

Univerza
v Ljubljani
Fakulteta
*za gradbeništvo
in geodezijo*

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



Univerzitetni študij geodezije,
Geodezija

Kandidatka:

Mojca Tamše

Pregled in primerjalna analiza digitalnih zračnih fotogrametričnih snemalnih sistemov

Diplomska naloga št.: 836

Mentor:
doc. dr. Mojca Kosmatin Fras

Ljubljana, 2010

STRAN ZA POPRAVKE, ERRATA

Stran z napako	Vrstica z napako	Namesto	Naj bo
----------------	------------------	---------	--------

IZJAVA O AVTORSTVU

Podpisana **MOJCA TAMŠE** izjavljam, da sem avtorica diplomske naloge z naslovom
**»PREGLED IN PRIMERJALNA ANALIZA DIGITALNIH ZRAČNIH
FOTOGRAMETRIČNIH SNEMALNIH SISTEMOV«**

Izjavljam, da prenašam vse materialne avtorske pravice v zvezi z diplomsko nalogo na
Univerzo v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo.

Noben del tega zaključnega dela ni bil uporabljen za pridobitev strokovnega naziva ali druge
strokovne kvalifikacije na tej ali na drugi univerzi ali izobraževalni inštituciji.

Ljubljana,

Mojca Tamše

IZJAVE O PREGLEDU NALOGE

BIBLIOGRAFSKO- DOKUMENTACIJSKA STRAN Z IZVLEČKOM

UDK	528.7(043.2)
Avtor	Mojca Tamše
Mentor	Mojca Kosmatin Fras
Naslov	Pregled in primerjalna analiza digitalnih zračnih fotogrametričnih snemalnih sistemov
Obseg in oprema	59 str., 44 sl., 8 pregl., 2 en.
Ključne besede	fotogrametrija, digitalni zračni sistemi, Intergraph DMC, Leica ADS, Vexcel UltraCamD, primerjalna analiza, sistemi v Sloveniji, intervju

Izvleček

V diplomski nalogi so podrobneje predstavljeni trije najpomembnejši digitalni zračni fotogrametrični snemalni sistemi, njihova primerjalna analiza ter stanje te tehnologije na območju Slovenije. Digitalna tehnologija se iz dneva v dan bolj razvija, kar se zelo pozna tudi pri digitalnih zračnih posnetkih, ki so zmeraj bolj v uporabi. Prvotno so se največ uporabljali za izdelavo digitalnih topografskih kart, danes je pa pretežna uporaba usmerjena na izdelavo digitalnega ortofota, ki se uporablja na različnih področjih.

V nalogi so najprej predstavljene glavne značilnosti, vrste, sestava in principi delovanja digitalnih zračnih snemalnih sistemov. Nato je v celoti opisan celoten potek od planiranja snemanja do njegove izvedbe. V nadaljevanju so podrobneje opisani vsi trije najpogosteje uporabljeni digitalni snemalni sistemi posebej ter njihova primerjalna analiza. Na koncu je izdelana analiza stanja te tehnologije na območju Slovenije, ki je bila izdelana na osnovi intervjujev.

BIBLIOGRAPHIC-DOCUMENTALISTIC INFORMATION

UDC	528.7(043.2)
Author	Mojca Tamše
Supervisor	Mojca Kosmatin Fras
Title	Overview and comparative analysis of digital airborne photogrammetric surveying systems
Notes	59 p., 44 fig., 8 tab., 2 eq.
Key words	photogrammetry, digital airborne systems, Intergraph DMC, Leica ADS, Vexcel UltraCamD, comparative analysis, systems in Slovenia, interview

Abstract

In the thesis, three the most important digital airborne photogrammetric systems are described, as well as their comparative analysis and the application of this technology in Slovenia are presented. Digital technology is being constantly developed and use of aerial images is being increased. Traditionally, aerial images were mostly used for digital topographic mapping, nowadays their use is focused on producing digital orthophoto, which is being used in different areas.

First, main characteristics, types, structure and principles operations of digital airborne systems are described. Second, the whole procedure of planning aerial surveying and its realization is described in details. The three most used digital airborne systems are presented and a comparative analysis is made. Finally, the analysis of this technology in Slovenia is presented, based on the interviews.

ZAHVALA

Najprej se zahvaljujem mentorici, docentki doktorici Mojci Kosmatin Fras, za usmerjanje in pomoč pri pripravi diplomske naloge.

Hvala podjetjem DFG CONSULTING d.o.o., GEOIN d.o.o., Geodetska družba d.o.o., 2B d.o.o. in Geodetski upravi Republike Slovenije za sodelovanje pri izdelavi diplomske naloge.

Na koncu bi se zahvalila družini in vsem, ki so me podpirali in spodbujali tekom študija.

KAZALO VSEBINE

1	UVOD.....	1
2	DIGITALNI ZRAČNI FOTOGRAMETRIČNI SNEMALNI SISTEMI.....	3
2.1	Značilnosti digitalnih zračnih snemalnih sistemov	3
2.1.2	CCD senzorji.....	3
2.1.3	Beleženje barv.....	5
2.2	Vrste digitalnih snemalnih sistemov	6
2.3	Sestava zračnih digitalnih snemalnih sistemov	8
2.4	Princip delovanja snemalnih sistemov.....	9
2.4.1	Ploskovni senzorji.....	9
2.4.2	Vrstični senzorji.....	10
2.5	Celoten postopek izvedbe snemanja	10
2.5.1	Definicija, določitev in načrtovanje projekta	11
2.5.2	Snemanje podprto z GNSS in INS sistemi.....	11
2.5.3	Prenos plana snemanja na računalniški medij in izvedba snemanja	13
2.5.4	Prenos podatkov v pisarno, obdelava podatkov ter končni izdelek.....	13
3	PREGLED POMEMBNIH DIGITALNIH SNEMALNIH SISTEMOV	15
3.1	Linijski snemalni sistem ADS40.....	15
3.1.1	Kaj ga sestavlja?.....	15
3.1.2	Princip delovanja kamere	19
3.1.3	Princip snemanja	20
3.1.4	Celoten potek snemanja	21
3.1.5	Novejši modeli.....	22
3.2	Ploskovni snemalni sistem DMC.....	24
3.2.1	Kaj ga sestavlja?	24
3.2.2	Princip delovanja kamere	27
3.2.3	Princip snemanja	28
3.2.4	Celoten potek snemanja	28
3.2.5	Novejši modeli.....	29
3.3	Ploskovni snemalni sistem UltraCamD.....	31

3.3.1	Kaj ga sestavlja?	31
3.3.2	Princip delovanja kamere	34
3.3.3	Princip snemanja	34
3.3.4	Celoten potek snemanja	35
3.3.5	Novejši modeli.....	36
4	PRIMERJALNA ANALIZA OBRAVNAVANIH SNEMALNIH SISTEMOV ...	37
4.1	Primerjava sestave.....	37
4.2	Primerjava principa delovanja	38
4.3	Primerjava principa snemanja.....	38
4.4	Primerjava tehničnih značilnosti	39
4.5	Primerjava geometričnih natančnosti pridobljenih med izvedbo kalibracije.....	40
4.5.1	Testna območja za izvajanje kalibracije.....	41
5	ANALIZA STANJA NA PODROČJU DIGITALNIH ZRAČNIH FOTOGRAMETRIČNIH SNEMALNIH SISTEMOV V SLOVENIJI	51
5.1	Pridobivanje podatkov	51
5.2	Problemi in omejitve.....	51
5.3	Analiza dela.....	52
5.3.1	Izkušnje naročnika zračnega snemanja.....	52
5.3.2	Izkušnje uporabnikov	55
5.3.3	Digitalni zračni snemalni sistemi v Sloveniji	56
	ZAKLJUČEK	58
	VIRI	60
	PRILOGE.....	65

KAZALO PREGLEDNIC (prirejenih po virih)

Preglednica 1: Tehnični podatki snemalnega sistema ADS40.....	18
Preglednica 2: Tehnični podatki snemalnega sistema DMC.....	27
Preglednica 3: Tehnični podatki snemalnega sistema UltraCamD	33
Preglednica 4: Primerjava lastnosti (prvih verzij) vseh snemalnih sistemov.....	39
Preglednica 5: Osnovni podatki Vaihingen/Enz.....	41
Preglednica 6: Osnovni podatki Fredrikstad - DMC	45
Preglednica 7: Osnovni podatki Fredrikstad - UCD.....	45
Preglednica 8: Natančnosti kontrolnih točk vseh sistemov na testnih poljih.....	49

KAZALO PRIVZETIH SLIK

Slika 1: Osnovni princip registracije svetlobe.....	4
Slika 2: Delovanje medvrstičnega senzorja CCD.....	4
Slika 3: (a)linijski CCD senzor, (b)ploskovni CCD senzor	4
Slika 4: Bayerjev vzorec	5
Slika 5: Cepilec žarkov	5
Slika 6: Osnovna terminologija pri snemanju	9
Slika 7: Princip snemanja pri ploskovnih senzorjih.....	10
Slika 8: Potek snemanja pri linijskih senzorjih	10
Slika 9: Komponente INS.....	12
Slika 10: Potek spojitve podob	14
Slika 11: Komponente sistema ADS40.....	15
Slika 12: Sestavni deli glave senzorja.....	16
Slika 13: Tloris goriščne ravnine	17
Slika 14: Sistem različnih senzorjev na letalu – POS sistem	17
Slika 15: Primer uporabe različnih filtrov.....	19
Slika 16: Pot vpadajoče svetlobe skozi cepilec žarkov.....	19
Slika 17: Osnovne geometrične lastnosti trilinijskega senzorja.....	20
Slika 18: Vseh sedem pasov	20
Slika 19: Celoten potek del	21
Slika 20: Glava senzorja.....	22
Slika 21: Snemalni sistem ADS80.....	23
Slika 22: Komponente sistema DMC.....	24
Slika 23: Sestavni deli celotne kamere.....	25
Slika 24: Optični koncept osmih glav kamer sistema DMC	25
Slika 25: Princip kompenzacije	26
Slika 26: Prikaz barvnih in pankromatskega kanala	28
Slika 27: Celoten potek del	29
Slika 28: (a) nova kamera DMC s podstavkom, (b) senzorji nove kamere	30

Slika 29: (a) sistem vgrajen v platformo (Malmberg, 2007), (b)Komponente snemalnega sistema UltraCamD.....	31
Slika 30: Razvrstitev sistema leč.....	32
Slika 31: Optični koncept trinajstih senzorjev sistema UltraCamD.....	32
Slika 32: Princip snemanja sistema UltraCamD.....	34
Slika 33: Sestava enotne pankromatske podobe.....	34
Slika 34: Potek del.....	35
Slika 35: Komponente sistema UltraCamX.....	36
Slika 36: Optični koncept vseh treh sistemov.....	37
Slika 37: Primerjava obeh principov snemanja.....	38
Slika 38: Testno območje Vaihingen/Enz.....	41
Slika 39: Testno območje Vaihingen/Enz sistema ADS40.....	42
Slika 40: Testno polje Pavia.....	43
Slika 41: Struktura fotogrametričnih blokov.....	43
Slika 42: Testno polje Fredrikstad sistema DMC.....	44
Slika 43: Testno polje Fredrikstad sistema UltraCamD.....	46
Slika 44: Testno polje Sjököulla.....	47

KAZALO PRILOG

Priloga A: Okvirni vprašalnik.....	65
------------------------------------	----

OKRAJŠAVE IN SIMBOLI

- ADS (angl. airborne digital sensor) – zračni digitalni senzor
- CAS – Ciklično aerosnemanje Slovenije
- CCD (angl. charge–coupled device) – naprava za pretok električnega naboja
- CMOS (angl. complementary metal oxide semiconductor) – komplementarni kovinsko oksidni polprevodnik
- CU (angl. control unit) – kontrolna enota
- DLR (nem. Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt) – Nemški vesoljski center
- DMC (angl. digital mapping camera) – digitalna kamera
- DO (angl. digital optics) – digitalni optični sistem
- FMC (angl. forward motion compensation) – kompenzacija premika zaradi hitrosti leta
- FDS (angl. flight data storage) – letalski sistem za shranjevanje podatkov
- GB (angl. gigabyte) - gigabajt
- GI (angl. guidance indicator) – sistem za vodenje
- GIS – geografski informacijski sistem
- GNSS – (angl. Global Navigation Satellite Systems) – globalni navigacijski satelitski sistem
- GPS (angl. Global Positioning System) – globalni sistem za pozicioniranje (ameriški sistem)
- IMU (angl. inertial measurment unit) – inercialna merska enota
- INS (angl. inertial navigation system) inercialni navigacijski sistem
- IGI – Ingenieur – Gesellschaft für interfaces mbH
- IPAS (angl. inertial position and attitude system) – inercialni sistem za določitev lokacije
in smeri
- MM (angl. memory mass) – spominska enota
- MSU (angl. mobile storage unit) - premična/prenosna pomnilniška enota
- NIR (angl. near infrared) – bližnje infrardeča svetloba
- OI40 (angl. operator interface) – zaslon, občutljiv na dotik
- POS (angl. position and attitude system) – sistem za določitev položaja in smeri
- RGB (angl. red, green, blue) – rdeča, zelena, modra (oznake barvnih kanalov v digitalni sliki)
- SCU (angl. storage and computing unit) – računalniška in pomnilniška enota
- SH (angl. sensor head) – ohišje senzorja

SSD (angl. solid state disk) – trdi disk

SU (angl. sensor unit) - senzor

TDI (angl. Time Delayed Integration) – časovno zakasnjena integracija

UCD – UltraCam D

Z/I – Zeiss & Intergraph

SLOVAR MANJ ZNANIH BESED IN TUJK

pansharpening – ostrenje večspektralnih podob na osnovi pankromatskega kanala

postprocesing – naknadno procesiranje, poobdelava

preprocesing - predobdelava

work flow – potek dela

1 UVOD

Letalska fotografija se je najbrž začela razvijati zaradi potrebe po videnju sveta iz ptičje perspektive. Prve fotografije iz zraka, ki jih je posnel francoski fotograf Felix Nadar, so nastale leta 1859. S pomočjo balona na vroči zrak se je vzdignil v višave ter posnel svet pod seboj. Razvoj tehnologije je tekel naprej v koraku s časom. Tako sta leta 1903 brata Wright izumila prvo letalo, s katerega je bil posnet prvi letalski posnetek. Nekaj let kasneje sta brata Brock in Edvard Cahill ustvarila prvo kamero, ki je bila vgrajena v letalo. Tako ni bilo več potrebno držati kamere v rokah.

V obdobju prve in druge svetovne vojne se je zračna fotografija največ uporabljala v vojaške namene, saj so na podlagi posnetkov preučevali sovražnikova ozemlja in načrtovali vojaške operacije. Sledilo je obdobje iznajdbe prvih računalnikov. Postopki, ki so prej potekali ročno, so zdaj bili izvedeni s pomočjo računalnika. Ta je prihranil veliko časa in denarja.

Kamere, ki so slike zapisovale na analogni film, so zamenjale kamere s svetlobno občutljivim senzorjem, na katerega se zabeleži slika. Tako se je začel razvoj digitalne zračne fotografije in digitalnih zračnih snemalnih sistemov.

Glavni namen diplomske naloge je predstaviti pregled dokaj nove digitalne tehnologije zračnega snemanja ter na podlagi pridobljenih podatkov iz literature primerjalno analizirati tri najbolj uporabljene snemalne sisteme med seboj.

Cilji diplomske naloge je bil pridobiti dovolj informacij, na osnovi katerih bo možno izdelati primerjalno analizo obstoječih sistemov. Poleg tega pa sem želela ugotoviti, kakšno je stanje na področju uporabe te tehnologije v Sloveniji.

V nalogi sem v drugem poglavju najprej predstavila digitalne zračne snemalne sisteme. V njem so opisane vrste snemalnih sistemov, njihove glavne značilnosti ter sestava snemalnih sistemov. Sledi opis senzorjev oz. kamer, princip njihovega delovanja ter na koncu še celoten postopek izvedbe snemanja.

V tretjem poglavju so podrobneje predstavljeni vsi trije v svetu najpogosteje uporabljeni snemalni sistemi.

V četrtem poglavju je predstavljena njihova primerjalna analiza. Ta obsega pregled tehničnih lastnosti in natančnosti, povzetih iz literature, ki so jih sistemi dosegli pri kalibraciji na testnih poljih.

V petem poglavju je predstavljena analiza stanja na področju digitalnih snemalnih sistemov v Sloveniji.

Digitalni fotogrametrični snemalni sistemi se iz dneva v dan bolj uporabljajo. Lahko pričakujemo, da se bo njihov razvoj vse bolj širil, analogni sistemi pa bodo postopoma šli v pozabo.

2 DIGITALNI ZRAČNI FOTOGRAMETRIČNI SNEMALNI SISTEMI

Digitalni zračni snemalni sistemi so kompleksnejši v primerjavi s fotoaparati oz. kamerami, zato jih tudi poimenujemo sistemi, ker so sestavljeni iz več komponent. Sestavljajo jih glavne komponente oz. naprave (kamera, podstavek, zaslon, spominska enota in kontrolna enota) in dodatne komponente.

Digitalni zračni fotogrametrični snemalni sistemi so v zadnjih nekaj letih doživeli velik razvoj. Če jih primerjamo z analognimi fotogrametričnimi kamerami, se od njih razlikujejo v mediju, na katerega se zapiše slika. Pri analognih kamerah se slika zapiše na film, pri digitalnih pa na svetlobno občutljive senzorje.

2.1 Značilnosti digitalnih zračnih snemalnih sistemov

Že samo ime pove, da se digitalni zračni snemalni sistemi uporabljajo na zračnih platformah. Nameščeni so v letalo, helikopter ali balon, tako da lahko z njim zajamemo oz. posnamemo izbrano zemeljsko površje.

