

Univerza
v Ljubljani
Fakulteta
*za gradbeništvo
in geodezijo*

*Janova 2
1000 Ljubljana, Slovenija
telefon (01) 47 68 500
faks (01) 42 50 681
fgg@fgg.uni-lj.si*



Univerzitetni program Geodezija,
smer Geodezija

Kandidatka:

Petra Mitič

Ocena digitalnega modela površine urbanega območja iz IKONOS-ovih stereo podob

Diplomska naloga št.: 706

Mentor:

doc. dr. Mojca Kosmatin Fras

Somentor:

Konrad Eder

Ljubljana, 16. 3. 2007

POPRAVKI

IZJAVA O AVTORSTVU

Podpisana **PETRA MITIČ** izjavljam, da sem avtorica diplomske naloge z naslovom:
»**OCENA DIGITALNEGA MODELA POVRŠINE URBANEGA OBMOČJA IZ
IKONOS-OVIH STEREO PODOB**«.

Izjavljam, da prenašam vse materialne avtorske pravice v zvezi z diplomsko nalogo na UL,
Fakulteto za gradbeništvo in geodezijo.

Ljubljana, 5.3.2007

(podpis)

BIBLIOGRAFSKO – DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK

UDK:	528.7:711.4(043.2)
Avtor:	Petra Mitič
Mentor:	doc. dr. Mojca Kosmatin Fras
Somentor:	Dipl.-Ing. (FH) Konrad Eder
Naslov:	Ocena digitalnega modela površine urbanega območja iz IKONOS-ovih stereo podob
Obseg in oprema:	70 str., 17 pregl., 24 sl., 20 en., 5 pril.
Ključne besede:	IKONOS-ove stereo podobe, digitalni model ploskve, avtomatsko generiranje, ocena kakovosti

Izvleček

Diplomsko delo obravnava avtomatsko generiranje digitalnih modelov ploskve iz IKONOS-ovega stereo para na testnem območju Tehniške univerze München. Prvi del naloge obsega opis postopka avtomatskega generiranja modelov na digitalni fotogrametrični postaji Leica Photogrammetry Suite, na kateri je bilo izdelanih več različnih verzij digitalnih modelov ploskve z različnimi nastavitvami parametrov. Drugi del naloge podrobno opisuje vrednotenje kakovosti izdelanih digitalnih modelov, ki temelji na primerjavi le-teh s ploskvami streh, zajetimi iz letalskih posnetkov. Vrednotenje kakovosti je razdeljeno na statistično in geometrično vrednotenje. V okviru statističnega vrednotenja so bile izračunane aritmetične sredine in standardne deviacije višinskih odstopanj digitalnih modelov ploskve od referenčnih objektov. S tem je bil ocenjen vpliv nastavitve parametrov na kakovost izdelave digitalnih modelov ploskve in pravilnost oblike le-teh glede na različne tipe streh v vzorcu. Digitalne modele ploskve, ki so bili izdelani s pomočjo komercialnega programskega paketa Leica Photogrammetry Suite, smo primerjali z digitalnima modeloma, ki sta bila narejena z uporabo posebne programske opreme za obdelavo visoko ločljivih satelitskih stereo podob. V okviru geometričnega vrednotenja smo z uporabo posredne izravnave po metodi najmanjših kvadratov izračunali ravnine streh iz rastrske mreže celic izdelanega digitalnega modela ploskve. Izravnane ploskve streh v vzorcu smo primerjali z referenčnimi ploskvami streh.

BIBLIOGRAPHIC – DOCUMENTALISTIC INFORMATION

UDC: 528.7:711.4(043.2)
Author: Petra Mitič
Supervisor: Assist. prof. Mojca Kosmatin Fras, Ph.D.
Co-supervisor: Dipl.-Ing. (FH) Konrad Eder
Title: Evaluation of digital surface model of urban area from IKONOS stereo pair
Notes: 70 p., 17 tab., 24 fig., 20 eq., 5 ann.
Key words: IKONOS stereo imagery, digital surface model, automatic generation, quality evaluation

Abstract

The present work focuses on the automatic generation of digital surface models from IKONOS stereo pair covering campus of Technical university of Munich as a test site. The first part of the graduation thesis describes the process of automatic generation of digital surface models that have been generated with different parameter set on the digital photogrammetric workstation Leica Photogrammetry Suite. The second part of the thesis focuses on the evaluation of the generated digital surface models, which is based on its comparison with the sample of roof surfaces that have been captured from aerial images. Evaluation consists of statistical and geometric evaluation. In the process of the statistical evaluation averages and RMSEs of height differences between digital surface models and reference objects have been calculated to show the influence of the parameter set on the digital surface model generation and quality of its surfaces in comparison with different types of roofs in the sample. Digital surface models, generated on the commercial software Leica Photogrammetry Suite, have been also compared with two digital surface models that have been generated using software designed especial for processing of high resolution satellite stereo imagery. In the process of geometric evaluation planes of the roof surfaces have been calculated from raster cells of the generated digital surface model using the process of least square adjustment. Adjusted roof surfaces have been compared with the reference roof surfaces.

ZAHVALA

Za nasvete pri izdelavi diplomske naloge se iskreno zahvaljujem mentorici doc. dr. Mojci Kosmatin Fras in predstojniku Oddelka za fotogrametrijo in daljinsko zaznavanje na Tehniški univerzi v Münchnu Prof. Dr.-Ing. Uweju Stilli. Hvala tudi Dipl.-Ing. (FH) Konradu Edru za vso pomoč pri praktičnem delu diplomske naloge.

Zahvalila bi se tudi svojema staršema in družini za finančno pomoč pri študiju.

KAZALO VSEBINE

1	UVOD	1
2	METODE GENERIRANJA DIGITALNIH MODELOV PLOSKVE	6
2.1	Generiranje digitalnih modelov ploskve na digitalni fotogrametrični postaji Leica Photogrammetry Suite 8.7	6
2.1.1	Slikovno ujemanje	7
2.1.2	Izračun koordinat homolognih točk	9
2.1.3	Konstruiranje digitalnega modela reliefa oziroma ploskve	9
2.2	Generiranje digitalnih modelov ploskve na DLR-ju	10
2.2.1	Metoda A – slikovno ujemanje na osnovi hierarhične strukture intenzitete	10
2.2.2	Metoda B – dinamično prilaganje oblike linije	11
3	PODATKI	13
3.1	Podobe satelita IKONOS	13
3.2	Letalski posnetki	16
3.3	Izboljšanje zunanje orientacije IKONOS-ovega stereo para	16
4	GENERIRANJE DIGITALNIH MODELOV PLOSKVE	21
4.1	Generiranje digitalnih modelov ploskve na digitalni fotogrametrični postaji Leica Photogrammetry Suite 8.7	21
4.2	Generiranje digitalnih modelov ploskve na DLR-ju	30
5	PRIPRAVA DIGITALNIH MODELOV PLOSKVE IN REFERENČNEGA VIRA NA VREDNOTENJE	31
5.1	Zajem stavb iz letalskih posnetkov	31
5.2	Izrez zajetih objektov iz digitalnih modelov ploskve	34
5.3	Vzorčenje ravnin streh	35

6	VREDNOTENJE DIGITALNIH MODELOV PLOSKVE	39
6.1	Statistično vrednotenje	39
6.1.1	Vrednotenje DMP-jev, izdelanih na digitalni fotogrametrični postaji LPS 8.7	41
6.1.1.1	Vpliv velikosti matrike iskanja na kakovost DMP-jev	41
6.1.1.2	Vpliv velikosti tarče na kakovost DMP-jev	44
6.1.1.3	Vpliv mejne vrednosti korelacijskega koeficienta na kakovost DMP-jev	46
6.1.1.4	Vpliv stopnje glajenja na kakovost DMP-jev	48
6.1.1.5	Skupna analiza višinskih odstopanj	50
6.1.1.6	Analiza kakovosti najboljšega DMP-ja	52
6.1.2	Vrednotenje DMP-jev, izdelanih na DLR-ju	55
6.1.2.1	Primerjava najboljšega DMP-ja, ki je bil izdelan z LPS-om in DMP-jev, ki sta bila izdelana na DLR-ju	56
6.2	Geometrično vrednotenje	58
6.2.1	Izračun enačbe ravnine skozi točke rastrske mreže DMP-ja	59
6.2.2	Izračun elementov geometričnega vrednotenja	63
6.2.3	Geometrično vrednotenje najboljšega DMP-ja, izdelanega na LPS-ju	64
7	ZAKLJUČEK	68
VIRI		71

KAZALO PREGLEDNIC

Preglednica 1: Spektralna in prostorska ločljivost satelita IKONOS	13
Preglednica 2: Oslonilne točke	19
Preglednica 3: Vsi na LPS 8.7 generirani DMP-ji	21
Preglednica 4a: Spreminjanje velikosti matrike iskanja	25
Preglednica 4b: Spreminjanje velikosti tarče	26
Preglednica 4c: Spreminjanje mejne vrednosti korelacijskega koeficienta	26
Preglednica 4d: Spreminjanje stopnje glajenja	26
Preglednica 4e: Spreminjanje tipa reliefa	26
Preglednica 5: Izbrani DMP-ji za vrednotenje kakovosti	27
Preglednica 6: Tipi zajetih streh s pripadajočimi višinami	33
Preglednica 7: Koeficienti ravnin, s katerimi so opisane ploskve streh	38
Preglednica 8: Primer vzorčenja ravnine za streho z identifikatorjem 4 (indeks i se nanaša na DMP, dobljen iz IKONOS-ovih stereo podob, indeks j pa na ploskev strehe, zajete iz letalskih posnetkov)	38
Preglednica 9: Aritmetična sredina in RMSE višinskih odstopanj v odvisnosti od velikosti matrike iskanja	42
Preglednica 10: Aritmetična sredina in RMSE višinskih odstopanj v odvisnosti od velikosti tarče	45
Preglednica 11: Aritmetična sredina in RMSE višinskih odstopanj v odvisnosti od mejne vrednosti korelacijskega koeficienta	47
Preglednica 12: Aritmetična sredina in RMSE višinskih odstopanj v odvisnosti od stopnje glajenja	49
Preglednica 13: Aritmetična sredina in RMSE višinskih odstopanj vseh DMP-jev	50
Preglednica 14: Aritmetična sredina in RMSE višinskih odstopanj DMP-ja 10	54
Preglednica 15: Aritmetična sredina in RMSE višinskih odstopanj DMP-jev, izdelanih na DLR-ju	55
Preglednica 16: Aritmetična sredina in RMSE višinskih odstopanj DMP-ja 10 ter obeh DMP-jev iz DLR-ja	57
Preglednica 17: Primerjava dejanskih in iz DMP-ja 10 izravnanih ploskev streh	65

KAZALO SLIK

Slika 1: Koncept raziskovanja pri diplomski nalogi	5
Slika 2: Okno za nastavitve parametrov avtomatskega generiranja DMP-jev	8
Slika 3: Leva in desna podoba stereo para satelita IKONOS za testno območje TUM-ja	15
Slika 4: Letalski posnetek kot referenčni vir na testnem območju TUM-ja	16
Slika 5: Okno programa LPS 8.7 z IKONOS-ovima stereo podobama, na katerih so prikazane vezne (kvadrati) in oslonilne točke (trikotniki)	17
Slika 6: Razporeditev oslonilnih točk	18
Slika 7: Vsi generirani DMP-ji na LPS 8.7	22
Slika 8: DMP 2 z velikostjo matrike iskanja 17 x 3 pikslov (levo) in DMP 5 z velikostjo matrike iskanja 19 x 5 pikslov (desno)	27
Slika 9: DMP-ji z velikostmi tarče 7 x 7 (levo), 9 x 9 (sredina) in 11 x 11 (desno) pikslov	28
Slika 10: Homologe točke, ki so uporabljene za generiranje DMP-ja, v odvisnosti od mejnega korelacijskega koeficienta (levo 0.75, desno 0.85)	28
Slika 11: DMP-ja z nizko stopnjo glajenja (levo) in brez glajenja (desno)	29
Slika 12: Razlika med DMP-jema z izbranim gričevnatim tipom reliefa (levo) in ravnino (desno) ni opazna	29
Slika 13: DMP-ja, izdelana z metodo slikovnega ujemanja na osnovi hierarhične strukture intenzitete (levo) in dinamičnega prileganja oblike linije (desno)	30
Slika 14: Ravnine streh, ki so bile izbrane za vrednotenje DMP-jev	32
Slika 15: Okno programa DTMaster.	34
Slika 16: Prenos rastrske mreže iz DMP-ja na ploskev strehe	35
Slika 17: Lega ravnine v prostoru	37
Slika 18: Ploskev DMP-ja v primerjavi z dejanskimi oblikami objektov	40
Slika 19: Srednja vrednost in razpršenost višinskih odstopanj v odvisnosti od velikosti matrike iskanja	43
Slika 20: Srednja vrednost in razpršenost višinskih odstopanj v odvisnosti od velikosti tarče	45

Slika 21: Srednja vrednost in razpršenost višinskih odstopanj v odvisnosti od mejne vrednosti korelacijskega koeficienta	48
Slika 22: Srednja vrednost in razpršenost višinskih odstopanj v odvisnosti od stopnje glajenja	49
Slika 23: Razlika med statističnim in geometričnim vrednotenjem (modelirana ploskev je obarvana rdeče, dejanska pa modro)	58
Slika 24: Dejanske (črno) in iz DMP-ja 10 izračunane ploskve streh (modro)	67

KAZALO PRILOG

Priloga A: Koeficienti RPC modela

A1: Koeficienti RPC modela za levo podobo stereo para

A2: Koeficienti RPC modela za desno podobo stereo para

Priloga B: Metapodatki za IKONOS-ov stereopar

Priloga C: Poročilo o rezultatih izravnave

C1: Poročilo o rezultatih izravnave pred izmero oslonilnih točk

C2: Poročilo o rezultatih izravnave po izmeri oslonilnih točk

OKRAJŠAVE

DLR	Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt
DMP	digitalni model ploskve
DMR	digitalni model reliefa
DMV	digitalni model višin
LPS	Leica Photogrammetry Suite
MNK	metoda najmanjših kvadratov
RMSE	root mean square error
RPC	Rational Polynomial Camera
SRTM	Shuttle Radar Topography Mission
TIN	Triangular Irregular Network
TUM	Technische Universität München
2D	dvodimenzionalni
3D	trodimenzionalni

SIMBOLI

A, B, C, D	koeficienti enačbe ravnine
A^0, B^0, C^0, D^0	približne vrednosti koeficientov enačbe ravnine
$\hat{A}, \hat{B}, \hat{C}, \hat{D}$	izravnani koeficienti enačbe ravnine
a_i, b_i	koeficienti RPC modela
B	matrika parcialnih odvodov enačb popravkov po neznankah
f	vektor odstopanj v enačbah popravkov
l, s	slikovna koordinata linije oziroma podobe
\hat{l}^n	vektor izravnanih vrednosti opazovanj po n-ti iteraciji
\vec{N}	normalni vektor ravnine
Num, Den	polinoma tretjega reda, ki določata RPC model linije oziroma podobe
P	matrika uteži opazovanj
$RMSE_{\Delta z_k}$	standardna deviacija višinskih razlik med ploskvijo strehe in digitalnim modelom ploskve za streho k
U, V, W	objektne prostorske koordinate
v	vektor popravkov opazovanj
x_i, y_i, z_i	koordinate točke rastrske mreže celic i, ki določa digitalni model ploskve
x_i, y_i, z_j	koordinate točke rastrske mreže celic j, ki določa ploskev posamezne strehe
\hat{z}_i	izravnana vrednost višine točke rastrske mreže i, ki določa ravnino, ki se najbolje prilega določenemu digitalnemu modelu ploskve na nekem območju
φ	naklonski kot med dejansko in izravnano ravnino ploskve strehe
Δ	vektor neznank
Δz_i	višinska razlika med ploskvijo strehe in digitalnim modelom ploskve v točki i
$\overline{\Delta z_k}$	aritmetična sredina višinskih razlik med ploskvijo strehe in digitalnim modelom ploskve za streho k

1 UVOD

Minilo je sedem let, odkar so podobe satelita IKONOS, katere producira podjetje Space Imaging, na voljo za komercialno uporabo. Visoko ločljivi senzorji omenjenega satelita omogočajo pridobitev ortofoto in stereo podob. Ortofoto podobe se zaradi velikega obsega vizualnih informacij in visoke prostorske ločljivosti uporabljajo za izdelovanje in obnavljanje kart velikih ter srednjih meril, izdelavo digitalnih ortofoto posnetkov, zajem objektov v različne baze in natančno opazovanje sprememb v prostoru ter času. So dobra konkurenca letalskim posnetkom, saj posamezna podoba pokriva območje, ki ga lahko pokrije le blok letalskih posnetkov, za določitev katerega pa je potrebna izmera velikega števila oslonilnih točk ter izračun relativno zapletenega postopka aerotriangulacije. Stereo podobe satelita IKONOS so osnova za pridobitev digitalnega modela reliefa oziroma ploskve na posameznem območju. Visoko ločljivi sateliti omogočajo pridobitev več morfoloških značilnosti zemeljskega površja od radarske metode SRTM (Shuttle Radar Topography Mission), ki se uporablja za pridobivanje informacij o višinah zemeljskega površja na velikih območjih. Digitalni modeli višin, ki so pridobljeni iz letalskih posnetkov, so zelo točni, gledano z ekonomskega vidika pa dragi za naročnika. Zato je za območja, na katerih zahteve po točnosti višin niso tako visoke, vendar jih rezultati SRTM-ja vseeno ne zadovoljujejo, primerna uporaba visoko ločljivih satelitskih stereo podob. Visoko ločljive satelitske podobe so primerne za izdelavo digitalnega modela reliefa oziroma ploskve tudi na območjih, kjer je zahtevana točnost velika, vendar je letalsko snemanje površja onemogočeno (vojna območja, posledice nesreč v revnih državah, digitalni model reliefa na območju več držav itd.).

Prve informacije in analize o možnostih uporabe IKONOS-ovih podob prihajajo s strani podjetja Space Imaging, ki je omenjeni visoko ločljivi satelit poslalo v vesolje septembra leta 1999. Tako sta leta 2001 Grodecki in Dial opisala karakteristike senzorja satelita, možnosti pridobitve različnih vrst podob, vzpostavitev geometrijskega modela iz posnetih podob ter opredelila kakovost glede na različne vrste podob, ki so na voljo. Še istega leta se je na podlagi IKONOS-ovih stereo podob začelo 3D modeliranje. Fraser in sod. so izdelali 3D model stavb na testnem območju univerze v Melbournu, kjer so vogale stavb zajemali ročno v stereo načinu, in tako dosegli položajno točnost 0.3 m – 0.6 m ter vertikalno točnost 0.5 m – 0.9 m. Ročni zajem stavb iz visoko ločljivih satelitskih stereo podob je torej zelo primeren za

izdelavo 3D modelov velikih površin v urbanih območjih. Takšni modeli vsebujejo veliko informacij in detajlov, oblikovno so dodelani in so zato primerni za izdelavo animacij oziroma za promocijski ter reklamni material.

Včasih pa je potrebno, da 3D modele naselij izdelamo hitro in s čim višjo kakovostjo, bolj kot lepota samega izdelka pa nas zanima njegova uporabna vrednost. To je pomembno pri naravnih nesrečah, kot so npr. poplave, potresi in plazovi ter na vojnih območjih, za katere potrebujemo informacije o porušeni objektih, lokacijah zasilnih prebivališč, ogroženih območjih, ki jim grozi nesreča itd. Ker gre za zaznavanje entitet velikosti posamezne stavbe, so za takšno 3D modeliranje zelo uporabni visoko ločljivi satelitski posnetki. Najhitrejša možnost izdelave 3D modela pa je avtomatsko generiranje digitalnih modelov ploskve oziroma reliefa. Zato se je vzporedno z ročnim zajemom objektov iz visoko ločljivih satelitskih stereo podob začelo avtomatsko generiranje DMP-jev (digitalnih modelov ploskve). Leta 2001 so Toutin in sod. s slikovnim ujemanjem po metodi križne korelacije izdelali DMP na območju severno od mesta Quebec City v Kanadi. Območje je v glavnem zajemalo naravne danosti, urbanih površin je bilo le 15.5%. Izdelani DMP so ročno editirali in ga nato primerjali s kakovostnejšim DMP-jem, ki je bil narejen na podlagi podatkov topografske izmere. Višinska točnost ob stopnji zaupanja 0.90 je za celotno območje 7.7 m, na območju gostih gozdov je rezultat slabši, na goli zemlji, jezerih in področjih, ki jih pokriva redki gozd, pa so rezultati boljši. Na urbanih območjih znaša višinsko odstopanje 5 m.

Leta 2005 so bili objavljeni novi članki s področja 3D modeliranja iz visoko ločljivih satelitskih stereo podob. Številni avtorji (Jacobsen in sod. ter Lehner in sod., 2005) so se ukvarjali z vzpostavljanjem geometričnega modela na podlagi racionalnih polinomskih funkcij in preučevali njegov vpliv na kakovost digitalnih modelov reliefa oziroma ploskve. Objavljena je bila tudi alternativna metoda avtomatskega generiranja ploskve iz visoko ločljivih satelitskih stereo podob z uporabo dinamičnega programiranja (Krauß in sod., 2005). Metoda temelji na algoritmu za prepoznavanje govora in ne na slikovnem ujemanju, testno območje pa je bilo prvič v celoti urbano. Baltsavias in sod. (2005) so preučevali avtomatsko generiranje DMP-ja iz IKONOS-ovih stereo podob na testnem območju Thun v Švici, uporabljen pa je bil poseben algoritem slikovnega ujemanja. Izdelani DMP je bil primerjan z DMP-jem, ki je bil narejen na podlagi podatkov laserskega skeniranja iz zraka. RMSE (root

mean square error) je za celotno testno območje brez vegetacije znašal 2 m – 3 m, na golih tleh pa celo 1 m oziroma manj. Na IKONOS-ovem DMP-ju so bili detajli reliefa dobro vidni, veliki pogreški pa so bili prisotni v sencah, na drevesih in stavbah, vidne pa so bile tudi luknje na generirani ploskvi.

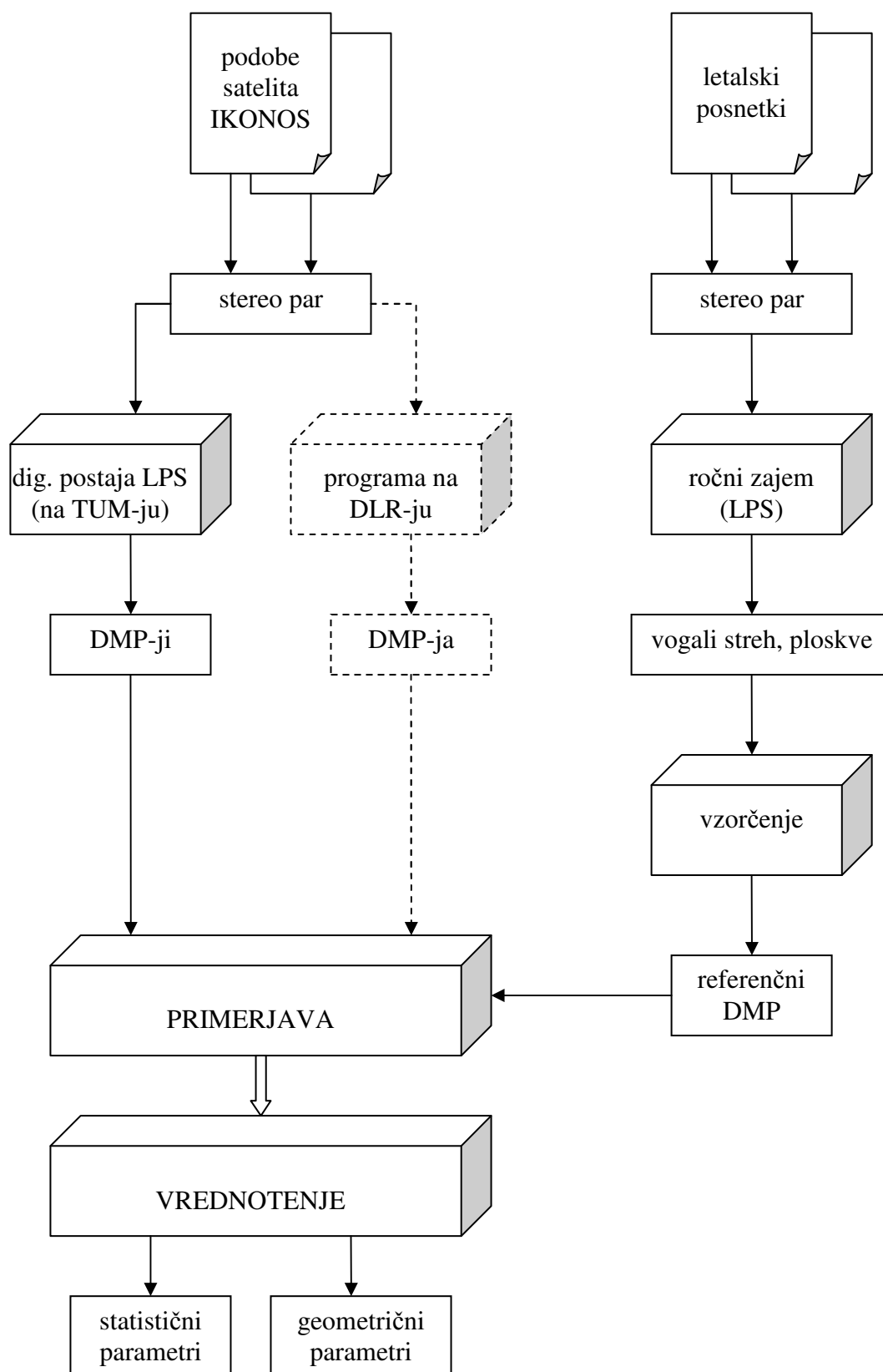
V študiji T. Krauß sta predstavljeni dve metodi avtomatskega generiranja reliefa iz IKONOS-ovih stereo podob na testnih območjih Tehniške univerze München in Aten v Grčiji (Krauß in sod., 2006). Prva metoda je na DLR-ju (Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt) razvit algoritem slikovnega ujemanja, pri drugi metodi pa je bilo uporabljeno dinamično programiranje. Referenčni vir je zopet predstavljal DMP, ki je bil izdelan na podlagi laserskega skeniranja iz zraka. Obe testni območji sta bili urbani, RMSE višinskih odstopanj pa je znašal 4 m – 8 m pri obeh metodah.

Ker so glavni problemi avtomatskega 3D modeliranja prisotni v urbanih območjih, se na to temo nanaša tudi moja diplomska naloga, katere praktični del sem opravila na Tehniški univerzi München v okviru Socrates/Erasmus izmenjave. V diplomski nalogi sem raziskovala, kakšne so možnosti za avtomatsko ekstrakcijo stavb iz IKONOS-ovega stereo para. Raziskava je potekala v sodelovanju Oddelka za fotogrametrijo in daljinsko zaznavanje TUM-ja (Tehniške univerze München) ter DLR-ja. Testno območje je predstavljal kompleks stavb TUM-ja, za katerega je bil na voljo stereo par satelita IKONOS in letalski posnetki aerosnemanja Münchna, ki so mi predstavljali referenčni vir pri vrednotenju DMP-jev. Na TUM-ju sem na digitalni fotogrametrični postaji LPS (Leica Photogrammetry Suite) izdelala DMP-je z avtomatskim postopkom slikovnega ujemanja, pri čemer sem uporabila različne parametre. Na DLR-ju sta bili razviti metodi za avtomatsko ekstrakcijo stavb iz visoko ločljivih satelitskih podob (Krauß in sod., 2006), katerih rezultat sta bila dva DMP-ja. Kakovost obeh DMP-jev je bila že ocenjena iz podatkov laserskega skeniranja iz zraka (Krauß in sod., 2006).

V diplomski nalogi sem primerjala med seboj DMP-je, ki sem jih sama izdelala na TUM-ju, in tako ocenila vpliv parametrov slikovnega ujemanja na kakovost izdelanih DMP-jev. Nato sem izmed vseh izbrala najboljši DMP. Primerjala sem ga z obema DMP-jema, ki sta bila izdelana na DLR-ju. Tako sem želela izvedeti, kako dober je komercialni programski paket

LPS, ki ni posebej namenjen obdelavi visoko ločljivih satelitskih podob, v primerjavi s programoma, ki sta bila posebej v ta namen izdelana na DLR-ju. Vrednotenje kakovosti DMP-jev je zajemalo tako statistično kot tudi geometrično vrednotenje. Koncept raziskovanja pri diplomski nalogi prikazuje Slika 1.

Diplomska naloga je sestavljena iz sedmih poglavij. Prvo poglavje predstavlja uvod, sedmo pa zaključek. V drugem poglavju je podrobno opisan postopek avtomatskega generiranja DMP-jev na digitalni fotogrametrični postaji LPS in kratek opis metod za avtomatsko ekstrakcijo stavb, ki sta bili razviti na DLR-ju. Tretje poglavje vsebuje informacije o IKONOS-ovem stereo paru in vzpostavljanju njegove zunanje orientacije ter izboljšavi le-te na podlagi letalskih posnetkov kot točnejšega vira. V četrtem poglavju so predstavljeni številni DMP-ji, ki so bili narejeni na LPS-ju z različnimi vrednostmi parametrov ter oba DMP-ja, ki sta bila izdelana na DLR-ju. Peto poglavje opisuje pripravo DMP-jev in referenčnega vira na vrednotenje, kar obsega zajem vzorca testnih objektov iz letalskih posnetkov in njihov izrez iz izdelanih DMP-jev. Zajema tudi vzorčenje testnih objektov, ki so bili zajeti iz letalskih posnetkov, tako da bodo le-ti pokriti z rastrsko mrežo celic, ki je identična mreži celic izdelanih DMP-jev. V šestem poglavju, ki predstavlja najobsežnejši del diplomske naloge, je podrobno opisano vrednotenje na TUM-ju in na DLR-ju generiranih DMP-jev. Statistično vrednotenje obravnava vplive posameznih parametrov avtomatskega generiranja ploskve na kakovost DMP-jev na eni strani ter pravilnost izdelanih 3D modelov glede na različne tipe streh na drugi strani, vanj pa so zajeti tako na TUM-ju kot tudi na DLR-ju izdelani DMP-ji. Najboljši DMP, ki je bil izdelan na TUM-ju, pa je bil ovrednoten tudi iz geometričnega vidika, ki predstavlja izračun ploskev streh, ki se točkam DMP-ja najbolj prilegajo in njihovo primerjavo z objekti, zajetimi iz letalskih posnetkov.



Slika 1: Koncept raziskovanja pri diplomski nalogi

2 METODE GENERIRANJA DIGITALNIH MODELOV PLOSKVE

V diplomski nalogi je zelo pogosto omenjen pojem digitalni model ploskve. Digitalni model ploskve nekega območja je model tega območja v digitalni obliki, prikazuje pa zemeljsko površje z vegetacijo in umetno ustvarjenimi danostmi (stavbe, ceste, mostovi itd.). V nasprotju z digitalnim modelom reliefa, ki predstavlja samo prikaz zemeljskega površja, zajema digitalni model ploskve v okviru določene ločljivosti pravzaprav vse, kar v realnosti obstaja.

