

Fotogrametrijska izmjera kamerama s višestrukim vidnim poljem

Knežević, Luka

Master's thesis / Diplomski rad

2024

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Geodesy / Sveučilište u Zagrebu, Geodetski fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:256:108245>

Rights / Prava: [Attribution 4.0 International](#)/[Imenovanje 4.0 međunarodna](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2024-10-10**



Repository / Repozitorij:

repozitorij.geof.unizg.hr/en



**SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
GEODETSKI FAKULTET**

Luka Knežević

**FOTOGRAMETRIJSKA IZMJERA KAMERAMA S
VIŠESTRUKIM VIDNIM POLJEM**

Diplomski rad

Zagreb, 2024.

Luka Knežević ♦ DIPLOMSKI RAD ♦ 2024.



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
GEODETSKI FAKULTET

Luka Knežević

**FOTOGRAMETRIJSKA IZMJERA KAMERAMA
S VIŠESTRUKIM VIDNIM POLJEM**

Diplomski rad

Zagreb, 2024.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU

GEODETSKI FAKULTET



Na temelju članka 19. Etičkog kodeksa Sveučilišta u Zagrebu i Odluke br. 1_349_11 Fakultetskog vijeća Geodetskog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu, od 26.10.2017. godine (klasa: 643-03/16-07/03), uređena je obaveza davanja „Izjave o izvornosti“ diplomskog rada koji se vrednuju na diplomskom studiju geodezije i geoinformatike, a u svrhu potvrđivanja da je rad izvorni rezultat rada studenata te da taj rad ne sadržava druge izvore osim onih koji su u njima navedeni.

IZJAVLJUJEM

Ja, **Luka Knežević**, (JMBAG: 0007182097), rođen dana 23.11.1999. u Zadru, izjavljujem da je moj diplomski rad izvorni rezultat mojeg rada te da se u izradi tog rada nisam koristio drugim izvorima osim onih koji su u njemu navedeni.

U Zagrebu, dana 03.06.2024.

Knežević'
Potpis studenta / studentice

I. AUTOR	
Ime i prezime:	Luka Knežević
Datum i mjesto rođenja:	23. studenog 1999., Zadar, Republika Hrvatska
II. DIPLOMSKI RAD	
Naslov:	Fotogrametrijska izmjera kamerama s višestrukim vidnim poljem
Broj stranica:	69
Broj tablica:	2
Broj slika:	24
Broj bibliografskih podataka:	23 + 1 URL
Ustanova i mjesto gdje je rad izrađen:	Geodetski fakultet Sveučilišta u Zagrebu
Mentor:	izv. prof. dr. sc. Dubravko Gajski
III. OCJENA I OBRANA	
Datum zadavanja teme:	23. siječnja 2023.
Datum obrane rada:	05. srpnja 2024.
Sastav povjerenstva pred kojim je branjen diplomski rad:	izv. prof. dr. sc. Dubravko Gajski
	prof. dr. sc. Robert Župan
	izv. prof. dr. sc. Andrija Krtalić

Zahvala

Zahvaljujem se svom mentoru izv. prof. dr. sc. Dubravku Gajskom na izboru teme te znanju i savjetima tijekom izrade diplomskog rada. Također se zahvaljujem svom mentoru na ukazanom povjerenju.

Fotogrametrijska izmjera kamerama s višestrukim vidnim poljem

Sažetak: Fotogrametrija se iz danas u dan razvija, konkretno govoreći o kosim snimkama. U ovom diplomskom radu objašnjena je povijest kosih snimki. Pojašnjene su i tehnologije te vrste kamera. Dati su konkretni primjer snimanja u određenim državama, sa njihovim prednostima i manama. Opisana je i fotogrametrijska obrada, kao i točnost kosih snimki. Govori se o upotrebi kosih snimki. Definirana je kamera s kojom je snimljen grad Graz i pojašnjene su njene karakteristike. Analizirani su vertikalni i kosi snimci. Uspoređene su snimke snimljene kamerom s jednostrukim te višestrukim vidnim poljem.

Ključne riječi: Cloud Compare, Colmap, fotogrametrija, kamere, kose snimke, oblak točaka, vertikalne snimke

Photogrammetric Survey with Multi-View Cameras

Abstract: Photogrammetry is evolving day by day, particularly in the area of oblique imagery. This thesis explains the history of oblique images. It also elaborates on the technologies and types of cameras used. Specific examples of imaging in certain countries are given, along with their advantages and disadvantages. Photogrammetric processing and the accuracy of oblique images are described. The use of oblique images is discussed. The camera used to capture the city of Graz is defined, and its characteristics are explained. Vertical and oblique images are analyzed. Images taken with single-view and multi-view cameras are compared.

Keywords: Cloud Compare, Colmap, photogrammetry, cameras, oblique images, point cloud, vertical images

SADRŽAJ

1. UVOD.....	1
2. POVIJEST KOSIH SNIMAKA I OPĆENITO O NJIMA	2
3. SUSTAVI DIGITALNIH ZRAČNIH KAMERA.....	3
3.1. Dvostruke kamere	3
3.2. Trostruke kamere	4
3.3. Višestruke kamere.....	4
3.4. Kamere sa okretnim senzorima.....	5
3.5. Sustavi s četiri kamere	6
3.6. Sustavi sa šest kamera.....	6
3.7. Nadzor s bespilotnih zračnih platformi.....	7
3.8. Kosa fotografija (s ljudskim pilotom).....	7
3.9. Sustavi s pet kamera	8
4. KAMERE I TEHNOLOGIJE.....	10
4.1. Konfiguracije „Malteškog križa“	11
4.2. Lepezaste konfiguracije	12
4.3. Konfiguracije blokova	12
5. ISKUSTVA ISTRAŽIVANJA I RAZVOJA SA KOSIM SLIKAMA	13
5.1. Problemi istraživanja	14
5.2. Referentni skup	15
5.3. Ostale istraživačke aktivnosti	15
5.4. Kose slike kod OS UK.....	16
5.4.1. Potrebe za korištenjem kosih slika	16
5.4.2. Prednosti.....	16
5.4.3. Iskustva.....	17
5.4.4. Ograničenja	17
5.4.5. Vizija	18
5.5. Kose slike kod OSi Irska	18
5.5.1. Potrebe za korištenjem kosih slika	18
5.5.2. Prednosti.....	19
5.5.3. Iskustva.....	19
5.5.4. Ograničenja	19
5.5.5. Vizija	20
5.6. Kose slike kod ICGC-a Španjolska	20

5.6.1. Potrebe za korištenjem kosih slika	21
5.6.2. Prednosti.....	21
5.6.3. Iskustva.....	21
5.6.4. Ograničenja	22
5.6.5. Vizija	22
6. FOTOGRAMETRIJSKA OBRADA	24
6.1. Automatsko izdvajanje kontrolnih točaka	24
6.2. Aerotriangulacija slika (izjednačavanje snopa)	25
6.3. Gusta podudarnost slika.....	25
6.4. 3D modeli gradova.....	26
6.5. Monoplotting (mjerjenje visina zgrada).....	27
7. EUROS DR BENCHMARK.....	28
7.1. Skupovi podataka i isporuke.....	28
7.2. Anketa EuroSDR-a	29
8. DSM I TOČNOST KOSIH SLIKA.....	30
8.1. GSD, broj skala i točnost kosih slika.....	30
8.2. Razmatranje o zračnim snimkama s kosim kamerama	32
9. KOMBINACIJA VERTIKALNIH I KOSIH SLIKA	34
9.1. Orije ntacija paketa vertikalnih i kosih slika	35
9.2. Kalibracija kamernog sustava Track'Air MIDAS.....	35
10. UPOTREBA KOSIH SLIKA I TEKSTURIRANJE ZGRADA	39
10.1. Testni let za vizualizaciju i poluautomatsko teksturiranje zgrada.....	39
10.2. MultiVision	40
10.3. Teksturiranje 3D zgrada pomoću zračnih snimki.....	41
11. OBRADA PODATAKA	42
12. ANALIZA PODATAKA	54
12.1. Klasa 1 – odabrano područje od interesa.....	54
12.2. Klasa 2 – zgrade	55
12.3. Klasa 3 – vegetacija (u urbanom području).....	56
12.4. Klasa 4 – vegetacija (u ruralnom području)	57
12.5. Klasa 5 – prometnice	58
13. ZAKLJUČAK	59
LITERATURA.....	61
Popis URL-a.....	63

POPIS SLIKA	64
POPIS TABLICA.....	65
PRILOG	66
ŽIVOTOPIS	69

1. UVOD

Svjedoci smo ogromnog razvoja tehnologije i znanosti posljednjih nekoliko godina, a sve je to posljedica modernog društva kakvom težimo. U skladu s tim i fotogrametrija kao znanost, doživljava veliki razvoj koji omogućava novi stupanj tehnološkog razvitka. U davnim vremenima glavni mjerni instrumenti za geodeziju su bili konopci i lanci s mjernim podjelama, a korištena je stopa kao mjerna jedinica. Razvojem instrumenata i elektronike danas se pojavljuju kamere s višestrukim vidnim poljem. Pri fotogrametrijskom snimanju iz zraka najviše se u zadnje vrijeme koriste kamere s višestrukim vidnim poljem. Mnoge od danas korištenih karata nastale su fotogrametrijom i fotografijama iz zrakoplova. Višestruke preklapajuće fotografije tla snimaju se dok zrakoplov leti duž putanje leta. Zrakoplovi su tradicionalno bili letjelice s posadom s fiksnim krilima, no sada se mnogi projekti izvode s dronovima. Kose snimke danas se koriste za kartiranje, izviđanje i nadzorne svrhe. Danas postoje razne vrste kamere i tehnologija za snimanje.

U ovom diplomskom radu istraživat će se mogućnosti primjene kamere s višestrukim vidnim poljem u prostornom modeliranju gradske jezgre. Kao testni podaci koristit će se snimke jezgre grada Graza snimljene kamerom s višestrukim vidnim poljem Vexcel Osprey. Prostorni modeli dobit će se na temelju oblaka točaka dobivenih kamerama s višestrukim vidnim poljem i onih uobičajenih, s jednostrukim vidnim poljem. Naposljetku ta dva oblaka točaka će se usporediti odnosno izdvojiti će se neke pojedine razlike između ta dva oblaka točaka. Istražit će se tehnologija fotogrametrijskih kamere s višestrukim vidnim poljem. Naglasit će se posebnosti pri fotogrametrijskoj izmjeri koje ove kamere pružaju u odnosu na one uobičajene, kamere s jednostrukim vidnim poljem.

2. POVIJEST KOSIH SNIMAKA I OPĆENITO O NJIMA

Prva zabilježena zračna fotografija bila je kosi snimak iz balona. Fotografija je snimljena 1860. godine u SAD-u, točnije Bostonu, a za nju su zaslužni J.W. Black i S. King. Godine 1906. G.R. Lawrence koristio je između devet i sedamnaest velikih zmajeva kako bi podigao ogromnu kameru i snimio nekoliko kosih zračnih slika San Francisca (SAD) nakon snažnog potresa na tom području. Kose kamere na zrakoplovima dobile su na značaju za vojno izviđanje tijekom Prvog i Drugog svjetskog rata. Međutim, ovi su sustavi bili preskupi u „analognim vremenima“. Kosi sustavi ponovno su uvedeni na tržište prije više od 10 godina od strane tvrtke Pictometry. Trenutno, kosa zračna fotografija ima veći ugled širom svijeta nego što je to bio slučaj tijekom mnogo godina i sve više se integrira u radne tokove pružatelja usluga, koji ga koriste kao dodatak ili zamjenu za tradicionalno vertikalno snimanje. To je djelomice zbog aktivnosti tvrtke Pictometry u Sjedinjenim Američkim Državama te brojnih njezinih licenci i konkurenata koji koriste više kosih kamera diljem svijeta (Petrie, 2009). Pictometry je najveća i najpoznatija tvrtka koja je licencirala svoju tehnologiju:

1. MDA (Kanada),
2. Blom Aerofilms (Europa),
3. AAMHatch (Australija/Jugoistočna Azija),
4. AOC (Južna Afrika),
5. KKC (Japan) (Petrie, 2009).

Ove tvrtke trenutno stječu velik broj kosih zračnih slika na sustavan način pomoću digitalnih kamera, uglavnom u urbanim područjima razvijenijih zemalja. Pictometry operira s 70 zrakoplova u SAD-u, dok Blom s 13 zrakoplova u Europi. Ipak, drugi sustavi zračnih digitalnih kamera temeljeni na kosim kamerama također su počeli biti u upotrebi za kartiranje, izviđanje i nadzorne svrhe. Nekoliko manjih neovisnih tvrtki su:

1. Geospan (SAD),
2. COWI (Danska),
3. Ofek (Izrael),
4. GetMapping (Ujedinjeno Kraljevstvo),
5. Mapaid (Norveška) (Petrie, 2009).

3. SUSTAVI DIGITALNIH ZRAČNIH KAMERA

Korištenje višestrukih kosih kamera postaje sve popularnije zbog ograničenja u veličini CCD i CMOS senzora koji se mogu koristiti u zračnim digitalnim kamerama. To je potaknulo široku primjenu digitalnih zračnih fotografskih sustava koji koriste više senzora, više leća ili više kamera kako bi se osigurala pokrivenost terena i veličina formata slike potrebnih za sustavno kartiranje, izviđanje i nadzor, tj. za upotrebu na bespilotnim letjelicama i borbenim zrakoplovima. U sektoru obrane i sigurnosti domovine, primjećuje se trend korištenja skalabilnih sustava s višestrukim kosim kamerama radi postojanog nadziranja i osiguravanja potrebnog područja pokrivanja. Također, potreba za širokim kutnim pokrivanjem radi snimanja velikih područja visokom razlučivošću za potrebe izviđanja i prikupljanja obavještajnih podataka također se ostvaruje korištenjem digitalnih kamera s plošnim sensorom, smještenim u obliku lepeze pod pravim kutom u odnosu na putanju leta (Petrie, 2009).

U mnogim slučajevima, ali ne u svima, to je također rezultiralo prihvaćanjem konfiguracija kosog snimanja koje su slične onima koje su široko korištene prije Drugog svjetskog rata. Takve konfiguracije uključuju:

1. Skupine digitalnih kamera koje snimaju kose fotografije kako bi postigle veću poprečnu pokrivenost, često za svrhu izviđanja.
2. Grupe digitalnih kamera postavljenih u redovitoj blok konfiguraciji koja povećava ukupnu površinu tla koja se može pokriti s jednog snimalita, obično za kartografske ili nadzorne svrhe.
3. Kombinacije blisko vertikalnih (nadir) i kosih kamera usmjerenih poput karakterističnog rasporeda s pet kamera „Malteškog križa“ koji se koristi za vizualizaciju i interpretaciju od strane Pictometrya i njezinih licenciranih konkurenata (Petrie, 2009:102).

3.1. Dvostruke kamere

Prelazeći na njihove moderne digitalne ekvivalente, priličan broj sustava dvostrukih kamera nedavno je izašao na tržište europskih dobavljača, temeljenih na korištenju digitalnih kamera srednjeg formata. Među njima su DiMAC Wide tvrtke DiMAC Systems iz Belgije; Dual-

DigiCAM sustav tvrtke IGI iz Njemačke; i RolleiMetric (sada Trimble) AIC x2, također iz Njemačke. Sva tri ova sustava dvostrukih kamera imaju prilično sličnu specifikaciju, pri čemu svaka pojedinačna kamera ima digitalne stražnje dijelove koji proizvode slike veličine $7,2k \times 5,4k = 39$ megapiksela. Zatvarači njihovih kamera sinkronizirani su kako bi istovremeno radili kako bi dobili dvije kose fotografije s obje strane aviona. Nakon ispravljanja i spajanja dviju ispravljenih slika, konačna spojena (blisko vertikalna) slika je veličine $10,5k \times 7,2k = 75$ megapiksela (Petrie, 2009:103).

3.2. Trostruke kamere

Suvremeni primjer zračnog digitalnog sustava za snimanje s tri kamere je DLR-3k sustav koji je razvila Njemačka svemirska agencija (DLR) za studije prometa. Ovaj sustav sastoji se od tri Canon EOS digitalne kamere malog formata postavljene zajedno na prilagodljivi nosač u sličnoj konfiguraciji kao i kamere Tri-Metrogon koje su bile široko korištene tijekom Drugog svjetskog rata za kartiranje od strane SAD-a (pružajući jednu okomitu i dvije kose fotografije). Ova se postava i dalje široko koristi od strane vojnih zračnih snaga diljem svijeta. Za kontinuirano mjerenje položaja i orijentacije platforme koristi se IGI AEROcontrol GPS/IMU sustav. IGI tvrtka je također razvila sličan sustav nazvan Triple-DigiCAM sustav koji koristi tri DigiCAM digitalne kamere srednjeg formata umjesto kamera malog formata koje se koriste u sustavu DLR-3k (Petrie, 2009:103).

3.3. Višestruke kamere

Na vrhu ljestvice u smislu broja leća i područja CCD senzora koje se mogu koristiti kako bi se osigurala još šira poprečna pokrivenost koristeći lepezastu konfiguraciju su nove digitalne kamere koje je razvila ruska organizacija NPO KSI. Ove zračne digitalne kamere s više leća koriste višestruke CCD senzore malog formata u kombinaciji s četiri, šest ili osam leća koje se postavljaju kosim položajem s obje strane aviona kako bi pružile potrebnu vrlo široku pokrivenost tla (Petrie, 2009:103).

U slučaju rješenja s četiri leće, koriste se dva para dvostrukih leća, postavljenih u suprotnim smjerovima preko linije leta. Na žarišnoj ravnini svake od četiri leće nalaze se četiri CCD

senzora koje su postavljene s razmakom tako da se slike prikupljene s dvije serije od četiri senzora iz jednog para leća spajaju zajedno kako bi formirale pravokutnu sliku tla s dužom stranicom u poprečnom smjeru. Slike iz drugog para leća i njihove skupine senzora naslanjaju se na slike iz prvog seta slika kako bi pružile kontinuiranu široku poprečnu pokrivenost terena (Petrie, 2009).

Koristeći kameru s četiri leće ovog tipa, dizajniranom za rad s malih visina, ovaj aranžman pruža slike okvira široke 12 200 piksela u poprečnom smjeru. S modelom sa šest leća koji se temelji na sličnoj konfiguraciji, obično se koristi za letenje srednje visine, pokrivenost poprečnog smjera iznosi 27 000 piksela. Korištenjem konfiguracije s osam leća, koja se obično koristi za letenje s velike visine, pokrivenost tla široka je 49 000 piksela (Petrie, 2009).

