

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*



Visokošolski program geodezija,
Smer Geodezija v inženirstvu

Kandidat:

Andraž Repanšek

Kalibracija videokamere za uporabo v mobilnem kartirnem sistemu

Diplomska naloga št.: 299

Mentor:
doc. dr. Mojca Kosmatin Fras

Somentor:
mag. Uroš Ranfl

Ljubljana, 30. 6. 2009

STRAN ZA POPRAVKE, ERRATA

Stran z napako

Vrstica z napako

Namesto

Naj bo

IZJAVA O AVTORSTVU

Podpisani **ANDRAŽ REPANŠEK** izjavljam, da sem avtor diplomske naloge z naslovom:
**»KALIBRACIJA VIDEOKAMERE ZA UPORABO V MOBILNEM KARTIRNEM
SISTEMU«.**

Izjavljam, da se odpovedujem vsem materialnim pravicam iz dela za potrebe elektronske
separatoteke FGG.

Ljubljana, 9.6.2009

(podpis)

BIBLIOGRAFSKO – DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK**UDK:** 528.7:771.3(043.2)**Avtor:** Andraž Repanšek**Mentor:** doc. dr. Mojca Kosmatin Fras**Somentor:** mag. Uroš Ranfl, univ. dipl. inž. geod.**Naslov:** Kalibracija videokamere za uporabo v mobilnem kartirnem sistemu**Obseg in oprema:** 62 str., 13 pregl., 51 sl., 12 en., 4 pril.**Ključne besede:** kalibracija, notranja orientacija, videokamera, program Bingo**Izvleček:**

Cilj diplomske naloge je kalibracija digitalne videokamere za uporabo v mobilnem kartirnem sistemu. Pridobivanje podatkov z mobilnim fotogrametričnim sistemom je hitrejši, enostavnejši in tudi cenejši kot klasični način zajema (npr. s polarno metodo). V nalogi je predstavljeno delovanje digitalnih videokamer in njihovih lastnosti, ki vplivajo na končno natančnost, kakovost in uporabnost pridobljenih podatkov v bližnjefotogrametriji. Kot zaključek teoretičnega dela so predstavljene lastnosti enoslikovne fotogrametrije ter parametri notranje orientacije, ki jih določamo v postopku kalibracije. Praktični del temelji na kalibraciji dveh digitalnih videokamer proizvajalca Canon, tipa XH G1, ki jih uporablja cestno mobilni fotogrametrični sistem WideoCar 3. Ta sistem sestavlja, razvija in uporablja podjetje DFG CONSULTING, d.o.o. Praktično sem izvedel dva načina kalibracije. Prvi je bil sobna kalibracija z uporabo testnega polja, drugi pa zunanja kalibracija z uporabo fasadne mreže. Rezultati notranje orientacije so v nalogi predstavljeni in analizirani.

BIBLIOGRAPHIC – DOCUMENTALISTIC INFORMATION**UDC:** 525.7:771.3(043.2)**Author:** Andraž Repanšek**Supervisor:** doc. dr. Mojca Kosmatin Fras, assist. prof.**Co-Supervisor:** msc. Uroš Ranfl, univ. dipl. inž. geod.**Title:** Calibration of videocamera for using in mobile mapping system**Notes:** 62 p., 13 tab., 51 fig., 12 eq., 4 app.**Key words:** calibration, internal orientation, videocamera, program Bingo**Abstract:**

Objective of this graduate thesis is calibration of digital videocamera used in the mobile mapping system. Acquiring data with mobile photogrammetric system is faster, easier to use and also cheaper than using classical measurement methods (e.g. with a polar method). This work presents how digital cameras work and what are their characteristics that influence the final accuracy, quality and applicability of acquired data in close-range photogrammetry. As a conclusion of a theoretical part of this work characteristics of single-image photogrammetry and parameters of internal orientation are presented, which are determined throughout the process of calibration. A practical part of the diploma thesis is based on a calibration of two manufacturer digital cameras – Canon, type XH G1, which are used by the road mobile photogrammetric system WideoCar 3. This system is being constructed, developed and used by the DFG CONSULTING, d. o. o. enterprise. I used two practical methods of calibration. The first one was a calibration using a test field, the second one was a calibration using a grid on commercial building. Results of internal orientation are presented and analysed in the thesis.

ZAHVALA

Zahvaljujem se mentorici doc. dr. Mojci Kosmatin Fras, za pomoč in nasvete pri izdelavi diplomske naloge. Še posebna zahvala gre somentorju mag. Urošu Ranflu, univ. dipl. inž. geodezije, za pomoč in sodelovanje pri nastajanju te diplome.

Zahvaljujem se tudi vsem sodelavcem podjetja DFG CONSULTING, d.o.o. in direktorju mag. Tomažu Gvozdanović, ker so mi omogočili uporabo njihove opreme, testnih podatkov, ki smo jih pridobili v času snemanja.

Na koncu hvala tudi staršem, sorodnikom, prijateljev in drugim, ki so mi v preteklih letih nudili moralno podporo ter mi tako lajšali študijska leta.

KAZALO VSEBINE

1	UVOD	1
1.1	Nekateri pojmi iz fotogrametrije	2
2	DELOVANJE DIGITALNIH VIDEOKAMER	4
2.1	Sestava videokamere	4
2.2	Objektiv	5
2.3	Ekvivalenca goriščnih razdalj	8
2.3.1	Lastnosti objektiva	10
2.4	NAPAKE LEČE	12
2.5	Senzor ali svetlobno tipalo	15
2.5.1	CCD (angl. Charge Coupled Device)	15
2.5.2	Velikost senzorja	18
2.5.3	Zaznavanje barve	20
3	ENOSLIKOVNA FOTOGRAMetriJA	22
3.1	Slikovni koordinatni sistem	22
3.1.1	Definicija slikovnega koordinatnega sistema	22
3.1.2	Določitev slikovnega koordinatnega sistema v videokameri Canon XH G1	24
3.1.3	Afina transformacija	25
3.2	Perspektivna centralna projekcija	26
4	NOTRANJA ORIENTACIJA	30
4.1	Parametri notranje orientacije	30
4.2	Radialna distorzija (ukrivljenost)	31

5	DOLOČANJE NOTRANJE ORIENTACIJE KAMERE (KALIBRACIJA)	33
5.1.1	Laboratorijska kalibracija	34
5.1.2	Kalibracija s pomočjo testnega polja	34
5.1.3	Kalibracija ob delu	35
5.1.4	Samokalibracija	36
6	MOBILNI KARTIRNI SISTEM	37
6.1	Sestava MMS	37
6.2	WideoCar 3	38
7	PRAKTIČNA IZVEDBA	40
7.1	Skupna tehnična in programska oprema	40
7.1.1	Canon XH G1	40
7.1.2	Programski paket Bingo	41
7.1.3	Program DOG	45
7.2	Sobna kalibracija kamere	45
7.3	Zunanja kalibracija	49
8	REZULTATI IN ANALIZA	54
8.1	Enota izhodnih in vhodnih datotek	54
8.2	Rezultati notranje orientacije sobne kalibracije:	54
8.3	Rezultati notranje orientacije zunanje kalibracije:	57
8.4	Opis rezultatov in primerjava	58
9	ZAKLJUČEK	61
	VIRI	63

KAZALO PREGLEDNIC

Preglednica 1: Velikosti posameznih senzorjev	19
Preglednica 2: Izbira kalibracijske metode	33
Preglednica 3: Podatki o meritvah v izravnavi	49
Preglednica 4: Koordinate stojišč	50
Preglednica 5: Parametri sobne kalibracije kamere 1 in kamere 2	54
Preglednica 6: Razlika goriščnih razdalj med kamero 1 in kamero 2 sobne kalibracije	55
Preglednica 7: Parametri radialne distorzije objektiva kamere 1 in kamere 2	55
Preglednica 8: Parametri kalibracije kamere 1 in kamere 2	57
Preglednica 9: Parametri radialne distorzije objektiva kamere 1 in kamere 2	57
Preglednica 10: Razlika goriščnih razdalj med kamero 1 in kamero 2 zunanje kalibracije	58
Preglednica 11: Primerjava rezultatov goriščnih razdalj sobne in zunanje kalibracije	58
Preglednica 12: Primerjava rezultatov glavnih točk sobne in zunanje kalibracije	59
Preglednica 13: Razlika med goriščnimi razdaljami sobne in zunanje kalibracije	59

KAZALO SLIK

Slika 1: Shematični prikaz videokamere	5
Slika 2: Konveksne in konkavne leče	6
Slika 3: Sistem leč v objektivu	6
Slika 4: Različne vrste objektivov	7
Slika 5: Film v analognih 35-mm fotoaparatih	8
Slika 6: Zorni kot normalnokotnega objektivu	9
Slika 7: Primera grafičnega testa za testiranje objektivov	10
Slika 8: Graf MTF objektivu Canon 50 mm f/1,4	11
Slika 9: Prikaz kromatične aberacije	12
Slika 10: Prikaz sferične aberacije	13
Slika 11: Sistem dvojnih leč	13
Slika 12: Vidna posledica astigmatizma	14
Slika 13: Shematski prikaz kome	14
Slika 14: Sodčasta distorzija	15
Slika 15: Blazinasta distorzija	15
Slika 16: CCD senzor	16
Slika 17: Delovanje CCD	16
Slika 18: Točkovni senzor	17
Slika 19: Vrstični senzor	18

Slika 20: Ploskovni senzor	18
Slika 21: Podana velikost tipala	19
Slika 22: Bayerjev vzorec in zajem barve	20
Slika 23: Rdeči, zeleni in modri kanal pred interpolacijo ter kombinacija vseh	21
Slika 24: Rdeči, zeleni in modri kanal po interpolaciji ter kombinacija vseh	21
Slika 25: Vzpostavitev slikovnega koordinatnega sistema z robnimi markami	23
Slika 26: Vzpostavitev slikovnega koordinatnega sistema z réseau križi	23
Slika 27: Vzpostavitev senzorskega koordinatnega sistema	24
Slika 28: Slikovni koordinatni sistem na videokameri	25
Slika 29: Afina transformacija	26
Slika 30: Enoslikovna fotogrametrija	27
Slika 31: Notranja orientacija kamere	30
Slika 32: Kalibracijsko testno polje	35
Slika 34: Mobilni kartirni sistem	37
Slika 36: Kamera Canon XH G1	41
Slika 37: Vhodna datoteke geoin.dat	42
Slika 38: Vhodna datoteka project.dat	43
Slika 39: Pretok podatkov pri programu Bingo	44
Slika 40: Testno polje Photomodeler	45
Slika 41: CitiDISK HDV in povezovalni kabel s kamero	46

Slika 42: Položaji snemanja testnega polja	47
Slika 43: Izrezane slike testnega polja videokamere 1	48
Slika 44: Označitev oslonilnih točk testne mreže v programu DOG	48
Slika 45: Testno polje	50
Slika 46: Snemanje fasadne mreže	51
Slika 47: Skica točk fasade testnega polja	51
Slika 48: Položaji snemanja	52
Slika 49: Posamezne slike leve in desne kamere	53
Slika 50: Graf radialne distorzije objektiva sobne kalibracije kamere 1	56
Slika 51: Modelirani radialni distorziji objektiva sobne kalibracije kamera 1	56

KAZALO PRILOG

Priloga A1: Rezultati Bingo kamera 1 sobne kalibracije

Priloga A2: Rezultati Bingo kamera 2 sobne kalibracije

Priloga B1: Rezultati Bingo kamera 1 zunanje kalibracije

Priloga B2: Rezultati Bingo kamera 2 zunanje kalibracije

1 UVOD

V geodeziji poznamo veliko merskih instrumentov, s katerimi pridobivamo meritve ter na podlagi teh meritev določimo koordinate v referenčnem koordinatnem sistemu. Merski instrumenti morajo biti zaradi zagotovitve ustrezne natančnosti primerno kalibrirani. Kalibracija pomeni poznavanje dejanskega fizikalnega merskega modela in oceno njegovega odstopanja od idealnega modela, to pomeni, da so poznani vsi glavni vplivi, ki slabšajo meritve. S kalibriranim merskim sistemom lahko zagotovimo natančne podatke.

Mobilni kartirni sistem je eden izmed načinov za pridobivanja geoinformacijskih podatkov. V podjetju DFG CONSULTING, d.o.o. so mi za namene diplomske naloge omogočili uporabo cestno mobilnega kartirnega sistema, imenovanega WideoCar 3, ki ga razvijajo, sestavljajo in uporabljajo v podjetju.

Namen moje diplomske naloge kalibracija videokamere oz. določitev njenih parametrov notranje orientacije, za uporabo v mobilnem kartirnem sistemu. Parametri notranje orientacije so: položaj glavne točke na digitalni sliki, goriščna razdalja objektiva ter parametri optične distorzije objektiva. Poleg notranje orientacije poznamo še zunanjo, ki s šestimi parametri (trije premiki in trije zasuki) opredeli položaj slike v objektvem prostoru, vendar se bom v nadaljevanju naloge posvetil le notranji.

Diplomska naloga je razdeljena na dva dela. V teoretičnem delu, ki ga sestavljajo poglavja o delovanju digitalnih kamer, enoslikovni fotogrametriji, notranji orientaciji in določanju notranje orientacije, se seznanimo s pomembnimi deli kamere in njihovimi napakami, z osnovami enoslikovne fotogrametrije ter z vrstami kalibracije. V praktičnem delu so opisani oprema in postopki, s katerimi sem določil parametre notranje orientacije videokamer cestno mobilnega kartirnega sistema WideoCar3. V poglavju »Rezultati in analiza« so predstavljeni posamezni rezultati izračunov in primerjava med njimi.

1.1 Nekateri pojmi iz fotogrametrije

Fotogrametrija je znanost in umetnost za določanje velikosti in oblike objektov, ki so posledica analize slik, posnetih na film ali elektronskih medijev. Beseda znanost je pomembna, saj predstavlja zakone matematike, fizike in kemije ter poznavanje njihove praktičnosti. Fotogrametrija je tudi umetnost, saj dobre rezultate lahko dobimo samo s primerno kvalitetnimi slikami (Atkinson, 1996).

Fotografija (slika, podoba):

Fotografija je perspektivna slika določenega objekta, narejena v analogni ali digitalni obliki. Danes je analogno obliko večinoma že izpodrinila digitalna. Fotografija še ni končni izdelek, ampak je neobdelan proizvod, ki predstavlja temeljno enoto vsem postopkom izvedenja. Njene lastnosti in njena kvaliteta zelo vplivajo na obdelave in uporabnost podob (Rački, 2002).

Fotografska kamera:

Slovenska beseda je fotoaparati; v strokovnem žargonu pa res uporabljamo izraz kamera – prevod iz angl. oz. nem. jezika. Kamera je naprava, s katero ustvarimo fotografijo. Njena osnovna dela sta objektiv (v njem se nahaja center projekcije) in nasproti ležeči okvir slike (v njem se nahaja slikovna ravnina). Analogna fotografija nastane kot proizvod fizikalno-kemičnega procesa v slikovni ravnini. V slikovno ravnino postavimo svetlobno občutljiv sloj. Danes slikovno ravnino v digitalnih fotoaparatih predstavljajo svetlobna tipala, (v nadaljevanju naloge bom uporabljal izraz senzor), ki sliko pretvori v digitalni zapis. Sestavna dela kamere pa sta še zaklop in zaslonka s katerima uravnavamo količino in jakost svetlobe skozi objektiv (Rački, 2002).

Kamere razdelimo na metrične in nemetrične. Nemetrične kamere so namenjene vsakdanji uporabi (umetnost, arhitektura...) in so cenovno bolj dostopne, medtem ko se metrične kamere, kot že samo ime pove, namenjene meritvam oz. pridobivanju metričnih podatkov na podobah. Metrične kamere so grajene robustno in stabilno, tako da se notranja orientacija v daljšem časovnem obdobju ohranja. Že ob nakupu takšne kamere so na voljo podatki o njeni notranji orientaciji (t.i. kalibracijski protokol, ki ga izdelata pooblaščen laboratorij).

Nemetrične kamere moramo za fotogrametrično uporabo sami kalibrirati. Ker nimajo stabilnih sestavnih delov, laboratorijska kalibracija tudi ni primerna. V praksi se tako uporabljajo različne metode kalibracije ob delu, z različnimi testnimi polji.

2 DELOVANJE DIGITALNIH VIDEOKAMER

V nadaljevanju naloge so bom osredotočal na uporabo digitalnih videokamer. Tehnologija digitalnih videokamer je v neki meri podobna kot pri digitalnih fotoaparatih (objektiv, prehod svetlobe). Razlika med videokamerami in fotoaparati je predvsem v zapisu in shranjevanju slike. Fotoaparat zapiše stoječo oz. nepremično sliko, medtem ko kamera zapisuje premično sliko ali video (Luhman, 2006).

Videokamera je naprava, ki ustvarja svetlobno sliko ter analizira in pretvarja električne impulze. Glavni sestavni deli so: objektiv, videočip, mikrofoni, iskalo in pripadajoča elektronika (Rački, 2002).

