

Sveučilište u Zagrebu – Geodetski fakultet University of Zagreb – Faculty of Geodesy

> Katedra za geoinformatiku Chair of Geoinformation Science

Kačićeva 26, 10000 Zagreb, Croatia Web: http://geoinfo.geof.hr; Tel.: +385 (1) 46 39 227; Fax: +385 (1) 48 26 953

Diplomski rad

Generiranje oblaka točaka iz fotografija pomoću računalnih programa Photosynth i Photofly

Student: Hrvoje Mahović

Mentor: prof. dr. sc. Damir Medak

Zagreb, rujan 2010.

|--|

Ime i prezime: Hrvoje Mahović

Datum i mjesto rođenja: 21. siječanj 1986., Zagreb, Hrvatska

II. Diplomski rad

Predmet: Analiza prostornih podataka

Naslov: Generiranje oblaka točaka iz fotografija pomoću računalnih programa Photosynth i Photofly

Mentor: prof. dr. sc. Damir Medak

III. Ocjena i obrana

Datum obrane: 24. rujan 2010.

 Sastav povjerenstva pred kojim je branjen diplomski rad:
 prof. dr. sc. Damir Medak

 doc. dr. sc. Boško Pribičević

Generiranje oblaka točaka iz fotografija pomoću računalnih programa Photosynth i Photofly

Sažetak: U ovom radu se opisuju računalni programi Photosynth i Photofly, pomoću kojih se iz niza fotografija dobivenih nekalibriranim fotoaparatima dobiva oblak točaka. Također se opisuje princip na kojem računalo povezuje fotografije, te iz njih dobiva trodimenzionalne koordinate točaka. Analizirani su načini kojima treba izrađivati fotografije kako bi se dobili kvalitetni modeli, uspoređivani izlazni rezultati dobiveni programima Photosynth, Photofly i 3D skenerom.

Ključne riječi: Photosynth, Photofly, 3D skener, oblak točaka, SfM algoritam,

Generating point clouds from photos using the computer programs Photosynth and Photofly

Abstract: In this thesis the computer programs Photosynth and Photofly are described, programs by which point clouds can be obtained from photos, shot using non-calibrated cameras. The way that computer joins photos and the way it afterwards obtains 3D coordinates are also described. At the end, the way photos should be taken, so as to obtain satisfying final results is analyzed. Furthermore, the difference between these programs is analyzed and the final results obtained by using Photosynth, Photofly and 3D scanner are compared.

Key words: Photosynth, Photofly, 3D scanner, point cloud, SfM algorithm

SADRŽAJ

1.	UV	OD		4
2.	TE	RESTRI	ČKI LASERSKI SKENERI (TLS)	5
	2.1.	OPĆEN	NITO O SKENERIMA	5
	2.2.	OBLAK	(TOČAKA	7
	2.3.	PODJE	LA LASERSKIH SKENERA	7
	2.4.	PRIKU	PLJANJE I OBRADA PODATAKA	9
3.	PH	οτοςγι	NTH	10
	3.1.	PRINC	IP RADA PHOTOSYNTHA	10
4	3.2.	PRAVII	LA SNIMANJA	11
4	3.3.	REZUL	TAT IZMJERE	12
	3.3	.1. NA	ČIN PRIKAZA U PHOTOSYNTHU	12
	3	.3.1.1.	Trodimenzionalni prikaz	12
	3	.3.1.2.	Dvodimenzionalni prikaz	13
	3	.3.1.3.	Oblak točaka	13
	3	.3.1.4.	Pogled iz zraka	14
	3.3	.2. KV	ALITETA IZLAZNOG REZULTATA	15
	3	.3.2.1.	Prednosti Photosyntha	16
	3	.3.2.2.	Mane Photosyntha	16
÷	3.4.	SYNTH	EXPORT	17
	3.4	.1. Set	točaka	18
	3.4	.2. Pai	ametri fotoaparata	19
4.	AU	TODES	K PHOTOSCENE EDITOR – PHOTOFLY	20
	4.1.	PRINC	P RADA	21
4	4.2.	PROBL	EMI S PROGRAMOM	23
	4.3.	ZAKLJ	UČAK	23
5.	RE	KONSTI	RUKCIJA FOTOGRAFIJA U RAČUNALNIM PROGRAMIMA	24

5.1. O	PĆEI	NITO	24
5.2. RI	EKO	NSTRUKCIJA MODELA	26
5.2.1.	Pro	onalaženje sličnosti među fotografijama	26
5.2.2.	Sf	M algoritam	28
5.2.2	2.1.	Projekcijska jednadžba	29
5.2.2	2.2.	Rekonstrukcija početnog para fotografija	29
5.2.2	2.3.	Poboljšavanje algoritma	30
5.2.2	2.4.	Konverzija žarišne daljine	30
5.2.3.	Ge	eoreferenciranje	31
5.2.4.	Za	avršna obrada i popravljanje prikaza	32
5.2.4	4.1.	Uklanjanje slabo povezanih točaka	32
5.2.4	4.2.	Automatska rotacija fotografija	32
5.3. PO	OGR	REŠKE	33
5.3.1.	Ne	edovoljna preklapanja ili tekstura	33
5.3.2.	An	nbigvitet- ponavljajuće strukture	34
5.3.3.	Lo	oša inicijalizacija	34
5.3.4.	Ka	askadna pogreška	35
6. OPRE	MA.		36
6.1. C		N EOS 400D	36
6.1.1.	Ka	arakteristike fotoaparata Canon EOS 400D	37
6.1.2.	Pre	ednosti fotoaparata Canon EOS 400D	38
6.1.3.	Ob	bjektiv	38
6.2. 30) SK	ENER	40
6.2.1.	Ka	arakteristike instrumenta	41
6.3. G	EOM	IAGIC STUDIO	42
7. ANAL	IZA	TOČNOSTI IZRADE 3D MODELA DOB	IVENIM
PHOTOSY	NTH	H PROGRAMOM - MODEL ROŠTILJA	43
7.1. Al	NALI	IZA TOČNOSTI U PHOTOSYNTHU	44
7.2. TF	RANS	SFORMACIJA	44
7.3. Z	AKLJ	JUČAK	45
8. ANAL	IZA	TOČNOSTI IZRADE 3D MODELA DOBI	VENOG
PROGRA	МОМ	I PHOTOSYNTH - MODEL KAMENOLOMA	46

8.1.	O KAMENOLOMU 46	5
8.2.	IZMJERA KAMENOLOMA 47	7
8.3.	OBRADA PODATAKA U PHOTOSYNTHU 47	7
8.4.	IZLAZNI REZULTAT 48	3
8.4.	.1. Model s jednom grupom fotografija48	3
8.4.	.2. Model s dvije grupe fotografija49	9
8.4.	.3. Model sa 3 grupe fotografija49)
8.4.	.4. Zaključak50)
9. US	POREDBA REZULTATA DOBIVENIH 3D SKENEROM,	
рното	DSYNTHOM I PHOTOFLYOM51	I
9.1.	USPOREDBA PHOTOSYNTHA I PHOTOFLYJA 51	1
9.1. 9.2. PHOT	USPOREDBA PHOTOSYNTHA I PHOTOFLYJA 51 USPOREDBA REZULTATA DOBIVENOG 3D SKENEROM, TOSYNTHOM I PHOTOFLYOM	1 2
9.1. 9.2. PHO 9.2.	USPOREDBA PHOTOSYNTHA I PHOTOFLYJA	1 2 2
9.1. 9.2. PHOT 9.2. 9.2.	USPOREDBA PHOTOSYNTHA I PHOTOFLYJA 51 USPOREDBA REZULTATA DOBIVENOG 3D SKENEROM, TOSYNTHOM I PHOTOFLYOM 52 .1. Podaci dobiveni skenerom 52 .2. Podaci dobiveni programom Photofly	1 2 3
9.1. 9.2. PHOT 9.2. 9.2. 9.2.	USPOREDBA PHOTOSYNTHA I PHOTOFLYJA 51 USPOREDBA REZULTATA DOBIVENOG 3D SKENEROM, TOSYNTHOM I PHOTOFLYOM 52 .1. Podaci dobiveni skenerom 52 .2. Podaci dobiveni programom Photofly 53 .3. Podaci dobiveni programom Photosynth 54	I ≥ 2 3
9.1. 9.2. PHOT 9.2. 9.2. 9.2. 9.2.	USPOREDBA PHOTOSYNTHA I PHOTOFLYJA 51 USPOREDBA REZULTATA DOBIVENOG 3D SKENEROM, TOSYNTHOM I PHOTOFLYOM 52 .1. Podaci dobiveni skenerom 52 .2. Podaci dobiveni programom Photofly 53 .3. Podaci dobiveni programom Photosynth 54 .4. Usporedba 3D skenera, Photosyntha i Photoflyja 54	I 2 2 3 1
9.1. 9.2. PHOT 9.2. 9.2. 9.2. 9.2. 10. ZAI	USPOREDBA PHOTOSYNTHA I PHOTOFLYJA 51 USPOREDBA REZULTATA DOBIVENOG 3D SKENEROM, TOSYNTHOM I PHOTOFLYOM 52 .1. Podaci dobiveni skenerom 52 .2. Podaci dobiveni programom Photofly 53 .3. Podaci dobiveni programom Photosynth 54 .4. Usporedba 3D skenera, Photosyntha i Photoflyja 54 KLJUČAK 55	≥ 231 1 5
9.1. 9.2. 9.2. 9.2. 9.2. 9.2. 10. ZAI	USPOREDBA PHOTOSYNTHA I PHOTOFLYJA	2 2 3 1 5 5
9.1. 9.2. PHOT 9.2. 9.2. 9.2. 10. ZAI 11. LIT 12. PO	USPOREDBA PHOTOSYNTHA I PHOTOFLYJA 51 USPOREDBA REZULTATA DOBIVENOG 3D SKENEROM, 52 TOSYNTHOM I PHOTOFLYOM 52 .1. Podaci dobiveni skenerom 52 .2. Podaci dobiveni programom Photofly 53 .3. Podaci dobiveni programom Photosynth 54 .4. Usporedba 3D skenera, Photosyntha i Photoflyja 54 KLJUČAK 55 PIS SLIKA 56	I ≥ 2 3 1 1 5 3 3
9.1. 9.2. 9.2. 9.2. 9.2. 9.2. 10. ZAI 11. LIT 12. POI 13. SAI	USPOREDBA PHOTOSYNTHA I PHOTOFLYJA 51 USPOREDBA REZULTATA DOBIVENOG 3D SKENEROM, 52 TOSYNTHOM I PHOTOFLYOM 52 .1. Podaci dobiveni skenerom 52 .2. Podaci dobiveni programom Photofly 53 .3. Podaci dobiveni programom Photosynth 54 .4. Usporedba 3D skenera, Photosyntha i Photoflyja 54 KLJUČAK 56 PIS SLIKA 58 DRŽAJ PRILOŽENOG OPTIČKOG MEDIJA 59	I ≥ 2 3 4 1 5 5 3)

1. UVOD

Cilj ovog diplomskog rada je istražiti i opisati jednu potpuno novu metodu geodetske izmjere – izradu trodimenzionalnih modela objekata pomoću nekalibriranih fotoaparata.

U prošlosti su se takvi poslovi radili isključivo pomoću fotogrametrijskih kamera, gdje je bilo potrebno jedan objekt snimiti s minimalno 2 stajališta uz veliko preklapanje, kako bi se dio koji je bio snimljen na obje fotografije mogao prikazati trodimenzionalno. Takva metoda je dobra, međutim cijene kalibriranih fotogrametrijskih kamera su vrlo visoke i naknadna obrada podataka iziskuje dosta vremena i truda. Također je problem i to što osoba koja radi 3D modele veći dio posla obavlja ručno, pa je takva metoda podložna pogreškama.

Unatrag zadnjih desetak godina, pojavili su se terestrički laserski skeneri koji su napravili revoluciju u geodeziji. Takvi uređaji mogu snimiti veliki broj točaka u vrlo kratkom vremenu, a dobiveni rezultati su visoke točnosti. Ta je metoda puno brža od klasičnih geodetskih izmjera, a uz to nije potrebno voditi skice jer se fotoaparatom snimi objekt koji se mjerilo. Posao na terenu nije opsežan, a glavni dio posla je obrada podataka u uredu. Glavna mana ovih skenera je visoka cijena uređaja.