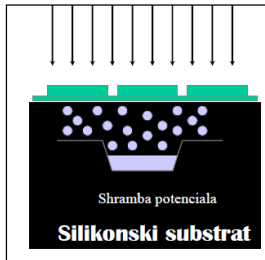
2.1.2 CCD senzorji

V digitalnih fotoaparatih se slika zabeleži na svetlobno občutljivih senzorjih. To so polprevodniški mikročipi, sestavljeni iz svetlobno občutljivih fotodiod, ki svetlobo pretvorijo v električni tok (Kosmatin Fras, 2009).

Poznamo dve osnovni tehnologiji:

- CCD (angl. Charge Coupled Device),
- CMOS (angl. Complementary Metal-Oxid Semiconductor).

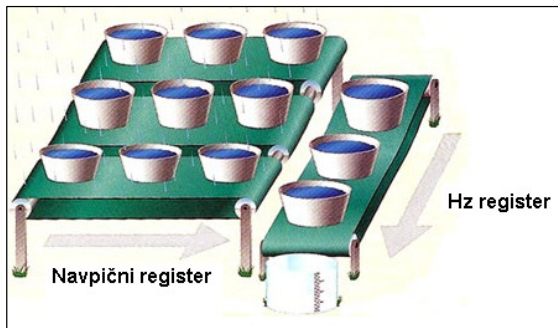
Tipala se razlikujejo med seboj po načinu izdelave, delovanju, kakovosti in ločljivosti.



Valovanje (vidne) svetlobe pade na silikonski substrat. Sprostijo se elektroni, njihovo število je proporcionalno z gostoto pretoka fotonov. Elektroni se zbirajo v shrambi potenciala dokler traja čas osvetlitve. Do tu je princip enak za CCD in CMOS, v nadaljnjem postopku pa nastopijo razlike (Kosmatin Fras, 2009).

Slika 1: Osnovni princip registracije svetlobe (Kosmatin Fras, 2009)

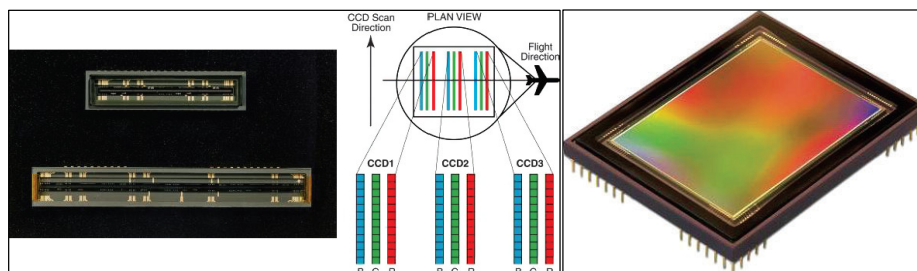
Električni naboj iz fotodiode se preko prenosne mreže in pomičnih registrov prenese na izhodni ojačevalnik. Moderni senzorji imajo barvne filtre razvrščene v modelu po čipu, tako da so lahko zbrane barvne podobe. Proizvod senzorja je niz števil, ki definirajo intenziteto in barvo svetlobe po celotni podobi (Kosmatin Fras, 2009).



Slika 2: Delovanje medvrstičnega senzorja CCD

(<http://www.science.ca/scientists/scientistprofile.php?PID=129&pg=1>, 30.05.2010)

Na sliki 3 je na levi strani prikazan linijski CCD senzor ter na desni strani ploskovni CCD senzor.



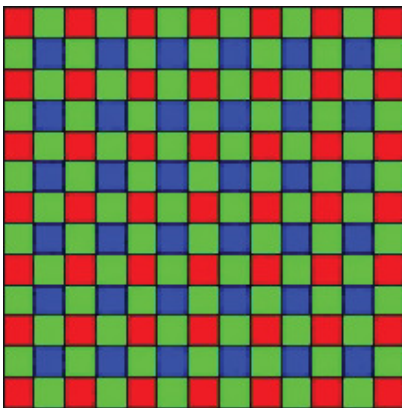
Slika 3: (a) linijski CCD senzor, (b) ploskovni CCD senzor (Petrie et al., 2007)

2.1.3 Beleženje barv

CCD detektorji so monokromatski, zato je glavna skrb, kako proizvesti barvne podobe.

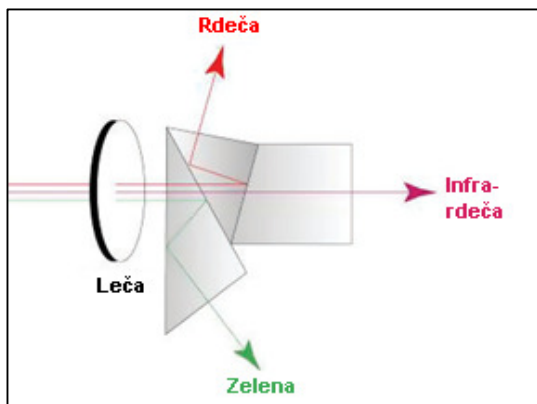
Poznamo različne načine za proizvodnjo barvnih podob, te pa so (Petrie et al., 2007):

- Uporaba Bayerovega vzorca ali uporaba drugih interpolacijskih shem, ki ustvarjajo barvne ali lažno barvne podobe z enojnim CCD poljem.
- Uporaba več kamer oz. polj, le ti so opremljeni vsak z drugačnim filtrom za zbiranje podobe različnih spektralnih pasov. Kasneje se te ločene spektralne podobe združijo v končno kompozicijsko barvno podobo.
- Uporabo cepilcev žarkov, ki ločijo različne spektralne pasove z enojno kamero in z uporabo več ploskovnih polj znotraj kamere, ki posnamejo barvno ločene podobe in jih na koncu združijo v končno barvno podobo.



Mozaik majhnih filtrov, ki se razprostirajo po polju detektorjev. Vsak piksel sprejme rdečo, zeleno ali modro svetlobo, kot je prikazano na sliki 4. Za vsak piksel v izhodni podobi je eden od treh pasov sprejet direktno, medtem ko sta ostala dva interpolirana iz sosednjih pikslov (Petrie et al., 2007).

Slika 4: Bayerjev vzorec (Petrie et al., 2007)



Cepilec žarkov je nameščen med leče in tri ločene slikovne plošče s svojim lastnim ploskovnim poljem in spektralnim poljem (Petrie et al., 2007).

Slika 5: Cepilec žarkov (Petrie et al., 2007)

Digitalno fotogrametrično snemanje omogoča zajemanje prostorskih podatkov, rezultat le tega pa so zračni posnetki izbranega dela površja.

Če želimo kakor koli vplivati na tržno nišo, ki jo že desetletja zaseda visoko kakovostna filmska kamera, mora zračni digitalni senzor imeti naslednje lastnosti (Fricker et al., 2000):

- široko vidno polje in širok snemalni pas,
- visoko ločljivost in natančnost, tako geometrično kot radiometrično,
- lastnosti črtnega senzorja,
- večspektralne podobe,
- možnost stereo načina.

Glavne prednosti digitalnih snemalnih sistemov (Kosmatin Fras, 2009):

- hitrejša pot do podatkov (ni vmesnih faz razvijanja filma in skeniranja),
- možnost direktnega georeferenciranja (GPS/INS),
- možnost pridobivanja večspektralnih in pankromatskih podatkov.

Imajo pa digitalni snemalni sistemi tudi nekaj slabosti (Kosmatin Fras, 2009):

- velika količina podatkov,
- geometrična ločljivost čipov še ne dosega ločljivosti analognih filmov,
- velikost senzorja je v primerjavi s standardno velikostjo zračnega posnetka še vedno majhna.

Zajete zračne posnetke lahko uporabljamo na več področjih in za različne namene.

Pomembnejša področja uporabe so naslednja: pri izdelavi digitalnega ortofota, linijskih načrtov, 3D podob, digitalnih modelov terena, pri analizi podob in vegetacije, klasifikaciji in za ustvarjanje baze GIS podatkov, itd.

2.2 Vrste digitalnih snemalnih sistemov

To poglavje je povzeto po Petrie, 2006.

Obstaja več vrst digitalnih snemalnih sistemov. Dva osnovna principa te tehnologije pa sta:

- digitalni ploskovni senzorji,

- digitalni vrstični oz. linijski senzorji.

Digitalne ploskovne senzorje lahko glede na velikost ustvarjene podobe delimo v naslednje tri razrede:

- kamere malega formata,
- kamere srednjega formata,
- kamere velikega formata.

Kamere malega formata ustvarjajo podobe do velikosti 16 megapikslov. Lahko jih razdelimo v dve skupini, in sicer kamere z enojno lečo in z več lečami. Prve ustvarjajo barvne podobe s pomočjo filtrov in Bayerjevo interpolacijo, lahko pa imajo vgrajen cepilec žarkov, kar omogoča pridobitev barvnih in lažno barvnih podob brez interpolacije. Druge uporabljamo za pridobitev barvnih in lažno barvnih podob s popolno spektralno ločljivostjo, kar pomeni, da tudi ni potrebno uporabiti interpolacije.

Kamere srednjega formata ustvarjajo podobe velikosti med 16 in 50 megapikslov. Barvne in lažno barvne podobe so proizvedene s pomočjo Bayerjevega vzorca. Glavna prednost teh kamer je, da imajo visoko fleksibilnost in nizke stroške delovanja (Cramer, 2004).

Kamere velikega formata pa ustvarjajo podobe, ki so večje od 50 megapikslov. Lahko jih razdelimo v dve kategoriji:

- enojne kamere opremljene s posameznimi veliko formatnimi CCD matričnimi polji, ki ustvarjajo monokromatske (črno bele) ploskovne podobe,
- sisteme, ki uporabljajo mnogovrstne kamere srednjega formata.

Ploskovne kamere, ki spadajo v kategorijo enojnih kamer, uporabljajo največja CCD ploskovna polja, ki so na tržišču. Največ se uporabljajo za vojaške namene.

Mnogovrstne kamere srednjega formata ustvarjajo podpodobe, ki vsebujejo pozneje uporabljene tehnike slikovnih obravnav, da ustvarijo eno slikovno veliko formatne digitalne

ploskovne podobe. Primera takšnih kamer sta DMC podjetja Intergraph in UltraCamD podjetja Vexcel. Oba primera bosta podrobneje obravnavana v naslednjem poglavju.

Digitalne vrstične oz. linijske senzorje delimo v naslednje tri razrede:

- monokromatski skenerji,
- barvni skenerji,
- tri vrstični skenerji.

Monokromatski skenerji imajo relativno enostavno obliko, ki ustvarjajo monokromatske linijske podobe v vidnem in bližnje infrardečem delu spektra.

Barvni skenerji so po obliki podobni monokromatskim skenerjem. Glavna razlik med njimi je, da imajo barvni dodano tri linijsko polje, ki ustvarja nepretrgano barvno linijsko podobo, ne pa monokromatsko.

Tri linijski skenerji ustvarjajo tri prekrivajoče ozko pasovne podobe, ki so pridobljene istočasno ob uporabi linijskih polij, ki so v trojkah usmerjena naprej, nadirno in nazaj. Linearna polja so lahko vključena tudi v goriščno ravnino skenerja, kar pa jim omogoča, da proizvajajo večspektralne, barvne in lažno barvne podobe. Na podlagi podob, ki jih pridobimo s to obliko skenerjev, lahko izdelamo 3D stereo modele. Primer takšnega skenerja je ADS40, ki ga je ustvarilo podjetje Leica. Le ta pa bo v nadaljevanju podrobneje obravnavan.

2.3 Sestava zračnih digitalnih snemalnih sistemov

Letalski digitalni snemalni sistemi so sestavljeni iz osnovnih in dopolnilnih komponent, ki omogočajo sistemu, da pravilno deluje.

Osnovne komponente na letalu so:

- kamera oz. senzor,
- pomnilniška enota,
- računalniška enota,
- kontrolna enota,

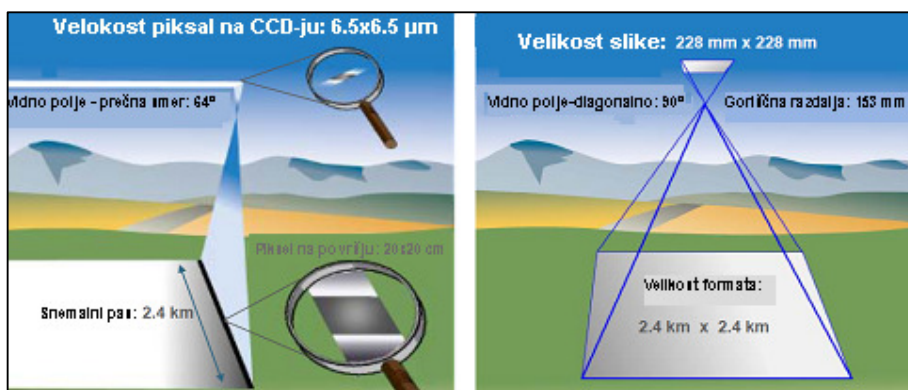
- zaslon.

Poleg naštetih osnovnih enot, imajo sistemi še dodatne enote, ki pa se razlikujejo od sistema do sistema.

2.4 Princip delovanja snemalnih sistemov

Glede na princip delovanja snemalnih sistemov razlikujemo:

- delovanje digitalnih ploskovnih senzorjev,
- delovanje digitalnih vrstičnih senzorjev.



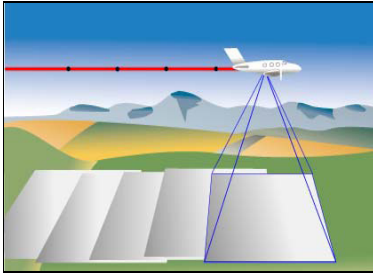
Slika 6: Osnovna terminologija pri snemanju (Schreiber, 2009)

Pokritost površja z letalskimi fotografijami je odvisna od več dejavnikov, predvsem od goriščne razdalje (angl. focal length) objektiva, višine leta (angl. flying height) platforme in formata senzorja (Oštir, 2006).

2.4.1 Ploskovni senzorji

Princip snemanja je prikazan na sliki 7 in poteka po naslednjih korakih:

- senzor v smeri leta posname posnetek za posnetek v centralni projekciji,
- posnetki se medsebojno prekrivajo (60%),
- zaznana svetloba se zapiše na ploskovne CCD senzorje.

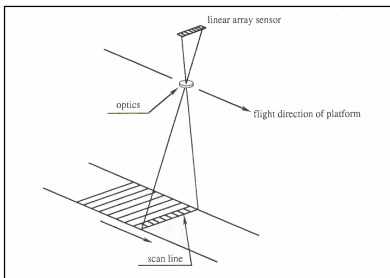


Slika 7: Princip snemanja pri ploskovnih senzorjih (Schreiber, 2009)

2.4.2 Vrstični senzorji

Princip snemanja je prikazan na sliki 8, in je sledeč:

- senzor v smeri leta posname linijo oz. vrstico po vrstico,
- zaznana svetloba se zapiše na linijske CCD senzorje,
- vse posnete linije se združijo v pas, ki predstavlja linijsko podobo.



Slika 8: Potek snemanja pri linijskih senzorjih (LaRocque, 2007)

2.5 Celoten postopek izvedbe snemanja

To poglavje je povzeto po viru (McGlone, J.C. (ur.), Mikhail, E.M. (ur.), Bethel, J. (ur.), Manual of photogrammetry, Fifth edition, poglavje 15).

Za tehnično načrtovanje in modeliranje površja so pomembni vnaprej znani natančni podatki o zemeljskem površju ali njegove značilnosti. Za pridobitev takšnih podatkov se največkrat uporabljajo sodobne fotogrametrične tehnike.

Kadar se odločimo, da bomo pridobili prostorske podatke s pomočjo fotogrametričnih postopkov, moramo najprej sestaviti fotogrametrični projekt. Projekt je aktivnost, katerega

naloga je izpeljati oz. doseči zastavljeni cilj v določenem časovnem obdobju. Proces planiranja vsebuje oblikovanje podrobne sheme, programa ali metode izdelave vnaprej, za dovršeno izpeljavo zastavljenih ciljev. Ponavadi poznamo več načinov za doseganje projektnih ciljev. Zato mora projektant predstaviti vse tehnike, ki jih lahko uporabimo za doseganje le teh, pazljivo analizirati vse načine in nato med njimi izbrati optimalnega. Pri planiranju fotogrametričnih projektov mora projektant oceniti tudi stroške projekta. Planiranje kateregakoli fotogrametričnega projekta se začne s samo definicijo projekta, konča pa se z njegovo realizacijo.

2.5.1 Definicija, določitev in načrtovanje projekta

Planiranje projekta je skupna odgovornost projektanta in stranke, ki zahteva izvedbo projekta. Uspešen projekt zahteva, da so projektni cilji jasno in nedvoumno definirani.

Projekt obsega naslednje naloge:

- določitev geometrije podobe,
- določitev smeri leta,
- določitev pogojev,
- plan snemanja.

Preden se lotimo snemanja, je potrebno premisliti glede letnega časa in časa letenja, prav tako pa tudi, kako bodo določene in signalizirane kontrolne točke.

2.5.2 Snemanje podprto z GNSS in INS sistemi

GNSS sistem se v fotogrametriji uporablja za naslednje namene (Kosmatin Fras, 2004):

- za navigacijo letala pri aerosnemanju,
- določitev položaja fotoaparata v trenutku snemanja,
- merjenje oslonilnih točk na terenu.