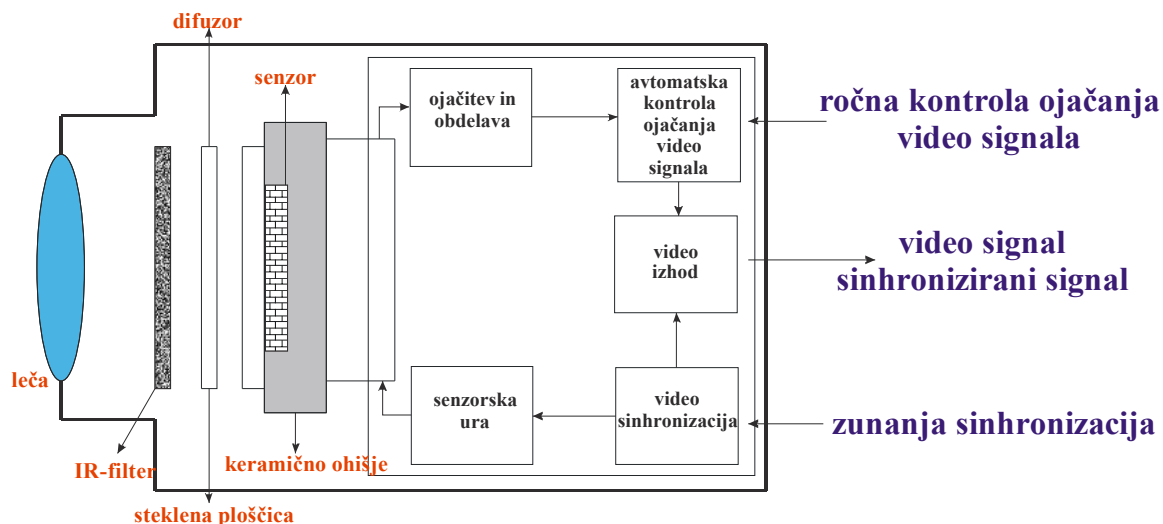
2.1 Sestava videokamere

V splošnem navadne videokamere niso zgrajene za visoko natančne geometrične meritve. Optičnomehanski deli slikovnega senzorja, ogrodje kamere, filtri in leče, ne ponujajo stabilnih parametrov notranje orientacije. Videokamere navadno niso namenjene fotogrametričnim obdelavam, ker v številnih primerih prihaja do geometrijskih popačenj med dejanskim stanjem in digitalno sliko.

Senzor je zaradi trdnosti vgrajen v keramično ohišje in prevlečen s tanko stekleno ploščico (slika 1). Difuzor je pogosto vgrajen pred senzor, kot nizkoprepustni filter za glajenje robov (angl. aliasing). Ena od možnosti je tudi uporaba infrardečega filtra, ki absorbira svetlobne frekvence večje kot 700 nm. Prehod žarkov na senzor omogoča objektiv, sestavljen iz več leč.

Po zajemu slike senzorja (slika 1), nam s pomočjo funkcije avtomatske kontrole ojačenja videosignala (angl. AGC-Auto Gain Control) sliko ojači in obdela (v nadaljevanju ojačevalec signala). Ojačevalec signala najdemo v elektronskih napravah in nam ojači zelo šibke signale. V nekaterih kamerah je ojačevalec signala možno ročno krmiliti. Samodejni ojačevalec signala nam lahko povzroči pri naknadni obdelavi izgubo geometrijske kakovosti in

nezaželeno svetlost sprememb, vendar ga lahko izklopimo, če so svetlobni pogoji stalni in dovolj dobri (Luhman, 2006).



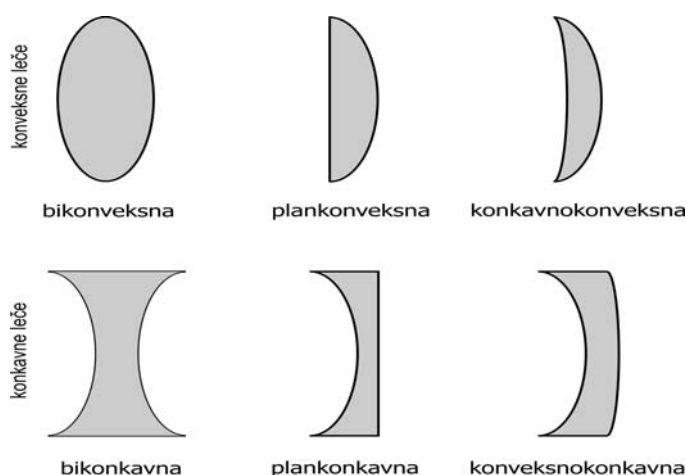
Slika 1: Shematični prikaz videokamere (Luhman, 2006)

Senzorja slike in videosignala zahtevajo pogosto sinhronizacijo signala, ki ga pošilja generator impulzov (senzorska ura). Sinhronizacijo lahko izvedemo tudi pod nadzorom zunanjega signala, kot v primeru sinhronizacije slike v več kamerah (Luhman, 2006).

Standardne kamere imajo format slike navadno v razmerju 4 : 3 (to je razmerje med širino in višino slike). Poleg standardnih kamer, so na voljo tudi videokamere, ki so namenjene visoko ločljivostnemu snemanju (angl. high definition-HD). Take kamere imajo 1980 stolpcev in 1080 vrstic pikslov (vrstica in stolpec) in so v razmerju 16 : 9. (Luhman, 2006).

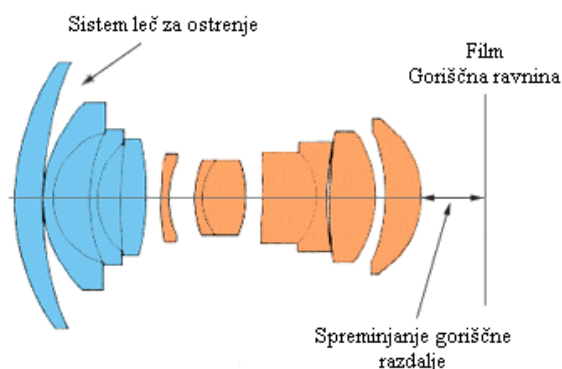
2.2 Objektiv

Objektiv je pomemben element kamere, ki je sestavljen iz sistema konveksnih in konkavnih leč (slika 2). Optična leča je narejena običajno iz stekla ali prozorne plastike, ki jo omejujeta dve krogelni kapici, lahko tudi krogelna kapica, z druge strani pa ravna ploskev.



Slika 2: Konveksne in konkavne leče (Sluga, 1989)

Objektiv nam pripomore, da snop žarkov iz terena preide na površino sensorja (film, CCD oz. drug senzor). Imamo enostavne objektivne z eno lečo in boljše objektivne z deset in več lečami, ki so združene v več skupin (slika 3). S sprednjimi lečami (modre barve), s premikanjem po optični osi, nastavljam ostrino slike. S spreminjanjem zadnjih leč (oranžne barve), pa spreminjamo goriščno razdaljo (razdalja od slikovne ravnine do optičnega središča leče) in s tem tudi vidno polje.



Slika 3: Sistem leč v objektivu (Šajn, 1998)

Objektive lahko razvrstimo na več načinov (slika 4). Eden izmed njih je glede na zmožnost avtomatičnega ostrenja:

- MF (angl. manual focus) objektivni: z njimi lahko ostrimo samo ročno

- AF (angl. auto focus) objektivni: z njimi lahko ostrimo tako ročno kot avtomatično

Drugi način je glede na njihovo goriščno razdaljo:

- fiksne objektivne, ki imajo eno goriščno razdaljo in en zorni kot,
- objektivni s spremenljivim zornim kotom, ki lahko spreminjajo goriščno razdaljo v nekem območju (npr. 18-55 mm).



Slika 4: Različne vrste objektivov (Šajn, 1998)

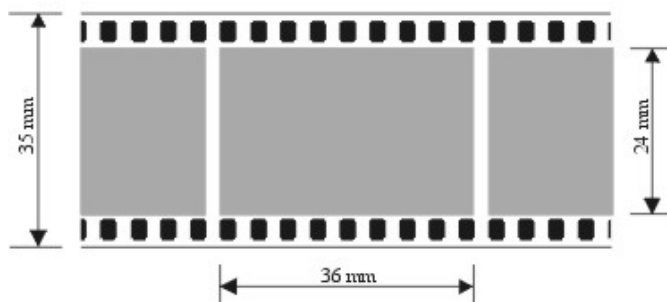
Na splošno pa jih lahko delimo glede na velikost zornega kota. Za maloslikovni format filmov (36 mm x 24 mm) so oznake glede na velikost goriščne razdalje naslednje:

- širokokotni objektivni:
Objektivni imajo goriščne razdalje do 35 mm (najpogostejši objektivni so med 17 mm in 35 mm). Zaradi majhne goriščne razdalje pokrivajo skoraj 180° zorni kot. Uporablja se jih, ko želimo na podobi prikazati čim večje območje;
- normalnokotni objektivni:
Sem uvrščamo objektivne, katerih dolžina goriščne razdalje (50 mm) je tako dolga, da je njen zorni kot enak, kot ga vidimo s prostim očesom. Ti objektivni so najbolj razširjeni in najbolj uporabni za vsakdanje namene. Najbolj pogosta uporabna področja so med 24 mm in 105 mm;
- ozkokotni (tele) objektivni:
To so objektivni z goriščno razdaljo večjo od 100 mm. Objekte nam zelo približajo, hkrati pa zmanjšajo vidni kot kamere. Ozkokotne objektivne lahko razdelimo še glede velikosti goriščne razdalje na spodnji tele (okrog 80 mm do 150 mm), srednji tele (od 150 mm do

300 mm) in zgornji ali ultra tele (od 300 mm naprej). Uporaba je zelo široka, saj nam objektiv omogoča pestro področje uporabe (arhitektura, portretna fotografija, arhitektura, športni dogodki, narava...) (Šajn, 1998).

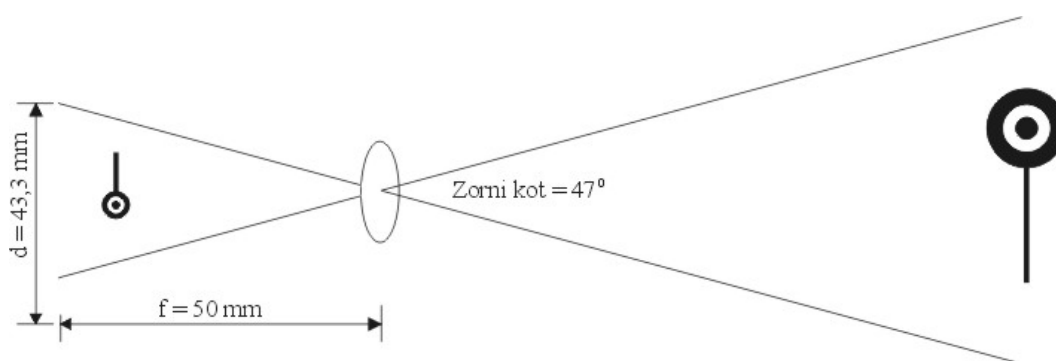
2.3 Ekvivalenca goriščnih razdalj

Oprelitev goriščne razdalje je enaka pri digitalnih fotoaparatih kot pri običajnih. Ker imajo digitalni fotoaparati vgrajene senzorje različnih velikosti, se razlikujejo po velikosti zornega polja, ki ga zajamejo pri enakih goriščnih razdaljah. Zaradi poenotenja goriščnih razdalj različnih senzorjev, podajajo proizvajalci ekvivalent goriščne razdalje. Ekvivalent je opredeljen glede na zorni kot v klasičnih 35 mm fotoaparatih (slika 5) t.i. leica format film (Grigillo, 2003).



Slika 5: Film v analognih 35-mm fotoaparatih (Grigillo, 2003)

Velikost diagonale in goriščna razdalja posnetka opredeljujeta digitalni zorni kot optičnega sistema. Analogni 35 mm fotoaparati uporabljajo film. Njegove velikost posnetka so 36 mm x 24 mm, z dolžino diagonale 43,3 mm. Normalnokotni objektiv imajo goriščno razdaljo, ki ustreza velikosti diagonale posnetka. Podoben zorni kot nudi goriščna razdalja 50 mm, ki je dogovorjena goriščna razdalja za normalnokotni objektiv 35 mm fotoaparata. Slika 6 prikazuje zorni kot 35 mm fotoaparata z normalnokotnim objektivom.



Slika 6: Zorni kot normalnokotnega objektiva (Grigillo, 2003)

V digitalnih fotoaparatih je velikost tipala precej manjša od posnetkov 35 milimetrskih fotoaparatorov. Isti zorni kot se tako doseže z uporabo krajših goriščnih razdalj. Vzemimo svetlobno tipalo z velikostjo diagonale 8,9 mm. Pri tem tipalu z goriščno razdaljo 10,3 milimetra dobimo isti diagonalni zorni kot, kot pri 35 milimetrskih fotoaparatih z normalnokotnim objektivom. Linearna povezava med goriščnimi razdaljami omogoča izračun poljubne ekvivalent goriščne razdalje:

$$\text{ekvivalent} = \frac{f \cdot \sqrt{36^2 + 24^2} \text{ mm}}{d}, \quad (2.1)$$

Črka f predstavlja goriščno razdaljo digitalnega fotoaparata v mm, d pa diagonalno polje svetlobnega tipala v mm. Ker je pri digitalnih fotoaparatih v večini primerov podan 35 milimetrski ekvivalent goriščne razdalje, je to treba upoštevati pri izračunu merila podob.

Nekateri proizvajalci se ne držijo take opredelitve, saj podajajo kot 35-mm ekvivalent goriščno razdaljo 50 milimetrov v primeru, ko je goriščna razdalja digitalnega fotoaparata enaka velikosti diagonale svetlobnega tipala. V tem primeru je potrebno enačbo 1 prepisati v obliko:

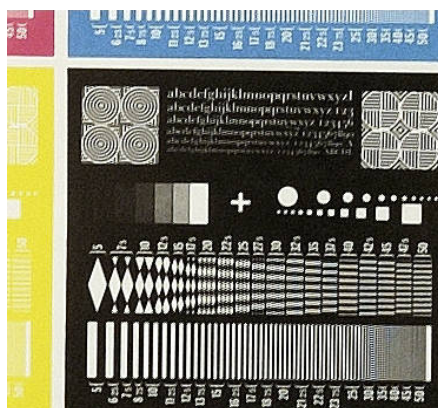
$$\text{ekvivalent} = \frac{f \cdot 50 \text{ mm}}{d}. \quad (2.2)$$

Tretja opredelitev ekvivalenta se nanaša na horizontalni zorni kot, ki ga opredeljuje velikost daljše stranice posnetka. Za primerjavo vrednosti ekvivalenta z digitalnim zornim kotom, je potrebno upoštevati tudi razmerje med stranicami posnetkov. Pri 35-mm fotoaparatih znaša tri proti dve, medtem ko imajo svetlobna tipala običajno razmerje stranic štiri proti tri. Tako podani ekvivalenti predstavljajo diagonalni zorni kot diagonalnega fotoaparata nekoliko večji kot pri 35-mm fotoaparatu (Grigillo, 2003).

2.3.1 Lastnosti objektivna

Zelo pomembna lastnost objektivna je kakovost optike. Med najbolj pomembnima lastnostnima sta ostrina oz. ločljivost in kontrast objektivna.

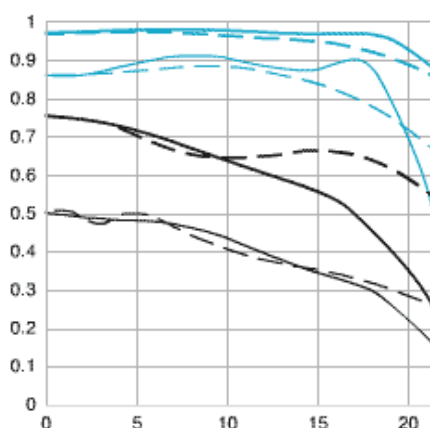
Ostrina objektivna pove, koliko črt (linij) na milimeter lahko objektiv prepozna, pogosta oznaka LP/mm; (angl. Line Pairs per millimeter). Te linije so pari črnih in belih črtic. Ločljivost objektivna je različna za različne vrednosti zaslonke (slika 7).



Slika 7: Primera grafičnega testa za testiranje objektivov (Novak, 2008)

Kontrast objektivna pove, kako kakovostno uspe objektiv preslikati črno in belo črtico na zapisovalni medij (film ali svetlobno občutljivi senzor). Črtici se nikoli ne preslikata kot popolna belina in popolna črnina, ampak kot bolj ali manj svetlo oz. temno siva barva. Bolj

kot je objektiv kontrasten, bolj se barva črtic približa beli oz. črni barvi. Kontrast objektiva je včasih pomembnejši faktor od same ostrine, oba skupaj pa se da prikazati v grafu MTF (angl. Modulation Transfer Function) (slika 8) z MTF meritvami. Proizvajalčeve vrednosti so navadno boljše od naknadnih testov objektivov, ker proizvajalci podajajo izračunano in ne testirano vrednost.



Slika 8: Graf MTF objektiva Canon 50 mm f/1,4 (Novak, 2008)

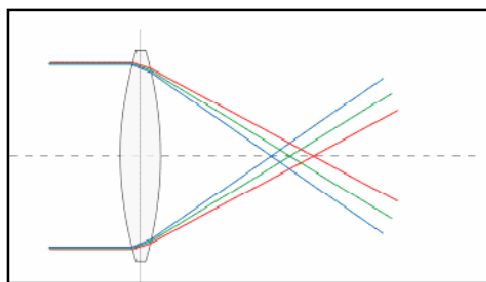
MTF meritve določajo kontrast med črno in belo črto pri različnih debelinah oz. linijsko frekvenco. Daje nam objektivne rezultate kakovosti objektiva. MTF-diagram nam skozi meritve belih in črnih črt (slika 8) pove, koliko kontrastne so ostale črte potem, ko smo jih projicirali skozi objektiv. Pove, kako velika je bila razlika oz. je razlika v kontrastu od izvornika, ter koliko kontrasta se je zgubilo ob projiciranju. Če je MTF za podrobnost med linijami 0,85 ob primerjavi originalnega kontrasta, pomeni, da je 85% prešlo skozi projiciranje (Novak, 2008).

Ostrina in kontrast sta nižja pri najbolj odprtih zaslonkah in naraščata z zapiranjem zaslonke. Pri bolj zaprtih zaslonkah pa (linearno z zapiranjem) ponovno padata zaradi uklona svetlobe na lamelah zaslonke. Kvalitetni objektivni imajo navadno višek svoje optične kvalitete pri zaslonki, ki je za dve stopnji bolj zaprta od maksimalne (npr. pri f 5,6, če je maksimalna f 2,8), manj kvalitetni pa pri bolj zaprtih zaslonkah (Pucelj 2004).