Gore navedene mane su me potaknule na proučavanje načina dobivanja trodimenzionalnog oblaka točaka nekog objekta, bez korištenja kalibriranih fotogrametrijskih kamera ili terestričkih laserskih skenera. S interneta sam 'skinuo' softver *Photosynth* koji omogućuje dobivanje oblaka točaka pomoću fotografija snimljenih običnim fotoaparatom. Cijena izrade takvog modela je minimalna, pošto se mogu koristiti jeftiniji poluprofesionalni fotoaparati, a softver je potpuno besplatan. Nakon što sam napravio nekoliko proba dobivanja trodimenzionalnih objekata, uvidio sam kako bi ova metoda zasigurno mogla naći primjenu u geodeziji. Izlazni rezultati su oblaci točaka kao i kod 3D skenera, međutim broj izmjerenih točaka je manji. S obzirom da svi objekti ne moraju biti snimljeni prevelikom točnošću, ova bi se metoda mogla koristiti za vizualizaciju objekata, snimanje kamenoloma, stijena i drugih objekata gdje nije potrebna milimetarska točnost izmjere.

Sukladno navedenom odabrao sam kamenolom koji sam snimio fotoaparatom, pomoću Photosyntha dobio oblak točaka koji sam potom usporedio s podacima koji su dobiveni korištenjem trodimenzionalnog laserskog skenera, te dobio odgovor na pitanje je li ovo metoda koja će zadovoljiti potrebe u geodeziji ili ne.

2. TERESTRIČKI LASERSKI SKENERI (TLS)

2.1. OPĆENITO O SKENERIMA

Princip rada Terestričkog laserskog skenera (TLS) ili 3D skenera vrlo je jednostavan, a bazira se na odašiljanju signala iz instrumenta koji se potom odbija od prepreke (objekta) i vraća natrag do skenera (Slika 1). Kombinacija izmjerene udaljenosti i kuta daje trodimenzionalne koordinate točke. Način rada je odavno poznat, ali prije nije bilo tehničkih uvjeta u konstruiranju takvih instrumenata.



Slika 1. Princip rada skenera

Laserski skeneri (Slika 2) rade na principu takozvanog 'bezdodirnog snimanja', te nije potrebno trošiti vrijeme na hodanje od točke do točke koju želimo izmjeriti.

Mjerna se 3D tehnologija danas koristi na područjima gdje je do sada primjenu uglavnom nalazila klasična terestrička fotogrametrija i tahimetrija. Primjena laserskog skeniranja vrlo je raznolika: od arheologije, arhitekture, građevinarstva, strojarstva, snimanja klizišta za potrebe geodinamičkih ispitivanja, snimanja za industrijsku izmjeru, praćenje objekata i postrojenja, rudarstvo, snimanja kamenoloma, arhitektonske baštine i kulturnih spomenika i dr.



Slika 2. Trodimenzionalni skener

Snimanje TLS-om puno je ekonomičnije, jer se u kratkom vremenu može izmjeriti veliki broj točaka, a nije potrebo hodati po lokaciji izmjere niti crtati skicu, kao kod klasične izmjere. Crtanje skice je nepotrebno, jer se iz oblaka točaka može dobiti dovoljno informacija za izradu plana. Skener također snima okolne objekte, poput imena ulica i spomenika, pomoću kojih se lako može zaključiti o kojem je objektu riječ. Noviji skeneri imaju mogućnost povezivanja s digitalnim fotoaparatom, pa je informacija o snimljenom objektu potpuna. Skener snima vrlo gustu mrežu točaka na željenoj plohi, a gledajući s praktične strane on mjeri većinu radnog vremena (oko 6 sati od 8 sati radnog vremena) (Medak i dr., 2007), te se ne troši vrijeme na hodanje do objekta, već on 'hoda' umjesto nas. Pošto skener prikupi veliki broj podataka, naknadna obrada podataka je nešto kompliciranija, te predstavlja najveći dio posla.

Prednost skenera očituje se u tome da se za vrijeme snimanja s njim mogu pripremati drugi objekti za snimanje, pregledavati dosad snimljeni rezultati, snimati klasičnim metodama one točke koje se nisu mogle snimiti sa skenerom, itd.

Velika prednost skenera je snimanje objekata koji nisu pristupačni, snimanje u opasnim područjima, te u onima koja se ne mogu snimiti klasičnim geodetskim metodama. Često nije moguće prekidati radove na mjerenom području, pa je bezdodirno snimanje praktički jedina mogućnost izmjere.

2.2. OBLAK TOČAKA

Rezultat izmjere je oblak točaka, koji predstavlja skup točaka u 3D prostoru, pomoću kojih se dobiva fotorealističan 3D objekt, sačinjen od velikog broja točaka (zgrade, mehanički objekti, interijeri, ljudi) (Slika 3). Ovisno o tipu 3D skenera, oblaci točaka mogu sadržavati različite informacije, poput boje i intenziteta, čime se dobivaju dodatne informacije o snimljenom objektu, što znači da će se osim koordinata točaka spremiti i 3 podatka RGB¹ koji definiraju boju točke, a mogu se dobiti s unutarnjom ili vanjskom kamerom.

Većina današnjih skenera snima vrlo guste oblake točaka, pa je moguće dobiti točke na objektu koje su udaljene svega 1 milimetar.



Slika 3. Rezultat rada 3D skenera

2.3. PODJELA LASERSKIH SKENERA

Postoje 3 vrste laserskih skenera (Slika 4):

- Skeneri-kamere
- Panoramski skeneri
- Hibridni skeneri

¹ RGB je kratica za engleski pojam 'Red (crvena) Green (zelena) Blue (plava)', te je aditivni model boja kod kojeg se zbrajanjem osnovnih boja dobiva bijela boja. Svaka boja se opisuje kroz tri vrijednosti: dio crvene, dio zelene i dio plave boje.

• Skeneri-kamere

Skeneri-kamere imaju ograničen prozor snimanja (npr. 40°), te se mogu usporediti s fotogrametrijskim kamerama, a snimaju sve što se nalazi unutar tog uskog područja snimanja. Prednost ovih skenera je to što mogu snimati s udaljenosti koje su veće i od 1000 m.

• Panoramski skeneri

Panoramski skeneri snimaju sve oko sebe, osim područja ispod samog skenera. Rotacija u horizontalnom smislu je 360°, dok je u visinskom smislu 310°. Mana ovih skenera je kratki domet snimanja, a najbolji rezultati se postižu snimanjem interijera.

• Hibridni skeneri

Rotacija hibridnog skenera u horizontalnoj ravnini je 360°, dok u vertikalnoj ravnini iznosi 60°, te se na taj način dobiva snimak 60° × 360°. On u sebi sadrži rotacijsku prizmu ili ogledalo koje se rotira oko horizontalne osi. Takav tip skenera se danas najviše koristi.



Slika 4. Podjela skenera

S obzirom na način mjerenja duljine, skenere možemo podijeliti na:

- pulsne,
- fazne i
- triangulacijske.
- Pulsni skeneri rade na principu mjerenja vremena između odaslanog i primljenog signala. Prednost te metode je omogućavanje prikupljanja

podataka na udaljenostima preko 1000 m, a mana je smanjena točnost izmjere (oko 10 mm).

- Fazni skeneri rade na principu mjerenja razlike u fazi između odaslanog i primljenog signala. Nedostatak te metode je u ograničenosti dometa na nekoliko stotina metara, ali je zato točnost veća nego kod pulsnih skenera (oko nekoliko milimetara).
- Triangulacijski skeneri rade na principu optičke triangulacije. Laserska zraka, koja se projicira na objekt, registrira se na senzoru koji je smješten na poznatoj udaljenosti od izvora zrake. Kod njega je domet ograničen na samo nekoliko metara, dok je točnost povećana (ispod milimetra).

U praksi se najviše koristi pulsni način mjerenja, a dobivena udaljenost se kombinira s horizontalnim i vertikalnim kutovima.

Dobiveni oblaci točaka mogu biti u apsolutnom ili lokalnom koordinatnom sustavu. Stariji modeli skenera, koji nisu prvenstveno bili namijenjeni geodetima, dobivali su oblake točaka u lokalnom sustavu, koji je kasnije trebalo prebaciti u državni ili globalni koordinatni sustav. Noviji pak imaju mogućnost direktnog georeferenciranja na terenu.

Skeneri koji imaju ugrađene horizontalne i vertikalne kompenzatore, rade kao i klasični geodetski instrumenti, te imaju mogućnost direktnog dobivanja georeferenciranog podatka. S njima možemo mjeriti na jednak način kao i s klasičnim instrumentima: uzimati orijentaciju s pojedinih poligonskih točaka, iskolčavati točke na terenu, itd. Naknadno uklapanje i georeferenciranje oblaka točaka na taj način nije potrebno.

2.4. PRIKUPLJANJE I OBRADA PODATAKA

Prikupljanje i obrada podatka se radi pomoću softvera koji je instaliran na prijenosnom računalu ili dlanovniku, koji je povezan sa samim skenerom. Rezultat svih programa i skenera je isti – oblak točaka. Ukoliko postoji više stajališta, svako od njih će kao rezultat dati oblak točaka u vlastitom koordinatnom sustavu, a potom se moraju povezati pomoću identičnih točaka, te po potrebi georeferencirati.

Iz izmjerenih podataka u uredu se mogu obavljati radnje koje su se drugim geodetskim metodama radile na terenu, te se ovaj način izmjere može nazvati 'virtualna izmjera' (Medak i dr., 2007) jer se u softver ima prolazi kroz oblake točaka i crtaju detalji koji su od interesa.

10

3. PHOTOSYNTH

Photosynth je potpuno nova tehnologija koja omogućava drugačiji način gledanja fotografija pomoću računala. Program je razvila tvrtka Microsoft u suradnji sa Sveučilištem u Washingtonu, a omogućuje izradu trodimenzionalnih objekata iz fotografija i oblikovanje panorama. Po panoramama i trodimenzionalnim objektima može se kretati, pregledavati, te uvećati zanimljive detalje. Photosynth je moguće koristiti isključivo na operativnom sustavu Windows, a pregledavanje rezultata je moguće u Internet Exploreru ili Mozilla Firefox pregledniku. U internet preglednike potrebno je instalirati dodatak Microsoft Silverlight, kako bi se mogli pregledavati trodimenzionalni objekti. Da bi se izradili trodimenzionalni modeli, potrebno se registrirati na Photosynthovu stranicu, te instalirati program Photosynth. Za ovaj diplomski rad korištena je verzija programa 2.110.317.1042.

3.1. PRINCIP RADA PHOTOSYNTHA

Photosynth analizira veliku količinu fotografija nekog objekta ili dijela objekta, traži sličnosti među njima, nakon čega ih rekonstruira, te izrađuje trodimenzionalni model. Za dobivanje trodimenzionalnog modela potreban je veliki broj fotografija, koji ne smije biti manji od 20, a može biti veći i od 300. Broj potrebnih fotografija ovisi o veličini i kompleksnosti samog objekta, a one moraju biti u maksimalnoj rezoluciji, kako bi se dobio što bolji rezultat. Nakon što se objekt fotografira, slike se moraju prebaciti na Photosynthov server pomoću programa Photosynth (Slika 5). Program do konačnog rezultata dolazi preko sljedećih koraka:

- generiranje naslova
- izdvajanje karakterističnih objekata na fotografijama
- povezivanje fotografija
- rekonstrukcija prizora
- generiranje synth datoteka²
- slanje fotografija na server Microsofta.

Jedna od glavnih prednosti Photosyntha je mogućnost korištenja običnih nekalibriranih fotoaparata, te nije potrebno označavanje identičnih točaka na

² Synth datoteka sadrži podatke o izdvojenim karakterističnim točkama te njihovim izračunatim pozicijama

fotografijama, jer računalni program sam obavlja rekonstrukciju fotografija i pronalazi identične točke.



Slika 5. Sučelje programa Photosynth

3.2. PRAVILA SNIMANJA

Da bi rekonstrukcija 3D modela bila dobra, objekt je potrebno slikati što detaljnije i sa svih mogućih strana i pozicija.

Osnovna pravila snimanja su:

- preklapanja između fotografija moraju biti više od 50%
- svaki dio objekta mora biti snimljen s minimalno 3 fotografije napravljene s različitih lokacija (pravilo trojke)
- potrebno je snimiti što više detalja
- prilikom snimanja objekta stajališta bi trebala biti svakih 25° u odnosu na centar objekta
- količina fotografija je važnija od kvalitete
- potrebno je snimati u maksimalnoj rezoluciji
- fotografije se ne smiju obrezivati
- fotografije se ne smiju naknadno obrađivati (filtri, distorzije i sl.)