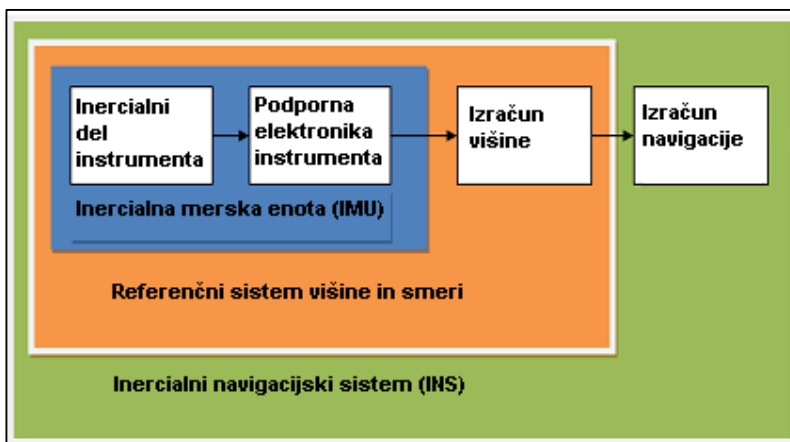
S pridobljenimi GPS podatki med samim potekom snemanja, lahko kasneje pridobimo prostorske koordinate projekcijskega centra zračne kamere. Glavna spodbuda za uporabo

GPS podatkov so prihranki, zaradi pomembnega zmanjšanja v potrebi po zemeljski kontroli. Nedavni napredek v GPS strojni opremi in novi programski opremi za obdelavo podatkov je omogočil, da lahko določimo lego GPS antene s pomočjo diferencialnih kinematičnih GPS meritev, katerih natančnost znaša od 3 do 10 cm. Medtem ko je ta tehnologija dozorela v zadnjem desetletju, je natančno planiranje bistveno za njen uspeh.

Delovanje inercialnega navigacijskega sistema (INS) je odvisno od Newtonovega zakona o klasični mehaniki. Inercialna navigacija uporablja žiroskope in merilnike pospeškov za določitev popravkov položaja, hitrosti in smeri plovila, v katerem se nahaja INS.

INS vsebuje naslednje komponente, ki so tudi prikazane na sliki 9 (Davidson, 2007):

- inercialna merska enota (IMU),
- elektronika instrumenta,
- navigacijski računalnik (eden ali več).



Slika 9: Komponente INS (Davidson, 2007)

IMU sestavlja skupina senzorjev: merilnikov pospeškov (ponavadi trije) in žiroskopov (tudi trije). Ti senzorji so nepremično pritrjeni na podlago, da ohranjajo enako relativno orientacijo. INS pomaga GPS sistemu tako, da pridobiva navigacijske rešitve med izgubo GPS signala in nato omogoča njegovo ponovno pridobivanje.

2.5.3 Prenos plana snemanja na računalniški medij in izvedba snemanja

Ko imamo projekt jasno zastavljen in določen, ga moramo le še realizirati. Najprej je potrebno vse zbrane podatke shraniti na računalniški medij in jih nato prenesti na kontrolno enoto našega zračnega snemalnega sistema.

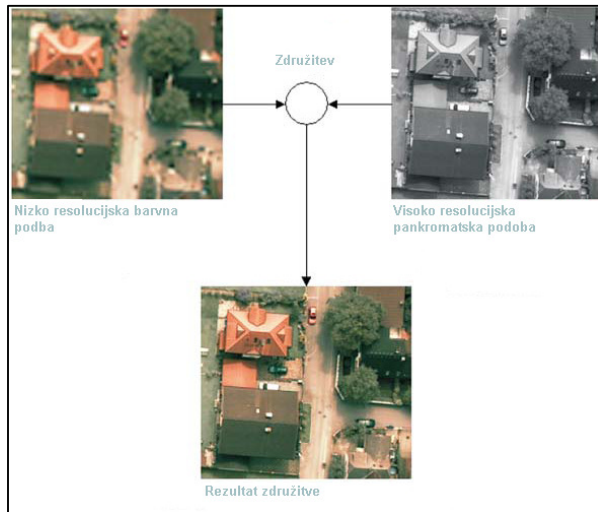
Določeno je območje, ki ga moramo posneti, kdaj ga bomo posneli, kje bo začetek snemanja, kakšni so snemalni koti, itd. S plovilom se odpravimo na določeno območje in začnemo s snemanjem. Snemamo toliko časa, dokler ni posneto celotno območje.

2.5.4 Prenos podatkov v pisarno, obdelava podatkov ter končni izdelek

Po končanem snemanju odstranimo pomnilniško enoto iz sistema in jo priključimo na računalnik v pisarni. Le ta mora imeti veliko spominsko enoto, saj imajo posneti podatki ogromno kapaciteto. Po prenosu lahko začnemo z obdelavo digitalnih podob. Postopke lahko razdelimo v štiri skupine (Oštir, 2006):

- predobdelava,
- izboljšanje,
- transformacija ter
- klasifikacija in analiza.

Z izrazom predobdelava podob so zajete vse operacije, ki jih izvedemo, preden se prične glavni postopek analize in pridobivanje informacij. Običajno gre za dve skupini operacij, in sicer za radiometrične in geometrične popravke. Pri radiometričnih popravkih skušamo odpraviti nepravilnosti v delovanju senzorja in odstraniti atmosferske šume. Poleg tega podatke pretvorimo v številske vrednosti, ki kar se da ustrezajo zaznanemu odbitemu ali oddanemu elektromagnetnemu valovanju. Geometrični popravki vključujejo odstranjevanje popačenja zaradi geometrije snemanja in zaradi njenega spreminjanja. V postopku predobdelave poskrbimo tudi za geokodiranje – pretvorbo podatkov v izbrane koordinate na površju Zemlje (Oštir, 2006).



Slika 10: Potek spojitve podob (Ciceli, Gajski, 2007)

V sklop poobdelave spada tudi proces »pan sharpening« (spojitev). Senzorji, ki zbirajo informacije o barvah, imajo 4 do 5 krat manjšo ločljivost od pankromatskih senzorjev. Za pridobitev barvne podobe z največjo ločljivostjo moramo uporabiti postopek, ki je prikazan na sliki 10, to pa je združitev barvne podobe z nizko ločljivostjo in pankromatske podobe z visoko ločljivostjo.

Tako obdelani podatki so primerni za izdelavo ortofoto načrtov, digitalnih modelov reliefa, topografskih načrtov, za klasifikacijo, slikovne analize in za izdelavo podatkovnih GIS baz.

3 PREGLED POMEMBNIH DIGITALNIH SNEMALNIH SISTEMOV

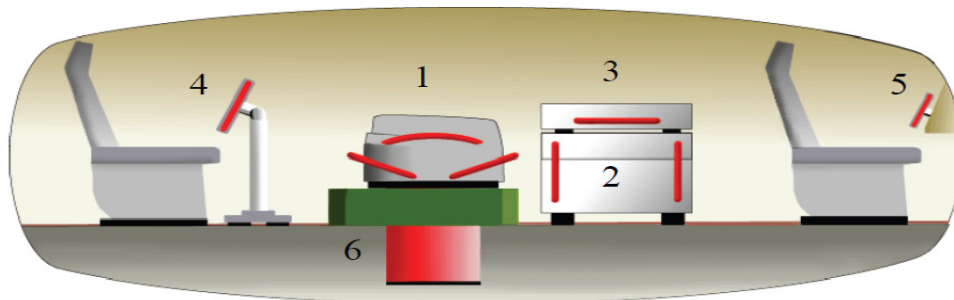
Dandanes poznamo veliko število digitalnih snemalnih sistemov, da bi vse našteali in opisali, bi potrebovali zelo veliko časa. Zato bodo v nadaljnjem besedilu predstavljeni le trije izmed najpomembnejših in najbolj uporabljenih sistemov na svetu.

3.1 Linijski snemalni sistem ADS40

Zgodba sistema ADS40 se je začela leta 1996, ko sta Leica Geosystem in nemški vesoljski center DLR podpisala sporazum o medsebojnem sodelovanju. Ta je obsegal načrt in izdelavo prve komercialne zračne veliko formatne digitalne kamere. V poletju leta 2000 pa se je začelo njegovo rojstvo, saj je bil prvič predstavljen občinstvu (Fricker, 2004) .

3.1.1 Kaj ga sestavlja?

Sistem ADS40 je sestavljen iz naslednjih komponent:

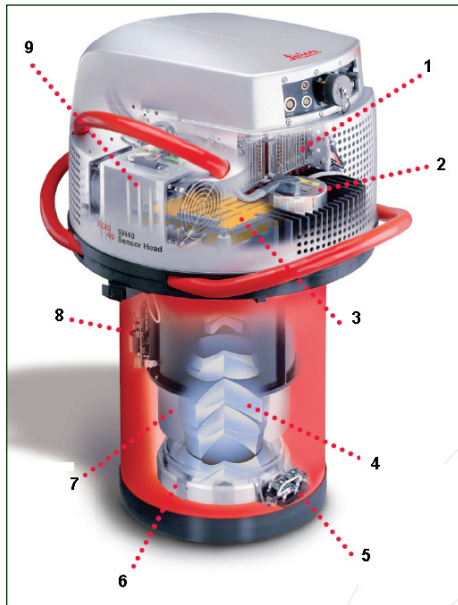


Slika 11: Komponente sistema ADS40 (ADS40 Large-Scale Digital Imagery, 2009)

1. Glava senzorja SH40 : - digitalno optični sistem DO64,
- IMU (inercialna merska enota),
2. Kontrolna enota CU40 : - POS sistem (sistem za določitev lokacije in orientacije),
3. Spominska enota MM40,

4. Zaslona OI40, občutljiv na dotik,
5. Sistem za vodenje GI40,
6. Žirostabiliziran podstavek PAV30 za senzor.

Glavni sestavni deli glave senzorja SH40 so:



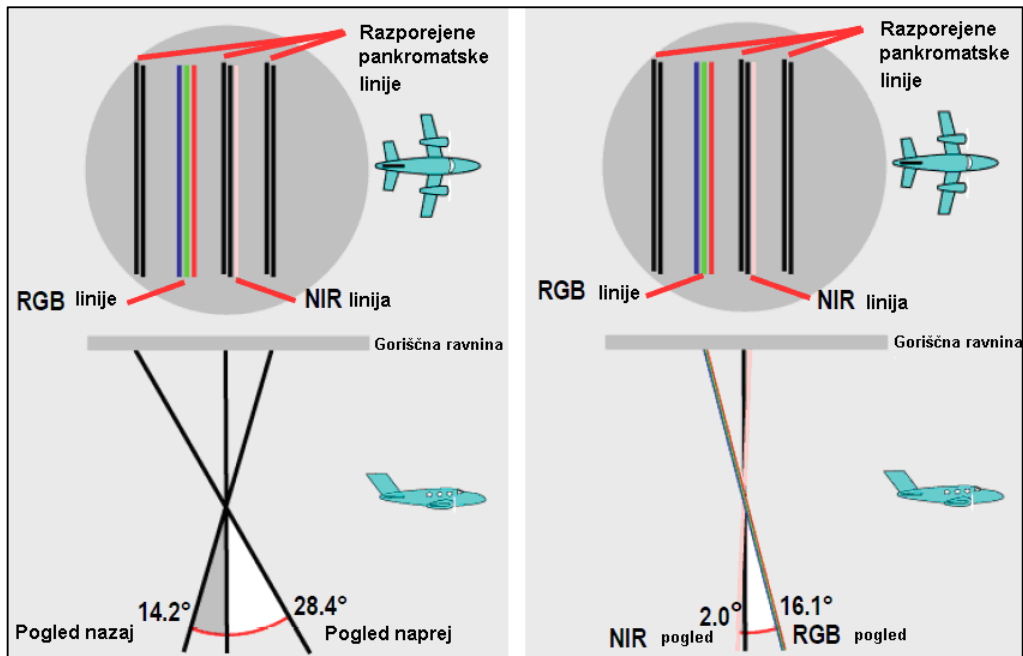
- 1 - elektronika
- 2 - IMU
- 3 - goriščna ravnina s CCD polji, filtri in trikroidom
- 4 - telecentrične leče
- 5 - video kamera
- 6 - sprednja zavarovalna leča
- 7 - temperaturno kompenzirano ohišje leč
- 8 - kontrolna elektronika
- 9 - ogrevalni in hladilni sistem

Slika 12: Sestavni deli glave senzorja (ADS40 Large-Scale Digital Imagery, 2009)

Digitalni optični sistem DO64 senzorja ADS40 je sestavljen iz 7 CCD linijskih senzorjev. Od tega so trije pankromatski, štirje pa večspektralni. Vsak pankromatski senzor je ustvarjen, da zbira poglede naprej, navpično navzdol in nazaj. Sestavljeni so iz dveh CCD linij, kateri vsebujeta vsaka po 2 x 12.000 pikslov, ti pa sta zamaknjeni za pol piksla (3.5 μm).

Večspektralni senzorji skrbijo za barvno podobo slike. Sestavljeni so iz RGB linij (trije CCD senzorji) in linij za bližnjo infrardečo svetlobo. Vsaka CCD linija vsebuje 12.000 piksov.

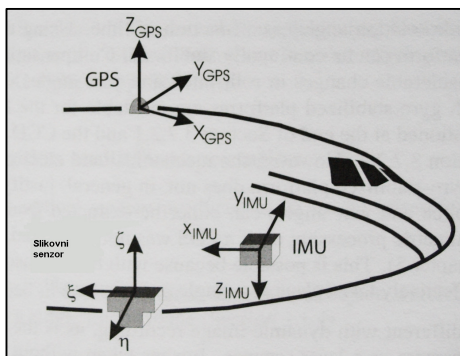
Slika 13 nam nazorno prikazuje zgoraj omenjene CCD linije, prikazani pa so tudi snemalni koti za različne poglede.



Slika 13: Tloris goriščne ravnine (Fricker, 2001)

3.1.1.1 POS sistem (GPS in IMU)

ADS40 je prvi komercialen zračni digitalni snemalni senzor, ki ima integrirane dodatne senzorske sisteme za določanje položaja (GPS in IMU). GPS ima dvojno vlogo, saj zagotavlja ravne in vnaprej določene zračne linije, prav tako kot tudi podpira IMU sistem z natančno lego. IMU preskrbuje podatke o smeri, ki ohranjajo žiro-podstavek točno v vertikalni in vzporedni ravnini. Uporaba GPS in IMU senzorja zahteva, da so opravljene zanesljive meritve pred in po letu (Fricker, 2001).



Slika 14: Sistem različnih senzorjev na letalu – POS sistem (Kraus, 2007)

3.1.1.2 Žirostabiliziran podstavek PAV30

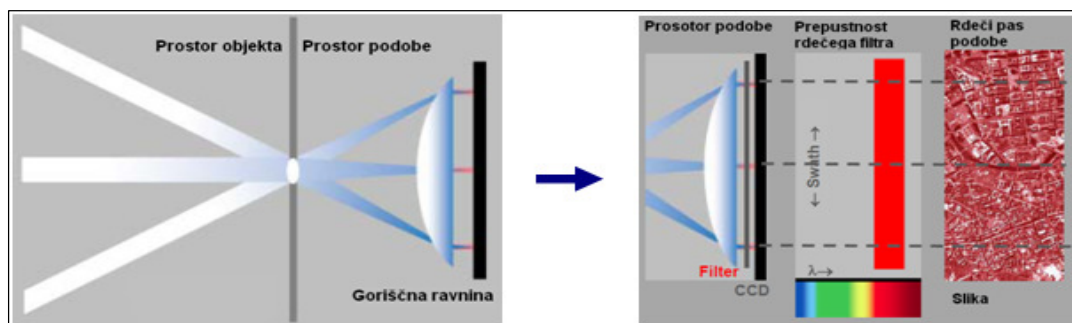
Izdelan je bil za izravnavo letalskih premikov in za kakovost zračnih fotografij. Avtomatsko popravlja premike, tudi v primeru turbulence.

Preglednica 1: Tehnični podatki snemalnega sistema ADS40 (ADS40 Large-Scale Digital Imagery, 8.12.2009)

Zračni digitalni senzor ADS40	
Vrsta	Tri linijski CCD stereo senzor
Teža celotnega sistema	224 kg
Velikost spominske enote	580 GB
Slikovnih elementov po CCD liniji	12000
Velikost slikovnega elementa	6.5 μ m
Dinamični obseg	12 - bitni (neobdelani podatek)
Radiometrična ločljivost	8 - bitna
Normalizacija	8 – bitna, linearna ali nelinearna
Vidno polje (prečno na smer poleta)	52°
Goriščna razdalja	80 mm
Snemalni pas na višini 3100m	3000m, velikost slikovnega elementa na terenu je 25 cm
Stereo koti	17°, 25°, 42°
Snemalni interval na črto	1.2 ms
Filtrski obseg (pri λ_{50})	Pankromatski, 465 – 680 nm Rdeči, 610-660 nm Zeleni, 535-585 nm Modri, 430-490 nm Bližnji infrardeči, 835-885 nm

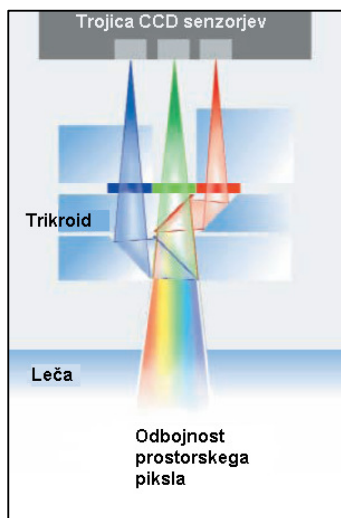
3.1.2 Princip delovanja kamere

Senzorji v kameri zaznajo svetlobo oz. elektromagnetno valovanje in ga pretvorijo v značilen zapis (v našem primeru digitalni posnetek). Objektiv, ki je sestavljen iz več leč, usmeri sprejeto valovanje na občutljiv CCD senzor, na katerem nato nastane posnetek. Za izboljšanje posnetka uporabljamo različne filtre, kot je to prikazano na sliki 15.



Slika 15: Primer uporabe različnih filtrov (Schreiber, 2009)

V ADS40 so rdeči, zeleni in infrardeči žarki fizično ločeni na goriščni ravnini, tako da vsak sprejema informacijo s točno enakega dela zemeljskega površja, zato ni prisotnih problemov pri registraciji v vidnem delu spektra.