3.4. Kamere sa okretnim sensorima

Još jedan pristup osiguravanju široke poprečne pokrivenosti tla korištenjem lepeze snimljenih zračnih digitalnih fotografija pod oštrim kutom je upotreba kamera s okretnim sensorima. To podrazumijeva eksponiranje niza kosih fotografija pod oštrim kutom u poprečnom smjeru korištenjem jedne kamere s jednim sensorom ili para takvih kamera postavljenih na rotirajuće postolje. Ovaj pristup je usvojen od strane tvrtke Recon-Optical u SAD-u, koja je sada u vlasništvu korporacije Goodrich Corporation od srpnja 2008. godine. Digitalna kamera s okretnim sensorom CA-261 tvrtke Recon-Optical može biti opremljena lećama $f = 12$ inča (30 cm) ili 18 inča (45 cm). Ova kamera se već nekoliko godina koristi na izviđačkim zrakoplovima F-14 i F-16. Noviji modeli CA-270 i CA-295 imaju mogućnost dvostrukog niza sa simultanim radom: prva kamera djeluje u vidljivom/bliskom infracrvenom (VNIR) dijelu spektra i proizvodi sliku veličine 5k x 5k piksela, dok druga kamera djeluje u srednjevalnom infracrvenom (MWIR) dijelu spektra i generira sliku veličine 2k x 2k piksela (Petrie, 2009:104).

Sličan tip dvostruke digitalne kamere s okretnim sensorima je model VisionMap A3 iz Izraela. Ovaj model generira dvostruke pankromatske fotografije od 11 megapiksela jednu pored druge tijekom svog poprečnog skeniranja (Petrie, 2009).

3.5. Sustavi s četiri kamere

Zanimljivo je primijetiti da se geometrijski raspored Zeissovih četverostrukih izviđačkih kamera iz 1930-ih sada replicira s modernim digitalnim kamerama. Primjerice, Z/I (sada Intergraph) DMC sustav, predstavljen na ISPRS kongresu održanom u Amsterdamu 2000. godine, koristi četiri digitalne kamere srednjeg formata, svaka s 7k x 4k CCD senzorom, spojene zajedno u istu konfiguraciju nagnutog snimanja. Nakon leta, četiri nagnute pankromatske slike ispravljaju se i spajaju kako bi se formirale pravokutne velikog formata pankromatske slike, veličine 13.5k x 8k = 108 megapiksela. Konačna kompozitna pankromatska slika može se obojiti kako bi se formirale boje (RGB) ili lažne boje (VIS + NIR) koristeći podatke o slici iz četiri multispektralne dodatne kamere malog formata (2k x 3k) (Petrie, 2009:105).

Sličan geometrijski raspored s četiri nagnute kamere srednjeg formata digitalnih kamera usvojen je s RolleiMetric i IGI kamerama koje su nedavno predstavljene na tržištu. RolleiMetric AIC x4 sustav koristi četiri Rollei AIC kamere, od kojih svaka ima digitalni leđni dio tvrtke Phase One koja koristi 39 megapikselne CCD senzore proizvedene od strane Kodaka (Petrie, 2009:105). IGI Quattro-DigiCAM sustav također koristi četiri digitalne kamere slične veličine formata koje proizvodi Hasselblad, a konačna kompozitna slika veličine je 145 megapiksela. RolleiMetric i IGI sustavi koriste mozaik filtere i Bayerovu interpolaciju za generiranje konačnih slika u boji, čime se uklanja potreba za dodatnim četirima kamerama malog formata koje se koriste u tu svrhu u DMC-u (Petrie, 2009).

3.6. Sustavi sa šest kamera

U SAD-u su nedavno u operativnu upotrebu uveli nekoliko sustava sa šest spojenih zračnih digitalnih kamera. Primjer je takozvani „six-pack“ sustav koji je osmislila i izgradila Divizija za svemirske sustave tvrtke ITT Corporation u suradnji s tvrtkom Cen-Tauri Solutions za potrebe stalnog nadzora nad velikim područjima. Ti se sustavi mogu postaviti na letjelice s ljudskom posadom ili bez nje koje su sposobne za dugotrajne letove s gotovo stvarnim prijenosom slika u stvarnom vremenu na zemaljske baze gdje se analiza i procjena slika mogu provesti. ITT sustav koristi šest kamera malog formata dobavljenih od Geospatial Systems, pri čemu svaka kamera generira sliku veličine 11 megapiksela (Petrie, 2009:105). Šest

pojedinačnih kamera sve su usmjerene nagnuto prema van iz središnjeg smjera, pri čemu je „six-pack“ sustav postavljen na čvrsti senzor koji se može nagnuti kao cjelina pod kontrolom motora kako bi neprekidno pokazivao na određeno područje na tlu. Takvi su sustavi dizajnirani da budu skalabilni - ili korištenjem kamera srednjeg formata umjesto kamera malog formata ili korištenjem znatno većeg broja kamera. Novinski članci i internetske objave sugeriraju da se u takvom sustavu može smjestiti do 24 kamere, što će omogućiti proizvodnju slika veličine do 864 megapiksela (Petrie, 2009:106).

3.7. Nadzor s bespilotnih zračnih platformi

Osim višestrukih fotografija i kamera kose zračne fotografije, konfiguracija kosog snimanja također je sve važnija i za nadzor i za vizualizacijske svrhe, s akvizicijom pojedinačnih i višestrukih digitalnih slika s pilotiranih i bespilotnih platformi, često s niskih visina.

Postoji mnogo novih razvoja u kosoj zračnoj fotografiji korištenjem digitalnih kamera koje se upravljaju putem radio veza na brojnim vrstama bespilotnih zračnih platformi s niskih visina:

- robotski mini-helikopteri,
- pokretne mini-zračne lađe,
- pokretne motorni zmajevi,
- privezani baloni,
- teleskopski stupovi (Petrie, 2009).

3.8. Kosa fotografija (s ljudskim pilotom)

Kose fotografije se široko koriste za vizualizaciju od strane agenata za nekretnine i razvojnih tvrtki; za praćenje napretka na projektima (za plaćanje) od strane građevinskih inženjera i graditelja (u Ujedinjenom Kraljevstvu, više od 60 tvrtki angažirano je u ovom području) (Petrie, 2009).

Fotografije s kosim senzorom naručuju se posebno za određeno mjesto, nekretninu ili područje na ugovoru. Većinom se koriste zrakoplovi Cessna 172 koji su široko dostupni, a vrlo jeftini za upotrebu (200 funti po satu). Upotreba helikoptera je ograničena zbog visokih troškova

upotrebe (800 funti po satu). Upotreba radio-upravljanih mini-helikoptera postaje sve učestalija. Oko 10 komercijalnih tvrtki bavi se ovim područjem u Ujedinjenom Kraljevstvu. Mini-helikopteri su dugački 1,5 do 2 metra i opremljeni držačem kamere s protu-vibracijskim sustavom. Upotreba privezanih (nepokretnih) balona također je vrlo raširena. Više od 10 tvrtki posluje u Ujedinjenom Kraljevstvu. Najrasprostranjenija je upotreba teleskopskih stupova. U Ujedinjenom Kraljevstvu posluje 55 tvrtki na tom tržištu. Za akviziciju potrebne kose zračne fotografije koriste se kako filmske tako i digitalne kamere. Skycell tvrtka koristi digitalne kamere s bespilotnih platformi (Petrie, 2009).

3.9. Sustavi s pet kamera

Pictometry nije objavio pojedinosti o autoru svog sustava. Međutim, tvrtka Track'Air, koja se nalazi u Oldenzaalu u Nizozemskoj, neovisni je dobavljač ovih sustava s pet kamera. Objavila je pojedinosti o svom MIDAS sustavu, koji će stoga biti prihvaćen kao primjer ovog tipa sustava. Pet malih kamera koje se koriste u MIDAS sustavu sve su Canon EOS-1 Ds Mk I ili Mk II modeli koji proizvode pojedinačne slike veličine od 16,7 do 21 megapiksela. Pet kamera montirano je na posebno izrađeni senzor koji se može koristiti unutar zrakoplova koristeći standardni priključak kamere ili se može koristiti izvan zrakoplova ispod njega, zaštićen odgovarajućom oblogom. MIDAS sustav također koristi dobro poznatu jedinicu Applanix POS/AV GPS/IMU za mjerenje položaja i nagiba platforme u trenutku istovremene ekspozicije skupa od pet fotografija (Petrie, 2009:106).

Još jedan europski dobavljač ovih sustava s pet kamera je IGI sa svojim Penta-DigiCAM sustavom. On koristi sličan geometrijski raspored kao MIDAS sustav, ali koristi vlastite srednje formatne digitalne kamere DigiCAM umjesto Canon kamera malog formata koje se koriste u MIDAS-u. DiMAC Systems je još jedan dobavljač koji također gradi sličan sustav na temelju srednje formatnih kamera pod nazivom DiMAC Oblique (Petrie, 2009:106). Sastojat će se od šest kamera - dvije uparene kamere (poput DiMAC Wide jedinice sa dvije kamere) koje će, kada se spoje, proizvoditi jednu okomitu sliku; i četiri kamere koje će snimati kose slike - dvije usmjerene u suprotnim smjerovima poprečno i preostale dvije u suprotnim smjerovima duž putanje leta (Petrie, 2009).

Osim ovih sustava koji koriste pet (ili šest) kamera za snimanje potrebne kombinacije okomitih i kosih slika, razvijeni su nedavno i drugi sustavi koji mogu snimiti slično pokrivanje pet fotografija, ali uz uporabu manje od pet kamera za zadatak. Primjer takvog sustava je Azicam, koji je razvila konzultantska tvrtka Geotechnologies na Sveučilištu Bath Spa u ime tvrtke GetMapping u Ujedinjenom Kraljevstvu (Petrie, 2009:107). Ovaj sustav koristi jednu digitalnu kameru srednjeg formata postavljenu na rotirajući nosač kako bi snimila četiri kose slike u brzom nizu pod kutovima od 90° u azimutu jedna na drugu. Peta (okomita) slika dolazi iz postojeće okomite zračne fotografije tvrtke koja pokriva većinu Ujedinjenog Kraljevstva (Petrie, 2009).

Još jedan sustav koji koristi smanjeni broj kamera za snimanje pet fotografija „Malteškog križa“ pokrivenosti tla je Aero Oblique System (AOS) koji je nedavno izgrađen od strane tvrtke RolleiMetric za Alpha Luftbild, njemačku zračnu kartografsku tvrtku. Sustav AOS sastoji se od tri digitalne kamere Rollei AIC srednjeg formata, od kojih svaka ima digitalni leđni dio od 39 megapiksela. Zatvarači tri kamere sinkronizirani su kako bi istovremeno snimili okomitu sliku i dvije kose slike koje snimaju u suprotnim smjerovima poprečno (Petrie, 2009:107). Cjelokupna jedinica s tri kamere zatim se može brzo rotirati u azimutu za 90° kako bi se dobio drugi par kosih slika usmjerenih u smjeru leta. Cjelokupna jedinica s tri kamere može se spustiti kroz priključak kamere na podu zrakoplova kako bi radila izvan njega. Jedinica kamere tada se može povući unutar zrakoplova kada nije u upotrebi i tijekom polijetanja i slijetanja. Snimljene slike pohranjuju se na industrijske računalne jedinice koje mogu primiti do 3 500 pojedinačnih slika (Petrie, 2009).

4. KAMERE I TEHNOLOGIJE

Primjena kosih slika postaje gotovo standardna u mnogim civilnim i kartografskim aplikacijama, zahvaljujući razvoju zračnih digitalnih sustava s više kamera. Iako većina nacionalnih agencija za kartografiju i kartografskih službi još uvijek koristi tradicionalni radni proces temeljen na vertikalnoj fotografiji, postoji postupno prihvaćanje kosih slika u proizvodnom procesu. Glavna prednost kosih slika leži u njihovoj jednostavnosti interpretacije, posebno u otkrivanju fasada zgrada i njihovih osnova. To olakšava nestručnjacima interpretaciju podataka jer su kose slike više asocijativne s onim što se vidi s tla (Remondino i Gerke, 2015: 75).

Kose slike nalaze primjenu u različitim aplikacijama, kao što su ažuriranje cestovnih mreža, registracija zgrada i preliminarno određivanje granica parcela, klasifikacija gradova i modeliranje u 3D-u, identifikacija neregistriranih zgrada, praćenje masovnih događaja, procjena štete, i mnoge druge. Da bi se kose slike mogle široko koristiti, postojeći procesi obrade moraju se prilagoditi, a komercijalni alati nastoje pružiti pouzdane obradne lance. Varijacije u mjerilu slike, pomaci u pogledima s ne vertikalnih snimališta i varijacije radiometrije u bloku slika samo su neki od izazova u obradi velikih blokova zračnih nagibnih (kosih) slika. Automatsko podešavanje svih parametara kamere u takvim blokovima dosad je bilo izazovno.

Različiti kosi sustavi sa više kamera dolaze u raznim konfiguracijama, s varijacijama u broju senzora, formatu, rasporedu, načinu akvizicije, spektralnoj osjetljivosti, itd. (Remondino i Gerke, 2015). Neke od konfiguracija uključuju:

1. Konfiguracija s malteškim križem: Ovo je najčešća konfiguracija koja obuhvaća jednu vertikalnu kameru i četiri kamere nagnute prema kardinalnim smjerovima pod kutom od 40 - 50°. Različite veličine formata kamere mogu se koristiti s ovom konfiguracijom (Remondino i Gerke, 2015:76).
2. Konfiguracija lepeze: Ova konfiguracija često uključuje dvostruke kamere, a primjer inovativnog rješenja je VisionMap (A3 senzor), koji koristi sustav s pokretnim senzorom i može snimiti do 64 slike po skeniranju, obuhvaćajući vidno polje od 109° (Vilan i Gozes, 2013).
3. Konfiguracija bloka: Kamere su postavljene u blok, a dovoljno preklapanje između pojedinačnih snimki omogućuje ispravljanje i spajanje kako bi se formirao gotovo

vertikalni snimak pravokutnog oblika. Primjeri takvih konfiguracija uključuju prve generacije Z/I DMC kamera, koje su imale četiri kamere srednjeg formata, spojene u postprocesiranju u senzor PAN velikog formata. Također, neki drugi sustavi, poput Trimble AIC x4 i IGI DigiCam Quattro, mogu se prilagoditi kako bi postali kosi sustavi, iako to nisu izvorno (Remondino i Gerke, 2015:76).

4.1. Konfiguracije „Malteškog križa“

Ovaj tip sustava obuhvaća jednu „gotovo vertikalnu“ usmjerenu kameru i četiri kamere koje su usmjerene pod kutom. Dvije od tih kamera usmjerene su u suprotnim smjerovima poprečno u odnosu na putanju leta, dok preostali par kamera usmjeruje se u suprotnim smjerovima duž putanje leta. Rezultirajuće pokrivanje tla pet kamera ima oblik „Malteškog križa“. Rani primjer ove posebne kombinacije okomitih i kosih fotografija bio je Fairchild T-3A sustav s pet objektivima. Tijekom 1930-ih godina izgrađeno je trideset tih T-3A sustava, koji su se široko koristili od strane Geološkog istraživačkog zavoda SAD-a i Korpusa inženjera SAD-a za kartografske primjene uporabom grafičke radijalne aerotriangulacije i stereo-restitucije. Svaki T-3A sustav sastojao se od jedne okomite i četiri kose kamere opremljene sinkroniziranim zatvaračima koji su se nalazili unutar jednog kućišta s pet zasebnih mehanizama (Petrie, 2009:106).

S digitalnim sustavima s pet kamera koje koristi Pictometry i njezini licencirani korisnici i konkurenti, naglasak je prilično drugačiji. Umjesto da su dizajnirani prvenstveno za kartografske operacije, naglasak se stavlja na prednosti koje donosi posjedovanje više kosih prikaza urbanih područja pod prilično velikim vertikalnim kutovima. Posebno se ovaj tip fotografije usmjerava na pružanje informacija o karakteristikama zgrada i drugih struktura koje je teško dobiti s klasičnim okomitim fotografijama. Također se tvrdi da je interpretacija rezultirajućih kosih slika lakše izvodljiva za neprofesionalne korisnike ovih fotografija. To je dovelo do njihove široke uporabe od strane hitnih službi (policije, vatrogasaca, hitne pomoći), posebno u SAD-u (Petrie, 2009).

4.2. Lepezaste konfiguracije

Lepeze s više kosih kamera su popularni već dugi niz godina jer omogućuju postizanje najšireg mogućeg pojasa preko terena u smjeru poprečne pokrivenosti. Na primjer, serija izviđačkih kamera Zeiss KS-153 široko su korištene od strane zračnih snaga NATO-a u svojim verzijama s tri leće (Tri-lens 80) i pet leća (Penta-lens 53) kako bi pružile potrebnu široku poprečnu pokrivenost. Peta-lens koristi 5 leća paralelno s posebnim prizmama koje se koriste za dobivanje svake od četiri kose fotografije (Petrie, 2009: 103).

4.3. Konfiguracije blokova

Sada se široko koristi grupa od četiri ili šest kamera postavljenih pod oštrim kutom u redovitoj blok konfiguraciji umjesto lepeze za prikupljanje digitalnih zračnih fotografija za kartografske i nadzorne svrhe (Petrie, 2009). Nakon toga, rezultirajuće fotografije se ispravljaju i spajaju kako bi se stvorio „približno vertikalni“ kompozitni prikaz u kvadratnom ili pravokutnom formatu koji se dostavlja korisnicima. Ovaj konačni kompozitni prikaz pruža potrebnu pokrivenost tla iz jedne ekspozicijske stanice u velikom formatu - što je ključno za kartografske ili nadzorne svrhe. S ovom velikom formatu i geometrijom, kompozitna fotografija može se lako koristiti s postojećim digitalnim fotogrametrijskim radnim stanicama (DPW) i softverskim paketima koji su dizajnirani za upotrebu s bilo kojim tipom okvirne fotografije (Petrie, 2009: 105).