2.4 NAPAKE LEČE

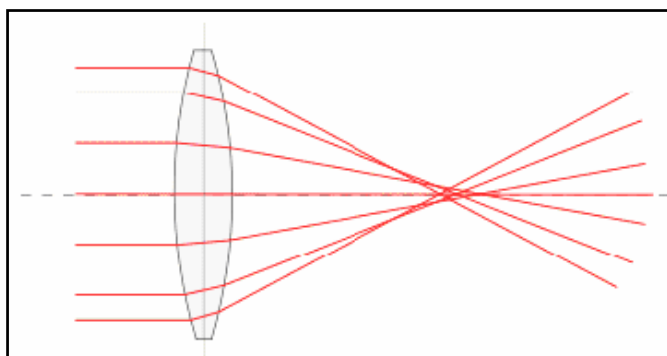
Leče v objektivu morajo biti usklajene z optično osjo in čim manj popačiti sliko pri prehodu. Različne napake leč zmanjšujejo kvaliteto slike in njeno geometrično pravilnost. Med vsemi napakami je najbolj pomembna optična distorzija, ki jo bomo podrobno spoznali v poglavju 4.2. Poleg optične distorzije se lahko pojavijo še naslednje napake:

- Kromatična aberacija (barvna napaka): je posledica razklona žarkov pri lomu skozi lečo različnih valovnih dolžin. Nastane ob robovih leče, kot mavrično obarvanje kontrastnih robov slike (svetlejša točka). Barvni razklon je odpravil več lečni sistem z različnimi lomnimi količniki (slika 9).



Slika 9: Prikaz kromatične aberacije (Žagar, 2007)

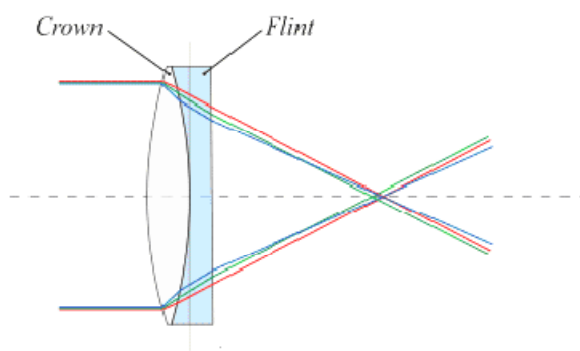
- Sferična aberacija (napaka pasov): povzroča slabšo ostrino slike in se pojavlja ob robovih slike. Običajna leča zaradi sferične oblike lomi žarke v neko točko, ki pa ne sovpada za vse vpadne žarke. Žarki ki prihajajo v lečo blizu sredine, se dlje za njo kot tisti, ki vpadejo v lečo na robovih. Nastane zaradi izbočenosti projekcijskega polja, zmanjšamo jo z več lečnim sistemom (slika 10).



Slika 10: Prikaz sferične aberacije (Žagar, 2007)

- Akromat in apokromat:

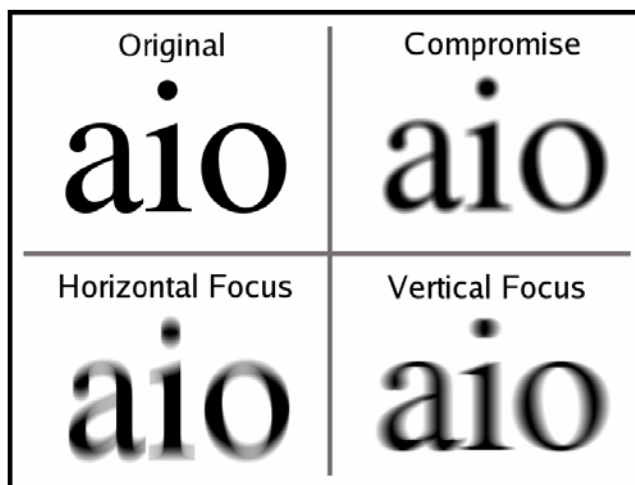
- Akromat je dvojni sistem leč, ki zmanjšuje učinke kromatične aberacije. Sestavljen je iz konkavne leče (kremenovega stekla z visoko disperzijo) ter konveksne leče (krovnega stekla z nizko disperzijo). Tako skupaj zloženi leči izničita medsebojni aberaciji dveh različnih valovnih dolžin in tvorita lečo, ki deluje kot konveksna ter preslika dve različni valovni dolžini v isto gorišče. Akromati so tipično sestavljeni tako, da imata rdeča in modra valovna dolžina isto gorišče (slika 11).



Slika 11: Sistem dvojnih leč (Žagar, 2007)

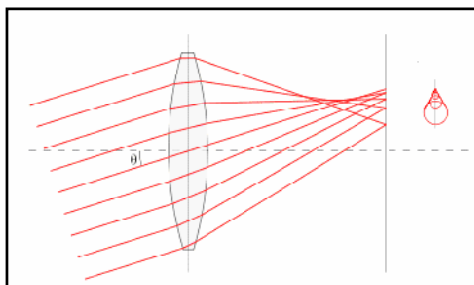
- Apokromat je le izboljšan akromat. Medtem ko akromat preslika dve različni valovni dolžini v isto gorišče, so apokromati načrtovani za izenačevanje fokusa treh različnih valovnih dolžin (navadno rdeče, zelene, modre). Prav tako boljše odpravijo sferično aberacijo, saj zmanjšajo razliko med disperzijo treh valovnih dolžin.

- Astigmatizem: napaka se pojavlja za žarke, ki so daleč izven optične osi. Sliko deformira tako, da se v eni dimenziji raztegne, v drugi pa skrči (Slika 12).



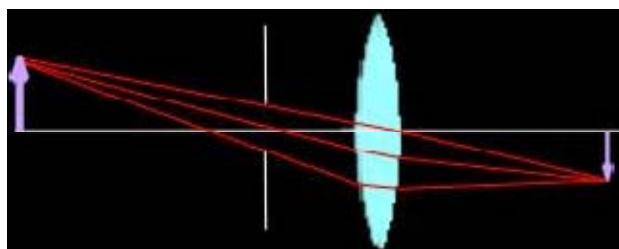
Slika 12: Vidna posledica astigmatizma (Žagar, 2007)

- Koma: slika točke, ki se nahaja izven optične osi ni več točka, temveč madež z repkom, ki spominja na kometa. Odpravimo jo z zaslonko pred objektivom in s primerno nastavljenimi krivinskimi polmeri leč (slika 13).

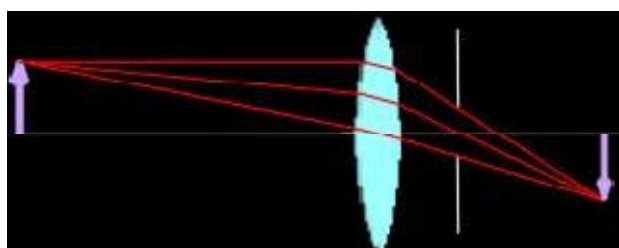


Slika 13: Shematski prikaz kome (Žagar, 2007)

- Distorzija ali ukrivljenost slikovnega polja: je napaka leče, ki povzroči neostro sliko na robovih slikovnega polja in izbočenost. Odvisna je predvsem od lege zaslonke glede na tanko zbiralno lečo. Le ta pogojuje obliko in velikost distorzije. Če je zaslonka pred lečo in predmetom, imamo sodčasto distorzijo (slika 14). Zaslonka med lečo in sliko pa povzroči blazinasto distorzijo (slika 15). Distorzija je odvisna predvsem od brušenja in kakovosti stekla (Žagar 2007).



Slika 14: Sodčasta distorzija (Žagar, 2007)



Slika 15: Blazinasta distorzija (Žagar, 2007)

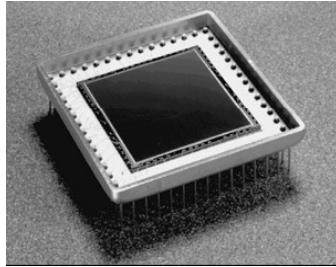
2.5 Senzor ali svetlobno tipalo

Senzor s pomočjo svetlobnih tipal omogoča zapis podobe v digitalni obliki. Lahko rečemo, da je senzor vezje, sestavljeno iz drobnih fotodiod, ki pri osvetlitvi oddajajo električni impulz. Fotodioda zazna količino vpadle svetlobe skozi objektiv. Najpogosteje uporabljena vezja so CCD (angl. Charge Coupled Device), vendar se pojavljajo še CMOS (angl. Complementary Metal-Oxide Semiconductor) in nekateri drugi senzorji, ki uporabljajo bodisi CCD ali CMOS način. Zaznavanje svetlobe je pri tipalih CMOS podobno kot pri CCD, sicer pa se tehnologiji močno razlikujeta. Električni naboji v posamezni diodi se neposredno zaznavajo z ojačevalniki, ki so narejeni iz tranzistorjev CMOS (Dražumerič, 2008).

2.5.1 CCD (angl. Charge Coupled Device)

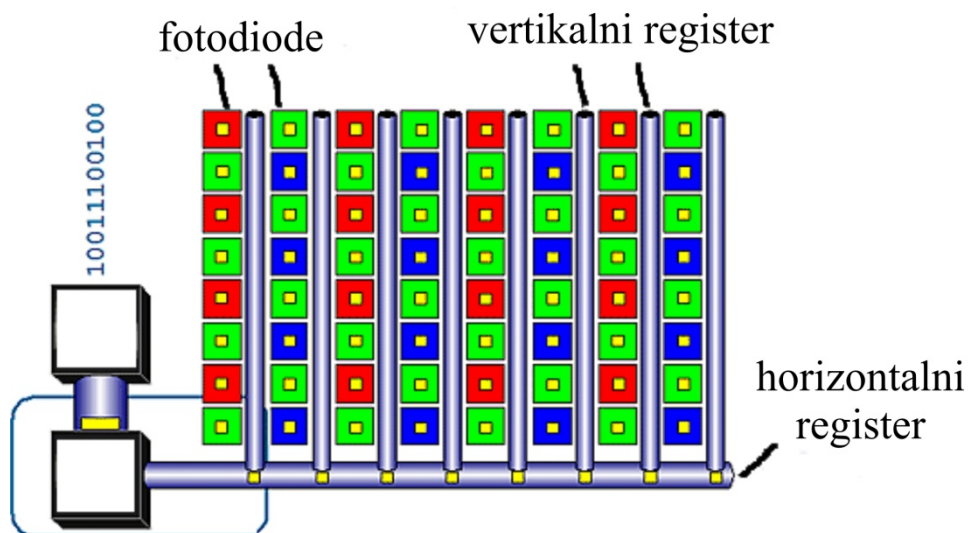
Sami začetki tipala CCD (slika 16) segajo v leto 1969, ko sta fotosenzorje razporejene v matriko izumila Willard Boyle in George Smith v podjetju Bell Laboratories. Najprej sta

razvila novo vrsto računalniškega spomina, vendar sta kmalu ugotovila, da je uporaben tudi za obdelavo slikovnih signalov. To tipalo je osnova za prva svetlobna tipala v digitalni fotografiji.



Slika 16: CCD senzor (Pucelj, 2004)

Osnovni princip CCD-senzorjev je pretvorba svetlobne energije v električni signal. Svetloba pade na fotodiode, tudi piksel (angl. picture element oz. slov. slikovni element) in se pretvori v električni naboj. Fotodiode so mrežno razporejene po CCD-ju, tako da dobimo nekakšno matriko (m x n), ki predstavlja optično ločljivost. Električni naboj se prek prenosne mreže in pomičnih registrov prenese na izhodni ojačevalnik (Slika 17). Izhodna napetost predstavlja produkt jakosti svetlobe ter trajanja osvetlitve (Pucelj, 2004).



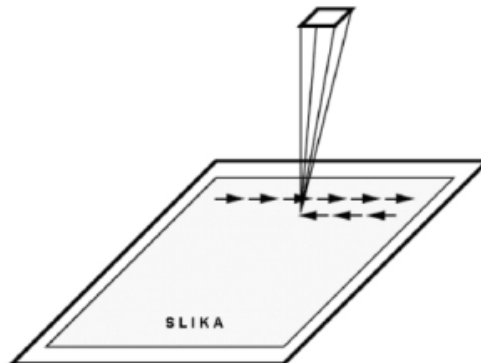
Slika 17: Delovanje CCD (Pucelj, 2004)

CCD senzorje lahko razdelimo na tri načine, glede na detekcijo svetlobe:

- s točkovnim prebiranjem (angl. point scanning);
- z vrstičnim prebiranjem (angl. line scanning);
- s ploskovnim prebiranjem (angl. area scanning).

Točkovno prebiranje

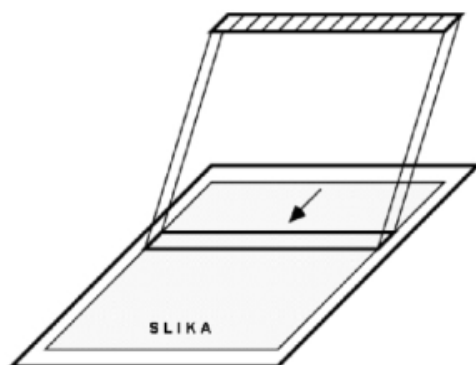
Pri točkovnem prebiranju (slika 18) se uporablja le ena fotodioda (zaradi razumevanja bom uporabljal izraz celica) za detekcijo odbite svetlobe, ki zazna svetlobni signal. Slika se prebira sekvenčno z detekcijo ob premiku celice ali premiku prebrane površine. CCD celica se premika po dveh oseh, kjer x-os predstavlja horizontalo in y-os vertikalno. Prednosti točkovnega prebiranja so velika ločljivost, uniformnost svetlobne meritve in cenovno ugodna izvedba. Vendar se pri takem načinu pojavljajo slabosti, kot so napake pri premiku celice ali površine in nespremenljiva frekvenca prebiranja. Za prehod skozi celotno matriko je potreben določen čas, kar pa omejuje vzorčno frekvenco pri zajemanju gibljivih motivov.



Slika 18: Točkovni senzor (Zemljič, 2005)

Vrstično prebiranje

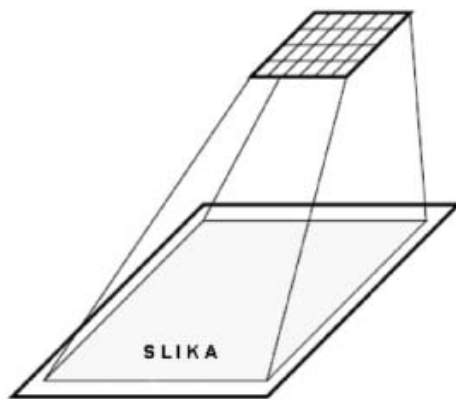
Pri vrstičnem prebiranju (slika 19) je združenih več celic v prebirno daljico. Prebiranje se izvaja vzdolž prebiralne površine. Na tak način se skrajša čas pri samem zajemu. Ločljivost zajema je odvisna na osi x-osi od števila celic v vrstici, na y-osi pa od natančnosti premika oz. koraka prebirne daljice.



Slika 19: Vrstični senzor (Zemljič, 2005)

Ploskovno prebiranje

Pri ploskovnem prebiranju (slika 20), ki je realizirano na področju digitalne fotografije ter videokamere, so celice razporejene v matriko xy, ki zajame sliko v danem trenutku. Ločljivost zajema je odvisna od gostote celic v matriki, tako po x-osi kot po y-osi. Ploskovno prebiranje je izmed vseh treh vrst prebiranja najdražje. Ploskovni način imajo sodobni zrcalnorefleksni fotoaparati ter videokamere.

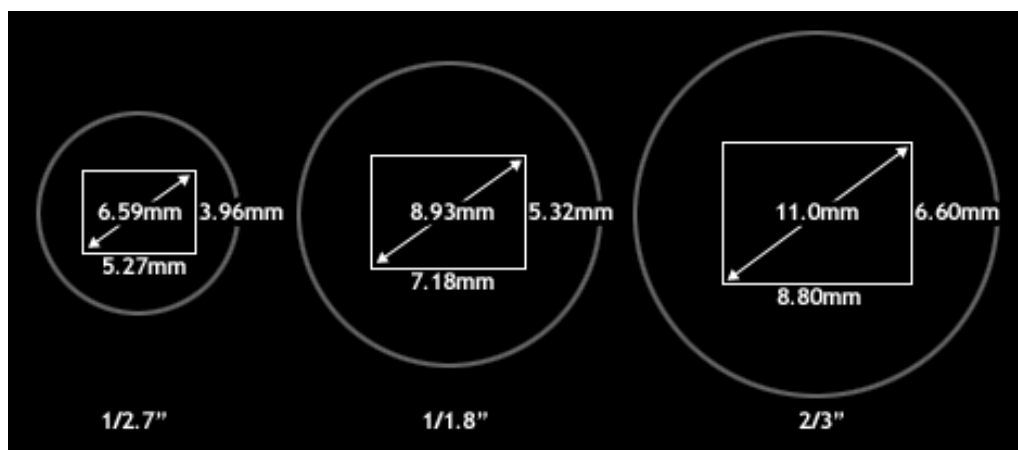


Slika 20: Ploskovni senzor (Zemljič, 2005)

2.5.2 Velikost senzorja

V digitalnih kamerah je velikost slike odvisna od senzorja, ki je različnih dimenzij (slika 21). Izbira razmerja in velikost stranic je odvisna od proizvajalca. Vpliv na razmerje senzorjev je

imel še iz časov analogne fotografije tudi 35 mm film (formata 36 mm x 24 mm, v razmerju 3 : 2). Proizvajalci in tudi uporabniki želijo čim večje tipalo s čim večjo ločljivostjo. Velikost tipala je zapisana v obliki 1/3" (1 palec = 25,4 mm) in pomeni zunanji polmer ohišja video cevi, ne pa same velikosti diagonale (Zemljič, 2005).



