno umestili naš 3d objekt. Ker je film 2d projekcija 3d prostora, nastane problem pri določanju globine in velikostnih razmerij. Pozicija 3d objekta znotraj navideznega koordinatnega sistema mora sovpadati s premikanjem kamere skozi celotno dolžino posnetka. Že zelo majhne nekonsistence lahko povzročijo občutek nerealnosti in spremenijo 3d

objekt v tujek. Problem je nekoliko lažji v primeru, da je kamera statična. To pomeni, da se perspektiva skozi čas ne spreminja.

Prav tako ima velik vpliv na realističen izgled 3d objektov osvetlitev, ki mora biti čim boljši približek osvetlitvi, ki je bila prisotna v originalnem posnetku. Ujemati se mora tako v smeri žarkov, kot v jakosti svetlobe. Kot posledica osvetljevanja pa seveda zraven sodi tudi senčenje in tekstura okoliške odbite svetlobe, ki ustvarja svetlobne vzorce na površini objektov.

V primeru, da se naš 3d objekt giblje ali ima kakršnokoli drugo interakcijo z okolico, je potrebno zagotoviti dovolj natančne približke realnih odzivov. To ponavadi pomeni, da moramo s programsko opremo zgraditi grobo shemo, ki je dovolj dober približek realni situaciji iz posnetka. Vključiti je potrebno tudi vse elemente, ki sodelujejo v interakciji (npr. avto, žoga, stopnice, stena ...), nato pa poskušamo ugotoviti, kako naj bi naša interakcija izgledala. Pri simulaciji interakcij nam izredno koristijo fizikalni pogoni, ki so navadno že prisotni v naprednejših animacijskih programih. Omogočajo nam avtomatizacijo posledic glede na fizikalne zakonitosti, katere lahko s številnimi parametri nadzorujemo in tako dosegamo želene učinke padanja, odbijanja, vrtenja in drugih fizikalnih lastnosti.

1.1 Kje se s problemom srečujemo?

Umeščanje 3d elementov v video se pojavlja predvsem v filmski industriji. Danes skorajda ni več filma, kjer ne bi uporabili principe zajema gibanja. Večina jih uporablja tovrstne tehnike za vstavljanje animiranih karakterjev ali za poustvarjanje posebnih video efektov. Pred leti so tovrstne stvari ustvarjali z metodo poizkušanja in napak, kar je posledično privedlo do velikih časovnih zamud in veliko stopnjo ročnih napak. Zato se je razvila avtomatska segmentacija videa na ravni računalniške slikovne obdelave.

Podobni principi in uporaba skoraj identičnih pristopov na področju računalniškega vida pa se pojavljajo na velikem spektru dejavnosti. Najbližji so nam verjetno primeri uporabe v nadzornih sistemih, ki programsko nadzirajo in prepo-

znavaajo premikajoče objekte. Tovrstni sistemi nam poenostavljajo življenje, predvsem pa avtomatizirajo nadzor in s tem povečujejo varnost. Prav tako se tovrstni pristopi uporabljajo pri radarskih kontrolah, kjer je potrebna analiza večjega števila premikajočih objektov. Postopki in rešitve se razlikujejo na posameznih primerih, saj te rešitve zahtevajo določeno specifikko. Ne glede na gospodarsko področje pa v ozadju stojijo osnove projekтивne geometrije in algoritmi za iskanje značilnih regij, ki dajejo matematično osnovo za rešljivost problema.

1.2 Cilji

Filmska industrija je v dobi računalnikov doživela velikanski razcvet. Sodobna tehnologija je namreč omogočila obdelavo filmov in domačih posnetkov takorekoč vsakomur, ki si lahko privošči malo bolj zmogljiv računalnik. Napredek v tehnologiji in programski opreми pa je omogočil tudi združitev filma in animacije na povsem drugi ravni kot poprej. Ti dve panogi sta sedaj tako zelo povezani, da skorajda vsak film, ki ugleda luč svetovne slave, vključuje vsaj nekaj animacije. Pogosto je delo animatorjev in filmskih ustvarjalcev tako dobro opravljeno, da računalniško ustvarjenih elementov sploh ne opazimo. Cilj večine filmskih ustvarjalcev, ki se poslužujejo animacij, je tako dober približek realnosti, da gledalca ne zmoti pri njegovem dožemanju zgodbe. Za ustvarjanje navidezno resničnih objektov in interakcijo z njihovim okoljem pa je potrebno paziti na številne dejavnike, ki lahko vplivajo na realistični izgled. Cilj tega diplomskega dela je poiskati glavne dejavnike, ki vplivajo na gledalčevo percepcijo realizma ter raziskati, na kakšen način se jih v praksi poustvarja.

Osrednja tema tega diplomskega dela je, na kakšen način doseči realistične 3d posege v originalni video posnetek. Največji del je posvečen zajemu gibanja (matchmoving), ki je osnova za vsak nadaljnji poseg, ki ga naredimo. Prav tako pa se bom dotaknil osvetljevanja, saj prav tako igra eno od pomembnejših vlog pri doseganju realističnih podob. Ključnega po-

mena je spoznati temo in tehnike, ki se pri tovrstnih procesih uporabljajo in na podlagi tega ugotoviti, na kakšen način se je najbolje lotiti problema, da si zagotovimo čim boljše rezultate. Področje je ogromno in zelo aktualno, saj se v filmski industriji takšni procesi uporabljajo čedalje bolj. Tudi vse več je povpraševanja na amaterskem področju, zato je še toliko bolj pomembna poenostavitev in razumevanje tehnik, ki se pri tem uporabljajo. Ugotovitev, kateri so ključni koraki in ključni deli pri posnemanju realizma, so začetna težava vseh, ki se na kakršenkoli način ukvarjajo s tem področjem.

Poglavje 2

Zajem gibanja

Za pojmom, ki mu pravimo zajem gibanja (matchmoving), stoji proces, kjer združujemo računalniško ustvarjene 3d elemente z video gradivom, ki so posnetki dejanskega sveta. V osnovi to pomeni, da moramo z originalnega posnetka ugotoviti določene parametre, ki so se spreminjali med snemanjem in jih prav tako čim bolj natančno prenesti na 3d elemente, ki jih želimo združiti z videom. V idealnih primerih so nam ti parametri že vnaprej podani, ali pa so jasno razvidni iz samega posnetka. Problem pa nastane, ko nam parametri niso znani ali niso jasno razvidni. Taki problemi nastopijo v primeru, da na snemanju nismo bili dejansko prisotni in nam nihče ni podal nobenih informacij o samem snemanju videa. V takem primeru je delo precej oteženo, saj moramo parametre čim bolje oceniti, včasih celo uganiti.

Pri združitvi realnih posnetkov in računalniško generiranih 3d objektov gre predvsem za ujemanje v gibanju in spremembah v perspektivi. Če torej želimo, da bo izgled naše umestitve čim boljši približek realistični situaciji, moramo ugotoviti, kako se je premikala kamera po prostoru. Običajne kamere delujejo tako, da tekom časa shranjujejo zaporedne slike (frames), ki so dvodimenzionalne projekcije realnega prostora. Problem pa je, da nimamo shranjenih informacij o njenem premiku (razen v redkih primerih, kjer si lahko privoščimo posebno opremo). Klasični video zapisi ne vsebujejo eksplisitnega podatka o optičnih lastnostih objektiva, ki je prav tako pomemben

podatek, ki ga moramo upoštevati v procesu. V veliko boljšem položaju smo, če lahko prisostvujemo pri snemanju in si podatke o fokalni razdalji objektivna zapišemo. Prav tako so pomembni podatki o nastavitvah zaslonke, hitrosti zaklopa in tipu optičnega medija (včasih je bil to filmski trak, sedaj pa so najbolj pogosti optično občutljivi senzorji). Lahko izmerimo tudi razdaljo ostrjenja, kajti z upoštevanjem ostalih nastavitev in lastnosti kamere lahko definiramo globinsko ostrino, ki določa ostrino objektov v prostoru.

Vse podatke, ki jih nismo dobili iz samega snemanja, moramo nato pridobiti iz osnovnega videa. Pogosto se zgodi, da določenega podatka ne moremo ali ne znamo izračunati ali oceniti. Takrat poskusimo uganiti najbolj verjetno možnost, nato pa preverimo dejanski rezultat. Če je odstopanje preveliko, poskusimo iz rezultata oceniti napako ter ponovno uganiti najbolj verjetno možnost. To ponavljamo, dokler nismo zadovoljni z rezultatom. Če se dela lotimo na tak način, tvegamo, da bo proces dolgotrajen, zato je boljša rešitev, da čim več podatkov izvemo že na samem snemanju, v kolikor nam je to omogočeno.

Če je zajem gibanja opravljen dovolj dobro, je za gledalca praktično neviden, hkrati je to tudi cilj skoraj vsakega, ki hoče združiti 3d objekt z videom.

2.1 Prepoznavanje značilnih točk

Značilna točka na sliki pomeni neko zelo majhno regijo, ki se po neki svoji značilnosti razlikuje od svoje okolice. Največkrat je to skupek slikovnih točk (pixel), ki je v razmerju z velikostjo slike zelo majhen. Običajno so to regije, ki so v velikem kontrastnem razmerju s svojo okolico. Podobno deluje tudi naš vid. Če recimo pogledamo primer, ko je na sliki samo bela stena, nekje na njej pa je zabiti žebelj. Precej hitro se nam oči osredotočijo na žebelj. Stena s svojo monotono, skoraj nerazločno teksturo ne ustvarja dovolj kontrastnih regij, da bi vzbudila zanimanje za naše oči. Žebelj pa je proti steni veliko temnejši in zato v kombinaciji z okolico, torej belo steno, ustvarja visok kontrast v svoji regiji.

Določanje značilnih točk v sami sliki je torej iskanje zelo majhnih regij z visoko kontrastno okolico. Video pa navadno sestoji iz 25 slik na sekundo; torej potrebujemo nekaj, s čimer lahko našim značilnim točkam sledimo skozi video. Ta problem rešujemo z posebnimi algoritmi, med katerimi je precej znan SIFT.

2.1.1 SIFT

Scale-invariant feature transform ali na kratko SIFT je algoritem na področju računalniškega vida, ki zaznava in opisuje značilne regije znotraj posameznih slik. Algoritem je objavil David Lowe v letu 1999. Osnovna ideja je ugotavljanje ujemanja značilnih regij z algoritmom, ki je odporen na velikostne, rotacijske in svetlostne spremembe, ter celo na spremembe opazovalnega kota.

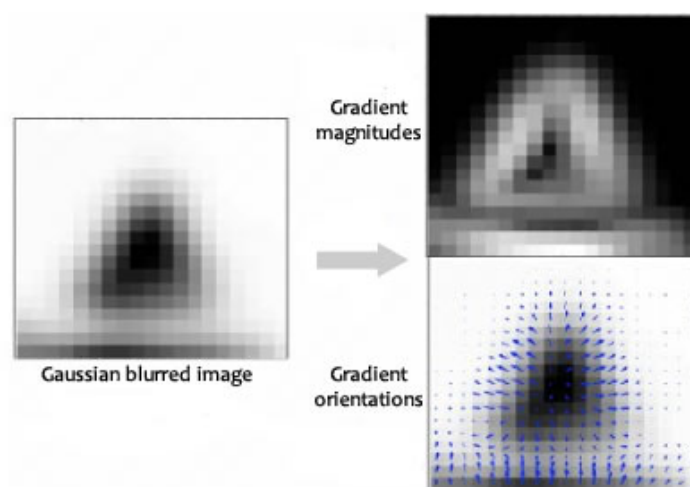
SIFT ključne točke so najprej razbrane in shranjene na podlagi nekaj referenčnih slik (v filmu je to ponavadi prvih nekaj slik). V nadaljevanju se te točke primerjajo z novo razbranimi točkami iz naslednje slike. Njihovo ujemanje se ugotavlja na podlagi evklidske razdalje med vektorji, ki predstavljajo posamezne ključne točke. Posamezni sklopi točk se nato preverjajo še z verjetnostnimi testi, ki zagotavljajo visoko zanesljivost rezultatov.