Objekti koji nisu pogodni za snimanje su ravne, glatke i jednobojne podloge, reflektirajuće podloge (stakla, izlozi i sl.), te objekti s jednoličnim strukturama.

3.3. REZULTAT IZMJERE

3.3.1. NAČIN PRIKAZA U PHOTOSYNTHU

Rezultati obrade fotografije mogu biti:

- trodimenzionalni prikaz
- dvodimenzionalni prikaz
- oblak točaka
- pogled iz zraka.

3.3.1.1. Trodimenzionalni prikaz

Trodimenzionalni prikaz radi na principu slaganja fotografija jedne pored druge, kako su snimane. Da bi prikaz bio dobar potrebno je snimiti veliku količinu fotografija kako bi cijeli objekt bio pokriven. Objekt je moguće rotirati, te se kretati oko njega. Ukoliko su neki detalji na objektu snimani s više fotografija i većim povećanjem, moguće se približiti tim dijelovima. Zumiranje je moguće pomoću kotačića na kompjuterskom mišu ili pomoću tipki '+' i '-', a kretanje po ili oko objekta je moguće povlačenjem lijeve tipke miša. Dok se pregledava jedan dio objekta u okolici se vide bijeli kvadrati koji pokazuju okvire susjednih fotografija na koje se može kliknuti (Slika 6). Ukoliko fotografije nisu snimljene prema pravilima za slikanje navedenim u točki 3.2., pregledavanje objekta je dosta otežano i loše, tj. nema cjelovitog prikaza.



Slika 6. Trodimenzionalni prikaz

3.3.1.2. Dvodimenzionalni prikaz

Dvodimenzionalni prikaz prikazuje samo izvorno snimljene fotografije i radi na principu običnog preglednika slika.

3.3.1.3. Oblak točaka

Za geodete najzanimljiviji rezultat programa Photosynth je oblak točaka. On prikazuje objekt sačinjen od malik obojanih točaka (Slika 7) koje, ako su dovoljno guste, vjerno prikazuju snimljeni objekt. Ukoliko je objekt snimljen s više strana moguća je rotacija objekta, te pogled iz raznih perspektiva. Također je moguće približavanje i udaljavanje od objekta.



Slika 7. Model roštilja – oblak točaka

14

3.3.1.4. Pogled iz zraka

Pogled iz zraka je zapravo jedan način prikaza oblaka točaka, koji objekt prikazuje iz zraka (Slika 8). Na primjeru objekta koji ima oblik kvadra u ovom načinu pregledavanja vidjeti će se stranice kvadra iz ptičje perspektive u obliku pravokutnika.



Slika 8. Model roštilja – pogled iz zraka

3.3.2. KVALITETA IZLAZNOG REZULTATA

Kvaliteta izlaznog rezultata može se ocijeniti temeljem tri karakteristike:

- postotak synthyja
- broj koordinatnih sustava
- cjelovitost objekta.

Pod postotkom synthyja podrazumijeva se kvaliteta izlaznog rezultata izražena u postotku. Naime, nakon što su sve fotografije prebačene na server, softver pokazuje koliki je postotak synthyja. Ukoliko je rezultat manji od 85%, objekt nije bio snimljen na dobar način, te problem može biti u premalom broju fotografija, nedovoljnom preklapanju ili pogrešnom kutu snimanja, pa je cijeli proces potrebno ponoviti. Mana ovog programa je to što nije moguće naknadno ubaciti nove fotografije kako bi se ispravile pogreške prvog snimanja i poboljšao rezultat, već je potrebno poslati (engl. upload) i stare i nove fotografije u sklopu novog modela, što je prilično dugotrajan proces.

Kvaliteta izlaznog modela ne očituje se samo u postotku synthyja, već i u broju koordinatnih sustava i cjelovitosti samog objekta. Ove dvije karakteristike su puno važnije i na njih treba obratiti posebnu pozornost. Ukoliko se objekt sastoji od dva ili više koordinatna sustava, znači da je rezultat loš, jer se različiti koordinatni sustavi ne mogu točno povezati i model je praktički neupotrebljiv. Čest je slučaj da, iako je model 100% synthy, ima više koordinatnih sustava ili da je 100% synthy i ima 1 koordinatni sustav, a da objekt nije cjelovit tj. da nedostaju neki dijelovi objekta. Takvi rezultati su loši i treba ponoviti snimanje.

Broj koordinatnih sustava se ne može vidjeti u programu Photosynth, već se on vidi prilikom prebacivanja oblaka točaka u programu Synth Export, što je opisano u točki 3.4. Ukoliko je program registrirao više koordinatnih sustava, softver postavlja pitanje koje sustave korisnik želi prebaciti, te svaki koordinatni sustav snima kao zasebnu datoteku. Ako se učita više koordinatnih sustava u jedan model, tada se uviđa da su oni potpuno nepovezani, te da je model neprepoznatljiv, pa treba ponoviti snimanje.

Da bi se ti problemi izbjegli, objekt je potrebno slikati s više stajališta, a ukoliko neki dio nije dobro snimljen s prvog stajališta, to će se popraviti na nekom drugom stajalištu, te će se na taj način izbjeći dobivanje više koordinatnih sustava i necjelovitost snimljenog objekta.

3.3.2.1. Prednosti Photosyntha

Prednosti Photosyntha su:

- jednostavno snimanje objekta
- mogućnost korištenja nekalibriranih fotoaparata
- besplatan softver
- jednostavno modeliranje objekata
- većinu posla obavlja računalo, pa je ljudska pogreška svedena na minimum.

3.3.2.2. Mane Photosyntha

Uza sve prednosti postoje i nedostaci Photosyntha:

- potrebno je snimiti veliku količinu fotografija kako bi se dobio dobar rezultat
- dugotrajno je prebacivanje podataka na Photosynthov server
- nemogućnost naknadnog dodavanja novih fotografija u model
- nemogućnost prebacivanja oblaka točaka izvan Photosyntha
- izlazni rezultat je u lokalnom koordinatnom sustavu.

3.4. SYNTH EXPORT

Nakon izrade modela, Photosynth ima mogućnost samo pregledavanja rezultata u internet pregledniku, te nije omogućeno eksportiranje oblaka točaka. S obzirom da ta mogućnost nema nikakve praktične primjene za geodetske potrebe, morao se pronaći program koji prebacuje oblak točaka u format čitljiv programima za obradu 3D objekata. U tu svrhu korišten je program Synth Export 1.1.0., u kojem se upiše URL 3D modela, te odabere format ispisa (Slika 9).

synthExport	Website 1.1.
Step 1: Specify photosynth	
From URL:	
© From file:	Browse
Step 2: Select data to export	
Point clouds	
Output format: PLY (binary) 🔻	
Camera parameters	
Step 3: Export	
Ready.	Export

Slika 9. Synth Export

Oblak točaka je moguće pretvoriti (engl. export) u jedan od sljedećih formata:

- > OBJ
- PLY (ASCII)
- PLY (BIN)
- > VRML
- ≻ X3D.

Program može pretvoriti oblak točaka i/ili parametre fotoaparata.

Prilikom pretvaranja oblaka točaka korišten je ASCII format, jer je kompatibilniji od binarnog.

ASCII (engl. American Standard Code for Information Interchange) je način kodiranja znakova temeljen na engleskoj abecedi. Kao standard, prvi put je objavljen 1967, a dorađen je 1986. Godine 1972. standard ISO-646 je definirao način prilagođavanja nacionalnim abecedama, pa je tako inačica za hrvatsku abecedu danas poznata pod popularnim nazivom CROSCII.

Nakon eksportiranja oblaka točaka izlazni rezultat se sastoji od:

- seta točaka $P = \{p_1, p_2, ..., p_n\}$. i
- parametara fotoaparata $C = \{C1, C2, \dots, Ck\}.$

3.4.1. Set točaka

Svaka točka p_j ima svoje trodimenzionalne koordinate X_j i boju. U ASCII prikazu (Slika 10) vidimo prikaz izlaznih rezultata kako slijedi:

- X koordinata
- Y koordinata
- Z koordinata
- vrijednost crvene boje
- vrijednost zelene boje
- vrijednost plave boje.

lovran_stijena_1. st_0 - Notepad	
File Edit Format View Help	
ply format ascii 1.0 element vertex 86714 property float x property float z property uchar red property uchar red property uchar freen property uchar blue end_header -0.8801896 0.6409206 0.1034509 -0.8805326 0.641066 0.101566 -0.8789678 0.6437973 0.1041017 -0.8897953 0.6235191 0.09816623 -0.863736 0.6864206 0.06707936 -0.7208503 0.8706439 0.06356454 -0.7424755 0.8497109 0.06191949 -0.7308621 0.8614278 0.06617355 -0.743747 0.869479 0.06559204 -0.7416371 0.8499677 0.0675234 -0.7345982 0.8573575 0.07247769 -0.7345982 0.8573575 0.07247769 -0.7503158 0.843313 0.07665859 -0.734576 0.8434749 0.1229538 -0.7374576 0.8434749 0.1229538 -0.7374576 0.8434749 0.1229538 -0.7374576 0.87365 0.1240947 -0.7889736 0.7794942 0.1494194 -0.7962236 0.7807829 0.1386808	65 72 49 74 85 57 41 52 32 255 214 197 8 20 16 41 40 32 123 125 131 32 32 16 131 133 139 41 44 1 115 121 123 82 93 90 90 89 82 41 48 32 106 117 115 74 52 24 115 129 123 41 56 32 82 129 82
	E. F.

Slika 10. Prikaz izlaznog rezultata

3.4.2. Parametri fotoaparata

Izlazni podaci o parametrima fotoaparata (Slika 11) sastoje se od trodimenzionalnih koordinata fotoaparata, parametara rotacije, omjera, žarišne daljine, te radijalne distorzije.

4	А	В	С	D	E	F	G	H	I	J	K
1	ImageId	PositionX	PositionY	PositionZ	RotationX	RotationY	RotationZ	AspectRatio	FocalLength	RadialDistortionK1	RadialDistortionK2
2	0	0.0872245	-0.0508556	0.0488327	-138.293.040.885.073	-0.609460780916788	0.687688033705763	1.5	375.347	-0.0596346	0.0594574
3	1	0.0829137	-0.0540937	0.0403112	-14.170.529.368.916	-0.629328424167029	0.677854615593098	1.5	375.907	-0.0583076	0.0581281
4	2	0.0128489	0.0300974	0.0301544	-148.867.283.143.738	-0.67212877381935	0.661874258420937	1.5	342.093	-0.0593168	0.0590824
5	3	-0.0556841	0.0819746	0.0117107	-154.197.713.551.895	-0.698396620742878	0.645791258190219	1.5	314.765	-0.079609	0.0791643
6	4	-0.00566637	0.0387318	0.00351352	-162.941.330.123.587	-0.741124075849939	0.623482517953746	1.5	334.583	-0.0373423	0.0372583
7	5	0.0842696	-0.0673326	0.020429	-133.953.807.447.562	-0.540408275093829	0.648861112262128	1.5	378.809	-0.0240046	0.0239749
8	6	0.0584548	-0.0382488	0.0366394	-140.507.757.957.462	-0.573563029677028	0.633674056642909	1.5	366.937	-0.0630258	0.0628313
9	7	0.0368148	-0.0041208	0.0317877	-146.723.148.009.653	-0.606455195278445	0.624306501050463	1.5	354.572	-0.080034	0.0796997
10	8	0.0120348	0.0373642	0.0287202	-153.073.364.374.844	-0.643759281367463	0.615491278215253	1.5	339.589	-0.0758591	0.0755137
11	9	0.0350296	0.0150512	0.0237407	-15.744.109.729.956	-0.666283288924048	0.603604722866282	1.5	349.448	-0.0812221	0.0808757
12	10	-0.0175817	0.0488969	-0.00689223	-163.694.706.986.535	-0.687240614038159	0.579384686097981	1.5	330.344	-0.0607236	0.0605052
13	11	0.0575406	-0.0612179	0.0255057	-135.462.264.773.851	-0.484303295147075	0.583179954917358	1.5	372.858	-0.0396067	0.0395381
14	12	-0.0272939	0.0526359	0.0486337	-143.638.585.260.258	-0.528498266121845	0.568867747470506	1.5	327.749	-0.0631122	0.0628619
15	13	0.00781784	0.00965244	0.0400475	-147.978.736.150.234	-0.544356926437696	0.557254115419008	1.5	344.399	-0.0899669	0.0895722
16	14	-0.0080852	0.0379406	0.0352116	-155.064.470.496.269	-0.576660638785497	0.546854606597734	1.5	335.187	-0.0838772	0.0835309
17	15	-0.00652128	0.0304645	-0.00253535	-162.570.639.179.317	-0.609010340057088	0.524963491011233	1.5	335.178	-0.0927688	0.0922904
18	16	-0.0367016	0.0737745	-0.0199591	-165.856.309.618.792	-0.62740608748699	0.526175914977672	1.5	318.404	-0.0605927	0.0603608
19	17	-0.0193812	0.0462778	0.0477495	-135.610.040.922.633	-0.409007931472786	0.506552447946232	1.5	331.637	-0.00398916	0.00398813
20	18	-0.0480006	0.0818497	0.0610663	-144.456.585.096.345	-0.437286052026359	0.478803381549764	1.5	316.659	-0.0294986	0.0294236

Slika 11. Parametri fotoaparata

4. AUTODESK PHOTOSCENE EDITOR – PHOTOFLY

Tvrtka 'Autodesk' je krajem srpnja 2010. godine lansirala svoj softver za dobivanje oblaka točaka iz fotografija Photo Scene Editor – Project Photofly (Slika 12). Softver je u eksperimentalnoj fazi do kolovoza 2011, te je njegovo će korištenje biti besplatno. Princip rada je vrlo sličan kao i kod Photosyntha međutim postoje i neke razlike.