2.1 Generiranje digitalnih modelov ploskve na digitalni fotogrametrični postaji Leica Photogrammetry Suite 8.7

Novejše digitalne fotogrametrične postaje, kot je na primer LPS 8.7, imajo vgrajen modul za avtomatsko generiranje reliefa in ostalih 3D modelov objektov. Avtomatizirana določitev 3D koordinat objektov na podlagi stereo parov temelji na slikovnem ujemanju. V diplomski nalogi sem izvedla avtomatsko generiranje DMP-jev na digitalni fotogrametrični postaji LPS 8.7. Avtomatskemu generiranju DMR-jev in DMP-jev je namenjen modul OrthoBASE Pro, ki poleg generiranja 3D modelov omogoča tudi njihovo editiranje, s čimer lahko uporabnik odstrani različne nepravilnosti v modelu. Pogoji za izvedbo avtomatskega generiranja 3D modelov je stereo par oziroma blok digitalnih posnetkov, ki se med seboj prekrivajo, zraven pa morajo biti na voljo tudi elementi notranje in zunanje orientacije posnetkov. Poznanih je več vrst slikovnega ujemanja, ki se med seboj ločijo glede na predmete ujemanja. Ti so lahko sive vrednosti, oblike objektov ali njihov simbolični opis. V modulu OrthoBASE Pro je uporabljen t.i. area-based matching, kjer gre za slikovno ujemanje na podlagi primerjave območij. Torej se primerja ujemanje sivih vrednosti na obeh stereo podobah. Da je postopek iskanja homolognih točk hitrejši, je uporabljen algoritem Gaussove piramide. Postopek avtomatskega generiranja DMP-jev oziroma DMR-jev lahko razdelimo na tri korake:

- postopek slikovnega ujemanja,
- izračun koordinat točk, dobljenih s slikovnim ujemanjem in
- konstruiranje digitalnega modela na podlagi izračunanih točk.

2.1.1 Slikovno ujemanje

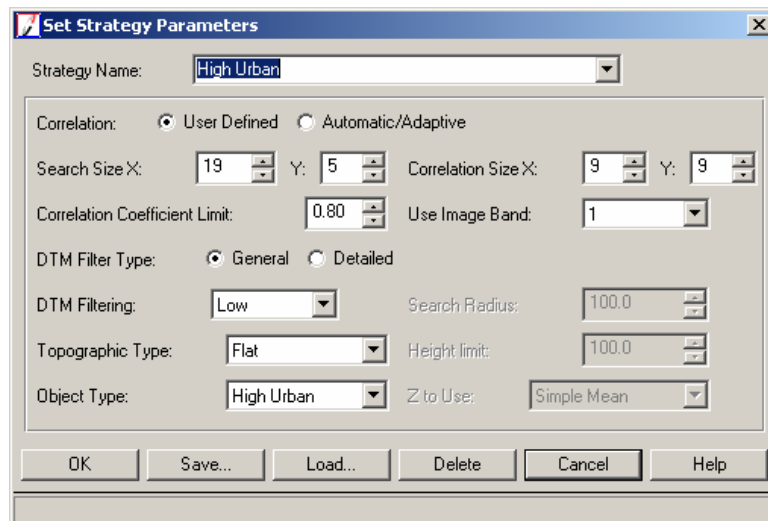
Slikovno ujemanje se v programskem modulu OrthoBASE Pro začne z iskanjem točk, primernih za slikovno ujemanje, na obeh posnetkih stereo para. Točke, ki so kandidati za homologne točke, ležijo na meji med različnima sivima vrednostima, kjer je dober kontrast. Primerni kandidati so ponavadi križišča cest in vogali objektov.

Točke, ki so bile spoznane kot primerne za slikovno ujemanje, nato modul OrthoBASE Pro preizkusi, če so si med sabo podobne. Zanima ga torej, če posamezne točke odgovarjajo istemu objektu oziroma enaki sivi vrednosti, ki se pojavlja na obeh posnetkih stereo para. Postopek se izvede z metodo križne korelacije, pri kateri ločimo matriko iskanja in tarčo. Tarča se imenuje okno, ki potuje po referenčnem posnetku stereo para. Matrika iskanja je večje okno, ki se premika po drugem posnetku stereo para in išče objekt, ki se ujema z objektom na tarči. Za vsak par homolognih točk se izračuna korelacijski koeficient, ki predstavlja mero podobnosti med točkama. Korelacijski koeficient lahko zavzame vrednosti med 0 in 1, kjer 1 pomeni popolno korelacijo, 0 pa pomeni, da korelacije med točkama ni.

Na kakovost rezultatov postopka slikovnega ujemanja vplivajo številni parametri. Te uporabnik nastavi pred izvedbo postopka avtomatskega generiranja DMP-ja (Slika 2). Največji vpliv na končni rezultat imajo velikost tarče (Correlation Size) in matrike iskanja (Search Size) ter mejna vrednost korelacijskega koeficienta (Correlation Coefficient Limit).

Matrika iskanja se premika po posnetkih, ki se prekrivajo z referenčnim posnetkom, in išče objekt, ki se ujema z objektom na referenčnem posnetku. Ko ga najde, OrthoBASE Pro išče homologne točke znotraj matrike iskanja. Matrika iskanja je definirana kot pravokotnik, ki ima stranici X in Y podani z vrednostima pikslov. Stranica X definira matriko iskanja v vodoravni smeri in je odvisna od višinske razlike objektov, ki ležijo znotraj nje. Večja kot je višinska razlika med najmanjšim in največjim objektom znotraj matrike iskanja, večja mora biti vrednost stranice X. V navodilih za uporabo programskega modula OrthoBASE Pro je navedena formula za izračun vrednosti stranice X, ki pa velja samo za višine, na katerih leti letalo. Tako je bila za moj primer neuporabna. Matrika iskanja je v navpični smeri definirana s stranico Y, katere vrednost je odvisna od kakovosti aerotriangulacije. Za letalske posnetke z

dobrimi rezultati aerotriangulacije znaša vrednost stranice Y od enega do treh pikslov, za podobe, pridobljene s prečnimi skenerji satelitov, pa jo je potrebno povečati na tri do pet pikslov.



Slika 2: Okno za nastavitve parametrov avtomatskega generiranja DMP-jev

Tarča je definirana kot velikost okna, ki je uporabljeno za izračun vrednosti korelacijskega koeficienta med parom homolognih točk, ki ležita na prekrivajočih se stereo podobah. Privzeta vrednost velikosti tarče v programskem modulu OrthoBASE Pro je 7 x 7 pikslov. Za območja, kjer je razgibanost reliefa manjša ali barvni kontrast manj izrazit, se uporablja velikost tarče 9 x 9 pikslov ali več. V nasprotnem primeru se pri večji razgibanosti reliefa in intenzivnejšem barvnem kontrastu uporablja manjša velikost tarče (npr. 5 x 5 pikslov).

Mejna vrednost korelacijskega koeficienta določa, ali je par homolognih točk primeren za slikovno ujemanje. Med parom homolognih točk se izračuna korelacijski koeficient, katerega vrednost se nato primerja z mejno vrednostjo korelacijskega koeficienta. Če je vrednost korelacijskega koeficienta manjša od vnaprej določene mejne vrednosti, točki nista primerni za slikovno ujemanje in se ne uporabita za avtomatsko generiranje reliefa. Višja je mejna vrednost korelacijskega koeficienta, manjše število točk je izbranih za generiranje reliefa. Pri majhni mejni vrednosti je izbranih več točk, vendar je njihova kvaliteta slaba. Zato je priporočljivo, da je mejna vrednost korelacijskega koeficienta večja od 0.7.

Programski modul OrthoBASE Pro omogoča poleg nastavitve matrike iskanja, tarče in mejne vrednosti korelacijskega koeficienta tudi glajenje DMR-ja. Če se uporabnik odloči za splošno glajenje DMR-ja (DTM Filter Type General), lahko izbira med visoko, srednjo in nizko stopnjo filtra glajenja (DTM Filtering). Več anomalij ima DMR, višja je priporočljiva stopnja glajenja. V postopku glajenja se izračuna Gaussova distribucijska krivulja, ki je odvisna od nastavitve stopnje filtriranja, vrste reliefa (Topographic Type) in tipa objektov (Object Type). Iz krivulje se določi mejna vrednost razlike višin. Iz višin bližnjih točk se nato z upoštevanjem uteži interpolira višino določene točke, dobljene s slikovnim ujemanjem. Če je razlika med dejansko vrednostjo višine točke in njeno interpolirano vrednostjo večja od mejne vrednosti, bo za višino točke uporabljena interpolirana vrednost. V nasprotnem primeru se dejanska višina točke ohrani in točka dobi večjo utež za izračun interpoliranih vrednosti drugih točk. Filter glajenja lahko nastavi tudi uporabnik sam (DTM Filter Type Detailed), tako da si sam izbere radij iskanja točk za interpolacijo (Search Radius), mejno vrednost višinske razlike (Height Limit) in metodo interpolacije višine točke, dobljene s slikovnim ujemanjem (Z to Use).

2.1.2 Izračun koordinat homolognih točk

Pari homolognih točk, katerih korelacijski koeficienti so večji od določene mejne vrednosti, so uporabni za avtomatsko generiranje DMP-ja. Tem homolognim točkam se določi položaj v slikovnem koordinatnem sistemu (vrstica in stolpec piksla) na vseh posnetkih, kjer se točka nahaja. Na podlagi slikovnih koordinat, horizontalne paralakse in elementov notranje ter zunanje orientacije program izračuna 3D koordinate homolognih točk v objektne koordinatnem sistemu.

2.1.3 Konstruiranje digitalnega modela reliefa oziroma ploskve

Programski modul OrthoBASE Pro omogoča generiranje različnih tipov digitalnih modelov. DMV (digitalni model višin) in TIN (Triangular Irregular Network) predstavljata kontinuiran prikaz zemeljskega površja in objektov na njem. DMV je rastrski prikaz površja, kjer so višine posameznih celic prikazane z različnimi odtenki sivih vrednosti. Svetlost odtenkov narašča z višino. Pri DMV-ju mora uporabnik definirati tudi velikost izhodne celice (piksla).

Odtенок sive vrednosti v izhodni celici se določi z interpolacijo med višinami bližnjih točk. TIN je vektorska predstavitev zemeljskega površja in objektov na njem, pri kateri se iz homolognih točk tvori mreža nepravilnih trikotnikov. Postopek se imenuje Delaunayeva triangulacija. Ostale možnosti generiranja digitalnih modelov dajejo za rezultat ASCII datoteko točk.

2.2 Generiranje digitalnih modelov ploskve na DLR-ju

Pri razvijanju metod in generiranju DMP-jev na DLR-ju nisem sodelovala. Rezultat njihove raziskave sta dva avtomatizirana postopka za ekstrakcijo stavb (Krauß in sod., 2006), ki sem jih sama statistično ovrednotila na testnem območju kampusa TUM-ja. V nadaljevanju sledita kratka opisa obeh metod, vse podrobnosti pa so navedene v članku z naslovom "Comparison of DSM generation methods on IKONOS images" (Krauß in sod., 2006).

2.2.1 Metoda A – slikovno ujemanje na osnovi hierarhične strukture intenzitete

Slikovno ujemanje, ki temelji na hierarhični strukturi intenzitete ("hierarchical intensity based matching"), je sestavljeno iz dveh glavnih korakov. V prvem koraku so uporabljene ločljivostne piramide, ki pomagajo izločiti velike pogoške, kateri izvirajo iz premikov nosilca senzorja in oblike terena. Določitev velikosti tarče temelji na Foerstnerjevem operatorju, velikost matrice iskanja pa se določi na podlagi lokalne afine transformacije. Parametri transformacije se izračunajo iz koordinat sosednjih veznih točk, vidnih na manjši ločljivosti slikovne piramide, ki prikazuje veliko območje na podobi. V nadaljevanju so v postopku slikovnega ujemanja izračunani korelacijski koeficienti, na podlagi katerih se določi približen položaj veznih točk. Položaji veznih točk, določeni s podpikselsko natančnostjo, se izračunajo z lokalno metodo ujemanja po metodi najmanjših kvadratov ("least squares matching"). V drugem koraku je uporabljen koncept regionalne rasti. To je kombinacija lokalne metode ujemanja po MNK (metoda najmanjših kvadratov) in širjenja pogojev, ki nastopajo znotraj lokalnega območja. Rezultat je skupina enakomerno razvrščenih veznih točk, ki so vhodni podatek za blokovno izravnavo s snopi, kjer lahko nastopajo tudi oslonilne točke, če so te seveda na voljo. 3D objektne koordinate se določijo s postopkom prednjega ureza. Mreža

celic DMP-ja se določi iz nepravilno razporejene množice točk s postopkom triangulacije in interpolacije.

Postopek je popolnoma avtomatski in zanj ne potrebujemo informacij o geometriji stereo para. Število dobljenih veznih točk in njihova točnost sta odvisna od podobnosti obeh stereo podob in se slabšata s povečevanjem stereo kota ter časa snemanja med obema podobama stereo para. Za uspešnost te metode je nujno, da je na voljo čim več kandidatov za vezne točke, ki pa se v glavnem pojavljajo na območjih z velikimi spremembami kontrasta. Zato se napake v DMP-ju pojavljajo na travnatih površinah in na velikih enobarvnih strehah. V postopku generiranja DMP-ja so bile uporabljene različne metode redukcije pogreškov (mejna vrednost korelacijskega koeficienta, mejna vrednost popravka koordinat veznih točk, mejna vrednost popravkov RPC-jev).

2.2.2 Metoda B – dinamično prileganje oblike linije

Metoda dinamičnega prileganja oblike linije ("dynamic line warping") izhaja iz pogoja, da je stereoskopsko gledanje mogoče le tedaj, ko je y paralaksa na stereo paru v celoti odpravljena. Takrat preide problem iskanja korelacije na obeh stereo podobah med območji na iskanje korelacije med linijami. Linija je predstavljena kot profil sivih vrednosti. Liniji na prekrivajočih se stereo podobah se morata čim bolj prilegati ena drugi, kar dosežemo s premikanjem, krčenjem in raztezanjem delov linije. Algoritem, uporabljen pri tej metodi, temelji na dinamičnem programiranju. Pri tem postopku je poznavanje geometrije stereo para nujno.

Zgoraj opisani postopek je nadgradnja algoritma za prepoznavanje govora. Tam se posnet govora primerja z dejanskim, katerega hitrost je drugačna in se spreminja skozi cel čas govora, čeprav govori ista oseba. Algoritem mora zato krčiti in raztezati posamezne dele govora, da se doseže prekrivanje med posnetim in dejanskim govorom.

Postopek prekrivanja linij na obeh podobah se začne, tako da se izračunajo razdalje med kratkimi deli, ki se že v prvem koraku prekrivajo. Z dinamičnim programiranjem se določi t.i. skupna minimalna razdalja. Ta predstavlja mero za velikost skrčkov in raztezkov, ki so

potrebni, da se bosta obe liniji prekrivali. V povezavi s skupno minimalno razdaljo se določi tudi minimalna pot. Ta pove, kateri del v liniji se mora skrčiti oziroma raztegniti, da bo doseženo prekrivanje med obema linijama.

3 PODATKI

3.1 Podobe satelita IKONOS

IKONOS velja za prvi komercialni visoko ločljivi satelit na svetu. S 680 km višine snema pankromatske in multispektralne podobe s prostorskima ločljivostima 1 m in 4 m (Preglednica 1), radiometrična ločljivost posnetih podob pa je 11 bitov. Podobe so rezultat prečnega skeniranja, posamezna podoba pa pokriva območje veliko 11 km x 11 km. IKONOS obkroži Zemljo vsakih 98 minut, njegova tirnica je sončno sinhrona. Snemanje ni sistematično, kot to velja na primer za satelit Landsat, ampak njegove podobe nastajajo po naročilu. Cena podob raste s stopnjo predobdelave, ki jo uporabnik naroči pri podjetju Space Imaging. Tako je glede na stopnjo predobdelave na voljo pet vrst podob: *Geo*, *Reference*, *Pro*, *Precision* in *Precision Plus*. Razen *Geo* produkta, ki je najmanj obdelan, so vsi v ortografski projekciji, dobljeni na podlagi DMR-ja na območju podobe. Produkta *Precision* in *Precision Plus* sta izboljšana tudi z oslonilnimi točkami, pri njiju je stopnja predobdelave največja. Točnost produkta *Precision Plus* je približno 25-krat večja od točnosti produkta *Geo*, temu primerno je tudi njegova cena 5 do 10-krat večja.

Preglednica 1: Spektralna in prostorska ločljivost satelita IKONOS

Kanal	Valovne dolžine (µm)	Spektralni pas	Ločljivost (m)
1	0.45 – 0.52	Modra	4
2	0.52 – 0.60	Zelena	4
3	0.63 – 0.69	Rdeča	4
4	0.76 – 0.90	Infrardeča	4
Pankromatski	0.45 – 0.90	Pankromatsko	1

Satelit IKONOS ima gibljiv senzor, ki se lahko zavrti v katerokoli smer, in tako omogoča snemanje levo, desno, pred ali za trenutnim položajem satelita. To daje možnost, da sta stereo podobi lahko posneti z iste tirnice z majhnim časovnim zamikom med snemanjem ene in druge podobe. Prva podoba stereo para je posneta, tako da je senzor obrnjen v smeri gibanja

satelita, druga pa približno minuto kasneje, ko je senzor obrnjen v nasprotni smeri gibanja satelita. Obe podobi seveda zajemata približno enako območje. Tako so sence na obeh stereo podobah približno enake in so avtomatizirani postopki, kot je na primer generiranje DMP-ja, lažje izvedljivi.

Za praktično uporabo posnetih stereo podob moramo vzpostaviti geometrijski model, v katerem sta stereo podobi medsebojno v takšnem položaju, kakršen je bil ta v trenutku snemanja satelita. Model, ki povezuje objektne koordinate s slikovnimi koordinatami, temelji na notranji in zunanji geometriji ter na drugih fizičnih lastnostih sensorja. Za razliko od geometrijskih modelov letalskih posnetkov, ki temeljijo na centralni projekciji, so modeli satelitov s prečnimi skenerji zelo kompleksni in zahtevni za sestavo. Ker so podobe rezultat prečnega skeniranja, je za vsako linijo, ki jo naredi skener, potrebno sestaviti svoj geometrijski model s pripadajočim projekcijskim centrom. Posamezni geometrijski modeli linij pa se morajo nato združiti v geometrijski model celotne podobe. To pa je matematično in fizikalno težko izvedljiva naloga, ki zahteva veliko teoretičnega znanja in bi zato lahko otežila oziroma celo onemogočila uporabo IKONOS-ovih stereo podob v praksi. Zato je podjetje Space Imaging izdelavo geometrijskega modela poenostavilo, tako da je uporabilo RPC (Rational Polynomial Camera) model. RPC model predstavlja kvocient dveh polinomov tretjega reda, ki sta oba funkciji objektnih prostorskih koordinat (Grodecki, 2001). Ločimo linijski RPC model, ki predstavlja model linije prečnega skenerja, ter RPC model celotne podobe. Linijski RPC model je dan z izrazom:

$$l = \frac{Num_L(U, V, W)}{Den_L(U, V, W)},$$

$$\begin{aligned} Num_L(U, V, W) = & a_1 + a_2 \cdot V + a_3 \cdot U + a_4 \cdot W + a_5 \cdot V \cdot U + a_6 \cdot V \cdot W + a_7 \cdot U \cdot W \\ & + a_8 \cdot V^2 + a_9 \cdot U^2 + a_{10} \cdot W^2 + a_{11} \cdot U \cdot V \cdot W + a_{12} \cdot V^3 + a_{13} \cdot V \cdot U^2 + a_{14} \cdot V \cdot W^2, \\ & + a_{15} \cdot V^2 \cdot U + a_{16} \cdot U^3 + a_{17} \cdot U \cdot W^2 + a_{18} \cdot V^2 \cdot W + a_{19} \cdot U^2 \cdot W + a_{20} \cdot W^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Den_L(U, V, W) = & b_1 + b_2 \cdot V + b_3 \cdot U + b_4 \cdot W + b_5 \cdot V \cdot U + b_6 \cdot V \cdot W + b_7 \cdot U \cdot W \\ & + b_8 \cdot V^2 + b_9 \cdot U^2 + b_{10} \cdot W^2 + b_{11} \cdot U \cdot V \cdot W + b_{12} \cdot V^3 + b_{13} \cdot V \cdot U^2 + b_{14} \cdot V \cdot W^2. \\ & + b_{15} \cdot V^2 \cdot U + b_{16} \cdot U^3 + b_{17} \cdot U \cdot W^2 + b_{18} \cdot V^2 \cdot W + b_{19} \cdot U^2 \cdot W + b_{20} \cdot W^3 \end{aligned}$$

Na enak način je RPC model podobe izražen z:

$$s = \frac{Num_s(U, V, W)}{Den_s(U, V, W)},$$

kjer sta Num in Den polinoma tretjega reda, a_i in b_i so koeficienti RPC modela, U , V in W objektne prostorske koordinate (geografska širina, geografska dolžina, višina), l in s pa slikovni koordinati linije in podobe (Grodecki, Dial, 2001).

Koeficiente RPC modela, ki predstavljajo elemente zunanje orientacije stereo podob, uporabnikom posreduje podjetje Space Imaging. Za vsako podobo dobi uporabnik 20 Num_L , 20 Den_L , 20 Num_S in 20 Den_S koeficientov. Poleg podob in RPC koeficientov (Priloga A) dobi uporabnik še metapodatkovno datoteko (Priloga B), v kateri so navedeni datum snemanja in predobdelave podobe, stopnja predobdelave podobe, položaj in smer senzorja satelita ter Sonca in odstotek pokritosti podobe z oblaki.

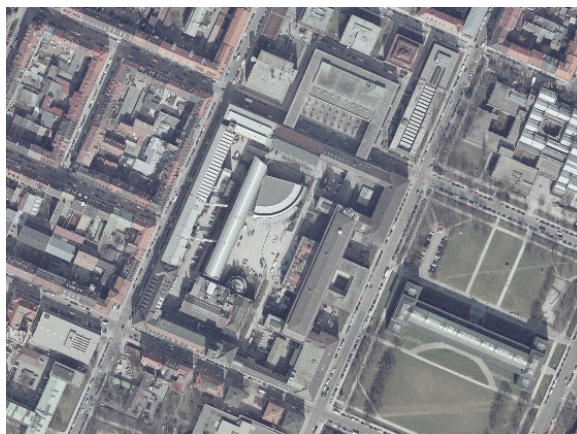
Za testno območje kompleksa TUM-ja smo imeli na voljo stereo par satelita IKONOS (Slika 3), ki je bil posnet 15.7.2005. Podobi sta pankromatski s prostorsko ločljivostjo 1 m. Obe sta radiometrično popravljene, nista pa v ortografski projekciji, torej sta tipa *Geo*. Na levi podobi stereo para je vidna napaka, ki se je pojavila zaradi odboja žarka od nove predavalnice, katere stena je narejena iz svetlečega materiala, ki močno odbija svetlobo.



Slika 3: Leva in desna podoba stereo para satelita IKONOS za testno območje TUM-ja (Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt, 2005)

3.2 Letalski posnetki

Letalski posnetki so v diplomski nalogi uporabljeni kot referenčni vir, saj so zaradi večje točnosti primerni za ocenitev kakovosti DMP-jev, pridobljenih iz IKONOS-ovih stereo podob. Za testno območje TUM-ja smo imeli na voljo letalske posnetke (Slika 4), posnete marca 2003 po naročilu geodetskega zavoda v Münchnu. Posnetki so v merilu 1:10000.



Slika 4: Letalski posnetek kot referenčni vir na testnem območju TUM-ja (Landeshauptstadt München – Kommunalreferat – Vermessungsamt, 2003)

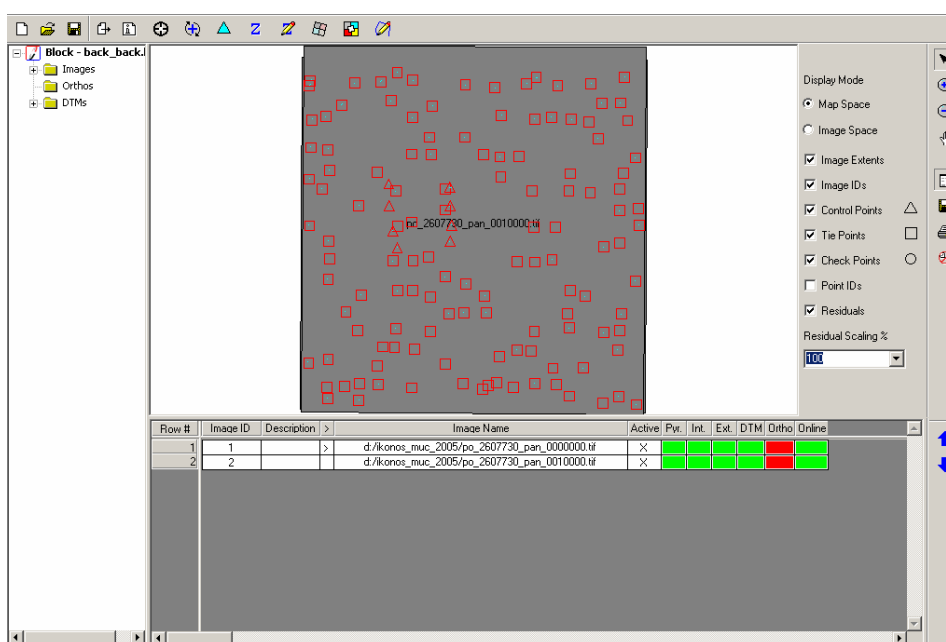
3.3 Izboljšanje zunanje orientacije IKONOS-ovega stereo para

Stereo podobi satelita IKONOS smo na Oddelku za fotogrametrijo in daljinsko zaznavanje TUM-ja uvozili v digitalno fotogrametrično postajo LPS 8.7, ki je del programskega paketa Erdas Imagine 8.7. Zunanjo orientacijo obeh podob so predstavljali RPC koeficienti. Dobili smo stereo par, katerega kvaliteta ni bila najboljša, saj se je opazila prisotnost y paralakse. Vseeno je bil stereo par približno georeferenciran, tako da je bilo mogoče na njem izvajati meritve.

Za objektni koordinatni sistem je bil izbran Gauss – Krügerjev koordinatni sistem, ki je fiksiran na Besselov elipsoid. Izhodišče koordinatnega sistema je presečišče ekvatorja in meridiana Greenwich. Nemčijo pokrivajo 2., 3., 4. in 5. cona. München leži v četrti coni z

vrednostjo dotikalnega meridiana 12° vzhodne geografske širine, zato dobijo vse y koordinate pred njihovimi dejanskimi vrednostmi številko 4. Koordinatam y se prišteje 500 000 m, da se izognemo negativnim vrednostim teh koordinat.

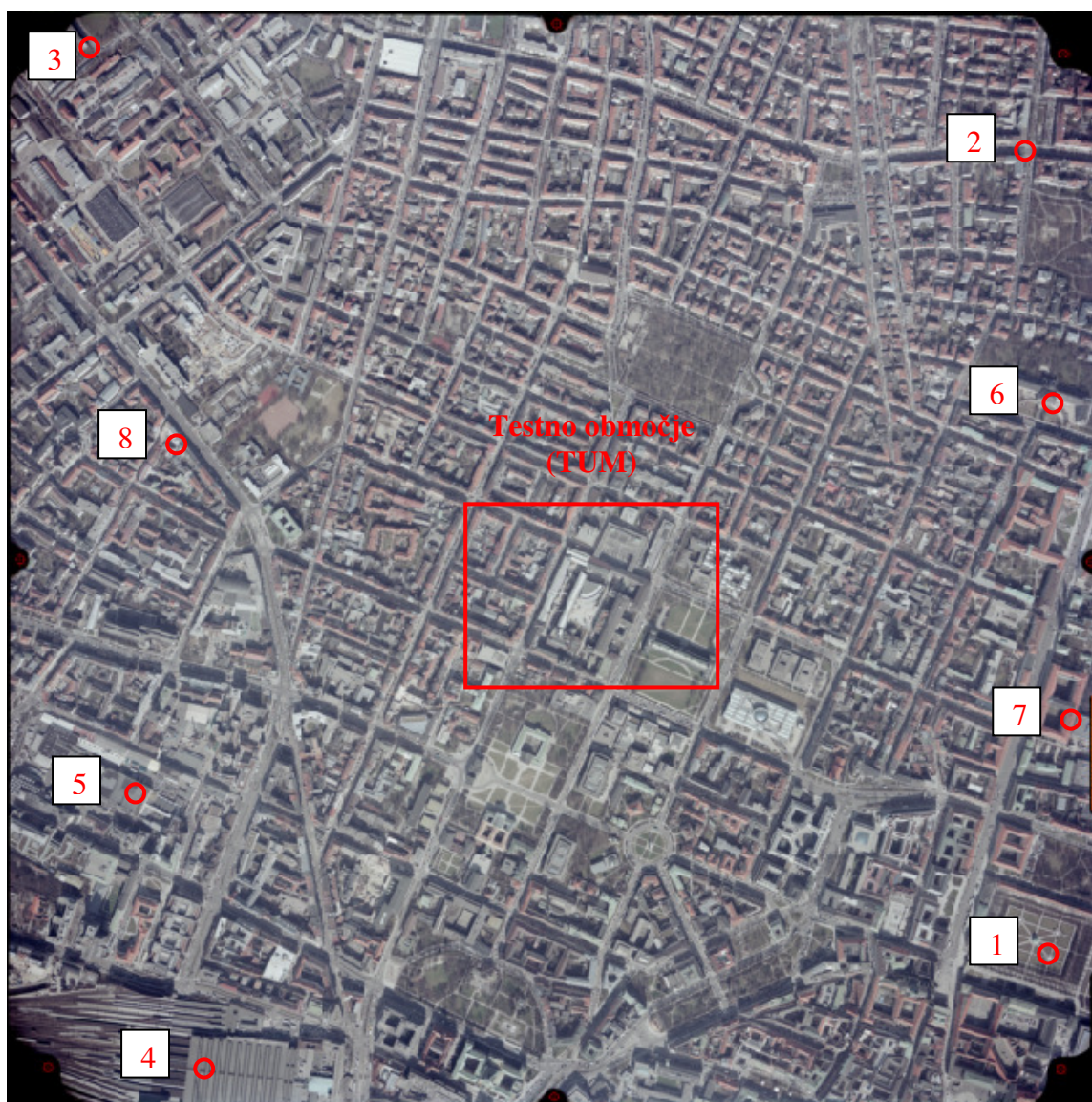
Podobi satelita IKONOS, ki skupaj sestavljata stereo par, sta tipa *Geo* in s strani podjetja Space Imaging nista bili popravljeni z izmero oslonilnih točk, kot to velja za podobi tipa *Precision* in *Precision Plus*. Slednji sta dražji predvsem zato, ker sta zelo dobro georeferencirani in predstavljata osnovo za kakovostne meritve ter izdelke. Koeficienti RPC modela, ki predstavljajo elemente zunanje orientacije podob, pa so bili v mojem primeru izračunani samo na podlagi efemerid satelita. Da bi z izvrednotenjem posnetkov dobili čim boljše rezultate, moramo zunanjo orientacijo podob popraviti.



Slika 5: Okno programa LPS 8.7 z IKONOS-ovima stereo podobama, na katerih so prikazane vezne (kvadrati) in oslonilne točke (trikotniki)

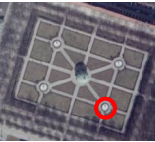


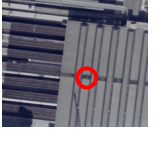




V prvem koraku je bila zunanja orientacija IKONOS-ovega stereo para izboljšana, tako da je bilo izmerjenih 128 veznih točk na celotnem območju stereo para (Slika 5). S tem je bila odpravljena y paralaksa, ki onemogoča stereoskopsko gledanje. Rezultat je bil relativno orientiran stereo par. Točke so bile izmerjene in izravnane v programskem paketu LPS. V

poročilu izravnave (Priloga C1) so navedene koordinate veznih točk, ki so bile ocenjene v postopku izravnave, s pripadajočimi ocenami natančnosti. Skupni RMSE položajev vseh izmerjenih parov veznih točk znaša 0.2370 piksla. Če želimo popraviti absolutno orientacijo stereo para, moramo izmeriti določeno število oslonilnih točk. V ta namen sem na stereo paru letalskih posnetkov izmerila 8 oslonilnih točk (Sliki 5 in 6). Vsako sem izmerila petkrat in njen položaj izračunala kot aritmetično sredino meritev posamezne točke (Preglednica 2).