5. ISKUSTVA ISTRAŽIVANJA I RAZVOJA SA KOSIM SLIKAMA

Sustavi kamera s 2 do 8 nagnutih pogleda, temeljeni na srednjem ili velikom formatu kamera, pružaju prednosti jednostavnije interpretacije za neiskusne korisnike i bolje otkrivanje detalja na fasadama zgrada i njihovim temeljima. Ove karakteristike, zajedno s visokom gustoćom i točnošću oblaka točaka koji se mogu generirati, promoviraju korištenje koso snimljenih slika u različitim primjenama poput modeliranja 3D gradova, ažuriranja pokrova tla, urbanističke klasifikacije, identifikacije nelegalnih zgrada, procjene štete, registracije zgrada i određivanja granica parcela (Remondino i sur.,2016:639).

S obzirom na očekivani trend urbanizacije, gdje će do 2050. godine oko 66% svjetske populacije živjeti u urbanim područjima, postaje sve važnije bolje mapiranje, razumijevanje i upravljanje urbanističkim ekosustavom. U tom kontekstu, 3D modeli gradova postaju ključni alat za planiranje urbanog rasta, integrirani u koncept „pametnih gradova“. Prognoze pokazuju da će tržište „pametnih gradova“ do 2020. godine doseći vrijednost od 1,5 bilijuna dolara, što podržava brzi rast sektora koso zračnih kamera i ulaganja u tu tehnologiju (Remondino i sur.,2016:640).

Iako mnoge nacionalne kartografske agencije i dalje preferiraju tradicionalne radne tokove temeljene na vertikalnoj fotografiji, promjene i prelazak na koso snimanje polako se događaju. Neke agencije već su proveli interne testove, dok druge razmatraju buduću ulogu ove tehnologije i prilagodbu proizvodnih procesa. Slično tome, fotogrametrijske tvrtke sve više istražuju i koriste kose kamere kako bi isporučile inovativnije proizvode (Remondino i sur.,2016:639).

EuroSDR, koja predstavlja europske nacionalne kartografske agencije (NMAs) i istraživačke organizacije većine država EU-a, pažljivo prati razvoj kamera za koso zračno snimanje od 2013. godine. Njihova stalna aktivnost ima za cilj redovito informiranje članova o napretku ove tehnologije. Iako većina europskih NMAs još uvijek preferira tradicionalni radni tok temeljen na vertikalnoj fotografiji, primjetne su promjene u proizvodnim praksama. Neki NMAs su već proveli interne testove kako bi istražili potencijal ove tehnologije za svoje potrebe, dok druge agencije raspravljaju o mogućoj budućoj ulozi kose zračne fotogrametrije i prilagodbama svojih proizvodnih procesa. Istovremeno, neke istraživačke i akademske ustanove demonstriraju mogućnosti korištenja kosih zračnih skupova podataka za generiranje teksturiranih 3D modela

gradova ili velikih modela građevinskih blokova. Pregled testova, najboljih praksi i razmatranja koja dolaze iz istraživačke zajednice i tri europske NMAs pruža uvid u korištenje kosih zračnih snimaka (Remondino i sur.,2016:640).

Već nekoliko godina, FBK Trento i ITC / Sveučilište Twente provode istraživanja o zračnom koso snimljenim slikama (Gerke i Nyaruhuma, 2009; Nyaruhuma et al., 2012; Xiao et al., 2012; Nex et al., 2013; Rupnik et al., 2013; Rupnik et al., 2014; Remondino i Gerke, 2015; Rupnik et al., 2015). Studije su pokrenute zbog jasnih problema u obradi blokova kosih slika i zbog brojnih primjena koje otvaraju koso zračni pogledi.

5.1. Problemi istraživanja

Automatizirana aerotriangulacija kosih blokova je ključna tema istraživanja zbog složenije geometrije mreže slika i većeg broja slika. To uzrokuje izazove tradicionalnim strategijama aerotriangulacije prilagođenim blokovima s vertikalnim slikama. Problemi nastaju zbog promjena mjerila i radiometrije, niske sličnosti zbog širokih konfiguracija baza te nedostatka kontrolnih točaka u različitim smjerovima gledanja. Strategije variraju od više stupnjevitih metoda orijentacije do neovisnog prilagođavanja podblokova, karti povezanosti ili postupaka relativne orijentacije (Remondino i sur.,2016:640).

Iako je izravno georeferenciranje koje pružaju senzori GNSS/IMU na letjelicama još uvijek ograničeno, dodatno fino podešavanje snopova se preporučuje. Nakon orijentacije vertikalne i kose slike, primjenjuju se metode gustog podudaranja slika (DIM) kako bi se dobila gustoća oblaka točaka u 3D prostoru, što omogućava generiranje pravih ortofotografija. Iako su metode DIM-a nedavno manje istraživane zbog pouzdanosti i produktivnosti postojećih algoritama za podudaranje piksela iz više pogleda, spajanje kosih i vertikalnih slika značajno povećava potpunost setova podataka. Zbog dodatnih nagnutih pogleda, mogu se izvući točke fasada, što olakšava automatsko dobivanje 3D modela zgrada (Remondino i sur.,2016:640).

5.2. Referentni skup

U istraživačkoj zajednici, uobičajeni pristup evaluaciji novih platformi, podataka i algoritama uključuje pripremu i dijeljenje referentnih skupova. Inspirirani ovim konceptom i prethodnim uspješnim rezultatima, u okviru ISPRS znanstvene inicijative i u suradnji s EuroSDR-om, predložen je višestruki fotogrametrijski referentni skup. Glavni ciljevi ovog referentnog skupa su stvaranje i upravljanje novim skupovima slika različitih tipova preko istog područja te procjena točnosti i pouzdanosti trenutnih metoda u kalibraciji/orijentaciji i integraciji fotogrametrijskih podataka (Remondino i sur.,2016:640).

Referentni skup uključuje zračne kose slike snimljene kamerom IGI PentaCam letjelicom Aerowest, vertikalnih i kosih slika UAV-a snimljenih s višerotornim DIJ S800, kao i konvergentne i kopnene slike odabranih zgrada. Također, skup obuhvaća podatke o zračnom laserskom skeniranju (ALS) i laserskom skeniranju na tlu (TLS), kao i topografske i GNSS orijentacijske točke kao podatke o istini na terenu. Rezultati dobiveni od različitih grupa i uz uporabu različitih softverskih paketa prikazani su u radu koji je objavio Remondino, Gerke i suradnici (Remondino i sur.,2016:641).

5.3. Ostale istraživačke aktivnosti

Prva iskustva s kosim slikama i automatiziranom aerotriangulacijom prikazana su u radovima Jacobsen (2008) te Wiedemann i Moré (2012). Yang i suradnici (2012) predstavili su višestupanjski algoritam temeljen na SIFT podudaranju radi poboljšanja rezultata automatske aerotriangulacije kosih slika. Xiao i suradnici (2013) koristili su približne vanjske orijentacijske elemente u NAIF algoritmu (Nicer Affine Invariant Feature). Karel i Pfeifer (2015) razvili su interni alat nazvan „ORIENT“ za obradu kosih datasetova. Hu i suradnici (2015) predložili su pouzdanu metodu podudaranja značajki koristeći različite prostorne odnose i geometrijske informacije kako bi riješili probleme uzrokovane velikim promjenama gledišta, deformacijama slike, zamućenjem, itd. Frommholz i suradnici (2015) isporučili su semantički anotirane LOD-2.5 CityGML objekte iz kosih slika. Moe i suradnici (2016) prikazuju utjecaj kosih slika na tradicionalni fotogrametrijski proizvodni proces, uspoređujući softver i proizvode. Ostrowski i Bakula (2016) procjenjuju performanse komercijalnih softverskih paketa u obradi blokova slika snimljenih s kosim kamerama.

5.4. Kose slike kod OS UK

Ordnance Survey (OS) UK, nacionalna kartografska agencija za Veliku Britaniju, jedan je od najvećih proizvođača karata na svijetu i od 1. travnja 2015. godine djeluje kao Ordnance Survey Ltd, tvrtka u vlasništvu vlade.

5.4.1. Potrebe za korištenjem kosih slika

OS redovito snima zračne slike pomoću dva istraživačka zrakoplova, Cessna 404 i Vexcel UltraCam Xp kamere. Te slike pružaju podatke za ažuriranje topografskog kartiranja, proizvodnju OS MasterMap sloja slike, stvaranje nacionalnih DSM-ova/DTM-ova i OS MasterMap Topografskog sloja - atributa visine zgrada, izvedenih iz dostupnih DSM-ova/DTM-ova. Iako je zainteresiranost za snimanje 3D podataka bila velika, trenutno OS UK ne proizvodi 3D modele gradova kao standardni proizvod. Nakon što je testirano nekoliko metoda stvaranja 3D modela iz standardnih slika (s preklapanjem do 80% prema naprijed i 60% bočno), zainteresiranost za istraživanje koje se može proizvesti iz kosih zračnih slika na razini proizvodnje, je porasla (Remondino i sur.,2016: 641).

Glavna potreba za kosim slikama je proizvodnja 3D modela urbanih područja, za upotrebu u planiranju, praćenju energije, modeliranju buke i raznim aplikacijama „pametnih gradova“. Za ove aplikacije potrebni su podaci visoke rezolucije, poput slika s razlučivošću od 10 cm GSD i oblaka točaka s razmakom točaka od otprilike 10 cm. Konačni proizvod skupa kosih slika nije odmah očit, jer često ovisi o zahtjevima krajnjeg korisnika. Proizvodi mogu uključivati 3D oblak točaka, 3D mrežu, pravu ortofotografiju, 3D model grada (npr. u obliku CityGML-a) ili jednostavno preglednik kosih slika (Remondino i sur.,2016: 641).

5.4.2. Prednosti

Jedna moguća primjena kosih slika je snimanje topografskih vektorskih podataka izravno iz 3D oblaka točaka generiranog podudaranjem slika na kosim slikama. Ova metoda omogućuje prikupljanje 3D informacija unutar monoskopskog okruženja, izbjegavajući potrebu za skupim stereo softverom i hardverom. Također, kose slike omogućuju pregledavanje značajki koje bi bile zaklonjene u vertikalnoj zračnoj fotografiji. Primjerice, fasade zgrada su vidljive iz više

gledišnih kutova, što olakšava njihovu identifikaciju. Dodatno, uske ulice u gusto naseljenim urbanim područjima mogu biti zaklonjene na vertikalnim slikama, ali su vjerojatno vidljive u barem nekim od kosih slika (Remondino i sur.,2016: 641).

5.4.3. Iskustva

U studenom 2014. godine, Leica Geosystems je snimio područje Bournemoutha na engleskoj južnoj obali koristeći svoju penta kameru RCD30. Jedan od ciljeva OS UK bio je generiranje 3D modela zgrada koristeći module Building Finder i City Modeller softvera Tridicon/Hexagon. City Modeller zahtijeva konture zgrada kao ulazne podatke, generira guste oblake točaka i zatim pokušava prilagoditi predefinirane tipove krova. Modul Building Finder generira 3D modele zgrada otkrivajući površine iz kojih se sastoje 3D modeli zgrada. Tijekom testiranja, za primijetiti je da oba modelirajuća modula koriste samo vertikalne slike iz skupa podataka za stvaranje geometrije, a ne cijeli skup kosih slika (Remondino i sur.,2016: 642).

Najbolji rezultati postignuti su kada je 3D oblak točaka generiran iz cijelog skupa kosih slika korištenjem vanjskog softvera (Acute3D) i zatim uvezen u Tridicon sustav. Tridicon se pokazao dobrim u pronalaženju jednostavnih zgrada, čak i kada nema unosa kontura zgrada. Međutim, svi osim najjednostavnijih modela zgrada zahtijevali su neko ručno uređivanje unutar Tridicona kako bi bili zaista reprezentativni za zgrade koje prikazuju. Softver Acute3D se koristio za stvaranje 3D oblaka točaka iz kosih slika Bournemoutha i utvrdilo se da stvaraju čišće i reprezentativnije oblaka točaka od onih koji se proizvode iz konvencionalnih preklapajućih vertikalnih slika. Daljnja testiranja na dobivenim podacima provest će se kako bi se utvrdila učinkovitost takvih podataka u postupku prikupljanja podataka bez stereoskopa (Remondino i sur.,2016: 642).

5.4.4. Ograničenja

Da bi se maksimalno iskoristile kose slike, protokol obrade u OS UK-u morao bi biti značajno prilagođen, posebno jer je trenutačni protokol čvrsto povezan s korištenim sustavom kamera, poput UltraCam senzora koji zahtijevaju UltraMap softver. Glavno ograničenje u procesu nabave kosih slika može biti potrebno preklapanje vertikalnih slika radi generiranja 3D oblaka točaka i pripadnih 3D modela. Uobičajeno je da slike za ažuriranje topografske karte imaju

preklapanje od 80% prema naprijed i 30% bočno. Međutim, s kosim slikama bi bilo potrebno veće bočno preklapanje kako bi se maksimalno iskoristile, što bi zahtijevalo mnogo više linija leta i posljedično bi povećalo troškove zračnog istraživanja. Stoga bi se, kako bi se optimalno iskoristile kose slike, možda trebalo prilagoditi strategije preklapanja i pristup nabavi podataka (Remondino i sur.,2016: 642).

5.4.5. Vizija

Vidi se potreba za kosim slikama koje će omogućiti detaljniju vizualizaciju urbanih područja i generiranje visoko razlučivih 3D skupova podataka. Istraživanja su pokazala da se kose slike mogu koristiti za stvaranje 3D oblaka točaka koji su reprezentativniji od onih dobivenih korištenjem vertikalnih slika s višestrukim preklapanjem. Međutim, trenutno ta potreba još nije dovoljno snažna da bi rezultirala obvezom za operativnu upotrebu kosih slika u OS UK-u. Ipak, nastaviti će se pratiti razvoj hardvera i softvera te razvijati primjene kosih slika, s nadom da će postati operativna metoda prikupljanja podataka u bliskoj budućnosti (Remondino i sur.,2016: 642).

5.5. Kose slike kod OSi Irska

Ordnance Survey Ireland (OSi) je nacionalna kartografska agencija Irske. Osnovana je 2002. kao pravna osoba i nasljednica nekadašnjeg Ordnance Survey of Ireland-a, koji je prvotno osnovan 1824. godine.

5.5.1. Potrebe za korištenjem kosih slika

Ordnance Survey Ireland (OSi) trenutno se usredotočuje na poboljšanje točnosti geometrije, posebno u urbanim područjima, koristeći se modernim tehnološkim napretkom. OSi je razvio niz aplikacija koje pomažu u poboljšanju točnosti položaja, ali razmatra i druge opcije za rješavanje tih problema. Preferirana opcija OSi-a je ponovno snimanje karakteristika krajolika kako bi se postiglo poboljšanje. Nedavno su implementirali novi model podataka i sustav za upravljanje podacima koji je posebno dizajniran za pohranu i upravljanje 3D podacima. Sada provode testiranja s kosim slikama kako bi razvili metodologiju za automatsko ili

poluautomatsko snimanje i digitaliziranje krajolika u 3D, kao čvrstih objekata, s točnostima povezanim s razlučivošću slike (Remondino i sur.,2016: 642).

5.5.2. Prednosti

Korištenje kosih slika za ovu svrhu nosi nekoliko prednosti, uključujući smanjenje prekrivenosti u gradskim krajolicima zbog većih kutnih pogleda te poboljšano modeliranje 3D površina kao što su izbočine, nadstrešnice, krošnje i podvožnjaci. Mogućnost automatske primjene slika za teksturiranje predstavlja veliku prednost, posebno ako oblici zgrada ostaju isti, ali se mijenja njihova funkcija. Također, spajanje s Uredom za registraciju imovine Irske i Uredom za procjenu Irske kako bi formirala novu organizaciju pod nazivom Táilte Éireann omogućuje OSi-u pristup radu drugih entiteta koji će biti koristan u poboljšanju identifikacije i interpretacije iz uredskog okruženja, što će olakšati efikasniji proces donošenja odluka na temelju dokaza (Remondino i sur.,2016: 642).

5.5.3. Iskustva

OSi je počeo implementirati protokole rada koji se integriraju u njihovu postojeću infrastrukturu. Područje na sjeveroistoku zemlje je snimljeno pomoću Hexagonovog Pentapod kamernog sustava (Leica RCD30). Slike su aerotriangulirane koristeći nacionalnu aktivnu GNSS mrežu, a iz njih su izvučeni oblaci točaka. Cilj je bio automatski izvući 3D zgrade iz generiranih oblaka točaka korištenjem aplikacija Tridicon/Hexagon (City Modeller i Building Finder). Nakon toga su rezultati uspoređeni u smislu točnosti položaja i postotka uspješnosti identifikacije zgrada. Zaključci iz usporedbe pokazali su da je City Modeller imao veći postotak uspješnosti u identifikaciji zgrada. U područjima gdje su zgrade imale uniformnije oblike, tipično u predgrađima, postotak uspjeha bio je veći nego u područjima poput središta grada gdje su oblici zgrada bili jedinstveniji (Remondino i sur.,2016: 643).

5.5.4. Ograničenja

Upravljanje fuzijom podataka oblaka točaka iz vertikalnih i kosih slika te mogući problemi s relativnim točnostima predstavljaju izazove u procesu. Preciznost identifikacije ciljeva i

georeferenciranje može biti složenije zbog razlika u perspektivi i geometriji snimljenih podataka. Povećanje volumena slika u projektu dramatično utječe na različite faze obrade, uključujući upravljanje slikama, vrijeme obrade, prilagodbu snopa, generiranje oblaka točaka te pohranu i arhiviranje podataka. Kalibracija kamera također postaje složenija u usporedbi s vertikalnim kamerama. Tijekom testova primijetilo se ograničenje u softverskoj aplikaciji korištenoj za obradu zračnih podataka za izgradnju 3D zgrada, jer nije uzela u obzir točke fasada. To bi moglo utjecati na konačne rezultate obrade (Remondino i sur.,2016: 643).

5.5.5. Vizija

Dok se proces spajanja u Táilte Éireann privodi kraju, postat će osnovni izvor svih geoprostornih informacija potrebnih za upravljanje zemljištem u Irskoj. S obzirom na tu poziciju, Ordnance Survey Ireland (OSi) ima viziju da u početku koristi kose slike u urbanim područjima kako bi unaprijedio točnost položaja. Kao nacionalna kartografska agencija, njihova ponuda podataka bit će modernizirana za 21. stoljeće, a model podataka Prime2 bit će unaprijeđen kako bi mogao pohranjivati, upravljati i pružati teksturirane 3D objekte stvarnog svijeta (Remondino i sur.,2016: 643).