Slika 21: Podana velikost tipala (Chaney, 2002)

Preglednica 1: Velikosti posameznih senzorjev

Tip	Razmerje	Premer [mm]	Senzor [mm]		
			Diagonala	Širina	višina
1/3,6"	4 : 3	7,056	5,000	4,000	3,000
1/3,2"	4 : 3	7,938	5,680	4,540	3,420
1/3"	4 : 3	8,467	6,000	4,800	3,600
1/2,7"	4 : 3	9,407	6,590	5,270	3,960
1/2"	4 : 3	12,700	8,000	6,400	4,800
1/1,8"	4 : 3	14,111	8,930	7,180	5,320
2/3"	4 : 3	16,933	11,000	8,800	6,600
1"	4 : 3	25,933	16,000	12,800	9,600
4/3"	4 : 3	33,867	22,500	18,000	13,500
35 mm	3 : 2		43,267	36,000	24,000

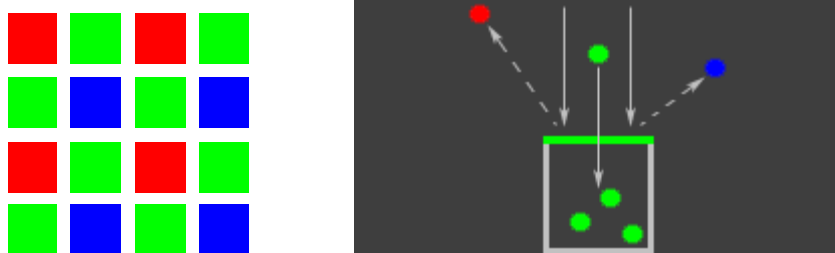
V preglednici 1 so podane velikosti nekaterih tipal. V prvem stolpcu je velikost tipala, ki ga navaja sam proizvajalec. V drugem stolpcu so podana razmerja med stranicama. Tretji stolpec

podaja premer zunanje cevi, pretvorjene v milimetre. Zadnji trije stolpci podajajo dejanske dimenzije sensorja (Chaney, 2002).

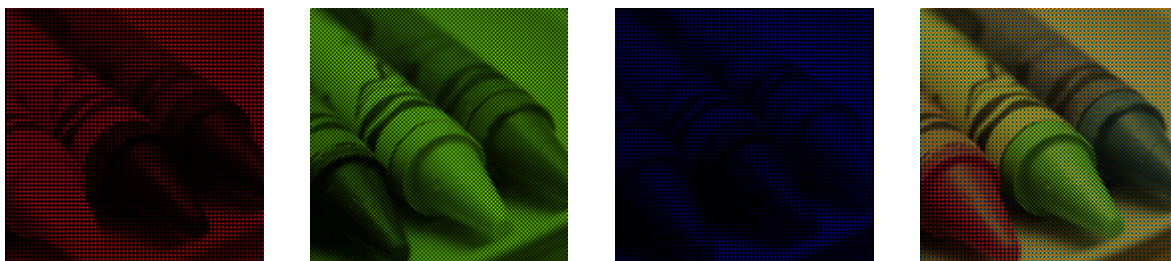
2.5.3 Zaznavanje barve

Vidna svetloba je del elektromagnetnega valovanja, ki ga zaznava človeško oko. Različne valovne dolžine oko razloči kot različne barve. Pri sensorjih svetlobo zaznajo fotodiode. Fotodiode same po sebi ne morejo prepoznati razlike med različnimi valovnimi dolžinami svetlobe. Da ustvarijo barvno podobo, so na njih nameščeni posebni filtri. Poznamo dva načina razpoznavanja. Prvi način uporablja Bayerjev vzorec (večina digitalnih kamer), drugi pa še s tehnologijo feveonovega tipala X3.

Tipalo z Bayerjev vzorcem je sestavljeno iz mrež filtrov, ki prekrivajo slikovne elemente tipala (slika 22). Filtri so pobarvani zeleno, modro in rdeče. Največ je zelenih, ker je človeško oko bolj občutljiv na zeleni del barvnega spektra. Tako so pri Bayerjevem vzorcu barve postavljene v sorazmerju 1:2:1 (rdeča, zelena, modra). Izbran filter odstrani druge barve in zajame samo izbrano barvo za slikovni element (Mchugh, 2008).

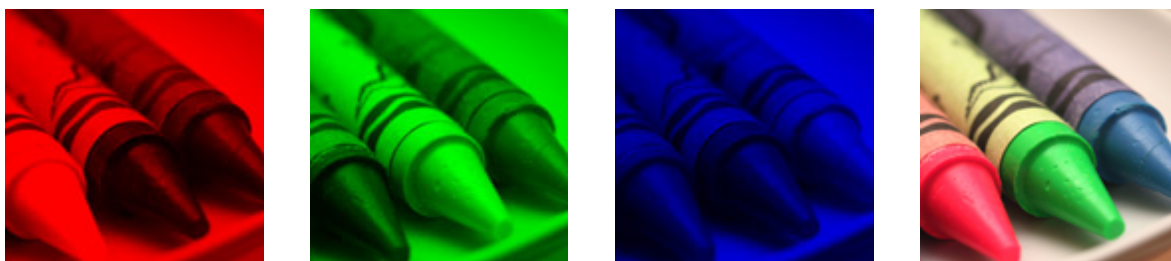


Slika 22: Bayerjev vzorec in zajem barve (Mchugh, 2008)



Slika 23: Rdeči, zeleni in modri kanal pred interpolacijo ter kombinacija vseh
(Mchugh, 2008)

Slika 23 prikazuje zajem slike po posameznem Bayerjevem vzorcu (rdeča, zelena, modra), na koncu slika nastane kot kombinacija vseh treh slojev. Kombinirana slika ni kontrastna, ker nima vsak barvni sloj določenega barvnega odtenka za posamezni piksel. Rešitev predstavlja interpolacija manjkajočih vmesnih pikslov, ki so določeni na podlagi vrednosti sosednjih pikslov. Z združevanjem interpoliranih podob bomo dobili barvno vrednost za vsak piksel (slika 24).



Slika 24: Rdeči, zeleni in modri kanal po interpolaciji ter kombinacija vseh
(Mchugh, 2008)

3 ENOSLIKOVNA FOTOGRAMetriJA

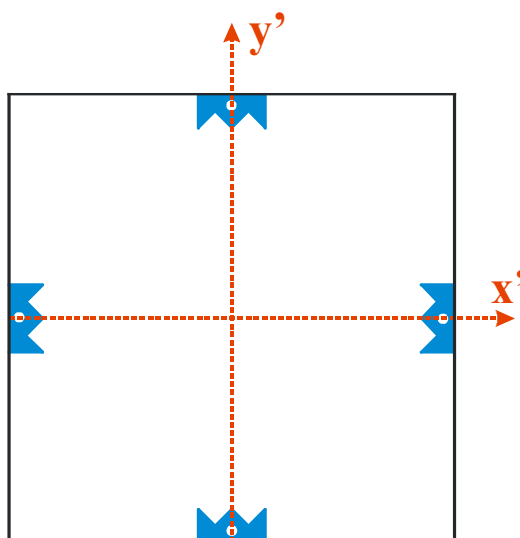
3.1 Slikovni koordinatni sistem

Kalibracijske parametre podajamo v slikovnih koordinatah. Možnosti vzpostavitve slikovnega koordinatnega sistema so opredeljene v poglavju 3.1.1. Slikovne koordinate so včasih merili s pomočjo fotogrametričnih instrumentov, komparatorjev. Komparator je merski inštrument za merjenje strojnih koordinat točk, iz katerih s transformacijo dobimo slikovne koordinate. Danes se za zajem strojnih koordinat, ki jim bomo v nadaljevanju rekli senzorske koordinate, uporablja programsko okolje za delo v fotogrametriji.

3.1.1 Definicija slikovnega koordinatnega sistema

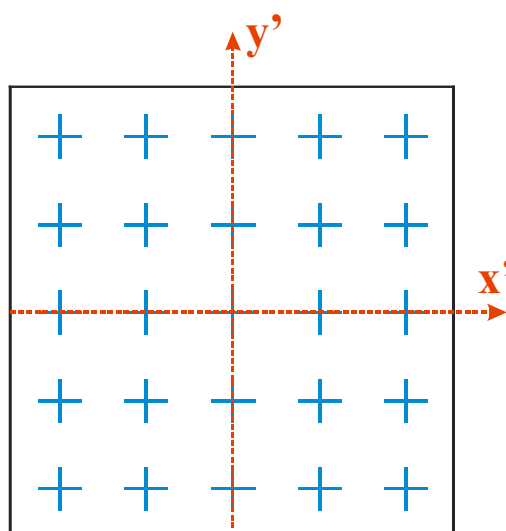
Za določitev položaja slikovnih koordinat je potrebno poznati izhodišče in usmerjenost koordinatnega sistema. Nekateri slikovni koordinatni sistemi so fizično definirani (predvsem pri analognih slikah). Poznamo tri metode določitve slikovnega koordinatnega sistema.

- **Preko robnih mark (slika 25):** slikovni koordinatni sistem definirajo najmanj štiri robne marke. Robne marke so fizično definirane v notranjosti kamere, imajo kalibrirane koordinate ter se preslikajo na slike. Robne markice najdemo v klasičnih aerofotogrametričnih kamerah. Os x vzpostavljata sredinski robni marki, os y pa zgornja in spodnja marka.



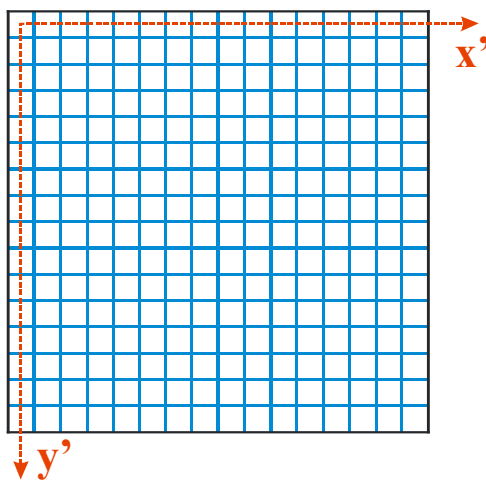
Slika 25: Vzpostavitev slikovnega koordinatnega sistema z robnimi markami
(Luhmann, 2006)

- **S ploščo »réseau« (slika 26):** sestavljena je iz mreže kalibriranih referenčnih točk (»križi«), nanesenih na stekleno ploščo. Plošča je nameščena neposredno pred senzorjem. Na sliko se plošča preslika kot mreža križev. V vodoravni smeri se skozi središče preslika os x , v navpični smeri pa os y .



Slika 26: Vzpostavitev slikovnega koordinatnega sistema z réseau križi
(Luhmann, 2006)

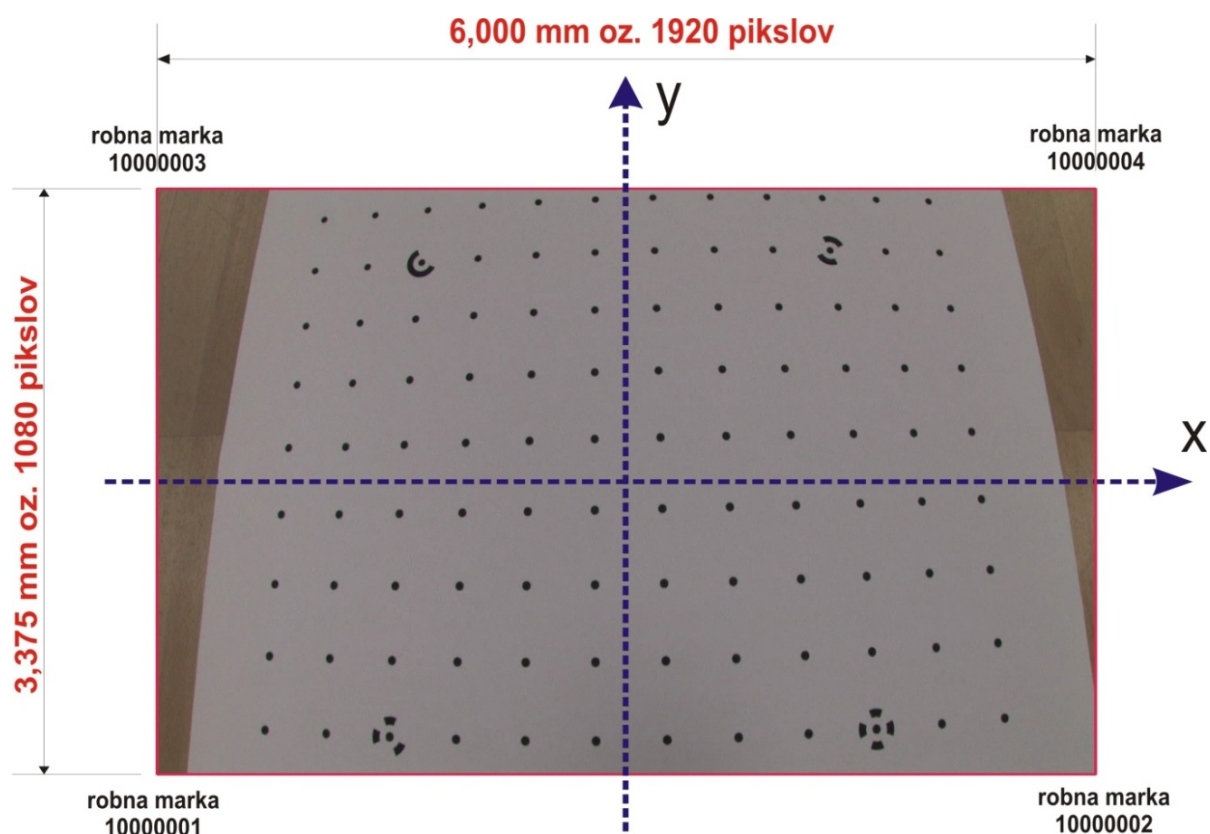
- **S senzorskim koordinatnim sistemom (slika 27):** umetne referenčne točke za digitalne fotoaparate niso potrebne. To velja za fiksno vgrajene matrične senzorje (CCD in CMOS). Izhodišče koordinatnega sistema navadno predstavlja levi zgornji kot senzorja. Os x poteka v vodoravni smeri in je pozitivna od leve proti desni, os y poteka v navpični smeri in je pozitivna od zgoraj navzdol. Ta sistem bomo tudi uporabili pri teoretični nalogi (Luhman, 2006).



Slika 27: Vzpostavitev senzorskega koordinatnega sistema (Luhmann, 2006)

3.1.2 Določitev slikovnega koordinatnega sistema v videokameri Canon XH G1

Slikovni koordinatni sistem v digitalnih videokamerah, tako kot pri fotografskih kamerah, določajo piksli oz. velikost senzorja. Pri videokameri Canon XH G1 je velikost senzorja 6,000 mm x 3,375 mm. Robne marke so skrajni piksli v vogalih slike, označene so od številke 10000001 do 10000004 (slika 28), ki definirajo slikovni koordinatni sistem v videokamer. Os x predstavlja sredinska vrstica pikslov, os y pa predstavlja sredinski stolpec pikslov.



Slika 28: Slikovni koordinatni sistem na videokameri

3.1.3 Afina transformacija

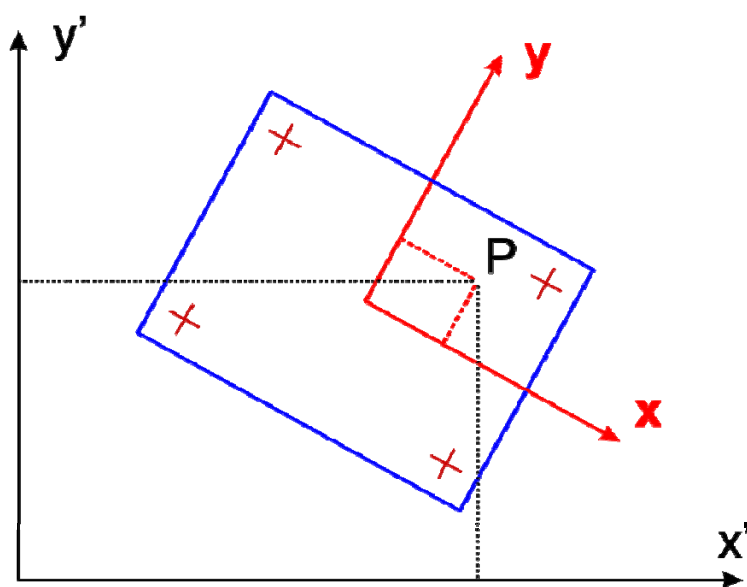
Transformacija pomeni pretvorbo med dvema različnima koordinatnima sistemoma. Pri merjenju točk na sliki, le te še niso v slikovnem koordinatnem sistemu, ampak v senzorskem. Za pretvorbo med senzorskim in slikovnim koordinatnim sistemom uporabljajo transformacijo. Poznamo več vrst transformacij (podobnostna, Helmertova, afina...). V nadaljevanju bom opisal afino transformacijo (slika 29).