Ključne faze algoritma:

1. Detekcija značilnih regij

Sprva se celotna slika pretvori v veliko množico predstavitvenih vektorjev, kjer vsaka točka v sliki predstavlja svoj vektor. Nato sliko skaliramo na več velikosti in tako zgradimo velikostni prostor (scale space). Vsak velikostni razred po stopnjah gladimo z Gaussovo funkcijo glajenja. Ključne regije so rezultat razlike slik iz posameznega velikostnega prostora. Regije z nizkimi kontrastnimi razmerji in robnimi pogoji se opustijo že med samim postopkom. Ti koraki zagotavljajo boljšo stabilnost ključnih točk za nadaljnje primerjanje in razpoznavanje, predvsem pa zagotavljajo odpornost na skaliranje.

2. Ujemanje oblik in indeksiranje



Slika 2.1: Orientacija gradientov v okolici ključne točke.

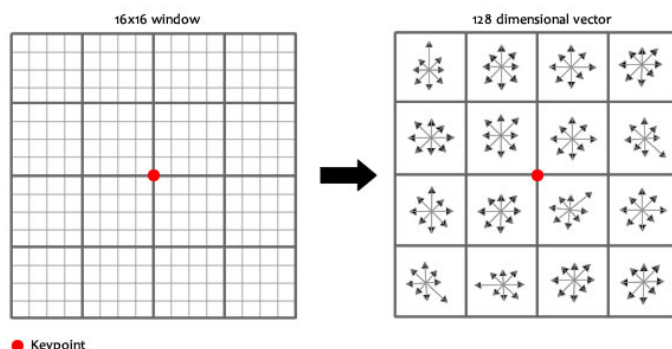
Indeksiranje sestoji iz shranjevanja ključnih točk in primerjanja le-teh z zaznamimi točkami iz naslednje slike. Za iskanje najbližjih sosednih točk se uporablja iskalni algoritem BBF (best-bin-first), ki je v bistvu iskanje po k-d drevesu, prirejeno tako, da je za dovolj visoko natančnost potrebno čim manj računanja. Najbližje sosedne točke so definirane kot točke z najmanjšo evklidsko razdaljo od predstavitvenega vektorja osnovne točke.

3. Določanje orientacije ključnih točk

Po prejšnjem koraku nam ostanejo stabilne ključne točke z njihovo bližnjo okolico. Ideja v tem koraku je, da določimo orientacijo vsaki značilni točki. To storimo z analizo jakosti gradientov v bližnji okolici točke. Tako lahko določimo vidne smeri v tej okolici in ključni točki dodelimo te smeri. Koncept dobro prikazuje slika 2.1.

4. Grajenje 128-dimenzionalnega vektorja

Vsako ključno točko hočemo opisati z vektorjem, ki jo bo razlikoval od ostalih točk. Okolico posamezne točke razdelimo z oknom 16 X 16. Znotraj tega okna opredelimo 16 oken velikosti 4 X 4. Iz vsakega



Slika 2.2: Orientacija gradientov v okolici ključne točke.

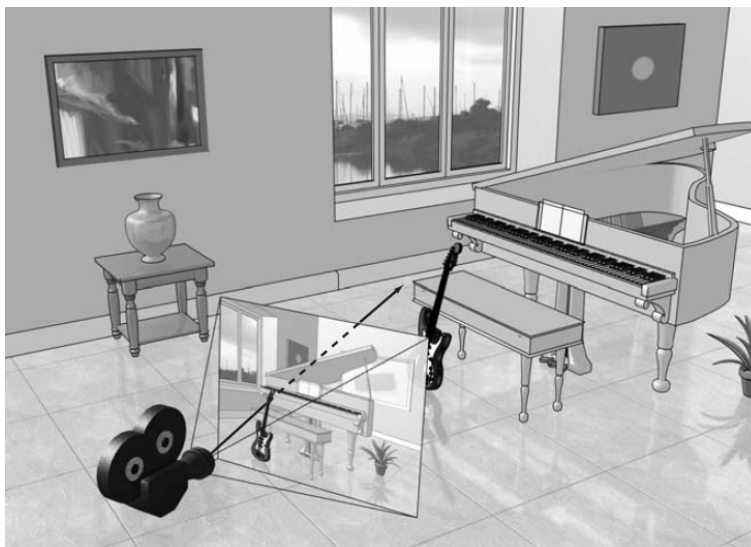
okna 4×4 izračunamo 8- stopenjski histogram, ki predstavlja jakost gradientov v posamezni smeri (krog razdelimo na 8 delov), tako kot prikazuje slika 2.2. Tako dobimo $4 \times 4 \times 8 = 128$ dimenzionalni vektor ki enolično opisuje posamezno ključno točko z njeno bližnjo okolico. Sedaj lahko primerjamo posamezne točke med sabo z njihovimi 128-dimenzionalnimi vektorji in tako ugotavljamo njihovo podobnost.

Večina algoritmov segmentira sliko avtomatsko, kar pomeni, da sledijo vsem sledljivim kontrastnim regijam, ki nastopajo v posamezni sliki in s tem poskušajo razbremeniti uporabnika. Da je to sploh mogoče, je potrebno ločiti seme od plevela. Za določanje kvalitete značilnih regij se ugotavlja njihovo stabilnost skozi čas, kar v osnovi pomeni, da dlje kot določena značilna regija obstaja in je sledljiva, boljša osnova je za sledenje gibanja. Regije s pomanjkljivo stabilnostjo se zanemarijo že med samim postopkom in se v nadaljnjih postopkih ne upoštevajo. Avtomatizacija predstavlja veliko prednost, ker razbremenijo uporabnika v tolikšni meri, da se mu ni potrebno ukvarjati z določanjem značilnih regij. Hkrati pa to pomeni, da končamo z velikim oblakom značilnih regij, ki zelo otežijo nadaljnje izračune o določanju perspektive. Prav tako lahko v najslabšem primeru prevladajo točke, ki tekom sledenja vsebujejo veliko stopnjo napake, kar pa pomeni, da bodo temelji za izračun gibanja kamere zelo površni. Zaradi tovrstnih pomanjkljivosti se v

profesionalnih vodah večinoma uporabljajo ročno določene značilne regije, ki zaradi majhnega števila poenostavijo matematično zahtevnost problema in hkrati omogočajo uporabniku, da si sam izbere sledljive značilne regije, kar zagotavlja znana razmerja med njimi.

2.2 Rekonstrukcija 3d prostora

Kamere in ostale podobne optične naprave delujejo tako, da zajemajo tridimenzionalni svet v dvodimenzionalno reprezentacijo (to je lahko slika, film, diapozitiv ...). Svetloba iz scene potuje skozi lečo kamere, ki zbere žarke, da padajo na svetlobno občutljiv medij, ki se skriva v ozadju kamere (film ali optično občutljiv senzor). Če hočemo združiti računalniške objekte z videom, so podatki o tridimenzionalnem prostoru scene nujni za uspešnost združitve. Objekt, ki ga umeščamo v video, mora biti v skladu s perspektivo in ostalimi zakoni 3d prostora, ki je predstavljen v videu. To pa pomeni, da moramo podatke o globini, ki so implicitno vsebovani v videu, izluščiti iz dvodimenzionalne projekcije. Zanimajo nas predvsem značilne točke ali regije, ki nam lahko doprinesejo čim več informacij o prostoru. Takšne značilne točke so lahko razni vogali ali robovi, pomembno je samo, da lahko z njihovo pomočjo čim boljše opišemo geometrijo prostora. Ko identificiramo takšne točke, jim moramo slediti skozi celotno sekvenco slik, ki sestavljajo video (ponavadi tako, kot je razloženo v prejšnjem poglavju). Iz pozicij teh točk skozi čas lahko izračunamo 3d rekonstrukcijo kamere, ki opisuje gibanje kamere skozi čas posnetka. Tej rekonstrukciji pravimo tudi kalibracija kamere. Poleg tega pa lahko izračunamo tudi pozicijo same značilne točke v 3d prostoru. Fotogrametrija je matematična veda, ki se ukvarja s takšnimi meritvami iz fotografij in veliko tehnik na tem področju služi rekonstrukciji 3d podatkov iz 2d predstavitev.

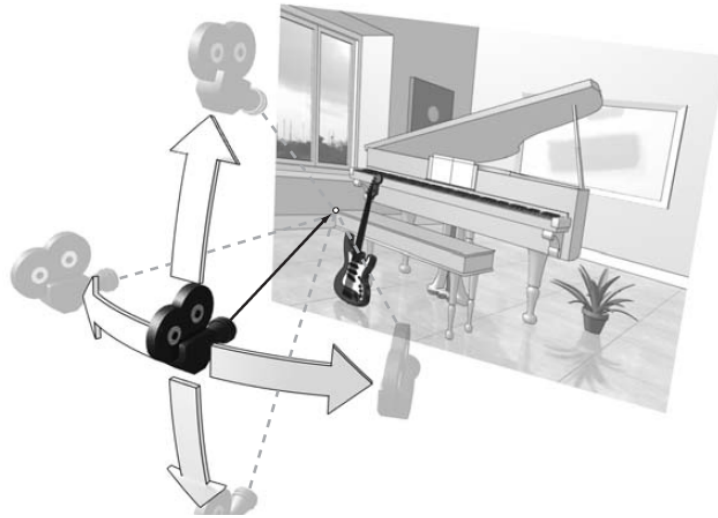


Slika 2.3: Odbiti svetlobni žarek tvori premico, ki določa možne pozicije projicirane točke.

2.2.1 Kalibracija kamere

Kalibracija kamere pomeni natančen opis gibanja kamere skozi čas, v katerem je bil posnet video. Vsi podatki o gibanju kamere so lahko pridobljeni iz videa, lahko pa so nam znani že od prej. Kalibracija se dotika predvsem pozicije kamere (znano tudi kot translacija) in njene rotacije. Prav tako pa je zelo pomembna goriščna razdalja objektiva ali morda celo njena sprememba, kajti osnovne zakone perspektive nam postavlja prav ta razdalja.

Posamezna slika iz video sekvence ima samo 2d informacije, ki vsebujejo podatke o 3d prostoru. Vsaka točka ima dve koordinati, ki določata njeno pozicijo na sliki. Hkrati pa tudi sovпада z 3d pozicijo znotraj prostora. Zaenkrat zagotovo vemo le to, da se je nek svetlobni žarek odbil od neke snovi v prostoru naravnost proti kameri in se tam odraža kot točka na sliki. Kot prikazuje slika 2.3, vogal klavirskega sedala na sliki sovпада z realno situacijo. Odbiti svetlobni žarek tvori premico, ki določa možne pozicije projicirane točke. Torej o tej točki vemo zaenkrat le to, da se nahaja nekje na tej premici.



Slika 2.4: Projekcijska premica zaklepa eno prostorsko stopnjo.

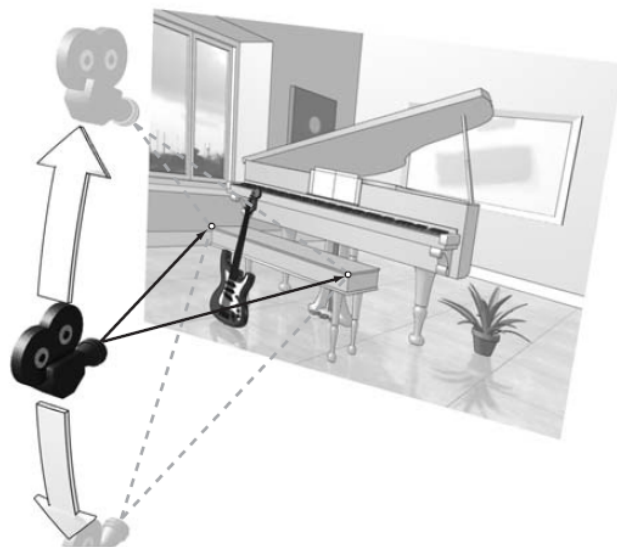
Projekcijska premica zaklepa eno prostorsko stopnjo glede na možne premike kamere, vendar to še vedno ni dovolj, da izvemo za pozicijo kamere (slika 2.4).

Če upoštevamo še dodatno točko na drugi strani klavirskega sedala, lahko gibanje kamere omejimo samo na možne premike gor in dol (slika 2.5).

V primeru, da dodamo še tretjo točko, lahko pozicijo kamere takorekoč zaklenemo na določeno usmerjenost, saj tri točke blokirajo vse rotacijske smeri kamere (slika 2.6).

Te informacije nam ustvarjajo dober začetek, vendar še vedno ne vemo popolnoma točno, kje naše točke ležijo vzdolž projekcijskih premic. Če obstaja še ena kamera, ki ima drugačno perspektivo, lahko s pomočjo identifikacije istih značilnih točk dobimo presečišča projekcijskih žarkov. Tako lahko poleg tega, da natančno določimo pozicijo kamer v prostoru, določimo tudi pozicijo značilnih točk (slika 2.7 in slika 2.8).