Slika 6: Razporeditev oslonilnih točk
(Landeshauptstadt München – Kommunalreferat – Vermessungsamt, 2003)

Preglednica 2: Oslonilne točke

Št. oslonilne točke	Koordinate oslonilne točke	Lega oslonilne točke
1	$x = 5\,333\,923.88\text{ m}$ $y = 4\,468\,882.11\text{ m}$ $z = 514.42\text{ m}$	
2	$x = 5\,335\,728.86\text{ m}$ $y = 4\,468\,862.11\text{ m}$ $z = 513.31\text{ m}$	
3	$x = 5\,335\,840.212\text{ m}$ $y = 4\,466\,833.273\text{ m}$ $z = 516.289\text{ m}$	
4	$x = 5\,333\,704.903\text{ m}$ $y = 4\,467\,116.035\text{ m}$ $z = 536.792\text{ m}$	
5	$x = 5\,334\,273.289\text{ m}$ $y = 4\,466\,971.193\text{ m}$ $z = 538.192\text{ m}$	
6	$x = 5\,335\,095.905\text{ m}$ $y = 4\,468\,886.211\text{ m}$ $z = 545.262\text{ m}$	
7	$x = 5\,334\,449.573\text{ m}$ $y = 4\,468\,928.001\text{ m}$ $z = 540.129\text{ m}$	
8	$x = 5\,335\,119.712\text{ m}$ $y = 4\,466\,842.765\text{ m}$ $z = 527.889\text{ m}$	

Identične oslonilne točke sem nato izmerila še na IKONOS-ovem stereo paru in ponovno naredila izravnavo v programskem paketu LPS, tokrat skupaj z veznimi in oslonilnimi točkami. V poročilu izravnave (Priloga C2) so navedeni popravki koordinat veznih in oslonilnih točk, njihove koordinate, ki so bile ocenjene v postopku izravnave, ter pripadajoče ocene natančnosti. Skupni RMSE položajev oslonilnih in veznih točk znaša 0.5757 piksla. Skupno odstopanje na oslonilnih točkah po izravnavi je pri x koordinatah 1.06 m, pri y koordinatah 0.64 m ter pri višini 1.44 m.

4 GENERIRANJE DIGITALNIH MODELOV PLOSKVE

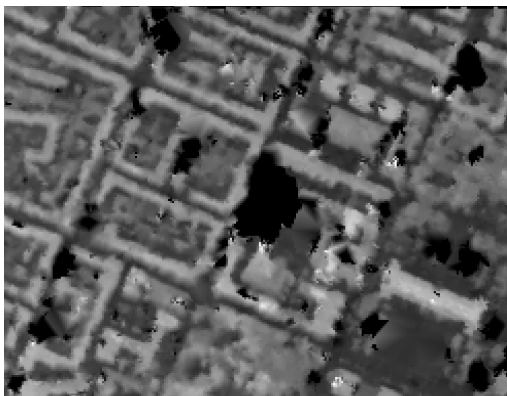
Velikost rastrskih celic vseh generiranih DMP-jev v raziskavi je 3 m x 3 m. Omenjeno velikost smo na TUM-ju izbrali, ker je to najmanjša možna velikost celice na digitalni fotogrametrični postaji LPS 8.7 za DMP-je, ki so bili narejeni iz IKONOS-ovih stereo podob v urbanih območjih.

4.1 Generiranje digitalnih modelov ploskve na digitalni fotogrametrični postaji Leica Photogrammetry Suite 8.7

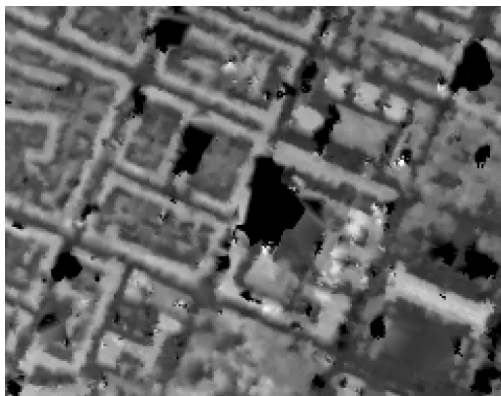
Na digitalni fotogrametrični postaji LPS 8.7 sem z modulom OrthoBASE Pro izvedla avtomatsko generiranje DMP-jev IKONOS-ovega stereo para za testno območje TUM-ja. Naredila sem več različnih verzij DMP-jev, vsakokrat z drugimi vhodnimi parametri (Preglednica 3). Pri glajenju reliefa sem izbrala splošni tip filtra glajenja, ki omogoča določitev stopnje glajenja in tipa reliefa.

Preglednica 3: Vsi generirani DMP-ji na LPS 8.7

Št. _{DMP}	Matrika iskanja		Tarča (v piksljih)	Mejni korel. koeficient	Stopnja glajenja	Tip reliefa	Tip objektov
	X (v piksljih)	Y (v piksljih)					
1	19	3	7 x 7	0.80	nizka	griči	mesto
2	17	3	7 x 7	0.80	nizka	griči	mesto
3	15	3	7 x 7	0.80	nizka	griči	mesto
4	21	3	7 x 7	0.80	nizka	griči	mesto
5	19	5	7 x 7	0.80	nizka	griči	mesto
6	17	5	7 x 7	0.80	nizka	griči	mesto
7	15	5	7 x 7	0.80	nizka	griči	mesto
8	21	5	7 x 7	0.80	nizka	griči	mesto
9	19	5	9 x 9	0.80	nizka	griči	mesto
10	19	5	11 x 11	0.80	nizka	griči	mesto
11	19	5	5 x 5	0.80	nizka	griči	mesto
12	19	5	9 x 9	0.85	nizka	griči	mesto
13	19	5	9 x 9	0.75	nizka	griči	mesto
14	19	5	9 x 9	0.80	srednja	griči	mesto
15	19	5	9 x 9	0.80	visoka	griči	mesto
16	19	5	9 x 9	0.80	brez	griči	mesto
17	19	5	9 x 9	0.80	nizka	ravno	mesto



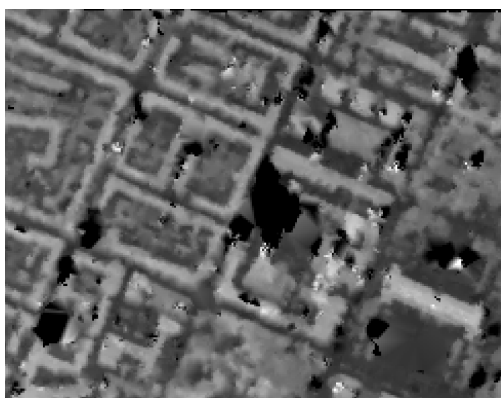
DMP 1: matrika iskanja 19x3 piksli, tarča 7x7 pikslov, mejni korel. koef. 0.80, nizka stopnja glajenja, gričevnat tip reliefa



DMP 2: matrika iskanja 17x3 piksli, tarča 7x7 pikslov, mejni korel. koef. 0.80, nizka stopnja glajenja, gričevnat tip reliefa



DMP 3: matrika iskanja 15x3 piksli, tarča 7x7 pikslov, mejni korel. koef. 0.80, nizka stopnja glajenja, gričevnat tip reliefa



DMP 4: matrika iskanja 21x3 piksli, tarča 7x7 pikslov, mejni korel. koef. 0.80, nizka stopnja glajenja, gričevnat tip reliefa



DMP 5: matrika iskanja 19x5 pikslov, tarča 7x7 pikslov, mejni korel. koef. 0.80, nizka stopnja glajenja, gričevnat tip reliefa



DMP 6: matrika iskanja 17x5 pikslov, tarča 7x7 pikslov, mejni korel. koef. 0.80, nizka stopnja glajenja, gričevnat tip reliefa

se nadaljuje...

... nadaljevanje



DMP 7: matrika iskanja 15x5 pikslov, tarča 7x7 pikslov, mejni korel. koef. 0.80, nizka stopnja glajenja, gričevnat tip reliefa



DMP 8: matrika iskanja 21x5 pikslov, tarča 7x7 pikslov, mejni korel. koef. 0.80, nizka stopnja glajenja, gričevnat tip reliefa



DMP 9: matrika iskanja 19x5 pikslov, tarča 9x9 pikslov, mejni korel. koef. 0.80, nizka stopnja glajenja, gričevnat tip reliefa



DMP 10: matrika iskanja 19x5 pikslov, tarča 11x11 pikslov, mejni korel. koef. 0.80, nizka stopnja glajenja, gričevnat tip reliefa



DMP 11: matrika iskanja 19x5 pikslov, tarča 5x5 pikslov, mejni korel. koef. 0.80, nizka stopnja glajenja, gričevnat tip reliefa



DMP 12: matrika iskanja 19x5 pikslov, tarča 9x9 pikslov, mejni korel. koef. 0.85, nizka stopnja glajenja, gričevnat tip reliefa

se nadaljuje...

... nadaljevanje



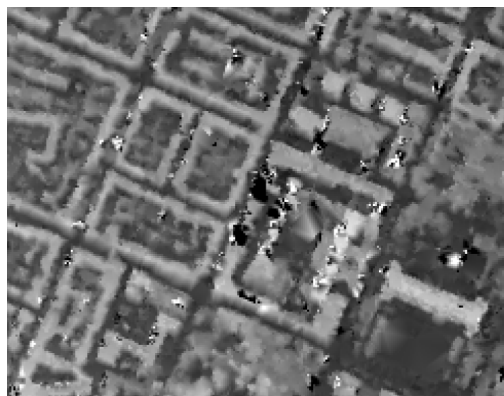
DMP 13: matrika iskanja 19x5 pikslov, tarča 9x9 pikslov, mejni korel. koef. 0.75, nizka stopnja glajenja, gričevnat tip reliefa



DMP 14: matrika iskanja 19x5 pikslov, tarča 9x9 pikslov, mejni korel. koef. 0.80, srednja stopnja glajenja, gričevnat tip reliefa



DMP 15: matrika iskanja 19x5 pikslov, tarča 9x9 pikslov, mejni korel. koef. 0.80, visoka stopnja glajenja, gričevnat tip reliefa



DMP 16: matrika iskanja 19x5 pikslov, tarča 9x9 pikslov, mejni korel. koef. 0.80, brez glajenja, gričevnat tip reliefa



DMP 17: matrika iskanja 19x5 pikslov, tarča 9x9 pikslov, mejni korel. koef. 0.80, nizka stopnja glajenja, ravninski tip reliefa

Slika 7: Vsi generirani DMP-ji na LPS 8.7

Višine so na slikah DMP-jev predstavljene s sivotonsko barvno lestvico, ki ima 256 različnih odtenkov. Vsak piksel DMP-ja, ki je predstavljen s celico velikosti 3 m x 3 m, zavzame vrednost barve med 0 in 255, kjer vrednost 0 pomeni črno barvo, vrednost 255 pa belo. Izdelani DMP-ji so bili zelo temni, zato sem njihove histograme raztegnila. Tako ti sedaj zavzemajo skoraj celoten razpon vrednosti od 0 do 255 in si zato višinska razmerja na DMP-jih lažje predstavljamo. Sivotonsko barvno lestvico sem uporabila, tako da svetlost barv narašča z višino. Temni odtenki torej prikazujejo zemeljsko površje, svetli pa strehe stavb. Na DMP-jih so vidni tudi črni madeži, ki so pri DMP-jih 1, 2, 3 in 4 najbolj opazni (Slika 7). Ti črni madeži so dejansko luknje in so posledica napak v slikovnem ujemanju. Homologne točke na območjih črnih madežev se torej nahajajo pod zemeljskim površjem, zato so tam piksli obarvani črno.

Vse izdelane DMP-je sem med sabo primerjala glede na matriko iskanja (Preglednica 4a), tarčo (Preglednica 4b) in mejno vrednost korelacijskega koeficienta (Preglednica 4c). Pri glajenju reliefa sem spreminjala stopnjo glajenja (Preglednica 4d) in tip reliefa (Preglednica 4e).

Preglednica 4a: Spreminjanje velikosti matrike iskanja

Št. _{DMP}	Matrika iskanja		Tarča (v pikslih)	Mejni korel. koeficient	Stopnja glajenja	Tip reliefa	Tip objektov
	X (v pikslih)	Y (v pikslih)					
1	19	3	7 x 7	0.80	nizka	griči	mesto
2	17	3	7 x 7	0.80	nizka	griči	mesto
3	15	3	7 x 7	0.80	nizka	griči	mesto
4	21	3	7 x 7	0.80	nizka	griči	mesto
5	19	5	7 x 7	0.80	nizka	griči	mesto
6	17	5	7 x 7	0.80	nizka	griči	mesto
7	15	5	7 x 7	0.80	nizka	griči	mesto
8	21	5	7 x 7	0.80	nizka	griči	mesto

Preglednica 4b: Spreminjanje velikosti tarče

Št. _{DMP}	Matrika iskanja		Tarča (v piksljih)	Mejni korel. koeficient	Stopnja glajenja	Tip reliefa	Tip objektov
	X (v piksljih)	Y (v piksljih)					
5	19	5	7 x 7	0.80	nizka	griči	mesto
9	19	5	9 x 9	0.80	nizka	griči	mesto
10	19	5	11 x 11	0.80	nizka	griči	mesto
11	19	5	5 x 5	0.80	nizka	griči	mesto

Preglednica 4c: Spreminjanje mejne vrednosti korelacijskega koeficienta

Št. _{DMP}	Matrika iskanja		Tarča (v piksljih)	Mejni korel. koeficient	Stopnja glajenja	Tip reliefa	Tip objektov
	X (v piksljih)	Y (v piksljih)					
9	19	5	9 x 9	0.80	nizka	griči	mesto
12	19	5	9 x 9	0.85	nizka	griči	mesto
13	19	5	9 x 9	0.75	nizka	griči	mesto

Preglednica 4d: Spreminjanje stopnje glajenja

Št. _{DMP}	Matrika iskanja		Tarča (v piksljih)	Mejni korel. koeficient	Stopnja glajenja	Tip reliefa	Tip objektov
	X (v piksljih)	Y (v piksljih)					
9	19	5	9 x 9	0.80	nizka	griči	mesto
14	19	5	9 x 9	0.80	srednja	griči	mesto
15	19	5	9 x 9	0.80	visoka	griči	mesto
16	19	5	9 x 9	0.80	brez	griči	mesto

Preglednica 4e: Spreminjanje tipa reliefa

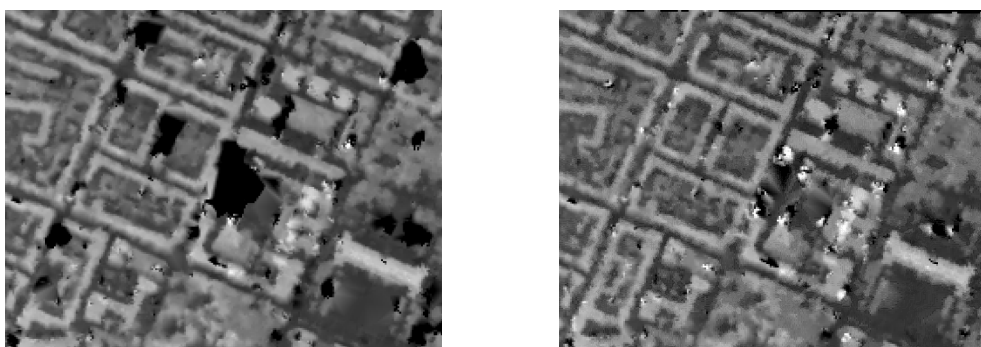
Št. _{DMP}	Matrika iskanja		Tarča (v piksljih)	Mejni korel. koeficient	Stopnja glajenja	Tip reliefa	Tip objektov
	X (v piksljih)	Y (v piksljih)					
9	19	5	9 x 9	0.80	nizka	griči	mesto
17	19	5	9 x 9	0.80	nizka	ravno	mesto

Za vrednotenje kakovosti sem izmed vseh DMP-jev na podlagi njihovih slik (Slika 7) izbrala 8 najbolj značilnih, za katere sem predvidevala, da bodo dali najbolj reprezentativne rezultate o kakovosti avtomatskega generiranja ploskev (Preglednica 5).

Preglednica 5: Izbrani DMP-ji za vrednotenje kakovosti

Št. _{DMP}	Matrika iskanja		Tarča (v piksljih)	Mejni korel. koeficient	Stopnja glajenja	Tip reliefa	Tip objektov
	X (v piksljih)	Y (v piksljih)					
2	17	3	7 x 7	0.80	nizka	griči	mesto
5	19	5	7 x 7	0.80	nizka	griči	mesto
9	19	5	9 x 9	0.80	nizka	griči	mesto
10	19	5	11 x 11	0.80	nizka	griči	mesto
12	19	5	9 x 9	0.85	nizka	griči	mesto
13	19	5	9 x 9	0.75	nizka	griči	mesto
16	19	5	9 x 9	0.80	brez	griči	mesto
17	19	5	9 x 9	0.80	nizka	ravno	mesto

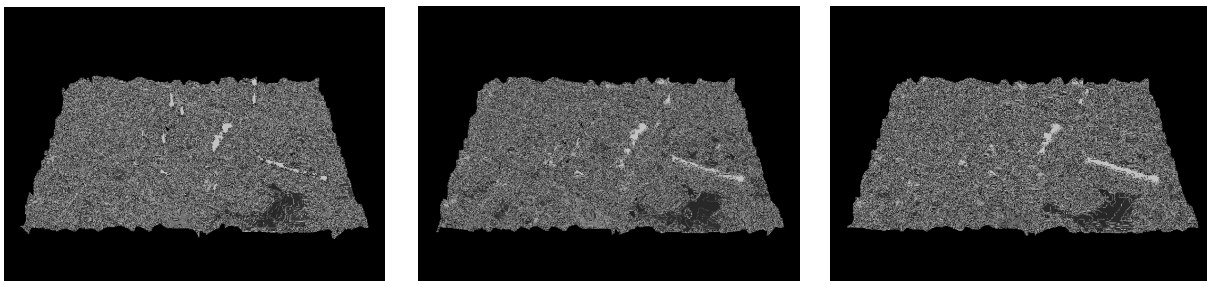
Pri testiranju vpliva matrike iskanja na kakovost DMP-jev sem izbrala DMP 2 z velikostjo matrike iskanja 17 x 3 pikslov in DMP 5 z velikostjo matrike iskanja 19 x 5 pikslov (Slika 8). DMP 2 sem izbrala za vrednotenje, ker je velikost matrike iskanja 17 x 3 pikslov na LPS-ju privzeta vrednost za avtomatsko generiranje digitalnih modelov iz letalskih posnetkov. Iz slik DMP-jev (Slika 7) pa je razvidno, da večja vrednost navpične stranice v matriki iskanja (Y) omogoča boljše rezultate z manj napakami v ploskvi modela. Ker je vodoravna stranica matrike iskanja (X) odvisna od višinske razlike med objekti, ki se nahajajo znotraj matrike iskanja, sem se tudi to odločila povečati, saj je sprememba višine na robovih stavb zelo velika. Zato sem se odločila, da z vidika kakovosti ovrednotim DMP 5.



Slika 8: DMP 2 z velikostjo matrike iskanja 17 x 3 pikslov (levo) in DMP 5 z velikostjo matrike iskanja 19 x 5 pikslov (desno)

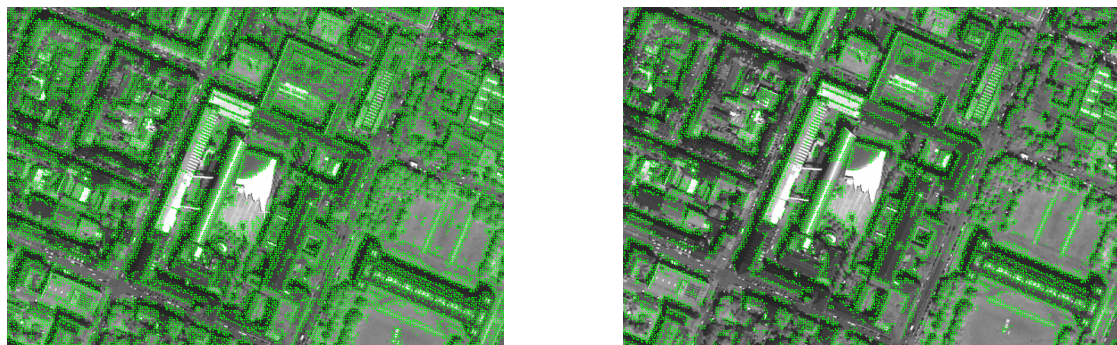
Vpliv velikosti tarče na kakovost DMP-ja sem preizkusila na DMP-jih 5 (velikost tarče 7 x 7 pikslov), 9 (velikost tarče 9 x 9 pikslov) in 10 (velikost tarče 11 x 11 pikslov). DMP-ja z

manjšo velikostjo tarče nisem preizkusila, ker sem na podlagi slik DMP-jev ugotovila, da je z večanjem tarče kakovost DMP-jev boljša (Slika 9).



Slika 9: DMP-ji z velikostmi tarče 7 x 7 (levo), 9 x 9 (sredina) in 11 x 11 (desno) pikslov

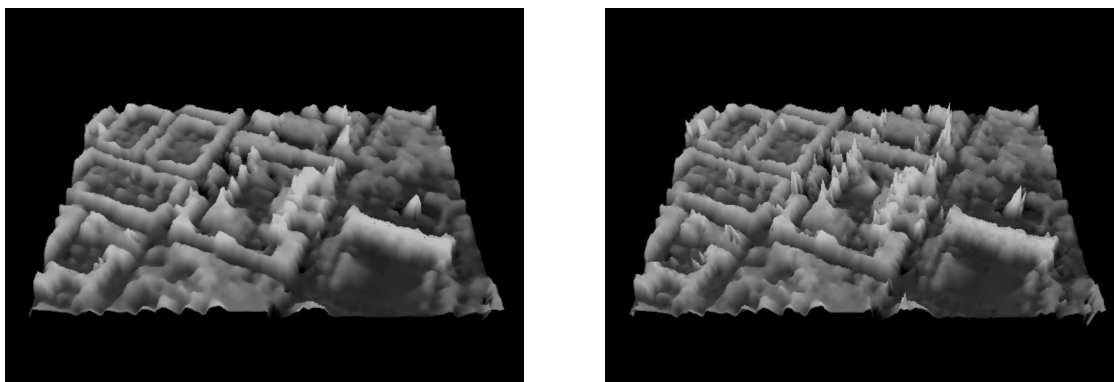
Vpliv mejne vrednosti korelacijskega koeficienta na avtomatsko generiranje ploskve sem testirala na DMP-jih 13 (mejna vrednost 0.75), 9 (mejna vrednost 0.80) in 12 (mejna vrednost 0.85). Mejni korelacijski koeficient 0.80 se uporablja v LPS-ju kot privzeta vrednost, sama pa sem želela preizkusiti še nekoliko manjšo in nekoliko večjo vrednost. Pri majhnem mejnem korelacijskem koeficientu je najdenih več dobrih homolognih točk (Slika 10), vendar jih je veliko slabe kakovosti in posledično povzročijo napake v DMP-ju.



Slika 10: Homologne točke, ki so uporabljene za generiranje DMP-ja, v odvisnosti od mejnega korelacijskega koeficienta (levo 0.75, desno 0.85)

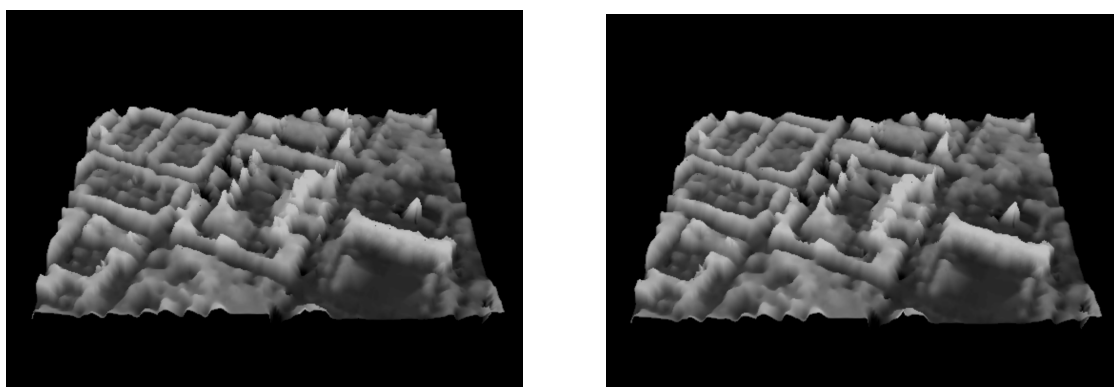
Pri glajenju sem se odločila primerjati DMP 9 z nizko stopnjo glajenja in DMP 16, ki je bil ustvarjen brez glajenja (Slika 11). Na DMP-ju, ki ni bil zglajen, lahko opazimo veliko manjših napak, ki jih je z glajenjem možno odpraviti. Če pa je stopnja glajenja previsoka,

postanejo robovi stavb vse manj izraziti oziroma izginejo. Zato sem srednjo in visoko stopnjo glajenja izključila iz analize.



Slika 11: DMP-ja z nizko stopnjo glajenja (levo) in brez glajenja (desno)

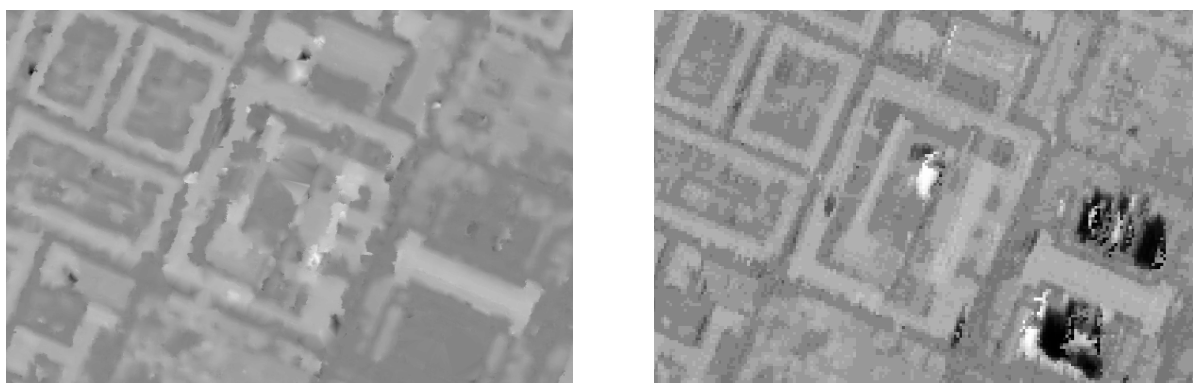
Na koncu sem želela še preizkusiti, v kolikšni meri vpliva izbira tipa reliefa na glajenje DMP-jev. V ta namen sem primerjala DMP 9 (izbran gričevnat tip reliefa) z DMP-jem 17 (izbrana ravnina). Oba sta imela pri generiranju vključeno nizko stopnjo glajenja DMP-ja. Pri primerjavi obeh slik DMP-jev (Slika 12) nisem ugotovila nobene razlike, zato sem DMP 17 izključila iz nadaljnje analize kakovosti.



Slika 12: Razlika med DMP-jema z izbranim gričevnatim tipom reliefa (levo) in ravnino (desno) ni opazna

4.2 Generiranje digitalnih modelov ploskve na DLR-ju

Na DLR-ju sta bila z uporabo slikovnega ujemanja na osnovi hierarhične strukture intenzitete ("hierarchical intensity based matching") in dinamičnega prileganja oblike linije ("dynamic line warping") izdelana dva DMP-ja (Slika 13). DMP, narejen na podlagi slikovnega ujemanja, je na pogled podoben mojim DMP-jem. Na njem so prav tako vidne napake, ki so posledica svetlečega materiala nove predavalnice v TUM kampusu. DMP, ki je izdelan z metodo dinamičnega prileganja oblike linije, je že na prvi pogled drugačen od ostalih DMP-jev, ki so bili izdelani s slikovnim ujemanjem homolognih točk stereo para. Na njegovi sliki so opazne črte v smeri osi objektov, ki jasno kažejo na to, da so bile v tem primeru predmet ujemanja linije in ne točke. Vidni so tudi veliki pogreški na obsežnih travnatih površinah v okolici Stare Pinakoteke.



Slika 13: DMP-ja, izdelana z metodo slikovnega ujemanja na osnovi hierarhične strukture intenzitete (levo) in dinamičnega prileganja oblike linije (desno)

(Krauβ in sod., 2006)

5 PRIPRAVA DIGITALNIH MODELOV PLOSKVE IN REFERENČNEGA VIRA NA VREDNOTENJE

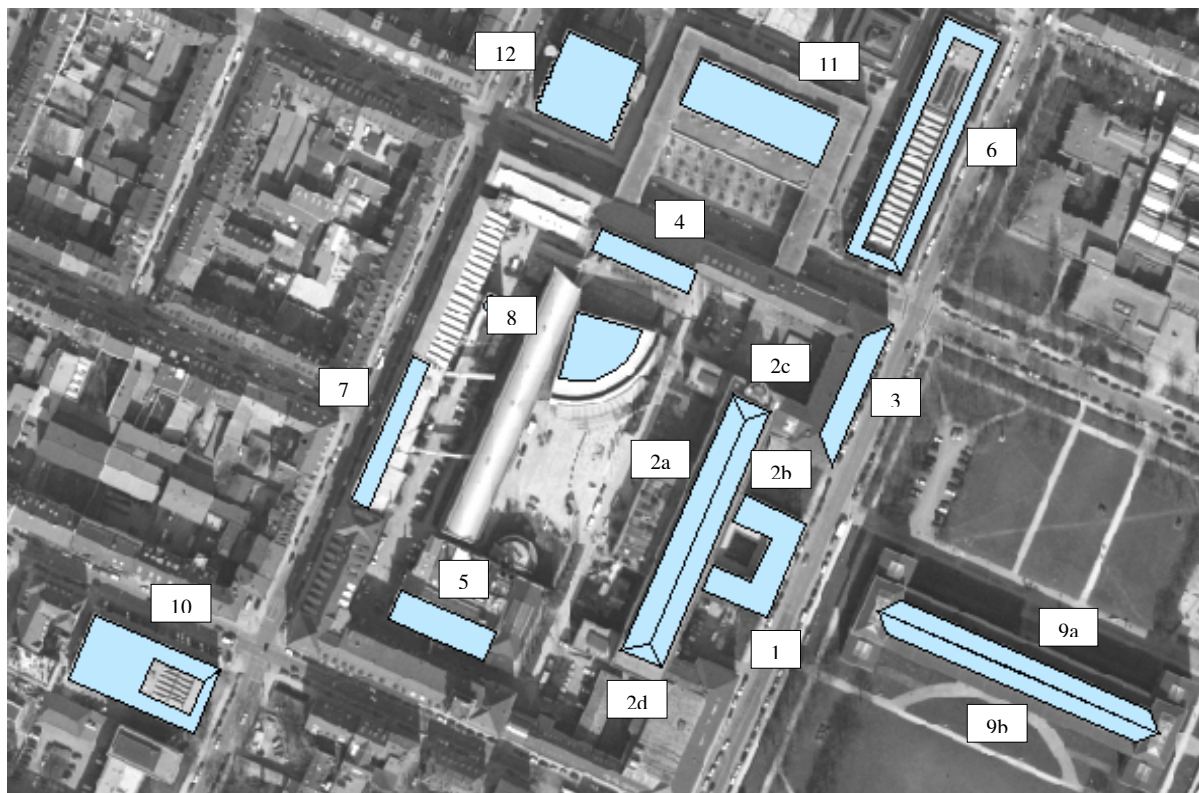
5.1 Zajem stavb iz letalskih posnetkov

Pri vrednotenju kakovosti izdelanih 3D modelov je potrebno ločiti dve vrsti točnosti: položajno in višinsko. Položajna točnost pomeni, kako dober je položaj stavbe na posnetku v primerjavi z njenim dejanskim položajem v naravi. Položajno točnost opišemo z odmikom x in y koordinat od dejanske vrednosti x in y koordinat stavbe. Glede na prostorsko ločljivost IKONOS-ovih podob, ki znaša 1 m, bi položajno točnost stavb na IKONOS-ovih podobah ocenila kot večjo ali enako 1 m. To je relativno dobra položajna točnost, ki pa se lahko poslabša zaradi vpliva senc na prepoznavnost robov stavb. Položajna točnost nima posebnega vpliva na 3D modeliranje, in je v raziskavi nisem obravnavala, saj je veliko bolj zanimiva višinska točnost.