Afina transformacija zahteva poznavanje šestih parametrov:

- a_1, a_2 predstavljata translacijo po x in y osi;
- b_1, b_2, c_1, c_2 predstavljajo rotacijo, strig in dve spremembi merila.

$$\begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_1 \\ a_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} b_1 & c_1 \\ b_2 & c_2 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} x' \\ y' \end{bmatrix} \quad (3.4)$$

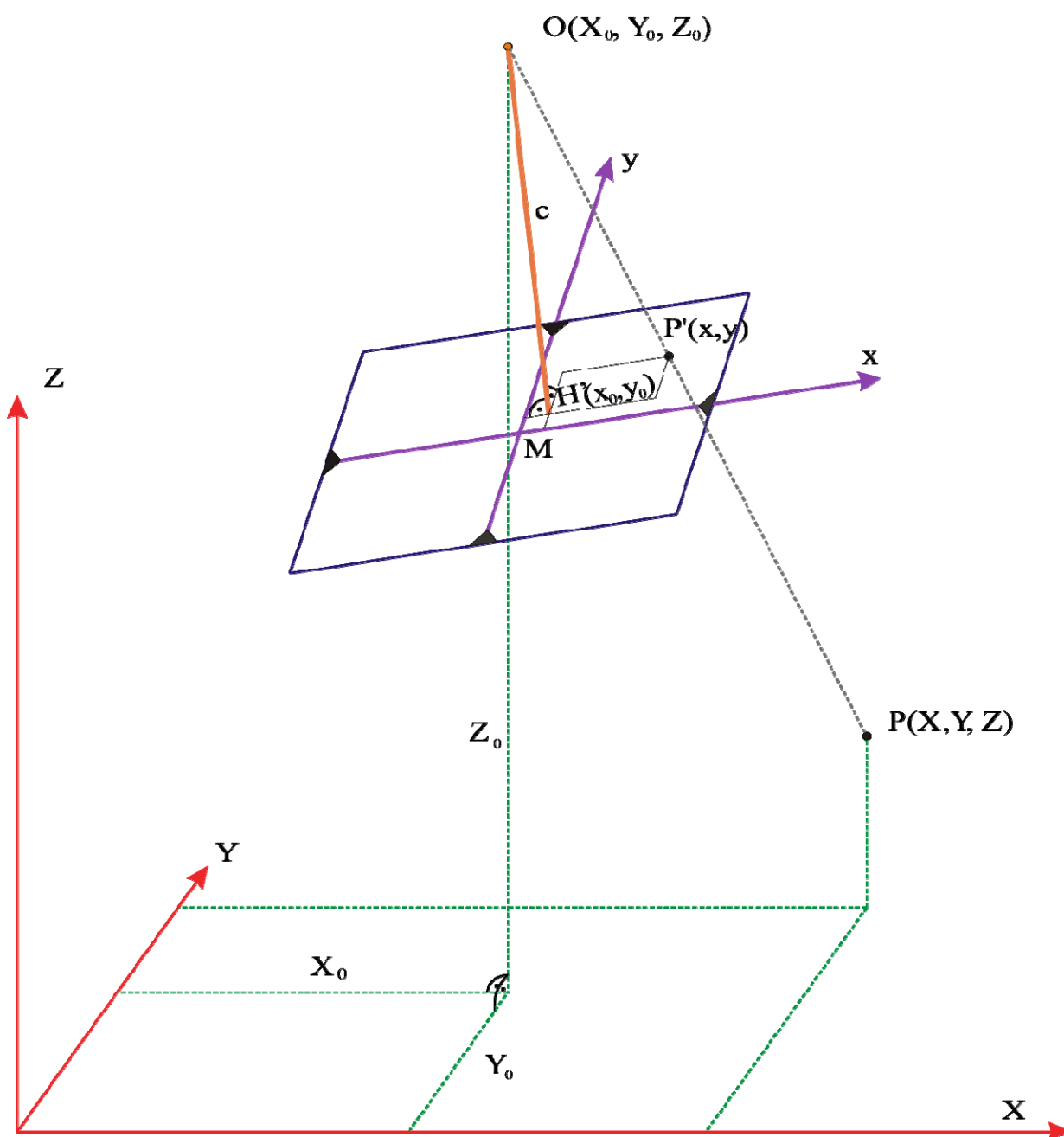
Šest parametrov afine transformacije izračunamo na podlagi znanih slikovnih koordinat in njihovih izmerjenih senzorskih koordinat. Potrebno je poznati koordinate najmanj treh robnih markic v slikovnem koordinatnem sistemu, vendar je priporočljivo vsaj štiri ali več. Izračun izvedemo z izravnavo po metodi najmanjših kvadratov (Kraus, 1993).



Slika 29: Afina transformacija (Kraus, 1993)

3.2 Perspektivna centralna projekcija

Fotografija je osnovni vir podatkov za pridobivanje fotogrametričnih informacij (rekonstrukcija položaja in oblike snemanja). Za pridobitev fotogrametričnih podatkov moramo poznati geometrične zakone.



Slika 30: Enoslikovna fotogrametrija

Glavna lastnost perspektivne projekcije je, da svetloba, odbita od fotografiranega predmeta, potuje skozi projekcijski center do slikovnega medija (film, senzor), ki predstavlja slikovno ravnino (projekcijsko ravnino). Svetlobne žarke lahko geometrično ponazorimo kot premice, ki se sekajo v projekcijskem centru. Le ta poteka od predmeta P skozi središče leče O do

preslikave na slikovni ravnini (slika 30). Točke P, O, P' so kolinearne (ležijo na isti premici). Žarek, ki je pravokoten na projekcijsko ravnino, predstavlja snemalno os. Točko, v kateri se se projekcijski center pravokotno preslika na slikovno ravnino, imenujemo glavna točka (oznaka PP). Razdalji od glavne točke do projekcijskega centra rečemo konstanta kamere (tudi goriščna ali fokusna razdalja).

Obrazložitev oznak na sliki 30:

- O – je projekcijski center (X_0, Y_0, Z_0)
- H' – je točka, kjer pravokotnica iz O seka slikovno ravnino; imenujemo jo tudi glavna točka posnetka (x_0, y_0)
- c – goriščna razdalja
- M – presečišče linij, ki jih povezujejo nasprotne robne markice
- (x,y) - koordinatni sistem slikovnega koordinatnega sistema
- P' – točka objekta na sliki (x, y)
- P – točka objekta v naravi (X, Y, Z)

Posnetek in objekt nista v istem koordinatnem sistemu, zato je za rekonstrukcijo žarkov v prostoru potrebno izvesti povezavo med dvema koordinatnima sistemoma. V enačbi perspektivne projekcije tako lahko povežemo slikovne koordinate točke (x, y) na posnetku z ustreznimi prostorskimi koordinatami točke X, Y, Z (Kraus, 1993):

$$x = x_0 - c \cdot \frac{r_{11} \cdot (X - X_0) + r_{21} \cdot (Y - Y_0) + r_{31} \cdot (Z - Z_0)}{r_{13} \cdot (X - X_0) + r_{23} \cdot (Y - Y_0) + r_{33} \cdot (Z - Z_0)} \quad (3.1)$$

$$y = y_0 - c \cdot \frac{r_{12} \cdot (X - X_0) + r_{22} \cdot (Y - Y_0) + r_{32} \cdot (Z - Z_0)}{r_{13} \cdot (X - X_0) + r_{23} \cdot (Y - Y_0) + r_{33} \cdot (Z - Z_0)} \quad (3.2)$$

Parametri $r_{i,j}$ predstavljajo elemente prostorske rotacijske matrike R, ki opisuje rotacije slikovne ravnine okoli koordinatnih osi prostorskega koordinatnega sistema:

$$R = \begin{bmatrix} \cos\varphi \cdot \cos\kappa & -\cos\varphi \cdot \sin\kappa & \sin\varphi \\ \cos\omega \sin\kappa + \sin\omega \cdot \sin\varphi \cdot \cos\kappa & \cos\omega \cos\kappa - \sin\omega \cdot \sin\varphi \cdot \sin\kappa & -\sin\omega \cdot \cos\varphi \\ \sin\omega \sin\kappa - \cos\omega \cdot \sin\varphi \cdot \cos\kappa & \sin\omega \cos\kappa + \cos\omega \cdot \sin\varphi \cdot \sin\kappa & \cos\omega \cdot \sin\varphi \end{bmatrix}$$

(3.3)

Orientacija posnetka v prostoru pomeni poznavanje vseh skupno devetih parametrov notranje in zunanje orientacije:

- Notranja orientacija
 - x_0, y_0 (slikovne koordinate glavne točke H)
 - c goriščna razdalja
- Zunanja orientacija
 - X_0, Y_0, Z_0 prostorske koordinate projekcijskega centra
 - φ, ω, κ rotacije posnetka okoli osi prostorskega koordinatnega sistema (kot ω okoli osi x, kot φ okoli osi y, in kot κ okoli osi z).

V praksi je zelo težko doseči idealno stanje, ki ga opisujejo matematični zakoni. Pri snemanju pride do odstopanj, ki jih je potrebno za bolj natančne rezultate odpraviti.

To lahko rešimo analitično (matematično moduliranje) ali konstrukcijsko (ustrezen sistem leč). Predvsem je pri aplikacijah v bližnjelikovni fotogrametriji potrebno popraviti slikovne koordinate zaradi vpliva distorzije objektiva in premika glavne točke.

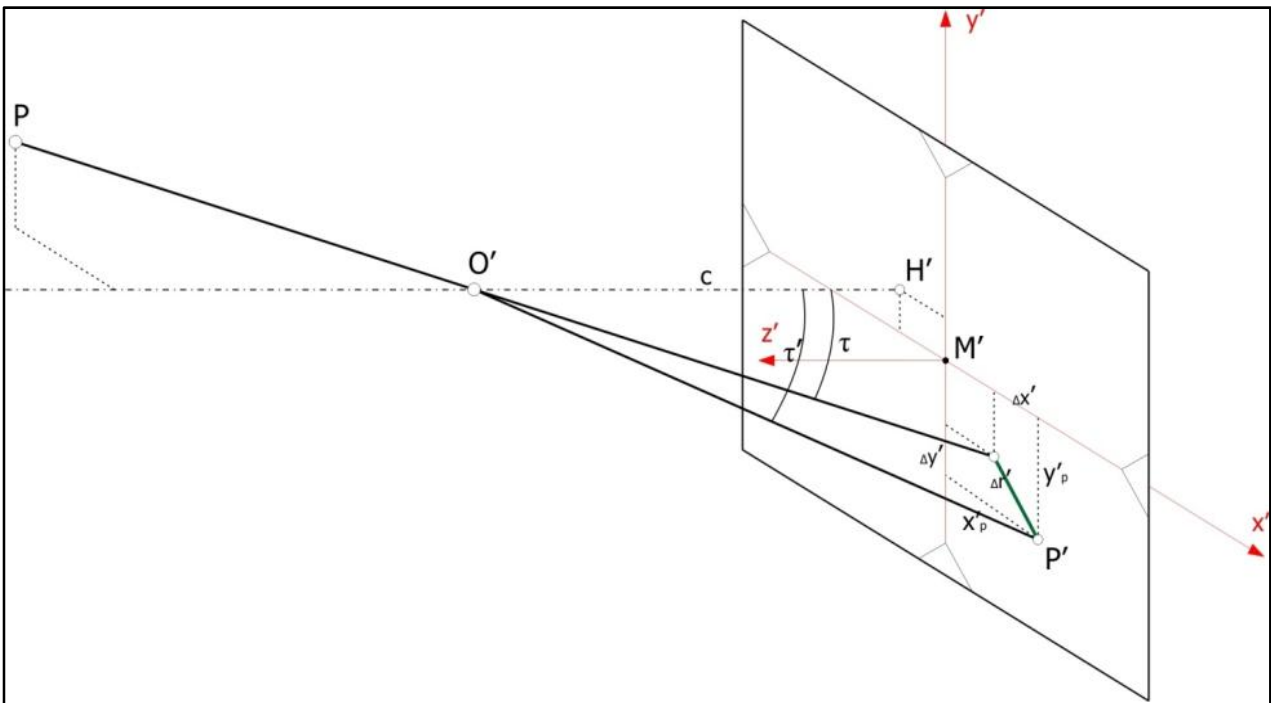
Pojem bližnjelikovna fotogrametrija uporabljamo pri netopografskih aplikacijah, kjer je snemalna razdalja krajša od 100 metrov. Za to vejo fotogrametrije so bili izdelani posebni fotoaparati. Uporablja se pri dejavnostih v arhitekturi, gradbeništvu, strojništvu, arheologiji in gozdarstvu ter zahteva specifičnost postopkov snemanja in izvrednotenja (Kraus, 1993).

4 NOTRANJA ORIENTACIJA

Kot že samo ime pove, gre za definiranje elementov znotraj kamere. V nadaljevanju poglavja bodo predstavljeni elementi notranje orientacije. V osnovi je kalibracija fotoaparata in videokamere enaka, zato bom v nadaljevanju uporabljal besedo kamera.

4.1 Parametri notranje orientacije

Parametri notranje orientacije opisujejo slikovni položaj projekcijskega centra z goriščno razdaljo (angl. principal distance) in slikovni položaj glavne točke (angl. principal point). Prav tako vključujejo odstopanja od centralne projekcije zaradi optične distorzije. Predvsem sta pomembni radialna in tangencialna distorzija, ki vplivata na afiniteto in ortogonalnost podobe (Luhman, 2006).



Slika 31: Notranja orientacija kamere

Slika 31 grafično prikazuje parametre notranje orientacije kamere, ki so:

- glavna točka (H'): nadir je v perspektivni projekciji s slikovnimi koordinatami (x'_0, y'_0) za standardne kamere primerljiv s centrom slike $H'=M'$;
- goriščna razdalja: normalna razdalja, od ravnine slike do projekcijskega centra v negativno z-os smer; je primerljiva z goriščno razdaljo, ko je fokusirano v neskončnost;
- napake optične distorzije: funkcija parametrov, ki opisujejo odstopanja od centralnega perspektivnega modela; prevladuje vpliv radialne distorzije.

4.2 Radialna distorzija (ukrivljenost)

Radialno distorzijo lahko opredelimo kot geometrijsko napako objektivna, kjer se pri prehodu ravne linije na slikovno ravnino preslika kot krivulja in v veliki meri vpliva na natančnost posnetka. Poznamo simetrično in nesimetrično distorzijo, vendar se v večji meri srečujemo s simetrično radialno distorzijo. V nadaljevanju bomo obravnavali simetrično radialno distorzijo. Simetrična radialna distorzija pomeni, da imajo točke na enaki oddaljenosti od središča leče enak popravek distorzije. Velikost distorzije ugotavljamo v postopku kalibracije kamere, kjer vse elemente notranje orientacije poskušamo prilagoditi nekemu idealnemu primeru. Rezultate velikosti radialne distorzije za različne oddaljenosti lahko prikazujemo z uporabo distorzijskega polinoma, s tabelo ali grafom (Luhman, 2006).

$$\Delta r = k_0 r + k_1 r^3 + k_3 r^7 + \dots \quad (4.4)$$

Δr = radialna distorzija

r = radialna razdalja od glavne točke (H)

$$r' = \sqrt{x'^2 + y'^2} \quad (4.5)$$

k_0, k_1, k_2, k_3 , = koeficienti polinoma

$$\begin{aligned}\Delta x'_{rad} &= x' * \frac{\Delta r}{r'} \\ \Delta y'_{rad} &= y' * \frac{\Delta r}{r'}\end{aligned}\quad (4.6)$$

$\Delta x'_{rad}$ in $\Delta y'_{rad}$ = popravka slikovnih koordinat za radialno distorzijo

Iz zgornjih enačb lahko izračunamo pravo vrednost slikovnih koordinat, popravljenih za radialno distorzijo.

$$\begin{aligned}x_p &= x^0 + \Delta x'_{rad} \\ y_p &= y^0 + \Delta y'_{rad}\end{aligned}\quad (4.7)$$

Pri manjših oddaljenostih, predvsem pri bližneslikovni fotogrametriji, kjer je oddaljenost od inštrumenta manjša od 30 kratnika goriščnih razdalj, se v izračunu radialne distorzije upošteva še najdaljša in najbližja razdalja do kamere.

Vpliv radialne distorzije je pri metričnih kamerah manjši, saj so objektivni boljši in bolj natančno izdelani, kot pri nemetričnih kamerah (Luhman, 2006).

5 DOLOČANJE NOTRANJE ORIENTACIJE KAMERE (KALIBRACIJA)

V fotogrametriji določanju parametrov notranje orientacije pravimo kalibracija. Kalibracija metričnih kamer se izvaja v specializiranih laboratorijih, medtem ko nemetrične kamere kalibriramo s posrednimi fotogrametričnimi meritvami, tako da kalibracijske parametre pridobimo z izračunom odstopanj med slikovnimi koordinatami in koordinatami modela na terenu.

Preglednica 2: Izbira kalibracijske metode

<i>Tip kalibracije</i>	<i>Slikovni sistem</i>	<i>Metoda kalibracije</i>	<i>Referenca</i>	<i>Predpostavka</i>
enkratna kalibracija	metrični	tovarniška oz. laboratorijska kalibracija	kalibriran test instrumentov	parametri kamere so veljavni za življenjsko dobo
dolgoročni pregled (npr. letni)	metrični	Laboratorijska kalibracija, kalibracija s testnim poljem	kalibriran test instrumentov, referenčne točke	parametri kamere so veljavni za daljše časovno obdobje
tik pred merjenjem	nemetrični, metrični	s testnim poljem, prosta kalibracija	referenčne točke, razdalje na testnem polju, uporaba ravnih linij	parametri kamere se ne spreminjajo med samim merjenjem
kalibracija vključena v predmet preslikave	nemetrični, metrični	prosta kalibracija, kalibracija ob delu	referenčne točke, razdalje na modelu, uporaba ravnih črt	konstantna notranja orientacija v času meritev
vsake posamezne slike	nemetrični	prosta kalibracija s spremenljivo goriščno razdaljo	referenčne točke, razdalje na modelu, uporaba ravnih črt pravila	parametri so povezani s stabilnostjo kamere

Iz preglednice 2 razberemo, da metrične kamere, v primerjavi z nemetričnimi kamerami, zagotavljajo bolj konstantne parametre notranje orientacije, zato je kalibracija kamere manj pogosta. Metrične kamere laboratorijsko kalibriramo na daljše časovno obdobje, medtem ko

nemetrične lahko kalibriramo tik pred izvedbo projekta, tako da je kalibracija vključena v samo obdelavo oz. lahko izvedemo celo kalibracijo za vsako posamezno sliko. Izvedba kalibracije je tudi odvisna od stabilnosti parametrov notranje orientacije.

Za določeno obdobje delovanja kamere lahko predpostavimo, da so parametri konstantni. Vendar je v primeru uporabe parametrov kalibracije v bližnjelikovni fotografiji lahko stabilnost parametrov vprašljiva zaradi toplotnih in drugih vplivov. Rešitev je izračun parametrov za vsako uporabljeno konfiguracijo, predvsem vremensko (raztezanje in krčenje materiala) (Luhman, 2006).