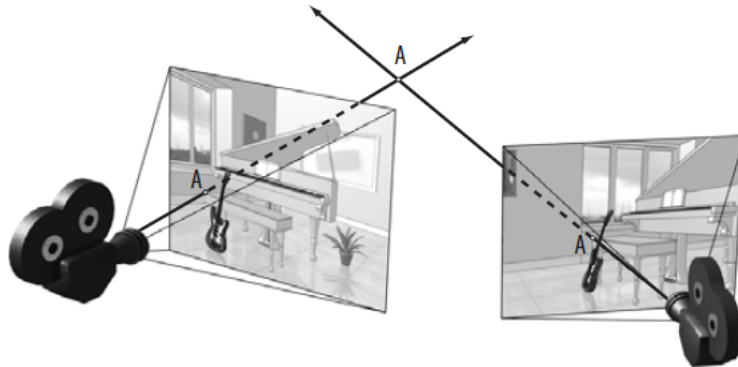
V realnosti vedno prihaja do določenega odstopanja zaradi raznoraznih razlogov. Zato več kot imamo zornih kotov in značilnih točk, bolj natančno lahko določimo pozicijo kamer in pripadajočih značilnih točk. V primeru



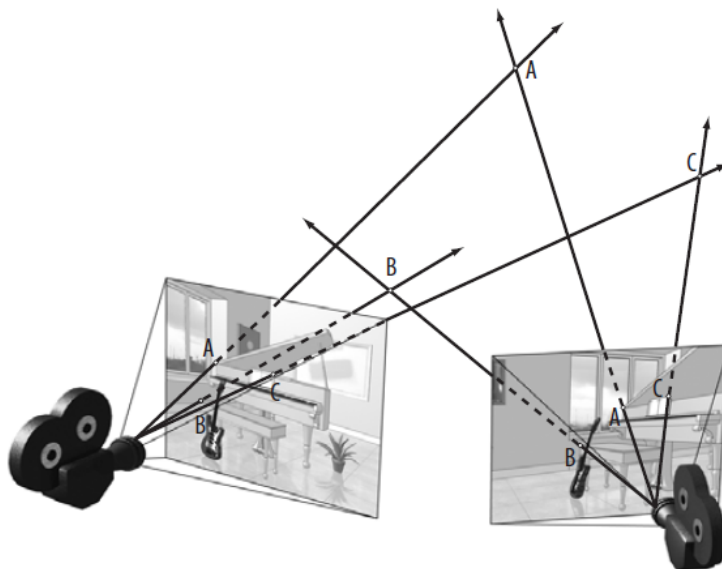
Slika 2.5: Možne premike dodatno omejimo z drugo točko.



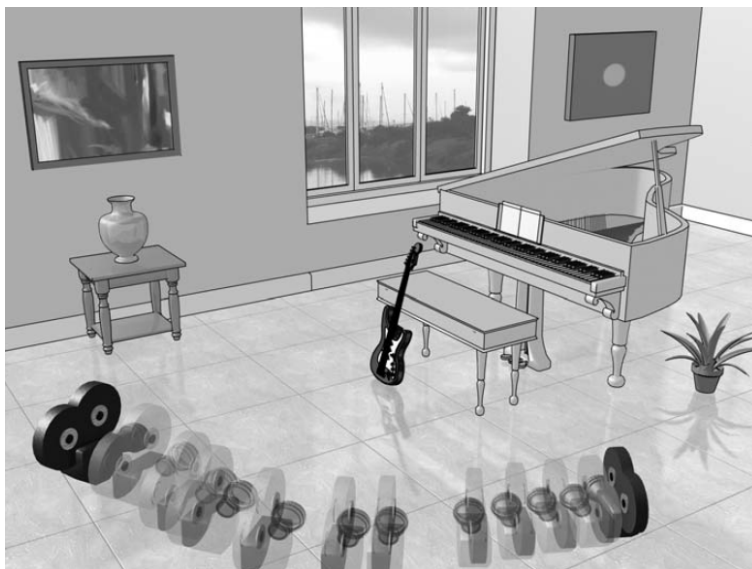
Slika 2.6: S tremi točkami lahko pozicijo zaklenemo na določeno usmerjenost.



Slika 2.7: Sečišče dveh projekcijskih žarkov, ki odražata isto točko v prostoru.



Slika 2.8: Več sečišč projekcijskih žarkov nam tvori razmerja med pozicijami posameznih kamer in točk v prostoru.



Slika 2.9: Če si film predstavljamo kot zaporedje slik iz različnih zornih kotov, lahko iz njih izločimo pot, ki jo je kamera opravila tekom snemanja.

videa si zaradi sprememb zornega kota kamere lahko sekvenco slik predstavljamo, kot da imamo več navideznih kamer (glej sliko 2.9). Tako lahko s pozicijami navideznih kamer na sekvenci slik izluščimo pot, ki jo je prava kamera tekom snemanja dejansko opravila

Vsaka točka v realnem svetu ima v 3d koordinatnem prostoru svoje mesto. V primeru, da to točko projiciramo na ravnino slike, lahko govorimo o novem koordinatnem sistemu znotraj kamere. To točko med dvema koordinatnima sistemoma povezuje neka matematična funkcija, ki jo imenujemo preslikava. Ta funkcija enolično določa, kako in kam se bo preslikala določena točka iz 3d koordinatnega sistema v 2d prostor znotraj kamere. Seveda velja tudi obratno.

Transformacije so glavno orodje v računalniški grafiki in po določenih pravilih, poljubni množici točk določijo njihove preslikane vrednosti. Poznamo več vrst transformacij, ki enolično opisujejo preslikavo posamezne točke. Najbolj pogoste so: translacija, skaliranje, rotacija.

- **Translacija** je preprosto prištevanje odmika točki ali vektorju. V tem primeru lahko govorimo o togem premiku točke ali vektorja.

$$\begin{bmatrix} x' \\ y' \\ z' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} dx \\ dy \\ dz \end{bmatrix} \quad (2.1)$$

- **Skaliranje** lahko obravnavamo kot spreminjanje velikosti objekta. Ta sprememba pa je odvisna od skalirnih faktorjev. Če so vsi skalirni faktorji enaki, je skaliranje enakomerno. V nasprotnem primeru govorimo o neenakomernem skaliranju. Skaliranje poteka okoli središča koordinatnega sistema. Skaliranje okoli poljubne točke lahko sestavimo s premikom te točke v koordinatno izhodišče, nato skaliramo in nato spet prestavimo točko nazaj.

$$\begin{bmatrix} x' \\ y' \\ z' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} s_x & 0 & 0 \\ 0 & s_y & 0 \\ 0 & 0 & s_z \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix} \quad (2.2)$$

- **Rotacija** je vrtenje točk okoli središča koordinatnega sistema za poljuben kot. Rotacijo lahko razumemo tudi kot vrtenje koordinatnega sistema v nasprotni smeri. Rotacijske osi so odvisne od števila koordinatnih osi oziroma od števila dimenzij prostora. Koordinate točk v novem koordinatnem prostoru dobimo s projekcijami na nove vektorje, ki jih določa skalarni produkt. Enako kot pri skaliranju, lahko rotacijo okoli poljubne točke izvedemo s sestavljanjem transformacij.

$$\begin{bmatrix} x' \\ y' \\ z' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix} \quad (2.3)$$

$$R_x(\theta) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos(\theta) & -\sin(\theta) \\ 0 & \sin(\theta) & \cos(\theta) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix} \quad (2.4)$$

$$R_y(\theta) = \begin{bmatrix} \cos(\theta) & 0 & \sin(\theta) \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin(\theta) & 0 & \cos(\theta) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix} \quad (2.5)$$

$$R_z(\theta) = \begin{bmatrix} \cos(\theta) & -\sin(\theta) & 0 \\ \sin(\theta) & \cos(\theta) & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix} \quad (2.6)$$

Problem teh transformacij je, da so sestavljene iz heterogenih operacij, kar pomeni, da nastopa tako množenje kot seštevanje. To pa onemogoča združevanje posameznih transformacij, zato želimo doseči homogenost operacij. Matematični konstrukt, ki omogoča, da vse transformacije pretvorimo v množenje matrik in jih tako enostavno sestavljamo, se imenuje sistem homogenih koordinat. V tem sistemu uvedemo dodatno koordinato za zapis točk, ki ima pri točkah vrednost 1, pri vektorjih pa 0. Pretvorba iz točke v homogenih koordinatah v običajne koordinate dobimo z deljenjem. Prikaz translacije v homogenih koordinatah:

$$\begin{bmatrix} x' \\ y' \\ z' \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & d_x \\ 0 & 1 & 0 & d_y \\ 0 & 0 & 1 & d_z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \\ 1 \end{bmatrix} \quad (2.7)$$

Bistvo vsega je to, da je v sistemu homogenih koordinat translacija predstavljena z množenjem, kar pomeni, da so sedaj operacije pri transformacijah homogenizirane in jih lahko združujemo z enostavnim množenjem matrik. Ker množenje matrik ni komutativno, moramo še vedno paziti na pravilen vrstni red operacij. Vrstni red operacij je od desne proti levi, kar pomeni, da je prva operacija skrajno desna.

Preslikavo točk iz realnega 3d prostora na 2d prostor znotraj kamere, ki predstavlja sliko, določa projekcijska matrika P (2.8). Sestavljena je iz zunanjih parametrov kamere $[R|t]$ in matrike notranjih parametrov kamere K . Zunanji parametri kamere definirajo gibanje kamere v prostoru, kjer se

nahaja. Translacija kamere je določena s translacijskim vektorjem t , rotacija pa z rotacijsko matriko R .

$$P = K[R|t] \quad (2.8)$$

Notranji parametri kamere določajo matriko K (2.9), ki vsebuje tri glavne opisne parametre. Glavna točka, ki je označena s c_x in c_y , v leči določa, kje glavna ravnina seka optično os. Glavna točka vpliva na stopnjo povečevanja, zato je to pomemben notranji parameter. Goriščna razdalja kamere je predstavljena z f_x in f_y . Pove nam, kako žarki potujejo skozi lečo oziroma kakšen je vidni kot kamere. Koeficient ukrivljenosti γ ima pri izračunih pogosto predpostavljeno vrednost 0. Pri notranjih parametrih kamere je pomembna lastnost, da so konstantni, medtem ko se zunanji parametri vedno spreminjajo.

$$K = \begin{bmatrix} f_x & \gamma & c_x \\ 0 & f_y & c_y \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (2.9)$$

2.3 Snemanje

Za dober zajem gibanja je ključnega pomena, da imamo čim več informacij iz samega začetka, torej iz snemanja osnovnega videa. Zelo koristno je slediti določenim nasvetom, ki lahko zelo poenostavijo kasnejše delo s samim zajemanjem.

2.3.1 Kamera

Na snemanju je dobro pridobiti podatke o svetlobnem senzorju (lahko tudi samo prepišemo oznako iz kamere ter nato kasneje preverimo, kateri tip senzorja uporablja, vendar pa je potrebno paziti, da kamera ni predelana na senzor drugačnega tipa, kar je v praksi sicer velika redkost). Zanima nas tudi

tip objektiva ¹, ki je bil uporabljen pri posnetku. Tukaj nas predvsem zanima goriščna razdalja, ki v kombinaciji s svetlobnim senzorjem tvori osnovne perspektivne zakonitosti, ki jih ima slika.

Pomembne so tudi same nastavitve kamere. Hitrost zaklopa (čas svetlobne izpostavljenosti medija) vpliva na razmazanost gibajočih objektov (motion blur). Odprtost zaslonke vpliva na količino svetlobe, ki pada na optični medij. Nastavitev zaslonke skupaj s tipom optičnega medija (vpliva velikost sensorja ali filma) tvorita zakonitosti globinske ostrine (razlika v ostrosti objektov glede na oddaljenost od kamere). Manjša kot je globinska ostrina, več težav bomo imeli z določanjem značilnih točk, saj bodo točke, ki so preveč oddaljene od razdalje ostrenja, preveč neostre, da bi lahko jasno določili njihov položaj. V veliko pomoč nam je podatek o razdalji ostrenja, ker lahko to točko potem prenesemo tudi na računalniško generirane elemente, ki bodo prav tako sledili zakonitostim globinske ostrine, ki jo ima posnetek. Potrebna pa je previdnost v primeru, ko se točka ostrenja spreminja (kar je zelo pogost pojav v filmih). Tudi ta dejavnik je potrebno upoštevati, če želimo natančne rezultate.