5.6. Kose slike kod ICGC-a Španjolska

Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya (ICGC) je regionalna kartografska agencija Vlade Katalonije (Španjolska) koja je osnovana krajem 1982. godine. Njihove aktivnosti usmjerene su na pružanje važnih geoinformacija planerima i donositeljima odluka o teritoriju. ICGC proizvodi topografske baze podataka u urbanim područjima u mjerilu 1:1000, što rezultira modelima zgrada LOD1 (2,5D) u vektorskom formatu kao nusproizvod. Njihov plan uključuje nadogradnju urbanog kartografskog prikaza u mjerilu 1:1000 na standard LOD2. Za modeliranje urbanih područja, ICGC koristi i rješenja bazirana na LIDAR-u kako bi dobili oblake točaka koji će se koristiti za razvoj ekoloških aplikacija, poput analize solarnog potencijala, ili za dobivanje modela zgrada LOD2 (Remondino i sur.,2016: 643).

5.6.1. Potrebe za korištenjem kosih slika

U svrhu poboljšanja realističnog izgleda svojih proizvoda, ICGC je odlučio obogatiti postojeće modele stvarnom teksturom. Nadalje, provode se testiranja kosih slika kako bi se generirale 3D teksturirane mreže urbanih okoliša s ciljem unaprjeđenja koristi visokih rezolucija ortofotografija i modela zgrada LOD3 u smislu geoinformacija i korisničkog iskustva. Kao rezultat toga, kose slike su postale ključan element u strategiji kartiranja urbanih područja u okviru ICGC-a (Remondino i sur.,2016: 643).

5.6.2. Prednosti

ICGC vjeruje da će uvođenje proizvodne linije koja se oslanja na kose slike poboljšati kvalitetu njihovih proizvoda, prvenstveno u pogledu vizualne kvalitete, a u budućnosti i u smislu geometrijske preciznosti. Korištenje kombinacije gustog podudaranja slika i algoritama rekonstrukcije iz više gledišta omogućuje prikupljanje detaljnih informacija o fasadama, što predstavlja prirodnu evoluciju dvodimenzionalnih ortofotografskih slojeva i otvara put stvaranju 3D modela gradova ili 3D ortofotografija (Remondino i sur.,2016: 643).

5.6.3. Iskustva

Prema iskustvu ICGC-a, novi sustavi kosih kamera pokazuju bolje performanse kada su konfigurirani s preklapanjem od 80x80 i GSD-om od otprilike 6-7 cm. Smanjenje preklapanja na standardne vrijednosti poput 60x60 ili 60x40 rezultira većom korelacijom buke i većim zaklonima (Remondino i sur.,2016). S obzirom na to da većina dostupnih sustava koristi kamere s srednjim formatom koje koriste Bayerov filter za multispektralno snimanje, približna rezolucija je manja od nominalnog GSD-a leta, stoga nije preporučljivo povećavati visinu leta. ICGC je koristeći sintetičke metode i slike snimljene s Leica RCD30 kamerom izmjerio učinkovite rezolucije od 1,98xGSD, 1,32xGSD i 2,21xGSD za crvene, zelene i plave valne duljine, redom. S obzirom na tipične veličine kosih zračnih blokova u stvarnom proizvodnom okruženju, ICGC je implementirao paralelizaciju procesa i uspostavio infrastrukturu, politike i mehanizme za upravljanje velikim skupovima podataka uz očekivani stupanj ocjenjivanja i kontrole kvalitete unutar standardnog fotogrametrijskog radnog tijeka (Remondino i sur.,2016: 643).

ICGC je, kroz izvršene testove, uspio generirati fotorealistične poligonalne modele građevina kako bi poboljšao njihov stvarni izgled, uz mogućnost dodavanja semantike i dijeljenja takvih informacija putem interneta.

5.6.4. Ograničenja

Veliko preklapanje na niskim visinama i sustav višestrukog snimanja predstavljaju izazove u izvođenju leta i sposobnostima obrade. Pokrivanje velikih područja zahtijeva veliki broj sati letenja, pa je potrebno pažljivo razmotriti uvjete osvjetljenja, koji su složeniji kod kosih slika zbog različitih situacija osvjetljenja koje utječu na različite kamere u istom snimku. Obrada kosih letova s visokim preklapanjem uključuje rukovanje vrlo velikim skupovima podataka i zahtijeva prilagodbu upravljanja podacima, politika čuvanja podataka i obradnih sposobnosti radi skalabilnosti proizvoda prije prijelaza s prototipiranja na proizvodnu fazu (Remondino i sur.,2016). Trenutni radni tokovi za obradu slika, aerotriangulaciju, generiranje gustih oblaka točaka i 3D podataka imaju prostora za poboljšanje. Davatelji softvera nastoje riješiti ove probleme, no često nailaze na neuspjeh aerotriangulacije ili zahtijevaju ručne intervencije radi podjele blokova, što dodatno zahtijeva radnje spajanja rezultata. Vizualizacija i eksploatacija 3D podataka ograničena je malim brojem sustava s 3D sposobnostima, a potrebno je dalje standardizirati formate i interoperabilnost sustava.

5.6.5. Vizija

Očekuje se brzo daljnje poboljšanje u obradi i upravljanju kosim podacima. Slično napretku u generiranju DSM-a kroz pristup polu-globalnom podudaranju, kose slike će poticati razvoj prema automatizaciji ekstrakcije zgrada LOD2 temeljenih na algoritmima višeg pogleda. To će se postići ne samo zbog budućih unapređenja metoda obrade, već i zbog smanjenja vremena potrebnog za izlazak na tržište, što će promijeniti očekivanja korisnika u odnosu na trenutni klasični pristup (Remondino i sur.,2016). Sličan napredak se očekuje i za 3D teksturirane mreže, s poboljšanjem kvalitete 3D rekonstrukcija korištenjem novih algoritama i kombinacijom različitih izvora podataka (ravna ograničenja, LiDAR podaci, itd.), te rastom novih aplikacija koje kombiniraju 3D mreže i vanjske informacije kako bi se dobili strukturirani

podaci koji nadilaze 3D ortofotografije dodavanjem semantičke interpretacije (Remondino i sur.,2016: 644).

6. FOTOGRAMETRIJSKA OBRADA

Kose slike danas predstavljaju snažan izvor geodataka s raznovrsnim primjenama i potencijalom, posebno u urbanim područjima. Njihova upotreba omogućuje:

- Jednostavniju (ili poboljšanu) identifikaciju objekata i čitljivost geografskih informacija.
- Generiranje gušćih 3D oblaka točaka, uključujući vertikalne elemente, s većom pouzdanošću u usporedbi s tradicionalnim vertikalnim snimkama.
- Mjerenje visina, duljina i površina značajki direktno iz pojedinačnih slika.
- Brzu generaciju pravih ortofotografija.
- Proširenje tradicionalnih 2D GIS podataka.

6.1. Automatsko izdvajanje kontrolnih točaka

Današnji unutarnji i vanjski parametri zračnih slika obično su poznati a priori, dobiveni prethodnom kalibracijom ili izravnim mjerenjem pomoću senzora na letjelici (GNSS/IMU). Ipak, ti se parametri općenito smatraju približnima u metričkim i automatskim primjenama, stoga je nužno prilagoditi ih metodom najmanjih kvadrata. Iako precizno izjednačenje, posebno za kose slike, još uvijek ostaje izazov, trenutna rješenja barem omogućuju približna mjerenja, primjerice u aplikacijama temeljenima na „monoplottingu“. Usvojene su i prilagođene metodologije naučene iz prakse na bliskim rasponima u konvergentnim i neuređenim blokovima terestričkih slika prema potrebi (Remondino i Gerke, 2015). Glavna prepreka koju treba prevladati jest generiranje odgovarajućih točaka između preklapajućih slika u razumnom vremenu. Skupovi slika (parovi, trojke, itd.) koji maksimiziraju njihovu sličnost obično se uparuju jedan s drugim koristeći operatore detektora/deskriptora (npr. SIFT). Ti skupovi slika identificiraju se uz pomoć informacija GNSS/IMU i grafa povezanosti. Senzori povezanosti ističu prostorne odnose između slika, što ubrzava izdvajanje odgovarajućih točaka slika i smanjuje broj mogućih izvanrednih točaka. Povezanost između slika predstavlja graf s čvorovima i bridovima koji označavaju slike i njihove prostorne odnose. Dvije slike povezane su bridom samo ako su prostorno kompatibilne. Općenito, postoje tri uvjeta koji moraju biti

ispunjeni da bi par slika bio smatran kompatibilnim i da bi se izdvojene odgovarajuće točke koristile u sljedećem postupku izjednačavanja snopa:

1. Njihovi otisci na tlu se poklapaju s određenim postotkom.
2. Smjerovi gledanja kamera su slični ili je jedna od kamera vertikalna.
3. Broj izdvojenih homolognih točaka za par je iznad određenog praga (Remondino i Gerke, 2015: 77).

6.2. Aerotriangulacija slika (izjednačavanje snopa)

Izlazne točke na slikama mogu uzrokovati netočne rezultate. Osim toga, složena geometrija mreže kosih blokova slika i nelinearnost kolinearnog modela zahtijevaju dobre početne približne vrijednosti za sve nepoznate parametre. Izjednačavanje snopa sa sustavom sa više kamera mora rukovati različitim kamerama s različitim unutarnjim (IO) i vanjskim (EO) orijentacijskim parametrima. Parametri kamere mogu se dobiti bez ograničenja, što znači da svaka slika koristi neovisne EO za svaku akviziciju, ili s dodatnim ograničenjima, u kojima se relativne rotacije i pomak između kamera dodaju u matematički model radi smanjenja broja nepoznanica i stabilizacije rješenja snopa (Remondino i Gerke, 2015:77).. Međutim, to zahtijeva sinkrono okidanje kamera, što nije uvijek moguće, posebno u polu-profesionalnim sustavima. Unutarnja orijentacija svake kamere može se pretpostaviti poznatim iz laboratorijske kalibracije ili istodobno izračunati u rješenju snopa pomoću samo-kalibracije. Velika redundancija opažanja u kosim slikama pomaže u odabiru najboljih odgovarajućih točaka i postizanju visoke točnosti u 3D rekonstrukcijama (Remondino i Gerke, 2015).

6.3. Gusta podudarnost slika

Kose slike omogućuju detaljniji opis urbanih područja, omogućujući izvlačenje gustih oblaka točaka i pružanje više informacija u kontekstu „pametnih gradova“, gdje su fasade i zgrade obično potpuno rekonstruirane. Međutim, još uvijek se mogu pojaviti neslaganja ili pogrešne rekonstrukcije iz nekoliko razloga:

1. Objekti su snimljeni s različitim mjerilima.

2. Prisutnost više očuvanih područja zbog različitih smjerova gledanja.
3. Varijacije u dubini i GSD slike dovode do većeg raspona razlika.
4. Manji kutovi presjeka i baze između slika mogu uzrokovati povećanu osjetljivost na buku prilikom generiranja oblaka točaka (Remondino i Gerke, 2015:78).

Preporučljivo je provesti letove s većim preklapanjem kako bi se prevladali neki od ovih problema, iako to može rezultirati većim skupovima podataka i povećanim troškovima, zahtijevajući daljnju obradu i vizualizaciju oblaka točaka.

6.4. 3D modeli gradova

Točni 3D modeli gradova su ključni za podršku raznim „pametnim gradskim“ aplikacijama poput upravljanja prostorom, procjene energije, 3D katastra, kartiranja buke i onečišćenja te upravljanja katastrofama. U posljednjih nekoliko desetljeća, ovi modeli su se koristili uglavnom za vizualizaciju, ali su postali važni i za druge svrhe, što je potvrđeno projektom EuroSDR „Identifying the Economic Value of 3D Geoinformation“. Mnogi znanstvenici iz različitih područja, poput fotogrametrije, daljinskog istraživanja, geoinformatike, računalnog vida i računalne grafike, uložili su napore u dobivanje točnih i ažuriranih 3D modela zgrada. U urbanim područjima, najčešći izvor podataka za 3D geometriju su zračni podaci, bilo pasivni (LiDAR) ili aktivni (zračne slike) (Remondino i Gerke, 2015:78). Nedavni razvoj metoda temeljenih na slikama potiče korištenje slikovnih podataka za ekstrakciju 3D točaka s iznimnom geometrijskom razlučivošću i pouzdanošću. Kose zračne kamere također pokazuju potencijal za detaljnu rekonstrukciju fasada zgrada i ekstrakciju otisaka stopala.

Iako su podaci i tehnologije dostupni, te detaljni modeli zgrada su bliski stvarnosti, još uvijek postoje neka nerasvijetljena pitanja, posebno kada je riječ o 3D modeliranju složenih urbanih scenarija kao što su povijesni gradski centri s uskim ulicama i nekonvencionalnim oblicima zgrada. Većina pristupa 3D modeliranju zgrada uvodi jake pretpostavke o simetriji i tipologiji krova, što može ograničiti njihovu primjenu u složenim urbanim scenarijima (Remondino i Gerke, 2015:79). Automatska rekonstrukcija visoko preciznih modela zgrada još uvijek predstavlja izazov, jer često zahtijeva znatno ručno uređivanje, posebno kod neobičnih i različitih krovnih oblika. Također, korištenje kosih pogleda za rekonstrukciju fasada još uvijek

ima određenih ograničenja s razlučivošću slike i očuvanjem detalja, što može utjecati na kvalitetu rezultata.

Mnoge općine provode (ili planiraju započeti) izradu 3D modela gradova, a kose slike mogu biti korisne u tom kontekstu na različite načine. Prvo, informacije o fasadama dostupne su iz zračnih kosih slika te se mogu koristiti za proširenje postojećih geometrijskih modela, primjerice dobivenih iz LiDAR senzora, barem za teksturiranje (Remondino i Gerke, 2015). Također, kose slike mogu biti korisne za daljnju interpretaciju i inspekciju, na primjer, za dobivanje informacija o broju katova ili namjene zgrade (npr. komercijalna, stambena ili mješovita). Za detaljnije modeliranje, kao što je to slučaj s LOD3 prema standardu cityGML (arhitektonski modeli), moguće je izdvojiti detalje duž fasada i na bočnim dijelovima krova. To se može postići softverom koji koristi guste točke odgovarajućih oblaka kao ulaz, ili - za veću preciznost i detalje - korištenjem slika izravno, kao što su ImageModeler (Autodesk) ili Tridicon (3DCon) (Remondino i Gerke, 2015:79).

6.5. Monoplotting (mjerjenje visina zgrada)

U aplikacijama gdje su potrebne samo približne mjere, „monoplotting“ u kosim slikama može biti adekvatan alat. Koristeći samo jednu sliku i prethodno postojeći terenski model, udaljenosti u horizontalnom i vertikalnom smjeru mogu se izračunati i generirati CAD-slični modeli. Posebno, činjenica da su fasade vidljive u zračnim kosim slikama čini ih privlačnim za mjerjenje visine (Remondino i Gerke, 2015). Terenska točka T promatranog T' izračunava se presijecanjem gledajućeg zraka (definiranog projekcijskim centrom i T') i terenskim modelom. Vertikalna udaljenost dh iznad T računa se skaliranjem promatrane točke dr' s mjerilom kod T . Online preglednik Oblivision tvrtke Idansoft omogućuje jednostavno izvlačenje horizontalnih i vertikalnih mjera objekata. Slični alati dostupni su, na primjer, od tvrtki Orbitgt ili Overit (Remondino i Gerke, 2015:79)

7. EUROS DR BENCHMARK

EuroSDR, međunarodna organizacija koja predstavlja europske kartografske agencije i istraživačke organizacije, prati razvoj koso zračnih kamera od 2013. godine. Istraživanja su pokazala potencijal koso zračnih kamera za potrebe nacionalnog kartiranja i modeliranja gradova, što se sve više istražuje i primjenjuje. U istraživačkoj zajednici, čest način evaluacije novih platformi, podataka i algoritama je kroz pripremu i dijeljenje „benchmarkova“ (Remondino i Gerke, 2015). Uspješne inicijative „benchmarkova“, poput Middlebury testa za gusto uparivanje slika, ISPRS WGIII/4 testa za detekciju urbanog objekata i rekonstrukciju 3D zgrada, KITTI suite za istraživanje mobilne robotike i autonomnu vožnju ili EuroSDR-ov „benchmark“ za uparivanje slika, pokazuju da pružanje zajedničkih skupova podataka, zajedno s definiranim znanstvenim zadacima, omogućuje istraživačima objektivno uspoređivanje svojih metoda s metodama drugih te identificiranje zajedničkih problema i otvorenih izazova. Inspirirana tim konceptima, ISPRS Scientific Initiative i EuroSDR predložili su „benchmark“ s ciljem stvaranja i upravljanja novim skupom podataka za istraživačku zajednicu, koji bi uključivao različite tipove slika preko iste izgrađene površine (Remondino i Gerke, 2015:80). Ciljevi ovog „benchmarka“ su pružiti podatke o različitim područjima, usredotočujući se na različite terene, stilove gradnje i epohe, te procijeniti točnost i pouzdanost trenutnih metoda u kalibraciji/orijentaciji, kao i integraciji tih podataka za generiranje gustih oblaka točaka i ekstrakciju značajki.

7.1. Skupovi podataka i isporuke

Projekt istražuje akviziciju i obradu različitih skupova podataka na dvije testne površine. Ovi podaci uključuju zračne kose slike koje pokrivaju sve četiri kardinalne smjerove i vertikalne snimljene s IGI PentaCam kamerom letjelice Aerowest, vertikalne i kose slike s višerotorskim DIJ S800 UAV-om, kao i konvergentne i redundatne kopnene slike odabranih zgrada. Osim toga, podaci uključuju oblak točaka zračnog laserskog skeniranja (ALS), kopnenog laserskog skeniranja (TLS) te topografske i GNSS temeljene točke. Budući da će ovi podaci biti dostupni javnosti, očekuje se da će biti cijenjeni od strane istraživača za istraživanje tema poput radiometrije višestrukih slika (BRDF) i semantičke analize. Evaluacija rezultata orijentacije

većinom se provodi korištenjem kontrolnih točaka (CKs) (Remondino i Gerke, 2015:80), a gustoća oblaka točaka koje dostavljaju sudionici bit će uspoređena s podacima stvarnog stanja.