Slika 12. Sučelje Photo Scene programa

Program se može besplatno preuzeti s Internet stranice tvrtke Autodesk (http://labs.autodesk.com/utilities/photo_scene_editor/). Analizirajući program, uočena su značajna poboljšanja u odnosu na Photosynth, primjerice mogućnost obrade izlaznog rezultata.

4.1. PRINCIP RADA

Nakon što se odabere opcija *Create Photo Scene* otvara se prozor u kojem se odabiru slike za rekonstrukciju modela, te program započinje obradu koja se sastoji od 3 koraka:

- prijenos podataka
- kreiranje 3D modela
- preuzimanje modela.

Jedna od razlika u odnosu na Photosynth je i ta da se nakon prvog koraka proces može prekinuti, te se on obavlja na Autodeskovom serveru, a rezultat se dobiva elektroničkom poštom. Nakon što je model gotov otvara se u pregledniku, gdje je moguća obrada izlaznog rezultata. Photofly ima opcije kao što su rotacija i zumiranje objekta te mogućnost prikaza položaja fotoaparata u vrijeme snimanja. Ako se klikne na sličicu fotoaparata vidi se fotografija koja je snimljena s tog mjesta (Slika 13).

Načini prikaza su modela su:

- fotografije
- oblak točaka
- splats način prikaza koji je kombinacija fotografija i oblaka točaka



Slika 13. Izlazni rezultat

Program ima opciju definiranja referentne linije, pomoću kojeg se odabere neka linija, te se upiše stvarna duljina, pa program potom skalira cijeli objekt. Također je omogućeno definiranje koordinatnog sustava i određivanja položaja koordinatnih osi, te mjerenje između unaprijed definiranih točaka ili uzduž koordinatnih osi, a posebno je dobra mogućnost mjerenje gledanjem fotografije i oblaka točaka, čime se točnost mjerenja višestruko povećava.

Jedna od glavnih prednosti u odnosu na Photosynth je ta da su fotografije koje softver nije uspio povezati označene, te se one mogu ručno povezati tako da se na toj fotografiji povežu 4 točke na 2 različite fotografije koje su dobro povezane u modelu (Slika 14). Potom program ponavlja cijeli proces i prikazuje novi rezultat. Također je omogućeno naknadno ubacivanje fotografija, kako bi se poboljšao model ili brisanje fotografija za koje se smatra da kvare izlazni rezultat.



Slika 14. Ručno određivanje identičnih točaka

Program može pretvoriti oblak točaka u dva formata: *.rzi i *.dwg, čime je omogućena daljnja obrada podataka u AutoCADu.

4.2. PROBLEMI S PROGRAMOM

lako je dosada naveden veliki broj prednosti u odnosu na program Photosynth, prilikom rada bilo je velikih problema i poteškoća. Jedan od glavnih je taj što program nije mogao obrađivati fotografije na kućnom računalu. Usred procesa obrade javio bi grešku s internet vezom, te daljnja obrada nije bila moguća. Neki modeli su uspjeli, međutim neki nisu i uvijek su zapinjali na istom koraku. Važno je napomenuti kako su korištene iste fotografije koje su u programu Photosynth dale odličan rezultat.

Za pomoć pri rješavanju problema postoji forum na internet stranici Autodeska na kojem se mogu postavljati pitanja te prijavljivati problemi s programom, a stručnjaci koji su izradili taj program odgovaraju u najkraćem mogućem roku. Nažalost nisu znali rješenje navedenog problema, ali su ponudili da im se pošalju fotografije, te su u roku 2 dana poslali gotov rezultat.

4.3. ZAKLJUČAK

Ovaj softver ima veliki potencijal, te se može pretpostaviti da će, kada izađe iz testne faze biti puno bolji od Photosyntha, te će se moći koristiti i za profesionalnu uporabu. Prednosti u odnosu na Photosynth su velike, a kontrolom nad izlaznim rezultatom možemo biti sigurniji u kvalitetu rezultata.

S obzirom da je ovaj softver izašao pred kraj pisanja ovog diplomskog rada, kada je već bila napravljena kompletna obrada kamenoloma, ovdje su objašnjene samo osnovne stvari koje su otkrivene proučavanjem softvera.

5. REKONSTRUKCIJA FOTOGRAFIJA U RAČUNALNIM PROGRAMIMA

Osim programa Photosynth i Photofly, koji su opisani u prethodnim poglavljima, postoje slični programi koji se bave modeliranjem trodimenzionalnih objekata u računalu od fotografija snimljenih s nekalibriranim fotoaparatima, kao što su ARC3D, Bundler i Agi Soft PhotoScan. Svi oni manje-više rade na jednakom principu koji je opisan u ovom poglavlju.

5.1. OPĆENITO

Osnovni princip prepoznavanja geometrije iz dvije ili više fotografija je krajnje jednostavan. Naime, ljudi koriste pogled za određivanje dubine tj. udaljenosti od oka do predmeta. Ako se neki predmet gleda s oba oka, jednostavno se može procijeniti udaljenost do tog predmeta, a slika je trodimenzionalna.

Promatrajući neki predmet, naše oči projiciraju trodimenzionalnu strukturu na dvodimenzionalnoj šarenici. Kako bi vidjeli sve tri dimenzije, naš mozak preko dvodimenzionalnih slika mora rekonstruirati trodimenzionalni svijet.

Zahvaljujući okluziji³ mozak može odrediti relativne udaljenosti između predmeta. Kada jedan predmet zaklanja drugi, promatrač može procijeniti relativne udaljenosti ovih predmeta.

Kada se glava pomiče naprijed-nazad, dobiva se pogled na predmete iz malo drugačijih kutova. Bliži predmeti se brže pomiču duž šarenice u odnosu na predmete koji su dalji. Tim se načinom može odrediti koji nam je predmet bliži. Primjer koji najbolje opisuje gore naveden proces je vožnja, gdje predmeti koji su nam bliži brže prolaze od udaljenijih predmeta koji nam se čine gotovo statični.

Sličan princip je i između dvije fotografije, gdje isti pikseli na slici A odgovaraju pikselima na slici B, te ukoliko je poznata pozicija kamere omogućeno je određivanje trodimenzionalnog objekta. Ovdje se zapravo radi o tome da postoje dvije zrake koje polaze iz fotoaparata te se sijeku u jednoj točki. Ista je procedura i kad postoji veći broj fotografija koje prikazuju isti objekt ili dio objekta.

³ Okulzija je svojstvo monokularnog vida pomoću kojeg predmet koji nam je bliže praktički potpuno zaklanja predmet koji nam je daleko.

Slika 15(a) ilustrira kako računalo generira oblak točaka iz dvije fotografije A i B, dok Slika 15(b) prikazuje kako računalo traži točke koje se nalaze na obje fotografije, koje su označene crvenom bojom.



Slika 15. Rekonstrukcija iz fotografija

Slika 16. prikazuje kako računalo prepoznaje zajedničke dijelove iz više fotografija. Nakon učitavanja fotografija (a) i (c), slika (b) prikazuje područje koje je zajedničko na obje slike, te se ono može prikazati trodimenzionalno.



Slika 16. Prikaz zajedničkih dijelova iz dvije fotografije

5.2. REKONSTRUKCIJA MODELA

Za dobivanje trodimenzionalnog modela potrebno je snimiti veliki broj fotografija kako bi se obuhvatio cijeli objekt, a glavni zadatak računala je da fotografije poveže u jedinstvenu cjelinu, te onda generira oblak točaka, kako slijedi:

- 1. Pronalaženje sličnosti među fotografijama
- 2. Izvođenje SfM algoritma
- 3. Algoritmička kompleksnost
- 4. Georeferenciranje
- 5. Završna obrada i popravljanje prikaza.

5.2.1. Pronalaženje sličnosti među fotografijama

Da bi se dobio trodimenzionalni model, prvi cilj je pronalaženje zajedničkih 2D piksela između ulaznih fotografija. Svaki set piksela koji se podudaraju iz više fotografija omogućuje dobivanje jedne 3D točke.

Princip radi prema sljedećem modelu (Slika 17):

- pronalaženje različitih objekata (engl. feature) na svakoj fotografiji
- povezivanje objekata između para fotografija
- povezivanje više fotografija i izrada niza točaka.

Nakon što su objekti pronađeni na svim fotografijama, sistem povezuje svaki par fotografija.

Neka F(I) označimo kao set objekata pronađenih na fotografiji I. Za svaki par fotografija I i J sistem razmatra svaki dio objekta $f \in F(I)$ i traži njegovu najbližu okolinu (engl. nearest neighbour) $f_{nn} \in F(I)$

$$f_{nn} =_{f' \in F(J)}^{\arg \min} \|f_d - f'_d\|_2$$

Ako nakon tog koraka par slika ima manje od minimalnog broja poveznica (unaprijed definirana vrijednost, npr. 16) smatra se da slike nisu povezane i svi povezani objekti se odbacuju.

Nakon što su svi parovi slika povezani, traže se veze između više slika. Ako se npr. objekt $f_1 \in F(I_1)$ poklapa s objektom $f_2 \in F(I_2)$ i s objektom $f_3 \in F(I_3)$ tada će oni biti grupirani u niz { f_1, f_2, f_3 }. Nizovi su pronađeni ispitivanjem svakog objekta f u svakoj fotografiji dok se ne pronađu svi objekti na svim fotografijama

koji odgovaraju dotičnom. Takvi objekti su grupirani u niz, te program traži sljedeći objekt.



Slika 17. Princip obrade fotografija u računalnom programu

5.2.2. SfM algoritam

SfM (engl. Structure from motion) je najvažniji dio u procesu obrade fotografija. On uzima nizove točaka iz prvog koraka te procjenjuje geometriju objekta pronalazeći trodimenzionalne koordinate točaka koje, kad su povezane preko jednadžba perspektivne projekcije, najbolje odgovaraju označenim nizovima.

Geometrija je definirana trodimenzionalnim točkama X_j za svaki niz točaka *j.* Nizovi točaka se mogu gledati kao gruba mjerenja objekta i svaki niz točaka sastoji se od projiciranih pozicija 3D točaka iz jednog prozora opažanja. Izraz *qij* iz objektivne funkcije *g* predstavlja izmjerene pozicije traka *j* na fotografiji koji je najčešće nepoznat, jer svi trakovi nisu vidljivi na svim fotografijama. Taj SfM problem se rješava tako da se uzimaju mjerenja i traži zajedničko rješenje za kameru i parametre scene kako bi se odredila što bolja mjerenja. Za *n* pogleda i *m* trakova objektivna funkcija g piše se:

$$g(C, X) = \sum_{i=1}^{n} \sum_{j=1}^{m} w_{i,j} \|q_{ij} - P(C_i, X_j)\|^2$$

gdje je w_{ij} indikator varijable, te ako je $w_{ij}=1$ tada 'fotoaparat promatra' niz *j*. Izraz $||q_{ij} - P(C_i, X_j)||$ se zove projekcijska pogreška niza *j* u fotoaparatu, što je prikazano ilustracijom (Slika 18) . Trodimenzionalna točka X_j se projicira u fotoaparat C_i , a projekcijska pogreška je razlika udaljenosti između projicirane točke $P(C_i, X_j)$ i promatrane točke q_{ij} . Objektivna funkcija *g* je suma kvadrata projekcijskih pogrešaka 'otežane' indikatorom varijable. Cilj SfM-a je pronaći parametre kamere i scene koja minimalizira tu objektivnu funkciju.