Višinska točnost predstavlja odmik višine stavbe, pridobljene po določenem postopku, od njene dejanske višine v naravi. V diplomski nalogi sem višine stavb pridobila z avtomatskim generiranjem ploskve iz IKONOS-ovega stereo para. V DMP-jih so opaženi veliki pogreški v višinah, zato se je višinska komponenta izkazala za najbolj problematično v postopku avtomatskega 3D modeliranja. Seveda pa mora biti višina v 3D modelih zaradi čim bolj realnega prikaza dejanskega stanja določena kar najbolj točno. Zato sem v vrednotenju točnosti DMP-jev vključila le višinsko komponento. Ker dejanskih višin objektov na testnem območju nisem poznala, sem višine objektov pridobila iz letalskih posnetkov.

V ta namen sem na digitalni postaji LPS 8.7 zajela 16 ravnin 12-ih streh iz stereo para letalskih posnetkov, ki so mi v postopku vrednotenja predstavljale vzorec celotne populacije streh na testnem območju (Slika 14). Pri zajemanju sta mi bili v pomoč okni, ki sta prikazovali položaj merske markice ločeno za levi in desni posnetek stereo para. Ko je bila merska markica, s katero sem želela določiti višino vogala določene stavbe, v stereo pogledu na pravi višini, sta morala biti položaja merske markice na levem in desnem posnetku enaka (to pomeni, da sta morala oba ležati na vogalu določene stavbe). Tako sem se lahko

prepričala, da so zajete višine vogalov streh pravilno določene. Zato bi točnost zajetih višin ocenila kot večjo ali enako 1 m.



Slika 14: Ravnine streh, ki so bile izbrane za vrednotenje DMP-jev
(Landeshauptstadt München – Kommunalreferat – Vermessungsamt, 2003)

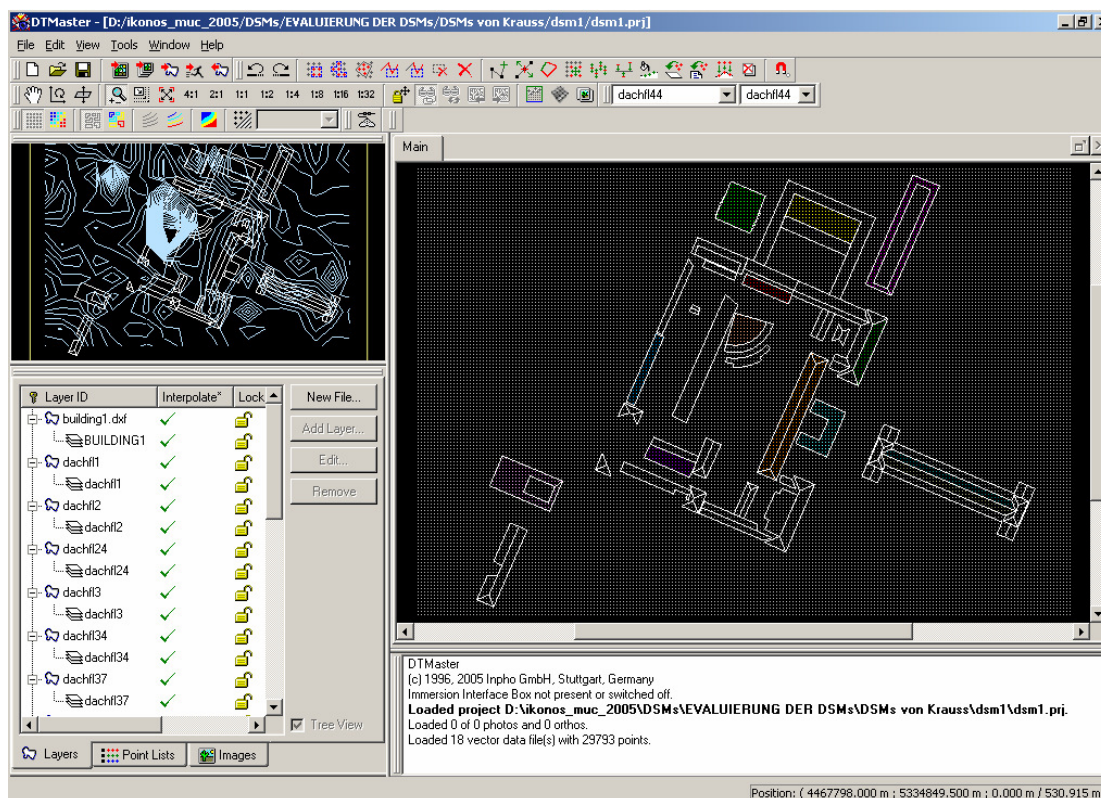
Strehe, ki sem jih izbrala za vrednotenje, so različnih tipov, oblik in velikosti. Odločala sem se za strehe velikih površin, ker bodo le-te dale kar najbolj verodostojne rezultate. Strehe in posamezne ravnine streh sem označila z identifikatorji. Strehe, ki obenem predstavljajo tudi stavbe, so označene z arabskimi številkami. Če je posamezna streha sestavljena iz več ravnin, so le-te označene s črkami. Z zajemom sem dobila x, y in z koordinate vogalov streh (Preglednica 6). Pri določitvi višine roba strehe sem vzela povprečje višin vogalov, ki so ležali na istem robu strehe.

Preglednica 6: Tipi zajetih streh s pripadajočimi višinami

Id ravnine	Izmerjene višine vogalov (m)	Izračunane višine robov (m)	Tip strehe
1	532.65, 532.66, 532.66, 532.66, 532.66, 532.67, 532.67, 532.66	532.7	vodoravna
2a	546.10, 546.07, 541.82, 541.85	višina slemena = 546.1 višina kapi = 541.8	nagnjena čopasta
2b	546.10, 546.07, 541.84, 541.81	višina slemena = 546.1 višina kapi = 541.8	
2c	546.07, 541.81, 541.82	višina slemena = 546.1 višina kapi = 541.8	
2d	546.10, 541.85, 541.84	višina slemena = 546.1 višina kapi = 541.8	
3	537.34, 537.33, 531.49, 531.47	višina slemena = 537.3 višina kapi = 531.5	nagnjena
4	535.82, 535.80, 533.81, 533.79	višina slemena = 535.8 višina kapi = 533.8	nagnjena
5	533.19, 533.21, 523.71, 523.68	višina slemena = 533.2 višina kapi = 523.7	nagnjena
6	530.60, 530.61, 530.60, 530.58, 530.60, 530.58, 530.59, 530.61	530.6	vodoravna
7	536.19, 536.17, 533.74, 533.75	višina slemena = 536.2 višina kapi = 533.7	nagnjena
8	531.72, 531.71, 531.71, 531.71, 531.70, 531.70, 531.70, 528.15	višina slemena = 531.7 višina kapi = 528.2	nagnjena
9a	543.71, 543.57, 539.38, 539.31	višina slemena = 543.6 višina kapi = 539.3	nagnjena čopasta
9b	543.71, 543.57, 539.36, 539.31	višina slemena = 543.6 višina kapi = 539.3	
10	527.55, 527.56, 527.56, 527.57, 527.57, 527.58, 527.59, 527.56	527.6	vodoravna
11	531.49, 531.50, 531.47, 531.46	531.5	vodoravna
12	537.05, 537.04, 537.03, 537.03	537.0	vodoravna

5.2 Izrez zajetih objektov iz digitalnih modelov ploskve

Iste strehe sem nato izrezala še iz DMP-jev, ki sem jih izbrala za vrednotenje kakovosti avtomatskega 3D modeliranja (Preglednica 5). Izreze streh sem naredila v programu DTMaster 1.1 (Slika 15), ki je last podjetja Inpho GmbH. Program je namenjen izdelavi in obdelavi različnih tipov digitalnih modelov. Vanj sem uvozila dva sloja, in sicer sloj enega izmed generiranih DMP-jev, ki sem jih izbrala za vrednotenje, ter sloj zajetih streh. Sloj DMP-ja, ki je bil narejen z avtomatskim postopkom generiranja digitalnih modelov, je sestavljen iz kvadratne mreže točk, ki so medsebojno razmahnjene za tri metre. Te točke imajo znane x, y in z koordinate v Gauss – Krügerjevem koordinatnem sistemu.



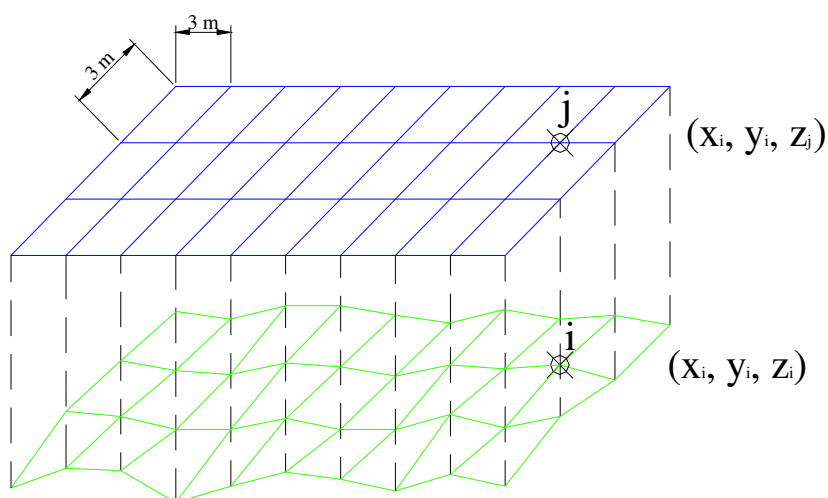
Slika 15: Okno programa DTMaster.

Točke DMP-ja, ki ležijo na območju zajetih streh, je bilo potrebno ločiti od ostalih točk, saj so samo točke, ki ležijo znotraj obrisov streh, uporabne za nadaljnjo obdelavo. Zato sem čez sloj DMP-ja uvozila še vektorski sloj zajetih obrisov streh. Točke DMP-ja, ki so ležale znotraj posameznih streh, sem prenesla v nove podatkovne sloje, ki sem jih nato izvozila v tekstovne

datoteke. Za vsak DMP sem dobila 16 tekstovnih datotek (za vsako ravnino strehe po eno), katere vsebujejo x, y in z koordinate točk mreže DMP-ja, ki ležijo znotraj zaključenih poligonov izbranih streh.

5.3 Vzorčenje ravnin streh

Iz DMP-jev sem dobila mrežo točk z velikostjo celic 3 m x 3 m, višine točk pa so bile določene z avtomatskim postopkom generiranja ploskve. Za statistično vrednotenje DMP-jev pa je potrebno poznati tudi višine identičnih točk rastrske mreže na referenčnem viru, ki ga predstavljajo iz letalskih posnetkov zajete ravnine streh (Slika 16). Izračun višin rastrske mreže celic ni bil potreben za vodoravne strehe, ker se tam vsem točkam priredi enaka vrednost višine. Pri ostalih tipih streh sem izračun višin točk izvedla s programom Matlab.



Slika 16: Prenos rastrske mreže iz DMP-ja na ploskev strehe

Vsaki strehi, pri kateri poznamo najmanj tri točke, lahko priredimo enačbo ravnine v obliki:

$$A \cdot x + B \cdot y + C \cdot z + D = 0,$$

kjer so x , y in z koordinate točk, ki ležijo na ravnini, A , B , C in D pa predstavljajo koeficiente enačbe ravnine (Bronstein in sod., 1997, str. 181).

Točke $P_1(x_1, y_1, z_1)$, $P_2(x_2, y_2, z_2)$ in $P_3(x_3, y_3, z_3)$ ležijo na ravnini, ki je določena z enačbo $Ax + By + Cz + D = 0$, če velja:

$$\begin{vmatrix} x - x_1 & y - y_1 & z - z_1 \\ x_2 - x_1 & y_2 - y_1 & z_2 - z_1 \\ x_3 - x_1 & y_3 - y_1 & z_3 - z_1 \end{vmatrix} = 0$$

(Bronstein in sod., 1997, str. 181).

Če zgornjo determinanto izračunamo in jo zapišemo v obliki enačbe ravnine, dobimo:

$$\begin{aligned} & [(y_2 - y_1)(z_3 - z_1) - (z_2 - z_1)(y_3 - y_1)] \cdot x + \dots \\ & \dots + [(z_2 - z_1)(x_3 - x_1) - (x_2 - x_1)(z_3 - z_1)] \cdot y + \dots \\ & \dots + [(x_2 - x_1)(y_3 - y_1) - (y_2 - y_1)(x_3 - x_1)] \cdot z - \dots \\ & \dots - [(y_2 - y_1)(z_3 - z_1) - (z_2 - z_1)(y_3 - y_1)] \cdot x_1 - \dots \\ & \dots - [(z_2 - z_1)(x_3 - x_1) - (x_2 - x_1)(z_3 - z_1)] \cdot y_1 - \dots \\ & \dots - [(x_2 - x_1)(y_3 - y_1) - (y_2 - y_1)(x_3 - x_1)] \cdot z_1 = 0 \end{aligned} \quad (1)$$

Torej so koeficienti ravnine podani z izrazi:

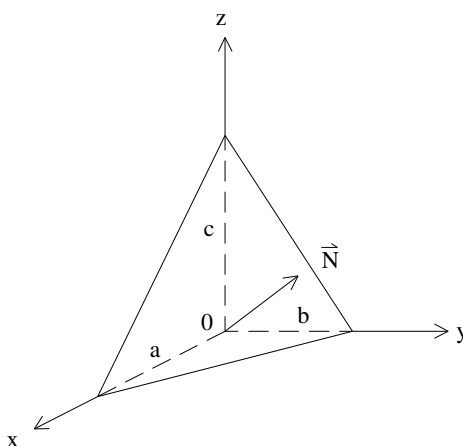
$$\begin{aligned} A &= (y_2 - y_1)(z_3 - z_1) - (z_2 - z_1)(y_3 - y_1) \\ B &= (z_2 - z_1)(x_3 - x_1) - (x_2 - x_1)(z_3 - z_1) \\ C &= (x_2 - x_1)(y_3 - y_1) - (y_2 - y_1)(x_3 - x_1) \\ D &= [(z_2 - z_1)(y_3 - y_1) - (y_2 - y_1)(z_3 - z_1)] \cdot x_1 + \dots \\ & \dots + [(x_2 - x_1)(z_3 - z_1) - (z_2 - z_1)(x_3 - x_1)] \cdot y_1 + \dots \\ & \dots + [(y_2 - y_1)(x_3 - x_1) - (x_2 - x_1)(y_3 - y_1)] \cdot z_1 \end{aligned} \quad (2)$$

Na vsaki ravnini strehe sem iz treh izmerjenih vogalnih točk izračunala koeficiente enačbe ravnine A , B , C in D (Preglednica 7). Koeficienti enačbe ravnine določajo lego ravnine v

prostoru (Slika 17). Koeficienti A, B in C predstavljajo komponente normalnega vektorja ravnine:

$$\vec{N} = (A, B, C),$$

ki je pravokoten na ravnino $Ax + By + Cz + D = 0$ (Bronstein in sod., 1997, str. 181).



Slika 17: Lega ravnine v prostoru

Če je $A = 0$, leži ravnina vzporedno z osjo x, če je $B = 0$, leži vzporedno z osjo y, če pa je $C = 0$, leži ravnina vzporedno z osjo z. Kadar je $A = B = 0$, je ravnina vzporedna z ravnino x,y (Bronstein in sod., 1997, str. 181), torej imajo vodoravne strehe koeficienta A in B enaka nič. Če je $D = 0$, gre ravnina skozi koordinatno izhodišče (Bronstein in sod., 1997, str. 181).

Višine točk rastrske mreže na ploskvi posamezne strehe sem izračunala po izrazu:

$$z_j = \frac{-A \cdot x_i - B \cdot y_i - D}{C}, \quad (3)$$

kjer sta x_i in y_i koordinati posamezne točke rastrske mreže na DMP-ju.



Preglednica 7: Koeficienti ravnin, s katerimi so opisane ploskve streh

Id ravnine	A	B	C	D (m)
1	0	0	976.837	-520 361.336
2a	-416.283	180.256	1066.650	897 757 769.375
2b	-416.283	180.256	-956.058	898 862 369.886
2c	-30.874	-69.445	-138.216	508 486 284.934
2d	-32.508	-75.809	146.709	549 572 518.923
3	-243.310	106.314	-470.794	520 217 360.367
4	-35.960	-84.380	460.068	610 566 476.518
5	-164.065	-400.235	657.339	2 867 756 894.429
6	0	0	-1450.829	769 810.080
7	-158.300	68.575	572.230	341 126 484.144
8	11.608	-26.447	-241.774	89 351 882.190
9a	229.276	534.834	970.284	-3 878 062 367.015
9b	229.276	534.834	-1032.670	-3 876 973 560.786
10	0	0	-1406.650	742148.698
11	0	0	1458.570	-775229.955
12	0	0	1254.811	-673833.400

Preglednica 8: Primer vzorčenja ravnine za streho z identifikatorjem 4 (indeks i se nanaša na DMP, dobljen iz IKONOS-ovih stereo podob, indeks j pa na ploskev strehe, zajete iz letalskih posnetkov)

i	x_i (m)	y_i (m)	z_i (m)	z_j (m)
1	4467944	5334736	524.7	534.3
2	4467932	5334739	527.9	533.9
3	4467956	5334733	527.7	534.7
4	4467947	5334736	526.6	534.5
5	4467935	5334739	528.2	534.1
6	4467959	5334733	529.1	534.9
7	4467950	5334736	528.0	534.8
8	4467938	5334739	525.7	534.4

⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
---	---	---	---	---

6 VREDNOTENJE DIGITALNIH MODELOV PLOSKVE

6.1 Statistično vrednotenje

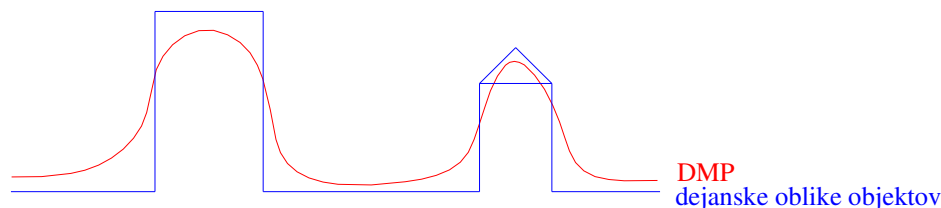
V postopku statističnega vrednotenja želimo izvedeti, kakšni so parametri populacije, ki jo v mojem primeru predstavljajo vse strehe na testnem območju. Izmed vseh streh sem jih zajela le nekaj, in sicer tiste, za katere sem menila, da bodo dale najbolj verodostojne rezultate. Z izborom določenega števila streh sem ustvarila vzorec, ki vsebuje 16 ravnin streh. Predmet vrednotenja predstavljajo točke rastrske mreže, ki pokrivajo tako iz IKONOS-ovega stereo para izdelane DMP-je kot tudi iz letalskih posnetkov zajete ploskve streh. Točke rastrske mreže imajo na obeh virih enak položaj, vendar različne višine. Ovrednotiti želimo višine točk rastrske mreže na DMP-jih, referenčni vir pa predstavljajo "prave" višine na zajetih strehah. Elementi vzorca, na podlagi katerih sem računala statistike, so razlike med višinami na referenčnem viru in višinami na izdelanih DMP-jih:

$$\Delta z_i = z_{0i} - z_{DMPi} , \quad (4)$$

kjer je i točka rastrske mreže ($i = 1, \dots, n$).

Takšen način računanja razlik je bil izbran z razlogom, saj je avtomatsko generirani DMP vedno približek dejanskih oblik objektov. Dejanske oblike stavb v mestih so pravilne in imajo ostre robove. Njihove modele se da ponavadi razstaviti na različna matematična telesa, med katerimi prevladujejo prizme. Stavbe imajo največkrat obliko kvadra oziroma več skupaj sestavljenih kvadrov različnih velikosti, njihove strehe pa lahko opišemo s trirobimi prizmami ali deli piramid. Novejše stavbe zavzemajo tudi obliko valja ali plašča stožca. Na DMP-jih, generiranih z avtomatskim postopkom slikovnega ujemanja, pa niti robovi niti nakloni streh niso izraziti. Ploskev tako izdelanih digitalnih modelov je gladka, to je brez skokovitih sprememb višine, ki so značilni za dejanske oblike stavb. Zato so DMP-ji nekakšen približek dejanskim objektom, torej so na tleh praviloma višji od dejanske višine tal, pri strehah pa nižji od dejanskih višin slemen in kapi (Slika 18). Ker sem v vrednotenje vzela le vzorec streh, sem višinske razlike tvorila tako, da sem od višin referenčnih objektov, ki predstavljajo dejanske

višine streh, odštela višine DMP-jev. Tako so višinske razlike, ki predstavljajo elemente vzorca, skoraj vedno pozitivne.



Slika 18: Ploskev DMP-ja v primerjavi z dejanskimi oblikami objektov

Parametre populacije sem ocenila na podlagi dveh statistik, ki določata mero srednje vrednosti in mero razpršenosti. Za mero srednje vrednosti sem izbrala aritmetično sredino, ki velja za najobičajnejšo mero srednje vrednosti. V mojem primeru je za posamezno ravnino strehe k podana z izrazom:

$$\bar{\Delta z}_k = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \Delta z_i, \quad (5)$$

kjer je Δz_i višinsko odstopanje na posamezni točki rastrske mreže, i točka rastrske mreže in n število točk rastrske mreže na ravnini strehe k .

Za statistiko, ki opisuje mero razpršenosti, sem izbrala standardno deviacijo vzorca, ki je poznana tudi pod izrazom RMSE (root mean square error). RMSE se računa samo na podlagi vzorcev in ne celotne populacije. Je nepristranska ocena za standardno deviacijo populacije.

Za posamezno ravnino strehe v vzorcu se izračuna po izrazu:

$$\sigma_{\Delta z_k} = RMSE_{\Delta z_k} = + \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\Delta z_i - \bar{\Delta z}_k)^2}{n-1}}, \quad (6)$$

kjer je Δz_i višinsko odstopanje na posamezni točki rastrske mreže, $\overline{\Delta z_k}$ aritmetična sredina višinskih odstopanj za ravnino strehe k, i točka rastrske mreže in n število točk rastrske mreže na ravnini strehe k.

Aritmetične sredine in RMSE-je višinskih odstopanj po posameznih ravninah streh prikazujejo preglednice v nadaljevanju (Preglednice 9, 10, 11 in 12). V zadnji vrstici preglednic sta navedeni skupna aritmetična sredina in RMSE posameznega DMP-ja, ki sem jih izračunala kot:

$$\begin{aligned}\overline{\Delta z_{skupaj}} &= \frac{1}{m} \sum_{k=1}^m \overline{\Delta z_k} = \frac{1}{16} \sum_{k=1}^{16} \overline{\Delta z_k} \\ RMSE_{skupaj} &= \frac{1}{m} \sum_{k=1}^m RMSE_{\Delta z_k} = \frac{1}{16} \sum_{k=1}^{16} RMSE_{\Delta z_k}\end{aligned}\quad (7)$$

kjer je $\overline{\Delta z_k}$ aritmetična sredina in $RMSE_{\Delta z_k}$ standardna deviacija odstopanj na ravnini strehe k ter m število vseh ravnin streh v vzorcu (m=16).

6.1.1 Vrednotenje DMP-jev, izdelanih na digitalni fotogrametrični postaji LPS 8.7

Pri vrednotenju IKONOS-ovih DMP-jev, izdelanih na LPS-ju z avtomatsko ekstrakcijo reliefa, sem najprej želela oceniti vpliv parametrov na kakovost DMP-jev. Ker je metoda izdelave digitalnega modela popolnoma avtomatska, je kakovost rezultata odvisna samo od nastavitve parametrov pred začetkom generiranja ploskve. Zato morajo biti le-ti izbrani zelo premišljeno. Največji vpliv na avtomatsko generiranje digitalnih modelov imajo velikost matrike iskanja in tarče ter mejna vrednost korelacijskega koeficienta. Izbor algoritma za glajenje DMP-ja ima le postranski vpliv.

6.1.1.1 Vpliv velikosti matrike iskanja na kakovost DMP-jev

Vpliv velikosti matrike iskanja na kakovost DMP-jev sem preizkusila na DMP-jih 2 in 5. DMP 2 ima velikost matrike iskanja 17 x 3 piksele, DMP 5 pa ima večjo matriko iskanja, in sicer 19 x 5 pikselov. Večja vrednost v matriki iskanja predstavlja velikost vodoravne stranice

pravokotnika, ki definira matriko iskanja, ter je premo sorazmerna z velikostjo višinske razlike med objekti, ki ležijo znotraj matrike iskanja. Manjša vrednost v matriki iskanja je enaka navpični stranici pravokotnika matrike iskanja. Je obratno sorazmerna z oceno kakovosti aerotriangulacije, to pomeni, večja kot je vrednost navpične stranice matrike iskanja, slabše je ocenjena kakovost aerotriangulacije.

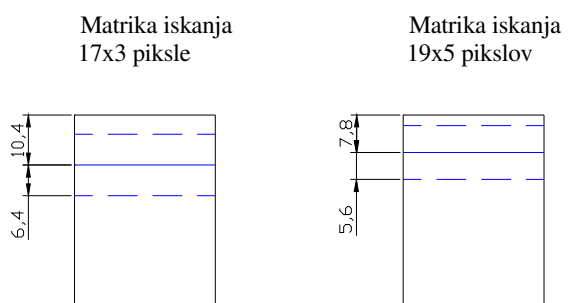
Preglednica 9: Aritmetična sredina in RMSE višinskih odstopanj v odvisnosti od velikosti matrike iskanja

Id. ravnine strehe	Matrika iskanja 17 x 3 piksele		Matrika iskanja 19 x 5 pikslov	
	$\overline{\Delta z}$ (m)	$RMSE_{\Delta z}$ (m)	$\overline{\Delta z}$ (m)	$RMSE_{\Delta z}$ (m)
1	4.5	3.0	3.7	2.7
6	7.5	6.7	6.0	9.8
10	3.3	2.8	2.9	2.7
11	4.6	2.1	4.1	1.2
12	9.3	7.4	7.8	6.1
Vodoravne strehe	5.8	4.4	4.9	4.5
3	20.7	10.6	16.9	9.5
4	5.7	1.9	6.2	1.9
5	3.8	1.1	4.0	1.1
7	37.5	27.5	23.6	16.0
8	21.2	13.2	9.5	6.7
Nagnjene strehe	17.8	10.9	12.0	7.0
9a	6.2	5.2	7.0	7.4
9b	4.2	1.6	3.9	2.0
2a	13.4	7.2	10.2	11.2
2b	13.4	7.1	9.1	8.0
2c	4.5	2.5	2.6	0.9
2d	6.3	3.1	7.4	3.1
Nagnjene čopaste strehe	8.0	4.5	6.7	5.4
Skupaj	10.4	6.4	7.8	5.6

Če pogledamo skupni statistiki celotnega vzorca (Preglednica 9), vidimo, da daje matrika iskanja z velikostjo 19 x 5 pikslov precej boljše rezultate od matrike iskanja 17 x 3 pikslov. Matrika iskanja 17 x 3 pikslov je v programskem paketu LPS izbrana kot vnaprej določen parameter za avtomatsko generiranje reliefa iz letalskih posnetkov, torej naj bi bila v splošnem to najbolj primerna velikost matrike iskanja, če so podatkovni vir letalski posnetki.

Sama sem že na podlagi vizualne ocene obeh DMP-jev ugotovila, da so na DMP-ju, ki je bil izdelan z matriko iskanja 19 x 5 pikslov napake bistveno manjše kot na DMP-ju, ki je bil izdelan z matriko iskanja 17 x 3 pikslov (Slika 8). To sem sedaj potrdila tudi s statističnim testiranjem vzorca streh, saj se je srednja vrednost višinskih odstopanj pri DMP-ju z matriko iskanja 19 x 5 pikslov zmanjšala za 2.6 m, RMSE pa za 0.8 m.

Srednja vrednost višinskih odstopanj se je zmanjšala pri vseh tipih streh, in sicer pri vodoravnih za 0.9 m, pri nagnjenih čopastih za 1.3 m ter pri nagnjenih strehah kar za 5.8 m. Razpršenost višinskih odstopanj se je zmanjšala pri nagnjenih strehah, in sicer za 3.9 m, malo se je povečala pri vodoravnih strehah, in sicer za 0.1 m, pri nagnjenih čopastih strehah pa se je povečala za 0.9 m.



Slika 19: Srednja vrednost in razpršenost višinskih odstopanj v odvisnosti od velikosti matrike iskanja

Na obeh DMP-jih sem izvedla tudi raziskavo, kolikšen odstotek vseh točk rastrske mreže ima na DMP-ju z matriko iskanja 19 x 5 pikslov manjše višinsko odstopanje od točk na DMP-ju z matriko iskanja 17 x 3 pikslov. Prišla sem do ugotovitve, da 20.3% vseh točk v vzorcu enako odstopa od referenčnih višin objektov na obeh DMP-jih. Za 52.0% vseh točk v vzorcu pa je boljši DMP z velikostjo matrike iskanja 19 x 5 pikslov, kajti višinsko odstopanje je za te točke manjše od višinskih odstopanj identičnih točk na DMP-ju z matriko iskanja 17 x 3 piksle. Za 27.7% točk v vzorcu pa se je DMP z matriko iskanja 17 x 3 piksle izkazal kot boljši.

6.1.1.2 Vpliv velikosti tarče na kakovost DMP-jev

Vpliv tarče na kakovost DMP-jev sem testirala na DMP-jih 5, 9 in 10. DMP 5 sem uporabila že za preizkušanje vpliva matrike iskanja, izdelan pa je bil z velikostjo tarče 7 x 7 pikslov, ki je bila podana v programskem paketu LPS kot privzeta vrednost za avtomatsko ekstrakcijo reliefa na podlagi letalskih posnetkov. DMP 9 je bil izdelan z velikostjo tarče 9 x 9 pikslov, DMP 10 pa s tarčo 11 x 11 pikslov. Velikost tarče je obratno sorazmerna z razgibanostjo reliefa oziroma z barvnim kontrastom slike.