7.2. Anketa EuroSDR-a

EuroSDR je 2014. godine proveo istraživanje o trenutnom stanju zračnih snimaka kako bi bolje razumio praksu i potrebe korisnika sa kosim sustavima sa više kamera. Upitnik je bio dostupan na mreži oko 6 mjeseci, a sudjelovalo je gotovo 150 osoba, od kojih je 11 bilo iz grupe dobavljača. Većina sudionika (45%) bila je iz akademske zajednice, dok je 21% bilo iz Nacionalnih kartografskih agencija.

U većini pitanja, kako korisnici tako i dobavljači, uglavnom su se složili s odgovorima. Potencijalne primjene kosih slika uključuju kartiranje zgrada i gusto sparivanje slika radi rekonstrukcije u 3D-u. Većina sudionika (71%) istaknula je „jednostavniju identifikaciju objekata“ kao jedan od glavnih benefita ovih slika. Očekivanja su podijeljena u pogledu povećanja automatizacije, pri čemu samo 40% sudionika očekuje takvo poboljšanje, dok oko 60% očekuje povećanje pouzdanosti (Remondino i Gerke, 2015:81).

8. DSM I TOČNOST KOSIH SLIKA

U fotogrametrijskom području posljednjih nekoliko godina razvijene su tehnologije koje uključuju višestruke digitalne kose kamere kao što su izrada visoko preciznih 3D modela gradova, katastarske aplikacije, dokumentiranje kulturne baštine te generiranje digitalnih modela površina (DSM). Ove kamere ne samo da promatraju istu metu iz različitih kutova, već i omogućuju određivanje geometrije zahvaljujući posebnom softveru. Jedan od zanimljivih novih sustava je Leica RCD30, koji kombinira okomite (nadir) i kose kamere prema shemi „malteškog križa“ (Pepe i Prezioso, 2016:63). Ovaj sustav omogućuje snimanje ko-registriranih multispektralnih RGB i NIR slika iz jedne kamere. Sustav je povezan s GNSS/INS sustavima radi bržeg i preciznijeg georeferenciranja (Pepe i Prezioso, 2016).

Visoka razlučivost DSM-a definirana je kao reprezentacija promatranog prizora s udaljenosti uzorka tla (GSD) manje od 10 cm. Gusti digitalni modeli površina dobivaju se kroz dva različita pristupa: jedan koji koristi fotogrametrijsku rekonstrukciju temeljenu na tehnici obrade grafike (GPU) i višejezgrenih CPU-ova za bržu obradu podataka, a drugi koji koristi algoritme Strukturu iz pokreta (SfM) iz računalne vizije (Pepe i Prezioso, 2016:63). Uz akvizicijski sustav, važno je definirati i odgovarajuću obradnu tehniku slike. Kvaliteta DSM-a u oba pristupa ovisi o uzorkovanju tla (Pepe i Prezioso, 2016).

8.1. GSD, broj skala i točnost kosih slika

Za svaku digitalnu kameru, kombinacija žarišne duljine i veličine piksela određuje određenu razlučivost tla (GSD).

U slučaju vertikalnog zračnog leta, odnos između GSD-a i relativne visine leta je:

$$GSD = \frac{H}{f} S \quad (1)$$

gdje je: GSD - Razlučivost tla; f - Žarišna duljina; S - Veličina piksela; H - Relativna visina leta (Pepe i Prezioso, 2016:64).

Mjerilo unutar kose slike ovisi o nekoliko parametara:

$$m = \frac{H \cos (\beta - t)}{f \cos \beta} \quad (2)$$

Gdje je: m - Skala na ciljnoj točki; t - Kut nagiba; β - Kut između zrake gledanja prema cilju i okomice; α - Polovica vidnog polja (Pepe i Prezioso, 2016:64).

Mjerilo, $m_{PP'}$, na glavnoj točki slike, PP' , je:

$$m_{PP'} = \frac{H}{f \cos t} \quad (3)$$

Fiksiranjem visine leta i odabirom parametara razmatranog fotogrametrijskog sustava, mjerilo na glavnoj točki kose slike poprima određene vrijednosti. To znači da se pri istoj visini leta pojavljuju različiti GSD-ovi prema shemi kamera i s povećanjem visine leta, razlika u GSD-u između vertikalnog i kosog zračnog leta postaje važnija (Pepe i Prezioso, 2016:64).

Na primjer, razmatrajući visinu leta od 2 500 m, ako je let akvizicije vertikalalan dobivamo GSD = 30 cm, dok ako odaberemo kosi zračni let dobijemo GSD = 37 cm.

Dakle, GSD varira ovisno o geometriji fotogrametrijskog kosog zračnog leta i to treba uzeti u obzir u fazi planiranja leta kako bi se postigla određena točnost.

U studiji točnost kosih stereo slika javlja se u dva slučaja: nagib poprečno na putanju (gledanje sa strane - lateralno) i nagib duž putanje (gledanje naprijed). U prvom slučaju (nagib poprečno na putanju), vrijednost točnosti (Gerke, 2009) je:

$$\begin{cases} \sigma_H \cong \sqrt{(\sigma'_H \cos t)^2 + (\sigma'_{X,Y} \sin t)^2} \\ \sigma_{X,Y} \cong \sqrt{(\sigma'_H \sin t)^2 + (\sigma'_{X,Y} \cos t)^2} \end{cases} \quad (4)$$

gdje:

$$\sigma_{H'} \cong \frac{H'}{B} m \sigma_{p_x} \quad (5)$$

$$\sigma_{x,y}' \cong \frac{1}{2} m \sigma_{p_x} \quad (6)$$

i označavajući sa:

σ_{p_x}' točnost paralakse

$$H' = m f \quad (7)$$

U drugom slučaju (nagib duž putanje), vrijednost točnost (Gerke, 2009) je:

$$\begin{cases} \sigma_{H_i}' \cong \sigma_{H_{ii}}' \cong \sqrt{\left(\frac{H_{ii}'}{p_x}\right)^2 \sigma_{p_x}^2 + \left(\frac{B' \sin t}{p_x}\right)^2 \sigma_{p_x}^2} \\ \sigma_{x,y}' \cong \frac{H_i'}{f} \sigma_x \end{cases} \quad (8)$$

gdje:

p_x - paralaksa koju treba izračunati za procjenu

$$B' \cong B \cos t \quad (9)$$

$$\Delta H' \cong B \sin t \quad (10)$$

$$H_i' \cong m f \quad (11)$$

$$H_{ii}' \cong H_i' - \Delta H' \quad (12)$$

Prosječna paralaksa p_x potrebna za procjenu točnosti kosih slika dobiva se iz razlike između udaljenosti u kosoj i vertikalnoj slici.

8.2. Razmatranje o zračnim snimkama s kosim kamerama

Tradicionalni fotogrametrijski radni tok, koji koristi određeni postotak preklapanja slika (60% prema naprijed i 30% bočno), stvara zone zaklona i smanjuje redundanciju informacija slike.

Stoga je poželjno povećati preklapanje slika u letovima iznad gradova, bez obzira na vrstu restitucije (Pepe i Prezioso, 2016:65).

Veliko preklapanje omogućuje veću vjerojatnost uspješnih podudaranja, ali istovremeno mala osnovna linija rezultira niskom točnošću visine. To znači da, želeći osigurati temeljitu i detaljnu DSM, plan leta mora biti dobro osmišljen (Pepe i Prezioso, 2016).

Također je potrebno uzeti u obzir operativne čimbenike - visoka prostorna razlučivost slika zahtijeva nisku razinu leta. Niska visina leta može utjecati na topografiju i lokalno temperaturno polje atmosferskog zraka. To može rezultirati snimanjem elemenata koji ne pripadaju sceni, poput donje strane zrakoplova ili poklopca. Sve to zahtijeva prikladne meteorološke uvjete i temeljito planiranje leta.

9. KOMBINACIJA VERTIKALNIH I KOSIH SLIKA

Interpretacija vertikalnih zračnih ili svemirskih slika zahtijeva određeno iskustvo, dok je interpretacija zemaljskih ili kosih slika obično jednostavnije, budući da su sličnije standardnom iskustvu gledanja objekata. Međutim, vertikalne slike obično ne snimaju fasade zgrada ili ih prikazuju vrlo ograničeno. Kombinacija vertikalnih i kosih slika otvara nove mogućnosti u fotogrametriji (Jacobsen, 2009). U svom izvješću s ISPRS kongresa 2008. godine, iz tvrtke Racurs napisali su:

1. „Postoji snažan pokret prema kombiniranju tradicionalnih vertikalnih slika s kosim slikama snimljenim pod visokim kutovima kako bi se izgradili 3D modeli gradova s teksturama zidova zgrada snimljenih s kosih fotografija“ (Petrie, 2009).
2. „Za nestručnjake u hitnim službama (vojsci, policiji, vatrogascima, hitnoj pomoći), kombinacija kosih i vertikalnih slika poboljšava njihovu interpretaciju dok poseban softver omogućuje jednostavna mjerenja na kosim fotografijama“ (Petrie, 2009).

Sustavi poput Pictometryja široko se koriste, pogotovo kroz Microsoft Virtual Earth, kako bi se prikazale kombinirane slike. Blom Group, primjerice, koristi 13 Pictometry kamera za snimanje gradova diljem zapadne Europe. Komercijalno, ovi sustavi koriste se za vizualne preglede i jednostavna mjerenja udaljenosti u svrhe javne sigurnosti i planiranja. Osim toga, Pictometry ima primjena u pronalaženju nadmorskih visina određene lokacije do pronalaženja površina lokacija (Jacobsen, 2009). U SAD-u, najveća uporaba Pictometry slikovnih podataka čini se da je od strane agencija za nacionalnu sigurnost (policija) i hitnih službi (vatrogasna, hitna medicinska pomoć). Za integraciju s geoinformacijskim sustavima, potrebno je poznavanje vanjske orijentacije svake slike i digitalnog modela terena.

Pictometry može cijeli proces učiniti puno bržim, lakšim i s puno manje gnjavaže. Pictometry smanjuje broj programa, karata i vremena potrebnog za dobivanje „projekta“ poput prikazanog gore za značajno vrijeme. Ako bi više tvrtki i industrija moglo koristiti Pictometry, njihovi bi projekti bili puno lakši i jednostavniji za upotrebu.

Kose zračne slike nisu novost i koriste se već dugi niz godina, čak i u vojne svrhe za izviđanje. U ovom trenutku, mnogo više digitalnih kosih sustava za snimanje dizajnira se i gradi:

1. Na vojnom području - upotreba „skalabilnih sustava“ za pružanje velike pokrivenosti područja u svrhe „trajnog nadzora“ i široke poprečne pokrivenosti u svrhu izviđanja.
2. Na civilnoj strani - kose kamere za pružanje većeg formata slika u svrhe kartiranja i za dobivanje visoko kutnih kosih slika posebno u svrhu vizualizacije.

Kalibracija i orijentacija takvih sustava, kao i njihova primjena, poznati su već duže vrijeme. Danas se koriste digitalne kamere srednjeg formata, poput sustava Track'Air MIDAS, koji kombiniraju vertikalni i kosi pogled. Međutim, ovi sustavi zahtijevaju redovitu provjeru kalibracije zbog ograničene geometrijske stabilnosti kamera (Jacobsen, 2009).

9.1. Orijehtacija paketa vertikalnih i kosih slika

Skup podataka koji kombinira standardne zračne širokokutne fotografije i digitalne slike srednjeg formata orijentiran je korištenjem izjednačenja bloka snopova. Tri različite digitalne kamere imaju slične CCD senzore kao Canon EOS i različite žarišne duljine. Kose slike imaju kutove nadira od 50°. Automatsko podešavanje bloka nije bilo moguće zbog neuobičajenog rasporeda i različitih vrsta slika, pa su točke povezanosti morale biti ručno izmjerene. Unatoč tome, podešavanje bloka snopova nije uzrokovao veće probleme. Postignuta srednja kvadratna greška na kontrolnim točkama na tlu bila je zadovoljavajuća za potrebne svrhe, ali ručno mjerenje točaka pokazalo se vremenski zahtjevnim. Za takvu konfiguraciju slika, izravna orijentacija senzora postaje neophodna, posebno za daljnje kalibracije i podršku mjerenju. Nakon inicijalne kalibracije, prethodna kalibracija može se koristiti za buduće mjerenje (Jacobsen, 2009).

9.2. Kalibracija kamernog sustava Track'Air MIDAS

Veća površina je snimljena s kamerom Track'Air MIDAS, organiziranom od strane MultiVision-a. Kamera s vertikalnim pogledom ima žarišnu duljinu od 23.8 mm, a kose kamere otprilike 51 mm. To odgovara vertikalnom pogledu s GSD od približno 17 cm i za kose slike od 10 cm x 11 cm do 15 cm x 29 cm. Za kose slike, GSD u smjeru gledanja je GSD u smjeru

preko smjera gledanja podijeljen s kosinusom kutne veličine nadira, pa stoga nije kvadratna veličina (Jacobsen, 2009).

Za podešavanje bloka snopova korištene su 3 linije leta, svaka s 4 vertikalne slike, i odgovarajući kosi pogledi. To bi trebalo dovesti do konfiguracije, ali neke od kosih slika nisu dobro povezane s blokom, pa ne podržavaju kalibraciju značajno. Iz tog razloga neke od tih slika nisu korištene. Središnja linija leta letjela je s juga na sjever, dok su ostale dvije letjele u suprotnom smjeru, što je poboljšalo konfiguraciju kalibracije (Jacobsen, 2009).

Akvizicija podataka izvedena je s LPS-om. LPS nije imao problema s uparivanjem vertikalnih slika i preklapajućih slika u prostoru slika, ali za kose slike uparivanje je ograničeno na povezivanje 2 susjedne slike. Automatsko uparivanje slike cijelog testnog bloka, čak i ako je podržano početnom orijentacijom slike prvog podešavanje bloka snopova, nije uspjelo. LPS nije razvijen za automatsku aerotriangulaciju takve konfiguracije, počevši s problemom različitih žarišnih duljina. Stoga je korištena kombinacija ručnog usmjeravanja i uparivanja dvije slike. Automatsko uparivanje preklapajućih različitih kombinacija slika često dovodi do izvlačenja odgovarajućih objektnih točaka. Korišteni Hannover programski sustav BLUH za podešavanje bloka snopova sposoban je identificirati takve točke na temelju njihovih sličnih objektnih koordinata i može preimenovati odgovarajuće točke u ista imena točaka, što dovodi do boljeg povezivanja blokova (Jacobsen, 2009). Bilo je potrebno neko proširenje za programski sustav BLUH, počevši s automatskim isključivanjem objektnih točaka iz prilagodbe lociranih samo na slikama snimljenim iz istog projekcijskog centra. Takve točke ne dopuštaju izračun objektnih koordinata. Kao kontrolne informacije korištena je ortofotografija s GSD-om od 1 m i DEM. Za vertikalne slike, to je dovelo do σ_0 od 11 μm i srednje kvadratne greške na kontrolnim točkama od 16 cm za X i Y te 1.6 m za Z. Prilagodbom svih slika testnog bloka određena je geometrija sustava i geometrija kamere (Jacobsen, 2009). Dominantne sistematske pogreške slike su radijalno simetrične komponente s vrijednostima do 100 μm , što je uobičajeno za korištene optike. Radijalno simetrične distorzije, kao i ukupne sistematske pogreške slike, slične su za kose pod-kamere koje koriste isti tip leće. Za vertikalnu pod-kameru opremljenu različitim tipom leće razlikuje se od ostalih. Sistematske pogreške slike, ili drugim riječima - razlika između matematičkog modela perspektivne geometrije i stvarne geometrije slike, mogu se poštovati u softverskom sustavu za upravljanje vertikalnim i kosim slikama ili se mogu koristiti za preusmjeravanje slika u strogu perspektivnu geometriju. σ_0 (točnost koordinata

slike) vertikalnih slika od 11 μm odgovara 1.4 piksela. S prosječnom mjerilom slike od 1:11 000, odgovara 12 cm na tlu, što nije daleko od postignutih srednje kvadratne greške na horizontalnim komponentama kontrolnih točaka. Veće greške na visini kontrolnih točaka mogu se objasniti samo ograničenom točnošću DEM-a korištenog za određivanje visina kontrolnih točaka. U prilagodbi svih slika zajedno, σ_0 je s 33 μm veća, uzrokovana različitim smjerom gledanja, ali djelomično i ograničenom točnošću visina kontrolnih točaka. Podržana relativnim kinematičkim GPS-pozicijama projekcijskih centara, također je unaprijeđena unutarnja orijentacija (Jacobsen, 2009). Naravno, postoji snažna korelacija između pomaka GPS-pozicija, posebno u Z-smjeru, i unutarnje orijentacije, ali konfiguracija bloka zajedno s fiksiranjem odgovarajućih projekcijskih centara podržava određivanje unutarnje orijentacije. Na temelju unaprijeđene unutarnje orijentacije kombiniranim podešavanjima bloka s GPS-koordinatama projekcijskih centara, spajajući i odgovarajuće projekcijske centre vertikalnih i kosih slika zajedno, odnosi kosih kamera na vertikalnu kameru moraju se odrediti. Orijentacije slika uzete iz svakog projekcijskog centra moraju se rotirati množenjem rotacijskih senzora inverznim rotacijskim senzorom vertikalne slike. To vodi do vrijednosti rotacije za vertikalnu sliku od 0° za sve tri rotacije. Prosječne relativne orijentacije kosih slika u odnosu na pogled s nadira identične su unutarnjoj kalibraciji sustava (Jacobsen, 2009). Na temelju orijentacije kombiniranog prilagođavanja, kalibracija osi može se izračunati usporedbom orijentacije iz kontroliranog podešavanja bloka snopova s inercijskim orijentacijama. Vrijednosti kalibracije osi odnose se na roll, pitch i yaw-sustav, potrebne transformacije izvode se unutar Hannover programa GPSCOR. Tako izračunate vrijednosti korekcije inercijskih podataka odgovaraju orijentaciji vertikalne kamere. S vrijednostima unutarnje kalibracije sustava (rotacije kosih kamera u odnosu na vertikalnu kameru), s programom ROTOR može se izračunati vanjska orijentacija svih slika projekta. Naravno, tako izračunate orijentacije, unutar podbloka kalibracije, trebale bi biti bliske orijentacijama iz kontroliranog podešavanja bloka snopova. Kappa-vrijednosti orijentacije pod-kamera u odnosu na vertikalnu referentnu kameru pokazuju da su pod-kamere uvijek usmjerene u kosi smjer gledanja. Kutovi kosih kamera variraju od 49.1 gradova do 51.3 gradova (44.2° do 46.2°). S orijentacijom pod-kamera u odnosu na vertikalne slike, orijentacije su izračunate ROTOR-om. S ovim orijentacijama, objektne koordinate izračunate su kombiniranom presjekom, rezultirajući na kontrolnim točkama s $\text{RMSX}=0.62$ m, $\text{RMSY}=0.60$ m i $\text{RMSZ}=1.63$ m, što zadovoljava očekivanja (Jacobsen, 2009).