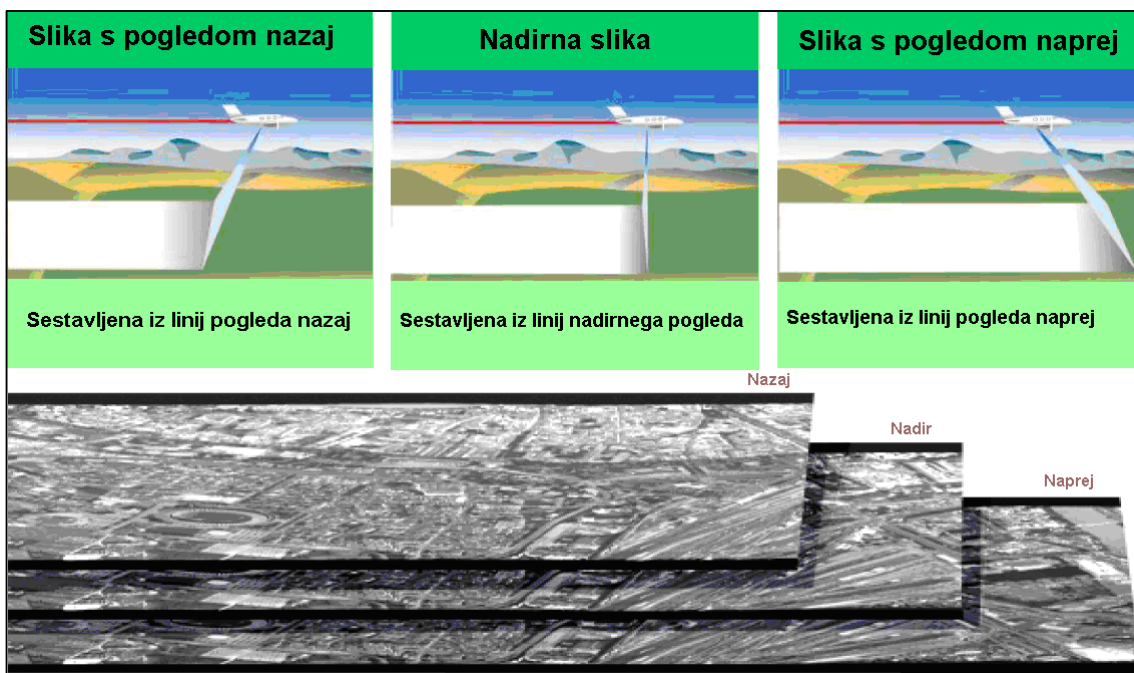


Slika 16: Pot vpadajoče svetlobe skozi cepilec žarkov (ADS40 Airborne Digital Sensor, 2009)

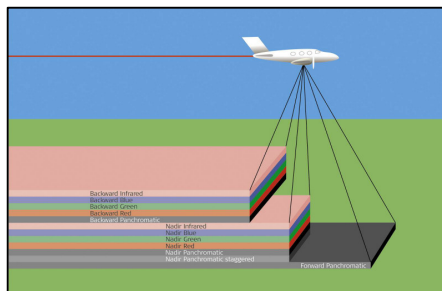
Senzor ADS40 ima vgrajen tudi tako imenovani trikroid (cepilec žarkov). Njegova naloga je, da preprečuje minimalne izgube energije in da zagotavlja, da je prihajajoča RGB svetloba z območja zaznana s tri linijskim CCD poljem občutljivim na RGB svetlobo (slika 16).

3.1.3 Princip snemanja

ADS40 je trivrstični skener, zato omogoča snemanje v treh smereh – smer nazaj, navpično navzdol in naprej. Slika vsake skenirane linije se združi v pasove. Tri linije nam omogočajo sestavo treh različnih parov za stereoskopsko analizo, in sicer pasove 1 in 2, 2 in 3 ter 1 in 3. Pri tem načinu snemanja je vsak objekt posnet trikrat, kar omogoča večje medsebojno prekrivanje (Fricker et al., 2000).



Slika 17: Osnovne geometrične lastnosti trilinijskega senzorja (Schreiber, 2009)

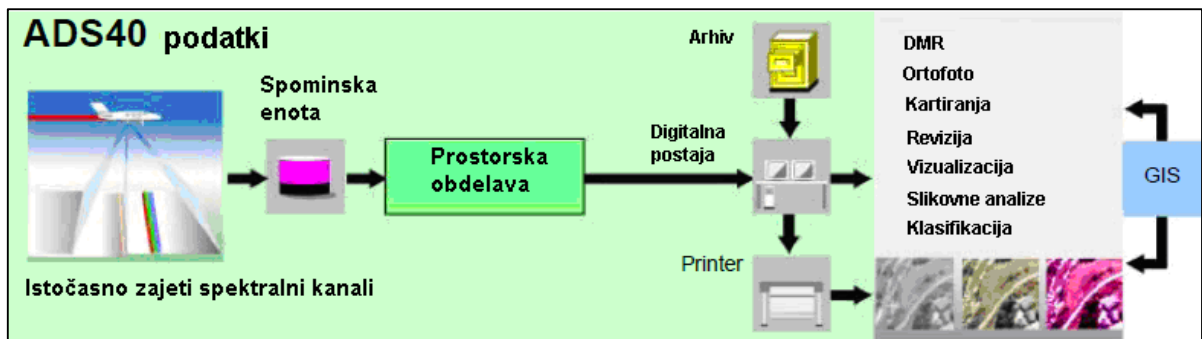


Slika 18: Vseh sedem pasov (Schreiber, 2009)

Sistem ima vgrajen linijski senzor za pankromatsko območje, filtre za rdečo, zeleno, modro ter za bližnje infrardeče območje. Tako da na koncu posnamemo sedem različnih pasov, kot je prikazano na sliki 18 (Schreiber, 2009).

3.1.4 Celoten potek snemanja

Celoten potek od snemanja do končnega izdelka je prikazan na sliki 19. Najprej se mora izvesti snemanje, s katerim pridobimo digitalne podobe zemeljskega površja. Te se shranijo v pomnilniško enoto MM40 snemalnega sistema. Po končanem snemanju enostavno odstranimo izmenljivo pomnilniško enoto iz snemalnega sistema in začnemo z obdelavo v pisarni. Poleg posnetih zemeljskih podob se na pomnilniško enoto shranijo tudi GPS podatki in IMU podatki, ki nam služijo pri popravilu podobe. Takšno podobo lahko sedaj gledamo v stereo načinu (3D), prav tako pa lahko izvajamo ročne meritve veznih točk in avtomatsko merjenje vozlišč. Popravi sledi blokovna izravnava, ki odstrani še preostalo paralakso na popravljeni podobi. Obdelani podatki so precizni, brez paralakse in jih lahko opazujemo stereoskopsko (Fricker, 2001). Nadalje jih lahko uporabimo za izdelavo digitalnega modela reliefa, za kartiranje, ortofoto načrte, za klasifikacijo, vizualizacijo in slikovno analizo.



Slika 19: Celoten potek del (ADS40 Airborne Digital Sensor, 2009)

3.1.5 Novejši modeli

3.1.5.1 Druga generacija snemalne kamere ADS40

Leta 2006 je podjetje Leica Geosystems v Švici objavilo možnost izdelave druge generacije snemalne kamere ADS40, ki naj bi imela številne nove in izboljšane značilnosti. Te pa so (Casella et al., 2008) :

- novo naprava za razcepitev žarkov (tertachroid), ki omogoča pridobitev štirih koregistriranih pasov (rdečega, zelenega, modrega in infrardečega),
- povečana občutljivost kamere,
- krajši čas integracije,
- manjša stopnja slikovnega šuma,
- boljša berljivost slike, posnete v senčnih območjih,
- zmožnost pridobiti slike s prostorsko ločljivostjo pod 10 cm,
- večja prostorska ločljivost,
- povečana produktivnost,
- notranja geometrija kamere je bolj stabilna,
- izboljšava filtrov,
- deformacije podob so pod 1 mikrometrom.



Možni sta dve obliki glave senzorja SH51 in SH52. Prva ponuja osem vzporednih senzorskih linij, od tega so štiri pankromatske (sprednja, 2x nadirna in zadnja) in 4 nadirne večspektralne (rdeča, zelena, modra, NIR), osnovane na enem tetrakroidu, ki omogočajo podobe za izdelavo ortofoto načrtov. Druga glava pa proizvaja 12 vzporednih senzorskih linij, štiri pankromatske (sprednja, 2x nadirna in zadnja), nadirna in zadnje večspektralne (rdeča, zelena, modra, NIR), osnovane na dveh tetrakroidih. Ustvarjajo podobe za univerzalno uporabo in posebno za uporabo v daljinskem zaznavanju (Bachofen et al., 2008).

Slika 20: Glava senzorja (Leica ADS80 Airborne Digital Sensor, 2009)

3.1.5.2 Tretja generacija ADS80



ADS80 je tretja generacija snemalnih sistemov in je bila predstavljena občinstvu leta 2008. Sistem je boljši v primerjavi z ostalimi veliko formatnimi digitalnimi zračnimi tehnologijami, ki so na voljo. Možni sta dve obliki glave senzorja SH81 in SH82, ki sta podprti z večjim obsegom prostorske uporabe od ortofota do 3D kartiranja.

Slika 21: Snemalni sistem ADS80 (Leica ADS80 Airborne Digital Sensor, 2009)

Sistem ima naslednje prednosti:

- vstavljen IMU sistem,
- novo kontrolno enoto CU80,
- popolno ko-registracijo, enako ločljivost pankromatske, barvne in barvno-infrardeče podobe, kar prinese več informacij,
- povečan čas ciklusa omogoča manjšo prostorsko ločljivost (<5 cm) ob povečani hitrosti leta,
- neposredno georeferenciranje z vstavljenim IPAS zmanjša potrebo po prekrivanju v prečni smeri, oslonilnimi točkami in zmanjšati čas izdelave,
- nova spominska enota MM80 omogoča večjo prilagodljivost,
- povečana proizvodnja podatkov omogoča pridobivanje podatkov za fotogrametrijo in daljinsko zaznavanje,
- novo stiskanje podatkov zagotavlja večjo kvaliteto podobe v vseh pasovih,
- ni potreben postopek »pan-sharpening«,

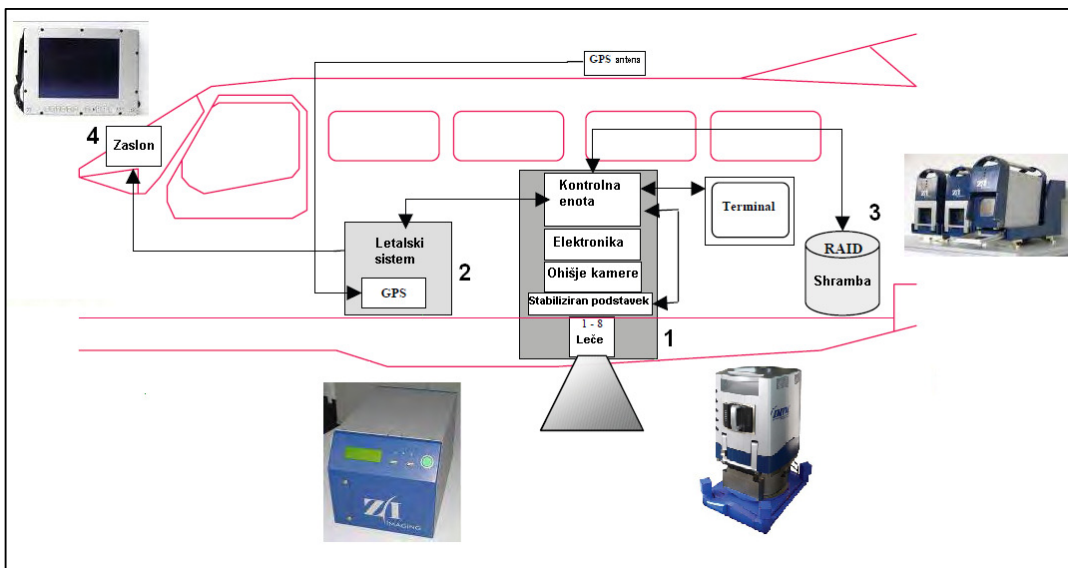
Sistem, kombiniran z novo programsko opremo Xpro za prostorsko obdelavo, predstavlja najbolj dovršen in ploden veliko formatni senzor, ki je na voljo. Prinaša povečano prilagodljivost, večjo produktivnost in nižje stroške skozi celoten potek dela (Leica ADS80 Airborne Digital Sensor, 2009).

3.2 Ploskovni snemalni sistem DMC

Digitalna kamera DMC je produkt podjetja Z/I Imaging. Leta 2002 je bila prvič predstavljena na trgu. Je veliko formatna digitalna kamera, katere podoba se zapiše na ploskovne CCD senzorje.

3.2.1 Kaj ga sestavlja?

Spodnja slika 22 prikazuje tipično namestitvev DMC sistema v zračno plovilo in komponente, ki sestavljajo snemalni sistem.

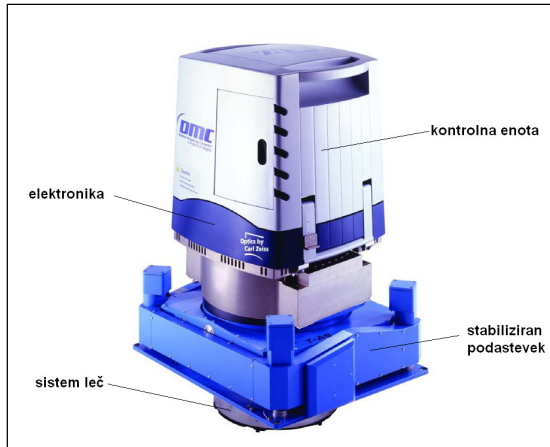


Slika 22: Komponente sistema DMC (Hinz, 2001)

Snemalni sistem DMC je sestavljen iz naslednjih komponent:

1. Celotna kamera:
 - kontrolna enota
 - elektronika
 - sistem leč
 - žirostabiliziran podstavek
2. Letalski sistem
3. Trdi disk z izmenljivo spominsko enoto

4. Zaslona



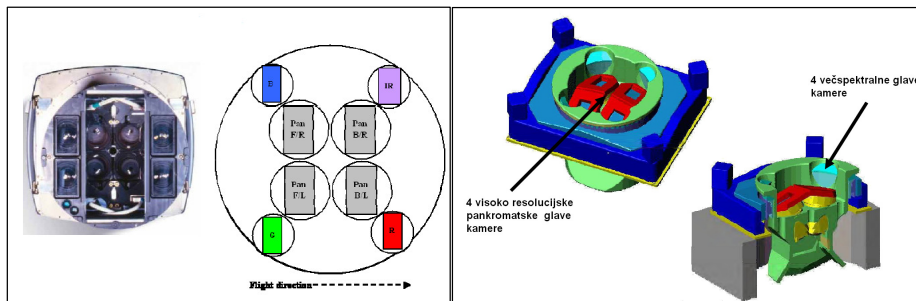
Kontrolna enota služi za komunikacijo z zunanjim sistemom, kontrolira pretok podatkov in shranjuje podatke na spominsko enoto. Na sliki 23 jo predstavlja zgornji sivi del, ki pa je narejen tako, da ga lahko odstranimo, kar nam omogoča lažjo namestitvev. Pod kontrolno enoto se nahaja temno moder del, ki predstavlja elektroniko sistema.

Slika 23: Sestavni deli celotne kamere (Digital Mapping Camera System, 2009)

Ta enota skladišči celotno elektroniko glav kamer in kontrolira njihovo delovanje. Vsebuje elektroniko za moč zapirala, zbira slikovne podatke in komunicira s kontrolno enoto (Hinz et al., 2001). Za elektroniko sledi sistem leč, ki vsebuje osem glav kamer. Štiri od njih so pankromatske, širi pa večspektralne. Vsaka glava kamere ima svoj sistem leč in deluje kot samostojna kamera, razlika je samo v tem, da je zajetje podobe za vse glave istočasno.

Visoko resolucijski pankromatski kanal vsebuje štiri 7k x 4k veliko – ploskovne CCD čipe in visoko kvalitetne leče z goriščno razdaljo 120 mm.

Večspektralni kanali so vgrajeni ob zunanjem robu sistema leč in vsebujejo štiri 3k x 2k veliko ploskovne CCD čipe, kot je prikazano na sliki 24. Sistem lahko zbira podobe v rdečem, zelenem, modrem in ločenem bližnje infrardečem kanalu za snemanje pravih in lažno barvnih podob istočasno.



Slika 24: Optični koncept osmih glav kamer sistema DMC (Honkavaara, 2007 in LaRocque, 2007)

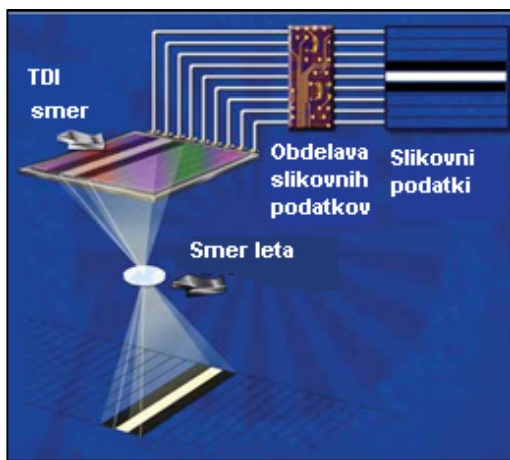
Vse enote skupaj predstavljajo celotno kamero, ki je vstavljena v žirostabiliziran podstavek, kateri omogoča, da se kamera med snemanjem ne premika.

Celoten snemalni sistem se upravlja s postajo, letalskim sistemom in zaslonom.

Trdi disk sistema ima izmenljivo spominsko enoto, kar omogoča enostaven prenos podatkov v pisarno. En trdi disk ima kapaciteto 280 GB. Sistem omogoča največ uporabo treh diskov, kar pomeni, da znaša celotna kapaciteta sistema 840 GB. Ob pravi ločljivosti (12 bitov) in barvnem načinu, lahko posnamemo več kot 2000 podob.

Neobvezen IMU sistem je lahko vgrajen v sistem, kar omogoča delo brez prostorske kontrole ali z zmanjšanim številom oslonilnih točk (Hinz et al, 2001).