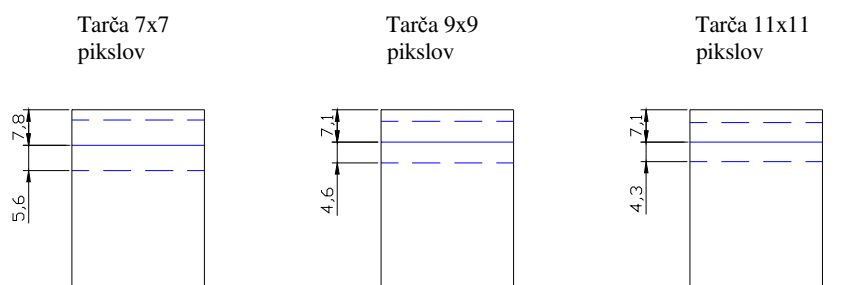
Rezultati testiranja o vplivu velikosti tarče na kakovost DMP-jev so prikazani v Preglednici 10. Vidi se, da je kakovost DMP-ja s tarčo 9 x 9 pikslov nekoliko boljše od DMP-ja z velikostjo tarče 7 x 7 pikslov. Tudi pri testiranju tarče se je torej pokazalo, da privzete vrednosti za letalske posnetke ne veljajo za najboljši izbor pri podobah visoko ločljivih satelitov. Le-te potrebujejo pri avtomatskem generiranju reliefa večje velikosti tarče. DMP z velikostjo tarče 9 x 9 pikslov ima aritmetično sredino višinskih odstopanj za 0.7 m manjšo od DMP-ja s privzeto velikostjo tarče. RMSE višinskih odstopanj DMP-ja z velikostjo tarče 9 x 9 pikslov pa je za 1 m manjši v primerjavi z DMP-jem s tarčo veliko 7 x 7 pikslov.

Če primerjamo sedaj še DMP-ja z večjima velikostima tarče, vidimo, da je njuna srednja vrednost višinskih odstopanj enaka, RMSE višinskih odstopanj DMP-ja s tarčo 11 x 11 pikslov pa je samo za 0.3 m manjši od RMSE-ja višinskih odstopanj DMP-ja z velikostjo tarče 9 x 9 pikslov. DMP-ja z velikostima tarč 9 x 9 in 11 x 11 pikslov se torej v splošnem bistveno ne razlikujeta, večja razlika v kakovosti pa je opažena med primerjavo DMP-ja s privzeto velikostjo tarče in DMP-jev z večjima velikostima tarč.

Če DMP-je vrednotimo glede na tip streh, se je za najboljšega pri nagnjenih strehah izkazal DMP z velikostjo tarče 11 x 11 pikslov, pri nagnjenih čopastih strehah pa DMP s tarčo velikosti 9 x 9 pikslov. Pri vodoravnih strehah sta obe izračunani statistiki zelo podobni pri DMP-jih s tarčama 9 x 9 in 11 x 11 pikslov. Najmanjšo aritmetično sredino višinskih odstopanj ima DMP z velikostjo tarče 9 x 9 pikslov, najmanjši RMSE višinskih odstopanj pa je dosežen z DMP-jem, ki ima tarčo veliko 11 x 11 pikslov.

Preglednica 10: Aritmetična sredina in RMSE višinskih odstopanj v odvisnosti od velikosti tarče

Id. ravnine strehe	Tarča 7 x 7 pikslov		Tarča 9 x 9 pikslov		Tarča 11 x 11 pikslov	
	$\overline{\Delta z}$ (m)	$RMSE_{\Delta z}$ (m)	$\overline{\Delta z}$ (m)	$RMSE_{\Delta z}$ (m)	$\overline{\Delta z}$ (m)	$RMSE_{\Delta z}$ (m)
1	3.7	2.7	3.2	2.7	4.0	2.2
6	6.0	9.8	4.9	4.1	5.2	3.3
10	2.9	2.7	2.7	2.6	2.8	2.4
11	4.1	1.2	3.9	1.0	4.2	1.0
12	7.8	6.1	8.6	6.4	8.3	6.0
Vodoravne strehe	4.9	4.5	4.7	3.4	4.9	3.0
3	16.9	9.5	14.4	6.6	11.1	4.9
4	6.2	1.9	6.7	1.9	6.2	1.6
5	4.0	1.1	5.3	1.2	5.2	1.3
7	23.6	16.0	23.3	24.6	17.9	19.5
8	9.5	6.7	9.0	6.5	9.5	5.7
Nagnjene strehe	12.0	7.0	11.7	8.2	10.0	6.6
9a	7.0	7.4	5.4	1.0	5.0	1.0
9b	3.9	2.0	4.5	1.4	4.3	1.4
2a	10.2	11.2	7.2	6.0	9.9	8.1
2b	9.1	8.0	8.1	5.2	9.9	7.1
2c	2.6	0.9	2.3	0.8	2.6	1.4
2d	7.4	3.1	4.6	1.9	6.8	2.5
Nagnjene čopaste strehe	6.7	5.4	5.4	2.7	6.4	3.6
Skupaj	7.8	5.6	7.1	4.6	7.1	4.3



Slika 20: Srednja vrednost in razpršenost višinskih odstopanj v odvisnosti od velikosti tarče

Da velikost tarče nima tako velikega vpliva na avtomatsko generiranje ploskve povedo tudi odstotki vseh točk v vzorcu, za katere posamezen DMP velja za najboljšega. Ti so namreč precej izenačeni. Tako se je za 34.2% točk izkazal DMP z velikostjo tarče 7 x 7 pikslov kot najboljši, za 31.6% je najboljši DMP s tarčo velikosti 9 x 9 pikslov, za 32.7% točk pa ima DMP s tarčo veliko 11 x 11 pikslov najmanjše višinsko odstopanje v primerjavi s preostalima DMP-jema. Enake vrednosti višinskih odstopanj od referenčnih višin objektov zavzema 1.4% vseh točk v vzorcu.

6.1.1.3 Vpliv mejne vrednosti korelacijskega koeficienta na kakovost DMP-jev

Vpliv mejne vrednosti korelacijskega koeficienta na kakovost DMP-jev sem ocenila pri DMP-jih 9, 12 in 13. DMP 9 sem uporabila že za testiranje vpliva velikosti tarče na izdelavo DMP-jev. Mejna vrednost korelacijskega koeficienta pri tem DMP-ju je 0.80, kar velja za privzeto vrednost pri avtomatskem generiranju DMP-jev iz letalskih posnetkov. Želela sem preizkusiti kakovost DMP-jev, če vrednost mejnega korelacijskega koeficienta zmanjšam oziroma povečam za 0.05. Tako je bil DMP 12 izdelan z mejnim korelacijskim koeficientom 0.85, DMP 13 pa s korelacijskim koeficientom 0.75. Mejna vrednost korelacijskega koeficienta vpliva na število in kakovost homolognih točk, na podlagi katerih se nato izvede avtomatsko generiranje ploskve. Če mejna vrednost korelacijskega koeficienta pada, narašča število homolognih točk, vendar pa so med njimi prisotne tudi tiste s slabo kvaliteto. Če mejna vrednost korelacijskega koeficienta narašča, je kakovost točk večja, vendar pa je točk za generiranje ploskve malo. Zato je potrebno ta parameter izbrati zelo skrbno.

V Preglednici 11 lahko vidimo, da mejna vrednost korelacijskega koeficienta nima velikega vpliva na obravnavan vzorec streh. Aritmetična sredina in RMSE višinskih odstopanj sta najmanjša pri DMP-ju z mejno vrednostjo korelacijskega koeficienta 0.80. Aritmetična sredina višinskih odstopanj je pri DMP-ju s korelacijskim koeficientom 0.75 enaka, pri DMP-ju s korelacijskim koeficientom 0.85 pa za 0.6 m večja kot pri DMP-ju s privzeto vrednostjo korelacijskega koeficienta. RMSE-ja sta pri DMP-jih z vrednostima mejnega korelacijskega koeficienta 0.85 in 0.75 enaka, in sicer za 0.3 m večja kot pri DMP-ju z mejno vrednostjo korelacijskega koeficienta 0.80.

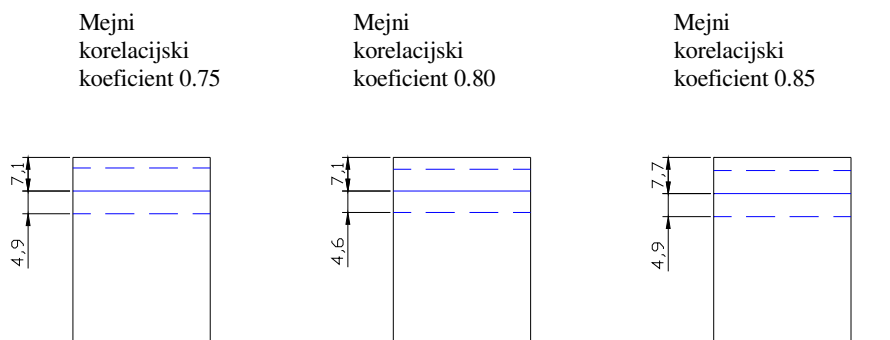
Preglednica 11: Aritmetična sredina in RMSE višinskih odstopanj v odvisnosti od mejne vrednosti korelacijskega koeficienta

Id. ravnine strehe	Mejni korelacijski koeficient 0.75		Mejni korelacijski koeficient 0.80		Mejni korelacijski koeficient 0.85	
	$\overline{\Delta z}$ (m)	$RMSE_{\Delta z}$ (m)	$\overline{\Delta z}$ (m)	$RMSE_{\Delta z}$ (m)	$\overline{\Delta z}$ (m)	$RMSE_{\Delta z}$ (m)
1	4.2	3.5	3.2	2.7	4.1	2.5
6	5.2	3.7	4.9	4.1	4.6	4.2
10	2.8	2.6	2.7	2.6	2.5	2.6
11	3.9	1.0	3.9	1.0	4.3	1.3
12	7.0	5.0	8.6	6.4	8.3	5.8
Vodoravne strehe	4.6	3.2	4.7	3.4	4.8	3.3
3	14.4	6.6	14.4	6.6	15.2	6.2
4	5.9	2.3	6.7	1.9	7.1	2.0
5	4.6	1.3	5.3	1.2	5.5	1.4
7	21.9	24.1	23.3	24.6	23.2	24
8	10.4	7.2	9.0	6.5	9.2	7.1
Nagnjene strehe	11.4	8.3	11.7	8.2	12.0	8.1
9a	6.1	3.7	5.4	1.0	5.3	1.0
9b	4.4	1.4	4.5	1.4	4.5	1.4
2a	7.9	7.1	7.2	6.0	10.1	7.0
2b	8.7	7.2	8.1	5.2	10.9	6.8
2c	2.1	0.8	2.3	0.8	3.0	2.1
2d	4.3	1.4	4.6	1.9	5.8	2.4
Nagnjene čopaste strehe	5.6	3.6	5.4	2.7	6.6	3.5
Skupaj	7.1	4.9	7.1	4.6	7.7	4.9

Če vrednotimo DMP-je glede na tipe streh, vidimo, da sta aritmetična sredina in RMSE višinskih odstopanj pri nagnjenih čopastih strehah najmanjša pri DMP-ju s korelacijskim koeficientom 0.80. Pri vodoravnih strehah se je za najboljšega izkazal DMP z mejnim korelacijskim koeficientom 0.75. Pri nagnjenih strehah pa se vrednosti statistik med seboj zelo malo razlikujejo.

Pri odstotkih vseh točk v vzorcu je nekoliko v ospredju DMP z mejno vrednostjo korelacijskega koeficienta 0.75. Ta DMP se je izkazal kot najboljši za 38.3% vseh točk

rastrske mreže v vzorcu. Za 26.6% točk sta najboljša DMP-ja s korelacijskima koeficientoma 0.80 in 0.85. Pri 8.6% točk v vzorcu pa je višinsko odstopanje enako za vse tri DMP-je.



Slika 21: Srednja vrednost in razpršenost višinskih odstopanj v odvisnosti od mejne vrednosti korelacijskega koeficienta

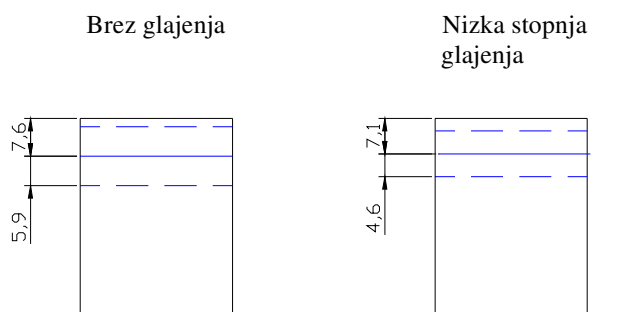
6.1.1.4 Vpliv stopnje glajenja na kakovost DMP-jev

Vpliv stopnje glajenja na kakovost DMP-jev sem preverila na DMP-jih 9 in 16. DMP 9 je bil ustvarjen z nizko stopnjo glajenja ploskve, ki zgladi manjše nepravilnosti na ploskvi. DMP 16 sem izdelala brez glajenja, zato je na njem prisotnih veliko napak. Cilj glajenja je zmanjšati razpršenost višinskih odstopanj, ki je na nezglajenih ploskvah zelo velika. Po drugi strani pa se z glajenjem izgubljajo informacije o detajlih in robovih stavb, zato preveliko glajenje pri avtomatski ekstrakciji stavb ni priporočljivo.

V Preglednici 12 je prikazano, da je DMP, izdelan z nizko stopnjo glajenja, v splošnem boljši od DMP-ja, izdelanega brez glajenja. Aritmetična sredina višinskih odstopanj zglajenega DMP-ja je za 0.5 m manjša od aritmetične sredine višinskih odstopanj pri DMP-ju brez glajenja. RMSE višinskih odstopanj pa je pričakovano manjši pri zglajenem DMP-ju, in sicer za 1.3 m.

Preglednica 12: Aritmetična sredina in RMSE višinskih odstopanj v odvisnosti od stopnje glajenja

Id. ravnine strehe	Brez glajenja		Nizka stopnja glajenja	
	$\overline{\Delta z}$ (m)	$RMSE_{\Delta z}$ (m)	$\overline{\Delta z}$ (m)	$RMSE_{\Delta z}$ (m)
1	2.7	3.5	3.2	2.7
6	4.7	5.6	4.9	4.1
10	2.4	2.9	2.7	2.6
11	3.8	1.2	3.9	1.0
12	8.8	6.7	8.6	6.4
Vodoravne strehe	4.5	4.0	4.7	3.4
3	16.2	10.0	14.4	6.6
4	6.2	2.4	6.7	1.9
5	5.3	1.4	5.3	1.2
7	26.1	26.1	23.3	24.6
8	9.4	7.1	9.0	6.5
Nagnjene strehe	12.6	9.4	11.7	8.2
9a	6.1	6.0	5.4	1.0
9b	4.4	1.7	4.5	1.4
2a	10.2	9.8	7.2	6.0
2b	7.3	5.8	8.1	5.2
2c	1.8	0.6	2.3	0.8
2d	6.0	3.8	4.6	1.9
Nagnjene čopaste strehe	6.0	4.6	5.4	2.7
Skupaj	7.6	5.9	7.1	4.6



Slika 22: Srednja vrednost in razpršenost višinskih odstopanj v odvisnosti od stopnje glajenja

Tako pri nagnjenih strehah kot pri nagnjenih čopastih strehah se je DMP z nizko stopnjo glajenja izkazal za boljšega od DMP-ja brez glajenja. Aritmetična sredina višinskih odstopanj pri vodoravnih strehah je malenkost manjša pri DMP-ju brez glajenja, RMSE višinskih odstopanj pa je manjši pri zglajenem DMP-ju.

Oba DMP-ja dosegata pri deležih vseh točk v vzorcu približno enake vrednosti, za malenkost vodi celo DMP brez glajenja. Za 49.2% vseh točk rastrske mreže v vzorcu je DMP brez glajenja boljši od DMP-ja z nizko stopnjo glajenja, DMP z nizko stopnjo glajenja pa se je pokazal kot najboljši za 43.1% točk v vzorcu. Enake vrednosti višinskih odstopanj pri obeh DMP-jih ima 7.7% točk v vzorcu. DMP brez glajenja je boljši na tistih točkah rastrske mreže, kjer ni prisotnih velikih napak. DMP z glajenjem pa na točkah z velikimi napakami v generiranju ploskve zavzema manjša višinska odstopanja, vendar pa tak DMP vsebuje zaradi generalizacije oblike ploskve večje napake na točkah, kjer večjih odstopanj pred glajenjem ni bilo.

6.1.1.5 Skupna analiza višinskih odstopanj

Skupne statistike višinskih odstopanj vseh DMP-jev, ki so bili narejeni na digitalni fotogrametrični postaji LPS 8.7 s postopkom avtomatskega generiranja ploskve iz IKONOS-ovega stereo para, so zbrane v Preglednici 13.

Preglednica 13: Aritmetična sredina in RMSE višinskih odstopanj vseh DMP-jev

DMP	$\bar{\Delta z}$ (m)	$RMSE_{\Delta z}$ (m)
2	10.4	6.4
5	7.8	5.6
9	7.1	4.6
10	7.1	4.3
12	7.7	4.9
13	7.1	4.9
16	7.6	5.9

V Preglednici 13 vidimo, da je po pričakovanjih aritmetična sredina višinskih odstopanj DMP-jev od referenčnih objektov pozitivna vrednost. Ta je največja pri DMP-ju 2 z velikostjo matrike iskanja 17 x 3 piksele (10.4 m), ki velja za privzeto vrednost pri avtomatskem generiranju ploskve iz letalskih posnetkov. Če matriko iskanja povečamo na velikost 19 x 5 pikselov (s takšno velikostjo matrike iskanja so bili izdelani vsi ostali DMP-ji), se aritmetična sredina višinskih odstopanj DMP-jev od referenčnih objektov zmanjša na 7.8 m do 7.1 m. Torej je jasno razvidno, da povečanje matrike iskanja v mojem primeru najbolj vpliva na pravilno obliko DMP-jev.

DMP 5 je bil izdelan z velikostjo tarče 7 x 7 pikselov, srednja vrednost njegovih višinskih odstopanj pa znaša 7.8 m. Pri generiranju DMP-jev 9 in 10 sta bili uporabljeni velikosti tarče 9 x 9 oziroma 11 x 11 pikselov, aritmetična sredina njunih višinskih odstopanj pa znaša 7.1 m. Vidimo torej, da je povečanje privzete vrednosti tarče prineslo še dodatnih 0.7 m k izboljšanju višinske pravilnosti DMP-jev. Aritmetična sredina višinskih odstopanj 7.1 m je tudi najmanjša možna v moji analizi kakovosti DMP-jev.

Njena vrednost se je ohranila, tudi če sem mejno vrednost korelacijskega koeficienta zmanjšala iz privzete vrednosti 0.80 (vsi DMP-ji, razen 12 in 13) na 0.75 (DMP 13). Povečanje mejne vrednosti korelacijskega koeficienta na 0.85 (DMP 12) pa je prineslo povečanje srednje vrednosti višinskih odstopanj za 0.6 m.

Vsi do sedaj obravnavani DMP-ji so bili izdelani z nizko stopnjo glajenja ploskve. Pri generiranju DMP-ja 16 pa glajenja nisem uporabila, vendar je to poslabšalo kakovost tega DMP-ja. Aritmetična sredina njegovih višinskih odstopanj znaša 7.6 m.

RMSE, ki določa razpršenost višinskih odstopanj okoli njihove aritmetične sredine, zavzema pri na LPS-ju izdelanih DMP-jih vrednosti med 4.3 m in 6.4 m. Največjo vrednost RMSE-ja višinskih odstopanj opazimo pri DMP-ju 2 z velikostjo matrike iskanja 17 x 3 piksele, pri katerem je tudi aritmetična sredina višinskih odstopanj največja. S povečanjem velikosti matrike iskanja na 19 x 5 pikselov pade tudi razpršenost višinskih odstopanj, in sicer na 5.6 m (DMP 5).

S povečanjem velikosti tarče iz 7 x 7 (DMP 5) na 9 x 9 pikslov (DMP 9) pade RMSE višinskih odstopanj še za dodaten meter. Pri DMP-ju 10, ki je bil izdelan z velikostjo tarče 11 x 11 pikslov, se le-ta zmanjša še za 0.3 m in sedaj znaša 4.3 m. To je tudi najmanjša vrednost RMSE-ja višinskih odstopanj pri DMP-jih, izdelanih na digitalni fotogrametrični postaji LPS 8.7 iz IKONOS-ovega stereo para.

S povečanjem oziroma zmanjšanjem mejne vrednosti korelacijskega koeficienta iz 0.80 na 0.85 (DMP 12) oziroma 0.75 (DMP 13) RMSE višinskih odstopanj naraste na 4.9 m. Še za 1 m pa se poveča vrednost RMSE-ja višinskih odstopanj pri DMP-ju 16, ki je bil izdelan brez glajenja.

Najmanjša vrednost aritmetične sredine višinskih odstopanj je bila dosežena pri DMP-jih 9, 10 in 13. Pri generiranju vseh treh DMP-jev je bila velikost matrike iskanja 19 x 5 pikslov, uporabljena je bila tudi nizka stopnja filtra glajenja ploskve. Pri DMP-jih 9 in 13 je bila velikost tarče nastavljena na 9 x 9 pikslov, pri DMP-ju 10 pa na 11 x 11 pikslov. Privzeta vrednost mejnega korelacijskega koeficienta 0.80 je bila uporabljena pri generiranju DMP-jev 9 in 10, pri DMP-ju 13 pa je le-ta znašala 0.75. Vendar pa so ti trije DMP-ji opisani z različnimi vrednostmi RMSE-jev. RMSE višinskih odstopanj pri DMP-ju 9 znaša 4.6 m, pri DMP-ju 10 4.3 m in pri DMP-ju 13 4.9 m. Najmanjša razpršenost višinskih odstopanj ob najmanjši vrednosti njihove aritmetične sredine je torej opažena pri DMP-ju 10.

6.1.1.6 Analiza kakovosti najboljšega DMP-ja

Pri generiranju DMP-ja 10 je bila uporabljena naslednja nastavitev parametrov:

- velikost matrike iskanja 19 x 5 pikslov,
- velikost tarče 11 x 11 pikslov,
- mejna vrednost korelacijskega koeficienta 0.80 in
- nizka stopnja filtra glajenja.

Takšna nastavitev parametrov se je izkazala za najboljšo pri avtomatskem generiranju DMP-jev iz IKONOS-ovega stereo para na urbanem testnem območju TUM-ja. Aritmetična sredina in RMSE višinskih odstopanj sta tu najmanjša izmed vseh izdelanih DMP-jev. Srednja višina

ploskve DMP-ja 10 je za 7.1 m nižja od referenčnih višin objektov, razpršenost višinskih odstopanj pa znaša 4.3 m. Na podlagi zajetih višin objektov iz letalskih posnetkov sem izračunala tudi relativno vrednost aritmetične sredine in RMSE-ja, ki sta podana z izrazoma:

$$\begin{aligned} \overline{\Delta z_{rel}} &= \frac{\overline{\Delta z}}{z}, \\ RMSE_{\Delta z_{rel}} &= \frac{RMSE_{\Delta z}}{z}, \end{aligned} \quad (8)$$

kjer je z višina zajetega referenčnega objekta.

Iz Preglednice 14 je razvidno, da so bili najboljši rezultati doseženi pri vodoravnih strehah. Aritmetična sredina višinskih odstopanj tu znaša 4.9 m oziroma 20.7%, njihov RMSE pa 3.0 m oziroma 12.6%. Razmeroma majhna vrednost višinskih odstopanj je posledica predvsem oblike strehe, ki je brez nagibov in z zelo izrazitimi robovi, ki določajo stavbo oblike kvadra. Točke, ki ležijo na robovih kvadra, določajo mejo med dvema močnima kontrastoma, zato je postopek slikovnega ujemanja na vodoravnih strehah uspešnejši kot pri nagnjenih. Nekoliko slabši rezultat je razviden pri strehi številka 6 (aritmetična sredina višinskih odstopanj 5.2 m, RMSE višinskih odstopanj 3.3 m), ki je posledica napak pri slikovnem ujemanju, ki so nastale zaradi rež v notranjosti objekta. Slab rezultat ima tudi streha številka 12 (aritmetična sredina višinskih odstopanj 8.3 m, RMSE višinskih odstopanj 6.0 m), ki pa je na dveh straneh nazobčana, kar prav tako povzroča težave slikovnemu ujemanju, saj robovi stavbe niso več tako izraziti.

Nekoliko slabši so rezultati pri nagnjenih čopastih strehah. Tu znaša aritmetična sredina višinskih odstopanj 6.4 m oziroma 21.9%, RMSE pa 3.6 m oziroma 12.3%. Razpršenost višinskih odstopanj pri teh strehah se bistveno ne razlikuje od razpršenosti višinskih odstopanj pri vodoravnih strehah, zato pa je velikost odstopanj pri nagnjenih strehah s čopom večja. Robovi pri teh strehah niso več tako izraziti kot pri vodoravnih strehah, saj je kot med ploskvami zidov in streh manjši od 90°. Po drugi strani pa velja, da je robov na strehi zaradi čopov več kot pri vodoravnih in nagnjenih strehah, kar pripomore h kontrastu in posledično ugodno vpliva na slikovno ujemanje. Nekoliko slabši rezultat je viden na glavni stavbi TUM-

ja (streha številka 2), ki leži nasproti nove predavalnice, ki je narejena iz svetlečega materiala. Tam je zaradi odboja žarkov nastala napaka na levi podobi IKONOS-ovega stereo para (Slika 3). Ta napaka v postopku slikovnega ujemanja slabša rezultate na objektih, ki ležijo v bližini izvora napake.

Preglednica 14: Aritmetična sredina in RMSE višinskih odstopanj DMP-ja 10

Id. ravnine strehe	Povprečna višina objekta (m)	$\overline{\Delta z}$ (m)	$\overline{\Delta z}_{rel}$	$RMSE_{\Delta z}$ (m)	$RMSE_{\Delta z,rel}$
1	24.7	4.0	16.2%	2.2	8.9%
6	22.6	5.2	23.0%	3.3	14.6%
10	19.6	2.8	14.3%	2.4	12.2%
11	22.5	4.2	18.7%	1.0	4.4%
12	29.0	8.3	28.6%	6.0	20.7%
Vodoravne strehe	23.7	4.9	20.7%	3.0	12.6%
3	24.4	11.1	45.5%	4.9	20.1%
4	24.8	6.2	25.0%	1.6	6.4%
5	18.5	5.2	28.1%	1.3	7.0%
7	25.0	17.9	71.6%	19.5	78%
8	20.0	9.5	47.5%	5.7	28.5%
Nagnjene strehe	22.5	10.0	44.4%	6.6	29.3%
9a	28.5	5.0	17.5%	1.0	3.5%
9b		4.3	15.1%	1.4	4.9%
2a	30.0	9.9	33.0%	8.1	27%
2b		9.9	33.0%	7.1	23.7%
2c		2.6	8.7%	1.4	4.7%
2d		6.8	22.7%	2.5	8.3%
Nagnjene čopaste strehe	29.2	6.4	21.9%	3.6	12.3%
Skupaj	25.1	7.1	28.3%	4.3	17.1%

Najslabši rezultat pa je bil dosežen pri nagnjenih strehah, pri katerih znaša aritmetična sredina višinskih odstopanj 10.0 m oziroma 44.4%, njihov RMSE pa 6.6 m oziroma 29.3%. Kontrastnost robov je tu enaka kot pri nagnjenih čopastih strehah, vendar so tu robovi le štirje, zato so pri nagnjenih strehah odstopanja največja. Vzrok, da je tu tudi razpršenost višinskih odstopanj največja, je verjetno ta, da so nagnjene strehe na testnem območju

manjših površin kot vodoravne in nagnjene strehe s čopom. Slabši rezultat je opažen pri strehi številka 8 (aritmetična sredina višinskih odstopanj 9.5 m, RMSE višinskih odstopanj 5.7 m), ki je izvor glavne napake na testnem območju. Veliko aritmetično sredino višinskih odstopanj ima tudi streha številka 3 (aritmetična sredina višinskih odstopanj 11.1 m, RMSE višinskih odstopanj 4.9 m), verjetno je tu vzrok slabega rezultata majhen objekt s svetlečo površino strehe v bližini. Daleč najslabši rezultat pa je opažen pri strehi številka 7 (aritmetična sredina višinskih odstopanj 17.9 m, RMSE višinskih odstopanj 19.5 m), ki jo na vzhodni in severni strani obdajata dva velika objekta, katerih strehi sta narejeni iz svetlečih materialov, ena pa vsebuje tudi reže.

6.1.2 Vrednotenje DMP-jev, izdelanih na DLR-ju

Na DLR-ju sta bila izdelana dva DMP-ja, eden s postopkom slikovnega ujemanja na osnovi hierarhične strukture intenzitete (metoda A), drugi pa z dinamičnim prileganjem oblike linije (metoda B). Oba DMP-ja sem statistično ovrednotila na enak način kot DMP-je, ki so bili izdelani na TUM-ju z uporabo digitalne fotogrametrične postaje LPS 8.7. Skupni aritmetični sredini višinskih odstopanj s pripadajočimi RMSE-ji sta prikazani v Preglednici 15.

Preglednica 15: Aritmetična sredina in RMSE višinskih odstopanj DMP-jev, izdelanih na DLR-ju

DMP	$\overline{\Delta z}$ (m)	$RMSE_{\Delta z}$ (m)
Metoda A	3.2	3.8
Metoda B	1.7	4.9

Iz Preglednice 15 je razvidno, da ima DMP, ki je bil izdelan z metodo B, skoraj polovico manjšo aritmetično sredino višinskih odstopanj kot DMP, ki je bil narejen z metodo A. RMSE višinskih odstopanj pa je pri DMP-ju A za 1.1 m manjši od DMP-ja, ki je bil izdelan z metodo B. Torej se je za velikost višinskih odstopanj postopek slikovnega ujemanja, izveden na za to posebej izdelanem programu, izkazal za slabšega od algoritma, ki temelji na prepoznavanju govora. Vendar pa je pri algoritmu, ki temelji na prepoznavanju govora, razpršenost višinskih

odstopanj po pričakovanjih večja, saj je pri postopku slikovnega ujemanja ponavadi uporabljeno glajenje večjih napak na ploskvi.

6.1.2.1 Primerjava najboljšega DMP-ja, ki je bil izdelan z LPS-om in DMP-jev, ki sta bila izdelana na DLR-ju

DMP-ja, ki sta bila s posebnima postopkoma izdelana na DLR-ju, sem želela primerjati z DMP-jem, ki se je pokazal za najboljšega izmed vseh DMP-jev, ki sem jih izdelala na TUM-ju z uporabo programskega paketa LPS 8.7. Rezultati statistik glede na tipe streh so prikazani v Preglednici 16.

Iz Preglednice 16 je razvidno, da se razpršenost višinskih odstopanj med posameznimi DMP-ji ne razlikuje veliko. Se pa zato bistveno razlikuje velikost višinskih odstopanj, ki je pri DMP-jih, izdelanih na DLR-ju, bistveno manjša kot pri DMP-ju, ki sem ga izdelala s pomočjo programskega paketa LPS. Torej lahko trdimo, da sta se na podlagi vzorca, ki sem ga testirala, DMP-ja, izdelana na DLR-ju, izkazala za boljše od DMP-jev, ki sem jih izdelala s komercialnim programskim paketom LPS 8.7.