Občutljivost svetlobnega medija je še ena nastavitev, ki si jo je koristno zapisati. Sicer nam ne pride v poštev v fazah zajema gibanja, pač pa igra vlogo pri svetlobnih nastavitvah kamere znotraj animacijskih programov, kjer se združita naš 3d objekt in video.

Tudi če nimamo možnosti pridobiti popolnoma točnih podatkov o premiku kamere, si lahko odgovorimo na nekaj osnovnih vprašanj. Ali se kamera

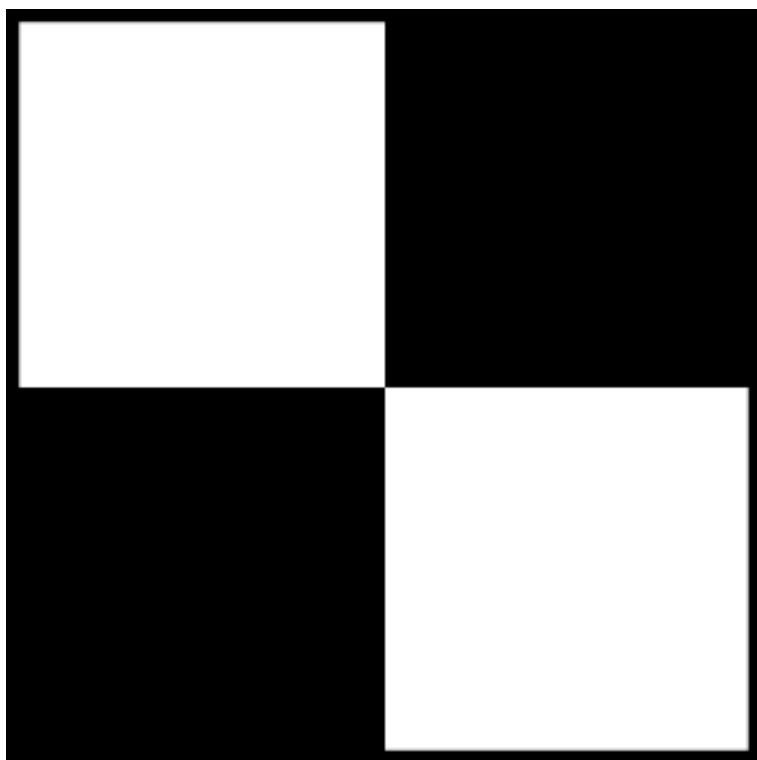
¹V praksi se uporabljata dva tipa objektivov. Poznamo objektivne s fiksno goriščno razdaljo (prime lens), kar že v osnovi pomeni, da se njen vidni kot ne spreminja. Drugi pa so objektivni s spremenljivo goriščno razdaljo, bolj poznani kot objektivni z zmožnostjo optične povečave (zoom-lens). Če se pri snemanju uporablja tip s spremenljivo goriščno razdaljo, je možnost, da se le-ta tekom snemanja spremeni, kar je potrebno upoštevati tudi v procesu zajema gibanja. Najbolje je, da si prepisemo znamko in tip objektiva, saj imajo nekateri programi za zajem gibanja že vnaprej pripravljene zbirke izdelovalcev objektivov in njihovih modelov, kjer upoštevajo tudi značilnosti objektiva točno določenega tipa (npr. optične distorzije in aberacije).

premika? Če se, kako? Kako hitro se giblje? Se morda samo obrača? Na primer, lahko ocenimo ali izmerimo višino kamere v primeru, da se le-ta ne spreminja? Na videz enostavna vprašanja lahko izpostavijo ključne stvari, ki nam olajšajo in skrajšajo delo s procesom zajema gibanja.

2.3.2 Markirna znamenja

V večini primerov je natančnost zajema gibanja odvisna od izbire čim bolj kvalitetnih značilnih točk. Zato lahko že na samem snemanju (če nam je to omogočeno) pripravimo tako imenovana markirna znamenja (marker), ki jih nato razporedimo na vidna mesta znotraj filmske scene. Markirna znamenja morajo ustvarjati čim boljše značilne točke, ki jih lahko določimo pri procesu zajema gibanja. To pomeni, da morajo biti markerji čim bolj kontrastne barve glede na njihovo bližnjo okolico. Lahko so zgolj kot kontrastne pike, ki jih narišemo ali nalepimo na podlago, pri čemer moramo paziti na njihovo velikost. Če so okrogle pike prevelike, je določanje stabilne točke relativno težavno, ker ustvarja kontrastno linijo po celotnem svojem obsegu namesto kontrastne točke, ki jo rabimo za uspešno sledenje značilni regiji. Temu se izognemo, če uporabimo obliko križa, ker na vseh ostrih kotih ustvarja zelo dobro osnovo za značilno točko. V primeru, da je lokacija snemanja neznana in ni možno ugotoviti idealne barve, ki bi ustvarjala dober kontrast, si lahko pomagamo z dvobarvnim markerjem. Primer takega bi lahko bil osnovni vzorec šahovnice kot je na sliki 2.10. Tako bo ne glede na podlago ustvarjal veliko kontrastno razmerje za dobro značilno točko.

Markerji nam najboljše služijo takrat, ko lahko iz njih izluščimo dodatne informacije, ki so veliko bolj zanesljive, kot bi bile, če bi uporabili značilne točke iz same okolice. Splača se nam postaviti markerje tako, da poznamo razdalje med njimi. Še več, postavimo jih lahko tako, da nam definirajo koordinatni sistem. Markerji naj vsebujejo čim več osnovnih matematičnih zakonitosti. Primer take ureditve je lahko, da skupina markerjev tvori kvadrat 2×2 m, ki nam hkrati predstavlja ravnino tal. Uporabimo lahko tudi vzporednice ali pravokotnice. Markerje lahko tudi kombiniramo z objekti v



Slika 2.10: Primer dobrega markerja, ki ustvarja dovolj kontrastna razmerja za kvalitetno sledenje.

prostoru (dva markerja sta vzporedna s pločnikom). Na tak način veliko lažje pridemo do zanesljivih rezultatov.

Ker so markerji znotraj osnovnega videa, jih je v večini primerov potrebno naknadno izbrisati iz videa. Zato nam pametna razporeditev markejev lahko prihrani precej časa. V primeru, da nam naš 3d objekt zakrije tisti del videa, kjer se nahaja marker, brisanje ni potrebno. Prav tako pa lahko izberemo markerje, ki so dejansko tudi del scene in jih ni potrebno naknadno brisati, ker nihče od gledalcev ne ve, da je določen predmet v sceni hkrati tudi marker.

2.3.3 Razmerja

Na snemanju bodimo pozorni na zakonitosti, ki jih tvori prostor. To pomeni, da že vnaprej predvidevamo, kaj v prostoru so lahko naše značilne točke in kje lahko pride do težav. Pametno je najti vzporednice in pravokotnice, kajti le-te močno omejijo kompleksnost problema, ki ga moramo rešiti v procesu zajema gibanja. Primer dobrih vzporednic sta pločnika na obeh straneh ceste ali oba višinska vogala stolpnice. Prav tako je s pravokotnimi linijami. Najbolj pogoste pravokotne linije v urbanem okolju so stene in ostale navpičnice, ki tvorijo pravi kot s tlemi. Na tem mestu je zlata vreden nasvet, da razmerja med točkami, ki so sorazmerno daleč narazen, v splošnem tvorijo manj napak v izračunu njihove oddaljenosti (nobena skrajnost ni zaželeno).

Za lažjo določitev končnih velikostnih razmerij je koristno, če izmerimo razdalje med predvidevanimi značilnimi točkami. Tako nam je v programih za zajem gibanja olajšana naloga za določanje velikosti koordinatnega sistema. Prav tako pa nam ti podatki služijo kot dober indikator o točnosti naših rezultatov.

Poglavje 3

Doseganje realizma

Kadar želimo poustvarjati videz realnosti, moramo biti pozorni na mnogo stvari, ki lahko vplivajo na končni izgled videa. V večini primerov poskušamo poustvarjati fizikalne sisteme, ki so čim bolj podobni tistim, ki so bili prisotni v originalnem videu. Fizikalni sistemi določajo zakonitosti, kot so svetlobni izvori in njihova interakcija z okolico. Posledica teh interakcij so sence, ki so različno razpršene glede na lastnosti in odziv materialov, ki so prisotni v prostoru. Prav tako svetlobni odboji ustvarjajo interakcijo z umeščenimi elementi tako, da glede na lastnosti materialov upoštevajo refleksije iz okolice.

3.1 Zajem gibanja

Temelj za poustvarjanje realizma je nedvomno natančno opravljen zajem gibanja, ki poskrbi za sinhrono gibanje okolice iz originalnega videa in umeščenih 3d objektov. Naše oko zazna že zelo majhna odstopanja natančnosti gibanja. To navadno občutimo kot nenaravne premike, ki na nek podzavesten način zmotijo našo percepcijo gibanja. Zato je to osnova, da lahko sploh govorimo o realistični združitvi.

3.2 Osvetlitev

Slikovna projekcija tridimenzionalnega prostora nastane kot interakcija med objekti v tem prostoru, izvori svetlobe in točke opazovanja. Svetlobni žarki potujejo od izvora svetlobe v okolico in se odbijajo od površine objektov v prostoru. Barvo objektov in izgled njihove površine določajo fizikalne lastnosti materialov, iz katerih sestoji površje objektov. Projekcijska naprava, ki je v točki opazovanja, s svojimi optičnimi lastnostmi določa, kaj bo na slikovni projekciji.

3.2.1 Objekti

Objekti imajo v prostoru svojo velikost in položaj. Nek objekt lahko zaradi svojega položaja in velikosti zakriva ali le delno prekriva drugega. To velja, če se naša točka opazovanja ne spreminja, kajti s spremembo le-te se spremeni tudi odnos med objekti s stališča naše perspektive. Prav tako lahko objekt stoji med izvorom svetlobe in drugim objektom, kar pa pomeni, da se svetlobni žarki ustavijo na prvem objektu in tako posledično ustvarjajo senco na drugem.

Barvo in odbojnost objektov določajo materiali, iz katerih je sestavljena njihova površina. Svetloba se odbija različno glede na strukturo površine. Na to vpliva mikroskopska granulacija, ki ustvarja hrapavost ali gladkost. To pa povzroča, da se svetloba odbija bolj ali manj razpršeno. Posamezna barva objektov je odvisna od absorpcijskih značilnosti določenega materiala. Določa jo svetlobni spekter odbite svetlobe, ki ni bil absorbiran na površini objekta. Na primer, če nek objekt vidimo v zeleni barvi, to pomeni, da je njegova površina absorbirala vso svetlobo; razen svetlobni spekter, ki ga naše oko vidi kot zeleno barvo. Enostavno simulacijo velikega nabora različnih materialov v realnosti lahko zajamemo z vsoto treh komponent odbite svetlobe.

(a) Razpršeni odboj povzročajo materiali, ki odbijajo svetlobo enakomerno na vse strani in so na videz enaki ne glede na stran, iz katere jih

gledamo. To so nesvetleči, motni in drobno hrapavi materiali, ki s svojo negladko površino ustvarijo enakomerno razpršitev svetlobe v okolico. Pravilo, ki določa svetlost površine glede na njen vpadni kot, imenujemo Lambertov kosinusni zakon (Johann Heinrich Lambert, 1760). Odbita svetloba je proporcionalna s kosinusom kota med vpadno svetlobo in normalo na površino. To pomeni, da je površina manj svetla, če svetloba pada bolj od strani.

Izrek 3.1 *Lambertov kosinusni zakon:*

$$c_d = c_l k_d (n \cdot l) = c_l k_d \cos(\theta) \quad (3.1)$$

Pri čemer je :

c_d - intenziteta odbite svetlobe predstavljena z RGB vektorjem;

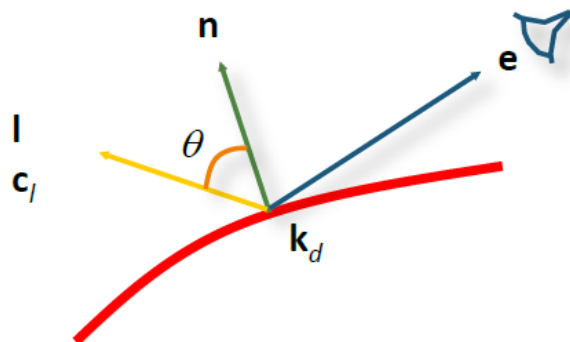
c_l - intenziteta vpadne svetlobe predstavljena z RGB vektorjem;

k_d - razpršena odbojnost – RGB vektor, ki določa koliko svetlobe se odbije;

l - normirana smer svetlobe;

n - normirana normala na površino.