DMC sistem uporablja pri snemanju tudi tehnologijo FMC ((angl. Forward motion compensation) - kompenzacija premika zaradi hitrosti letala)). To je tehnika, ki je bila uvedena za analogne kamere. Njena naloga je zmanjšati napake na zračnih podobah. Razlog za te napake pa je ta, da medtem ko je podoba osvetljena, se letalo premika. FMC tehnika popravi te napake tako, da premakne podobo v nasprotno smer letenja, da ohrani lokacijo načrtovane objektne točke, določene med časom ekspozicije. Ta tehnika je v fotogrametričnem svetu dobro sprejeta in je pomagala doseči ostre podobe. DMC sistem je izvedel tudi tehniko TDI (angl. Time Delayed Integration) – integracija zaradi časovne zakasnitve. Princip tehnike je ta, da elektronsko premaknemo podobo preko CCD polja. To pomeni, da je CCD polje prebrano med ekspozicijo (Dörstel, 2005).



Slika 25: Princip kompenzacije (LaRocque, 2007)

Preglednica 2: Tehnični podatki snemalnega sistema DMC (Digital mapping camera system, 30.09.2009)

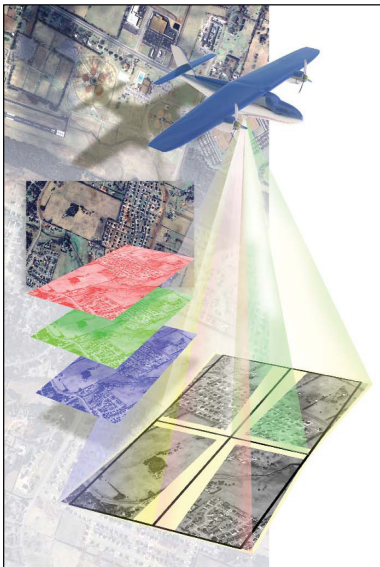
Zračna digitalna kamera DMC	
Vrsta	Ploskovni senzor
Teža celotnega sistema	171 – 255 kg
Velikost spominske enote	280 GB (3x280 = 840GB)
Velikost slikovnega elementa	12 µm
Dinamični obseg	10 - 12 bitni
Radiometrična ločljivost	12 - bitna
Vidno polje (po širini in dolžini)	74° x 44°
Goriščna razdalja	120 mm (pan), 250 mm (ms)
Maksimalno število posnetkov	2 podobi/sec
Spektralna občutljivost	Rdeč, 590-675 nm Zeleni, 500-650 nm Modri, 400-580490 nm Bližnji infrardeči, 675-850 nm

3.2.2 Princip delovanja kamere

Senzorji v kameri zaznajo svetlobo oz. elektromagnetno valovanje in ga pretvorijo v značilen zapis. Sistem leč usmeri sprejeto valovanje na občutljiv CCD senzor, na katerem nato nastane posnetek. Za pridobitev barvne slike moramo uporabiti različne barvne filtre, ki zbirajo različne dele spektralnega območja, ki so nameščeni pred leče kamere.

3.2.3 Princip snemanja

Sistem omogoča snemanje pravih in lažno barvnih podob istočasno. Vsak barvni kanal vsebuje ločene leče, CCD čipe in visoko kakovostne barvne filtre, ki so zasnovani na neorganskih materialih. Barvni kanali imajo zmanjšano prostorsko ločljivost v primerjavi s pankromatskim kanalom. Leče so usmerjene navzdol s centralno perspektivnim pogledom. Prekrivanje večspektralnih kanalov in pankromatskega kanala da končno podobo, kakor je prikazana na sliki 26 (Hinz et al., 2001).



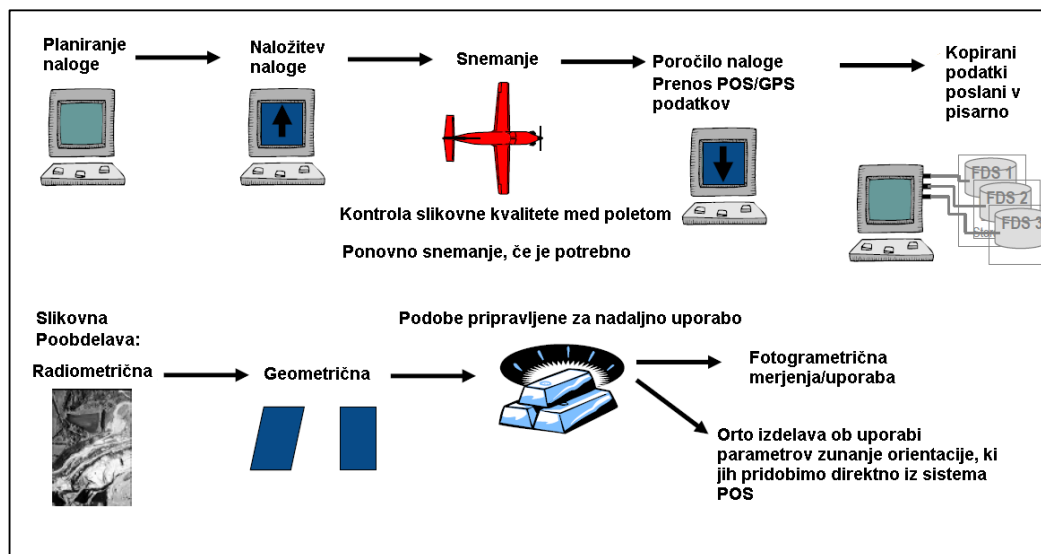
Slika 26: Prikaz barvnih in pankromatskega kanala (Digital mapping camera system, 28.12.2009)

3.2.4 Celoten potek snemanja

Uspešno zajemanje podatkov se začne z natančnim planiranjem naloge, to je z določitvijo in planiranjem potrebnih zračnih linij za zajetje podob, ki bodo vsebovale ciljno območje.

Ko je naloga dokončna, jo prenesemo na izmenljivi disk, ki ga nato vključimo na spominsko enot na zračnem plovilu. Podatki so pripravljeni, zato lahko začnemo z naslednjo fazo, to je snemanje. Med samim snemanjem pišemo poročilo opravljenih del in prenašamo podatke o orientaciji in lokaciji ter GPS podatke. Po končanem snemanju posnete podatke prenesemo v pisarno, kjer pa se začne poobdelava. Ta je sestavljena iz radiometrične obdelave in

geometrične obdelave. Najprej so surovi podatki radiometrično obdelani, to pomeni da so popravljene za vpliv neostrih robnih črt, rež in drugih radiometričnih vplivov. Nato so vmesne podobe še popravljene za geometrične vplive, to pa so distorzija leč in nagibi, ki so sestavljeni iz mozaičnih enot. Končni rezultat so različne pankromatske, barvne in barvne infrardeče podobe (Digital Mapping Camera - Intergraph, 2008).



Slika 27: Celoten potek del (LaRocque, 2007)

3.2.5 Novejši modeli

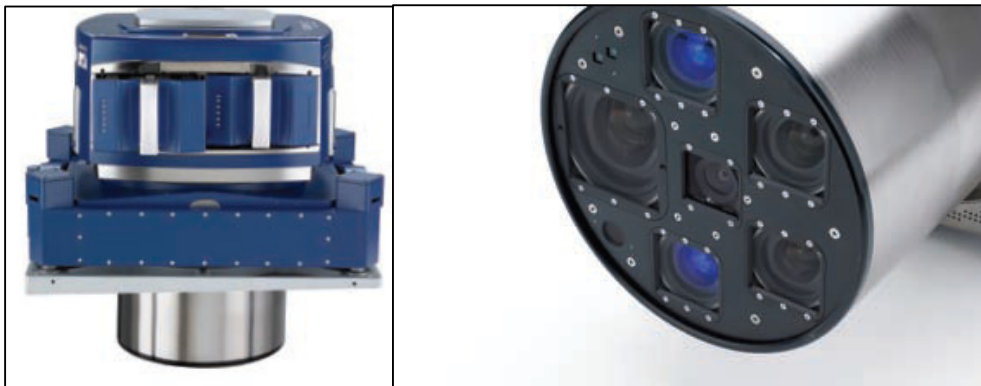
Proizvajalci sistema DMC venomer strmijo k temu, da bi obstoječi sistem izpopolnili, upoštevali predloge in zahteve uporabnikov. Novosti, ki so jih uvedli leta 2008 so bile:

- nov program za planiranje Z/I Mission,
- posodobljen letalski sistem Z/I InFlight,
- spominska enota SSD, ki je sestavni del kamere – ne potrebujemo več FDS,
- nov žirostabiliziran podstavek T – AS Digital.

Letos (2010) aprila so na tržišču predstavili novo DMC kamero. Njena posebnost je v sami sestavi, saj je sestavljena iz štirih večspektralnih kamer in samo ene pankromatske kamere (slika 28). Intergraph je razvil tri takšne sisteme (DMC II140, DMC II230 in DMC II250), glavna razlika med njimi pa je v velikosti pankromatskega CCD senzorja.

Glavne prednosti novega sistema so:

- večja velikost pankromatskega CCD senzorja, kar omogoča zajemanje večjega območja snemanja,
- izboljšan sistem leč, ki omogoča zajemanje podob z večjo ločljivostjo,
- odpade faza sestavljanja oz. mozaičenja končne podobe,
- večja velikost večspektralnih CCD senzorjev ,
- daljša goriščna razdalja in manjša velikost piksla omogoča zajem podatkov z visoko ločljivostjo,
- programski vmesniki ostajajo nespremenjeni, zato ni potrebno dodatnih usposabljanj,
- kompatibilen je z obstoječimi dodatnimi napravami predhodnih DMC sistemov.



Slika 28: (a) nova kamera DMC s podstavkom, (b) senzorji nove kamere (Intergraph, 2010)

3.3 Ploskovni snemalni sistem UltraCamD

Snemalni sistem UltraCamD, ki je bil prvič predstavljen javnosti leta 2003, je izumilo podjetje Vexcel Imaging. Prav tako je tudi kamera tega sistema veliko formatna, kot pri sistemu DMC.

3.3.1 Kaj ga sestavlja?

Snemalni sistem sestavljajo naslednje komponente, ki so nazorno prikazane na sliki 29:

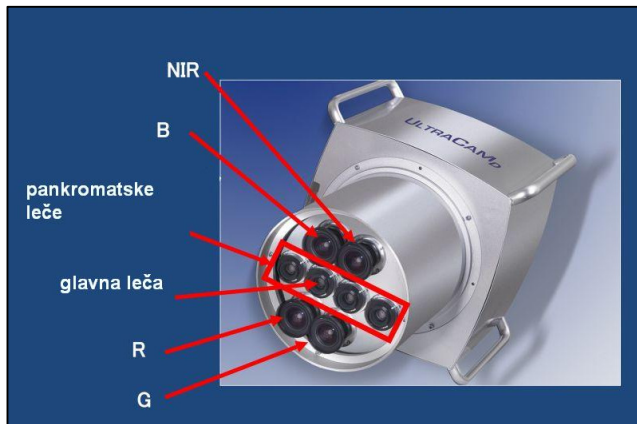


Slika 29: (a) sistem vgrajen v platformo (Malmberg, 2007), (b)Komponente snemalnega sistema UltraCamD (Tinus, 2006)

1. Celotna kamera ali senzorska enota (SU):
 - elektronika
 - sistem leč
 - žirostabilizirani podstavek
2. Računalniška in pomnilniška enota (SCU)
3. Zaslona
4. Premična/prenosna pomnilniška enota (MSU)

Elektronika je povezana z računalniško enoto, namenjena pa je za upravljanje s kamero. Sistem leč sestavlja osem med seboj neodvisnih kamer. Štiri od njih ustvarjajo veliko formatno pankromatsko podobo z velikostjo 11500 x 7500 pikslov. Ostali štirje pa so zadolženi za večspektralne kanale, to pa so rdeči, zeleni, modri in bližnji infrardeči kanal

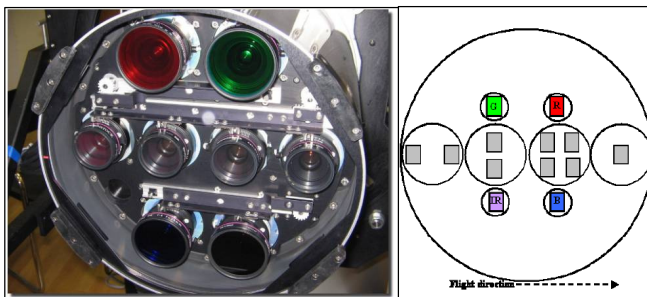
(Kröpfel et al., 2004). Kot je označeno z rdečim pravokotnikom na sliki 30, so pankromatske leče razvrščene linearno, ostale štiri večspektralne leče pa so razvrščene izven linije, kot je prikazano s puščicami. Vsaka kamera nima enako vidno polje, zato, ker ima CCD polja nameščena v različnih položajih goriščne ravnine (Leberl et al., 2003).



Slika 30: Razvrstitev sistema leč (Leberl et al., 2003)

Pankromatski del kamere je sestavljen iz devetih srednje formatnih CCD senzorjev, kateri ustvarjajo vsak posebej podpodoba z velikostjo 4k x 2.7k pikselov. Le ti so prikazani s sivimi pravokotniki na desni strani slike 31. Velika/razsežna podoba je zgrajena s kombinacijo štirih ločenih komponent podobe, eno komponento uporabimo kot »glavno«, ki definira koordinatni sistem podobe (slika 31) (Honkavaara, 2007).

Večspektralni del kamere je sestavljen iz štirih malo formatnih CCD senzorjev, kateri ustvarjajo vsak posebej barvne pod podobe z enako velikostjo kot pankromatski senzorji. Na sliki 31 so senzorji prikazani z različnimi barvami (Honkavaara, 2007).



Slika 31: Optični koncept trinajstih senzorjev sistema UltraCamD (Honkavaara, 2007)

Kamera UltraCamD lahko za stabilizacijo kamere uporablja več žirostabiliziranih podstavkov. Med drugim sta to podstavek GSM3000 in podstavek podjetja Leica PAV30, ki ga uporablja sistem ADS40.

Računalniška in pomnilniška enota služita za upravljanje s sistemom in za shranjevanje podatkov, ki jih tekom snemanja zajamemo. Pomnilniška enota ima kapaciteto 1.5 terabajta in je povezana s strežnikom z velikostjo 4 terabajte (Smith et al., 2009).

Zaslon vodi vzajemno delovanje med kamerami in površjem. Prav tako pa preko njega poteka tudi kontrola kamer in poobdelava podob (Cramer et al., 2004).

Preglednica 3: Tehnični podatki snemalnega sistema UltraCamD (Vexcel Corporation, 2004)

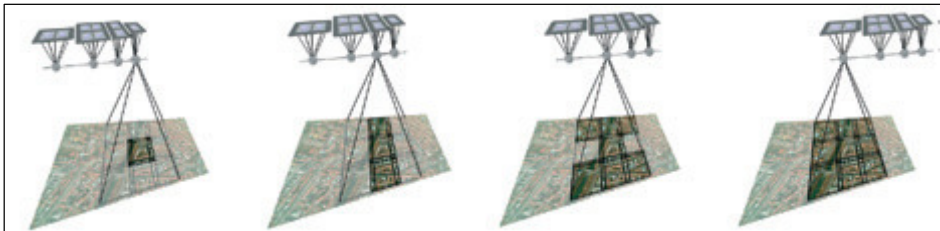
Zračna digitalna kamera UltraCamD	
Vrsta	Ploskovni senzor
Teža celotnega sistema	110 kg
Velikost spominske enote	> 1.5 TB
Velikost slikovnega elementa	9 µm
Dinamični obseg	14 bitni
Radiometrična ločljivost	> 12 bitna
Vidno polje (po širini in dolžini)	55° x 37°
Goriščna razdalja	100 mm (pan), 28mm(ms)
Maksimalno število posnetkov	1.3 podob/sec
Spektralna občutljivost	Pankromatski, 390 – 690 nm Rdeč, 570-690 nm Zeleni, 470-660 nm Modri, 390-530 nm Bližnji infrardeči, 670-940 nm

3.3.2 Princip delovanja kamere

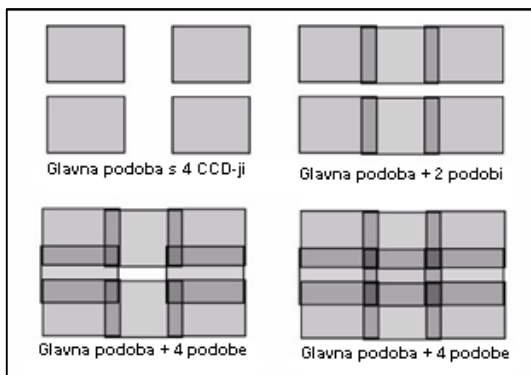
Princip delovanja je podoben kot pri prejšnjem DMC sistemu. Senzorji zaznajo različno elektromagnetno valovanje. Sistem leč ga usmeri na občutljiv CCD senzor, na katerem nato nastane podoba. Tako pridobimo pankromatsko podobo. Če pa hočemo pridobiti barvne podobe, moramo uporabiti filtre v sistemu leč, ki zaznajo različne barve.

3.3.3 Princip snemanja

UltraCamD ponuja novost v načinu, v katerem je podoba zajeta. Ta način se imenuje sintopičen sprožitven način. Kar pomeni, da niso vse podobe zajete ob istem času, ampak da si sledijo v zakasnitvi za 1 milisekundo. Ta način je prikazan na sliki 32.



Slika 32: Princip snemanja sistema UltraCamD (Vexcel Corporation, 2006)



Enotna pankromatska podoba je ustvarjena s spojitvijo devetih zajetih pankromatskih podob. Prve štiri podobe predstavljajo "glavno podobo", ki tudi določa geometrijo končni enotni podobi, vse ostale pa so njej podrejene. Končno podobo pridobimo v treh korakih, kakor je prikazano na sliki 33 (Kröpfl et al., 2004).