Slika 18. Projekcijska pogreška

5.2.2.1. Projekcijska jednadžba

Projekcijska jednadžba $P(C_i, X_j)$ je definirana kako slijedi. Prvo se točka X_j konvertira u koordinatni sustav kamere pomoću krute transformacije:

$$X' = \begin{bmatrix} x'_{x} \\ x'_{y} \\ x'_{z} \end{bmatrix} = R_{i} (X_{j} - c_{i}).$$

Poslije toga se radi perspektivna podjela i rezultat se skalira pomoću žarišne daljine:

$$X' = \begin{bmatrix} f_i X'_x / X'_z \\ f_i X'_y / X'_z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x'_x, x'_y \end{bmatrix}^T$$

gdje je X' dvodimenzionalna točka na slici. Na kraju se radi radijalna distorzija točke pomoću formula:

$$\rho^{2} = \left(\frac{X'_{x}}{f_{i}}\right)^{2} + \left(\frac{X'_{y}}{f_{i}}\right)^{2}$$
$$\alpha = k_{1i}\rho^{2} + k_{2i}\rho^{4}$$
$$x = \alpha x'$$

a x je izračunata projekcija.

5.2.2.2. Rekonstrukcija početnog para fotografija

Slike trebaju imati veliki broj zajedničkih točaka, te mora postojati određena udaljenost između centara fotoaparata, kako bi se dvije fotografije mogle povezati u trodimenzionalni objekt. Model transformacije između dviju fotografija u jednoj ravnini ili dvije fotografije snimljene s iste lokacije naziva se homografija. Ako nema homografije između dvije fotografije proizlazi da su fotoaparati imali različite položaje prilikom slikanja, te da je moguća trodimenzionalna vizualizacija.

Daljnji proces SfM algoritma sastoji se od sljedećih koraka:

- 1. poboljšavanje algoritma
- 2. konverzija žarišne daljine
- 3. određivanje parametara rotacije
- 4. sparse bundle adjustment.

5.2.2.3. Poboljšavanje algoritma

Poboljšavanje algoritma je postupak kojim se prepoznaju grube pogreške u povezivanju točaka, te njihovo izbacivanje iz modela, kako ne bi kvarili konačni rezultat.

5.2.2.4. Konverzija žarišne daljine

Većina današnjih fotoaparata snimke sprema u ekstenziji JPEG. Ako su podaci o ekspoziciji, fokusu, otvoru blende, žarišnoj daljini i dr. kodirani u Exif datoteci (engl. exchangeable image file format), moguće ih je očitati pomoću Exif tag čitača.

Podatak o žarišnoj daljini posebno je važan unutar SfM algoritma, jer omogućuje konverziju piksela u jedinice koje se mogu koristiti prilikom provođenja SfM-a.

Žarišna duljina f u optici je udaljenost od žarišta F do glavne točke optičkog sustava, koja se nalazi na osi plohe u kojoj se sijeku paralelne zrake prije loma, konvergentne ili divergentne zrake nakon loma (Slika 19).



Slika 19. Žarišna duljina kod fotoaparata

Podaci potrebni za konverziju su:

- žarišna daljina u mm (*f_{mm}*)
- veličina CCD senzora u fotoaparatu, također u milimetrima CCD_{mm}
- veličina fotografije u pikselima (*w*_{pixels}, *h*_{pixels}).

$$f_{pixels} = \frac{f_{mm}}{CCD_{mm}} (max\{w_{pixels}, h_{pixels}\})$$

Npr. ako imamo žarišnu daljinu 5,4 mm, veličinu CCD-a 5,27 mm,× 3,96mm, i veličinu fotografije 1600×1200 piksela, rezultat je:

$$f_{pixels} = \frac{5,4}{5,27} \times 1600 = 1639,47$$

5.2.3. Georeferenciranje

Sfm algoritam pokazuje koordinate u relativnom koordinatnom sustavu. Takav prikaz je dobar za vizualizaciju objekata, no ako se objekt želi smjestiti na kartu ili plan moramo ga georeferencirati, jer bez toga neće biti moguća ni izmjera samog trodimenzionalnog modela.

Georeferenciranje se radi pomoću najmanje 3 identične točke koje moraju biti definirane u oba sustava (lokalnom od fotoaparata i državnom ili globalnom sustavu). Nakon što su poznate točke u oba sustava može se koristiti Helmertova 7 parametarska transformacija koordinata (Slika 20).



Slika 20. Helmertova 7 parametarska transformacija

$$X_{GLOBALNI} = c + \mu R X_{LOKALNI}$$

gdje su:

- X_{GLOBALNI} Koordinate točke u državnom ili svjetskom koordinatnom sustavu
- X_{LOKALNI} Koordinate točke u sustavu koji je kreiran u SfM algoritmu
- μ faktor mjerila,

$$\int c_1$$

- $c = \begin{vmatrix} c_1 \\ c_2 \\ c_3 \end{vmatrix}$ vektor translacije i
- *R* matrica rotacije.

5.2.4. Završna obrada i popravljanje prikaza

Nakon što je model rekonstruiran može se napraviti još nekoliko koraka kako bi se poboljšao izlazni rezultat na način da se:

- uklone slabo povezane točke
- ukloni radijalna distorzija iz fotografija
- automatski rotiraju fotografije.

Uklanjanje slabo povezanih točaka 5.2.4.1.

Uslijed lošeg povezivanja ili loše geometrije moguće je da se u rekonstrukciji pojave lažne točke. Da bi se to uklonilo prvi korak je da se automatski izbace točke koje su vidljive na manje od 3 fotografije (točka vidljiva na dvije fotografije je vjerojatnije lažna od one koja je viđena na 3 ili više fotografija). Nakon što se takve točke izbace iz modela, traže se fotografije koje registriraju manje od 16 točaka, kako bi se izbacile iz izrade modela jer se smatraju slabo povjerljivim fotografijama. Na taj način je pročišćena geometrija točaka.

5.2.4.2. Automatska rotacija fotografija

Sfm algoritam radi točno, isključivo ako su sve fotografije pravilno orijentirane (portretno ili pejzažno), te je potrebno analizirati fotografije kako bi se moglo procijeniti je li neka fotografija krivo orijentirana. To je vrlo jednostavno jer se uzima u obzir da je većina fotografija točno orijentirana, pa se rotiraju samo preostale fotografije.

5.3. POGREŠKE

Prilikom povezivanja fotografija, mogu nastati slijedeće pogreške:

- 1. Nedovoljna preklapanja ili tekstura ulazne fotografije su prerijetke ili imaju prejednostavnu strukturu
- Ambigvitet⁴ ponavljajuće strukture mnogi objekti imaju prejednoliku strukturu i neki dijelovi objekta su preslični
- 3. Loša inicijalizacija
- 4. Kaskadna pogreška

5.3.1. Nedovoljna preklapanja ili tekstura

Osnovno pravilo da svaka točka na fotografiji bude prepoznata i povezana, jest da se nalazi na najmanje tri fotografije snimljene s različitih pozicija (pravilo trojke). Ako na primjer snimamo neki uzdužni objekt, te snimamo fotografije hodajući paralelno uz njega, snimiti ćemo fotografije *I1*, *I2*, *I3*, *I4*... pravilo trojke znači da između fotografija *I1* i *I3* mora postojati preklapanje, inače niti jedna točka neće biti prepoznata na više od dvije fotografije. Par susjednih fotografija *I1* i *I2* se moraju preklapati s više od 50%.



Slika 21. Kipića Mozarta snimljen s 3 stajališta

Na fotografiji kipića Mozarta (Slika 21) vidljivo je da je slikan s tri različita stajališta. Veze između slike 1 i 2 kao i kod slike 2 i 3 su dovoljne, međutim nema dovoljnog preklapanja između slika 1 i 3, te pravilo trojke nije zadovoljeno. Ovakve fotografije

⁴ Ambigvitet je stanje u kojem neka informacija može biti interpretirana na više načina.

se neće moći povezati niti dobiti trodimenzionalni objekt. Da bi se to izbjeglo treba se držati pravila da se kod manjih objekata stajalište mijenja svakih 25° u odnosu na centar objekta.

5.3.2. Ambigvitet- ponavljajuće strukture

Veliki broj zgrada može zbuniti softver zbog toga što ima jednoliku strukturu ili je objekt simetričan. Ako je jednoliki objekt snimljen sa svih strana softver može pobrkati strane, te više neće znati koje fotografije pripadaju kojem djelu zgrade, te će rezultat biti loš.



Slika 22. Pogreška 'ponavljajuće strukture'

Slavoluk u Parizu (Slika 22) sniman je s dvije različite strane, ali bez obzira na veliki broj točaka koje se poklapaju, obje strane objekta su preslične i softver bi ga pogrešno povezao.

5.3.3. Loša inicijalizacija

Još jedan izvor pogrešaka je pogreška inicijalizacije s obzirom na osjetljivost inicijalizacije početnog para fotografija.



Slika 23. Neckerova kocka

Na primjeru Neckerove kocke (Slika 23) vidljivo je kako su moguće dvije interpretacije trodimenzionalnog objekta kocke. Kako takva perspektiva može zbuniti ljudsko oko, na isti način može zbuniti i softver. Da bi se to izbjeglo, treba izabrati druge fotografije kao početne od kojih softver započinje inicijalizaciju.

5.3.4. Kaskadna pogreška

Kada algoritam pogrešno odredi poziciju kamere, sve točke koje se odrede s tog stajališta biti će pogrešne i narušit će kvalitetu izlaznog modela. Ako se s novog stajališta snimaju fotografije na kojima se vidi mali broj točaka, velika je vjerojatnost da će one imati veliku pogrešku. Ako fotoaparat snimi objekt gdje se na malom području nalazi veliki broj točaka, postoji mogućnost da softver krivo procijeni udaljenost. Ako se naprimjer, snima objekt s udaljenosti veće od 100 metara, očekivana pogreška može biti i nekoliko metara.



Slika 24. Kaskadna pogreška

Na ilustraciji Koloseuma u Rimu (Slika 24) vidljiva je kaskadna pogreška. Unutrašnji dio je prilično dobro oblikovan, dok vanjski zid ima veliku pogrešku i dio zida strši skoro pod kutom od 90°. Problem je nastao zato što je vanjski dio dosta loše povezan s unutrašnjim. Rekonstrukcija je bila dobra dok se modelirao unutrašnji dio, no kada su se dodale fotografije vanjske strane, nastao je problem. Zanimljivo je to da, ako se krene s rekonstrukcijom s vanjske strane, a potom s unutrašnje strane, rezultat ispadne dobar.

6. OPREMA

6.1. CANON EOS 400D

Za izradu trodimenzionalnog modela kamenoloma korišten je poluprofesionalni fotoaparat Canon EOS 400D. EOS⁵ je sustav SLR⁶ fotoaparata uveden 1987. godine s Canonom EOS 650, koji je još uvijek u proizvodnji. Za razliku od prethodne FD serije objektiva osmišljen je tako da nema mehaničke veze između objektiva i tijela fotoaparata. Otvorom zaslona i fokusom moguće je upravljati preko tijela fotoaparata zahvaljujući električnom kontaktu.

lako se kratica SLR odnosi na sustav tražila, tj. označava fotoaparate 's jednim sustavom leća' za tražilo i stvaranje slike, refleksni aparati se najčešće izvode s izmjenjivim objektivom, s karakteristikama i mogućnostima poluprofesionalne ili profesionalne klase. Budući da se u tražilo skreće isti svjetlosni snop koji će formirati sliku, SLR sustav nema pogrešku paralakse. Sljedeća je prednost SLR-a što je unaprijed moguće precizno provjeriti i odrediti dubinsku oštrinu budućeg snimka (promjenom veličine otvora zaslona).