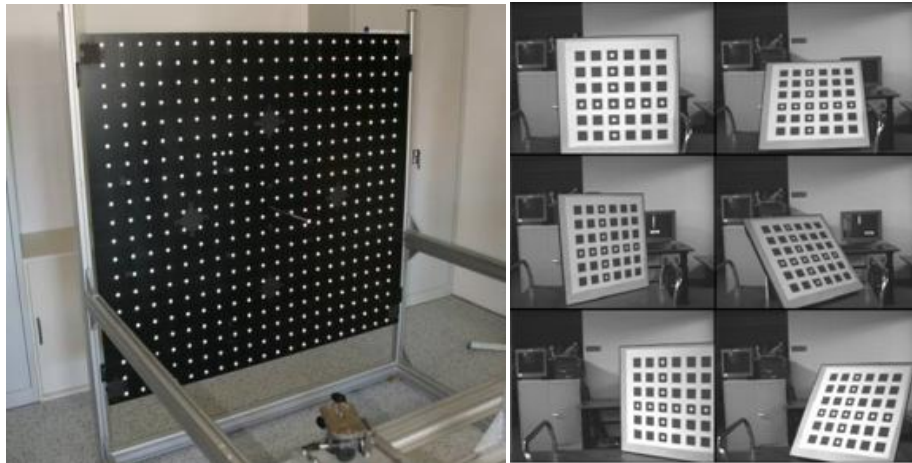
V osnovi lahko kamero kalibriramo na več načinov: laboratorijska kalibracija, kalibracija z uporabo testnega polja ter prosta samokalibracija. Zaradi čim manjšega spreminjanja goriščne razdalje so bolj primerni objektivni s fiksno goriščno razdaljo kot pa objektivni s spremenljivo (Luhman, 2006).

5.1.1 Laboratorijska kalibracija

Laboratorijsko kalibracijo uporabljamo za metrične kamere, ker nam ta omogoča najboljšo natančnost določitve notranje orientacije. Z gonimetrom in kolimatorjem ter drugimi optičnimi napravami se meri smer in kot slikanja skozi objektiv kamere. Laboratorijska kalibracija se uporablja predvsem za kalibracijo aerokamer (Luhman, 2006).

5.1.2 Kalibracija s pomočjo testnega polja

Kalibracijo izvedemo s pomočjo testnega polja, ki nam zagotavlja prostorsko ravnino. Testno polje (slika 32 levo) ima mrežo točk pravilnih oblik, ki so dobro vidne, razporejene po celotni površini. S kamero posnamemo testno polje pod različnimi koti in zasuki (slika 32 desno). Kalibracija se izvede na podlagi poznanih koordinat točk testnega polja (lahko so poznane samo razdalje med točkami) in njihovih izmerjenih slikovnih koordinat (Luhman, 2006).



Slika 32: Kalibracijsko testno polje (Luhman, 2006)

5.1.3 Kalibracija ob delu

Kalibracijo ob delu uporabljamo ob izvajanju projekta in jo periodično ponavljamo (slika 33). Objekt obdamo z testnim polje, da je detajl še dobro viden ter naredimo slike. Pri obdelavi, najprej določimo notranjo orientacijo, ki je upoštevana pri kasnejšem delu. Kalibracija ob delu je primerna za kamere z nestabilno goriščno razdaljo. (Kraus, 1993).



Slika 33: Kalibracija ob delu (Luhman, 2006)

5.1.4 Samokalibracija

V samokalibraciji so združene do sedaj poznane kalibracije (kalibracija s testnim poljem, kalibracija ob delu). Glavna razlika je v tem, da uporablja podobe pri dejanskih meritvah, kjer testno polje zamenjamo z dejanskim objektom. Posnamemo ga pod enakimi pogoji kot preizkusno polje. Bistvena prednost te kalibracije je, da se parametri notranje orientacije določijo hkrati z merjenjem predmeta in tako zagotavljajo optimalno rešitev za rekonstrukcijo objekta (Luhman, 2006).

Za uporabo mobilnega fotogrametričnega sistema za potrebe meritev in posledično pridobitve koordinat, je potrebna sistemska kalibracija. To je kalibracija celotnega sistema in zajema določitev vseh geometrijskih parametrov za popolno merjenje. Poleg notranje orientacije vsake posamezne kamere in relativne orientacije obeh kamer potrebujemo za uspešno uporabo še zunanjo orientacijo (absolutno orientacijo) obeh kamer. V nadaljevanju se bom posvečal le notranji orientaciji.

6 MOBILNI KARTIRNI SISTEM

Mobilni kartirni sistem (angl. Mobile Mapping System - MMS) je informacijska tehnologija, ki je bila razvita v poznih 80-ih letih prejšnjega stoletja (slika 34). K razvitju mobilnega kartirnega sistema so prispevali mobilna določitev položaja, sodobna komunikacijska tehnologija in geografski informacijski sistemi. Tehnologija MMS omogoča dostop do podatkov v realnem času ter kartiranje in vizualizacijo prostorskih podatkov. MMS ne pridobiva samo podatkov predmetov v gibanju, temveč tudi omogoča zajem, obdelavo, analizo in predstavitev z namiznimi GIS orodji. Uporabljen je na številnih področjih, kot so na primer na geodetskem, prevoznem, arhitekturnem, kmetijskem...



Slika 34: Mobilni kartirni sistem

6.1 Sestava MMS

MMS je v glavnem sestavljen iz treh delov: mobilna platforma, navigacijski senzorji, kartirni senzorji.

Mobilna platforma je namenjena opremi za zbiranje podatkov, vključno s kartirnimi in navigacijskimi senzorji. Platforma je lahko kopensko vozilo, plovilo in zrakoplov, tako da lahko objekte opazuje v bližnjelikovni fotogrametriji.

Kartirne senzorje predstavljajo videokamere, laserski skenerji in radarski senzorji, ki omogočajo kartiranje v skladu z namenom. Kartirni senzorji nam omogočajo več informacij z manj časa in truda ter visoko produktivnost.

Navigacijski senzorji omogočajo določitve položaja kjerkoli in kadarkoli. Priključeni morajo biti istočasno, da zabeležijo položaj in čas. Navigacijski senzorji so sestavljeni iz primarnega in sekundarnega sistema. Primarni sistem predstavljajo globalni navigacijski sistemi (GPS) in delujejo vedno, ko je pokritost s signalom dovolj velika. V nasprotnem primeru se izvrši sekundarni sistem, ki ga predstavlja INS (inercialni navigacijski sistem). INS je sestavljen iz pospeškomerov, naklonomerov, žiroskopa, odometer pa določa položaj vozila v času, ko ni GPS signala.

6.2 WideoCar 3

WideoCar 3 (slika 35) je že razvoj tretje generacije mobilno kartirnega sistema razvitega v podjetju DFG CONSULTING, d.o.o., ki izboljšuje pridobivanje geolociranih podatkov na podlagi video posnetkov visoke ločljivosti in uporabe najsodobnejših naprav za določevanje položaja (dvofrekvenčni sprejemnik in INS) (Ranfl, 2009).



Slika 35: Cestno mobilni kartirni sistem WideoCar 3

Senzorska platforma WideoCarja 3 je sestavljena iz naslednjih komponent (Ranfl, 2009):

- sistem za določanje položaja;

- stereo videosistem visoke ločljivosti;
- sistem za sinhronizacijo GPS meritev in videoposnetkov;
- ogrodje za namestitev videokamer, GPS antene in ostalih senzorjev na streho vozila;
- prenosni računalnik s krmilnim modulom;
- sistem za neprekinjeno napajanje (Ranfl, 2009).

7 PRAKTIČNA IZVEDBA

V skladu z naslovom diplomske naloge sem kalibracijo izvedel na videokamerah. Kalibriral sem videokameri, proizvajalca Canon, tipa XH G1, ki sta sestavni del cestno mobilnega kartirnega sistema WideoCar 3.

V poglavju 5 so opisane posamezne metode kalibracije. Med njimi sem izbral metodo s testnim poljem. Praktično izvedbo kalibracije sem razdelil na dva dela. Prva kalibracija je bila izvedena na testnem polju v pisarni in bom uporabljal izraz sobna kalibracija, druga pa je bila izvedena na testnem polju na fasadi in bom uporabljal izraz zunanja kalibracija.

7.1 Skupna tehnična in programska oprema

Tehnična oprema:

- Canon XH G1,
- testno polje.

Programska oprema:

- Bingo
- Dog
- AutoCad
- Corel Draw

7.1.1 Canon XH G1

Kalibriral sem dve kameri iz sistema WideoCar 3 (slika 36). Ker sem kalibriral dve enaki kameri, bom uporabljal izraza leva in desna kamera, saj sta tako pozicionirani v sistemu WideoCar 3. Canon videokameri sta namenjeni tako terenskemu in studijskemu snemanju in omogočata snemanje z visoko ločljivostjo (HDV 1080).



Slika 36: Kamera Canon XH G1

Podatki kamere CANON XH G1:

- velikost senzorja: 6,000 mm x 3,375 mm, 1920 x 1080 pikslov,
- objektiv z 20-kratno optično povečavo ter razponom goriščne razdalje od 32,5 mm do 650 mm

7.1.2 Programski paket Bingo

Bingo (angl. Bundle Adjustment for Engineering Applications«) je programski paket, ki omogoča izvajanje aerotriangulacij velikih fotogrametričnih blokov, uporaben je tudi v bližnje slikovni fotogrametriji ter za izravnavo 3-D geodetskih mrež.

V osnovi je programski paket sestavljen iz treh glavnih komponent:

- RELAX iz slikovnih meritev izračuna začetne približne orientacijske parametre za vse posnetke in približne koordinate točk,
- Bingo je program, ki izvede izravnavo,
- Skip v datoteki slikovnih meritev označi pogrešene slikovne meritve.

Program omogoča tudi izris 2-D ali 3-D grafičnih prikazov mrež oz. točk ter grafično ponazoritev odstopanj na posameznih točkah in izris elips pogreškov. Zgoraj navedeni programi ne delujejo vzajemno, ampak vsak predstavlja samostojno celoto. Uporabnik sestavi vhodne datoteke in nato požene posamezen program.

Seznam vhodnih datotek:

- datoteka »IMAGE COORDINATE«: vsebuje slikovne koordinate,
- datoteka »GEO INPUT«: vsebuje podatke o oslonilnih in kontrolnih točkah, podatke o kameri, geodetske meritve, fotogrametrična opazovanja in pogoje ter kontrolne podatke za Bingo.

```

-----*-----*-----*----- Rev 5.4 -----*-----*-----*-----*
C
C   Camera parameters:
C   -----
C   Camera constant and principal point
C   <K><_Camera_Name_><_C'_><_XH'><_YH'><_S_C'><_S_XH'><_S_YH'>
CAPA 3          2      127      0.0      0.0      0.1      0.2      0.2
C   Parametri distorzije
RADI 2 4 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
C   Additional parameters
C   (_Camera_Name_) [_Sensor_Type_] (_P_) (_P_) (_P_) (_P_) .....
*ADPA 1 3 4 7 8
ADPA 2 25 26

*-----*-----*-----*-----*
C
C   Podatki o kontrolnih točkah
C   -----
C   Point coordinates -----
C   Emp. standard deviations for control points (default values)
C   <_S_X_><_S_Y_><_S_Z_>
COES          0.0001      0.0001      0.0001
C
C   Control points (with standard deviations)
C   <_Point_No_><_X_><_Y_><_Z_><_S_X_><_S_Y_><_S_Z_>
CONT 100      0.0      0.0      0.0
CONT 111      0.0      0.4925      0.0
CONT 1200     0.493      0.0      0.0
CONT 1211     0.493      0.4925      0.0
C
C   Approx. data of exterior orientation for photos (terrestrial or aerial):
C   -----
C
C
C   <_Photo_Name_><_X_><_Y_><_Z_><_phi_><_omega_><_kappa_>
*ORIA          or ORIT
*-----*-----*-----*-----*

```

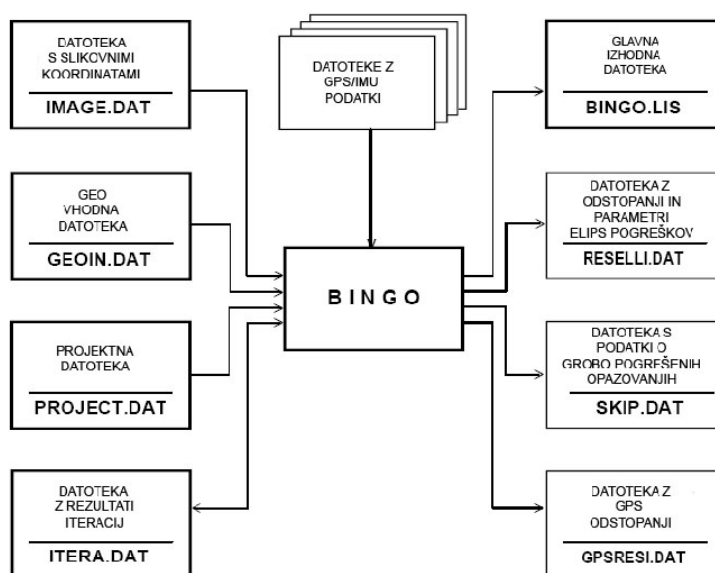
Slika 37: Vhodna datoteke geoin.dat

Izgled vhodne datoteke je prikazan na sliki 37. Z rdečimi elipsami so označeni glavni parametri v datoteki. Med prvimi je to goriščna razdalja in glavna točka. Parametre zapisujemo desno od oznake CAPA. Prva številka nam pove, kateri parametri so konstantni in kateri gredo v izravnavo. V našem primeru izberemo tri, kar pomeni, da

imajo pogreške in ne zadostijo kriterijem izravnave (se ne nahajajo na več kot 2 posnetkih) se nahajajo v vrstici SKIP.

Programski paket Bingo rezultate izravnave zapiše v več datotek. Glavna izhodna datoteka je bingo.lis, v kateri je povzeta celotna izravnava (vhodni podatki, izravnane količine, odstopanja, natančnosti...).

Za iskanje grobih pogreškov Bingo uporablja metodo »data snooping«.



Slika 39: Pretok podatkov pri programu Bingo

Na sliki 39 je ponazorjen pretok podatkov pri delu s programom Bingo. Na levi strani so prikazane potrebne vhodne datoteke, na desni pa so navedene izhodne datoteke, ki jih naredi program Bingo (Resnik, 2006).

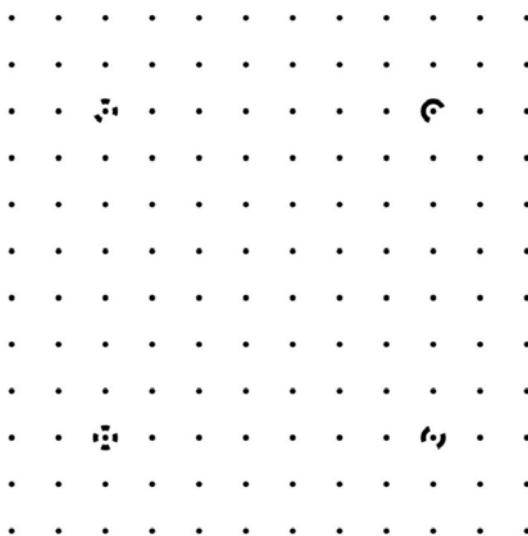
7.1.3 Program DOG

Program DOG je namenjen predvsem fotomeritvam oslonilnih točk na posnetku. Zelo primeren je pri aerotriangulaciji. Meritve oslonilnih točk se izvajajo polavtomatsko. Izhodna datoteka so pikselske koordinate oslonilnih točk.

Oslonilne točke so dobro opredeljene točke na objektu, ki jih zajamemo skupaj z objektom snemanja in imajo določene koordinate v objektovem koordinatnem sistemu. Poznamo naravne in umetno signalizirane oslonilne točke. Potrebuje si jih za notranjo in zunanjo orientacijo posnetka.

7.2 Sobna kalibracija kamere

Za izvedbo sobne kalibracije s testnim poljem sem potreboval kvadratno mrežo pik. Mrežo pik sem prevzel iz programskega paketa Photomodeler (slika 40). Pike morajo biti enakomerne razporejena po celotni površini ter na enaki oddaljenosti. Pri izbiri testnega polja je pomembna vidnost pik na sliki ter število točk v mreži. Večje število točk podaja boljše rezultate.



Slika 40: Testno polje Photomodeler

Velikost testnega polja je 50 cm x 50 cm, razmak med posameznimi pikami je po dolžini 4,5 cm in po višini 4,5 cm.

Dodatni pripomočki za izvedbo sobne kalibracije:

- prenosni HDV DISK (slika 41) in povezovalni kabel med videokamero in prenosnim diskom za zapis videa.



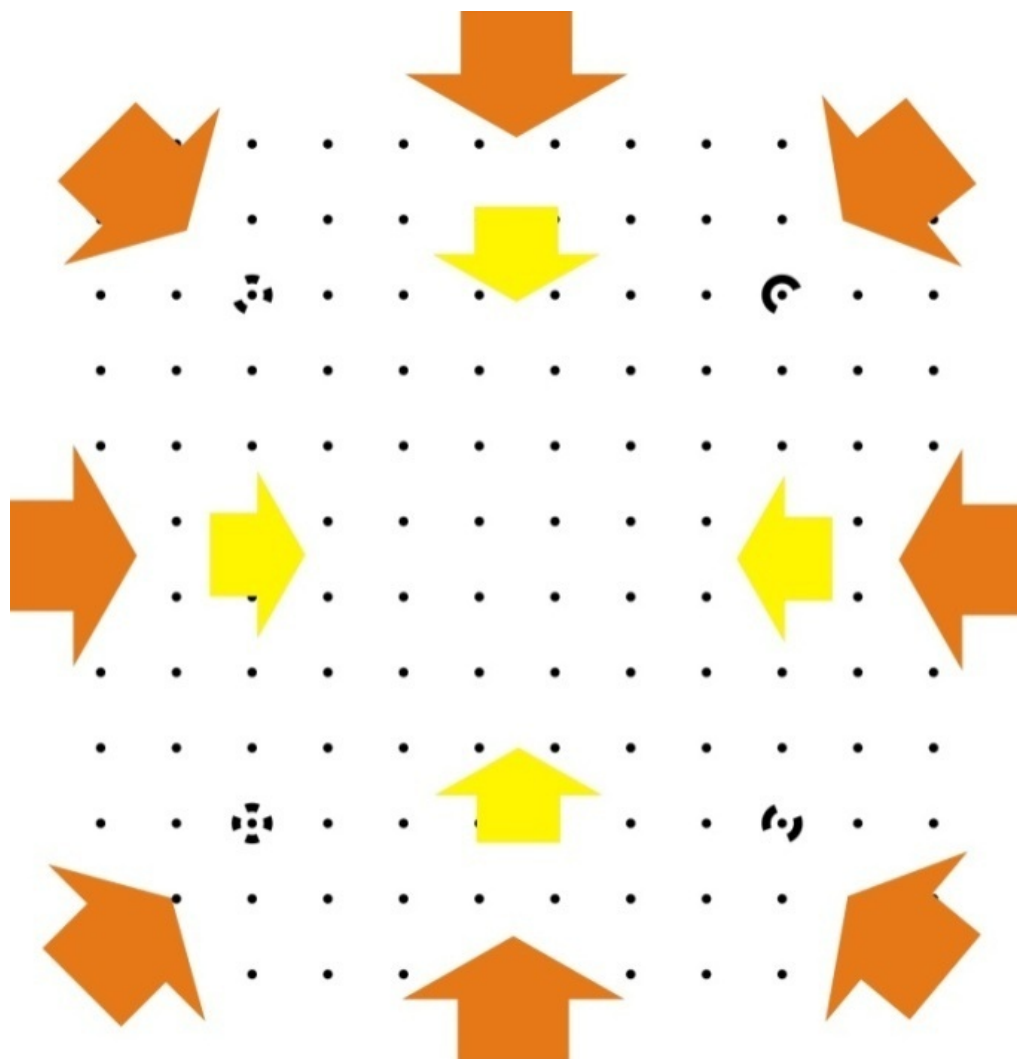
Slika 41: CitiDISK HDV in povezovalni kabel s kamero

Izvedba snemanja testnega polja:

Najprej sem pritrdil testno polje na ravno površino, ki je predstavljala ravnino testnega polja. Tla sem izbral zaradi lažjega dostopa do testnega polja. Nastavitve na obeh kamerah sem nastavil enako na:

- največji vidni kot kamere,
- ročno nastavitev gorišča (neskončnost),
- resolucijo (HD 16:9),
- priklop diska.