Kombinacija vertikalnih i kosih kamera, kao što je sustav kamere Track'Air MIDAS, zahtijeva preciznu unutarnju kalibraciju sustava radi optimalne orijentacije bloka slika. Ova kombinacija rezultira snažnim preklapanjem slika, što može biti izazovno za automatiziranu obradu standardnim komercijalnim programima. Stoga je izravna orijentacija senzora s relativnim kinematičkim GPS-pozicijama i inercijskim mjernim sustavom neophodna. S takvom orijentacijom, moguće je kalibrirati sve pod-kamere unutar bloka snimljenih s tri linije leta, svaka s četiri vertikalne slike. Canon EOS kamere koje se koriste u ovom sustavu imaju sistematske pogreške slike, posebno radijalno simetričnu distorziju, koja može biti do 100 μm ili 14 piksela. Ove pogreške mogu se uzeti u obzir u geokodiranom sustavu za interpretaciju i mjerenje poput Pictometryja ili MultiVisiona, koristeći odgovarajući softver ili generirajući perspektivne slike na temelju ponovnog uzorkovanja slika. Postignuta apsolutna točnost unutar kalibracijskog bloka obično je oko 0.6 metara u X i Y smjerovima, što je dovoljno za potrebe aplikacija MultiVisiona, dok je relativna točnost bolja (Jacobsen, 2009). Stabilnost pod-kamera i sustava kamere, zajedno s izravnom orijentacijom senzora, ključni su faktori u postizanju ove točnosti, iako je važno uzeti u obzir i moguća odstupanja. Slike snimljene ovim sustavima često se koriste pojedinačno, što omogućuje geokodiranje putem digitalnih modela elevacije, iako visinske pogreške u tim modelima mogu uzrokovati određene dislokacije (Jacobsen, 2009).

10. UPOTREBA KOSIH SLIKA I TEKSTURIRANJE ZGRADA

Kose slike su neophodne za mnoge različite primjene. Za procjenu poreza i kontrolu planiranja zgrada, kose slike mogu pomoći u preciznom mjerenju površina i fasada zgrada te razumijevanju kapitalnih sredstava. U urbanom i infrastrukturnom planiranju, kose slike omogućuju komparativna mjerenja zgrada i struktura. U krajolikoj arhitekturi i urbanom planiranju mogu se koristiti za snimanje i procjenu nekretnina. Za planiranje telekomunikacija mogu se koristiti za izračun linija pogleda i za razvoj mreže stupova. Upravljanje vojnim i sigurnosnim operacijama jedna je od ključnih primjena kosih slika (Grenzdörffer, Guretzki i Friedlander, 2008). Prednosti uključuju trenutnu dostupnost informacija o kritičnim lokacijama i precizno vizualiziranje tih lokacija te identifikaciju okolnih područja i infrastrukture. Dodatno, mjerenje pristupa i otvora pomaže u planiranju pristupnih i izlaznih ruta. Kose slike također su korisne za zaštitu kritične infrastrukture poput zračnih luka, luka, željezničkih stanica, trgovačkih centara, energetskih postrojenja i mnogih drugih. U području katastarskog prikupljanja i upravljanja podacima, kose slike pomažu u točnim istraživanjima i organizaciji katastarskih aktivnosti, posebno u ruralnim područjima. Kose slike također zadovoljavaju sve veće zahtjeve razvoja 3D katastarskih projekata. Također, kose slike mogu se koristiti za teksturiranje 3D zgrada i 3D modela gradova, a te teksturirane zgrade zatim se mogu koristiti kao stvarni objekti u 3D projekcijama (Grenzdörffer, Guretzki i Friedlander, 2008).

10.1. Testni let za vizualizaciju i poluautomatsko teksturiranje zgrada

Prvi testni let s kosim slikama za vizualizaciju i poluautomatsko teksturiranje zgrada održan je 23. studenog 2006. iznad središnjeg područja grada Rostocka. Prosječna visina leta bila je 400 m iznad tla, a rezultirajuća rezolucija tla u središtu slike iznosila je približno 15 cm (Grenzdörffer, Guretzki i Friedlander, 2008). Tijekom leta stečeno je ukupno 78 slika s preklapanjem od približno 60%. Zbog niskog kuta sunca u vrijeme leta krajem studenog, kvaliteta slike u različitim smjerovima gledanja prilično je varijabilna. Naknadna radiometrijska obrada uključivala je balansiranje boja, s individualnim parametrima za svaki smjer leta i konverziju s 16 na 8 bita. Drugi testni let s većim opsegom i pod povoljnijim uvjetima osvjetljenja izveden je 23. travnja 2007 (Grenzdörffer, Guretzki i Friedlander, 2008:

381). Analiza podataka testnih letova provedena je korištenjem softvera MultiVision (MultiVision, 2007).

10.2. MultiVision

Unutar programa MultiVision, određivanje vanjske orijentacije kosih slika može se provesti putem kontrolnih točaka, slično kao i kod okomitih zračnih fotografija koje prolaze kroz rektifikaciju i generiranje ortofotografija. Program omogućuje prikaz ortofotografije i kose fotografije istovremeno, što olakšava uzorkovanje kontrolnih točaka na obje slike istovremeno. Program MV-SPECIAL ONE pruža učinkovit način izračuna parametara orijentacije bez dodatnih podataka o letu, koristeći se kolinijskim jednadžbama (Grenzdörffer, Guretzki i Friedlander, 2008). Kontrolne točke mogu se preuzeti s fotogrametrijskih karata ili iz drugih izvornih datoteka visoke točnosti. Točnost kontrolnih točaka ključna je za preciznost rješenja orijentacije.

Orijentacija analognih zračnih fotografija zahtijeva unutarnju orijentaciju, poput unosa fiducijalnih oznaka. Vanjska orijentacija kosih zračnih fotografija također se može provesti pomoću GPS/INS sustava, što pruža visoku točnost pozicioniranja, posebno ako su dostupne kontrolne točke s ortofotografija i točnost unutarnje orijentacije kamere (Grenzdörffer, Guretzki i Friedlander, 2008).

U projektu Rostock, kontrolne točke tla za kose slike dobivene su iz podložne ortofotografije s GSD-om od 50 cm. Prosječna apsolutna točnost pozicioniranja slika bila je između 2 i 3 m, s nekim slikama koje su pokazivale značajno lošiju točnost. Ako se let provodi s GPS/INS-om, apsolutna točnost pozicioniranja kosih slika može biti ispod 1 m. Relativna točnost, koja je ključna za mjerenje visine ili širine zgrada, obično je puno bolja od apsolutne točnosti (Grenzdörffer, Guretzki i Friedlander, 2008:382).

Program MultiVision integrira se s GIS-om (npr. ArcView), omogućujući korisnicima prikazivanje kosih zračnih fotografija na zaslonu za određene koordinate točaka (Grenzdörffer, Guretzki i Friedlander, 2008:382).

10.3. Teksturiranje 3D zgrada pomoću zračnih snimki

Teksturiranje zgrada pomoću zračnih snimaka može se ostvariti na različite načine. Širokokutne okomite slike pružaju kose poglede na rubove zgrada, koje je moguće koristiti za automatsku ekstrakciju tekstura. Alternativno, moderni skeneri poput HRSC-A ili ADS 40 pružaju kose poglede kroz svoje kanale usmjerene prema naprijed i prema natrag, što omogućuje automatsko generiranje 3D teksturiranih fasada (Grenzdörffer, Guretzki i Friedlander, 2008:383).

11. OBRADA PODATAKA

Za potrebe izrade praktičnog dijela snimljena je jezgra grada Graza u Austriji. Sami grad sniman je sa dvije vrste kamera. Cilj ovog procesa je usporediti modele, tj. oblake točaka dobivene različitim kamerama. Graz je snimljen sa višestrukim kosim kamerama te jednostrukim vertikalnim kamerama. Za snimanje je korištena UltraCam Osprey Prime II kamera.

UltraCam Osprey Prime II nudi više od obične kamere, integrirajući dvije kamere u jedinstveno fotogrametrijsko kućište. Ova napredna tehnologija omogućuje simultano prikupljanje vertikalnih slika (PAN, RGB i NIR) i kosih slika (80 megapiksela RGB), idealno za primjene kao što su katastar, infrastrukturno planiranje te generiranje DTMOtho i DSMOrtho. Svojim subpikslnim točnostima i izvrsnim omjerom signala i šuma, UltraCam Osprey, poput svih UltraCam sustava, ima sve sustavne komponente integrirane u senzorskoj glavi, uključujući opcionalni UltraNav sustav za direktno georeferenciranje i upravljanje letom (URL 1).

UltraCam Osprey Prime II postiže vrhunsku učinkovitost prikupljanja podataka zahvaljujući dizajnu koji omogućuje korištenje pune širine vertikalnog konusa od 13 470 piksela, dok veliko preklapanje kosih slika omogućuje stvaranje kosih ortofotografija i teksturiranih DSM-ova. Vertikalni i kosi konusi slika su precizno postavljeni unutar kamere s fotogrametrijskom točnošću i kalibrirani za geometriju i radiometriju. Uz automatizirane funkcije poput balansiranja boja za vertikalne i kose slike, AT za vertikalne i kose slike te generiranje 3D modela putem UltraMapa, UltraCam Osprey Prime II podiže standarde u fotogrametriji (URL 1).

Ključne značajke:

- Kombinira visokoučinkovitu fotogrametrijsku vertikalnu kameru s mogućnošću snimanja kosih slika.
- Snima visokorezolucijske PAN plus RGB i NIR u vertikalnom modu.
- Povećana veličina vertikalne PAN slike 13 470 x 8 670 piksela, s fizičkom veličinom CCD piksela od 5,2 μm , prilagođenim lećama i filtrima te elektronikom kamere s tihom pločom.
- Povećana veličina kosih RGB slika 10 300 x 7 700 piksela (80 megapiksela) za lijevo, desno, naprijed i unatrag snimanje kosih slika.

- Elektronika treće generacije omogućuje brzinu snimanja od 1 okvir po 1,75 sekundi.
- Integrirani paket koji sadrži sve komponente u glavi senzora, uključujući opcionalni ugrađeni UltraNav GPS/INS/FMS sustav.
- U letu zamjenjivi sustav za pohranu slika na SSD-u koji može pohraniti više od 6 300 slika, što rezultira minimalnim vremenom na terenu.
- Korisnički usmjereno sučelje s tehnologijom zaslona osjetljivog na dodir radi lakše konfiguracije i upravljanja te omogućuje kontrolu svake slike tijekom leta (URL 1).

Tablica 11.1. Računalo kamere i podsustav za pohranu podataka – tehničke specifikacije (URL 1)

Koncept	Modularni sloj, složen na glavu senzora ili povezan kabelima na glavu senzora
Sustav za pohranu u letu	Paket s čvrstim diskom, s RAID sustavom za zaštitu podataka
Kapacitet pohrane u letu	Neograničen uz korištenje više jedinica podataka; po jedinici podataka 8 TB, ~6300 slika
Težina jedinice podataka	<3 kg
Metoda zamjene jedinica podataka u letu	Manje od 2 minute
Fizičke dimenzije modula	43 cm x 43 cm x 35 cm
Težina modula	<30 kg
Potrošnja energije pri punom radu	150 W

Tablica 11.2. Operativne specifikacije kamere (URL 1)

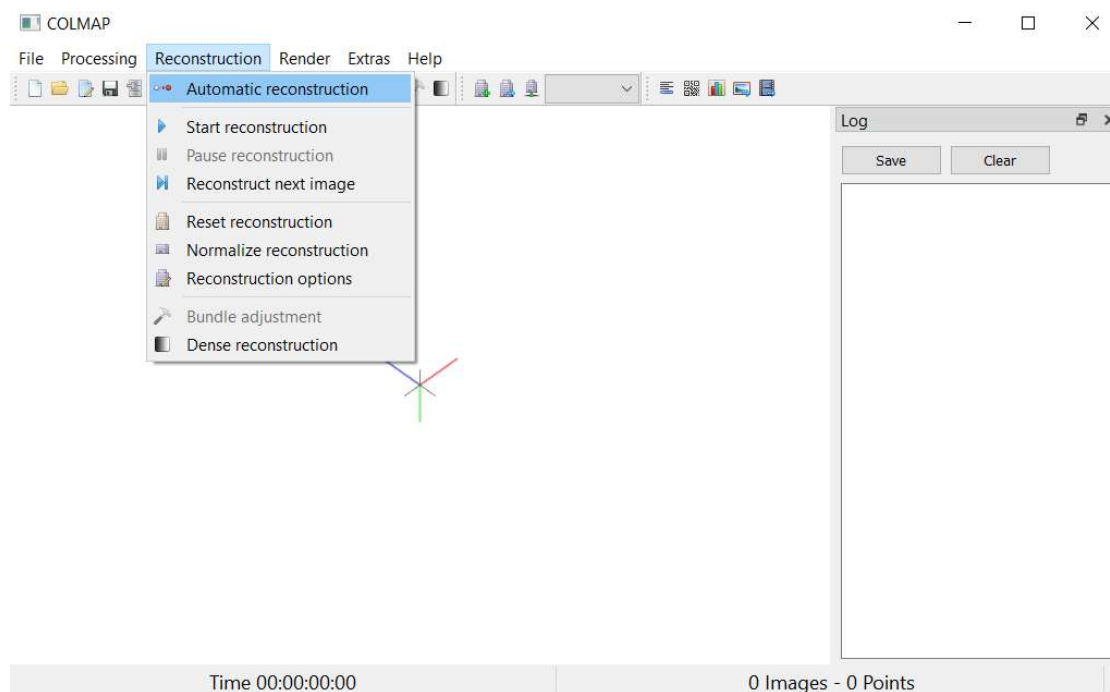
Radna / skladišna temperatura	0 °C do 45 °C / -20 °C do 65 °C
Vlažnost	5 % ... 95 % bez kondenzacije
Visina leta nepritiskana (puna točnost, puni temperaturni raspon)	≤ 5 000 m iznad razine tla
Visina leta nepritiskana (smanjeni temperaturni raspon; 0 °C do 25 °C)	≤ 7 000 m iznad razine tla
Visina leta u pritiskanim zrakoplovima	Bez ograničenja osim ako tlak u kabini ostaje iznad tlaka 5 000 m
Prijenos podataka iz zrakoplova u ured	Slanje jedinice podataka ili prijenos putem medija za pohranu velikog kapaciteta
Postprocesiranje prikupljenih sirovih slika	UltraMap, UM/AT ekstenzija, PC mreža ili laptop
Montaža kamere	UltraMount 4000, najnovija revizija, PAV-80
Integrirani GPS/INS/FMS sustav	UltraNav (Applanix POSTrack OEM) potpuno ugrađen u glavu kamere
Geometrijska točnost slike	Bolja od ±2 μm

Same snimke zauzimaju ogromne količine podataka i nisu „lagane“ za sva računala, stoga je za izradu potrebna jaka infrastruktura te poneko prilagođavanje problemu. Naravno, zbog

nemogućnosti samostalnog snimanja, snimke su dobivene u gotovom formatu. Iz toga razloga nisu korištene original snimke, već „quick view“ slike. Sigurno je da time kvaliteta samog modela opada. Međutim, kvaliteta za ovu potrebu će ostati u zadovoljavajućoj količini. Odabrane su određene snimke manjeg dijela grada. Pohranjene su na računalo u zajedničku mapu. Istraživanje je podijeljeno u dvije faze, od kojih je za prvu fazu korišten program „Colmap“, a za drugu „Cloud Compare“.

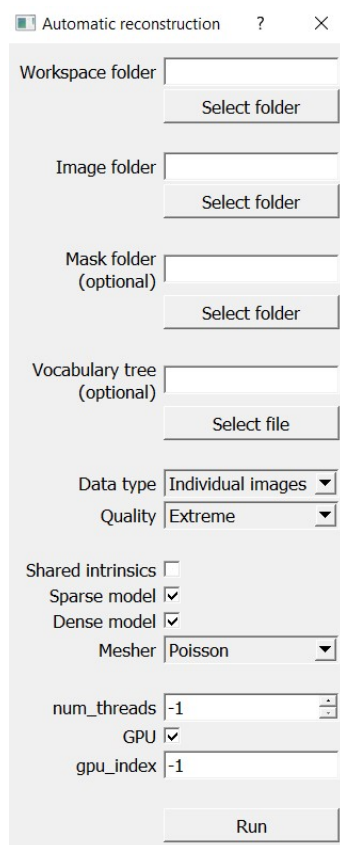
Za dobivanje oblaka točaka korišten je program „Colmap“. Besplatan je te dostupan u više verzija. Stoga se program, bez ikakvih problema instalira na računalo. Zbog stabilnosti je uzeta starija verzija, točnije CL-1.5. „Colmap“ je program opće namjene s grafičkim sučeljem i sučeljem naredbenog retka. Služi za izradu 3D modela. Nudi širok raspon značajki za rekonstrukciju uređenih i nesređenih kolekcija slika.

Prvi korak u ostvarenju cilja je snimke dobivene jednostrukim vertikalnim kamerama, spojiti u oblak točaka, a to se radi upravo uz taj program. Program nudi opciju „Automatic reconstruction“ koju je potrebno odabrati da bi se dobio traženi model. Taj postupak će se provesti za kamere s jednostrukim vidnim poljem i kamere s višestrukim vidnim poljem. Dobit će se dva odvojena modela koja će se naposljetku obrađivati u „Cloud Compare“ programu. Tada će se moći usporediti rezultati, točnije dobit će se razlike u kamerama.