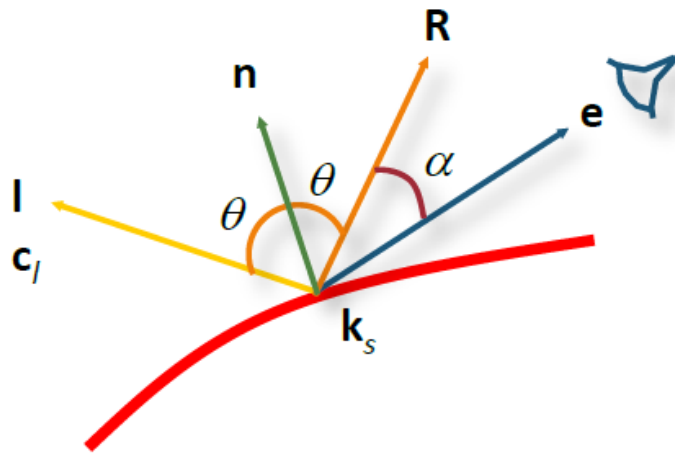
- (b) **Zrcalni odboj** je značilen za gladke materiale, ki svetlobe ne odbijajo razpršeno in tako povzročajo, da je izgled takšnega odboja odvisen od našega položaja gledanja. Približek idealnemu zrcalnemu odboju je zrcalo, kjer je vpadni kot svetlobe enak odbitemu. V njegovi površini vidimo odsev virov svetlobe, ki so povzročili odboj svetlobe proti našemu očesu. Bolj kot so materiali gladki, v večji meri bo zastopana njihova komponenta zrcalnega odboja in s tem bodo odsevi na njihovi površini bolj čisti in ostri. V primeru, da so površine mikro hrapave, pa odsevi postajajo vedno bolj zabrisani in neostri. Zrcalni odboj povzroča blesk in sijaj na površinah, kot so: gladke kovine, lakirani materiali, steklo, kristali itd. Najbolj uveljavljena simulacijska modela sta Phongov (BuiTuong Phong, 1975) in Blinnov (Jim Blinn, 1977) model.



Slika 3.1: Razpršeni odboj.



Slika 3.2: Razpršeni odboj na krogli.



Slika 3.3: Phongov model.

Izrek 3.2 Phongov model:

$$c_s = c_l k_s (R \cdot e)^p \quad (3.2)$$

Pri čemer je :

$$R = 2(l \cdot n)n - l$$

c_s - intenziteta odbite svetlobe predstavljena z RGB vektorjem;

c_l - intenziteta vpadne svetlobe predstavljena z RGB vektorjem;

R - smer idealnega odboja

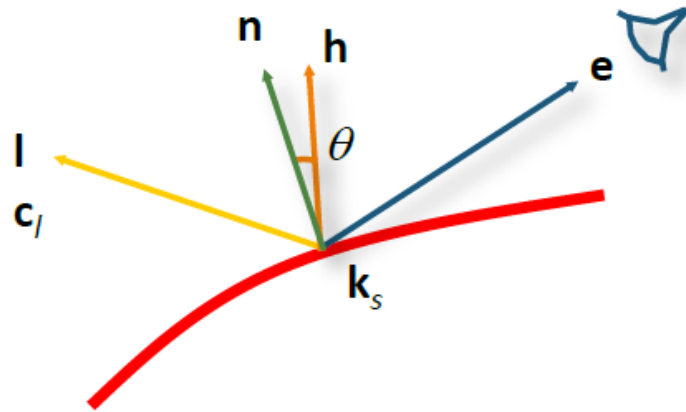
e - smer pogleda

p - parameter zrcalnega odboja določa velikost razpršitve

k_s - zrcalna odbojnost – RGB vektor, ki določa koliko svetlobe se odbije;

l - normirana smer svetlobe;

n - normirana normala na površino.



Slika 3.4: Blinnov model.

Izrek 3.3 *Blinnov model:*

$$c_s = c_l k_s (h \cdot n)^s \quad (3.3)$$

Pri čemer je :

$$h = \frac{l + e}{|l + e|}$$

c_s - intenziteta odbite svetlobe predstavljena z RGB vektorjem;

c_l - intenziteta vpadne svetlobe predstavljena z RGB vektorjem;

s - parameter svetlosti

e - smer pogleda

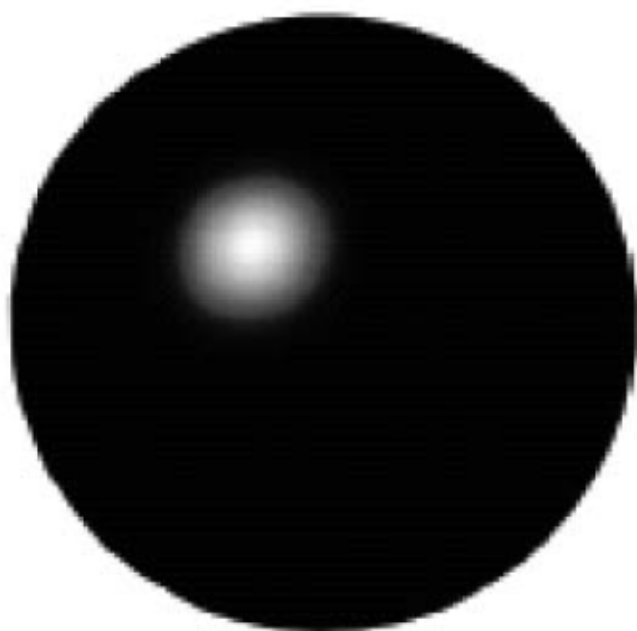
h - kompromisni vektor, ki je na sredini, med l in e

k_s - zrcalna odbojnost – RGB vektor, ki določa koliko svetlobe se odbije;

l - normirana smer svetlobe;

n - normirana normala na površino.

- (c) **Ambientalna svetloba** predstavlja približek odbiti svetlobi, ki je prisotna skoraj povsod v prostoru. Povzročajo jo odboji od vseh površin in



Slika 3.5: Zrcalni odboj na krogli.



Slika 3.6: Ambientalni odboj na krogli.

jo v poenostavljenih modelih privzamemo kot konstanto. Ambientalna svetloba ni odvisna od položajev izvorov svetlobe in strani opazovanja. Tako poskrbimo, da nimamo več popolnoma temnih objektov v sceni in ne glede na položaj drugih objektov in luči vsakemu izmed objektov dodelimo neko konstantno osvetlitev.

Izrek 3.4 *Ambientalna svetloba:*

$$c = c_a k_a \quad (3.4)$$

Povsod dodamo konstantno osvetlitev ne glede na položaj luči in predmetov.

Model lokalnega osvetljevanja predstavlja seštevek zgornjih treh komponent, ki so različno zastopane pri posameznih materialih. Lokalno osvetljevanje je poenostavljen model osvetljevanja, kjer upoštevamo samo prvi odboj



Slika 3.7: Vsota vseh treh svetlobnih komponent na krogli.

od izvora svetlobe do opazovalca. Seštevek svetlobnih komponent je prikazan na sliki 3.7.

Izrek 3.5 *Izračun celotnega svetlobnega doprinosa.*

$$c = c_a k_a + \sum_i c_i (k_d (l_i \cdot n) + k_s (h_i \cdot n)^s) \quad (3.5)$$

Celoten svetlobni doprinos je vsota posamznih svetlobnih komponent.

Razpršeni in zrcalni odboj ter komponento ambientalne svetlobe lahko dopolnimo še z upadom gostote svetlobnega toka, s kvadratom razdalje od njegovega izvora. To se v realnosti zgodi zaradi drobnih delcev, ki v posamezni snovi absorbirajo in odbijajo svetlobo, tako da ta snov nato deluje kot nekakšen filter, ki zadrži določen delež svetlobnih žarkov.

Izrek 3.6 *Upad gostote svetlobnega toka.*

$$f(d) = \frac{1}{a_0 + a_1 d + a_2 d^2} \quad (3.6)$$

d predstavlja razdaljo med osvetljenim predmetom in svetlobnim izvorom

To lahko uporabimo v izračunu celotnega svetlobnega doprinosa.

$$c = c_a k_a + \sum_i f(d_i) c_i (k_d (l_i \cdot n) + k_s (h_i \cdot n)^s) \quad (3.7)$$

Kompleksnejše modele, kjer upoštevamo več odbojev med predmeti, v sceni imenujemo globalno osvetljevanje. Takšni modeli so mnogo bolj natančni in omogočajo večjo stopnjo realizma, vendar so tudi veliko bolj kompleksni in računsko zahtevni.

3.2.2 Izvori svetlobe

Izvori svetlobe so lahko aktivni (kot so luč, sonce, žarnica ...) ali pa so pasivni (odbojne površine, kot so stena, zrcalo, tla ...). Slednji potrebujejo vsaj en aktiven izvor svetlobe, ki se od njihove površine v veliki meri odbija nazaj v prostor. Svetlobne izvore lahko opredelimo z usmerjenostjo, velikostjo sevalne površine, jakostjo svetlobe in barvo svetlobe.

V računalniški grafiki poznamo 3 najosnovnejše oblike luči (izvor svetlobe).

1. **Usmerjena luč**, kjer so si žarki svetlobe vzporedni. Tak tip luči se pogosto uporablja za upodabljanje sončne svetlobe (zaradi svoje oddaljenosti od nas so sončevi žarki približno vzporedni).
2. **Točkasta luč**, kjer žarki sevajo iz ene točke enakomerno v vse smeri. Ker žarki niso vzporedni, je kot vpadne svetlobe odvisen od našega položaja. Jakost svetlobe pa se zmanjšuje s kvadratom razdalje. Tak tip luči se uporablja kot enostaven model žarnice.
3. **Reflektor**, kjer žarki svetlobe sevajo iz določene točke, vendar pa imajo tudi usmeritev. Žarki svetlobe takorekoč oblikujejo svetlobni stožec, kjer se jakost svetlobe zmanjšuje glede na razdaljo od sredine stožca. S takim tipom luči lahko ponazorimo ročno baterijsko svetilko ali avtomobilske žaromete.

3.2.3 Točka opazovanja

Glavna lastnost opazovalne točke je prav gotovo njen položaj, saj le-ta določa, kaj bo na projekciji. Za doseganje čim višje stopnje realizma pa moramo upoštevati še nekatere fizikalne lastnosti projekcijskih naprav:

1. **Globinska ostrina** določa, kako ostri so objekti glede na oddaljenost od točke ostrenja.

2. **Velikost medija in zorni kot** leče tvorita zakonitosti o širini vidne perspektive in obnašanju globinske ostrine.
3. **Točka ostrenja** nam pove, na kateri oddaljenosti od točke opazovanja so objekti najbolj ostri.
4. **Dinamični razpon** je razmerje med najvišjo in najnižjo še zaznano vrednostjo osvetlitve.

Človeško oko ima zelo podobne lastnosti kot kamere s 50mm lečo in 'full frame' svetlobnim tipalom, kar je ekvivalent 27mm leči na svetlobnem tipalu s crop faktorjem 1,6x. Pri umestitvi 3d objektov v osnovni video moramo rekonstruirati pogoje, ki so bili prisotni v osnovnem videu. Le tako bo ločnica med umeščenimi in realnimi objekti zabrisana.

3.2.4 Določanje osvetlitve iz slike

Pogost problem pri osvetljevanju naših 3d objektov je: Kam postaviti luči? Sprva se je potrebno vprašati, kje so izvori svetlobe v naši sceni. Pametno je začeti z najmočnejšim virom svetlobe (to je po navadi kar sonce), nato pa se korak za korakom premikamo do šibkih virov. Ne smemo pozabiti, da so tudi površine določenih objektov lahko pasivni izvori svetlobe, kot na primer bela stena. Potrebno je določiti, kakšnega tipa so izvori svetlobe, ali so to usmerjeni ali točkasti izvori. Primer točkastega izvora je lahko žarnica, medtem ko je sonce primer usmerjene svetlobe. Pri usmerjenih izvorih moramo paziti na njihovo usmeritev. Usmerjenost izvora najlažje ugotovimo tako, da povežemo neko značilno točko na objektu s korespondenčno točko, ki je vidna na senci tega objekta. Primer tega je lahko vogal hiše in pripadajoč vogal na njeni senci. Tako dobimo smer svetlobnih žarkov, ki se morajo ujemati z usmerjenostjo naših luči.