Novi CCD⁷ čipovi su manje osjetljivi na koso padanje svjetlosti na rubovima slike, pa današnje SLR digitalne kamere mogu koristiti i izmjenjive objektive sa klasičnih aparata. Kako su dimenzije CCD čipa daleko manje nego upotrebljivi prostor 35 milimetarskog filma, slika uhvaćena na CCD čip sadrži samo sredinu one slike koju bi uhvatio film s istim objektivom. Drugim riječima, normalan objektiv za 35 milimetarski film postaje teleobjektiv ako se priključi na digitalnu kameru. Zbog toga iste žarišne dužine objektiva na klasičnom i digitalnom aparatu daju vrlo različit teleskopski učinak. Da bi se ovi učinci mogli uspoređivati sa uvriježenim žarišnim dužinama kod klasičnih aparata, za digitalne objektive se navodi faktor s kojim treba množiti žarišnu duljinu, da bi se dobila adekvatna žarišna duljina pri uporabi klasičnog 35 milimetarskog aparata. Taj faktor se kreće između vrijednosti 1 i 2, a poželjno je da bude što manji. Ukoliko je taj faktor 1, znači da digitalni fotoaparat može snimati jednako kao i klasični fotoaparat. Kod Canona EOS 400D taj faktor iznosi 1,6.

⁵ EOS - Electo-Optical System.

⁶ SLR - Single Lens Reflex.

⁷ CCD (Charged Couple Device) je specijalizirani čip koji se danas koristi samo kao optički senzor za digitalne fotoaparate i kamere.

6.1.1. Karakteristike fotoaparata Canon EOS 400D

Canon EOS 400D (Slika 25) je nasljednik vrlo uspješnih modela 300D i 350D i na njemu su poboljšani mnogi nedostaci tih modela.



Slika 25. Canon EOS 400D

Glavne karakteristike ovog fotoaparata su:

- fotosenzor zasnovan na CMOS⁸ tehnologiji, razlučivosti 10,1 megapiksela
- integrirana Canonova tehnologija za automatsko uklanjanje prašine
- LCD zaslon dijagonale 2,5 inča, razlučivosti 230.000 piksela i kuta vidljivosti od 160 stupnjeva
- vrlo precizan sustav za automatsko izoštravanje u devet točaka
- izbornici Picture Style s predefiniranim postavkama za različite uvjete fotografiranja i teme
- procesor DIGIC II za obradu slika koji omogućuje pokretanje fotoaparata za 0,2 sekunde
- program Digital Photo Professional RAW za obradu fotografija
- kompaktno kućište male težine
- potpuna kompatibilnost sa svim Canonovim objektivima serije EF i EF-S te bljeskalicama serije EX.

⁸ CMOS (Complimentary Metal Okside Semiconductor) je tehnologija za izradu digitalnih i analognih mikroelektroničkih sklopova.

Dimenzije aparata su 127x94x65 mm, a masa je 510 g (samo tijelo). Aparat najčešće dolazi u paketu s EF-S 18-55mm f/3,5-5,6 objektivom te tako efektivno daje pokrivenost od 29-88 mm.

6.1.2. Prednosti fotoaparata Canon EOS 400D

Fotoaparat EOS 400D naslijedio je brojne napredne, već provjerene osobine profesionalnih modela serije EOS, kao što su EOS 30D i 5D. Neke su od njih sustav automatskog izoštravanja s devet mjernih točaka, izbornici Picture Style s predefiniranim postavkama za različite uvjete fotografiranja i teme, maksimalan broj slika koje se mogu pohraniti u jednu mapu povećan je na 9999, a proširene su i mogućnosti izravnog ispisa na pisače (tehnologija PictBridge).

Model EOS 400D sadrži procesor DIGIC II, kakav se može pronaći i na ostalim modelima linije EOS, sve do profesionalnog modela EOS-1. Osim toga što daje sliku vrhunske kvalitete i što svodi na minimum vrijeme potrebno za pokretanje (0,2 sekunde), brzina procesora DIGIC II omogućuje fotografima snimanje bez zastoja brzim pražnjenjem memorijskog međuspremnika između svakog okidanja.

6.1.3. Objektiv

Za izradu ovog diplomskog rada korišten je objektiv Canon EF 28-135mm f/3,5-5,6 IS USM (Slika 26).



Njegove karakteristike su :

- konstrukcija objektiva: 16 elemenata u 12 skupina
- dijagonalni kut gledanja: 75° 18°
- fokusiranje: unutarnji sustav fokusiranja s USM-om
- najmanja udaljenost fokusiranja: 0,5 m
- veličina filtra: 72 mm
- ugrađeni stabilizator slike.

Prednost ovog objektiva je ugrađeni stabilizator slike koji, ako je uključen, omogućuje dobivanje oštre slike prirodnog izgleda i pri slabijem osvjetljenju, bez korištenja bljeskalice ili stativa. Vrlo je praktičan za mjesta na kojima je korištenje bljeskalice zabranjeno. Također koristi prstenasti USM za brzo, tiho automatsko i ručno fokusiranje.

Velika prednost ovog objektiva je uz mogućnost korištenja automatskog ili manualnog izoštravanja, korištenje automatskog izoštravanja uz ručnu korekciju, čime se višestruko dobiva na kvaliteti slikâ, jer aparat ponekad može izoštriti na krivi detalj.

Žarišna duljina od 28-135 mm odgovara 45-216 mm kod klasičnog 35 mm fotoaparata, čime ulazi u kategoriju tele-objektiva, te predstavlja idealan odabir za modeliranje kamenoloma.

6.2. 3D SKENER

Trimble GX 200 (Slika 27) je pulsni hibridni terestrički laserski skener koji je nastao u listopadu 2005. godine, a predstavljen je kao 'skener koji razmišlja kao geodet'. On omogućuje izmjeru kao s klasičnim geodetskim metodama - skener postavimo na neku poznatu točku, te ga orijentiramo prema nekim drugim poznatim točkama iz okoline. Princip mjerenja se zasniva na principu poligonskog vlaka, gdje na svakom stajalištu snimimo prethodno i buduće stajalište, te je na taj način kompletan set mjerenja u istom koordinatnom sustavu.



Slika 27. Trimble GX 200

Skener koristi dvije pulsirajuće laserske zrake 532 nm zelene boje. Vidno polje je ograničeno na 360 ° x 60 °, s asimetričnim vertikalnim kutom od oko 40 ° iznad horizonta. Brzina skeniranja je do 5000 točaka u sekundi. Skener ima mogućnost auto-fokusa laserske zrake, što se pokazalo izuzetno korisnim pri snimanju vrlo bliskih objekata. Skener ima integriranu kameru koja služi za bojanje oblaka točaka i prikaz snimljenog objekta.

6.2.1. Karakteristike instrumenta

- brzina do 5000 točaka u sekundi
- točnost pojedinačne točke je 12 mm na udaljenosti od100 m
- rezolucija skenera 3 mm na udaljenosti od 50 m
- pulsni laser 532 nm, zeleni
- dimenzije : 323 (duljina) x 343 (širina) x 404 (visina) mm
- masa: 13 kg
- radna temperatura od 0 °C do 40 °C
- temperatura skladištenja od -20°C do 50 °C
- posjedovanje elektronske libele
- mogućnost mjerenja jedne točke
- 3D vizualizacija u realnom vremenu (čak i za vrijeme mjerenja)
- obojeni oblak točaka
- standardna devijacija
 - 1,4 mm na udaljenosti od ≤50 m
 - o 2,5 mm na udaljenosti od 100 m
 - o 3,6 mm na udaljenosti od 150 m
 - o 6,5 mm na udaljenosti od 200 m

Uz laserski skener koriste se sfere ili značke (Slika 28) pomoću kojih se povezuju stajališta, te određuje orijentacija samog skenera.



Slika 28. Sfera i značka

6.3. GEOMAGIC STUDIO

Geomagic Studio (Slika 29) je programski paket koji služi za digitalnu rekonstrukciju kompleksnih trodimenzionalnih objekata. Omogućuje modeliranje objekata, analizu objekata, dizajn proizvoda, te manipuliranje s velikom količinom podataka.



Slika 29. Sučelje programa Geomagic Studio

Za izradu ovog rada korišten je program Geomagic Studio 11, a u njemu su obrađivani trodimenzionalni modeli dobiveni programom Photosynth. Pročišćeni su oblaci točaka, dodavane nove točke, skaliran model kako bi se mogao mjeriti, te ispitivana točnost izmjere. Program se pokazao dostatnim za ove zadatke. Nakon obrade datoteke su spremljene u *.wrp ekstenziji.

7. ANALIZA TOČNOSTI IZRADE 3D MODELA DOBIVENIM PHOTOSYNTH PROGRAMOM - MODEL ROŠTILJA

Nakon proučavanja Photosynth programa pristupilo se modeliranju manjih predmeta kako bi se shvatio princip rada i zakonitosti programa. Napravljeni su modeli raznih manjih predmeta kao što su figurice, knjige, stolice, te nešto veće kao što su stepenice, model kamenog roštilja i model kuće. Metodom pokušaja i pogrešaka došlo se do zaključaka kako treba snimati objekt da bi oblak točaka bio dobar, te su ta zapažanja opisana u 3. poglavlju. Jedan od najboljih dobivenih rezultata bio je model roštilja (Slika 30), kod kojeg je ispitana točnost izlaznog rezultata.



Slika 30. Roštilj

7.1. ANALIZA TOČNOSTI U PHOTOSYNTHU

Roštilj je snimljen sa 128 fotografija s 3 dostupne strane i 12 različitih stajališta. Rezultat je bio 99% synthy, što se može smatrati odličnim rezultatom. Nesigurnost od 1% je nastala zbog okolnih objekata (grana i trave) kod kojih nije bilo dovoljno preklapanja, a koje i nisu važne za model. Roštilj je bio prikazan u jedinstvenom koordinatnom sustavu, te je prikaz bio cjelovit. Analiza točnosti koju daje Photosynth je ograničavajuća, pa se pristupilo dodatnoj provjeri u Geomagic Studiju.

7.2. TRANSFORMACIJA

S obzirom da je oblak točaka bio u lokalnom sustavu, mjerenja na modelu, kao ni analiza točnosti dobivenog modela, nisu bila moguća. U programu Geomagic Studio je izmjerena jedna duljina koja je potom izmjerena i na pravom roštilju, te se pomoću toga dobio faktor s kojim se morao povećati model da bi jedinice bile izražene u centimetrima. Model je trebalo povećati 90,77499 puta. Nakon toga su izmjerene sve karakteristične stranice na roštilju, kako bi se mogla provjeriti točnost svih triju dimenzija (Slika 31).



Slika 31. Mjerenje duljina u Geomagic Studiju

7.3. ZAKLJUČAK

Mjerenjima se došlo do zaključka kako je model u lokalnom sustavu jako dobar, te da su relativni odnosi između stranica točni. U početku se smatralo kako će se morati skalirati sve tri koordinatne osi s različitim faktorima kako bi se moglo mjeriti na modelu, no to se pokazalo nepotrebnim, jer se određivanjem jednog odnosa među stranicama točno skalirao cijeli model. Kada su izračunate razlike između udaljenosti na roštilju i na zadanom modelu (Tablica 1), točnost je bila veća od 1 cm. Ovdje treba napomenuti kako je cijeli roštilj zaobljen, bez oštrih rubova, te nije bilo moguće precizno mjerenje i točno određivanje rubova, zbog čega se točnost od 1 cm može smatrati izvrsnom. Tim se načinom pokazalo da je Photosynth pogodan za modeliranje manjih objekata.

	stranica	D treba (cm)	D ima (cm)	razlika (cm)
PREDNJI DIO	unutarnja širina	65,0	64,8	0,2
	vanjska širina	80,0	79,6	0,4
	širina iznad luka	63,0	62,8	0,2
	ukupna duljina ploče	134,0	132,7	1,3
VISINE	visina od poda do ploče	63,0	62,9	0,1
	visina od ploče do kape	107,0	107,7	-0,7
	srednji dio roštilja	33,5	31,5	2,0
	debljina ploče	6,0	5,7	0,3
BOČNI DIO	širina gornje kape	30,5	30,1	0,4
	širina donjeg djela kape	46,0	47,2	-1,2
	širina srednjeg bočnog djela	42,0	42,8	-0,8
	širina ploče	63,0	61,6	1,4

Tablica 1. Rezultati točnosti 3D modela

8. ANALIZA TOČNOSTI IZRADE 3D MODELA DOBIVENOG PROGRAMOM PHOTOSYNTH - MODEL KAMENOLOMA

8.1. O KAMENOLOMU

Na Medvednici postoje tri kamenoloma u kojima se eksploatira dolomit za građevinske radove (kamenolomi Podsusedsko Dolje i Zaprešićki Ivanec), bazalt i dijabaz⁹ za asfaltnu smjesu (kamenolom Jelenje vode) koji se nalazi duboko u masivu Medvednice.