Slika 11.1. „Colmap sučelje“

Nakon odabira navedene opcije otvara se prozor (Slika 11.2.) s raznim mogućnostima. Potrebno je kreirati novu mapu u koju će se pohranjivati rezultati, oblaci točaka. Nadalje, za funkciju „Workspace folder“ učitamo novonastalu mapu. U „Image folder“ potrebno je učitati mapu gdje se nalaze snimke zadanog područja. „Image folder“ traži učitavanje 12 vertikalnim snimaka dijela grada Graza. Nakon obrade se dobije oblak točaka grada. Isti postupak se primjenjuje za snimke višestrukih kosih kamera, a njih je znatno više (60). Kose kamere osim što snimaju vertikalno, snimaju i lijevo, desno, gore, dolje. „Mask folder“ i „Vocabulary tree“ ostaju nedopunjeni. U silaznom izborniku potrebno je odabrati individualne slike te kvalitetu koju želimo, a to je ekstremna kvaliteta. Nakon pritiska na „Run“ potrebno je satima, pa čak i danima pričekati samu izradu oblaka točaka. Bolja infrastruktura skraćuje vrijeme obrade podataka.



Slika 11.2. „Automatic reconstruction“

Dobiveni model se otvara pomoću „Cloud Compare“ ili „MeshLab“ programa. Sasvim je svejedno, no ovdje je oblak točaka prikazan u „Cloud Compare“ programu.

„Cloud Compare“ je besplatni softver za obradu 3D oblaka točaka (poput onih dobivenih laserskim skenerom). Također može rukovati trokutastim mrežama i kalibriranim slikama. Program pruža skup osnovnih alata za ručno uređivanje i renderiranje oblaka 3D točaka i trokutastih mreža.



Slika 11.3. Oblak točaka iz vertikalnih snimki

Uspješna izrada oblaka točaka iz vertikalnih snimki omogućuje daljnju izradu oblaka točaka iz kosih snimki, na identičan način.



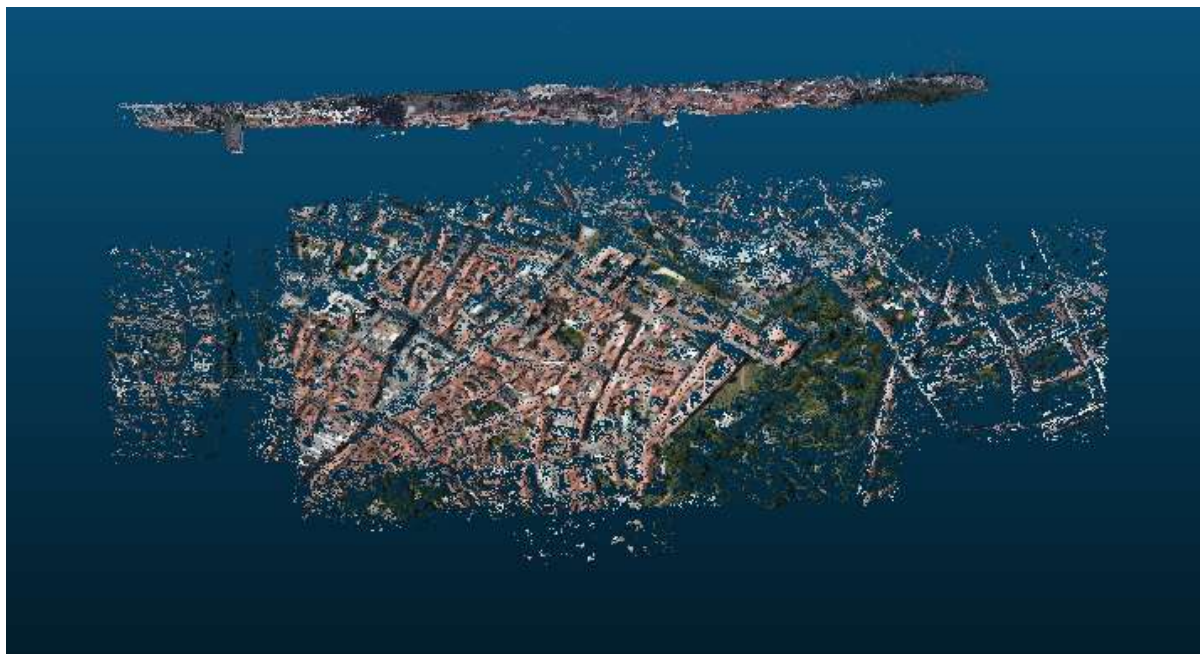
Slika 11.4. Oblak točaka iz kosih snimki

Prilikom obrade će se koristiti oblaci točaka radi same usporedbe pojedinih točaka. Iz oblaka točaka se vrlo lagano dobije 3D model (Slika 11.5.) identičnog područja.



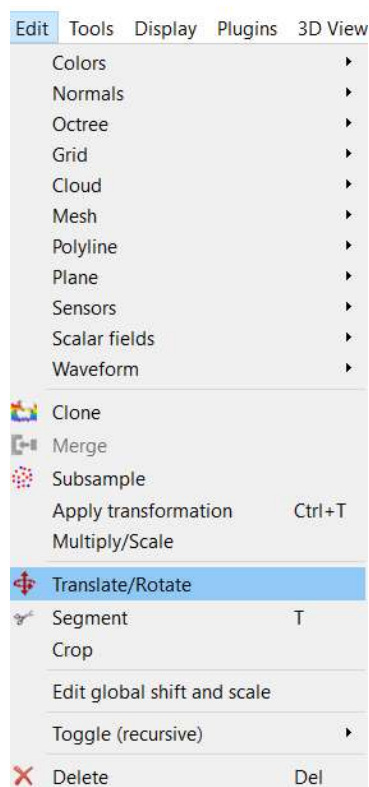
Slika 11.5. 3D model iz kosih snimki

U sljedećem koraku nailazimo na probleme. Naime, oblaci točaka se ne mogu preklopiti te ih je potrebno uskladiti, tj. georeferencirati da bi se to ispravilo (Slika 11.6.). Razlog ovog problema je u tome što nisu korištene orijentacijske točke, stoga će se georeferenciranje izvršiti ručno. Za ovu problematiku je potrebna mirna ruka i puno strpljenja.



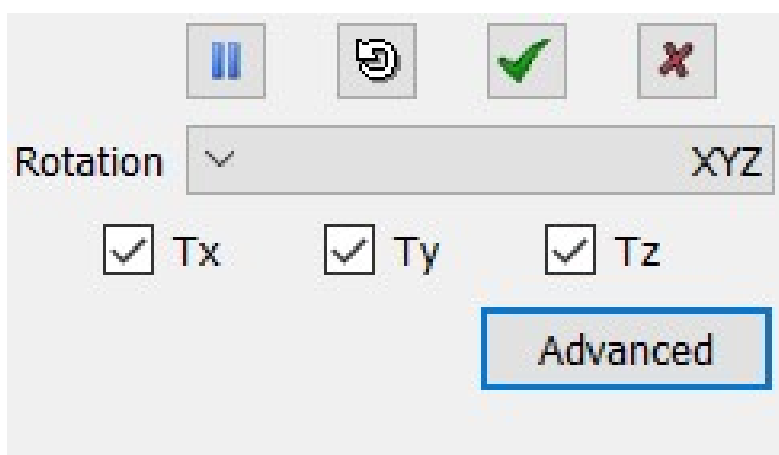
Slika 11.6. Neusklađeni oblaci točaka

Prvi korak pri rješavanju problema je označiti jedan oblak točaka. Odabire se naredba prikazana na Slici. 11.7.



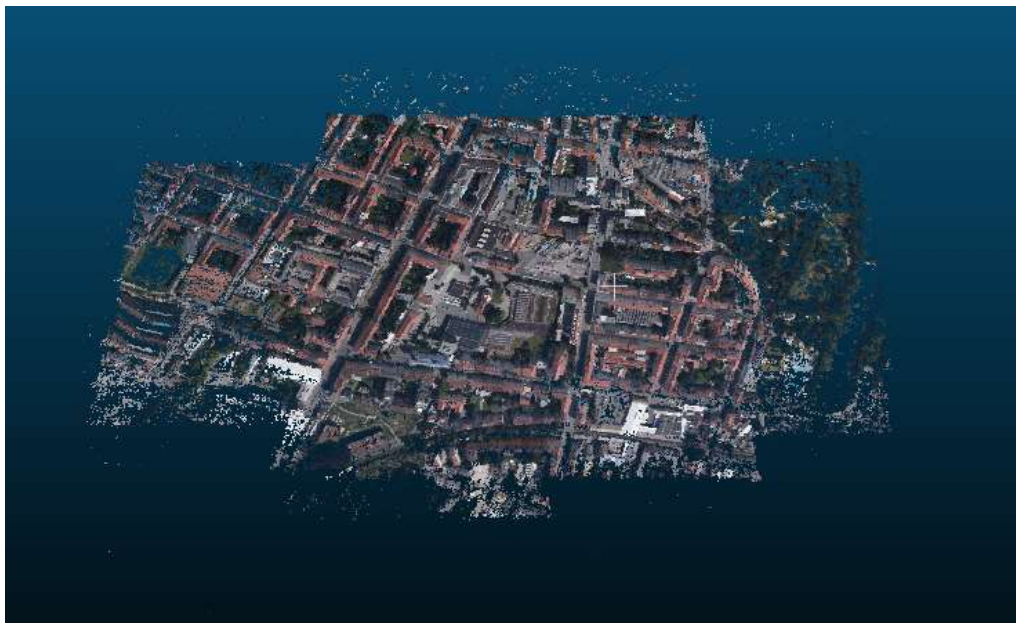
Slika 11.7. Naredba za translaciju i rotiranje

Potom se otvara „prozor“ (Slika 11.8.) koji omogućuje pomake po x, y ili z osi. Oblak točaka se rotira ručno (lijevim klikom miša), sve dok se ne uskladi sa drugim oblakom. Kada se usklade oblaci točaka, vidljiv je translacijski pomak. Za razliku od rotacije, translacija se vrši desnim klikom miša. Pažljivo se namješta, sve do potpunog uslađenja.




Slika 11.8. Rotacija po određenoj osi

Kada se oblaci točaka usklade, na „oko“ će se vidjeti samo jedan oblak točaka, a zapravo su prikazana oba (Slika 11.9.).



Slika 11.9. Usklađeni oblaci točaka

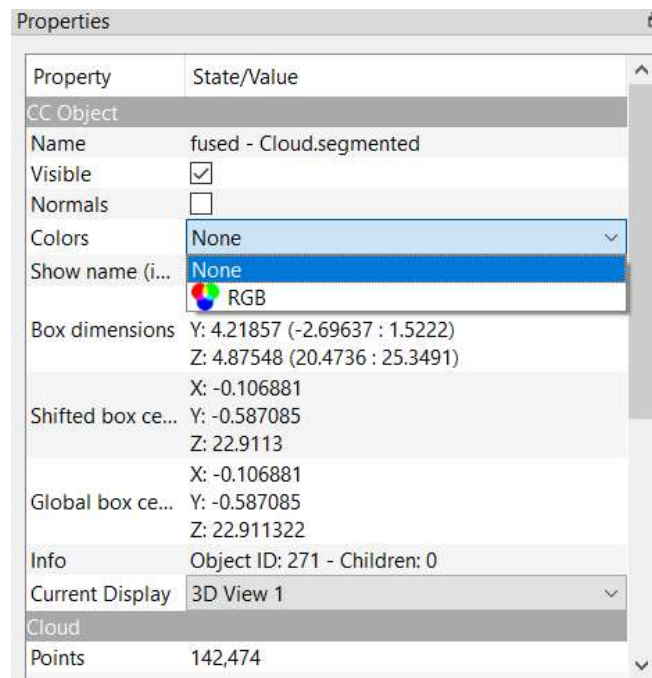
Nadalje, potrebno je oblake točaka „odrezati“ na jednake, manje dijelove kako bi se mogli usporediti dva identična područja. Razlog tome je što je dobiveno područje dosta opširno te ga je potrebno smanjiti radi lakše analize. Označi se oblak točaka i klikom na ikonu  se omogućuje rezanje. Proizvoljno se uzima raspon željenog područja. Rezanje se završava klikom na označenu ikonu na Slici 11.10.



Slika 11.10. Naredbe prilikom rezanja odabranog područja

Kao produkt samog rezanje dobije se oblak točaka unutar i izvana odabranog područja. Naravno, odabire se oblak točaka unutar samog područja. Isti postupak se ponavlja za sljedeći oblak točaka. S obzirom da su oblaci točaka gotovo identični, točkama izrezanog odabranog područja od interesa se uklanja boja (Slika 11.11.). Time se olakšava rezanje drugog oblaka

točaka tako da se po granicama bijelih točaka označi identično područje kao i prethodno (Slika 11.12.).



Slika 11.11. Uklanjanje boje točaka



Slika 11.12. Prikaz rezanja drugog oblaka točaka po identičnim granicama

Konačno, dobivena su umanjena područja oblaka točaka koja će se koristiti u daljnjim analizama.



Slika 11.13. Odabrano područje iz vertikalnih snimki



Slika 11.14. Odabrano područje iz kosih snimki

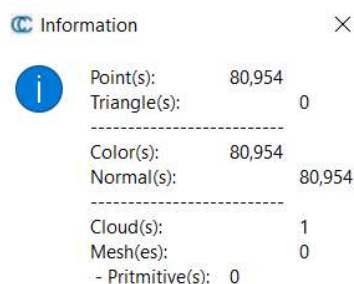
Čak i na „oko“ su vidljive razlike, tj. sama kvaliteta koja je uvjetovana gustoćom točaka.

12. ANALIZA PODATAKA

Obrada podataka je završena, a sada je potrebno dobivene podatke analizirati. U ovom poglavlju rada analizira se cijeli postupak usporedbe kamera s jednostrukim i višestrukim vidnim poljem. Usporedba će se izvršiti pomoću pet zasebnih klasa na kojima će biti prikazane bitne razlike u kamerama. Usporedbe će biti bazirane na broju točaka unutar pojedine klase te u skladu s time će i biti analizirane.

12.1. Klasa 1 – odabrano područje od interesa

Za prvu klasu su uzeta cjelokupna odabrana područja od interesa (Slika 11.13.; Slika 11.14.). Broj točaka iz oblaka točaka vertikalnih snimki iznosi 80 954 (Slika 12.1.), dok broj točaka iz oblaka točaka kosih snimki iznosi 142 474 (Slika 12.2.). Ovi podaci daju za pravo zaključiti da su snimke koje su snimljene s kamerama s višestrukim vidnim poljem kvalitetnije od onih koje su snimljene s kamerama s jednostrukim vidnim poljem. Veći broj točaka očigledno pridonosi u brojnosti samih detalja i njihovoj kvaliteti.

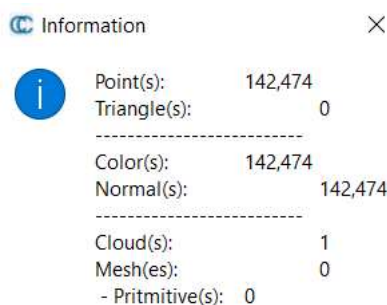


Information	
Point(s):	80,954
Triangle(s):	0

Color(s):	80,954
Normal(s):	80,954

Cloud(s):	1
Mesh(es):	0
- Primitive(s):	0

Slika 12.1. Broj točaka iz vertikalnih snimki



Information	
Point(s):	142,474
Triangle(s):	0

Color(s):	142,474
Normal(s):	142,474

Cloud(s):	1
Mesh(es):	0
- Primitive(s):	0

Slika 12.2. Broj točaka iz kosih snimki

12.2. Klasa 2 – zgrade

Zgrade su uzete za drugu klasu. Iz odabranog područja od interesa je izrezana zgrada koja će poslužiti za usporedbu. Kao i dosada, identična zgrada mora biti izrezana kako analiza rezultata ne bi bila podložna pogreškama (Slika 12.3.).



Slika 12.3. Izrezana zgrada iz vertikalnih snimki (lijevo) i kosih snimki (desno)

Broj točaka za zgradu snimljenu kamerom s jednostrukim vidnim poljem iznosi 2 009, dok broj točaka za zgradu snimljenu kamerom s višestrukim vidnim poljem iznosi 3 845 (Slika 12.4.). Kose snimke daju više detalja i kvalitete od vertikalnih. Razlog tome leži u činjenici da se zgrada nalazi u urbanom području i možda je zaklonjena različitim čimbenicima. Kamere s višestrukim vidnim poljem više su prilagođene ovom problemu od kamera s jednostrukim vidnim poljem. Pod prilagođenost se misli na snimanje iz različitih kuteva za razliku od vertikalnom snimanja.

Information		Information	
Point(s):	2,009	Point(s):	3,845
Triangle(s):	0	Triangle(s):	0
-----		-----	
Color(s):	2,009	Color(s):	3,845
Normal(s):	2,009	Normal(s):	3,845
-----		-----	
Cloud(s):	1	Cloud(s):	1
Mesh(es):	0	Mesh(es):	0
- Primitive(s):	0	- Primitive(s):	0

Slika 12.4. Broj točaka zgrade iz vertikalnih snimki (lijevo) i kosih snimki (desno)

12.3. Klasa 3 – vegetacija (u urbanom području)

Za treću klasu su uzete vegetacije jednakog područja (Slika 12.5.). Time su vegetacije spremne za usporedbu. Vegetacija se nalazi u urbanom području među zgradama.



Slika 12.5. Izrezana vegetacija iz vertikalnih snimki (lijevo) i kosih snimki (desno)

Vegetacija snimljena kamerom s jednostrukim vidnim poljem se sastoji od 772 točke, dok vegetacija snimljena s višestrukim vidnim poljem se sastoji od 1 577 točaka (slika 12.6.). Razlika u broju točaka je dvostruka u korist kosih snimki. Ponovo kose snimke su kvalitetnije od vertikalnih. U prilog tome ide i činjenica da se vegetacija nalazi u urbanom području čime se povećava razlika u kvaliteti kamera.

Information		Information	
Point(s):	772	Point(s):	1,577
Triangle(s):	0	Triangle(s):	0

Color(s):	772	Color(s):	1,577
Normal(s):	772	Normal(s):	1,577

Cloud(s):	1	Cloud(s):	1
Mesh(es):	0	Mesh(es):	0
- Primitive(s):	0	- Primitive(s):	0

Slika 12.6. Broj točaka vegetacije iz vertikalnih snimki (lijevo) i kosih snimki (desno)

12.4. Klasa 4 – vegetacija (u ruralnom području)

Vegetacija je ponovo uzeta i za četvrtu klasu. Samo što je ovaj put izrezana vegetacija iz ruralnog područja (slika 12.7.). Razlog tome je usporedba vegetacije u gradu i izvan grada. Time će se dobiti usporedba istih klasa, ali u različitim uvjetima.