3.3 Sence

Sence nastanejo kot posledica osvetlitve. V bistvu je senca odsotnost dela svetlobe, ki ga blokira predmet, ki ustvarja senco. Zato vsak predmet, ki je osvetljen, tvori tudi svojo senco. Oblika sence je odvisna od oblike predmeta, smeri svetlobe in podlage, na katero pada senca. Ostrino senc določa razpršenost svetlobe. Bolj kot je svetloba razpršena, bolj mehke so sence. Ko vstavljamo 3d predmete v neko sceno, je zelo pomembno, da se lastnosti kreiranih senc ujemajo z realnimi. Prav tako ne smemo pozabiti, da je lahko geometrija prostora razgibana in tako senca določenega 3d objekta ne pada samo na tla, pač pa se lahko nekje prelomi na dve ali več površin. V tem primeru moramo zgraditi grobo geometrijo prostora, da omogočimo interaktivno senčenje, ki simulira realno situacijo.

3.4 Interakcija z okolico

Poleg neskladja osvetlitve in senc lahko pride tudi do drugih težav. V 3d prostoru lahko določeni predmeti zakrijejo druge oziroma pridejo med kamero in drugim objektom. V tem primeru ni dovolj, da so objekti zgolj vstavljeni v sceno, pač pa je potrebno poskrbeti za prekrivanje med objekti. Na primer, če vstavljamo avto na parkirišče, lahko v določenem trenutku drog ulične svetilke zakrije naš pogled na mesto, kjer vstavljamo avto. Na teh mestih moramo poskrbeti za to, da pride drog v ospredje, tako kot je v skladu z zakonitostmi 3d prostora. Največkrat se tovrstni problemi rešujejo s prekrivnimi maskami, ki v bistvu določajo prosojnost določenih delov v videu. Pomembno je, da se te maske popolnoma ujemajo s premiki droga v videu, sicer avtomatsko izgubimo občutek realnosti.

Vstavljani objekti so pogosto animirani, kar pomeni, da niso zgolj mirujoč objekt, pač pa se dogajajo premiki in interakcije z okolico. Pomembno je, da vsi premiki delujejo dovolj naravno, da gledalcu ohranijo občutek realnosti. Elementi, ki so vstavljeni v video, morajo spoštovati fizikalne zakonitosti, ki naj bi bile prisotne v videu. To pomeni, da morajo spoštovati geometrijske

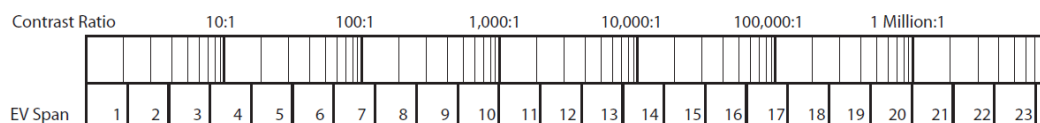
značilnosti prostora in ostale možne dejavnike, ki so prisotni. Na primer, če vstavljamo žogo ki se odbija od tal, moramo upoštevati, da če žoga pride do zidu, se tudi tam vrši interakcija odbijanja. Prav tako, če se celotna scena odvija pod vodo, je potrebno prilagoditi gravitacijske zakonitosti in upoštevati upor vode. Vsaka scena ima svoje fizikalne okoliščine in če hočemo, da naša združitev daje vtis realizma, se moramo držati teh okoliščin. Upoštevati moramo čim več dejavnikov, ki bi lahko vplivali na interakcijo vstavljenega objekta z okolico.

3.5 HDRI

Hdri je kratica za 'high dynamic range imaging', kar označuje slike z velikim dinamičnim razponom osvetlitve. Dinamični razpon² je svetlostno razmerje med najsvetlejšo in najtemnejšo zastopano vrednostjo na sliki. To lahko definiramo tudi kot največji možni kontrast, ki ga najdemo v sliki. Predstavitve dinamičnega razpona je v osnovni obliki predstavljena kot razmerje (npr. 500 : 1), vendar pa se v kinematografiji in fotografiji uporabljajo bolj praktične enote. Največkrat se uporablja označevanje dinamičnega razpona z osvetlitvenimi vrednostmi (exposure value), kar predstavlja, koliko zaslon-skih stopenj je zajetih v posamezni sliki (npr. 9 stopenj razpona (exposure value span)). Konverzija med kontrastnim razmerjem in razponom zaslon-skih stopenj je definirana s sledečo formulo:: $kontrastnorazmerje = 2^{razponzaslon-skihstopenj}$.

Digitalne slike z velikim dinamičnim razponom so zapisane z več kot 8-bitno barvno globino. Navadno je to 32 bitov. Tako lahko ohranjajo mnogo več detajlov, barvnih in svetlostnih odtenkov kot sicer. S tako barvno globino lahko predstavimo celoten spekter vidnih barv, medtem ko smo z 8-bitno barvno globino omejeni na $(2^8)^3 = 16777216$ barvnih odtenkov³, kar je še

²Dinamični razpon je definiran kot logaritmično razmerje med največjim še zaznanim signalom in šumom. Uporablja se v mnogih znanstvenih panogah, predvsem v procesiranju signalov, glasbi in fotografiji.



Slika 3.8: Tabela konverzij med kontrastnim razmerjem in razponom zaslon-skih stopenj.

vedno premalo za slike z velikim dinamičnim razponom.

3.5.1 Človeško oko

Človeško oko je čudovit optični aparat. Posamezen pogled lahko zajame kontrastna razmerja do 10 000:1, kar je ekvivalentno 14 stopenj razpona. Za primerjavo; potrošniški fotoaparati imajo dinamični razpon 6–8 stopenj razpona (50 : 1–200 : 1). Šele drage profesionalne kamere zmorejo dosegati okoli 12 stopenj dinamičnega razpona. Najbolj impresivna pa je zmožnost prilagajanja človeškega očesa. S svojimi izjemno adaptivnimi sposobnostmi ima svoj celoten zaznavni spekter približno 1 000 000 000 : 1. Z drugimi besedami to pomeni, da v sončni svetlobi, ki je nepredstavljivo močnejša od sveče, vidimo prav tako dobro kot v temni cerkvi. Seveda tako visokega kontrasta nismo sposobni videti naenkrat, zato tudi med prehajanjem iz zelo osvetljenih prostorov v zelo temne in obratno potrebujemo nekaj časa, da se nam oko prilagodi na osvetlitev.

3.5.2 Snemanje v HDR

Znanstveniki in tehnologi so že razvili prave hdr senzorje, ki že po sami naravi snemajo z visokim dinamičnim razponom. Problem teh senzorjev je, da so zaenkrat še predragi za širši trg in splošno uporabo. Vrzal med pravimi hdr senzorji in navadnimi senzorji zapolnjujejo raznorazni tehnološki

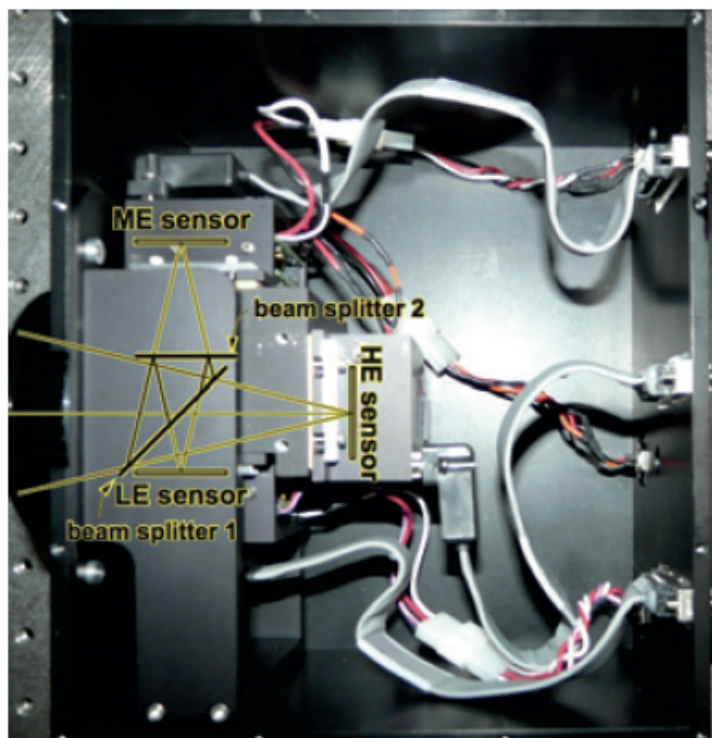
³Pri 8 bitni barvni predstavitvi tipa RGB, je vsak iz med treh barvnih kanalov predstavljen z 8 bitno vrednostjo, kar pomeni, da lahko zavzame eno izmed 256 vrednosti



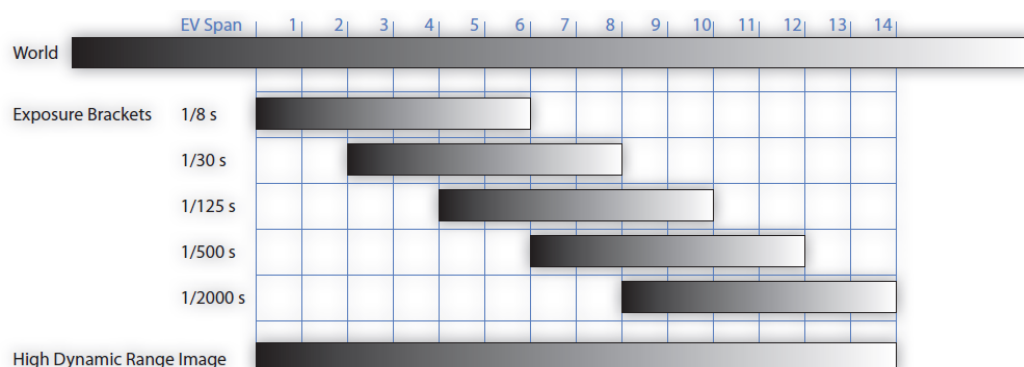
Slika 3.9: Primer sistema v obliki črke L

triki. Večina jih deluje na podlagi združevanja različno osvetljenih slik, ki lahko nastanejo na več ali na enem samem senzorju. Če sliko posnamemo z več senzorji, to pomeni, da potrebujemo več kamer, torej je ta rešitev nekoliko dražja. Največkrat se tu uporablja tehnika razdelitve svetlobnih žarkov (beamsplitter). To je tehnika, kjer sta dve kameri postavljeni na identični razdalji pod kotom 90 stopinj (slika 3.9). Celoten sistem izgleda kot črka L, pri čemer sta kameri na obeh koncih in sta usmerjeni v vogal. V oglišču, ki ga tvori njun kot, je postavljeno delno propustno zrcalo, ki vpadno svetlobo razbije na dva dela (ponavadi v razmerju 50 : 50), vsakega proti svoji kameri. Tak sistem se uporablja tudi pri snemanju 3d filmov, le da je pri snemanju hdri interokularna razdalja⁴ enaka 0. Obstajajo pa tudi prototipi, kjer je delno propustno zrcalo postavljeno za lečo. V tem primeru ne potrebujemo dveh kamer, morata pa biti prisotna vsaj dva senzorja, na katera pada razbita svetloba (slika 3.10). Prednost vseh takih sistemov je v tem, da slika nastane hkrati in ni težav s časovnimi spremembami v sceni. Prav tako sistem podpira snemanje filmov v tehniki hdr zaradi omenjene prednosti

⁴interokularna razdalja je medočesna razdalja ali v tem primeru, razdalja med dvema lečama



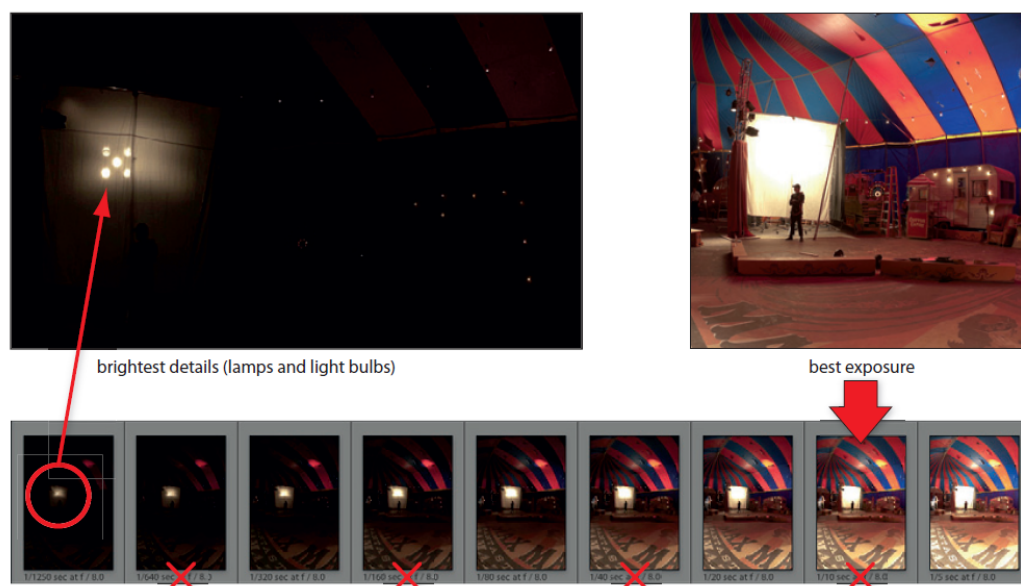
Slika 3.10: Primer sistema z večimi senzorji.