Slika 33: Sestava enotne pankromatske podobe (Kröpfl et al., 2004)

3.3.4 Celoten potek snemanja

Prva faza poteka je snemanje in shranitev vseh zajetih podatkov na pomnilniško enoto na platformi. Druga faza je prenos podatkov v pisarno. Prenesemo jih s pomočjo strežnika, ki omogoča prenos ogromnih količin podatkov ali pa enostavno odstranimo izmenljivo pomnilniško iz letala in jo odnesemo v pisarno. Prva polovica pomnilniške enote je namenjena za zajete izseka podob, druga pa za preslikavo zajetih podob na kopijo diskov. Zajeti podatki morajo biti nato pregledani. Odvečne podatke odstranimo, ostale pa popravimo za radiometrične in geometrične vplive. Popravljeni podatki so tako pripravljeni za nadaljnjo obdelavo.



Slika 34: Potek del (Vexcel Corporation, 2006)

3.3.5 Novejši modeli

Leta 2006 je bila na trgu predstavljena druga generacija snemalnih sistemov, in to je sistem UltracamX. Prav tako je tudi tega leta podjetje Vexcel začelo delovati pod lastništvom podjetja Microsoft Corp. Do maja 2008 je bilo prodanih 100 enot obeh sistemov (Wiechert et al., 2008).

Sistem ima naslednje prednosti:

- veliki format podobe 14430 x 9420 pikslov,
- optični sistem z 100 mm goriščno razdaljo za pankromatsko kamero in 33 mm za več spektralno kamero,
- najboljši v razredu geometrične natančnosti,
- radiometrično ločljivost večjo od 12 bitov,
- eno podobo v 1.35 sekunde,
- ima pomnilniško enoto, ki omogoča shranjevanje 4700 podob,
- direkten prenos podatkov iz platforme s pomočjo izmenljivega diska,
- hiter prenos podatkov za po-obdelavo z novo postajo.



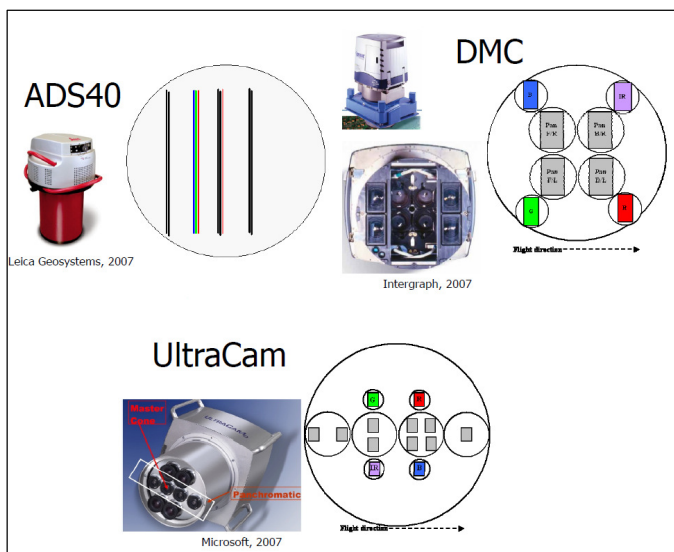
Slika 35: Komponente sistema UltraCamX (Gruber et al., 2008)

4 PRIMERJALNA ANALIZA OBRAVNAVANIH SNEMALNIH SISTEMOV

Vsi zračni fotogrametrični snemalni sistemi imajo za proizvod zračno podobo, kar pa ne pomeni, da delujejo tudi na enak način. Vsak deluje drugače in tudi potek snemanja poteka drugače. Zato bom v nadaljevanju poskušala primerjati obravnavane sisteme med seboj in prikazati njihove razlike.

4.1 Primerjava sestave

Vsi sistemi so sestavljeni iz enakih glavnih komponent. Razlike se začnejo kazati pri dodatnih komponentah, ki izboljšajo napake med samim snemanjem, tako da na koncu dobimo dokaj natančne podatke. Sistem ADS40 ima dodatni POS sistem, ki služi za orientacijo in določitev lokacije letala, medtem ko ga pri ostalih dveh snemalnih sistemih ni potrebno uporabiti. Sistem DMC edini uporablja sistem FMC, ki izvaja izravnavo zaradi hitrosti leta. Sistem ADS40 uporablja za zaznavanje svetlobe linijska CCD polja, medtem ko ostala dva uporabljata ploskovna CCD polja, kakor je prikazano na sliki 36. Sistem ADS40 vsebuje sedem linijskih senzorjev, DMC devet, največ pa jih vsebuje sistem UltraCamD, to je trinajst.



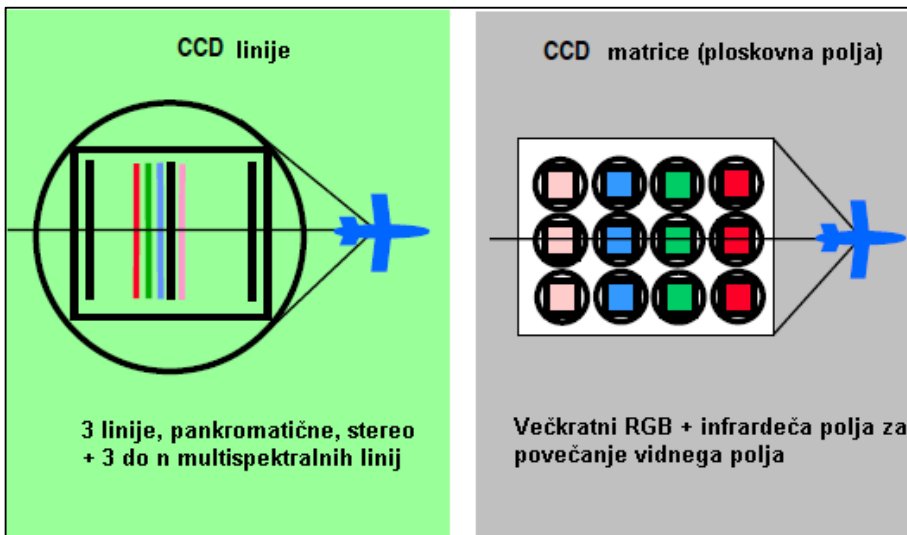
Slika 36: Optični koncept vseh treh sistemov (Honkavaara, 2007)

4.2 Primerjava principa delovanja

Iz poglavja 3 je razvidno, da je glavna razlika pri delovanju vseh sistemov ta, da sistem ADS40 uporablja cepilec žarkov (t.i. trichroid), ki preprečuje minimalne izgube energije. Vsi sistemi pa za zajemanje barvnih podob uporabljajo barvne filter.

4.3 Primerjava principa snemanja

Na sliki 37 (levo) je predstavljen princip delovanja linijskega sistema ADS40. Če ga primerjamo s principom delovanja ploskovnih sistemov DMC in UltraCamD, ki je prikazan na sliki 37 (desno), lahko vidimo, da je razlika v tem, da pri linijskem načinu snemamo tri poglede (naprej, nazaj in nadirno) in na koncu dobimo podobo v obliki pasu oz. traku. Pri ploskovnem načinu pa zajemamo posnetek za posnetek, ki je v perspektivni pogledu, tako da na koncu dobimo blok posnetkov. Razlika je tudi pri medsebojnem prekrivanju posnetkov. Pri linijskem snemanju je pokrivanje 100% v smeri leta, medtem ko je prekrivanje pri ploskovnem načinu 60%.



Slika 37: Primerjava obeh principov snemanja (Fricker et al., 2000)

4.4 Primerjava tehničnih značilnosti

Preglednica 4: Primerjava lastnosti (prvih verzij) vseh snemalnih sistemov (Schiewe, 2004)

Senzor	ADS40	UltraCamD	DMC
Podjetje	Leica Geosystems	Vexcel Corp.	Z/I Imaging
Tip senzorja	Linijski CCD	Ploskovni CCD	Ploskovni CCD
Leto predstavitve	2000	2003	2002
Goriščna razdalja (mm)	62.7	100 (28 večspektralno)	120 (25 večspektralno)
Število CCD linij/kamer	7	13	8
CCD v prečni smeri	2 x 12000 (pan.), 12000 (ms.).	11500 (pan.), 4008 (ms.).	13824 (pan.), 3000 (ms.).
CCD v vzdolžni smeri	/	7500 (pan.), 2672 (ms.).	7680 (pan.), 2000 (ms.).
Velikost piksla (μm)	6.5	9	12
Radiometrična ločljivost (bit)	12	> 12	12
Spektralna ločljivost (nm)	465-680 (pan), 428-492 (modra), 533-587 (zelena), 608-662 (rdeča), 703-757 (bližnja ir.).	390-690 (pan), 360-470 (modra), 420-580 (zelena), 620-690 (rdeča), 690-900 (bližnja ir.).	400-580 (pan), 400-580 (modra), 500-650 (zelena), 590-675 (rdeča), 675-850 (bližnja ir.).
Frekvenca čitanja	800 linij / s	0.75 podobe / s	0.5 podobe / s
Stabilizacija	LH platforme	GSM3000, PAV30	Zeiss T-AS platforma
Snemanje podatkov	MM40 spominska enota	RAID trdi disk	SCU > 1 TB
Georeferenciranje	Applanix POS IMU z GPS in INS	Ni določeno	POS Z/I 510 navigacijski sistem z GPS in INS
Ocenjena cena	850.000,00 €	500.000,00 €	1.120. 000,00 €

4.5 Primerjava geometričnih natančnosti pridobljenih med izvedbo kalibracije

Preden snemalne sisteme pošljejo na tržišče, opravijo kalibracijo kamere. Kalibracija je postopek, pri katerem določimo parametre notranje orientacije in je sestavljen iz laboratorijskega dela in kalibracije na testnih poljih.

Natančnost komponent točk izračunamo po naslednjih enačbah (Kraus, 2007):

$$\text{Horizontalna natančnost: } \sigma_X = \sigma_Y = m_b \cdot \sigma_B \quad (1)$$

$$\text{Vertikalna natančnost: } \sigma_Z = m_b \cdot \frac{h_g}{B} \sigma_B \quad (2)$$

Kjer je:

- m_b ... merilo podobe;
- σ_B ... natančnost slikovnih koordinat;
- B ... baza (razdalja med optičnima centroma prekrivajočih se podob);
- h_g ... višina leta (razdalja med senzorjem in površjem).

V nadaljevanju bodo predstavljena testna območja, ki se največkrat uporabljajo za kalibracijo sistemov in pridobljeni rezultati.

4.5.1 Testna območja za izvajanje kalibracije

4.5.1.1 Testno polje Vaihingen/Enz

Testno območje Vaihingen/Enz se nahaja 20 km severno-zahodno od Stuttgarta v Nemčiji, katerega velikost znaša 35 km² (7.5 km v smeri E-W x 4.8 km v smeri N-S). Gričevnato območje je poraščeno z različnimi vrstami rastlin in se uporablja predvsem za kmetijske namene. Idealno je za analizo geometrične natančnosti zračnih senzorjev. Vsebuje okrog 200 dobro signaliziranih objektnih točk (www.ifp.uni-stuttgart.de, 12.02.2010).

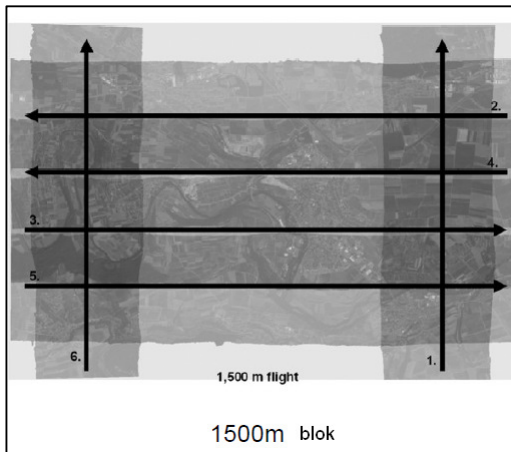


Slika 38: Testno območje Vaihingen/Enz (www.ifp.uni-stuttgart.de, 12.02.2010)

Snemanje na testnem območju in celoten potek izračunov je izvedla ekipa podjetja Leica Geosystems. Potekalo je 26. junija 2004, na štirih višinah 500, 1500 m, 2500 m in 4000 m, vendar bodo v nadaljevanju predstavljeni rezultati samo za višino 1500 m. Potek snemanja na testnem polju je prikazan na sliki 39. Puščice in številke na sliki predstavljajo vrstni red in potek snemanja (Cramer, 2009).

Preglednica 5: Osnovni podatki Vaihingen/Enz (Cramer, 2009)

Višina leta [m]	Prostorska ločljivost [m]	Št. pasov vzdolžno/prečno	Prekrivanje vzdolžno/prečno [%]	Št. posnetkov	Dodatni podatki
1500	0.18	4/2	100/44	36	GPS/INS



Slika 39: Testno območje Vaihingen/Enz sistema ADS40 (Cramer, 2009)

Izračuni so potekali s programsko opremo Leica:

- GPro
- ORIMA

Raziskava je pokazala, da kažejo absolutne natančnosti, določene iz analize kontrolnih točk, relativno majhno degradacijo z večanjem višine leta, kakor je pričakovano. Natančnost v horizontalni smeri je bila 3.4 cm in v vertikalni smeri 6 cm.

Pri primerjavi empirične natančnosti z ocenjenimi vrednostmi pri normalnih pogojih je bilo razvidno, da izpolnjujejo vsa pričakovanja (Cramer, 2009).

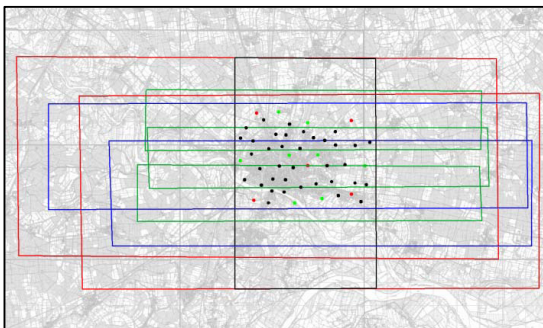
4.5.1.2 Testno polje Pavia

Testno območje Pavia se nahaja na severozahodu Italije, katerega velikost znaša 35 km² (7.5 km v smeri E-W x 4.8 km v smeri N-S). Vsebuje 50 dobro signaliziranih oslonilnih točk, ki so na terenu označene z belimi kvadratnimi oznakami (60 cm x 60 cm). Njihove koordinate so določene z GPS sistemom, katerih natančnost je boljša od 1 cm (Casella et al., 2008).



Slika 40: Testno polje Pavia (Casella et al., 2008)

Snemanje na testnem območju je izvedlo podjetje CGR iz Italije, medtem ko sta raziskavo posamezno izvedli dve skupini – Inštitut za geodezijo in fotogrametrijo, ETH Zurich in Geometrični laboratorij univerze v Pavi-i. Meritve so bile izvedene leta 2004. Snemanje je potekalo na treh višinah 2000 m (zelena), 4000 m (modra) in 6000 m (rdeča). V nadaljevanju bodo predstavljeni samo rezultati za snemalno višino 2000 m. Na sliki 41 lahko vidimo omenjeno testno območje, kjer so z različnimi barvami označeni pasovi, ki so bili posneti na različnih višinah .



Slika 41: Struktura fotogrametričnih blokov (Casella, et al., 2008)

Pri izračunu je bil uporabljena naslednja programska oprema:

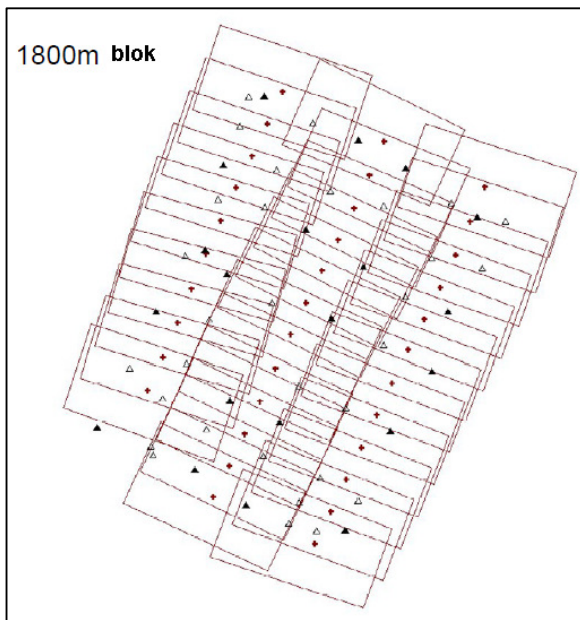
- Socet set
- GPro
- ORIMA

Raziskava je pokazala, da je Univerza v Pavii za vse višine leta dobila najboljše rezultate za kontrolne točke v primeru samokalibracije ob uporabi 12 oslonilnih točk. Horizontalna natančnost je znašala 5 cm in vertikalna natančnost 6 cm.

Inštitut ETH je dobil tudi najboljše rezultate v primeru samokalibracije ob uporabi 12 oslonilnih točk in modelu direktnega georeferenciranja . Rezultati so bili slednji: horizontalna natančnost je znašala 4 cm, vertikalna pa 5 cm (Casella, et al., 2008).

4.5.1.3 Testno polje Fredrikstad

Testno območje Fredrikstad se nahaja na jugu Norveške. Velikost območja znaša 27 km² (5 km v smeri N-E x 6.5 km v smeri S-W) in vsebuje veliko število dobro signaliziranih oslonilnih točk.



Slika 42: Testno polje Fredrikstad sistema DMC (Cramer, 2009)

Snemanje s snemalnim sistemom DMC je bilo izvedeno 10. oktobra 2003. Dvajset točk je bilo opredeljenih kot oslonilne točke, dvajset pa kot kontrolne točke. Slika 42 prikazuje skico celotnega poteka snemanja.