Slika 12.7. Izrezana vegetacija iz vertikalnih snimki (lijevo) i kosih snimki (desno)

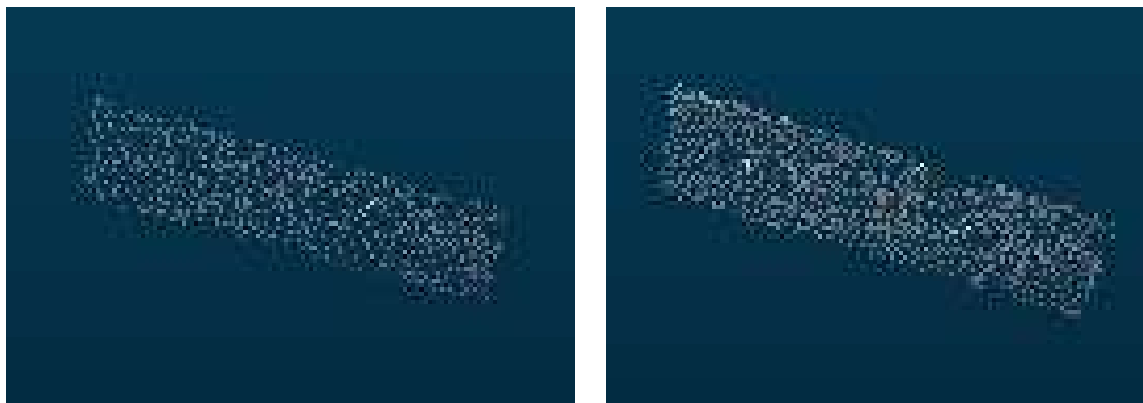
Broj točaka za vegetaciju snimljenu kamerom s jednostrukim vidnim poljem iznosi 441, dok broj točaka za vegetaciju snimljenu kamerom s višestrukim vidnim poljem iznosi 780 (Slika 12.8.). Razlika u broju točaka je znatno manja od dvostruke, za razliku od prošlog primjera. Razlog leži u tome što se vegetacija nalazi u ruralnom području. Točnije, u ruralnom području je manje otežavajućih faktora koji utječu na snimnje iz aviona. Vertikalni i kosi snimci daju znatne razlike u urbanim područjima, dok u ruralnim područjima, razlike su smanjene, da se ne kaže minimalne.

Information		Information	
Point(s):	441	Point(s):	780
Triangle(s):	0	Triangle(s):	0
-----		-----	
Color(s):	441	Color(s):	780
Normal(s):	441	Normal(s):	780
-----		-----	
Cloud(s):	1	Cloud(s):	1
Mesh(es):	0	Mesh(es):	0
- Primitive(s):	0	- Primitive(s):	0

Slika 12.8. Broj točaka vegetacije iz vertikalnih snimki (lijevo) i kosih snimki (desno)

12.5. Klasa 5 – prometnice

Kao peta klasa je uzet dio prometnice koji će koristiti za analizu (Slika 12.9.). Ovo je ujedno i zadnja klasa. Na temelju usporedbi svih klasa će se donijeti konačni zaključak.



Slika 12.9. Izrezana prometnica iz vertikalnih snimki (lijevo) i kosih snimki (desno)

Dio prometnice snimljen kamerom s jednostrukim vidnim poljem se sastoji od 595 točaka, za razliku od dijela prometnice snimljene kamerom s višestrukim vidnim poljem koji se sastoji od 1 048 točaka (Slika 12.10.). I u ovom primjeru dokazano je da su kose snimke mnogo kvalitetnije od vertikalnih. Ostale klase koje nisu obrađene također su kvalitetnije kod kosih snimaka, bilo u većim ili manjim mjerama.

Information		Information	
Point(s):	595	Point(s):	1,048
Triangle(s):	0	Triangle(s):	0
-----		-----	
Color(s):	595	Color(s):	1,048
Normal(s):	595	Normal(s):	1,048
-----		-----	
Cloud(s):	1	Cloud(s):	1
Mesh(es):	0	Mesh(es):	0
- Primitive(s):	0	- Primitive(s):	0

Slika 12.10. Broj točaka prometnice iz vertikalnih snimki (lijevo) i kosih snimki (desno)

13. ZAKLJUČAK

Korištenje kosih slika postaje gotovo standard u mnogim civilnim i kartografskim aplikacijama, zahvaljujući razvoju zračnih digitalnih sustava s više kamera. Vrlina kose fotografije leži u njezinoj jednostavnosti interpretacije te u činjenici da mogu otkriti fasade zgrada i otiske stopala. Nestručnjacima postaje lakše da interpretiraju podatke jer su asocijativniji od onoga što se vidi sa zemlje. Omogućuje korištenje kosih slika u vrlo različitim primjenama: ažuriranje cestovnog zemljišta, registracija građevine, preliminarno određivanje granica parcela, urbana klasifikacija i 3D modeliranje grada, identifikacija neregistriranih zgrada, praćenje masovnih događanja, procjena štete itd.

U svrhu ovog diplomskog rada analizirane su vertikalne i kose snimke te međusobno uspoređene. Kose snimke su uvijek točnije i kvalitetnije u odnosu na vertikalne snimke. Izrazita razlika je vidljiva u urbanim područjima zbog same gustoće objekata. Mnogi čimbenici utječu na kvalitetu što kamere s višestrukim vidnim poljem donekle neutraliziraju. Za razliku od kamere s jednostrukim vidnim poljem koje snimaju vertikalno i razni čimbenici ometaju kvalitetno snimanje samih fotografija. Jedan od očitih primjera ovoga je sposobnost da se vidi fasada zgrada iz više kutova gledanja. Osim toga, uske ulice u gustim urbanim područjima mogu biti potpuno neprimjetne u vertikalnim slikama, dok će vjerojatnije biti vidljive na barem nekoj od kosih slika. Razlika između ovih kamera je manja u ruralnim područjima. Ako nije potrebna visoka kvaliteta preporuča se korištenje kamere s jednostrukim vidnim poljem čije je snimanje dosta jeftinije, a slične kvalitete.

Kao najveću prednost vertikalnih slika važno je navesti dobar pregled krovova, dok kose slike imaju više prednosti. Vidljivost krovova i vertikalnih struktura (izdvajanje značajki, teksturiranje) je glavna prednost kosih slika. Imaju više pogleda, uključujući onaj vertikalni. Omogućuju bolju interpretaciju (obrisi zgrada, broj katova, itd.). Veća redundancija i pouzdanost kosih snimki. Kao što sve ima svoje prednosti, tako sve ima i svoje mane. Nedostatci kosih snimki su veća zakrivenost (umanjena višestrukim pogledima i preklapanjima) te velike promjene osvjetljenja.

Sve što se može snimiti kamerama s jednostrukim vidnim poljem se može snimiti i kamerama s višestrukim vidnim poljem. Dok, sve što se može snimiti kamerama s višestrukim vidnim poljem se ne može snimiti kamerama s jednostrukim vidnim poljem.

Kao nekakav osvrt u budućnost važno je napomenuti da bi kose zračne slike mogle postati standard, nadopunjujući tradicionalne velike formate vertikalnih slika (posebno u urbanim područjima). Kose slike se koriste te će se i dalje koristiti za ažuriranje karata, modeliranje 3D gradova, inspekciju i interpretaciju, 3D katastar, nekretnine, itd. Dodatni troškovi kosih letova (posebno dodatne linije leta) mogli bi se nadoknaditi dodatnim ishodom i koristima:

- Lakše prepoznavanje / interpretacija objekata.
- Generiranje oblaka točaka na vertikalnim elementima.
- Pouzdanije generiranje pravih ortofotografija.
- Proširenje od 2D do 3D GIS podataka.

Prostor za poboljšanje u korištenju kosih snimki:

- Upravljanje promjenama u mjerilu i radiometriji.
- Vrijeme obrade i pouzdana obrada velikih podataka.
- Fuzija oblaka točaka koji dolaze iz različitih smjerova gledanja (i s različitom točnošću).

LITERATURA

1. Frommholz, D., Linkiewicz, M., Meissner, H., Dahlke, D., & Poznanska, A. (2015). Extracting semantically annotated 3D building models with textures from oblique aerial imagery. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 40, 53-58.
2. Gerke, M., & Nyaruhuma, A. (2009). Incorporating scene constraints into the triangulation of airborne oblique images. *International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 38(Part 1), 4-7.
3. Grenzdörffer, G. J., Guretzki, M., & Friedlander, I. (2008). Photogrammetric image acquisition and image analysis of oblique imagery. *The Photogrammetric Record*, 23(124), 372-386.
4. Hu, H., Zhu, Q., Du, Z., Zhang, Y., & Ding, Y. (2015). Reliable spatial relationship constrained feature point matching of oblique aerial images. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 81(1), 49-58.
5. Jacobsen, K. (2008). Satellite image orientation. *International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 37, 703-709.
6. Jacobsen, K. (2009, May). Geometry of vertical and oblique image combinations. In *Remote Sensing for a Changing Europe: Proceedings of the 28th Symposium of the European Association of Remote Sensing Laboratories, Istanbul, Turkey, 2-5 June 2008* (p. 16). IOS Press.
7. Karel, W., & Pfeifer, N. (2015, October). Analysis of oblique image datasets with OrientAL. In *EUROSDR/ISPRS workshop "Oblique cameras and dense image matching"*.
8. Moe, K., Toschi, I., Poli, D., Lago, F., Schreiner, C., Legat, K., & Remondino, F. (2016). Changing the production pipeline—use of oblique aerial cameras for mapping purposes. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 41, 631-637.
9. Nex, F., Gerke, M., Remondino, F., Przybilla, H. J., Baumker, M., & Zurhorst, A. (2015). ISPRS benchmark for multi-platform photogrammetry. *ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 2, 135-142.

10. Nyaruhuma, A. P., Gerke, M., & Vosselman, G. (2012). Verification of 3D building models using mutual information in airborne oblique images. *ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 1, 275-280.
11. Ostrowski, W., & Bakula, K. (2016). Towards efficiency of oblique images orientation. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 40, 91-96.
12. Pepe, M., & Prezioso, G. (2016, April). Two Approaches for Dense DSM Generation from Aerial Digital Oblique Camera System. In *GISTAM* (pp. 63-70).
13. Petrie, G. (2009). Systematic oblique ae using multiple digital photography i frame cameras. *Photogramm. Eng. Remote Sensing*, 75(2), 102-107.
14. Remondino, F., & Gerke, M. (2015, September). Oblique aerial imagery—a review. In *Photogrammetric week* (Vol. 15, No. 12, pp. 75-81).
15. Remondino, F., Toschi, I., Gerke, M., Nex, F., Holland, D., McGill, A., Talaya Lopez, J., and Magarinos, A.: OBLIQUE AERIAL IMAGERY FOR NMA – SOME BEST PRACTICES, *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci.*, XLI-B4, 639–645, <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLI-B4-639-2016>, 2016.
16. Rupnik, E., Nex, F., & Remondino, F. (2013). Automatic orientation of large blocks of oblique images. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 40, 299-304.
17. Rupnik, E., Nex, F., & Remondino, F. (2014, February). Oblique multi-camera systems-orientation and dense matching issues. In *EuroCOW*.
18. Rupnik, E., Nex, F., Toschi, I., & Remondino, F. (2015). Aerial multi-camera systems: Accuracy and block triangulation issues. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 101, 233-246.
19. Vilan, Y., & Gozes, A. (2013). Visionmap sensors and processing roadmap. *Proc. 54th Photogrammetric Week*, 51-57.
20. Wiedemann, A., & Moré, J. (2012). Orientation strategies for aerial oblique images. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 39, 185-189.
21. Xiao, X., Guo, B., Shi, Y., Gong, W., Li, J., & Zhang, C. (2013, October). Robust and rapid matching of oblique UAV images of urban area. In *MIPPR 2013: Pattern Recognition and Computer Vision* (Vol. 8919, pp. 223-230). SPIE.

22. Xiao, Y. L., Su, X., Chen, W., & Liu, Y. (2012). Three-dimensional shape measurement of aspheric mirrors with fringe reflection photogrammetry. *Applied Optics*, 51(4), 457-464.
23. Yang, B., Fang, L., Li, Q., & Li, J. (2012). Automated extraction of road markings from mobile LiDAR point clouds. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 78(4), 331-338.

Popis URL-a

URL 1: chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.vexcel-imaging.com/wp-content/uploads/2016/05/Brochure_OspreyPrimeII.pdf (21.05.2024.)

POPIS SLIKA

Slika 11.1. „Colmap sučelje“	45
Slika 11.2. „Automatic reconstruction“	46
Slika 11.3. Oblak točaka iz vertikalnih snimki.....	47
Slika 11.4. Oblak točaka iz kosih snimki.....	48
Slika 11.5. 3D model iz kosih snimki.....	48
Slika 11.6. Neusklađeni oblaci točaka.....	49
Slika 11.7. Naredba za translaciju i rotiranje.....	50
Slika 11.8. Rotacija po određenoj osi.....	50
Slika 11.9. Usklađeni oblaci točaka.....	51
Slika 11.10. Naredbe prilikom rezanja odabranog područja.....	51
Slika 11.11. Uklanjanje boje točaka.....	52
Slika 11.12. Prikaz rezanja drugog oblaka točaka po identičnim granicama.....	52
Slika 11.13. Odabrano područje iz vertikalnih snimki.....	53
Slika 11.14. Odabrano područje iz kosih snimki.....	53
Slika 12.1 Broj točaka iz vertikalnih snimki.....	54
Slika 12.2. Broj točaka iz kosih snimki.....	54
Slika 12.3. Izrezana zgrada iz vertikalnih snimki (lijevo) i kosih snimki (desno).....	55
Slika 12.4. Broj točaka zgrade iz vertikalnih snimki (lijevo) i kosih snimki (desno).....	55
Slika 12.5. Izrezana vegetacija iz vertikalnih snimki (lijevo) i kosih snimki (desno).....	56
Slika 12.6. Broj točaka vegetacije iz vertikalnih snimki (lijevo) i kosih snimki (desno).....	56
Slika 12.7. Izrezana vegetacija iz vertikalnih snimki (lijevo) i kosih snimki (desno).....	57
Slika 12.8. Broj točaka vegetacije iz vertikalnih snimki (lijevo) i kosih snimki (desno).....	57
Slika 12.9. Izrezana prometnica iz vertikalnih snimki (lijevo) i kosih snimki (desno).....	58
Slika 12.10. Broj točaka prometnice iz vertikalnih snimki (lijevo) i kosih snimki (desno).....	58

POPIS TABLICA

Tablica 11.1. Računalo kamere i podsustav za pohranu podataka – tehničke specifikacije (URL 1).....	43
Tablica 11.2. Operativne specifikacije kamere (URL 1).....	44

PRILOG

Prilog br. 1: Podsustav digitalnog senzora kamere – tehničke specifikacije (URL 1)

Veličina nadirske pankromatske slike	13 470 * 8 670 piksela
Fizička veličina nadirskog pankromatskog piksela	5,2 μ m
Količina ulaznih podataka po slici	1 265 megabajta
Fizički format nadirske žarišne ravnine	70,04 mm * 45,08 mm
Boja (multispektralna sposobnost) nadir	4 kanala – RGB i NIR
Veličina nadirske kolor slike	6 735 * 4 335 piksela
Fizička veličina piksela u boji (nadir)	5,2 μ m
PAN-izoštren omjer	1:2
Veličina slike u boji (RGB Bayer uzorak) kosi prikaz naprijed, natrag, lijevo i desno	10 300 * 7 700 piksela
Fizička veličina piksela u boji(kosi prikaz)	5,2 μ m
Sustav leća	f120
Žarišna duljina pankromatskog sustava leća (nadir)	80 mm
Otvor pankromatske leće (nadir)	f=1/5,6
Žarišna duljina sustava leća za boje (nadir)	40 mm
Otvor leće za boje (nadir)	f=1/5,6
Ukupno vidno polje, poprečno (uzdužno) (nadir)	47,3° (31,5°)

Visina leta za veličinu PAN piksela na zemlji od 10 cm (GSD) (nadir)	1 538 m
Otisak za ograničenje nagiba od 1 m nagiba na visini od 5 m (poprečno * uzdužno) (nadir)	6 153 * 6 153
Žarišna duljina sustava leća za boje (kosi prikaz)	120 mm
Otvor leće (kosi prikaz)	f=1/4,4
Ukupno vidno polje, poprečno (uzdužno) (kosi prikaz)	45° +9,5°-15,7° (45° +/- 9,5°)
Sustav zatvarača	Prontor magnetic 0 HS – Vexcel
Opcije brzine zatvarača	1/1000 do 1/64
Kompenzacija kretanja prema naprijed (FMC)	TDI kontrolirana
Maksimalna FMC-sposobnost	50 piksela
Brzina okvira u sekundi (minimalni interval između slika)	1 okvir po 1,75 sekundi
Omjer signala i šuma CCD-a	>72 dB
Radiometrijska rezolucija u svakom kanalu	>12 bita
Analogno-digitalna konverzija	14 bita
Dinamički raspon radnog tijeka	16 bita
Fizičke dimenzije kamere, uključujući računalo i modul za pohranu	43 cm x 43 cm x 76 cm

Težina kamere, uključujući računalo i modul za pohranu	~64 kg
Potrošnja energije pri punom radu, uključujući računalo i modul za pohranu	~350 W

ŽIVOTOPIS

Luka Knežević rođen je 23. studenog 1999. godine u gradu Zadru. U Zadru završava Osnovnu školu „Zadarski otoci“ sa odličnim uspjehom. Srednjoškolsko obrazovanje stječe u Gimnaziji „MIOC“ - smjer matematički, sa vrlo dobrim uspjehom. Tijekom cijelog obrazovanja aktivno se bavi rukometom u „RK Zadar“. Rukometom se nastavlja baviti i tijekom studenskih godina u klubovima „RK ZG-Dubrava“ i „RK Dinamo“. Prijediplomski studij Geodezije i geoinformatike na Geodetskom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu upisuje 2018. godine. Studij uspješno završava 2021. godine sa dobrim uspjehom i stječe akademsku titulu sveučilišni prvostupnik (baccalaureus) inženjer geodezije i geoinformatike (univ. bacc. ing. geod. et geoinf.). Po završetku prijediplomskog studija, odmah upisuje diplomski studij Geodezije i geoinformatike. Opredjeljuje se za usmjerenje Geoinformatika koje završava sa vrlo dobrim uspjehom. Materinji mu je jezik hrvatski, a od stranih dobro govori engleski te ponešto talijanski.