Slika 3.11: Sekvenčno slikanje z različnimi osvetlitvami, da pokrijemo celoten dinamični razpon.

Problem prej omenjenih sistemov je nedvomno cena, ki jih postavlja zgolj v doseg elitnih krogov med samimi profesionalci. Dokler ne postanejo takšni sistemi cenejši in bolj dostopni, se moramo posluževati tehnik, ki z malo več vloženega truda in časa dosežejo dovolj dobre rezultate z današnjo običajno fotografsko opremo. Vsaka scena v realnosti ima svoj celoten dinamični razpon, ki je načeloma veliko večji od dinamičnega razpona, ki ga premore naš fotoaparati. Ostaja pa nam možnost, da zajamemo sekvenco različno osvetljenih slik, ki z svojim omejenim dinamičnim razponom pokrijejo celoten ali vsaj večinski del realnega dinamičnega razpona (slika 3.11). Obstajajo algoritmi, ki tako sekvenco slik nato združijo v eno samo hdr sliko, ki obsega celoten dinamični razpon. Take slike imajo mnogo več informacij o osvetlitvi in o samih barvah kot sicer. Prav tako pa je všečen stranski produkt združevanja različno osvetljenih slik zmanjševanje barvnega šuma, kajti posamezne barvne točke predstavljajo povprečje najboljših delov vseh slik. Problem pri tovrstni tehniki je, da je zelo občutljiva na premike. Zmedo lahko povzročijo že malo hitrejši oblaki, medtem ko lahko na športne dogodke preprosto pozabimo. Za učinkovito slikanje hdri je uporaba fotografskega stojala skorajda nujno potrebna.

Ko slikamo hdr za 3d osvetljevanje, moramo še toliko bolj paziti, da zaja-



Slika 3.12: Paziri moramo da v sliko ujamemo tudi robne pogoje svetlobnih virov.

memo celoten dinamični razpon s poudarkom na izvorih svetlobe (slika 3.12). Praktični potek slikanja izgleda kot zaporedno slikanje povsem iste kompozicije, med posameznimi slikami spreminjamo samo nastavitve zaklopnega časa. Če slikamo v RAW kvaliteti, je priporočen razmik med dvema slikama za 2 stopnji osvetlitve (2 EV), kar v bistvu pomeni 4-krat večji ali manjši osvetlitveni čas. V primeru, da slikamo v kvaliteti JPEG, pa puščamo razmik samo 1 stopnjo osvetlitve, zaradi manjšega dinamičnega razpona samega formata. Zajete slike nato združimo v programu za kreiranje hdr slik (npr. Photoshop, HDR Shop, Xn View, Photosphere, Photomatix PRO ...).

3.5.3 Osvetljevanje na podlagi HDR slik

V 3d programih obstaja veliko različnih vrst osvetljevanja. Osnovno osvetljevanje, ki smo ga poimenovali lokalno osvetljevanje, ima veliko prednost pri hitrosti izračunavanja posameznih osvetlitev, vendar pa je mnogo bolj

zapleteno poustvarjati realistične odzive svetlobe. Zato so razvili algoritme, ki izračunavajo osvetlitev na podlagi fizikalnih zakonov. Takšno osvetljevanje imenujemo globalno osvetljevanje, ker upoštevajo odboje svetlobe od okoliških predmetov in ne samo direktne vpadne svetlobe. Izvedbe takega načina osvetljevanja so: Radiosity, Photon tracing, Monte Carlo ...

Ker hdr slike vsebujejo toliko podatkov o sami svetlobi in barvi, lahko zelo natančno opišejo svetlobne vire in njihovo obnašanje skozi osvetlitvene vrednosti 8-bitne predstavitev. Zaradi tako dobrega opisa svetlobnih virov se pojavi ideja o osvetljevanju na podlagi slik (IBL - image based lighting). Če tradicionalne luči zamenjamo za objekte, ki sevajo svetlobo (aktivno svetijo ali zgolj odbijajo), ima hdr slika velik potencial. Tovrstni način osvetljevanja, ne le da simulira osvetlitev, pač pa vsebuje tudi podatke o okolici in potencialni teksturi odseva na posameznih objektih. Tako lahko dobesedno rekonstruiramo naravno svetlobo, ki pada na objekte, ki jih hočemo osvetliti.

Za osvetljevanje na podlagi hdr slik potrebujemo hdr sferično panoramo, ki se čim bolj ujema z sceno, v kateri se bo objekt nahajal. V primeru, da gre za vstavljanje 3d predmetov v video, je najboljši scenarij, da je posneta hdr panorama kar na sami lokaciji originalnega posnetka v istih svetlobnih pogojih kot sam video.

3.6 Zvok

Vstavljeni objekti lahko tvorijo interakcije tudi na zvočni ravni. Verjetno bi si težko predstavljali dvajsettonskega robota, ki se premika brez kakršnega koli šuma, ali pa helikopter, ki bi se premikal, brez da bi oddajal kakršen koli zvok. Zvočni prostor je zelo pomembna komponenta filma nasploh, vendar se nanj pogosto pozablja. Tudi zvočni prostor ima svoje zakonitosti in lastnosti. Zvoki, ki so bolj oddaljeni, so po navadi tišji in izstopa predvsem njihov nizek frekvenčni spekter, ker zrak deluje kot nekakšen filter, kjer se visoke frekvence z razdaljo dušijo. Oblika in velikost prostora vplivata na odmev zvokov, ki nastajajo. Veliki prazni prostori, kot so katedrale, dajejo velik

odmev, medtem ko majhni prostori z veliko stvarmi znotraj njih ustvarjajo zelo majhen odmev, ki ga čutimo bolj kot specifično barvo glasu, kakor pa odmev.

Poglavje 4

Primer združitve videa z računalniško generiranimi elementi

4.1 Priprava in snemanje

Video je bil posnet s kamero Canon EOS 5D mkii in objektivom Canon 16-35mm f2.8 L. Zaradi globinske ostrine sem zaslonko nastavil na f8.0, kar je pomenilo, da sem moral zaradi slabe večerne svetlobe kompenzirati z občutljivostjo senzorja (iso: 1000) in zaklopnim časom 1/30s (slika 4.1). V nadaljevanju sem opazil, da previsoke vrednosti zaklopnega časa povzročajo veliko stopnjo zabrisanega gibanja (motion blur), kar lahko potencialno vodi v težavno sledenje gibanja v nadaljevanju. Med samim snemanjem je bila kamera nastavljena na približno 24mm (slika 4.2). Kadar ne uporabljamo objektivov s fiksno goriščno razdaljo, je skala, razen na robnih vrednostih, zgolj približna, kajti izračunana goriščna razdalja, ki sem jo ugotovil po kalibraciji kamere, je bila 21.078mm. Izbrana lokacija snemanja se je izkazala za odlično izbiro, saj je vsebovala prehod za pešce, ki ustvarja zelo veliko kontrastno razmerje z asfaltno podlago, poleg tega pa vsebuje mnoge vzporednice, vogale in pravokotnice, kar še dodatno olajša delo kasneje. Zaradi



Slika 4.1: Nastavitve na kameri in objektivu

konsistence med videom in panoramo, ki sem jo posnel za slikovno osvetlitev 3d scene, sem ročno nastavil belino na kameri na tovarniško prednastavljeno možnost oblačnosti (približno 6000K). Goriščna razdalja je bila nastavljena na 16mm (najširši možni zorni kot objektivu), ker sem tako z najmanjšim številom slik lahko pokril celotno oblo. Sferično panoramo za potrebe osvetlitve sem posnel v treh krožnih serijah po 8 segmentov na posamezen krog, nato pa še spodnji in zgornji del krogle, ki ostane nezapolnjen. Vsak izmed teh 26 segmentov je bil sestavljen iz treh različno osvetljenih slik iste kompozicije, vsako v razdalji dveh stopenj osvetlitve.

4.2 Uporabljene tehnologije in programi

Za izdelavo končnega izdelka sem uporabil različno programsko opremo. Z Adobe Premiere Cs6 sem sprva izbral najboljši posnetek in ga skrajšal na primerno dolžino. Izvozil sem ga kot zaporedje slik, ker je to edini podprt format v programu Autodesk Maya. Ta program ima že vgrajen dodatek



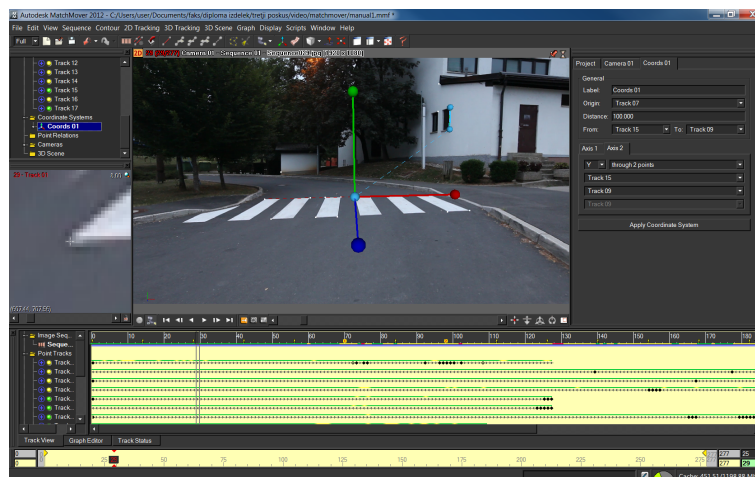
Slika 4.2: Goriščna razdalja objektiv

prav za namene zajema gibanja, ki se mu reče MatchMover. V tem programu sem ročno določil značilne regije, ki naj jih poskuša slediti tekom videa. Velika prednost se je izkazala pri izbiri scene, ker so bila markirna znamenja že del same scene (v mojem primeru je bil to prehod za pešce, ki tvori velika kontrastna razmerja z asfaltno podlago). Zaradi njih je bil zajem gibanja veliko bolj natančen (slika 4.4). Vedno pa se najdejo nekatera območja, ki povzročajo nekoliko več težav s sledenjem. V takih primerih je potrebno ročno nastavljati pozicijo točke, ki ji sledimo. V mojem primeru so se takšne situacije največkrat pojavljale, ko je kamera opravila velik premik v relativno kratkem času in je zaradi tega prišlo do zabrisanih slik med premikom. Problem je, ker moramo v takem primeru največkrat ugibati pozicijo točke v zabrisanih packah, kar pa največkrat privede do nenatančnih rezultatov in posledično neusklajenega gibanja vstavljenih predmetov z okolico. Rekonstrukcija kamere in 3d prostora je prav tako opravljena s programsko opremo MatchMover (slika 4.3). Ker je bilo sledenje točk opravljeno ročno je ta proces veliko hitrejši, kot bi bil v primeru avtomatskega sledenja. V mojem primeru sem sledil 17 točk in rekonstrukcija kamere je bila opravljena