Kamenolom dijabaza 'Jelenje Vode' koje je u vlasništvu je poduzeća Hidrel d.o.o. nalazi se na sjeverozapadnim padinama Medvednice, a njegova eksploatacija je započela 1971. Godine, kada je kamenolom bio u vlasništvu poduzeća IGM Hidroelektra – Zagreb. Kamenolom je povezan makadamskom cestom s naseljem Kraljev Vrh, a odatle asfaltiranom cestom, preko Jakovlja, na autocestu Zaprešić – Krapina (državna cesta A2)(Slika 32).



Slika 32. Kamenolom 'Jelenje vode'

⁹ Dijabaz, po načinu pojavljivanja u litosferi spada u stijene bazaltske magme. Boja mu je od tamnosive do tamnozelene, a neki su dijabazi potpuno crni. Ima ih mnogo u našim krajevima, a najviše na sjevernoj strani Medvednice, Ivančici, Kalniku, Samoborskoj gori i u okolici Topuskog.

U kamenolomu se eksploatira magmatska stijena dijabaza koja se zbog dobrih fizikalno-mehaničkih svojstava prvenstveno koristi u proizvodnji asfaltnih masa i habajućih slojeva u cestogradnji, ali i prenapregnutnih betona.

8.2. IZMJERA KAMENOLOMA

Temeljem pretpostavki o snimanju većih objekata, kao i o principu i zakonitostima rada, krenulo se na izmjeru kamenoloma, glavnog zadatka ovog diplomskog rada. Na terenu se pregledao cijeli kamenolom, odabrala stijena koja je dobro vidljiva i koja ima dobro izražene teksture, te je pristupačna za snimanje. Snimanje je obavljeno rano ujutro kada sunce nije još izašlo iznad stijene, kako sjene ne bi kvarile rezultat, te kako ne bi 'zbunile' softver. Ukupno je izrađeno 380 fotografija, tako da je svaki dio stijene bio snimljen s minimalno 20 fotografija, čime se osiguralo da prikaz bude cjelovit. Za snimanje kamenoloma bilo je potrebno oko 60 minuta.

8.3. OBRADA PODATAKA U PHOTOSYNTHU

U prvom pokušaju je ubačeno svih 380 fotografija u softver, no softver je upozorio kako otežano radi s više od 300 fotografija, te da je moguće da proces ne uspije. Nakon sat vremena rada, softver javlja kako nema dosta memorije te da se pokuša s manjim brojem fotografija. Potom se reducirao jedan dio stijene i smanjio broj fotografija na manje od 300, međutim nakon par sati rada, softver je ponovo javio grešku kako Photosynth nema dovoljno memorije. Nakon toga se išlo pročistiti fotografije, te su izbrisane sve fotografije koje su mutne ili blago zamućene, te one fotografije na kojima je neki dio prikazan na više od 8 različitih fotografija, pazeći pritom da se ne pokvari izlazni rezultat. Tim postupkom se smanijo broj fotografija na 231, a ulazni rezultat je postao bolji, jer je bio pročišćen od loših fotografija. Ponovio se cijeli proces, međutim ponovo se dogodio isti problem. Potom se smanjilo fotografije na rezoluciju 600×800 pixela i program je uspio napraviti oblak točaka, te se time došlo do zaključka kako mu je preveliko opterećenje raditi s tako velikim brojem fotografija koje zauzimaju puno memorije. Proučavajući razne forume i blogove, te kontaktirajući osobe iz inozemstva koje rade s Photosyntom zaključeno je da se takvi problemi znaju događati, a da je jedno od rješenja rad na 64 bitnom računalu, pošto se do tada radilo samo na 32 bitnom. Uvažavajući navedeno, obrađene su sve fotografije bez ikakvih problema u ukupnom trajanju od 4 sata i 30 minuta.

8.4. IZLAZNI REZULTAT

Nakon obrade rezultat je bio odličan – 100% synthy, cijeli objekt bio je u jedinstvenom koordinatnom sustavu, te nije bilo praznina u modelu zbog loših i nepovezanih fotografija. S obzirom da je bilo problema s prijenosom velikog broja fotografija, snimljene fotografije su podijeljene u 3 grupe koje su većim dijelom prikazivale isto područje. Potom su obrađivane razne kombinacije od tih triju grupa, te se došlo do zanimljivih rezultata.

<image>Evere Parts : 1122

8.4.1. Model s jednom grupom fotografija

Slika 33. Model s jednom grupom fotografija

Slika 33 pokazuje rezultat dobiven sa samo 54 fotografije, te na prvi pogled izgleda kao odličan rezultat, međutim dobiveni rezultat ne odgovara stvarnom stanju na terenu. Iako je model sačinjen od 51 023 točaka, prikaz je previše uglačan i ne vide se sve izbočine na kamenolomu, kojih ima prilično mnogo.

8.4.2. Model s dvije grupe fotografija



Slika 34. Model s dvije grupe fotografija

Ovaj model (Slika 34) koji je sačinjen od 70 939 točaka, prikazuje model kamenoloma dobivenog sa 120 fotografija. Na prvi pogled rezultat djeluje puno lošije od rezultata dobivenog samo s prvog stajališta, međutim ovaj prikaz je puno točniji, te se ovdje nazire pravilnija struktura kamenoloma. Iako je rezultat bolji, na njemu ima previše praznina, te je model praktički neupotrebljiv.

8.4.3. Model sa 3 grupe fotografija

Korištenjem svih triju grupa fotografija (ukupno 231) dobiven je najbolji model koji je sačinjen od 133 928 točaka (Slika 35). Objekt je dobro prikazan i vjerno predstavlja kamenolom. Rupes koje se vide na modelu nastale su zbog položaja snimanja, te one predstavljaju ravne plohe. Naime, pošto se stajalo u nivou zemlje stijene su zaklanjale pogled na te ravne dijelove.



Slika 35. Model sa svim fotografijama

8.4.4. Zaključak

Analizirajući sva tri primjera može se zaključiti da za kvalitetno modeliranje treba snimiti što više fotografija, a ako se koristi premali broj može se dobiti samo prividno dobar rezultat. Također treba paziti da se ne snimi previše fotografija kako obrada ne bi bila onemogućena. Na terenu treba pažljivo pregledati cijeli objekt snimanja te odabrati optimalan broj fotografija, kako bi se cijeli objekt obuhvatio i dobio zadovoljavajući rezultat.

9. USPOREDBA REZULTATA DOBIVENIH 3D SKENEROM, PHOTOSYNTHOM I PHOTOFLYOM.

9.1. USPOREDBA PHOTOSYNTHA I PHOTOFLYJA

S obzirom da je bilo prilično otežano raditi modele u programu Photofly i svega nekoliko ih je program uspio završiti, uspoređen je trodimenzionalni model, koji dolazi uz Photofly kao ogledni primjer, a koji je program bez problema obradio.

Fotografije iz primjera koji dolazi sa aplikacijom, ubačene su u Photosynth te se dobio odličan rezultat. Na prvi pogled u izlaznom rezultatu nema razlike, međutim Photosynth je generirao ukupno 20 930 točaka, dok je Photofly generirao 18 683, što i nije prevelika razlika (Slika 36).



Slika 36. Usporedba Photosynth - Photofly

Da bi ih se lakše usporedilo, rezultat iz Photofly-ja je konvertiran u *.dwg, a u programu AutoCAD u *.dxf, kako bi se mogao učitati u program Geomagic. Mana Photoflyja je što prilikom konverzije u *.dwg model gubi podatke o boji točaka, što prilično otežava gledanje.

Kako je navedeno u poglavlju 4, Photofly ima bolju mogućnost manipuliranja podacima te mu je to glavna prednost u odnosu na Photosynth, dok s druge strane u Photosynthu su se sve fotografije koje su učitane (osim onih modela koji su imali više od 300 fotografija) uspješno obradile, te nije bilo opasnosti da će izostati rezultat. Photofly ima potencijal i kroz neko vrijeme će se sigurno popraviti početne greške, te će davati puno kvalitetnije rezultate u odnosu na Photosynth; može se pretpostaviti da je on više namijenjen profesionalnom korištenju, te će naći svoju primjenu u geodeziji.

9.2. USPOREDBA REZULTATA DOBIVENOG 3D SKENEROM, PHOTOSYNTHOM I PHOTOFLYOM

Kako je glavni zadatak ovog diplomskog rada bio izraditi trodimenzionalni model kamenoloma, odlučeno je usporediti ga s postojećim rezultatima 3D skenera, te podacima koje daje program Photofly.

9.2.1. Podaci dobiveni skenerom

Kamenolom Jelenje vode snimljen je sa skenerom Trimble GX 200 prije nekoliko mjeseci, a pošto je zabranjeno daljnje korištenje kamenoloma, stanje na terenu se nije promijenilo. Stoga su ti podaci uspoređeni s onima koji su snimljeni fotoaparatom. Cijeli kamenolom je ukupno snimljen s više od 4 000 000 točaka. U programu Geomagic Studio izbačen je višak podataka, te ostavljena samo stijena koja je snimljena. Nakon izrezivanja viška podataka model je ostao s 253 000 točaka (Slika 37).



Slika 37. Rezultat 3D skenera

9.2.2. Podaci dobiveni programom Photofly

U programu Photofly uspjelo se obraditi samo dvije grupe fotografija, te je rezultat bio prilično dobar. Tokom obrade samo jedne grupe fotografija (njih 54) program je javio kako ne može spojiti sve fotografije. Iako je Photosynth uspio obraditi samo jednu grupu fotografija, Photofly se pokazao boljim jer je 'shvatio' da je uzorak premali da bi se dobio kvalitetan rezultat, dok je Photosynth dao pogrešan rezultat, deklarirajući ga jako dobrim!

Obradom dvije grupe od ukupno 120 fotografija, Photofly je generirao svega 5255 točaka (Slika 38), te je primijećeno da rubne dijelove kamenoloma nije uopće uzeo u obzir, jer očito nije imao dovoljno preklapanja. Način prikaza u Photofyju je najbolji jer ima prikaz koji djelomično prikazuje oblak točaka, a djelomično fotografije, čime se najbolje može vizualizirati objekt snimanja.

Obrada veće količine fotografija (tri grupe) nije bila moguća jer je proces obrade zapinjao u raznim fazama obrade.



Slika 38. Rezultat programa Photofly

9.2.3. Podaci dobiveni programom Photosynth

Kako je navedeno u točki 8.4.3. Photosynth je napravio oblak točaka sačinjen od 133 928 točaka, te predstavlja odličan prikaz kamenoloma (Slika 35).



9.2.4. Usporedba 3D skenera, Photosyntha i Photoflyja

Slika 39. Usporedba 3D skenera i Photosyntha

Uspoređujući podatke dobivene u Photosynthu s onima od 3D skenera (Slika 39) vidljivo je da skener daje malo detaljniji prikaz, međutim razlika u broju točaka nije prevelika: 3D skener je snimio oko 253 000 točaka, dok je Photosynth snimio oko 134 000 točaka, te se pretpostavlja da to nije velika razlika, jer se s oba oblaka točaka može dobro prikazati objekt i raditi daljnja računanja. Photofly je dao najlošiji rezultat, međutim kako se iz dana u dan njihov softver mijenja, za očekivati je da će i on uskoro dobivati ovako kvalitetne rezultate.

3D Skener ima svoje brojne prednosti poput kvalitete i brzine snimanja, međutim njegove glavne mane su visoka cijena i velika količina opreme, a to su glavne prednosti Photosyntha. S njim je obrada podataka nešto dugotrajnija, međutim s obzirom na veliku razliku u cijeni opreme to je zanemarivo, jer će se konačni rezultat jednako naplatiti, te je samim time veći profit.

10. ZAKLJUČAK

U ovom diplomskom radu proučavao sam metode pomoću kojih se može dobiti oblak točaka, a da se pritom ne koriste klasične fotogrametrijske metode ili 3D skeneri.