Preglednica 6: Osnovni podatki Fredrikstad - DMC (Cramer, 2009)

Višina leta [m]	Prostorska ločljivost [m]	Št. pasov vzdolžno/prečno	Prekrivanje vzdolžno/prečno [%]	Št. podob	Dodatni podatki
1800	0.18	3	60/30	34	/

Za obdelavo je bila uporabljena naslednja programska oprema:

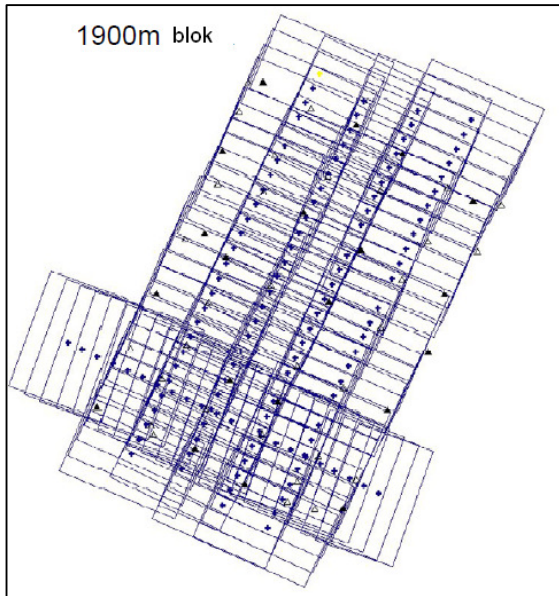
- MATCH- AT
- ACX – Geo Tex
- LPS
- BLUH
- ISAT

Raziskava je pokazala, da dobimo najboljše rezultate ob uporabi samokalibracije z 12 parametri. Horizontalna natančnost je znaša 3 cm in vertikalna 5 cm (Cramer, 2009).

Snemanje s snemalnim sistemom UltracamD je bilo izvedeno 16. septembra 2004. V polju je bilo 14-17 točk opredeljenih kot oslonilne točke, 22-23 točk pa kot kontrolne točke.

Preglednica 7: Osnovni podatki Fredrikstad - UCD (Cramer, 2009)

Višina leta [m]	Prostorska ločljivost [m]	Št. pasov vzdolžno/prečno	Prekrivanje vzdolžno/prečno [%]	Št. podob	Dodatni podatki
1900	0.17	4/1	80/60	131	GPS



Slika 43: Testno polje Fredrikstad sistema UltraCamD (Cramer, 2009)

Za obdelavo je bila uporabljena naslednja programska oprema:

- MATCH- AT
- ORIMA
- LPS
- BLUH
- Bingo

Raziskava je pokazala, da dobimo najboljše rezultate ob uporabi samokalibracije z 12 parametri. Horizontalna natančnost je znašala 3 cm in vertikalna 2 cm (Cramer, 2009).

4.5.1.4 Testno polje Sjöckulla

Testno polje Sjöckulla se nahaja na jugu Finske. Velikost testnega območja znaša 1 km² (1x1), kakor je prikazano na sliki 44. Območje vsebuje stalne oslonilne točke, testne tarče in sivo lestvico, za določitev različnih natančnosti (geometrično, prostorsko, spektralno in radiometrično).



Slika 44: Testno polje Sjöckulla (Honkavaara, 2007)

DMC test na testnem območju se je izvajal 01.09.2005 in 02.09.2005. Prvi dan se je snemalo iz dveh višin. Najprej na višini 500 m, kjer se je posnelo 6 vzdolžnih in 2 prečna pasova, nato pa še na višini 800 m, kjer se je posnelo 4 vzdolžne in 3 prečne pasove. Drugi dan se je snemalo samo na višini 800 m, in sicer 4 vzdolžne pasove (Honkavaara et al., 2006).

Rezultati so pokazali, da je najboljša natančnost horizontalnih koordinat na objektu boljša od 1 cm in 2 cm za višine, kar je blizu ocenjenim natančnostim oslonilnih točk.

Blok s prostorsko ločljivostjo 5 cm je imel slabšo natančnost, kot blok s prostorsko ločljivostjo 8 cm.

Snemanje s sistemom UltracamD se je izvajalo 14.10.2004 in 15.10.2004. Snemalo se je iz štirih različnih višin (500m, 800m, 2500m in 5000m).

Rezultati so pokazali, da je najboljša natančnost horizontalnih koordinat na objektu 1 cm in vertikalna natančnost 2 cm (Honkavaara, 2008).

4.5.1.5 Testno polje Franklin Mills

Testno polje se nahaja na severu Philadelphie, katerega velikost znaša okoli 4.9 km². V glavnem vsebuje parkirišče trgovskega centra in bližnjo okolico. Takšna soseska ima polno parkirnih črt, cestnih signalov in naslikane smerne puščice, kateri služijo kot dobro definirane oslonilne in kontrolne točke. Teh točk je 42, njihove koordinate pa so bile določene s pomočjo RTK GPS sistema, katerih natančnost znaša 2 cm ali manj (Passini, 2008).

Snemanje s sistemom DMC je bilo izvedeno julija leta 2007. Posnetih je bilo 72 podob s prostorsko ločljivostjo 54 mm.

Za obdelavo je bila uporabljena naslednja programska oprema:

- MATCH- AT
- BLUH (parametri)

Rezultati so pokazali, da dobimo najboljšo natančnost z uporabo samokalibracije z 1-12 BLUH-ovimi parametri oziroma s parametroma 79 (parameter omogoča določitev razlike goriščnih razdalj med kamerami) in 80 (parameter omogoča določitev razlike radialnih distorzij kamer). Horizontalna natančnost je znašala pod 3 cm in vertikalna 3 cm.

Snemanje s sistemom UltracamD je bilo izvedeno februarja leta 2006. Posnetih je bilo 66 podob s prostorsko ločljivostjo 42 mm.

Za obdelavo je bila uporabljena naslednja programska oprema:

- MATCH- AT
- BLUH (parametri)

Rezultati so pokazali, da dobimo najboljšo natančnost z uporabo samokalibracije z 1-12 BLUH-ovimi parametri. Horizontalna natančnost je znašala 4.1 cm in vertikalna 7.9 cm.

Snemanje s sistemom ADS40 je bilo izvedeno septembra leta 2007. Posnetih je bilo 5 linij s prostorsko ločljivostjo 53 x 91 mm².

Za obdelavo je bila uporabljena naslednja programska oprema:

- ORIMA

Rezultati so pokazali, da dobimo najboljšo natančnost z uporabo samokalibracije s 1-12 parametri. Horizontalna natančnost je znašala 3 cm in vertikalna 2.7 cm.

V preglednici 8 so skupaj predstavljene vse natančnosti kontrolnih točk, ki so bile pridobljene tekom kalibracije na obravnavanih testnih poljih.

Preglednica 8: Natančnosti kontrolnih točk vseh sistemov na testnih poljih

	Vaihingen/Enz	Pavia	Fredrikstad		Sjökulla		Franklin Mills		
	ADS40		DMC	UCD ¹	DMC	UCD	ADS40	DMC	UCD
Hz ² [cm]	3.4	5	3	3	1	1	3	3	4.1
V ³ [cm]	6	4	5	2	2	2	2.7	3	7.9

Na podlagi rezultatov, ki so bili dobljeni na testnem polju Fredrikstad, lahko vidimo, da imata sistema DMC in UltraCamD enaki horizontalni natančnosti, medtem ko je vertikalna natančnost boljša pri sistemu UltraCamD. Na osnovi teh podatkov lahko trdimo, da UltraCamD zagotavlja boljšo natančnost v vertikalni smeri, kot DMC sistem.

Na testnem polju Sjökulla sta sistema DMC in UltraCamD dosegla približno enake natančnosti.

Na testnem polju Franklin Mills so bili uporabljeni vsi trije obravnavani sistemi. Iz rezultatov je razvidno, da imata sistema ADS40 in DMC skoraj enaki natančnosti, tako v horizontalni, kot vertikalni smeri. Medtem ko sistem UltraCamD odstopa za nekaj centimetrov v obeh smereh.

¹ UCD - UltraCamD

² Hz – horizontalna natančnost

³ V – vertikalna natančnost

Rezultate lahko primerjamo med seboj le v primeru, da so bili posneti na istem območju in ob podobni prostorski ločljivosti. Prav tako je potrebno za natančno medsebojno primerjavo snemanje z različnimi sistemi opraviti na istem plovilu, na enaki višini in ob istem času.

Poleg tega moramo tudi upoštevati, da ima vsak blok svojo geometrijo.

Med postopki kalibracije je bila uporabljena tudi različna programska oprema in različni matematični modeli. Empirični rezultati kažejo pomembnost prisotnosti samokalibracije med postopkom kalibracije, ki je bila potrebna za doseganje najboljše geometrične natančnosti.

5 ANALIZA STANJA NA PODROČJU DIGITALNIH ZRAČNIH FOTOGRAMETRIČNIH SNEMALNIH SISTEMOV V SLOVENIJI

Digitalni zračni snemalni sistemi so se v Sloveniji prvič pojavili leta 2006. Uporabljen je bil digitalni sistem DMC, takrat v lasti Geodetskega zavoda Slovenije, za potrebe projekta Ciklično aerosnemanje Slovenije (CAS 2006). Na območju Slovenije trenutno delujejo tri podjetja, ki se ukvarjajo z digitalnim fotogrametričnim zračnim snemanjem.

5.1 Pridobivanje podatkov

Podatke za analizo stanja na področju Slovenije sem pridobila s pomočjo izvedenih intervjujev v podjetjih, kjer se ukvarjajo s to vrsto tehnologije. Poleg izvajalcev sem obravnavala tudi naročnika snemanja in seveda tudi uporabnike, ki na koncu uporabljajo aeroposnetke.

Na podjetja sem najprej poslala dopis, v katerem je bilo predstavljeno, kakšne podatke bi rada pridobila. Intervjuji so zajemali vprašanja o sistemu, ki ga izvajalci uporabljajo oz. kako so uporabniki zadovoljni s posnetki ter ali so naročniki zadovoljni z izvedbo in končnimi izdelki snemanja (Vprašalnik je dodan kot Priloga A).

Nato sem jih v obdobju enega tedna poklicala in se poskušala dogovoriti za ustrezen termin, ki je ustrežal obema stranema. Za lažjo analizo sem intervjuje snemala s snemalnikom. Vsi intervjuvanci so se s snemanjem strinjali.

5.2 Problemi in omejitve

Med samo izvedbo intervjujev sem naletela na nekaj manjših problemov. Veliko časa sem porabila tudi za časovno usklajevanje terminov izvedbe intervjujev.

5.3 Analiza dela

Na podlagi izvedenih intervjujev sem pridobila podatke, ki so strnjeni v nadaljevanju.

Iz pridobljenih podatkov je razvidno, da je nova digitalna tehnologija prinesla veliko prednosti v primerjavi s starimi analognimi sistemi. Spremembe so prisotne že pri samem planiranju snemanja. Pri analognih sistemih so morali risati celotno pot snemanja, kar pomeni, da je moral biti na letalu poleg pilota tudi navigator, kateri ga je s pomočjo daljnogleda in skice vodil. Veliko časa se je porabilo za pridobitev filma, saj si ga moral naročiti vnaprej, ker niso bili prosto dostopni. Pri digitalnih sistemih pa imamo samo izmenljive spominske enote na katere se shranjujejo podatki, ki jih po končanem snemanju enostavno odstranimo iz sistema in priklopimo na računalnik oz. delovno postajo in imamo posnetek že pred sabo. Tako odpade celoten postopek razvijanja filma in skeniranja analognih posnetkov.

Velika prednost digitalnih sistemov je, da lahko takoj vidimo kaj smo posneli, pri analognih sistemih pa je treba počakati, dokler film ni razvit.

Digitalni sistemi omogočajo večkanalno snemanje, kar pri analognih sistemih ni bilo mogoče. Pri digitalnih sistemih so snemanje, obdelava in poobdelava hitrejši in ugodnejši.

Nova tehnologija je prinesla ogromno prednosti, vendar tudi nekaj slabosti. Potrebna so dodatna izobraževanja in usposabljanja, saj so ti sistemi zelo kompleksni.

5.3.1 Izkušnje naročnika zračnega snemanja

Trenutno se na območju Slovenije izvaja projekt Aeroposnetki in ortofoto 2009 – 2010, katerega naročnik je Geodetska uprava Republike Slovenije (GURS), Ministrstvo za obrambo, Ministrstvo za promet – direkcija RS za ceste in Ministrstvo za okolje in prostor – Agencija RS za okolje.

GURS se je na podlagi izkušenj, ki jih je pridobila pri CAS (ciklično aerosnemanje) iz leta 2006, odločila, da bo najprej izdala tehnična navodila za izvajanje aerosnemanja. Splošna navodila so namenjena vsakemu naročniku, ki naroča podatke.

Na podlagi sprejetih tehničnih navodil za izvajanje aerosnemanja je GURS 29.08.2009 izdala tehnično dokumentacijo za pridobitev aeroposnetkov in izdelavo ortofota v letih 2009 – 2010. V dokumentaciji je najprej opredeljeno območje snemanja, rok za izdelavo in oddajo projekta ter kateri so zahtevani izdelki. Nato so podrobneje opredeljeni izdelki snemanja, katerim zahtevam morajo ustrezati in kaj je vsebina predaje.

GURS sodeluje z Geodetskim inštitutom Slovenije, kateri ima izkušnje s samim sistemom, ki se trenutno uporablja za snemanje, sami pa imajo izkušnje z naročanjem in kontrolo.

Izvajalec, ki trenutno opravlja aerosnemanje po projektu Aeroposnetki in ortofoto 2009 – 2010 na območju RS, je češko podjetje Geodis Brno in njihov partner Flycom d.o.o.. Geodis Brno ima veliko formatno kamero UltraCamX. Izvajalec mora v obdobju dveh let posneti celotno območje Slovenije.

Območje zajema je celotna Republika Slovenija + 250 m pas preko državne meje, kar znaša okrog 20300 km².

Izdelava projekta naj bi trajala dve leti, od tega naj bi bilo 40% površine države posneto leta 2009, 60% pa leta 2010. Upoštevati se mora tudi obdobje aerofotografiranja, ki je med 15.04.- 30.06 v tekočem letu.

Zahtevani izdelki so predmeti javnega naročila in so naslednji:

- barvni digitalni aeroposnetki za izdelavo DMR, ortofota in stereo zajem,
- natančni elementi zunanje orientacije posnetkov z namenom stereo zajema,
- digitalni model reliefa DMR 5 za celotno Slovenijo,
- barvni ortofoto DOF 50,
- barvni ortofoto DOF 25.

Sestava tehnične dokumentacije vzame kar precej časa, vendar so čedalje bolj usmerjeni v končne rezultate, kot pa na samo tehnologijo. Zmeraj manj predpisujejo, kako mora izvajalec zajeti podatke.

Na podlagi lanskega snemanja je bilo razvidno, da se izvajalec drži navodil in dokumentacije, saj nad njim izvajajo kontrolo. Ker smo v obdobju recesije, se je ta kontrola poostrila, snema se v manjšem obsegu, vendar tudi bolj natančno.

Med izvedbo snemanja GURS za potrebe kontrole uporablja bazo kontrolnih točk iz prejšnjih meritev, tako da jim ni potrebno točk zmeriti na terenu, kar pripomore k nižjim stroškom.

GURS je z rezultati meritev zadovoljna, saj ustreza zahtevanim natančnostim in zahtevam, ki so opredeljene v tehničnih navodilih. Izvajalec snemanja se zavaruje tako, da snema bolj natančno, kar je njegova rezerva. Posname se enkrat več posnetkov, kot jih naročnik zahteva. Snemanje se izvaja na štirih kanalih, GURS pa zahteva smo tri barvne kanale.

GURS ocenjuje dve vrsti kvalitete pri posnetkih:

- metrična kvaliteta, ki se da meriti;
- kvaliteta slike, ki pa jo je zelo težko opredeliti – to je individualna ocena posameznika, za kar so potrebne izkušnje, da lahko oceni, ali je slika dobra.

Najpogostejše napake s strani izvajalca, ki so se pojavile v lanskem obdobju snemanja, so bile drobne napake pri zapisu formata in poimenovanju datotek. Posledično se je zaradi tega zavlekel čas oddaje.

V lanskem obdobju snemanja so posneli 40% območja v roku, kot je bilo določeno v tehničnih navodilih.

Izvajalec snemanja mora po končanem snemanju posameznega fotogrametričnega bloka oddajati tedenska poročila, kaj je bilo izvedeno oziroma zakaj samo snemanje ni potekalo. K poročilu se odda tudi uradno poročilo ARSO (Agencije Republike Slovenije za okolje in prostor). Naloga GURS pa je, da za vsak posnet fotogrametrični blok odda poročilo o izvedeni kontroli.

5.3.2 Izkušnje uporabnikov

V sklopu intervjujev sta bili v zvezi z uporabniškimi izkušnjami intervjuvani podjetji DFG CONSULTING d.o.o. in Geodetska družba d.o.o., v nadaljevanju uporabniki.

Uporabniki posnetke najpogosteje uporabijo za izdelavo digitalnega ortofota in izdelavo stereoparov, iz katerih se nato zajema podatke za DTK 5 (digitalno topografsko karto v merilu 1 : 5000).

Uporabniki, ki izdelujejo ortofoto, so s posnetki pridobljenimi pri projektu Aeroposnetki in ortofoto 2009 – 2010 zadovoljni, ker so barve bolj realistične v primerjavi s starejšimi posnetki. Kvaliteta posnetkov posnetih v času projekta (leto 2009) je boljša v primerjavi s posnetki iz predhodnih let, saj so posneti z novimi sistemi, ki so izboljšani in nadgrajeni.

Pri izdelavi stereoparov pa je slika zadovoljnosti nekoliko drugačna. Digitalni posnetki so barvni in so vizualno lepši kot črno-beli analogni posnetki, vendar je težje interpretirati vsebino in natančno nastaviti višino detajla, ker slika ne dosega enake ločljivosti.

Format posnetka je sedaj manjši, zato je za snemanje določenega območja potrebno izdelati več posnetkov, kar ima za posledico obravnavo večjega števila stereoparov.

Največje povpraševanje pri zračnih posnetkih je po digitalnem ortofotu, saj zmeraj bolj nadomešča topografske karte in je pripomoček za lažjo topografsko predstavo.

Največ se uporablja za naslednje namene:

- kontrolo kmetijskih zemljišč (subvencije),
- občine ga uporabljajo za izdelavo prostorskih planov in prikaza novega stanja,
- zavarovalnice za prikaz škode po naravnih katastrofah (toča, poplave, neurja,..),
- urbanisti jih uporabljajo, ker imajo boljši občutek prostorskega planiranja,
- odkrivanje črnih gradenj,
- za izdelavo ureditvenih načrtov.