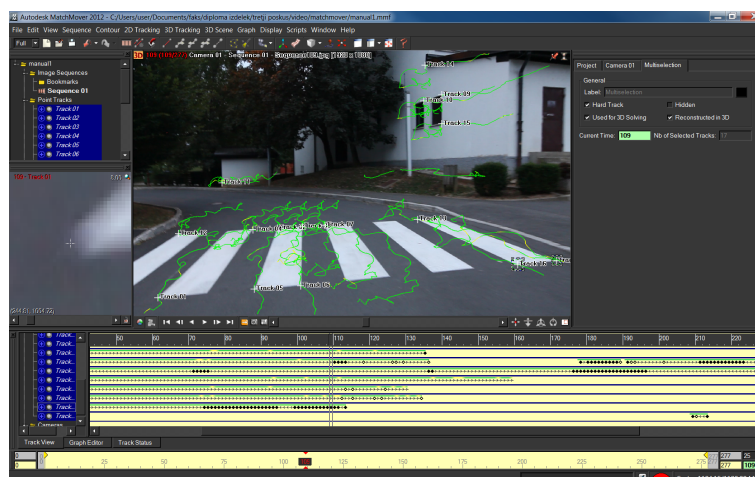
v manj kot eni minuti. Poizkusil sem tudi z avtomatsko metodo, kjer lahko nastavljamo parametre kako tolerantno in občutljivo bo iskanje, prav tako pa lahko določamo približno število točk, ki jim bo program poskusil slediti. Moja nastavev občutljivosti in števila točk je bila precej nižja od prednastavljenih vrednosti in prišel sem do 2510 sledljivih točk. Rekonstrukcija kamere je trajala malo manj kot pol ure, kar je v primerjavi z ročno metodo velika časovna razlika, poleg tega pa je vsebovala precej večja odstopanja v konsistenci gibanja z videom. V osnovni različici Maya sem nato določil koordinatni sistem in osnovne ravnine, na katerih se bo projicirala senca. Ravnina na katero se projicira senca ima posebne lastnosti glede obnašanja na svetlobo. Ravnina je v osnovi prosojna in skozi njo vidimo ozadje, razen v primeru, ko nanjo pada senca bližnjih objektov. V tem primeru se nanjo izrišejo sence, ki v primeru pravilne postavitve odražajo projekcijo senc prav tako, kot v videu. Tej ravnini lahko uravnavamo stopnjo refleksivnosti in refrakcij, prav tako pa moramo paziti nastavev, da se je ne vidi v odbojih na drugih objektih.

Posamezne slike za sferično panoramo v treh različnih osvetlitvah sem s programom Avtopano Giga združil v 32 bitne slike tipa hdr. Potrebni so bili dodatni popravki v Adobe Photoshop zaradi določenih nepravilnosti v samih slikah. Odstraniti sem moral podperne palice stojala, ki so se pojavljale v spodnji krožni seriji slik. Prav tako sem moral odstraniti avto, ki sem ga pomotoma ujel v objektiv v eni izmed slik. Zaradi precej širokokotnega objekta je pogosto potrebno naknadno odstranjevati nepričakovane stvari, ki nam zaradi nepazljivosti zaidejo v zorni kot kamere. Sledilo je še združevanje vseh 26 slik z visokim dinamičnim razponom v celotno sferično panoramo. Program Avtopano Giga ponuja avtomatsko opcijo združevanja panoram, kjer zgolj nastavimo tip panorame (v mojem primeru sferični) in program na podlagi algoritma SIFT ugotovi ujemanje med značilnimi regijami posameznih slik in jih združi popolnoma avtomatično. Opcijsko odpravlja tudi optične distorzije in barvne napake na spojih med slikami.

V programu Maya, kjer se nahaja moja glavna scena, sem iz njihovega



Slika 4.3: Poravnava koordinatnega sistema

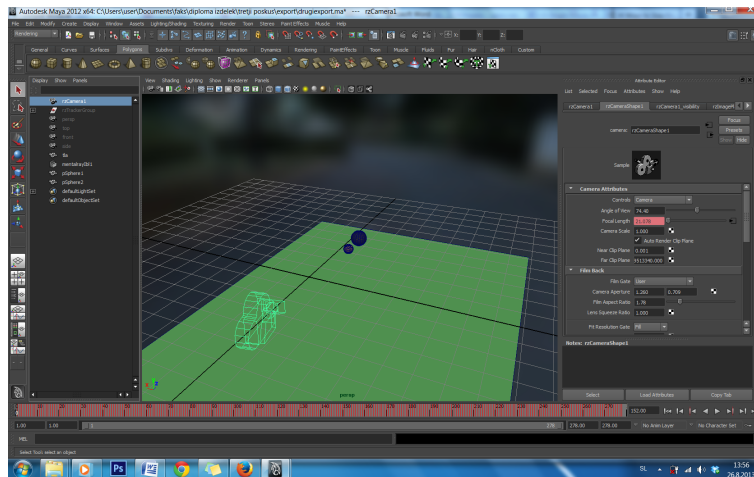


Slika 4.4: Sledenje značilnim točkam

prednastavljenega orodja za končno izračunavanje osvetlitev zamenjal za programsko opremo Mentalray. To orodje omogoča izračunavanje osvetlitve iz sferičnih panoram z veliko možnostjo kasnejših nastavitvev. V sceno sem vstavil dve krogli kot 3d objekta in jima določil precej refleksne materiale, ker na tak način najlažje prikažemo rezultate (slika 4.5). Prva izmed krogel naj bi poustvarjala videz in lastnosti bakra, medtem ko druga odraža lastnosti kroma (kromirana krogla je najboljši element za preverjanje osvetlitev iz sferičnih panoram, saj v njenem odsevu vidimo ujemanje z sferično panoramo). Sprva sem poizkušal in preverjal na zelo poenostavljenih nastavitvah, kajti končno preračunavanje je zelo časovno zahtevno (končni izdelek se je preračunaval nekoliko manj kot 18 ur). S sferično panoramo ni bilo večjih težav. Potrebni so bili le nekateri popravki zaradi svetlosti panorame, ker so bile vstavljene krogle veliko presvetle, da bi se zlile z okolico. Največji problem je predstavljal velik nabor nastavitvev, ki določajo kvaliteto končne slike. Tukaj igra vlogo pred vsem razmerje med kvaliteto in porabljenim časom za končni izračun osvetlitev. Z višanjem kvalitete končne slike zelo hitro preidemo v časovno prezahtevne izračune. To je bil razlog da sem ohranil samo enostavni krogli kot 3d predmeta, kajti vsak malo bolj kompleksen objekt bi časovno komponento še povečal. Končno izračunavanje je potekalo na 2,67 GHz dvojedernem procesorju z 4GB pomnilnika in grafično ploščo ATI Mobility Radeon HD 3650. Po velikem številu iteracij in izboljšav sem izvozil sceno kot sekvenco slik, ki sem jo nato ponovno sestavil v video z uporabo Adobe Premier Cs6.

4.3 Komentar

V končnem izdelku se vidi, da je gibanje vstavljenih krogel usklajeno z gibanjem perspektive prostora, kar ponuja osnovo za realistični občutek gledalcev. Svetlost krogel se ujema z osvetljenostjo ostalih objektov v videu in prav tako barvno ustvarjajo zelo pristen ambient, ki je prisoten tudi v originalnem posnetku (slika 4.6). Drevesa in ostali okoliški objekti se vidno



Slika 4.5: Osnovna scena v programu Maya

poklopijo z odsevi v kroglih, prav tako pa je opaziti odsev bakrene kroglice na površini kromirane. Obe krogli ustvarjata nežne in mehke sence, ki so značilne za večerno oblačno vreme, kjer prevladuje difuzna svetloba. Sence, ki jih ustvarjajo drevesa so zelo podobne strukture, kot sence ki jih ustvarjata krogli. Iz stališča realistične percepcije bi lahko izbrali 3d objekt, ki bi se bolj vključeval v sceno, vendar bi morali iz stališča časovne zahtevnosti kompenzirati kvaliteto izračunavanja svetlobe ali pa pridobiti bolj zmogljivo strojno opremo. V vsakem primeru pa bi bil način in potek dela popolnoma enak kot za krogli. Tudi v profesionalnem svetu združevanja videa in računalniško generiranih elementov se večina testov odvija prav na refleksnih kroglih zaradi časovnih omejitev projektov.



Slika 4.6: Ujemanje v svetlobi in sencah daje realističen pridih vstavljenih elementov. (slika iz končnega izdelka).

Poglavje 5

Sklepne ugotovitve

Poustvarjanje realističnega videza pri združevanju računalniško generiranih elementov in videa je vsekakor zahteven problem, na katerega vplivajo številni dejavniki. Uspešnost združitve je v prvi vrsti odvisna od natančnosti zajema gibanja. To nam daje temelje na katerih gradimo in postopno nadgrajujemo projekt. Pri izbiranju najbolj ključnih dejavnikov v samem procesu je pomembno predvsem to, da že zelo majhna odstopanja pri katerem koli dejavniku lahko povzročijo gledalčev dvom v percepciji realizma. Pri združevanju se večina stvari nadgrajuje in tako si ne moremo privoščiti, da bi katero izpustili. Zelo pomembne so predpriprave in načrtovanje samega procesa. To nam lahko prihrani ogromno časa in pomaga pri izbiri ustreznih pristopov, ki nam ponujajo svoje specifične prednosti. Avtomatizacija procesov je zagotovo velik korak, da približamo umetnost združevanja videa z računalniškimi elementi širši množici ljudi, saj zahteva veliko manj predznanja in izkušenj. Kljub temu, da so današnje rešitve že zelo zanesljive, jim moramo v malo manj idealnih pogojih mnogokrat še malo pomagati, da dosežejo pravilne rezultate. Prihodnost v tej industriji zagotovo prinaša še večjo stopnjo avtomatizacije, ter zmanjšanje časovnih zahtevnosti predvsem osvetljevalnih algoritmov, ki so za enkrat največji časovni porabnik. Osvetljevanje na podlagi slik z visokim dinamičnim razponom je pomenilo velik preskok v stopnji realizma, vendar pa je sam postopek še precej časovno zahteven. Tudi pri avtomat-

skem zajemu značilnih točk, kjer program analizira ogromno množico točk in njihove relacije, je postopek časovno potraten in mnogokrat dopušča napake zaradi napačno ocenjenih stabilnosti točk. Vsakršne omejitve in znane relacije, ki jih podamo programu pred analizo, močno zmanjšajo prostor rešitev in tako zelo pohitrijo sam proces. Dobro je, da se teh stvari zavedamo še preden se lotimo snemanja in že v samem začetku poskušamo nabrati čim več informacij, ki nam utegnejo olajšati delo kasneje.

Literatura

- [1] T. Dobbert, “Matchmoving: The Invisible Art of Camera Tracking”, Sybex, 2005.
- [2] C. Bloch, “The HDRI Handbook 2.0: high dynamic range imaging for photographers and CG artists”, Rocky Nook, 2012.
- [3] D. A. Bloch, J. Ponce, “Computer Vision: A Modern Aproach”, Prentice Hall, 2002.
- [4] M. Marolt, “Računalniška grafika in tehnologija iger”, Fakulteta za računalništvo in informatiko, Univerza v Ljubljani, 2011/2013.
- [5] A. Leonardis, “Multimedijski sistemi”, Fakulteta za računalništvo in informatiko, Univerza v Ljubljani, 2011/2013.
- [6] S. Kelby, “ Digitalna fotografija 1”, Pasadena, 2010.
- [7] S. Kelby, “ Digitalna fotografija 2”, Pasadena, 2010.
- [8] S. Kelby, “ Digitalna fotografija 3”, Pasadena, 2010.
- [9] “Video tracking”. Dostopno na:
http://en.wikipedia.org/wiki/Video_tracking, [Jul. 20, 2013]
- [10] “Match moving”. Dostopno na:
http://en.wikipedia.org/wiki/Match_moving, [Jul. 20, 2013]

- [11] “Scale-invariant feature transform”. Dostopno na:
http://en.wikipedia.org/wiki/Scale-invariant_feature_transform, [Jul.
22, 2013]
- [12] “SIFT: Scale Invariant Feature Transform ”. Dostopno na:
<http://www.aishack.in/2010/05/sift-scale-invariant-feature-transform/>,
[Jul. 22, 2013]
- [13] “SIFT Image Features ”. Dostopno na:
[http://homepages.inf.ed.ac.uk/rbf/CVonline/LOCAL_COPIES/AV0405/
MURRAY/SIFT.html](http://homepages.inf.ed.ac.uk/rbf/CVonline/LOCAL_COPIES/AV0405/MURRAY/SIFT.html), [Jul. 22, 2013]
- [14] “Maya matchmover tutorials 2012”. Dostopno na:
<http://images.autodesk.com/adsk/files/matchmovertutorials2012.pdf>,
[Jun. 25, 2013]