Na tržištu postoji prilično veliki broj softvera koji se bave rekonstrukcijom fotografija, izradom trodimenzionalnih modela i oblaka točaka. Glavni predmet istraživanja bio je program Photosynth, koji se pokazao izuzetno kvalitetnim i efikasnim. Pomoću tog programa sam modelirao razne predmete i rezultati su iznenađujući dobri i točni. Izradom modela roštilja pokazao sam kako je njegova točnost od nekoliko milimetra do jednog centimetra, što smatram odličnim rezultatom. Modelirajući kamenolom nisam mogao ispitati točnost rezultata, međutim broj dobivenih točaka je prilično velik, te oblak točaka vrlo vjerno prikazuje objekt snimanja. Uspoređujući prednosti i mane skenera i Photosyntha došao sam do zaključka kako je Photosynth bolji izbor ako ne tražimo preveliku točnost, te se može koristiti u velikom broju geodetskih radova.

Pred kraj pisanja ove radnje Autodesk je objavio svoju inačicu programa za izradu oblaka točaka iz fotografija – Photofly, te sam i pomoću njega radio modele. Princip ta dva programa je vrlo sličan, međutim zbog rane verzije Photoflyja on još nije za profesionalnu uporabu, jer ima dosta neriješenih problema. Poznavajući ostale softvere tvrtke Autodesk, siguran sam da će u skorijoj budućnosti otkloniti sve greške, te će u potpunosti zamijeniti program Photosynth, jer već u ovoj fazi ima velike prednosti.

Geodezija je znanost koja se jako brzo mijenja i svakodnevno se dolazi do novih proizvoda i softvera za obradu podataka. Izmjera postaje sve jednostavnija, jeftinija i točnija, te se ti trendovi moraju pratiti kako bi bili konkurentni na tržištu, i dobivali kvalitetnije rezultate. Photosynth ima veliki potencijal u geodeziji, te iako nije namijenjen za našu struku, dobiveni rezultati se itekako mogu iskoristiti, te zamijeniti skupe 3D skenere.

11. LITERATURA

- Medak, D; Pribičević, B; Medved, I; Miler, M; Odobašić, D. (2007): **Terestričko lasersko skaniranje i trodimenzionalno projektiranje**, HGD - Simpozij o inženjerskoj geodeziji, Beli Manastir, svibanj 2007, str 261-267.
- Miler, M; Đapo, A; Kordić, B; Medved, I. (2007): **Terestrički laserski skeneri**. Ekscentar br.10, str. 35-38.
- Snavely Keith, N. (2008): Scene Reconstruction and Visualization from Internet Photo Collections, University of Washington, 2008.
- Pomaska, G. (2009): Utilization of Photosynth Point Clouds for 3D Object Reconstruction, 22nd CIPA Symposium, October 2009, Kyoto, Japan
- Kujundžić, D. (2008): Izrada geodetske podloge za projektiranje kombinacijom GPS-a i terestričkoga trodimenzionalnoga laserskog skeniranja, Geodetski list 2008, 4, 249–256.

POPIS URL-ova

- URL 1. Program Photosynth: http://photosynth.net/default.aspx, (10.6.2010)
- URL 2. Upute za rad sa Photosyntom: http://binarymillenium.com/2008/08/photosynth-export-processtutorial.html, (12.06.2010)
- URL 3. O Photosynthu: http://photosynth.net/about.aspx, (14.6.2010)
- URL 4. Program Synth export: http://synthexport.codeplex.com, (15.6.2010)
- URL 5. O eksportiranju oblaka točaka: http://getsatisfaction.com/livelabs/topics/pointcloud_exporter, (15.6.2010)

- URL 6. Upute za Photosynth: http://mslabs-777.vo.llnwd.net/e1/documentation/Photosynth%20Guide%20v7.pdf (15.6.2010)
- URL 7. Fotografija skenera: http://www.laserdesign.com/upload/images/ls880.jpg,(1.7.2010)
- URL 8. O oblaku točaka: http://www.autocadhr.net/index.php?option=com_content&view=articl e&id=99:autocad-2011-point-cloud&catid=12:autodesk, (1.7.2010)
- URL 9. Karakteristike fotoaparata: http://www.fot-ografiti.hr/novosti/press/canon-eos-400d, (10.7.2010)
- URL 10. Karakteristike objektiva: http://www.the-digitalpicture.com/Reviews/Canon-EF-28-135mm-f-3.5-5.6-IS-USM-Lens-Review.aspx (12.7.2010)
- URL 11. Karakteristike objektiva: http://www.canon.hr/For_Home/Product_Finder/Cameras/EF_Lenses /Image_Stabilization_Lenses/EF_28135mm_f3556IS_USM/ (12.7.2010)
- URL 12. Neva Bulovec: Vrše li naši mozgovi konstantno podsvjesne računske operacije? http://www.znanost.com/clanak/vrse-li-nasi-mozgovi-konstantno-podsvjesne-racunske-operacije (25.7.2010)
- URL 13. O kamenolomu: http://www.vecernji.hr/regije/kamenolom-je-parkuprirode-zatvara-se-roku-sest-mjeseci-clanak-105801 (31.07.2010)
- URL 14. O kamenolomu: http://www.hidrel.hr/kamenolom/kamenolom.htm (1.8.2010)
- URL 15. O programu Photofly: http://labs.autodesk.com/utilities/photo_scene_editor/(1.8.2010)
- URL 16. Forum projekta Photofly: http://forums.autodesk.com/t5/Project-Photofly/bd-p/507 (2.8.2010)
- URL 17. Upute za rad sa Photoflyom: http://labs.autodesk.com/files/7701_7800/7701/file_7701.pdf (2.8.2010)
- URL 18. Blog o Autodeskovu laboratoriju: http://labs.blogs.com/ (2.8.2010)

12. POPIS SLIKA

Slika 1. Princip rada skenera	5
Slika 2. Trodimenzionalni skener	6
Slika 3. Rezultat rada 3D skenera	7
Slika 4. Podjela skenera	8
Slika 5. Sučelje programa Photosynth	. 11
Slika 6. Trodimenzionalni prikaz	. 12
Slika 7. Model roštilja – oblak točaka	. 13
Slika 8. Model roštilja – pogled iz zraka	. 14
Slika 9. Synth Export	. 17
Slika 10. Prikaz izlaznog rezultata	. 18
Slika 11. Parametri fotoaparata	. 19
Slika 12. Sučelje Photo Scene programa	. 20
Slika 13. Izlazni rezultat	. 21
Slika 14. Ručno određivanje identičnih točaka	. 22
Slika 15. Rekonstrukcija iz fotografija	. 25
Slika 16. Prikaz zajedničkih dijelova iz dvije fotografije	. 25
Slika 17. Princip obrade fotografija u računalnom programu	. 27
Slika 18. Projekcijska pogreška	. 28
Slika 19. Žarišna duljina kod fotoaparata	. 30
Slika 20. Helmertova 7 parametarska transformacija	. 31
Slika 21. Kipića Mozarta snimljen s 3 stajališta	. 33
Slika 22. Pogreška 'ponavljajuće strukture'	. 34
Slika 23. Neckerova kocka	. 34
Slika 24. Kaskadna pogreška	. 35
Slika 25. Canon EOS 400D	. 37
Slika 26. Objektiv EF 28-135	. 38
Slika 27. Trimble GX 200	. 40
Slika 28. Sfera i značka	. 41
Slika 29. Sučelje programa Geomagic Studio	. 42
Slika 30. Roštilj	. 43
Slika 31. Mjerenje duljina u Geomagic Studiju	. 44
Slika 32. Kamenolom 'Jelenje vode'	. 46
Slika 33. Model s jednom grupom fotografija	. 48
Slika 34. Model s dvije grupe fotografija	. 49
Slika 35. Model sa svim fotografijama	. 50
Slika 36. Usporedba Photosynth - Photofly	. 51
Slika 37. Rezultat 3D skenera	. 52
Slika 38. Rezultat programa Photofly	. 53
Slika 39. Usporedba 3D skenera i Photosyntha	. 54

13. SADRŽAJ PRILOŽENOG OPTIČKOG MEDIJA

Br.	Putanja do datoteke	Opis sadržaja		
1.	Diplomski_Rad–Mahovic.docx	Tekst diplomskog rada		
2.	Model kamenoloma – Photosynth.wrp	Model kamenoloma dobiven programom Photosynth		
3.	Model kamenoloma – Photofly.rzi	Model kamenoloma dobiven programom Photofly		
4.	Model roštilja – Photosynth.wrp	Model roštilja dobiven programom Photosynth		

14. ŽIVOTOPIS

EUROPEAN CURRICULUM VITAE FORMAT

**	*
*	*
*	*
*	*
**	*

OSOBNE OBAVIJESTI

Hrvoje Mahović Tuškanac 57 b **098-592 683** hmahovic@geof.hr

maligauss@gmail.com

Državljanstvo

Datum rođenja

21.01.1986.

-

-

Hrvatsko

RADNO ISKUSTVO

Datum (od – do)
Naziv i sjedište tvrtke zaposlenja
Vrsta posla ili područje
Zanimanje i položaj koji obnaša
Osnovne aktivnosti i odgovornosti

Datum (od – do)
Naziv i sjedište tvrtke zaposlenja
Vrsta posla ili područje
Zanimanje i položaj koji obnaša
Osnovne aktivnosti i

odgovornosti

ŠKOLOVANJE I IZOBRAZBA

Datum (od – do)
Naziv i vrsta obrazovne ustanove 2000-2004 Gornjogradska gimnazija

 Osnovni predmet /zanimanje Naslov postignut obrazovanjem Stupanj nacionalne kvalifikacije (ako postoji) 	- - SSS
 Datum (od – do) Naziv i vrsta obrazovne ustanove Osnovni predmet /zanimanje Naslov postignut obrazovanjem Stupanj nacionalne kvalifikacije (ako postoji) 	-
OSOBNE VJEŠTINE I SPOSOBNOSTI Stečene radom/životom, karijerom, a koje nisu potkrijepljene potvrdama i diplomama.	
MATERINSKI JEZIK	Hrvatski
DRUGI JEZICI	
 sposobnost čitanja sposobnost pisanja sposobnost usmenog izražavanja 	Engleski odlična odlična odlična
 sposobnost čitanja sposobnost pisanja sposobnost usmenog izražavanja 	Francuski osnovno osnovno osnovno
Socijalne vještine i sposobnosti Življenje i rad s drugim ljudima u višekulturnim okolinama gdje je značajna komunikacija, gdje je timski rad osnova (npr. u kulturnim ili sportskim aktivnostima).	-
ORGANIZACIJSKE VJEŠTINE I SPOSOBNOSTI Npr. koordinacija i upravljanje	Kao predsj međunaroo 2010. održ

osobljem, projektima, financijama; na poslu, u

dragovoljnom radu (npr. u

1

Kao predsjednik organizacijskog odbora organizirao IGSM – međunarodni susret studenata geodezije koji se od 2-8. svibnja 2010. održao na Geodetskom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu.

Organizator različitih studentskih putovanja na stručne skupove u zemlji i inozemstvu (suorganizator odlaska na IGSM 2008. u

	02
kulturi i športu) i kod kuće, itd.	Španjolskoj, organizator odlaska na: IGSM 2009. u Švicarskoj, ISPRS 2009. u Poljskoj, Intergeo – Sajam geodetske opreme u Karlsruheu 2009, te 1. NIPP i Inspire dan u Varaždinu 2009)
TEHNIČKE VJEŠTINE I SPOSOBNOSTI S računalima, posebnim vrstama opreme, strojeva, itd.	CAD softveri (AutoCAD, Microstation, GLM) , osnove GIS softver (Arc GIS, Idrisi, Geomedia) , Photoshop, Microsoft Office, Macromedia Dreamweaver, Fireworks, osnove programiranja u C++ , Javi i Basicu
Umjetničke vještine i sposobnosti Glazba, pisanje, dizajn, itd.	Bavljenje fotografijom (od 2002) - sudjelovanje na raznim natječajnim izložbama u zemlji i inozemstvu, te dobitnik nekoliko nagrada i priznanja.
Druge vještine i sposobnosti Sposobnosti koje nisu gore navedene.	
Vozačka dozvola	B kategorija
DODATNE OBAVIJESTI	-
DODATCI	Sudjelovao na CEEPUS razmjeni studenata u Salzburgu u veljači 2010, te za to vrijeme završio 3 tečaja na ARC GIS Virtual Collegu, te pohađao GIS zimsku školu na temu WaterScarcity. Dobitnik posebne rektorove nagrade u akademskoj godini
	2009/10. za organizaciju IGSM-a.