5.3.3 Digitalni zračni snemalni sistemi v Sloveniji

Kot sem že predhodno omenila, delujejo v Sloveniji tri podjetja, ki se ukvarjajo z digitalnim zračnim snemanjem. Prvo podjetje je Geoin v Mariboru, ki uporablja obravnavani veliko formatni snemalni sistem DMC in digitalno kamero Applanix DSS 322, ki se uporablja pri zračnem laserskem skeniranju. Drugo je podjetje Flycom iz Žirovnice, ki uporablja visokoločljivostno kamero Sony HDTV, katera se tudi uporablja pri laserskem skeniranju. Tretje podjetje je 2B d.o.o., ki ima malo formatni kameri Nikon D3X in HasselBlad 3D. Sodelujejo z Matevžem Lenarčičem, ki za njih izvaja aerosnemanje z ultralahkim letalom.

Od leta 2008 se na območju Slovenije izvaja snemanje z manjšimi snemalnimi sistemi. Izvajalci so videli tehnično možnost, da se izvaja aerosnemanje z drugačno, cenejšo opremo.

Male slikovne kamere so namenjene za manjša oz. lokalna območja, saj imajo manjši format posnetka v primerjavi z velikimi kamerami. Njihova slabost je, da so prisotna večja popačenja na robovih posnetka, kot pri posnetkih posnetimi z velikoformatnimi kamerami.

Imajo pa majhni sistemi tudi določene prednosti v primerjavi z velikimi sistemi. So veliko cenejši kot veliki sistemi, zato se tudi zelo hitro razvijajo. Za izvajanje ne potrebujejo velikih letal, kar zopet zmanjša stroške. Celoten potek planiranja, snemanja in obdelave je veliko hitrejši, kot pri velikih sistemih.

Teoretično se celoten postopek od snemanja do pridobitve končnih izdelkov lahko izpelje v enem tednu, v praksi pa lahko postopek končajo v dveh dneh. Tudi pri majhnih sistemih se določijo tehnične lastnosti snemanja, katere se prilagodijo izbranemu projektu. Pri izdelavi ortofota iz posnetkov malih kamer, so le ti podvrženi majhnim napakam. Največji problem bi bil, če bi morali iz teh podatkov izdelati DMR, saj so procesi izdelave še v razvoju.

Kalibracijo izvajajo sami za vsak sistem in objektiv. Podatke kalibracije nato pošljejo na univerzo v Dresden, kjer jim nato izdajo certifikat kalibracije.

Veliko formatni snemalni sistem DMC je najprej uporabljal Geodetski zavod Slovenije. Preden so kupili kamero, so naredili primerjalno analizo sistemov ADS40, DMC in UltraCamD. Pri tem so ugotovili, da ADS40 ni najbolj primeren zaradi odvisnosti od GPS

tehnologije. V primeru, da bi prišlo do izgube GPS signala, praktično ne bi bilo mogoče sestaviti preproge oz. traku posnetkov. Medtem ko sta si sistema DMC in UltraCamD dokaj podobna, je vseeno prevladal sistem DMC, ker ima večji format zajema.

DMC sistem je nato kupilo mariborsko geodetsko podjetje GEOIN. Sami so s sistemom zadovoljni, ker se ne pojavljajo napake pri posnetkih. Edina slabost s katero so se srečali, je bila tehnične narave. Na rdečem kanalu so se pojavili mrtvi piksli, kar pomeni, da je bila na tistem mestu posnetka črna črta oz. pika. Težavo so nato skupaj s proizvajalcem rešili. Natančnost, ki jo dosega kamera je 2 mikrometra piksla. Sistem ima tudi najboljše razmerje med nominalno prostorsko ločljivostjo (angl. Ground Sample Distance – GSD) in dejansko prostorsko ločljivostjo v primerjavi z ostalimi sistemi. Takšna radiometrična natančnost ustreza satelitskim posnetkom.

Kalibracijo kamere izvajajo v obdobju dveh let. Izvedejo jo na terenu, nato pa podatke pošljejo proizvajalcu, kateri na podlagi rezultatov pošlje certifikat kalibracije.

ZAKLJUČEK

Cilja diplomske naloge sta bila primerjava in pregled treh različnih digitalnih zračnih snemalnih sistemov in prikaz stanja digitalnih zračnih snemalnih sistemov na območju Slovenije.

Digitalna tehnologija je prinesla veliko izboljšav v primerjavi z analognimi sistemi. Celoten potek dela se je skrajšal, število potrebnih oseb za snemanje se je zmanjšalo, odpadlo je razvijanje in skeniranje filma.

Pri primerjalni analizi vseh snemalnih sistemov se najprej pokaže razlika pri sami sestavi in načinu snemanja, saj so eni ploskovni, drugi pa linijski. Lažje je med sabo primerjati sisteme enake skupine, zato lahko rečemo, da ima DMC sistem nekatere prednosti v primerjavi s sistemom UltraCamD. Ima večji format snemanja, kar pomeni, da pokrije več območja v primerjavi s kamero UltraCamD. Tudi pri analizi geometrične natančnosti je DMC sistem prikazal malo boljše rezultate, vendar je pri interpretaciji rezultatov potrebna previdnost. Realno sliko primerjave natančnosti bi pridobili, če bi se vsa snemanja izvajala istočasno, na enaki višini, na enakem območju in ob enakih vremenskih pogojih, kar pa v praksi še ni bilo izvedeno oz. je skoraj nemogoče izvesti.

V Sloveniji so se digitalni zračni snemalni sistemi prvič pojavili leta 2006. Trenutno pa na območju Slovenije delujejo tri podjetja, ki se ukvarjajo s to vrsto tehnologije. Najprej so se uporabljali samo veliko formatne kamere, sedaj pa se že uporabljajo malo formatne kamere, saj so uporabniki v tem videli nove priložnosti za nadaljnji razvoj. Delujejo lahko samo na manjših območjih, vendar pa je celoten potek planiranja in izvedbe snemanja veliko krajši in tudi stroški so manjši v primerjavi z velikimi snemalnimi sistemi.

Največ se aeroposnetki uporabljajo za izdelavo ortofoto načrtov in za izdelavo stereoparov. Uporabniki aeroposnetkov, ki nadalje izdelujejo ortofoto načrte, so z novimi posnetki zadovoljni, medtem ko uporabniki posnetkov za zajem stereoparov niso ravno navdušeni, zaradi slabše zrnatosti posnetkov v primerjavi s črnobelimi posnetki, kar pa jim posledično

otežuje samo interpretacijo vsebine iz zračnih posnetkov. Ortofoto pa postaja zmeraj bolj priljubljen, saj je dober dopolnilni izdelek za prostorski prikaz stanja topografije.

VIRI

Alhamlan, S., Mills, J.P., Walker, S., Saks, T., 2004. The influence of ground control points in the triangulation of Leica ADS40 data

<http://www.isprs.org/congresses/istanbul2004/comm1/papers/89.pdf> (23.09.2009).

Casella, V., Franzini, M., Kocaman, S., Gruen, A., 2008. Geometric accuracy assessment of ADS40 imagery under various network configuration

http://www.isprs.org/congresses/beijing2008/proceedings/1_pdf/107.pdf (29.09.2009).

Ciceli, T., Gajski, D., 2007. Digital large format airborne camera

http://hrcak.srce.hr/index.php?show=clanak&id_clanak_jezik=20184 (11.05.2010).

Cramer, M., 2006. The ADS40 Vaihingen/Enz geometric performance test

www.sciencedirect.com (28.10.2009).

Cramer, M., 2009. Digital camera calibration

<http://bono.hostireland.com/~euroedr/publications/55.pdf> (05.02.2010).

Davidson, P., 2007. Basic principle of inertial navigation

<http://www.tkt.cs.tut.fi/kurssit/9628/Intro.pdf> (11.01.2010).

Dörstel, C., 2005. DMC – The most versatile digital large format camera in the market

<http://www.ifp.uni-stuttgart.de/publications/phowo05/080doerstel.pdf> (28.12.2009).

Dörstel, C., 2007. DMC – (R)evolution on geometric accuracy

<http://www.ifp.uni-stuttgart.de/publications/phowo07/110Doerstel.pdf> (28.12.2009).

Fricker, P., Sandau, R., Schreiber, P., 2000. Digitalne fotogrametrične kamere: Nov sodobni pristop

www.geodetski-vestnik.com (06.10.2009).

Fricker, P., 2001. ADS40 – Progress in digital aerial data collection

<http://www.ifp.uni-stuttgart.de/publications/phowo01/Fricker.pdf> (30.09.2009)

Fricker, P., Chapuis, A., Walker, S., 2004. Requirements for new airborne digital sensor

<http://www.isprs.org/congresses/istanbul2004/comm1/papers/45.pdf> (29.09.2009).

Gruber, M., Perko, R., Ponticelli, M., 2004. The all digital photogrammetric workflow:
Redundancy and robustness

<http://www.isprs.org/congresses/istanbul2004/comm1/papers/43.pdf> (29.09.2009).

Gruber, M., Ponticelli, M., Bernogger, S., Leberl, F., 2008. Ultracam – X, the large format
digital aerial camera system by Vexcel Imaging/ Microsoft

http://www.isprs.org/congresses/beijing2008/proceedings/1_pdf/115.pdf (29.09.2009).

Gruber, M., Wiechert, A., 2008. A new photogrammetric workflow: Vexcel imaging's
ultramap platform

<http://fluidbook.microdesign.nl/geoinformatics/04-2008/data/document.pdf> (23.09.2009).

Heier, H., 2001. Deploying DMC in today's workflow

<http://www.ifp.uni-stuttgart.de/publications/phowo01/Heier.pdf> (28.12.2009).

Hinz, A., 1999. The Z/I imaging digital aerial camera system

<http://www.ifp.uni-stuttgart.de/publications/phowo99/hinz99.pdf> (28.12.2009).

Hinz, A., Dörstel C., Heier, H., 2001. DMC – The digital sensor technology of Z/I – Imaging

<http://www.ifp.uni-stuttgart.de/publications/phowo01/Hinz.pdf> (28.12.2009).

Honkavaara, E., et al., 2006. Complete photogrammetric system calibration and evaluation in
the Sjokula test field – case study with DMC

<http://www.ifp.uni->

[stuttgart.de/publications/2006/honkavaara06_et al_EuroCOW06_Castelldefels.pdf](http://www.ifp.uni-stuttgart.de/publications/2006/honkavaara06_et al_EuroCOW06_Castelldefels.pdf)

(28.12.2009).

Honkavaara, E., et al. 2008. Calibrating digital photogrammetric airborne imaging systems in a test field

http://www.isprs.org/congresses/beijing2008/proceedings/1_pdf/94.pdf (29.09.2009).

Institut für photogrammetrie, Universität Stuttgart, 2010. Photogrammetric test site Vaihingen/Enz

http://www.ifp.uni-stuttgart.de/forschung/photo/test_site/vaihingen.htm (31.03.2010).

Intergraph, 2008. Digital Mapping Camera System: Optimize the accuracy of your data acquisition

<http://www.geospace.co.za/pdf/DMC%20Brochure.pdf> (30.09.2009).

Intergraph, 2010. Product sheet; DMC II camera system

http://www.aerial-survey-base.com/site_HTML/pdfs/Cameras_PDF/RMK_DMC_new/DMCII250-CameraSystem_ProductSheet.pdf (27.05.2010).

Kosmatin Fras, M., 2009. Digitalni fotoaparati, zapiski predavanj

Kraus, K., 2007. Photogrammetry: Geometry from Images and Laser Scans, Second edition. Berlin, Walter de Gruyter: str.131-161.

Kropfl, M., Kruck, E., Gruber, M., 2004. Geometric calibration of digital large format aerial camera UltracamD

<http://www.isprs.org/congresses/istanbul2004/comm1/papers/8.pdf> (29.09.2009).

LaRocque, B., 2007. Digital Mapping Camera (DMC): Design concept and System summary

http://www.dewberry.com/uploadedFiles/IntergraphDMC_Presentation_082907.pdf
(14.10.2009).

Lauenroth, G., 2005. Digital mapping camera DMC – designed for practical use

http://www.geomatik.ch/fileadmin/download/2005/Fach/FA_9_2005_2.pdf (24.09.2009).

Leberl, F., Gruber, M., 2003. Flying the new digital aerial camera Ultracam
<http://www.ifp.uni-stuttgart.de/publications/phowo03/gruber.pdf> (5.01.2010).

Leberl, F., Gruber, M., 2005. Ultracam-D: Understanding some noteworthy capabilities
<http://www.ifp.uni-stuttgart.de/publications/phowo05/090leberl.pdf> (28.12.2009).

Leica Geosystem, 2004. ADS40 Large-scale digital imagery
http://www.dlr.de/os/Portaldata/48/Resources/dokumente/ads40_flyer_leica.pdf (07.12.2009).

Leica Geosystem, ADS40 airborne digital sensor: Photogrammetric accuracy and remote sensing insight combined
<http://www.esrith.com/Support/document/ads40.pdf> (30.09.2009).

Leica Geosystem, Leica ADS80: Airborne digital sensor – Best imagery even faster
http://www.leica-geosystems.com/downloads123/zz/airborne/ads80/brochures/ADS80_Brochure_en.pdf
(30.09.2009).

Leica Geosystem, Leica ADS80: Airborne digital sensor – Digital airborne imaging solution
http://www.leica-geosystems.com/downloads123/zz/airborne/ads80/brochures-datasheet/ADS80_datasheet_en.pdf
(30.09.2009).

Leica Geosystem, Leica ADS80: Airborne digital sensor – Subpixel accuracy from blue to infrared
http://www.leica-geosystems.com/downloads123/zz/airborne/ads80/brochures/ADS80_Flyer_en.pdf
(30.09.2009).

McGlone, J.C. (ur.), Mikhail, E.M. (ur.), Bethel, J. (ur.), 2004. Manual of photogrammetry, Fifth edition. Bethesda, American Society for Photogrammetry and Remote Sensing: str. 581-677, 1105-1123.

Neumann, K.J., 2004. Operational aspects of digital aerial mapping cameras

<http://www.isprs.org/congresses/istanbul2004/comm1/papers/41.pdf> (29.09.2009).

Oštir, K., 2006. Daljinsko zaznavanje. Ljubljana, Inštitut za antropološke in prostorske študije ZRC SAZU: str. 12-66.

Passini, R., Jacobsen, K., 2008. Accuracy analysis of large size digital aerial cameras

http://www.isprs.org/congresses/beijing2008/proceedings/1_pdf/86.pdf, (29.09.2009).

Petrie, G., Walker, A.S., 2007. Airborne digital imaging technology: A new overview

http://web2.ges.gla.ac.uk/~gpetrie/Petrie_Walker_j.1477-9730.2007.00446.pdf (25.11.2009).

Schiewe, J., 2004. Status and future perspective of the application potential of digital airborne sensor system

www.sciencedirect.com (28.10.2009).

Schreiber, P., 2009. Leica Geosystems digital airborne solutions for different applications
GRADIVO – poletna šola

Vexcel Corporation, 2004. Digital aerial imagery at the cost of film: The vexcel Ultracam large format digital aerial camera

http://www.aerial-survey-base.com/pdfs/Cameras_PDF/UCX/UltracamD_UCD_brochure.pdf
(26.10.2009).

Vexcel Corporation, 2006. The most advanced digital aerial camera

<http://www.gisdevelopment.net/aars/acrs/1999/ts7/ts7058b.asp> (15.10.2009).

Zeitler, W., Doerstel, C., 2002. Geometric calibration of the DMC: Method and results

<http://www.isprs.org/commission1/proceedings02/paper/00035.pdf> (29.09.2009).

Yotsumata, T., et al., 2002. Investigation for mapping accuracy of the airborne digital sensor – ADS40

<http://www.isprs.org/commission1/proceedings02/paper/00055.pdf> (29.09.2009).

PRILOGE

Priloga A: Okvirni vprašalnik

1. Kateri so slovenski izvajalci na tem področju ?
2. Na podlagi česa določite zahteve in vsebino tehnične dokumentacije?
3. Koliko časa traja, da se sestavi takšna specifikacija oz. tehnična dokumentacija (TD)?
4. Ali se izvajalci držijo TD in tehničnih navodil?
5. Kakšni so rezultati projektov in kako ste z njimi zadovoljni?
6. Ali pri procesu kontrole kakovosti pogosto naletite na napake? In kako jih nato izboljšate? In katere so te napake največkrat?
7. Na podlagi česa določite prioriteto snemanja za pod območja?
8. Se celoten postopek zaključi v predvidenem roku ali so potrebni dodatni datumi?
9. Ali ste lani posneli 40% površine Slovenije, kot je zapisano v TD?
10. Ali je kdaj izvajalcem zagodlo vreme, da niso opravili meritev v roku?
11. Ali ste pred tem sistemom uporabljali, katero starejšo različico sistema?
12. Ali ste bili zadovoljni z natančnostjo, ki ste jo dosegli s starim sistemom?
13. Kakšne so vaše izkušnje z novim sistemom, ki ga uporabljate in kakšne s starim sistemom?
14. Kako bi ocenili zahtevnost novega sistema v primerjavi s starim sistemom?
15. Ali so bila potrebna dodatna izobraževanja oz. šolanje?
16. Koliko časa poteka celoten postopek snemanja (od planiranja projekta, do pridobitve končnih izdelkov)?
17. Po katerem izdelku je povpraševanje največje?
18. Ali sistem ustreza zahtevanim standardom?
19. Katere so po vašem mnenju temeljne prednosti novega sistema?
20. Ima sistem tudi kakšne slabosti?
21. Ali se vam zdi, da bi lahko na kakršen koli način še izboljšali snemalni sistem?
22. Kakšne natančnosti dosegate pri samem snemanju?
23. Kakšne so najpogostejše napake, če so prisotne? (Na kakšen način jih odpravite?)
24. Kakšne so vaše izkušnje z novimi posnetki digitalnega snemanja?
25. Kaj je izboljšano v primerjavi s starejšimi posnetki?