DMP-ja "A" in 10 sta bila oba izdelana s postopkom slikovnega ujemanja, eden z algoritmom komercialnega software-ja, drugi pa s posebnim software-jem, ki je bil razvit na DLR-ju posebej za potrebe daljinskega zaznavanja. Če primerjamo rezultate njunega statističnega testiranja, opazimo, da so si rezultati precej podobni in je lahko ugotoviti, da sta bila oba DMP-ja izdelana s podobnim algoritmom. Tako je tudi ploskev DMP-ja, ki je bil na DLR-ju izdelan s postopkom slikovnega ujemanja, v splošnem nižja od dejanskih objektov. Višinska odstopanja so pri DMP-ju, ki je bil izdelan na DLR-ju, precej manjša od višinskih odstopanj DMP-ja 10. Tako kot pri DMP-ju 10 so tudi pri DMP-ju z DLR-ja rezultati najslabši pri nagnjenih strehah, vzroki za to pa so enaki kot pri DMP-ju 10. Za najslabšo pa pri DMP-ju "A" velja streha številka 8, ki je imela slab rezultat že pri DMP-ju 10. Ostale aritmetične sredine višinskih odstopanj pa so pri DMP-ju "A" veliko bolj enakomerne kot pri DMP-ju 10. Ploskev DMP-ja, ki je bil na DLR-ju izdelan s postopkom slikovnega ujemanja, je torej veliko bolj čvrsta in stabilna od tiste, ki je bila izdelana s komercialnim software-jem.

Preglednica 16: Aritmetična sredina in RMSE višinskih odstopanj DMP-ja 10 ter obeh DMP-jev iz DLR-ja

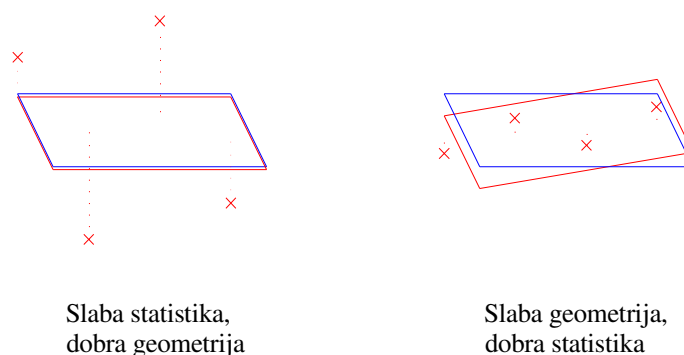
Id. ravnine strehe	DMP _{DLR} "A"		DMP _{DLR} "B"		DMP _{LPS 10}	
	$\overline{\Delta z}$ (m)	$RMSE_{\Delta z}$ (m)	$\overline{\Delta z}$ (m)	$\overline{\Delta z}$ (m)	$\overline{\Delta z}$ (m)	$RMSE_{\Delta z}$ (m)
1	1.8	3.8	-1.8	5.1	4.0	2.2
6	3.5	1.6	1.9	3.9	5.2	3.3
10	2.6	5.9	2.9	4.9	2.8	2.4
11	1.4	0.9	-0.8	5.1	4.2	1.0
12	3.4	4.8	4.2	7.8	8.3	6.0
Vodoravne strehe	2.5	3.4	1.3	5.4	4.9	3.0
3	13.0	9.6	-1.8	5.6	11.1	4.9
4	1.9	2.4	2.3	3.7	6.2	1.6
5	3.1	2.4	0.9	2.8	5.2	1.3
7	2.0	2.6	2.8	8.0	17.9	19.5
8	3.7	5.1	18.5	16.8	9.5	5.7
Nagnjene strehe	4.7	4.4	4.5	7.4	10.0	6.6
9a	3.4	0.7	0.7	2.1	5.0	1.0
9b	2.5	1.5	2.8	1.5	4.3	1.4
2a	2.6	7.6	-0.9	4.1	9.9	8.1
2b	5.1	9.2	-1.0	3.3	9.9	7.1
2c	-1.2	1.2	-0.7	1.8	2.6	1.4
2d	1.7	1.8	-2.7	2.5	6.8	2.5
Nagnjene čopaste strehe	2.4	3.7	-0.3	2.6	6.4	3.6
Skupaj	3.2	3.8	1.7	4.9	7.1	4.3

Najmanjše vrednosti višinskih odstopanj je zavzel DMP, ki je bil na DLR-ju izdelan s posebnim algoritmom, ki temelji na algoritmu za prepoznavanje govora. To odkritje je zelo zanimivo, saj se za avtomatsko 3D modeliranje v glavnem uporabljajo postopki slikovnega ujemanja, ki temeljijo na iskanju homolognih točk na prekrivajočih se stereo podobah. Takšen algoritem, ki je bil uporabljen pri generiranju DMP-ja "B", je bil prvič uporabljen za avtomatsko generiranje ploskve, dal pa je presenetljivo dobre rezultate. Že na daleč lahko opazimo, da je DMP "B" izdelan s popolnoma drugačno tehniko kot ostala DMP-ja, saj njegova ploskev v splošnem ni nižja od dejanskih objektov. Njegova višinska odstopanja zavzemajo tako pozitivne kot negativne vrednosti. Ravno zato je tako izdelana ploskev boljši približek dejanskim višinam objektov kot ploskev, ki je bila narejena s postopkom slikovnega

ujemanja. Vendar pa je razpršenost višinskih odstopanj pri DMP-ju "B" večja od ostalih dveh. Razlog je v tem, da so DMP-ji, ki so izdelani z različnimi postopki slikovnih ujemanj, praviloma tudi malo zglajeni. Če pa glajenje ni uporabljeno, je razpršenost višinskih odstopanj seveda večja.

6.2 Geometrično vrednotenje

S statističnim vrednotenjem običajno ne dobimo zadostnih informacij o kakovosti ustvarjenega 3D modela. Statistično testiranje vzorca je v mojem primeru temeljilo na točkah rastrske mreže, na podlagi katerih sem nato računala srednje vrednosti višin modeliranih objektov in razpršenost višin modeliranih objektov okoli njihove srednje vrednosti. V tem primeru je kakovost izdelanega 3D modela opisana s statističnimi parametri, ki zajemajo slučajne pogreške v ploskvi 3D modela. Pri 3D modeliranju pa uporabnika bolj zanima, kako se izdelani model prilega dejanskim oblikam objektov. O tem statistični parametri bolj malo povedo oziroma lahko dajejo celo zavajajoče rezultate (Slika 23). Zato je potrebno skozi točke rastrske mreže DMP-ja na vzorčnih objektih položiti ravnino, ki se točkam najbolj prilega. Lego izračunane ravnine strehe se potem lahko primerja z dejanskimi položaji streh na testnem območju. Rezultat geometričnega vrednotenja sta odmik modelirane ploskve od dejanske ploskve in naklonski kot med njima.



Slika 23: Razlika med statističnim in geometričnim vrednotenjem
(modelirana ploskev je obarvana rdeče, dejanska pa modro)

Pri geometričnem vrednotenju so uporabljene identične točke rastrske mreže, ki ležijo znotraj zaključenih poligonov 16-ih ravnin streh, katere sestavljajo vzorec. Skozi točke DMP-ja, ki ležijo znotraj zaključenega poligona posamezne strehe, je potrebno položiti ploskev strehe, tako da se bo le-ta točkam DMP-ja kar najbolj prilegala. Skupno bo torej izračunanih 16 različnih ravnin streh, ki bodo optimalno opisale ploskev DMP-ja na posameznih strehah. Za izračun enačbe ravnine je potrebno poznati koordinate vsaj treh točk, ki ležijo na ravnini. Ker pa je v mojem primeru na posamezni strehi teh točk veliko, je rešitev problema možna z izravnavo.

6.2.1 Izračun enačbe ravnine skozi točke rastrske mreže DMP-ja

Za izračun enačbe ravnine skozi točke DMP-ja sem izbrala posredno izravnavo po metodi najmanjših kvadratov. Metoda zagotavlja, da so kvadrati popravkov izravnanih vrednosti višin točk za izravnano ravnino najmanjši možni izmed vseh ravnin, ki bi jih lahko položili skozi točke rastrske mreže. Zato je lega takšne ravnine skozi podane točke najboljša možna.

V postopku posredne izravnave nastopajo opazovanja, neznanke in konstante. Opazovanja so količine, ki jih želimo izravnati. Tem količinam se po končanem postopku izravnave spremenijo vrednosti. Opazovanja v mojem primeru predstavljajo višine rastrskih točk DMP-ja, ki ležijo znotraj posamezne strehe. Tekom postopka so opazovanja označena z indeksom, ki pomeni zaporedno številko izvedene iteracije. Konstante so količine, ki se jim med izravnavo vrednost ne spremeni. To so v mojem primeru x in y koordinate točk rastrske mreže, ki ležijo znotraj posamezne strehe. Neznanke so količine, katerih vrednosti se določijo v postopku izravnave. Na podlagi izračunanih neznank se določijo tudi vrednosti izravnanih opazovanj, zato se postopek imenuje posredna izravnava. Neznanke so v mojem primeru koeficienti ravnine A , B , C in D . Tudi te so označene z indeksi, ki pomenijo stopnjo iteracije.

V teoretičnih osnovah se bom omejila na eno izmed streh na testnem območju. Postopek posredne izravnave zahteva, da je potrebno sestaviti toliko enačb popravkov, kolikor je opazovanj. Opazovanja predstavljajo višine vseh točk rastrske mreže, ki ležijo znotraj zaključenega poligona določene strehe. Torej sem za vsako točko DMP-ja, ki leži v območju določene strehe, napisala enačbo popravkov oblike:

$$\begin{aligned}
 F_1 &\equiv \hat{z}_1 + \frac{\hat{A} \cdot x_1 + \hat{B} \cdot y_1 + \hat{D}}{\hat{C}} = 0 \\
 F_2 &\equiv \hat{z}_2 + \frac{\hat{A} \cdot x_2 + \hat{B} \cdot y_2 + \hat{D}}{\hat{C}} = 0 \\
 F_3 &\equiv \hat{z}_3 + \frac{\hat{A} \cdot x_3 + \hat{B} \cdot y_3 + \hat{D}}{\hat{C}} = 0 , \\
 &\quad \vdots \\
 F_n &\equiv \hat{z}_n + \frac{\hat{A} \cdot x_n + \hat{B} \cdot y_n + \hat{D}}{\hat{C}} = 0
 \end{aligned} \tag{9}$$

kjer je n število točk rastrske mreže znotraj določene strehe.

Pred izvedbo postopka posredne izravnave je potrebno neznankam določiti njihove približne vrednosti. Za približne vrednosti koeficientov ravnine določene strehe sem privzela kar koeficiente enačbe ravnine, s katero je opisana dejanska ploskev iste strehe. Njihove vrednosti so navedene v Preglednici 7.

Splošni model posredne izravnave se glasi:

$$v + B \cdot \Delta = f , \tag{10}$$

kjer je v vektor popravkov opazovanj, Δ vektor neznank, B matrika parcialnih odvodov enačb popravkov po neznankah in f vektor odstopanj v enačbah popravkov.

V mojem primeru se zapiše kot:

$$\begin{bmatrix} v_{z_1} \\ v_{z_2} \\ v_{z_3} \\ \vdots \\ v_{z_n} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \frac{\partial F_1}{\partial A} & \frac{\partial F_1}{\partial B} & \frac{\partial F_1}{\partial C} & \frac{\partial F_1}{\partial D} \\ \frac{\partial F_2}{\partial A} & \frac{\partial F_2}{\partial B} & \frac{\partial F_2}{\partial C} & \frac{\partial F_2}{\partial D} \\ \frac{\partial F_3}{\partial A} & \frac{\partial F_3}{\partial B} & \frac{\partial F_3}{\partial C} & \frac{\partial F_3}{\partial D} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \frac{\partial F_n}{\partial A} & \frac{\partial F_n}{\partial B} & \frac{\partial F_n}{\partial C} & \frac{\partial F_n}{\partial D} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} A \\ B \\ C \\ D \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} f_1 \\ f_2 \\ f_3 \\ \vdots \\ f_n \end{bmatrix}. \quad (11)$$

Če izračunamo še parcialne odvode enačb popravkov po neznankah in zapišemo vektor odstopanj z dejanskimi vrednostmi, dobimo:

$$\begin{bmatrix} v_{z_1} \\ v_{z_2} \\ v_{z_3} \\ \vdots \\ v_{z_n} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \frac{x_1}{C^0} & \frac{y_1}{C^0} & \frac{-A^0 \cdot x_1 - B^0 \cdot y_1 - D^0}{C^{0^2}} & \frac{1}{C^0} \\ \frac{x_2}{C^0} & \frac{y_2}{C^0} & \frac{-A^0 \cdot x_2 - B^0 \cdot y_2 - D^0}{C^{0^2}} & \frac{1}{C^0} \\ \frac{x_3}{C^0} & \frac{y_3}{C^0} & \frac{-A^0 \cdot x_3 - B^0 \cdot y_3 - D^0}{C^{0^2}} & \frac{1}{C^0} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \frac{x_n}{C^0} & \frac{y_n}{C^0} & \frac{-A^0 \cdot x_n - B^0 \cdot y_n - D^0}{C^{0^2}} & \frac{1}{C^0} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} A \\ B \\ C \\ D \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\left(z_1^0 + \frac{A^0 \cdot x_1 + B^0 \cdot y_1 + D^0}{C^0} \right) \\ -\left(z_2^0 + \frac{A^0 \cdot x_2 + B^0 \cdot y_2 + D^0}{C^0} \right) \\ -\left(z_3^0 + \frac{A^0 \cdot x_3 + B^0 \cdot y_3 + D^0}{C^0} \right) \\ \vdots \\ -\left(z_n^0 + \frac{A^0 \cdot x_n + B^0 \cdot y_n + D^0}{C^0} \right) \end{bmatrix}. \quad (12)$$

Neznanke v posredni izravnavi se izračuna po izrazu:

$$\Delta = (B^T \cdot P \cdot B)^{-1} \cdot (B^T \cdot P \cdot f), \quad (13)$$

kjer je P matrika uteži opazovanj.

Če predpostavimo, da so bila vsa opazovanja pridobljena z enako natančnostjo, je matrika uteži enaka 1:

$$P = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \ddots & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}. \quad (14)$$

Torej se izraz za izračun neznank v postopku posredne izravnave poenostavi:

$$\Delta = (B^T \cdot B)^{-1} \cdot (B^T \cdot f), \quad (15)$$

kjer vektor neznank Δ vsebuje popravke približnih vrednosti neznank in ne neznank samih. Te dobimo, tako da približnim vrednostim neznank, ki smo jih določili pred začetkom izravnave, prištejemo popravke približnih vrednosti neznank, ki jih vsebuje izračunani vektor Δ :

$$\begin{bmatrix} A^1 \\ B^1 \\ C^1 \\ D^1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A^0 \\ B^0 \\ C^0 \\ D^0 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \delta_A^1 \\ \delta_B^1 \\ \delta_C^1 \\ \delta_D^1 \end{bmatrix}. \quad (16)$$

V zgornjem izrazu so izračunane vrednosti neznank po prvi iteraciji. Če poznamo vrednosti neznank, lahko izračunamo popravke opazovanj in izravnane vrednosti opazovanj:

$$\begin{aligned} v &= f - B \cdot \Delta \\ \hat{l} &= l + v \end{aligned}, \quad (17)$$

kjer je l vektor opazovanj in \hat{l} vektor izravnanih vrednosti opazovanj.

Preko neznank, ki smo jih dobili po prvi iteraciji, izračunamo izravnane vrednosti višin DMP-ja po prvi iteraciji:

$$\begin{bmatrix} z_1^1 \\ z_2^1 \\ z_3^1 \\ \vdots \\ z_n^1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} z_1^0 \\ z_2^0 \\ z_3^0 \\ \vdots \\ z_n^0 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} v_{z_1^1} \\ v_{z_2^1} \\ v_{z_3^1} \\ \vdots \\ v_{z_n^1} \end{bmatrix}, \quad (18)$$

ki sedaj predstavljajo nove vrednosti opazovanj.

Neznanke in opazovanja, katerih vrednosti sem pridobila po prvi iteraciji, sedaj uporabimo kot vhodni podatek za novo iteracijo. Iteracije sem izvajala, dokler se neznanke v okviru natančnosti 0.001 za koeficiente A, B in C ter v okviru natančnosti 0.001 m za koeficient D niso več spreminjale. Končne vrednosti izravnanih opazovanj sem izračunala iz neznank, ki sem jih dobila po zadnji opravljeni iteraciji.

Rezultat izravnave predstavljajo koeficienti enačbe ravnine, ki določajo ploskev, katera se točkam DMP-ja na območju vzorčne ravnine strehe najbolj prilega (Preglednica 17).

6.2.2 Izračun elementov geometričnega vrednotenja

Elementa geometričnega vrednotenja sta višinsko odstopanje vogalnih točk strehe in naklonski kot med ploskvama obeh streh. Višinska odstopanja sem izračunala, tako da sem višine vogalov izravnanih ravnin odštela od višin vogalov dejanskih streh:

$$\Delta z_i = z_0 - z_{DMP}, \quad (19)$$

kjer je i vogal ploskve, ki opisuje obliko določene strehe.

Naklonski kot med dejansko ploskvijo strehe in ploskvijo strehe, ki se najbolj prilega točkam rastrske mreže DMP-ja, je eden najpomembnejših elementov geometričnega vrednotenja DMP-jev. Za izračun kota med obema ploskvama moramo poznati enačbi ravnin, ki opisujeta obe ploskvi. Koeficienti enačbe ravnine, ki določa ploskev dejanskega objekta, so bili izračunani iz koordinat vogalov posamezne strehe, zajete iz letalskih posnetkov na digitalni

fotogrametrični postaji LPS 8.7. Koeficiente enačbe ravnine, ki opisuje ploskev, ki se najbolj prilega točkam DMP-ja, sem ocenila v postopku posredne izravnave po metodi najmanjših kvadratov.

Naklonski kot φ med ravnino dejanskega objekta z enačbo $A_0 \cdot x + B_0 \cdot y + C_0 \cdot z + D_0 = 0$ in ravnino, ki se najbolj prilega DMP-ju na območju določenega objekta, določeno z enačbo $A_{DMP} \cdot x + B_{DMP} \cdot y + C_{DMP} \cdot z + D_{DMP} = 0$, je podan z izrazom:

$$\cos(\varphi) = \frac{A_0 \cdot A_{DMP} + B_0 \cdot B_{DMP} + C_0 \cdot C_{DMP}}{\sqrt{(A_0^2 + B_0^2 + C_0^2) + (A_{DMP}^2 + B_{DMP}^2 + C_{DMP}^2)}} \quad (20)$$

(Bronstein in sod., 1997, str. 187).

6.2.3 Geometrično vrednotenje najboljšega DMP-ja, izdelanega na LPS-ju

Pri statističnem vrednotenju sem ugotovila, da dejanske oblike streh na testnem območju najboljše opiše DMP 10, zato sem le-tega želela ovrednotiti tudi iz geometričnega vidika. Za omenjeni DMP sem v postopku posredne izravnave po metodi najmanjših kvadratov izračunala koeficiente ravnin, ki se točkam DMP-ja na območju posameznih streh kar najbolj prilegajo. Na podlagi dobljenih enačb ravnin sem izračunala odstopanja izravnanih ravnin od referenčnih objektov na vogalih streh ter naklonski kot med obema ravninama (Preglednica 17).

Na podlagi rezultatov statističnega vrednotenja DMP-jev lahko pričakujemo, da bodo vodoravne strehe predstavljale najboljši približek dejanskim oblikam ploskev streh v vzorcu. To potrjujejo naklonski koti v Preglednici 17, ki pri vodoravnih strehah (spoznamo jih po vrednostih koeficientov enačbe ravnine A in B, ki sta oba enaka nič) niso večji od $2^\circ 22' 06.7''$. Pri vodoravnih strehah je kakovost avtomatsko generiranih DMP-jev največja zaradi velike kontrastnosti robov objekta. Koti med ploskvijo strehe in zidovi znašajo namreč 90° .

Preglednica 17: Primerjava dejanskih in iz DMP-ja 10 izravnanih ploskev streh

Id. strehe	Koeficienti ravnine dejanskih streh	Koeficienti ravnine izravnanih streh	Višinska odstopanja na vogalih strehe	Naklonski kot med strehama
1	A = 0 B = 0 C = 976.837 D = -520361.336 m	A = 26.614 B = -22.290 C = 976.839 D = -520361.336 m	$\Delta z_i = 3.2 \text{ m} - 4.7 \text{ m}$ (i = 1-8)	2° 02' 07.3"
2a	A = -416.283 B = 180.256 C = 1066.650 D = 897757769.375 m	A = -3646.320 B = 2886.499 C = -8476.048 D = 897757769.395 m	$\Delta z_1 = 21.7 \text{ m}$ $\Delta z_2 = 6.7 \text{ m}$ $\Delta z_3 = -3.2 \text{ m}$ $\Delta z_4 = 13.1 \text{ m}$	-51° 19' 31.4"
2b	A = -416.283 B = 180.256 C = -956.058 D = 898862369.886 m	A = -1150.709 B = 795.440 C = -1682.990 D = 898862369.884 m	$\Delta z_1 = 16.9 \text{ m}$ $\Delta z_2 = 21.3 \text{ m}$ $\Delta z_3 = 1.7 \text{ m}$ $\Delta z_4 = -0.2 \text{ m}$	15° 31' 05.2"
2c	A = -30.874 B = -69.445 C = -138.216 D = 508486284.934 m	A = 113.522 B = -190.342 C = -534.171 D = 508486284.934 m	$\Delta z_1 = 4.1 \text{ m}$ $\Delta z_2 = -1.4 \text{ m}$ $\Delta z_3 = 4.6 \text{ m}$	23° 40' 20.7"
2d	A = -32.508 B = -75.809 C = 146.709 D = 549572518.923 m	A = -57.849 B = -54.628 C = 580.166 D = 549572518.923 m	$\Delta z_1 = 9.0 \text{ m}$ $\Delta z_2 = 6.2 \text{ m}$ $\Delta z_3 = 5.2 \text{ m}$	22° 22' 42.6"
3	A = -243.310 B = 106.314 C = -470.794 D = 520217360.367 m	A = 880.742 B = -835.694 C = 5282.934 D = 520217360.362 m	$\Delta z_1 = 14.8 \text{ m}$ $\Delta z_2 = 12.1 \text{ m}$ $\Delta z_3 = 6.9 \text{ m}$ $\Delta z_4 = 11.2 \text{ m}$	-17° 45' 27.7"
4	A = -35.960 B = -84.380 C = 460.068 D = 610566476.518 m	A = 54.522 B = -159.757 C = -3601.138 D = 610566476.515 m	$\Delta z_1 = 8.1 \text{ m}$ $\Delta z_2 = 5.8 \text{ m}$ $\Delta z_3 = 4.3 \text{ m}$ $\Delta z_4 = 6.7 \text{ m}$	-13° 23' 27.4"
5	A = -164.065 B = -400.235 C = 657.339 D = 2867756894.429 m	A = -178.648 B = -388.017 C = 614.589 D = 2867756894.429 m	$\Delta z_1 = 5.5 \text{ m}$ $\Delta z_2 = 4.9 \text{ m}$ $\Delta z_3 = 4.3 \text{ m}$ $\Delta z_4 = 5.7 \text{ m}$	1° 59' 34.0"
6	A = 0 B = 0 C = -1450.829 D = 769810.080 m	A = -19.593 B = 16.408 C = -1450.833 D = 769810.080 m	$\Delta z_i = 4.7 \text{ m} - 5.7 \text{ m}$ (i = 1-10)	1° 00' 32.9"
7	A = -158.300 B = 68.575 C = 572.230 D = 341126484.144 m	A = -32455.729 B = 27121.128 C = -32189.794 D = 341126483.995 m	$\Delta z_1 = -0.6 \text{ m}$ $\Delta z_2 = 24.2 \text{ m}$ $\Delta z_3 = 37.5 \text{ m}$ $\Delta z_4 = 11.8 \text{ m}$	-68° 55' 35.3"

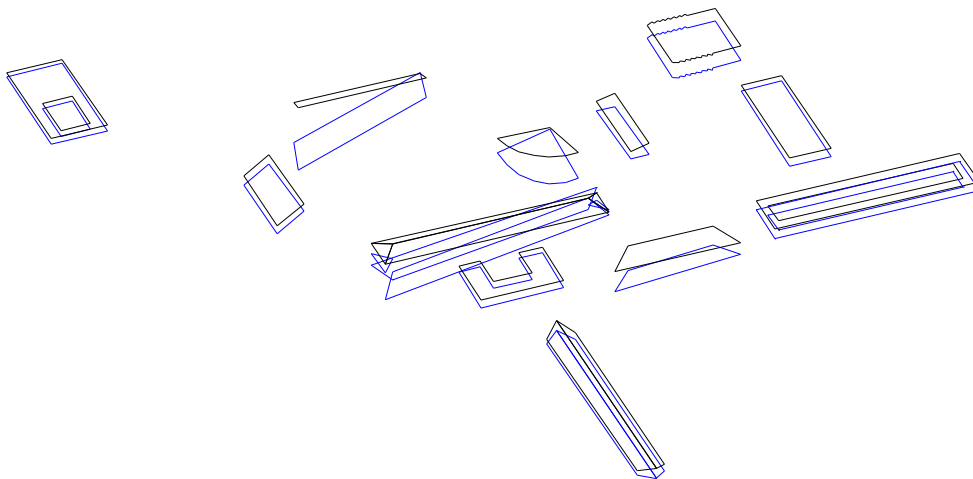
se nadaljuje...

... nadaljevanje

8	A = 11.608 B = -26.447 C = -241.774 D = 89351882.190 m	A = -210.746 B = 159.820 C = -672.510 D = 89351882.189 m	$\Delta z_1 = 0.9$ m $\Delta z_i = 8.7$ m – 16.2 m (i = 2-7)	27° 36' 37.2"
9a	A = 229.276 B = 534.834 C = 970.284 D = -3878062367.015m	A = 229.131 B = 534.886 C = 1674.361 D = -3878062367.015m	$\Delta z_1 = 5.9$ m $\Delta z_2 = 5.9$ m $\Delta z_3 = 4.1$ m $\Delta z_4 = 4.1$ m	11° 47' 17.6"
9b	A = 229.276 B = 534.834 C = -1032.670 D = -3876973560.786m	A = 221.090 B = 542.138 C = -5490.997 D = -3876973560.783m	$\Delta z_1 = 6.0$ m $\Delta z_2 = 6.2$ m $\Delta z_3 = 2.7$ m $\Delta z_4 = 2.6$ m	23° 18' 57.8"
10	A = 0 B = 0 C = -1406.650 D = 742148.698 m	A = -23.598 B = 19.763 C = -1406.650 D = 742148.698 m	$\Delta z_i = 2.2$ m – 3.6 m (i = 1-8)	1° 15' 12.8"
11	A = 0 B = 0 C = 1458.570 D = -775229.955 m	A = 30.661 B = -25.678 C = 1458.569 D = -775229.955 m	$\Delta z_1 = 3.2$ m $\Delta z_2 = 3.4$ m $\Delta z_3 = 5.1$ m $\Delta z_4 = 5.0$ m	1° 34' 14.2"
12	A = 0 B = 0 C = 1254.811 D = -673833.400 m	A = 39.791 B = -33.323 C = 1254.820 D = -673833.400 m	$\Delta z_i = 7.4$ m – 9.2 m (i = 1-32)	2° 22' 06.7"

Pri nagnjenih in nagnjenih čopastih strehah pa so rezultati geometričnega vrednotenja precej slabši. Naklonski koti med dejansko ploskvijo strehe in ploskvijo strehe, dobljeno iz DMP-ja 10, zavzemajo vrednosti od -68° 55' 35.3" do 27° 36' 37.2", kjer negativne vrednosti naklonskih kotov povedo, da je iz DMP-ja izračunana ploskev strehe nagnjena v nasprotno smer kot dejanska ploskev strehe. Izjema med slabimi rezultati je streha številka 5, kjer je naklonski kot podoben kot pri vodoravnih strehah (1° 59' 34.0"). Najslabši rezultat je zabeležen pri strehi številka 7, ki se je tudi pri statističnem vrednotenju izkazala za najbolj problematično. Vzroki za slabše rezultate so pri nagnjenih in nagnjenih čopastih strehah enaki kot tisti, ki sem jih navedla v poglavju 6.1.1.6. To je manjša izrazitost robov streh v primerjavi z vodoravnimi strehami in svetleč material v bližini problematičnih streh.

Kakšen pa bi dejansko izgledal 3D model streh v vzorcu na testnem območju pa prikazuje Slika 24.



Slika 24: Dejanske (črno) in iz DMP-ja 10 izračunane ploskve streh (modro)

S Slike 24 je razvidno, da so ploskve streh, ki so bile z izravnavo izračunane iz DMP-ja 10, v splošnem nižje od dejanskih streh v vzorcu. Pri nagnjenih strehah so vidna večja odstopanja na vogalih objektov in v naklonskem kotu. Nagnjene čopaste strehe pa delujejo nekoliko razmetano, ker je posamezna streha te vrste sestavljena iz štirih ploskev. Vsaka od teh ploskev je bila iz ploskve DMP-ja izračunana posamezno, brez dodatnih pogojev o enotnih robovih, ki bi jih morala določiti v okviru izravnave. Zato se na robovih, ki naj bi bili posameznim ploskvam skupni, ploskve streh ne stikajo.

7 ZAKLJUČEK

Izhodišče je pri izdelavi diplomske naloge predstavljal IKONOS-ov stereo par tipa *Geo* s pripadajočimi RPC koeficienti. Približno orientiran stereo par je bilo za nadaljnjo obdelavo nujno potrebno izboljšati, kar sem storila z izmero 128 veznih in 8 oslonilnih točk. Oslonilnim točkam sem koordinate določila iz stereo para letalskih posnetkov v merilu 1:10000. Na digitalni fotogrametrični postaji LPS 8.7 sem s postopkom avtomatskega generiranja ploskve izdelala 17 različnih DPM-jev, izmed katerih sem jih na podlagi vizualne ocene izbrala 7 za testiranje njihove kakovosti. Testirala sem samo višinsko komponento.

Referenčne podatke za oceno kakovosti izdelanih DMP-jev sem v celoti pridobila iz letalskih posnetkov, ki so pokrivali testno območje TUM-ja. Tako sem iz njihovega stereo para zajela vogale 12 streh in na podlagi njihovih koordinat izračunala 16 ravnin streh. V vzorcu so bile vodoravne, nagnjene in nagnjene čopaste strehe.

Ocena kakovosti vzorca izdelanih DMP-jev je temeljila na statističnem in geometričnem vrednotenju. Za statistično vrednotenje je bilo potrebno na referenčnih ravninah streh izračunati višine točk, ki so bile identične položajem rastrskih točk na izdelanih DMP-jih. Tako sta se lahko povprečno višinsko odstopanje in njegov RMSE računala izključno za rastrske točke DMP-jev. V raziskavi sem ugotovila, da ima največji vpliv na kakovost avtomatskega generiranja DMP-jev velikost matrike iskanja, nekoliko manjši je vpliv velikosti tarče. Tako so se DMP-ji najbolj približali dejanskim oblikam objektov, če sem matriko iskanja iz privzete velikosti 17 x 3 pikslov povečala na 19 x 5 pikslov. S tem sta se precej zmanjšala tako povprečno višinsko odstopanje kot njegov RMSE. S povečanjem velikosti tarče iz 7 x 7 pikslov na 9 x 9 pikslov se je zmanjšalo povprečno višinsko odstopanje, s povečanjem tarče na 11 x 11 pikslov pa še RMSE višinskih odstopanj. Privzeta vrednost mejnega korelacijskega koeficienta 0.80 se je pri avtomatskem generiranju DMP-jev ohranila. Za najboljšo se je izkazala nizka stopnja glajenja ploskve. Povprečno višinsko odstopanje tako izdelanega DMP-ja je znašalo 7.1 m oziroma 28.3%, pripadajoč RMSE pa 4.3 m oziroma 17.1%.