Z videokamero sem posnel testno polje pod različnimi koti okrog celotnega polja. Snemanje izvajamo tako, da testno polje pokriva del slike (npr. spodnji del). Kamero zasukamo za 90° v levo in desno ter posnamemo testno polje. Pri snemanju moramo dobiti slike testnega polja pod različnimi koti ter zasuki. S tem pa dobimo kakovostnejšo notranjo orientacijo. Na sliki 42 so označeni različni položaji snemanja testnega polja. Oranžne puščice označujejo snemalni kot do slikovne ravnine, oranžne okrog 60°, rumene pa okrog 80°.



Slika 42: Položaji snemanja testnega polja

Priprava slik

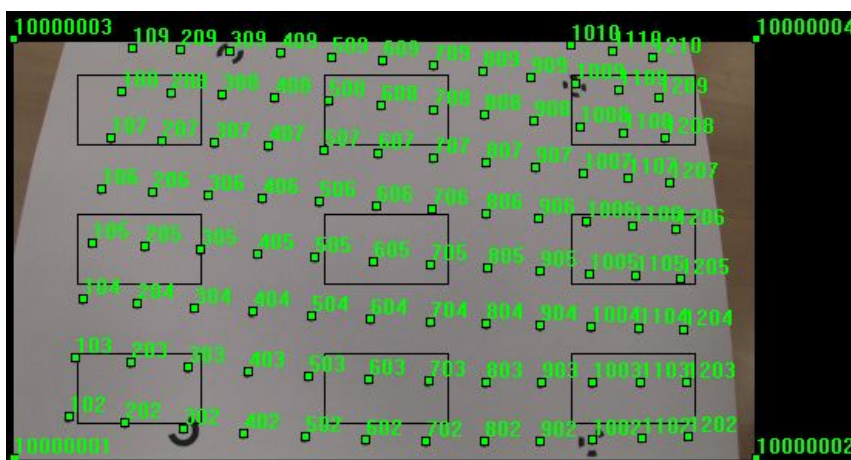
Program za določitev slikovnih koordinat ne prebere videa, zato ga razrežemo na slike formata tif. Iz videa izberem 12 najboljših slik za levo in desno kamero. Slika 43 prikazuje izrezane slike videa kamere 1 in 2. Oznaka slike ima štiri mesta, od katere prva pomeni številka kamere, zadnji dve pa številko slike.



Slika 43: Izrezane slike testnega polja videokamere 1

Določitev slikovnih koordinat

S programom DOG vsem oslonilnim točkam in robnim markam določimo pikselske koordinate. Pri določitvi koordinat in nadaljnji obdelavi je pomembna pravilna označba oslonilnih točk mreže. Točke so označene z arabskimi številkami, kjer prva številka pove vrsto, drugi dve pa stolpec (slika 44). Ker v programu DOG dobimo pikselske koordinate, jih s programom Bingo in afino transformacijo spremenimo v slikovne koordinate. Slikovne koordinate potrebujemo pri kalibraciji parametrov.



Slika 44: Označitev oslonilnih točk testne mreže v programu DOG

Priprava vhodnih datotek za program Bingo

Po določitvi slikovnih koordinat pripravimo vhodne datoteke, kot so opisane v poglavju 7.1.2. S programom Bingo izvedemo izravnavo. Pokažejo se nekateri vmesni rezultati, ki pripomorejo h kvaliteti izravnave (preglednica 3).

Preglednica 3: Podatki o meritvah v izravnavi

<i>Kamera 1</i>	
Slike v izravnavi	2001, 2002, 2003, 2004, 2005, 2006, 2007, 2008, 2009, 2010, 2011, 2012
Izpuščene točke	500, 101, 811, 1202, 1100, 1111, 200, 109, 602, 300, 211, 1208, 311, 1011, 600, 201, 210, 1209, 1000, 1107, 202, 310, 1101
<i>Kamera 2</i>	
Slike v izravnavi	2001, 2002, 2004, 2005, 2007, 2008
Izpuščene točke	109, 1202, 310, 110, 211, 1201, 102, 1203, 210, 200, 1011, 1101, 410, 1102, 311, 309, 108, 209, 1110, 1210, 1000

Vse te tri datoteke so temelj za izravnavo v programu Bingo. Dodal sem še datoteko s slikovnimi koordinatami (image.dat).

7.3 Zunanja kalibracija

Ker sama sobna kalibracija ne zadosti kriterijam cestno mobilnega kartirnega sistema, sem izvedel še zunanjo kalibracijo s testnim poljem. Izvedena je bila notranja orientacija na testnem polju, ki so ga definirale plošče fasade Mobitelove poslovne stavbe (slika 45).



Slika 45: Testno polje

Za določitev koordinat točk testnega polja sem potreboval dodatno opremo:

- elektronski tahimeter s prizmo in stativom,
- ogrodje in vozilo WideoCar 3
- GPS sprejemnik in podložko za stativo

Meritve z elektronskim tahimetrom

Po predhodnem ogledu terena sem določil 3 stojišča na katerih bom opazoval kote (urez s koti). Z GPS sprejemnika pa sem določil koordinate teh treh stojišč (preglednica 4).

Preglednica 4: Koordinate stojišč

Točka	X	Y	H	S_x	S_y	S_h
1000	4628307,936	51022338,443	346,841	0,001	0,005	0,005
2000	4628308,092	51022061,410	346,954	0,001	0,005	0,005
3000	4628144,012	51022166,042	346,938	0,001	0,001	0,005

Detajlne točke so predstavljala stičišča posameznih plošč, s tem da sem v srednjem delu fasade določil še dodatne točke, ki so jih definirali pritrdilci fasadnih plošč (slika 47). Vsako mersko točko sem opazoval iz treh stojišč v treh girusih na vsakem stojišču. Tako sem za vsako točko dobil 8 nadštevilnih opazovanj. Zaradi dostopa do točk in sposobnosti tahimetra sem opazoval samo kote (slika 46).



Slika 46: Snemanje fasadne mreže

Srednji položajni pogrešek izravnanih vrednosti koordinat, izmerjenih z elektronskim tahimetrom, je znašal 0,006 m. Izračuni so narejeni GPS koordinatnem sistemu (UTM projekcija in WGS84 elipsoid).



Slika 47: Skica točk fasade testnega polja

Meritve v mobilnem kartirnem sistemu WideoCar3

Po določitvi koordinat testnega polja, sem le to posnel s cestno mobilnim kartirnim sistemom s pritrjenima videokamerama. Opravi sem snemanje s petih stojišč, katerih smeri so označene s puščicami na sliki 48. Nastavitve videokamere so bile enake kot pri sobni kalibraciji:

- največji zorni kot,
- ročna nastavitvev gorišča (neskončnost),
- resolucija (HD 16:9),
- priklop diska.



Slika 48: Položaji snemanja

Postopek same priprave podatkov je enak kot pri sobni kalibraciji. Različnih slik je bilo toliko kot je bilo stojišč, torej 5 slik za posamezno kamero (slika 49).



Slika 49: Posamezne slike leve in desne kamere

8 REZULTATI IN ANALIZA

8.1 Enota izhodnih in vhodnih datotek

Vse slikovne koordinate in ostale koordinate so podane v mm. Programski paketi za kalibracijo pa običajno računajo v pikslih, zato je treba izračunane vrednosti na koncu pretvoriti. Na primer, v programu Bingo je enota 10 pikslov, kar preračunano v dolžinske enote pomeni, da je 1 piksel velik 0,003125 mm. Predvsem so pikselske enote uporabljene v vhodnih in izhodnih datotekah.

8.2 Rezultati notranje orientacije sobne kalibracije:

Preglednica 5: Parametri sobne kalibracije kamere 1 in kamere 2

	<i>Kamera 1 [mm]</i>		<i>Kamera 2 [mm]</i>	
Goriščna razdalja	3,969		3,967	
S+-	0,002		0,003	
<i>Položaj glavne točke</i>	<i>X₁ [mm]</i>	<i>Y₁ [mm]</i>	<i>X₂ [mm]</i>	<i>Y₂ [mm]</i>
	-0,000	0,005	-0,006	0,004
S+-	0,001	0,001	0,001	0,001

S+- = standardna deviacija

Rezultati parametrov notranje orientacije sobne kalibracije (priloga A1 in A2) kamere 1 in kamere 2 so podani v dveh preglednicah (5 in 7). Kameri z enakimi nastavitvami nam podajata primerljive rezultate (preglednica 6). Razlike so zanemarljive, saj znaša razlika med goriščnima razdaljama 0,002 mm. Večja razlika je opazna pri standardnih deviacijah, kjer ima kamera 1 manjšo standardno deviacijo od kamere 2.

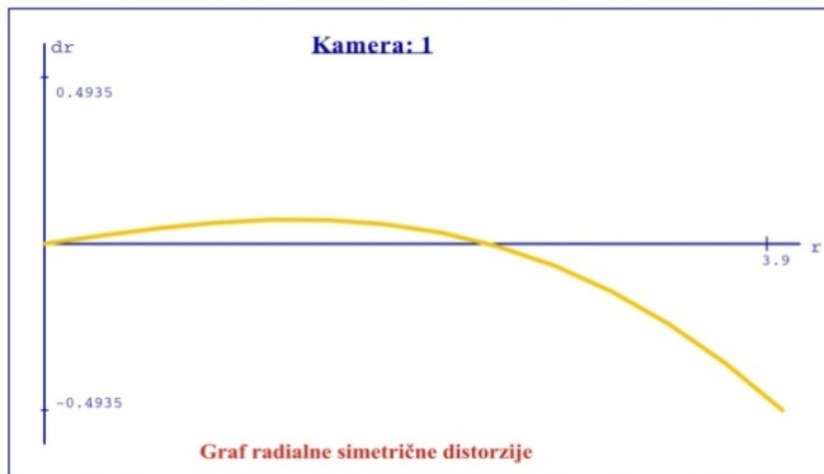
Preglednica 6: Razlika goriščnih razdalj med kamero 1 in kamero 2 sobne kalibracije

<i>Kamera 1 [mm]</i>	<i>Kamera 2 [mm]</i>	<i>Razlika [mm]</i>
3,969	3,967	0,002

Predvsem je razlika nastala zaradi večjega števila uporabljenih posnetkov pri izračunu parametrov (kamera 1 ima 12 posnetkov, kamera 2 ima 6 posnetkov). Bistvenih razlik pa pri samem izračunu parametrov ni.

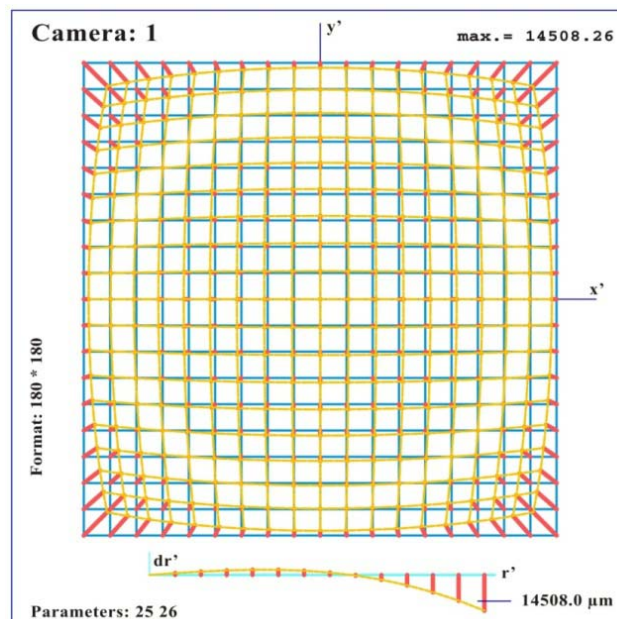
Preglednica 7: Parametri radialne distorzije objektiva kamere 1 in kamere 2

<i>Radialna distorzija</i>	<i>Kamera 1</i>	<i>Kamera 2</i>
<i>r [mm]</i>	<i>delta r₁ [mm]</i>	<i>delta r₂ [mm]</i>
0,00	0,000	0,000
0,10	0,008	0,008
0,20	0,016	0,016
0,30	0,023	0,024
0,40	0,031	0,031
0,50	0,038	0,038
0,60	0,044	0,045
0,70	0,050	0,051
0,80	0,056	0,056
0,90	0,060	0,061
1,00	0,065	0,065
1,10	0,067	0,068



Slika 50: Graf radialne distorzije objektiva sobne kalibracije kamere 1

Slika 50 prikazuje obliko grafa radialne distorzije objektiva kamere 1. Slika prikazuje vrednost popravka zaradi distorzije objektiva. Os r predstavlja oddaljenost od središča leče, dr pa predstavlja vrednost popravka. Enota na sliki so mm. Slika 51 prikazuje modelirano radialno distorzijo objektiva kamere 1. Rdeče črte predstavljajo popravek distorzije objektiva. Vidi se vrednost popravka funkcije enako 0. To je v središču in na oddaljenosti, kjer je opazen obris kroga.



Slika 51: Modelirani radialni distorziji objektiva sobne kalibracije kamere 1

8.3 Rezultati notranje orientacije zunanje kalibracije:

Preglednica 8: Parametri kalibracije kamere 1 in kamere 2

	<i>Kamera 1 [mm]</i>		<i>Kamera 2 [mm]</i>	
Goriščna razdalja	3,920		3,904	
S+-	0,003		0,003	
<i>Položaj glavne točke</i>	<i>X₁ [mm]</i>	<i>Y₁ [mm]</i>	<i>X₂ [mm]</i>	<i>Y₂ [mm]</i>
	-0,012	-0,005	-0,002	-0,034
S+-	0,002	0,003	0,002	0,003

Preglednica 9: Parametri radialne distorzije objektiva kamere 1 in kamere 2

<i>Radialna distorzija</i>	<i>Kamera 1</i>	<i>Kamera 2</i>
<i>r [mm]</i>	<i>delta r [mm]</i>	<i>delta r [mm]</i>
0,00	0,000	0,000
0,10	0,013	0,013
0,20	0,026	0,026
0,30	0,039	0,039
0,40	0,051	0,051
0,50	0,063	0,063
0,60	0,075	0,075
0,70	0,085	0,085
0,80	0,095	0,095
0,90	0,105	0,105
1,00	0,114	0,114
1,10	0,121	0,121

S+- = standardna deviacija

V preglednicah 8 in 9 so rezultati zunanje kalibracije obeh kamer (priloga B1 in B2). Rezultati parametrov notranje orientacije zaradi enakih nastavitev lahko primerjamo. V preglednici 10 je izračunana razlika med kamero 1 in kamero 2 ter znaša 0,016 mm.

Preglednica 10: Razlika goriščnih razdalj med kamero 1 in kamero 2 zunanje kalibracije

<i>Kamera 1 [mm]</i>	<i>Kamera 2 [mm]</i>	<i>Razlika [mm]</i>
3,920	3,904	0,016

8.4 Opis rezultatov in primerjava

Za potrebe cestno mobilnega kartirnega sistema sem izvajal kalibracijo kamer. Najprej sem izvedel sobno kalibracijo. Ker so pogoji v cestno mobilnem kartirnem sistemu drugačni, predvsem oddaljenost od kamer ter vremenski vplivi, sem izvedel še zunanjo orientacijo. V sobni kalibraciji je bila oddaljenost od testnega polja okrog 0,5 m, pri zunanji kalibraciji pa okrog 10 m. Obe kalibraciji sem izvedel v programskem okolju Bingo. Kalibraciji videokamere Canon XH G1 sem izvedel z metodo testnega polja.

Pri sobni kalibraciji sem izvajal meritve v 'navidezni' ravnini (ravninski objekt). Najprej je bilo potrebno izračunati izravnalno ravnino, ki se najbolje prilega danim oslonilnim točkam. Za izdelavo ravnine sem uporabil vse 4 točke (minimalno število so 3 točke v referenčnem ali lokalnem koordinatnem sistemu). Pri zunanji kalibraciji so mi meritve s tahimetrom in določitev koordinat predstavljale model testnega polja. Program Bingo skozi prostorske koordinate oslonilnih točk izračuna enačbo ravnine, na katero se projicirajo prostorske oslonilne točke.