Svoj najboljši DMP sem primerjala tudi z dvema DMP-jema, ki sta bila izdelana na DLR-ju. Poseben algoritem slikovnega ujemanja na osnovi hierarhične strukture intenzitete, ki je prilagojen visoko ločljivim satelitskim stereo podobam, je po pričakovanjih zmanjšal povprečno višinsko odstopanje na 3.2 m oziroma 12.7%, RMSE pa na 3.8 m oziroma 15.1%. Drugi DMP, ki temelji na dinamičnem prilaganju oblike linije, je dosegel najmanjše povprečno višinsko odstopanje, in sicer 1.7 m oziroma 6.8%, njegov RMSE pa znaša 4.9 m 19.5%. Pri uporabi posebnih software-jev se je povprečno višinsko odstopanje zmanjšalo, RMSE pa se ni pretirano spremenil.

Z oceno kakovosti DMP-jev glede na tipe streh sem ugotovila, da so najboljši rezultati opaženi pri vodoravnih strehah, ker imajo le-te največjo kontrastnost robov. Pri nagnjenih in nagnjenih čopastih strehah je kontrastnost robov slabša, prav tako pa tudi kakovost izdelave DMP-jev na območjih teh streh. Vendar pa je kakovost nekoliko večja pri čopastih strehah, ker le-te vsebujejo več robov kot nagnjene strehe brez čopa, kar pripomore k določitvi več homolognih točk v postopku slikovnega ujemanja. Pravilnost oblike najboljšega DMP-ja, izdelanega s programskim paketom LPS, glede na tip streh sem potrdila tudi z geometričnim vrednotenjem, kjer sem s postopkom posredne izravnave po MNK izračunala ravnine testnih streh, ki se točkam izdelanega DMP-ja na območju teh streh kar najbolj prilagajajo. Naklonski koti in odstopanja na vogalih med ocenjenimi ter referenčnimi ravninami so zelo majhni pri vodoravnih strehah, pri ostalih pa so vidne velike napake. Za vse strehe pa velja, da slabše rezultate povzročajo slabo definirani (na primer nazobčani) robovi, prisotnost rež oziroma letvic na strehi ter svetleč material na objektih oziroma v njihovi bližini, ki povzroča močan odboj žarkov.

Pravilnost in zanesljivost dobljenih rezultatov bi se dalo izboljšati, če bi imela na voljo več informacij in predvsem več časa za raziskavo. Tako bi se lahko referenčni podatki namesto na podlagi letalskih posnetkov definirali bolj točno na terenu. Koordinate oslonilnih točk bi se lahko določile s klasično oziroma z GPS geodetsko izmero, koordinate vogalov streh bi se lahko pridobile s terensko izmero ali pa iz projektne dokumentacije za gradnjo. Omenjeno bi pripomoglo predvsem k boljši določitvi višinske komponente, ki se z zajemom ne da določiti dovolj zanesljivo. Za večje zaupanje v rezultate bi bilo potrebno povečati vzorec DMP-jev in streh v raziskavi. Izbor DMP-jev za vrednotenje bi moral biti skrbnejši in ne samo na podlagi

vizualne ocene iz slik. V raziskavo bi moralo biti vključenih več DMP-jev z različnimi vrednostmi matrike iskanja, ker le-ta najbolj vpliva na kakovost DMP-jev. Večji poudarek bi moral biti na detajlnem glajenju digitalnih modelov, pri čemer je filter glajenja določen s strani uporabnika s posebnimi parametri (radij iskanja točk za interpolacijo, mejna vrednost višinske razlike in metoda interpolacije višine točke, dobljene s slikovnim ujemanjem). Pri vrednotenju pa bi bilo potrebno strehe, ki so sestavljene iz več ravnin (na primer nagnjene čopaste strehe) obravnavati enotno. V postopku geometričnega vrednotenja bi se tako lahko določili dodatni pogoji v posredni izravnavi, ki bi definirali, da naj skupni robovi na strehi ostanejo skupni tudi po izravnavi.

Vsekakor pa je diplomska naloga pokazala, da je s komercialnim programskim paketom LPS 8.7 obdelava visoko ločljivih satelitskih stereo podob mogoča. Za izvajanje meritev georeferenciranje podob z RPC koeficienti ne zadostuje, zato je potrebno dodatno izmeriti še določeno število oslonilnih točk. Avtomatsko generiranje DMP-jev poteka na enak način kot pri letalskih posnetkih, vendar pa je potrebno uporabiti drugačne vrednosti parametrov. Kakovost DMP-jev, izdelanih s komercialnim software-jem, je seveda nekoliko slabša od kakovosti DMP-jev, izdelanih s posebnim software-jem. Vendar pa so DMP-ji, ki so generirani na digitalni fotogrametrični postaji LPS, popolnoma zadovoljiva alternativa, če zahtevana kakovost izdelave DMP-jev ni zelo visoka, ali če posebnega software-ja za avtomatsko generiranje DMP-jev ni na voljo.

VIRI

Uporabljeni viri

Baltsavias, E., Li, Z. in Eisenbeiss, H. 2005. DSM generation and interior orientation determination of IKONOS images using a testfield in Switzerland. V: High Resolution Earth Imaging for Geospatial Information. ISPRS Hannover Workshop 2005. Hannover, Germany, May 17-20, 2005.

Bronstein, I. N., Semendjajew, K. A., Musiol, G. in Mühlig, H. 1997. Matematični priročnik. 2. predelana in dopolnjena izdaja, 1. natis. Ljubljana, Tehniška založba Slovenije: 967 str.

Fraser, C. S., Baltsavias, E., Gruen, A. 2002. Processing of IKONOS imagery for submetre 3D positioning and building extraction. ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing 56: 177-194.

Grodecki, J. in Dial, G. 2001. IKONOS geometric accuracy. V: High Resolution Mapping from Space 2001. Joint Workshop of ISPRS Working Groups I/2, I/5 and IV/7. Hannover, Germany, Sept. 19-21, 2001.

Jacobsen, K., Büyüksalih, G. in Topan, H. 2005. Geometric models for the orientation of high resolution optical satellite sensors. V: High Resolution Earth Imaging for Geospatial Information. ISPRS Hannover Workshop 2005. Hannover, Germany, May 17-20, 2005.

Krauß, T., Reinartz, P., Lehner, M., Schroeder, M. in Stilla, U. 2005. DSM generation from very high resolution stereo satellite data in urban areas using dynamic programming. V: High Resolution Earth Imaging for Geospatial Information. ISPRS Hannover Workshop 2005. Hannover, Germany, May 17-20, 2005.

Krauß, T., Lehner, M., Reinartz, P. in Stilla, U. 2006. Comparison of DSM generation methods on IKONOS images. PFG Photogrammetrie Fernerkundung Geoinformation 4: 303-314.

Lehner, M., Müller, R. in Reinartz, P. 2005. DSM and orthoimages from Quickbird and IKONOS data using rational polynomial functions. V: High Resolution Earth Imaging for Geospatial Information. ISPRS Hannover Workshop 2005. Hannover, Germany, May 17-20, 2005.

Toutin, T., Chénier, R. in Carbonneau, Y. 2001. 3D geometric modelling of IKONOS Geo images. V: High Resolution Mapping from Space 2001. Joint Workshop of ISPRS Working Groups I/2, I/5 and IV/7. Hannover, Germany, Sept. 19-21, 2001.

Podobe:

Letalski posnetki za testno območje TUM-ja. 2003. Landeshauptstadt München – Kommunalreferat – Vermessungsamt.

Stereo par satelita IKONOS za testno območje TUM-ja. 2005. Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt.

Ostali viri

Introduction to Automatic DTM Extraction from Imagery. V: User's Guide. Erdas Imagine 8.7, Leica Photogrammetry Suite 8.7: str. 65-76.

Stopar, B. 2003. Izravnalni račun 2. Predavanja. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Oddelek za geodezijo.

Turk, G. 2006. Verjetnostni račun in statistika. Učbenik. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo: 223 str.

PRILOGA A: KOEFICIENTI RPC MODELA

A1: Koeficienti RPC modela za levo podobo stereo para

```
LINE_OFF: +007036.00 pixels
SAMP_OFF: +006908.00 pixels
LAT_OFF: +48.14570000 degrees
LONG_OFF: +011.59100000 degrees
HEIGHT_OFF: +0570.000 meters
LINE_SCALE: +007036.00 pixels
SAMP_SCALE: +006908.00 pixels
LAT_SCALE: +00.05400000 degrees
LONG_SCALE: +000.07760000 degrees
HEIGHT_SCALE: +0112.000 meters
LINE_NUM_COEFF_1: -2.481927581029140E-02
LINE_NUM_COEFF_2: -2.883424200504428E-03
LINE_NUM_COEFF_3: -1.020977759990636E+00
LINE_NUM_COEFF_4: +3.028309217653566E-03
LINE_NUM_COEFF_5: -4.971447476969200E-04
LINE_NUM_COEFF_6: +2.877069231193598E-06
LINE_NUM_COEFF_7: +6.077502006154835E-04
LINE_NUM_COEFF_8: -5.682411768572670E-04
LINE_NUM_COEFF_9: -3.854631139699657E-03
LINE_NUM_COEFF_10: -1.822604866274276E-06
LINE_NUM_COEFF_11: -6.475409659548657E-06
LINE_NUM_COEFF_12: -4.426286177037719E-07
LINE_NUM_COEFF_13: -8.161957280638695E-05
LINE_NUM_COEFF_14: +1.851056185719206E-08
LINE_NUM_COEFF_15: -6.317734499708150E-05
LINE_NUM_COEFF_16: +1.962998738574477E-04
LINE_NUM_COEFF_17: -3.057505936903760E-07
LINE_NUM_COEFF_18: -1.307699911318914E-07
LINE_NUM_COEFF_19: -8.252718999838058E-06
LINE_NUM_COEFF_20: +1.001638069899361E-09
LINE_DEN_COEFF_1: +1.000000000000000E+00
LINE_DEN_COEFF_2: +9.395014411115359E-04
LINE_DEN_COEFF_3: +4.120634334753273E-03
LINE_DEN_COEFF_4: -5.452669270521647E-04
LINE_DEN_COEFF_5: +8.833840080836479E-05
LINE_DEN_COEFF_6: +6.288976712296991E-06
LINE_DEN_COEFF_7: +7.617847481940155E-06
LINE_DEN_COEFF_8: +5.930543500265673E-05
LINE_DEN_COEFF_9: -2.350171741608589E-04
LINE_DEN_COEFF_10: +2.978528387930860E-07
LINE_DEN_COEFF_11: +5.058285996988740E-09
LINE_DEN_COEFF_12: -1.289439358292191E-08
LINE_DEN_COEFF_13: +4.531568790922887E-08
LINE_DEN_COEFF_14: -2.916989241180132E-10
LINE_DEN_COEFF_15: +1.117451664883234E-07
LINE_DEN_COEFF_16: -2.212123830664502E-07
LINE_DEN_COEFF_17: -4.334713671347560E-10
LINE_DEN_COEFF_18: -4.078730419157185E-09
LINE_DEN_COEFF_19: +5.773138779339373E-08
LINE_DEN_COEFF_20: -1.778260110381217E-11
SAMP_NUM_COEFF_1: +8.018307909471748E-04
SAMP_NUM_COEFF_2: +1.002994036848745E+00
SAMP_NUM_COEFF_3: -1.043088864132445E-03
SAMP_NUM_COEFF_4: +2.858303468736928E-04
SAMP_NUM_COEFF_5: +2.848564737859977E-03
SAMP_NUM_COEFF_6: -3.645027647655126E-04
SAMP_NUM_COEFF_7: -6.032912590868344E-05
SAMP_NUM_COEFF_8: +8.149559504307109E-04
SAMP_NUM_COEFF_9: +7.262972931499896E-05
```



```
SAMP_NUM_COEFF_10: +7.323270261730130E-08
SAMP_NUM_COEFF_11: +8.951091625557244E-06
SAMP_NUM_COEFF_12: +5.520422415657607E-05
SAMP_NUM_COEFF_13: -2.521933094688066E-04
SAMP_NUM_COEFF_14: +2.310022013362246E-07
SAMP_NUM_COEFF_15: +1.153784057936993E-04
SAMP_NUM_COEFF_16: -3.517881560382430E-06
SAMP_NUM_COEFF_17: +2.874608893005667E-08
SAMP_NUM_COEFF_18: +6.571488710723104E-06
SAMP_NUM_COEFF_19: -2.952863486163132E-07
SAMP_NUM_COEFF_20: -1.233993293828525E-11
SAMP_DEN_COEFF_1: +1.000000000000000E+00
SAMP_DEN_COEFF_2: +9.3950144111115359E-04
SAMP_DEN_COEFF_3: +4.120634334753273E-03
SAMP_DEN_COEFF_4: -5.452669270521647E-04
SAMP_DEN_COEFF_5: +8.833840080836479E-05
SAMP_DEN_COEFF_6: +6.288976712296991E-06
SAMP_DEN_COEFF_7: +7.617847481940155E-06
SAMP_DEN_COEFF_8: +5.930543500265673E-05
SAMP_DEN_COEFF_9: -2.350171741608589E-04
SAMP_DEN_COEFF_10: +2.978528387930860E-07
SAMP_DEN_COEFF_11: +5.058285996988740E-09
SAMP_DEN_COEFF_12: -1.289439358292191E-08
SAMP_DEN_COEFF_13: +4.531568790922887E-08
SAMP_DEN_COEFF_14: -2.916989241180132E-10
SAMP_DEN_COEFF_15: +1.117451664883234E-07
SAMP_DEN_COEFF_16: -2.212123830664502E-07
SAMP_DEN_COEFF_17: -4.334713671347560E-10
SAMP_DEN_COEFF_18: -4.078730419157185E-09
SAMP_DEN_COEFF_19: +5.773138779339373E-08
SAMP_DEN_COEFF_20: -1.778260110381217E-11
```

A2: Koeficienti RPC modela za desno podobo stereo para

```
LINE_OFF: +007530.00 pixels
SAMP_OFF: +006908.00 pixels
LAT_OFF: +48.14750000 degrees
LONG_OFF: +011.59110000 degrees
HEIGHT_OFF: +0570.000 meters
LINE_SCALE: +007530.00 pixels
SAMP_SCALE: +006908.00 pixels
LAT_SCALE: +00.05610000 degrees
LONG_SCALE: +000.07700000 degrees
HEIGHT_SCALE: +0112.000 meters
LINE_NUM_COEFF_1: +2.642531270166360E-02
LINE_NUM_COEFF_2: +8.704841558602405E-04
LINE_NUM_COEFF_3: +1.014766893323699E+00
LINE_NUM_COEFF_4: -1.780532411905298E-04
LINE_NUM_COEFF_5: +3.211036761784195E-02
LINE_NUM_COEFF_6: -1.005034968791119E-07
LINE_NUM_COEFF_7: -1.402369656140474E-02
LINE_NUM_COEFF_8: +4.283185254379665E-04
LINE_NUM_COEFF_9: -1.072739342757541E-01
LINE_NUM_COEFF_10: -2.653236844529571E-06
LINE_NUM_COEFF_11: -2.049080472453125E-04
LINE_NUM_COEFF_12: +1.470463357385131E-05
LINE_NUM_COEFF_13: -1.902323438183891E-03
LINE_NUM_COEFF_14: -3.915954722183097E-08
LINE_NUM_COEFF_15: -1.423106711881227E-03
LINE_NUM_COEFF_16: +3.614954124773694E-03
LINE_NUM_COEFF_17: -3.658443308619622E-06
LINE_NUM_COEFF_18: -7.351835832458556E-06
LINE_NUM_COEFF_19: -1.850552469286721E-04
```

LINE_NUM_COEFF_20: -6.717465047564579E-10
LINE_DEN_COEFF_1: +1.000000000000000E+00
LINE_DEN_COEFF_2: +3.287409589876866E-02
LINE_DEN_COEFF_3: -1.052082609875616E-01
LINE_DEN_COEFF_4: -1.416392768506348E-02
LINE_DEN_COEFF_5: -1.925203234421622E-03
LINE_DEN_COEFF_6: -2.313073482049565E-04
LINE_DEN_COEFF_7: -1.436391628524358E-04
LINE_DEN_COEFF_8: -1.301126197039385E-03
LINE_DEN_COEFF_9: +3.715409050430320E-03
LINE_DEN_COEFF_10: +2.032194213339500E-06
LINE_DEN_COEFF_11: -4.245235387557470E-07
LINE_DEN_COEFF_12: -5.096517074066923E-07
LINE_DEN_COEFF_13: +2.853477220092381E-06
LINE_DEN_COEFF_14: +5.826334921824038E-08
LINE_DEN_COEFF_15: -2.931345331703058E-06
LINE_DEN_COEFF_16: -2.023642641722661E-05
LINE_DEN_COEFF_17: +4.863569161847895E-08
LINE_DEN_COEFF_18: +1.335295655633242E-07
LINE_DEN_COEFF_19: -4.057711765066950E-06
LINE_DEN_COEFF_20: +6.397965976883612E-10
SAMP_NUM_COEFF_1: -1.849274063304443E-03
SAMP_NUM_COEFF_2: -1.003506717226968E+00
SAMP_NUM_COEFF_3: +1.485880492656319E-03
SAMP_NUM_COEFF_4: -1.146591268493475E-03
SAMP_NUM_COEFF_5: +1.072947232647635E-01
SAMP_NUM_COEFF_6: +1.399425303605689E-02
SAMP_NUM_COEFF_7: +3.968430946731254E-05
SAMP_NUM_COEFF_8: -3.246158067980072E-02
SAMP_NUM_COEFF_9: -1.630873451921248E-04
SAMP_NUM_COEFF_10: +1.640004698498847E-05
SAMP_NUM_COEFF_11: +1.399500592505010E-04
SAMP_NUM_COEFF_12: +1.326675948575125E-03
SAMP_NUM_COEFF_13: -3.664221009865906E-03
SAMP_NUM_COEFF_14: +7.495855101663522E-07
SAMP_NUM_COEFF_15: +1.957402553070592E-03
SAMP_NUM_COEFF_16: +1.137481007634035E-05
SAMP_NUM_COEFF_17: +1.084114945285622E-06
SAMP_NUM_COEFF_18: +2.206475512841323E-04
SAMP_NUM_COEFF_19: +2.884772227561600E-06
SAMP_NUM_COEFF_20: +4.957865426666339E-10
SAMP_DEN_COEFF_1: +1.000000000000000E+00
SAMP_DEN_COEFF_2: +3.287409589876866E-02
SAMP_DEN_COEFF_3: -1.052082609875616E-01
SAMP_DEN_COEFF_4: -1.416392768506348E-02
SAMP_DEN_COEFF_5: -1.925203234421622E-03
SAMP_DEN_COEFF_6: -2.313073482049565E-04
SAMP_DEN_COEFF_7: -1.436391628524358E-04
SAMP_DEN_COEFF_8: -1.301126197039385E-03
SAMP_DEN_COEFF_9: +3.715409050430320E-03
SAMP_DEN_COEFF_10: +2.032194213339500E-06
SAMP_DEN_COEFF_11: -4.245235387557470E-07
SAMP_DEN_COEFF_12: -5.096517074066923E-07
SAMP_DEN_COEFF_13: +2.853477220092381E-06
SAMP_DEN_COEFF_14: +5.826334921824038E-08
SAMP_DEN_COEFF_15: -2.931345331703058E-06
SAMP_DEN_COEFF_16: -2.023642641722661E-05
SAMP_DEN_COEFF_17: +4.863569161847895E-08
SAMP_DEN_COEFF_18: +1.335295655633242E-07
SAMP_DEN_COEFF_19: -4.057711765066950E-06
SAMP_DEN_COEFF_20: +6.397965976883612E-10

PRILOGA B: METAPODATKI ZA IKONOS-OV STEREO PAR

=====
Version Number: 1.5
=====

Company Information

Address

European Space Imaging, GmbH
Arnulfstrasse 197
D-80634 Munich, Germany

Contact Information

On the Web: <http://www.EUSpaceImaging.com>
Phone: +49(0)89 130 142 0
Fax : +49(0)89 130 142 22

=====

Product Order Metadata

Creation Date: 07/19/05
Product Work Order Number: Uninitialized
Product Order Number: 2607730
Customer Project Name: Stereo Munich
Ground Station ID: PGS
License Type: EUSI_Single_User
Product Order Area (Geographic Coordinates)
Number of Coordinates: 4

Coordinate: 1

Latitude: 48.0947878900 degrees
Longitude: 11.5153727300 degrees

Coordinate: 2

Latitude: 48.1979929300 degrees
Longitude: 11.5153727300 degrees

Coordinate: 3

Latitude: 48.1979929300 degrees
Longitude: 11.6579741500 degrees

Coordinate: 4

Latitude: 48.0947878900 degrees
Longitude: 11.6579741500 degrees

Sensor Type: Satellite

Sensor Name: IKONOS-2

Processing Level: Radiometrically Corrected

Image Type: PAN/MSI

Interpolation Method: Cubic Convolution

Multispectral Algorithm: None

Stereo: Mono

Mosaic: No

MTFC Applied: Yes

DRA Applied: No

Media: DVD

Product Media Format: DVD

File Format: TIFF

TIFF Tiled: No

Bits per Pixel per Band: 11 bits per pixel

Multispectral Files: Four Files

=====

Source Image Metadata

Number of Source Images: 2

Source Image ID: 2005071510280560000011303437

Product Image ID: 000

Sensor: IKONOS-2
Acquired Nominal GSD
 Cross Scan: 0.83 meters
 Along Scan: 0.84 meters
Scan Azimuth: 180.06 degrees
Scan Direction: Reverse
Panchromatic TDI Mode: 13
Nominal Collection Azimuth: 354.9351 degrees
Nominal Collection Elevation: 80.75830 degrees
Sun Angle Azimuth: 153.9184 degrees
Sun Angle Elevation: 61.50598 degrees
Acquisition Date/Time: 2005-07-15 10:28 GMT
Percent Cloud Cover: 0

Source Image ID: 2005071510282170000011303438
Product Image ID: 001
Sensor: IKONOS-2
Acquired Nominal GSD
 Cross Scan: 0.83 meters
 Along Scan: 0.82 meters
Scan Azimuth: 0.06 degrees
Scan Direction: Forward
Panchromatic TDI Mode: 13
Nominal Collection Azimuth: 263.2657 degrees
Nominal Collection Elevation: 86.55718 degrees
Sun Angle Azimuth: 154.0430 degrees
Sun Angle Elevation: 61.52575 degrees
Acquisition Date/Time: 2005-07-15 10:28 GMT
Percent Cloud Cover: 0

=====

Product Space Metadata

Number of Image Components: 2
 X Components: 1
 Y Components: 1

=====

Product Component Metadata

Number of Components: 2

Component ID: 0000000
Product Image ID: 000
Component File Name: po_2607730_pan_0000000.tif po_2607730_red_0000000.tif
po_2607730_grn_0000000.tif po_2607730_blu_0000000.tif po_2607730_nir_0000000.tif
Thumbnail File Name: po_2607730_rgb_0000000_ovr.jpg
Country Code: GM
Percent Component Cloud Cover: 0

Component ID: 0010000
Product Image ID: 001
Component File Name: po_2607730_pan_0010000.tif po_2607730_red_0010000.tif
po_2607730_grn_0010000.tif po_2607730_blu_0010000.tif po_2607730_nir_0010000.tif
Thumbnail File Name: po_2607730_rgb_0010000_ovr.jpg
Country Code: GM
Percent Component Cloud Cover: 0

=====

PRILOGA C: POROČILO O REZULTATIH IZRAVNAVE**C1: Poročilo o rezultatih izravnave pred izmero oslonilnih točk**

Adjustment Report With OrthoBASE

Output image units: pixels

Output ground units: meters

Output z units: meters

Calculated ground x, y and z coordinates:meters meters

type	pid	ground_x	ground_y	ground_z
tie	1	4464219.34443952	5339266.77435232	519.61926406
tie	2	4465696.77215203	5339202.00860044	515.10453041
tie	3	4466569.66511114	5339247.59180618	518.59406608
tie	4	4467117.53116211	5339557.99235907	516.52164584
tie	5	4467637.21703841	5339300.48349947	518.60987140
tie	6	4469389.50534290	5339144.88542397	515.90901720
tie	7	4471435.70292933	5339194.23393241	509.87063380
tie	8	4471755.19267356	5339391.98058711	514.38155269
tie	9	4473582.87923198	5339195.93269556	521.44092718
tie	10	4474695.88721956	5339405.51630931	512.18222238
tie	11	4464187.79171717	5339113.16351115	513.62626956
tie	12	4470375.86286236	5339054.07980223	519.96154250
tie	13	4472467.59997937	5339114.43304927	505.70456843
tie	14	4465261.24679341	5338463.15368556	516.73611308
tie	15	4466905.26206203	5338612.79292757	517.14448916
tie	16	4468288.12416382	5338435.61330588	523.35243446
tie	17	4473934.45490050	5338543.30728950	518.02923250
tie	18	4474564.28031489	5338544.92481190	517.45049574
tie	19	4464270.48532810	5337970.23828871	519.36003228
tie	20	4464731.11941556	5338086.77299549	517.14177944
tie	21	4467629.68594959	5338052.34139354	528.27862644
tie	22	4470593.53458539	5338131.14941468	513.84867118
tie	23	4471705.22885666	5338003.07815697	512.57410604
tie	24	4472255.34245883	5338069.58278674	507.96553204
tie	25	4472927.06501989	5337989.76959010	529.09857659
tie	26	4473519.27783908	5337909.46707590	518.58895260
tie	27	4474800.20174394	5337958.60522972	514.53660504
tie	28	4468182.28485043	5337393.07498012	521.02045340
tie	29	4469374.89362382	5337391.06513933	516.36881871
tie	30	4473813.12368984	5337347.82421469	529.89844862
tie	31	4464233.55392970	5337045.54749247	522.20495884
tie	32	4464804.42344518	5336974.74008960	528.94579520
tie	33	4467604.60130582	5336830.78289068	547.75166377
tie	34	4468250.31807611	5336823.27698760	524.21840920
tie	35	4470006.65839115	5336806.72344698	522.88935723
tie	36	4470542.21554954	5336740.20844888	517.74102907
tie	37	4471183.31121074	5336740.76351131	511.63748691
tie	38	4475064.75125519	5336709.10492554	520.62612780
tie	39	4464855.16226269	5336284.91500205	529.45957180
tie	40	4466452.55656119	5336229.77331992	527.64596429
tie	41	4472893.38488127	5336177.32635016	531.01074041
tie	42	4474668.13932202	5336208.56446501	529.82206204
tie	43	4464187.38058885	5335987.62280088	531.05905413
tie	44	4470575.57619965	5336060.47706609	515.16922294
tie	45	4464605.36423174	5335661.92781335	528.97579210
tie	46	4467070.06258443	5335593.53672081	541.59981387
tie	47	4468726.45272539	5335668.62882722	524.23758210
tie	48	4471619.59885113	5335594.97808104	528.18347931
tie	49	4472841.20758424	5335599.01652026	530.62835459
tie	50	4473559.67791388	5335536.19003907	526.56237473
tie	51	4474527.25420673	5335662.10358463	526.06627239
tie	52	4465838.86524437	5335090.44390045	529.88245608

tie	53	4468723.23733836	5334962.01164740	523.76350843
tie	54	4474537.42698292	5334957.39177140	533.65654713
tie	55	4475151.20326736	5335001.93073325	525.64577293
tie	56	4467605.54623964	5334556.13022529	540.19400844
tie	57	4475197.80093122	5334465.36248152	524.10515728
tie	58	4464191.67341769	5334435.21154392	533.80732266
tie	59	4467127.87945999	5334415.17293400	550.70141428
tie	60	4471664.99659280	5334393.80017978	537.42004729
tie	61	4472403.23475288	5334387.45523670	528.70344518
tie	62	4464828.62480030	5333920.05375613	544.59281251
tie	63	4468708.02225101	5333880.88058322	526.23998222
tie	64	4474012.98049934	5333742.34166813	547.41262206
tie	65	4474526.85945914	5333852.97590000	534.40137259
tie	66	4464848.98255405	5333338.02147297	549.14356481
tie	67	4466984.23319725	5333262.59847309	542.47744898
tie	68	4467650.06977764	5333262.97127510	533.00880133
tie	69	4468170.18060089	5333381.60231961	536.76542517
tie	70	4471113.68165836	5333226.90542346	538.19450187
tie	71	4471715.39000630	5333223.28096733	539.51488025
tie	72	4472284.75555167	5333303.89931818	535.93185598
tie	73	4464816.13319207	5332647.32371175	537.78190793
tie	74	4468722.16662437	5332729.90669472	532.82719625
tie	75	4469412.75332252	5332494.26617696	522.16538608
tie	76	4472880.52828035	5332273.64778249	543.72127942
tie	77	4475067.18317684	5332592.33545787	533.52486101
tie	78	4465924.16102824	5332115.73870059	540.40221157
tie	79	4467138.62800843	5332260.31132108	546.09978882
tie	80	4467627.69170126	5332283.88148717	529.08090285
tie	81	4468230.40061726	5332065.93012851	538.74422806
tie	82	4470034.27316478	5332090.42004950	548.27760013
tie	83	4473390.51311549	5332081.51741007	540.84059600
tie	84	4465402.20121865	5331551.09858189	543.09839068
tie	85	4468846.92390525	5331504.62631918	532.64971100
tie	86	4469342.40397586	5331532.97206853	541.13248060
tie	87	4470086.63167149	5331532.89199158	540.61554406
tie	88	4472788.85603822	5331486.81758200	537.66700898
tie	89	4474607.08045650	5331499.93071472	533.22842539
tie	90	4472863.22558029	5331030.69279762	539.62355852
tie	91	4465793.41043168	5330936.82234593	550.65055760
tie	92	4467060.18953387	5330994.74820946	530.71845522
tie	93	4468213.24953505	5330894.70009676	539.55527304
tie	94	4471692.78597685	5330900.30242166	543.84373747
tie	95	4474018.59144117	5330869.44219470	540.41798472
tie	96	4474532.29060014	5330928.53000271	541.13040019
tie	97	4466643.48833769	5330394.05984657	549.65076625
tie	98	4467020.88789670	5330388.23085537	527.23577038
tie	99	4467691.22351304	5330314.89206299	548.07911612
tie	100	4471118.43792570	5330295.14800949	548.35489843
tie	101	4471592.57317482	5330249.17530201	542.38321403
tie	102	4474475.25827939	5330294.28502489	541.42547477
tie	103	4464156.32862314	5329854.73946491	553.51228405
tie	104	4464809.53430713	5329961.94590842	551.47314458
tie	105	4466435.34665575	5329766.71451122	527.36637388
tie	106	4468731.49786989	5329806.61245290	542.85621676
tie	107	4470518.62367343	5330077.78175764	546.81215256
tie	108	4472311.43397815	5329679.03238545	543.07323742
tie	109	4473327.01510572	5329687.97543339	564.01611744
tie	110	4464753.88359188	5329041.62324242	556.48061309
tie	111	4465365.14836124	5329080.95884122	576.30351941
tie	112	4465864.02270261	5329165.09895795	557.40304669
tie	113	4466489.06745587	5329128.54187153	542.13732519
tie	114	4467607.29972719	5329023.47165298	549.57073791
tie	115	4469298.20765600	5329152.40148206	559.48471394
tie	116	4470145.68777269	5329108.63589559	545.33596935

tie	117	4469959.77586182	5328984.39168566	551.97170614
tie	118	4470420.05678148	5329187.50168277	550.75638234
tie	119	4470981.27349039	5329031.69746402	547.62234649
tie	120	4471704.77009753	5329167.83130783	544.93966141
tie	121	4472431.76379780	5329141.24842194	546.34259711
tie	123	4464794.19112996	5328656.46327061	558.38454114
tie	124	4465828.22356789	5328602.09074069	564.93913386
tie	125	4472858.88913707	5328746.61725092	546.05972928
tie	126	4473964.45116352	5328505.52665515	549.90587514
tie	127	4474508.57124438	5328734.51708833	544.65802554
tie	128	4475102.56669518	5328467.92264331	544.24283709

Image point residuals:

imgid	pid	residual_x	residual_y
1	1	-0.2032	-0.0538
1	2	-0.1717	-0.0455
1	3	-0.0235	-0.0062
1	4	0.0201	0.0053
1	5	-0.0991	-0.0262
1	6	-0.0169	-0.0045
1	7	0.0043	0.0011
1	8	-0.1371	-0.0363
1	9	0.0438	0.0116
1	10	0.1386	0.0366
1	11	-0.2657	-0.0704
1	12	-0.0983	-0.0260
1	13	-0.1098	-0.0291
1	14	0.1177	0.0312
1	15	0.1157	0.0306
1	16	-0.0603	-0.0159
1	17	0.1877	0.0496
1	18	0.2104	0.0556
1	19	0.0661	0.0175
1	20	0.2319	0.0614
1	21	0.2807	0.0743
1	22	0.2054	0.0543
1	23	0.1075	0.0284
1	24	0.2076	0.0549
1	25	0.1216	0.0322
1	26	0.3272	0.0865
1	27	0.5101	0.1348
1	28	-0.1339	-0.0354
1	29	0.2061	0.0545
1	30	0.2028	0.0536
1	31	-0.1939	-0.0513
1	32	-0.2842	-0.0752
1	33	-0.1297	-0.0342
1	34	-0.1120	-0.0296
1	35	-0.2209	-0.0584
1	36	0.0643	0.0170
1	37	0.0641	0.0169
1	38	0.1203	0.0318
1	39	-0.4022	-0.1064
1	40	-0.2446	-0.0647
1	41	-0.2850	-0.0753
1	42	-0.0555	-0.0146
1	43	-0.3837	-0.1015
1	44	-0.2315	-0.0612
1	45	-0.3235	-0.0856
1	46	0.1169	0.0310
1	47	-0.2043	-0.0540
1	48	-0.1103	-0.0291
1	49	-0.1128	-0.0298

1	50	-0.0466	-0.0123
1	51	0.0183	0.0048
1	52	-0.0414	-0.0109
1	53	-0.1042	-0.0275
1	54	0.1527	0.0404
1	55	0.1423	0.0376
1	56	0.0789	0.0209
1	57	0.2255	0.0595
1	58	0.0109	0.0029
1	59	0.1450	0.0384
1	60	0.0316	0.0084
1	61	0.1325	0.0350
1	62	-0.0329	-0.0086
1	63	-0.1067	-0.0282
1	64	0.2149	0.0568
1	65	0.1511	0.0399
1	66	-0.1866	-0.0493
1	67	0.0337	0.0090
1	68	0.0591	0.0157
1	69	0.0080	0.0022
1	70	0.0603	0.0160
1	71	0.0819	0.0217
1	72	0.0220	0.0058
1	73	-0.2257	-0.0596
1	74	-0.2087	-0.0551
1	75	-0.0559	-0.0148
1	76	-0.0001	0.0000
1	77	0.1225	0.0324
1	78	-0.0880	-0.0232
1	79	0.1537	0.0407
1	80	-0.0551	-0.0145
1	81	-0.0452	-0.0119
1	82	0.1558	0.0412
1	83	0.1154	0.0305
1	84	0.1036	0.0274
1	85	0.0941	0.0249
1	86	0.1638	0.0433
1	87	0.0707	0.0187
1	88	0.1060	0.0280
1	89	0.2783	0.0735
1	90	0.0949	0.0251
1	91	0.1143	0.0302
1	92	0.1051	0.0278
1	93	-0.0418	-0.0110
1	94	0.1042	0.0276
1	95	0.1810	0.0478
1	96	0.2113	0.0558
1	97	0.0157	0.0042
1	98	0.1111	0.0294
1	99	0.0852	0.0226
1	100	0.0508	0.0135
1	101	-0.0293	-0.0077
1	102	0.1723	0.0455
1	103	-0.2729	-0.0720
1	104	-0.1777	-0.0469
1	105	-0.0705	-0.0186
1	106	-0.2127	-0.0561
1	107	0.0442	0.0117
1	108	-0.1580	-0.0416
1	109	-0.0153	-0.0040
1	110	-0.2671	-0.0705
1	111	-0.0901	-0.0237
1	112	-0.1535	-0.0405
1	113	-0.0844	-0.0222

1	114	-0.0581	-0.0153
1	115	-0.1526	-0.0402
1	116	-0.1134	-0.0299
1	117	-0.2097	-0.0553
1	118	-0.0586	-0.0154
1	119	-0.0618	-0.0163
1	120	-0.2476	-0.0653
1	121	-0.1096	-0.0289
1	123	-0.0170	-0.0044
1	124	0.0517	0.0137
1	125	-0.0136	-0.0035
1	126	0.1552	0.0410
1	127	0.0693	0.0183
1	128	0.2586	0.0682
Ax=0.0000 Ay=0.0000 Mx=0.1612 My=0.0426			
2	1	-0.2050	-0.0560
2	2	-0.1731	-0.0473
2	3	-0.0237	-0.0065
2	4	0.0203	0.0056
2	5	-0.0999	-0.0273
2	6	-0.0171	-0.0047
2	7	0.0043	0.0012
2	8	-0.1381	-0.0377
2	9	0.0442	0.0121
2	10	0.1396	0.0381
2	11	-0.2680	-0.0732
2	12	-0.0991	-0.0271
2	13	-0.1106	-0.0302
2	14	0.1188	0.0324
2	15	0.1167	0.0319
2	16	-0.0608	-0.0166
2	17	0.1891	0.0516
2	18	0.2119	0.0578
2	19	0.0667	0.0182
2	20	0.2340	0.0639
2	21	0.2830	0.0772
2	22	0.2071	0.0565
2	23	0.1083	0.0295
2	24	0.2093	0.0571
2	25	0.1225	0.0334
2	26	0.3297	0.0899
2	27	0.5140	0.1402
2	28	-0.1350	-0.0368
2	29	0.2077	0.0566
2	30	0.2044	0.0557
2	31	-0.1957	-0.0534
2	32	-0.2867	-0.0782
2	33	-0.1308	-0.0357
2	34	-0.1130	-0.0308
2	35	-0.2227	-0.0607
2	36	0.0649	0.0177
2	37	0.0646	0.0176
2	38	0.1212	0.0330
2	39	-0.4058	-0.1106
2	40	-0.2468	-0.0672
2	41	-0.2872	-0.0782
2	42	-0.0559	-0.0152
2	43	-0.3871	-0.1055
2	44	-0.2334	-0.0636
2	45	-0.3264	-0.0889
2	46	0.1179	0.0321
2	47	-0.2060	-0.0561
2	48	-0.1112	-0.0303
2	49	-0.1137	-0.0309

2	50	-0.0469	-0.0128
2	51	0.0184	0.0050
2	52	-0.0418	-0.0114
2	53	-0.1051	-0.0286
2	54	0.1539	0.0419
2	55	0.1434	0.0390
2	56	0.0796	0.0217
2	57	0.2272	0.0618
2	58	0.0110	0.0030
2	59	0.1462	0.0398
2	60	0.0318	0.0087
2	61	0.1335	0.0363
2	62	-0.0332	-0.0090
2	63	-0.1076	-0.0292
2	64	0.2166	0.0589
2	65	0.1522	0.0414
2	66	-0.1883	-0.0512
2	67	0.0339	0.0092
2	68	0.0596	0.0162
2	69	0.0081	0.0022
2	70	0.0608	0.0165
2	71	0.0825	0.0224
2	72	0.0221	0.0060
2	73	-0.2278	-0.0619
2	74	-0.2104	-0.0572
2	75	-0.0564	-0.0153
2	76	-0.0001	-0.0000
2	77	0.1235	0.0335
2	78	-0.0889	-0.0241
2	79	0.1550	0.0421
2	80	-0.0556	-0.0151
2	81	-0.0456	-0.0124
2	82	0.1571	0.0426
2	83	0.1162	0.0316
2	84	0.1045	0.0284
2	85	0.0949	0.0258
2	86	0.1652	0.0448
2	87	0.0712	0.0193
2	88	0.1068	0.0290
2	89	0.2804	0.0761
2	90	0.0957	0.0259
2	91	0.1153	0.0313
2	92	0.1060	0.0287
2	93	-0.0421	-0.0114
2	94	0.1051	0.0285
2	95	0.1824	0.0495
2	96	0.2129	0.0577
2	97	0.0158	0.0043
2	98	0.1121	0.0304
2	99	0.0859	0.0233
2	100	0.0512	0.0139
2	101	-0.0296	-0.0080
2	102	0.1736	0.0470
2	103	-0.2755	-0.0747
2	104	-0.1793	-0.0486
2	105	-0.0711	-0.0193
2	106	-0.2145	-0.0581
2	107	0.0446	0.0121
2	108	-0.1593	-0.0432
2	109	-0.0154	-0.0042
2	110	-0.2696	-0.0730
2	111	-0.0910	-0.0247
2	112	-0.1549	-0.0420
2	113	-0.0852	-0.0231

2	114	-0.0586	-0.0159
2	115	-0.1539	-0.0417
2	116	-0.1143	-0.0310
2	117	-0.2115	-0.0573
2	118	-0.0591	-0.0160
2	119	-0.0623	-0.0169
2	120	-0.2496	-0.0676
2	121	-0.1105	-0.0299
2	123	-0.0172	-0.0046
2	124	0.0522	0.0141
2	125	-0.0137	-0.0037
2	126	0.1564	0.0423
2	127	0.0698	0.0189
2	128	0.2606	0.0705

Ax=-0.0000 Ay=-0.0000 Mx=0.1625 My=0.0442
Total unit weight RMSE = 0.2370

Image accuracy for control and check points for each scene:

Summary RMSE for GCPs and CHKs (number of observations in parenthesis):

	Control	Check
Ground X:	0.0000000 (0)	0.0000000 (0)
Ground Y:	0.0000000 (0)	0.0000000 (0)
Ground Z:	0.0000000 (0)	0.0000000 (0)
Image X:	0.0000000 (0)	0.0000000 (0)
Image Y:	0.0000000 (0)	0.0000000 (0)

C2: Poročilo o rezultatih izravnave po izmeri oslonilnih točk

Adjustment Report With OrthoBASE
Output image units: pixels
Output ground units: meters
Output z units: meters

Calculated ground x, y and z coordinates: meters meters

type	pid	ground_x	ground_y	ground_z
gcp	901	4468881.36769398	5333923.62389651	515.09149075
gcp	902	4468864.75729558	5335729.68662115	513.69853170
gcp	903	4466832.86796610	5335839.69469254	518.16194357
gcp	904	4467116.01228506	5333704.60999062	535.40405697
gcp	905	4466971.47021223	5334274.51842076	539.77827959
gcp	906	4468885.19428312	5335095.81080269	543.63046384
gcp	907	4468927.58270810	5334448.90874817	540.53230848
gcp	908	4466842.55646801	5335119.29663960	525.62289492
tie	1	4464218.60789926	5339268.38514052	522.68677262
tie	2	4465694.69185921	5339204.28561387	511.90088128
tie	3	4466567.03423855	5339249.93944784	512.82383876
tie	4	4467114.67269818	5339559.87468665	510.13099988
tie	5	4467634.14672690	5339302.71184930	510.72191802
tie	6	4469386.23124758	5339146.79184261	506.41672724
tie	7	4471433.03564944	5339194.64533191	502.78805818
tie	8	4471752.72313488	5339391.76880095	508.50016538
tie	9	4473581.75579853	5339193.95482510	521.11071969
tie	10	4474695.94708786	5339401.56627869	517.65954095
tie	11	4464187.07894268	5339114.96900955	516.61712724
tie	12	4470372.76130722	5339055.54588575	510.84437958
tie	13	4472465.54979366	5339113.94264686	501.13285542
tie	14	4465259.47476595	5338466.25161856	513.95895115
tie	15	4466902.42288319	5338616.01235028	509.36204073
tie	16	4468284.84683466	5338438.89353202	512.89644255
tie	17	4473933.59180558	5338541.89611640	517.73965277
tie	18	4474564.07738873	5338542.61344442	520.22192874

tie	19	4464269.66629551	5337973.41391455	520.49095371
tie	20	4464729.82698634	5338090.06555479	516.16813418
tie	21	4467626.55660859	5338056.17904842	518.07116230
tie	22	4470590.43920627	5338133.71811228	503.06770338
tie	23	4471702.61473749	5338004.91642743	503.53087166
tie	24	4472253.06216995	5338070.81339339	500.48751885
tie	25	4472925.26985475	5337990.37631345	523.59238732
tie	26	4473517.97933212	5337909.46648562	515.21961333
tie	27	4474800.21693682	5337956.77643526	517.37806722
tie	28	4468179.03325281	5337397.46941655	509.04848873
tie	29	4469371.56537575	5337395.09166391	503.62681262
tie	30	4473812.08638314	5337348.10325283	526.79820812
tie	31	4464232.83948103	5337049.45207497	522.83303802
tie	32	4464803.13176570	5336978.98771604	526.66023070
tie	33	4467601.54042478	5336835.68216230	536.02446966
tie	34	4468247.09396669	5336828.09848532	511.48784218
tie	35	4470003.44468190	5336810.92687980	509.52586829
tie	36	4470539.13813561	5336744.15169440	504.73974320
tie	37	4471180.46774497	5336744.26551232	499.55162656
tie	38	4475065.05418271	5336708.28490054	522.97162635
tie	39	4464853.91597214	5336289.55134362	526.65859764
tie	40	4466450.09337106	5336234.94231826	518.43284565
tie	41	4472891.61219527	5336179.67767413	522.73651374
tie	42	4474668.01656708	5336208.72846888	529.40010111
tie	43	4464186.87575924	5335992.00884197	531.71525047
tie	44	4470572.57887142	5336064.81758895	501.50513868
tie	45	4464604.48137694	5335666.63338999	527.42398397
tie	46	4467067.39146317	5335598.99049625	530.36580331
tie	47	4468723.31940546	5335673.91516117	510.12080034
tie	48	4471617.08915963	5335598.79716153	515.83307032
tie	49	4472839.46250369	5335601.73337918	521.67877957
tie	50	4473558.52553533	5335538.15827398	520.30328245
tie	51	4474527.02793648	5335662.80815644	524.42998566
tie	52	4465837.03627427	5335095.73663071	522.76692594
tie	53	4468720.24823281	5334967.43467661	509.45343944
tie	54	4474537.30747229	5334958.38349568	531.69229908
tie	55	4475151.75843425	5335002.07386174	527.10635368
tie	56	4467602.90610994	5334561.67794474	527.71015321
tie	57	4475198.49923763	5334465.58613831	525.74086281
tie	58	4464191.55796994	5334439.68597692	535.30946600
tie	59	4467125.46867820	5334420.68489019	539.46260428
tie	60	4471662.74527394	5334397.81421525	524.77163059
tie	61	4472401.40749219	5334390.86952020	517.92730816
tie	62	4464828.01020343	5333924.75105764	543.08591485
tie	64	4474012.58861308	5333744.09660805	542.86872392
tie	65	4474526.94765083	5333854.12701371	532.36917661
tie	66	4464848.56358457	5333342.47410185	548.35519040
tie	67	4466982.27243310	5333267.71494378	532.64091058
tie	68	4467647.82833109	5333268.14103980	521.34505525
tie	69	4468167.74510349	5333386.81315335	523.90124508
tie	70	4471111.51984728	5333231.05450927	525.00722529
tie	71	4471713.49163268	5333227.03542745	527.41538843
tie	72	4472283.14560699	5333307.24972493	525.17282551
tie	73	4464816.03617773	5332651.31974532	538.45226602
tie	74	4468719.87627795	5332734.70076006	519.87504219
tie	75	4469410.52086205	5332498.75679935	508.92599453
tie	76	4472879.65846506	5332276.00493692	535.83503312
tie	77	4475068.19692542	5332592.51334701	535.41326556
tie	78	4465923.34314977	5332119.79060882	536.58462207
tie	79	4467137.00474971	5332264.77999569	537.35457417
tie	80	4467625.85357396	5332288.41427186	518.89587484
tie	81	4468228.47816417	5332070.28081959	527.62503007
tie	82	4470032.25813193	5332094.41172133	535.56052583
tie	83	4473390.09811247	5332083.28555375	535.10967723

tie	84	4465402.08524962	5331554.39048527	543.25114123
tie	85	4468845.15406016	5331508.39429480	521.68336707
tie	86	4469340.59094301	5331536.67532091	529.62853004
tie	87	4470084.86996597	5331536.37635894	528.91877333
tie	88	4472788.23348362	5331488.66506732	530.73898260
tie	89	4474607.98791929	5331500.00949906	534.17544055
tie	90	4472862.85229099	5331032.05201240	533.88723244
tie	91	4465793.29989404	5330939.56901477	550.65219261
tie	92	4467059.22807378	5330997.92353140	525.21963276
tie	93	4468211.90358945	5330897.84379339	531.16109072
tie	94	4471691.80646503	5330902.35794586	535.26893757
tie	95	4474019.20017887	5330869.58982863	539.73101070
tie	96	4474533.35631138	5330928.19680241	542.88990493
tie	97	4466643.09513229	5330396.36703050	547.62700684
tie	98	4467020.28582713	5330390.61501121	523.75499043
tie	99	4467690.36267698	5330317.26611494	542.72656832
tie	100	4471117.53519843	5330296.79663243	540.43655962
tie	101	4471591.87453826	5330250.51429910	535.32972430
tie	102	4474476.55074925	5330293.34728900	544.51303625
tie	103	4464158.49016139	5329855.08937751	567.56773000
tie	104	4464810.90278009	5329962.86706835	560.63628503
tie	105	4466435.46724980	5329768.03643407	528.52128903
tie	106	4468730.65620030	5329808.25094569	536.91707510
tie	107	4470517.67434708	5330079.40140683	538.99748369
tie	108	4472311.39132523	5329679.15470138	539.41763246
tie	109	4473327.62744997	5329687.35043942	563.70978638
tie	110	4464755.92841140	5329040.98200594	570.31952592
tie	111	4465366.56286658	5329080.71292325	586.14184907
tie	112	4465864.95327647	5329165.22182840	564.00522020
tie	113	4466489.56829434	5329128.82058617	545.81847409
tie	114	4467607.27243709	5329023.80290013	549.45563957
tie	115	4469297.70568309	5329152.92886895	555.29691375
tie	116	4470145.24210685	5329108.90300759	540.84962429
tie	117	4469959.38882612	5328984.49928421	548.02548264
tie	118	4470419.60348593	5329187.81320953	546.01538119
tie	119	4470981.04449897	5329031.53950853	543.86605318
tie	120	4471704.71815730	5329167.54659636	541.71268056
tie	121	4472432.08920287	5329140.48401425	544.93454021
tie	123	4464796.46940504	5328655.13575360	573.99564684
tie	124	4465829.57601788	5328601.17212977	574.54746666
tie	125	4472859.70137335	5328744.92026601	547.52051880
tie	126	4473966.21901757	5328502.54775896	556.83030528
tie	127	4474510.69075529	5328731.40971500	553.34386280
tie	128	4475105.41848167	5328463.78287512	557.48460901

Control and check point residuals:meters meters

type	pid	residual_x	residual_y	residual_z
gcp	901	-0.74630602	-0.25710349	0.67349075
gcp	902	2.64329557	0.82762115	0.38453170
gcp	903	-0.40503390	-0.51730746	1.87294357
gcp	904	-0.02271494	-0.29300938	-1.38794303
gcp	905	0.27721223	1.22942076	1.58627959
gcp	906	-1.01671688	-0.09419732	-1.63153616
gcp	907	-0.41829190	-0.66425183	0.40330848
gcp	908	-0.20853199	-0.41536040	-2.26610508

Image point residuals:

imgid	pid	residual_x	residual_y
1	901	0.5298	-0.5357
1	907	0.9306	-0.7605
1	906	0.7724	0.0587
1	902	-3.4155	0.8739
1	903	-0.0993	-1.1319

1	908	-0.1242	-0.1772
1	905	-0.8756	1.0307
1	904	-0.0034	-0.1004
1	1	-0.0710	-0.0091
1	2	-0.0567	-0.0127
1	3	0.0771	0.0205
1	4	0.1076	0.0292
1	5	-0.0205	-0.0069
1	6	0.0170	0.0023
1	7	-0.0342	-0.0077
1	8	-0.1908	-0.0471
1	9	-0.0906	-0.0168
1	10	-0.0608	-0.0039
1	11	-0.1326	-0.0262
1	12	-0.0948	-0.0265
1	13	-0.1914	-0.0471
1	14	0.2426	0.0653
1	15	0.2146	0.0537
1	16	0.0105	-0.0023
1	17	0.0449	0.0158
1	18	0.0336	0.0144
1	19	0.2028	0.0578
1	20	0.3641	0.0988
1	21	0.3692	0.0923
1	22	0.2111	0.0515
1	23	0.0732	0.0166
1	24	0.1496	0.0379
1	25	0.0366	0.0092
1	26	0.2143	0.0568
1	27	0.3291	0.0894
1	28	-0.0533	-0.0207
1	29	0.2564	0.0614
1	30	0.0836	0.0214
1	31	-0.0549	-0.0124
1	32	-0.1496	-0.0401
1	33	-0.0338	-0.0151
1	34	-0.0296	-0.0143
1	35	-0.1844	-0.0545
1	36	0.0844	0.0169
1	37	0.0620	0.0117
1	38	-0.0579	-0.0160
1	39	-0.2672	-0.0716
1	40	-0.1273	-0.0382
1	41	-0.3492	-0.0945
1	42	-0.2056	-0.0557
1	43	-0.2442	-0.0631
1	44	-0.2079	-0.0595
1	45	-0.1867	-0.0492
1	46	0.2257	0.0556
1	47	-0.1277	-0.0386
1	48	-0.1193	-0.0344
1	49	-0.1700	-0.0470
1	50	-0.1354	-0.0375
1	51	-0.1191	-0.0333
1	52	0.0845	0.0206
1	53	-0.0255	-0.0099
1	54	0.0213	0.0037
1	55	-0.0222	-0.0083
1	56	0.1797	0.0454
1	57	0.0629	0.0139
1	58	0.1470	0.0417
1	59	0.2529	0.0654
1	60	0.0270	0.0067
1	61	0.1004	0.0261

1	62	0.0975	0.0276
1	64	0.1168	0.0306
1	65	0.0274	0.0062
1	66	-0.0594	-0.0134
1	67	0.1416	0.0386
1	68	0.1579	0.0429
1	69	0.0978	0.0269
1	70	0.0766	0.0226
1	71	0.0781	0.0230
1	72	-0.0023	0.0015
1	73	-0.1013	-0.0240
1	74	-0.1309	-0.0317
1	75	0.0069	0.0055
1	76	-0.0466	-0.0088
1	77	-0.0233	-0.0076
1	78	0.0256	0.0095
1	79	0.2549	0.0704
1	80	0.0407	0.0139
1	81	0.0390	0.0141
1	82	0.2007	0.0576
1	83	0.0482	0.0155
1	84	0.2161	0.0599
1	85	0.1643	0.0483
1	86	0.2232	0.0641
1	87	0.1126	0.0352
1	88	0.0623	0.0206
1	89	0.1566	0.0409
1	90	0.0471	0.0166
1	91	0.2178	0.0599
1	92	0.2000	0.0563
1	93	0.0353	0.0139
1	94	0.0969	0.0311
1	95	0.0852	0.0236
1	96	0.0922	0.0238
1	97	0.1071	0.0306
1	98	0.2013	0.0559
1	99	0.1641	0.0468
1	100	0.0572	0.0206
1	101	-0.0370	-0.0045
1	102	0.0540	0.0128
1	103	-0.1783	-0.0501
1	104	-0.0815	-0.0231
1	105	0.0186	0.0051
1	106	-0.1545	-0.0370
1	107	0.0656	0.0226
1	108	-0.1933	-0.0475
1	109	-0.0892	-0.0224
1	110	-0.1851	-0.0558
1	111	-0.0116	-0.0083
1	112	-0.0728	-0.0229
1	113	-0.0060	-0.0041
1	114	0.0069	0.0009
1	115	-0.1138	-0.0278
1	116	-0.0916	-0.0215
1	117	-0.1858	-0.0469
1	118	-0.0431	-0.0084
1	119	-0.0622	-0.0141
1	120	-0.2674	-0.0679
1	121	-0.1535	-0.0392
1	123	0.0584	0.0058
1	124	0.1228	0.0250
1	125	-0.0760	-0.0217
1	126	0.0472	0.0054
1	127	-0.0599	-0.0237

1	128	0.0999	0.0129
Ax=-0.0009	Ay=-0.0011	Mx=0.3537	My=0.1770
2	901	-1.2090	0.2173
2	907	-0.0278	0.9353
2	906	-1.8202	0.0213
2	902	2.9758	-1.1054
2	903	-0.9219	0.4514
2	908	-0.7999	0.4414
2	905	-0.1006	-1.6768
2	904	-0.1632	0.3613
2	1	-0.0788	-0.0255
2	2	-0.0577	-0.0171
2	3	0.0788	0.0210
2	4	0.1092	0.0287
2	5	-0.0192	-0.0054
2	6	0.0177	0.0049
2	7	-0.0366	-0.0114
2	8	-0.1950	-0.0556
2	9	-0.0934	-0.0289
2	10	-0.0613	-0.0221
2	11	-0.1406	-0.0421
2	12	-0.0961	-0.0264
2	13	-0.1954	-0.0554
2	14	0.2446	0.0667
2	15	0.2192	0.0611
2	16	0.0135	0.0056
2	17	0.0446	0.0105
2	18	0.0347	0.0074
2	19	0.2010	0.0539
2	20	0.3659	0.0997
2	21	0.3760	0.1050
2	22	0.2130	0.0597
2	23	0.0728	0.0209
2	24	0.1494	0.0413
2	25	0.0356	0.0100
2	26	0.2152	0.0587
2	27	0.3336	0.0901
2	28	-0.0500	-0.0107
2	29	0.2609	0.0739
2	30	0.0840	0.0236
2	31	-0.0581	-0.0161
2	32	-0.1510	-0.0405
2	33	-0.0299	-0.0052
2	34	-0.0261	-0.0041
2	35	-0.1845	-0.0476
2	36	0.0856	0.0258
2	37	0.0622	0.0191
2	38	-0.0549	-0.0138
2	39	-0.2692	-0.0726
2	40	-0.1245	-0.0317
2	41	-0.3533	-0.0945
2	42	-0.2053	-0.0544
2	43	-0.2490	-0.0682
2	44	-0.2094	-0.0548
2	45	-0.1890	-0.0513
2	46	0.2315	0.0651
2	47	-0.1261	-0.0320
2	48	-0.1217	-0.0315
2	49	-0.1731	-0.0457
2	50	-0.1376	-0.0361
2	51	-0.1188	-0.0309
2	52	0.0878	0.0249
2	53	-0.0237	-0.0050
2	54	0.0223	0.0072

2	55	-0.0190	-0.0037
2	56	0.1840	0.0510
2	57	0.0666	0.0194
2	58	0.1454	0.0384
2	59	0.2579	0.0709
2	60	0.0246	0.0070
2	61	0.0983	0.0269
2	62	0.0976	0.0256
2	64	0.1162	0.0315
2	65	0.0278	0.0079
2	66	-0.0611	-0.0180
2	67	0.1446	0.0386
2	68	0.1607	0.0430
2	69	0.0997	0.0265
2	70	0.0740	0.0189
2	71	0.0751	0.0192
2	72	-0.0061	-0.0027
2	73	-0.1040	-0.0301
2	74	-0.1323	-0.0373
2	75	0.0055	-0.0003
2	76	-0.0511	-0.0156
2	77	-0.0214	-0.0056
2	78	0.0261	0.0054
2	79	0.2580	0.0684
2	80	0.0417	0.0097
2	81	0.0392	0.0087
2	82	0.1998	0.0519
2	83	0.0451	0.0105
2	84	0.2173	0.0572
2	85	0.1646	0.0423
2	86	0.2233	0.0581
2	87	0.1106	0.0274
2	88	0.0587	0.0136
2	89	0.1582	0.0421
2	90	0.0436	0.0096
2	91	0.2197	0.0581
2	92	0.2022	0.0530
2	93	0.0352	0.0074
2	94	0.0934	0.0226
2	95	0.0845	0.0217
2	96	0.0935	0.0247
2	97	0.1087	0.0282
2	98	0.2038	0.0539
2	99	0.1659	0.0434
2	100	0.0542	0.0122
2	101	-0.0410	-0.0134
2	102	0.0557	0.0149
2	103	-0.1840	-0.0494
2	104	-0.0840	-0.0227
2	105	0.0199	0.0053
2	106	-0.1561	-0.0435
2	107	0.0634	0.0150
2	108	-0.1975	-0.0547
2	109	-0.0912	-0.0253
2	110	-0.1874	-0.0479
2	111	-0.0109	-0.0006
2	112	-0.0720	-0.0177
2	113	-0.0041	0.0004
2	114	0.0090	0.0035
2	115	-0.1147	-0.0312
2	116	-0.0932	-0.0256
2	117	-0.1877	-0.0507
2	118	-0.0447	-0.0127
2	119	-0.0640	-0.0176

```

2      120      -0.2714      -0.0738
2      121      -0.1561      -0.0423
2      123       0.0592       0.0204
2      124       0.1265       0.0381
2      125      -0.0762      -0.0193
2      126       0.0518       0.0172
2      127      -0.0546      -0.0114
2      128       0.1109       0.0353
Ax=0.0007 Ay=0.0017 Mx=0.3642 My=0.2059
Total unit weight RMSE = 0.5757
    
```

Image accuracy for control and check points for each scene:

image id 1:

pid	type	image_x	image_y	residual_x	residual_y
901	gcp	5972.6407	7288.7195	0.5298	-0.5357
907	gcp	6023.9309	6664.6160	0.9306	-0.7605
906	gcp	5969.3320	5892.0235	0.7724	0.0587
902	gcp	5939.4979	5128.0660	-3.4155	0.8739
903	gcp	3500.4196	5016.4742	-0.0993	-1.1319
908	gcp	3517.1314	5879.7739	-0.1242	-0.1772
905	gcp	3678.2202	6891.9202	-0.8756	1.0307
904	gcp	3855.2519	7571.2649	-0.0034	-0.1004
RMS Errors for 8 GCPs:				x:	1.3323
				y:	0.7086
				total:	1.5091

image id 2:

pid	type	image_x	image_y	residual_x	residual_y
901	gcp	7855.3633	7050.2580	-1.2090	0.2173
907	gcp	7800.7160	7695.9359	-0.0278	0.9353
906	gcp	7857.5233	8490.7582	-1.8202	0.0213
902	gcp	7888.9236	9268.9159	2.9758	-1.1054
903	gcp	10349.3485	9391.4770	-0.9219	0.4514
908	gcp	10331.7325	8506.0974	-0.7999	0.4414
905	gcp	10168.7164	7468.8833	-0.1006	-1.6768
904	gcp	9989.3845	6769.3260	-0.1632	0.3613
RMS Errors for 8 GCPs:				x:	1.3765
				y:	0.8281
				total:	1.6063

Summary RMSE for GCPs and CHKs (number of observations in parenthesis):

	Control	Check
Ground X:	1.0628715 (8)	0.0000000 (0)
Ground Y:	0.6362609 (8)	0.0000000 (0)
Ground Z:	1.4366559 (8)	0.0000000 (0)
Image X:	1.3545876 (16)	0.0000000 (0)
Image Y:	0.7706642 (16)	0.0000000 (0)