Preglednica 11: Primerjava rezultatov goriščnih razdalj sobne in zunanje kalibracije

	<i>SOBNA KALIBRACIJA</i>		<i>ZUNANJA KALIBRACIJA</i>	
	<i>KAMERA 1 [mm]</i>	<i>KAMERA 2 [mm]</i>	<i>KAMERA 1 [mm]</i>	<i>KAMERA 2 [mm]</i>
Goriščna razdalja	3,969	3,967	3,921	3,904
S+-	0,002	0,003	0,003	0,003

Preglednica 12: Primerjava rezultatov glavnih točk sobne in zunanje kalibracije

	SOBNA KALIBRACIJA				ZUNANJA KALIBRACIJA			
	KAMERA 1		KAMERA 2		KAMERA 1		KAMERA 2	
Glavna točka H'	$X_1 [mm]$	$Y_1 [mm]$	$X_2 [mm]$	$Y_2 [mm]$	$X_1 [mm]$	$Y_1 [mm]$	$X_2 [mm]$	$Y_2 [mm]$
položaj	-0,000	0,005	-0,006	0,004	-0,012	-0,005	-0,002	-0,034
S+-	0,001	0,001	0,001	0,001	0,002	0,003	0,002	0,003

V preglednici (11 in 12) so podani rezultati sobne in zunanje kalibracije. Rezultati goriščne razdalje so v obeh kalibracijah podobni našim pričakovanjem, to je okrog 4 mm. Obe kalibraciji kamer se tej vrednosti približata in znašata za sobno kalibracijo njuni vrednosti kamera 1 = 3,969 mm oz. kamera 2 = 3,967 mm ter zunanjo kalibracijo kamera 1 = 3,921 oz. kamera 2 = 3,904.

Preglednica 13: Razlika med goriščnimi razdaljami sobne in zunanje kalibracije

	SOBNA KALIBRACIJA	ZUNANJA KALIBRACIJA	Razlika
<i>Kamera 1 [mm]</i>	3,969	3,921	0,048
<i>Kamera 2 [mm]</i>	3,967	3,904	0,063

Izvedel sem dve kalibraciji videokamer (sobna in zunanja) cestno mobilnega kartirnega sistema. Z razliko rezultatov sobne in zunanje kalibracije (preglednica 13) med goriščnima razdaljama vidimo, da rezultati niso popolnoma enaki. Razlika pri kameri 1 = 0,048 mm ter kameri 2 = 0,063 mm.

Na razliko v rezultatih (preglednica 13) goriščnih razdalj je verjetno pretežno vplivala velikost in postavitev testnega polja. Sobna kalibracija ima mrežo boljše razporejeno po celotni površini, točke so tudi boljše vidne kot pri zunanji kalibraciji.

Ko potegnem črto pod obema kalibracijama, ki sem jih izvedel, rezultati niso slabi, saj znaša njuna razlika pri goriščni razdalji manj kot 0,1 mm, težko pa rečemo, kateri rezultati so v resnici boljši. Standardni odklon od srednjih vrednosti je pri sobni kalibraciji manjši kot pri zunanji, vendar pa na to lahko vpliva tudi število uporabljenih kalibracijskih točk (pri sobni

kalibraciji je to število večje kot pri zunanji). Razlike v rezultatih so tudi v izračunani vrednosti radialni distorzije. Vrednosti pri posamezni vrsti kalibracije so približno enake za obe kameri, se pa razlikujejo vrednosti med sobno in zunanjo kalibracijo.

Kateri rezultati kalibracije so boljši bi se lahko prepričali s preizkusom uporabe teh parametrov na konkretnem projektu. Predvsem tu mislim zajem objekta z mobilnim kartirnim sistemom in uporabo parametrov notranje orientacije notranje kalibracije ter tudi zunanje orientacije. Pridobljene podatke bi primerjal s koordinatami objekta v referenčnem koordinatnem sistemu. Na podlagi takega primera bi lahko objektivno ovrednotil kalibracijo.

Na rezultat kalibracije kamer je veliko vplivov (velikost in snemanje testnega polja, zajem pikseljskih koordinat, transformacija...) in vsak prinese del odstopanj pri končnih rezultatih. Rezultate lahko ovrednotimo samo z uporabo v praksi.

Rezultati sobne in zunanje kalibracije, ki sem jih določil v okviru diplomske naloge, še niso preverjeni za praktično uporabo v fotogrametrične namene, vendar smo pridobili pomembno teoretično znanje in izkušnje, ki bodo v pomoč pri nadaljnjem delu.

9 ZAKLJUČEK

Fotogrametrične metode predstavljajo merske postopke, s katerimi, poleg semantičnih podatkov, določimo geometrične mere ravninskih in prostorskih objektov. Predvsem se fotogrametrična metoda uporablja v primerih, kjer potrebujemo množico točk in je prostorska razsežnost velika (primer arhitektura, aerosnemanje...). Sem spada tudi mobilni fotogrametrični sistem, ki uporablja digitalne videokamere in ne fotografske. Z razvojem digitalnih kamer, predvsem večjo ločljivostjo in občutljivostjo senzorjev, lahko pridemo do dobrih rezultatov pri določitvi objektov v prostoru.

Visoko ločljiva (HD) videokamera bo v prihodnosti mobilnega fotogrametričnega sistema njegov običajni sestavni del, saj se cene teh kamer znižujejo in postajajo bližje tudi amaterskim uporabnikom. Ko bodo videokamere dosegle še večjo ločljivost, podobno kot jo imajo digitalni zrcalno refleksni fotoaparati, se bo natančnost meritev še bolj izboljšala. Vendar nam sodobna tehnologija ne pomaga kaj prida, če je ne znamo pravilno uporabljati. Tu predvsem mislim na kalibracijo, ki je opisana v moji nalogi. Videokamere, ki jih kupimo v navadni trgovini nimajo znane notranje orientacije, kljub temu pa jo lahko določimo sami na podlagi ravninskega testnega polja.

Poznavanje kalibracijskih parametrov notranje orientacije je nujno za zagotavljanje ustrezne natančnosti. V primerih, ko nismo prepričani glede časovne stabilnosti notranje orientacije, bi bilo priporočljivo kalibracijo opravljati v določenem časovnem zaporedju (pred projekti, mesečno, polletno, letno), glede na to, koliko se spreminjajo sami parametri, ki jih ugotovimo s ponovno kalibracijo.

Namen moje diplomske naloge je bil predvsem preizkus kalibracije digitalnih videokamer mobilnega fotogrametričnega sistema. Pri rezultatih, ki sem jih dobil, sem ugotovil, da ima sobna kalibracija boljše rezultate kot zunanja kalibracija. Lahko bi trdil, da predvsem zaradi večjega števila točk v mreži in boljšega položaja snemanja testnega polja, vendar ne bom. Notranjo orientacijo je toliko vplivov, ki so povezani eden od drugega, da bi parametre lahko ovrednotil samo s preizkusom parametrov.

Poleg podatkov kalibracije videokamere pri mobilnem kartirnem sistemu je za končno določitev prostorskih koordinat merjenih objektov potrebna še izvedba absolutne orientacije. Absolutna orientacija in preizkus sistema bi bil naslednji korak, ki je nujen za kakovostne podatke z mobilnim kartirnim sistemom.

Moje mnenje glede mobilnega kartirnega sistema in uporaba videokamer za meritvene namene (predvsem cest) je, da je ta tehnologija zelo uporabna. Pridobimo sliko trenutnega stanja fizičnega okolja, iz katere lahko z merjenjem tudi pridobimo prostorske koordinate. Velik potencial takšnega mobilnega sistema vidim tudi v masovnem zajemu in hitri obdelavi v nujnih primerih, kot so poplave, plazovi, poškodbe, zajem cestnih objektov, ipd.

VIRI

Uporabljeni viri

Atkinson, K. B., 1996. Close range photogrammetry and machine vision. London University College, 371 str.

Bric, V., Grigillo, D., Kosmatin-Fras, M. 2008. Fotogrametrija. Geodezija – strokovni izpit iz geodetske stroke. Projekt: Programska zasnova in priprava gradiv za izvedbo strokovnega dela izpita iz geodetske stroke. Ljubljana, Inženirska zbornica Slovenije, Matična sekcija geodetov: 21 str.http://www.izs.si/fileadmin/dokumenti/strokovni_izpiti/msgeo/Fotogrametrija.pdf
(1.4.2009)

Canon, 2008. Canon XH G1. Spletna stran, datum dostopa:
http://www.canon.si/For_Home/Product_Finder/Camcorders/High_Definition_HD/XH_G1/index.asp (1.4.2009)

Chaney, M., 2002. Making (some) sense out of sensor sizes.
<http://www.dpreview.com/news/0210/> (1.4.2009)

Dražumerič, M. 2008. Senzorji zaznavanja barv. Seminarska naloga. Univerza v Ljubljani Fakulteta za elektrotehniko. http://lrt2.fe.uni-lj.si/lrtme/meri_pret/Drazumeric%20Marko_SENZORJI%20ZAZNAVANJA%20BARV.pdf
(1.4.2009)

Foveon, 2008. Direct image sensors. <http://www.foveon.net/article.php?a=67> (1.4.2009)

Gorjup, V., 2001. Temelji fotogrametrije in postopki iz vrednotenja. Ljubljana: UL, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo.

Kraus, K., 1993. Photogrammetry, Volume 1, Fundamentals and Standard Proceses. Bonn: Ferd. Dümmlers Verlag.

Luhmann, T., Robson, S., Kyle, S., Harley, I. 2006. Close Range Photogrammetry: Principles, Techniques and Applications, Dunbeath: Whittles Publishing, cop. 2006. XIII, 510 str.,

Pucelj, B. 2004. Kalibracija digitalnega fotoaparata visoke ločljivosti in analiza uporabnosti za fotogrametrične namene. Diplomski naloga. Ljubljana: UL, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo.

Mchugh, S. 2008. Digital camera sensors.

<http://www.cambridgeincolour.com/tutorials/camera-sensors.htm> (1.4.2009)

Novak, L. 2008. Digitalna fotografija – kako do optimalne slike, Diplomski naloga Ljubljana: UL, Fakulteta za matematiko in fiziko, smer: fizika in tehnika

Rački, T. 2002. Z videokamero v roki, priročnik za ljubiteljske snemalce. Priročnik.

Ranfl, U., 2009. Uporaba kalmanovega filtra pri povezavi različnih senzorjev za določanje položaja v cestno mobilnem kartirnem. Magistrski naloga. Ljubljana: UL, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo.

Resnik, M., 2006. Analiza uporabnosti CPAS metode aerotriangulacije v projektu cikličnega aerosnemanja v Sloveniji. Diplomski naloga. Univerza v Ljubljani Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo. 95 str.

Šajn, I. 1998. Opis in delovanje objektiv. <http://www2.arnes.si/~ljuad7/objektiv.html>
(1.4.2009)

Zemljič, B. 2005. Digitalni fotoaparat. Maribor. Univerza v Mariboru Fakulteta za elektrotehniko računalništvo in informatiko. Diplomski naloga.. 87 str.

Žagar, A. 2007. Načrtovanje optičnih elementov. Seminar pri izbranih poglavjih iz uporabne fizike. 26 str. <http://www-f1.ijs.si/~ziherl/nacrtovanjeopticnih-elementov.pdf> (1.4.2009)

Ostali viri:

Grigillo, D., 2003. Uporaba digitalnih fotoaparátov v enoslikovni arhitekturni fotogrametriji. Magistrska naloga. Ljubljana: UL, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo. 115 str.

Koren, N., 2000. Making fine prints in your digital darkroom Digital cameras. http://www.normankoren.com/digital_cameras.html#Key_specs (1.4.2009)

Reichmann, M., 2003. Understanding MTF. <http://www.luminus-landscape.com/tutorials/understanding-series/understanding-mtf.shtml> (1.4.2009)

Sluga, C. 1989. učbenik, Geodezija 1, 2 ponatis. Ljubljana. Zavod SR Slovenije za šolstvo, 188 str.

Repašek, A. 2009. Kalibracija videokamere za uporabo v mobilnem fotogrametričnem sistemu

Dipl. nal. – VSŠ. Ljubljana, UL, FGG, Odd.za geodezijo, Inženirska smer

Priloga A1: Rezultati Bingo kamera 1 sobne kalibracije

BINGO 5.5 Feb. 2008

FREE NETWORK BUNDLE ADJUSTMENT FOR ENGINEERING APPLICATIONS

=====
10:54:50 Monday, 30 March 2009

Names of connected files :

Project file : project.dat
Image coordinates : image.dat
Geo input file : geoin.dat
Itera file : itera.dat
Control residuals : reselli.dat
Image residuals : imresi.dat
Skip file : skip.dat
Bingo list file : bingo.lis

DATA FROM IMAGE COORDINATE FILE

Selected parameters :

Minimum no. of rays for points : 2
Mean key (to built average) : 10
Listing key for photo data : 0
Key for scaling image coord.s : 1
Smallest valid point number : 1
Highest valid point number : 10000000

All images will be processed

Normal number of data sets per photo is 1 (from 12 photos)

25 point(s) skipped from processing by user.

25 control point(s) ignored. They are not measured at all.

Number of points measured in 1 photo: 2
Number of points measured in 2 photos: 2
Number of points measured in 3 photos: 1
Number of points measured in 4 photos: 2
Number of points measured in 5 photos: 8
Number of points measured in 6 photos: 12
Number of points measured in 8 photos: 3
Number of points measured in 9 photos: 12
Number of points measured in 10 photos: 14
Number of points measured in 11 photos: 1
Number of points measured in 12 photos: 62

Summary of photo data:

No. of used points : 119
No. of used photos : 12
No. of used cameras : 1
Max. photo rays per point : 12
Max. photo measurements per point: 13
Used points per photo - minimum : 98
Used points per photo - median : 108
Used points per photo - maximum : 132
Max. photo index difference : 11

DATA FROM PROJECT FILE AND GEO INPUT FILE

53 Lines read from PROJECT FILE

40 Lines read from GEO INPUT FILE

DATA FROM ITERA FILE

```
=====
No. of photo orientation data :      12
No. of approximate coordinates :    119
No. of camera input statements :      1
```

BINGO 5.5 Feb. 2008

10:54:50 Monday, 30 March 2009

CHECK PRINT OF INPUT DATA

Selected parameters :

```
-----
A priori standard deviation for photo coordinates
in x' : 30.0 (1/1000)   in y' : 30.0 (1/1000)
```

Criteria to terminate iterations

```
Max. no. of iterations           : 16
Max. value in solution vector x   : 0.10E-01
```

Program operations

```
Calculation of profile inverse    : yes
Calculation of full inverse       : no
Calculation of redundancies      : yes
Reading from ITERA FILE          : yes
Write results on ITERA FILE      : yes
Write original point coords. on ITERA FILE: no
Correct photo coords. for earth curvature: no
Correct photo coordinates for refraction : no
Error detection for wrong point numbers : yes
Transf. of photo residuals to object space: yes
Create photo residual file       : yes
```

```
No. of adjustment points :      119
No. of photos             :       12
```

BINGO 5.5 Feb. 2008

10:54:50 Monday, 30 March 2009

START OF ITERATIVE ADJUSTMENT

Iteration no. 1

```
=====
No. of unknowns           :      435
No. of observation equations :    2327
Profile of normal equation matrix N : 30795 = 32.47%
Memory space available for N :    61600
Average bandwidth of N    :       77
Effort for factorisation (Mio mult.) :    1.14
A priori stand. dev. of unit weight :   30.00 (1/1000)
Sigma 0 before adjustment  :  1431.58 (1/1000)
```

```

Stand. dev. of unit weight sigma 0 :      27.16 (1/1000)

Max. value in solution vector      :      0.1017E-01

Average value in solution vector    :      0.4186E-03

Add. parameter 17 for camera 1 eliminated. No significancy.
Parameter value= -3.4, standard deviation= 4.29 (1/1000)

Iteration no.  2

Stand. dev. of unit weight sigma 0 :      27.16 (1/1000)

Max. value in solution vector      :      0.9821E-02

Average value in solution vector    :      0.1984E-03

Camera 1
-----

Correlation between add. parameters in %

25  100

26  -13 100

C'  -69 -18 100

XH'  17  2 -17 100

YH'  -26  0 43 -5 100

      25 26  C' XH' YH'

Sigma 0 used for estimation of standard deviations:      27.16 (1/1000)

Par.no  Parameter value  Standard dev.  Value/Stand.dev  Total correlation
      (1/1000)          (1/1000)
25      16305.7          28.3          576.5          0.56
26      -1798.3         54.0          -33.3          0.18
C'       -7.6           60.1           -0.1           0.62
XH'      -4.9           14.5           -0.3           0.04
YH'      156.9          17.3           9.1            0.20

BINGO 5.5 Feb. 2008                               10:54:51 Monday, 30 March 2009
=====
RESULTS OF ADJUSTMENT          SIGMA 0 =      27.16 (1/1000)
=====

Exterior orientation data

Type      Photo      X      Y      Z      Phi      Omega      Kappa
+- S
-----
A          1001      0.098  0.257  0.425 -19.8231  2.4396 -94.0536
+-          0.         0.         0.         41.3    44.0    18.7

A          1002      0.252  0.070  0.391  1.3820  25.9281  1.9193
+-          0.         0.         0.         40.3    46.5    15.2

A          1003      0.408  0.243  0.374  24.1909  0.4689 100.8701
+-          0.         0.         0.         41.4    42.8    21.0

A          1004      0.239  0.407  0.379  0.0267 -23.6960 -198.4500
+-          0.         0.         0.         41.2    47.4    14.8
    
```

A	1005	0.118	0.303	0.453	-22.7723	-6.7418	-197.1078
+-		0.	0.	0.	41.5	45.2	20.8
A	1006	0.196	0.112	0.460	-5.6053	23.4193	-98.2196
+-		0.	0.	0.	42.9	46.3	15.4
A	1007	0.358	0.192	0.489	22.0338	5.7199	2.7661
+-		0.	0.	0.	41.7	45.5	20.6
A	1008	0.299	0.368	0.489	5.5490	-23.5159	101.7766
+-		0.	0.	0.	43.1	47.0	15.3
A	1009	0.241	0.394	0.603	0.6412	-28.8685	-100.9638
+-		0.	1.	0.	42.3	47.5	15.3
A	1010	0.221	0.227	0.561	-19.8119	1.6087	-1.1290
+-		0.	1.	0.	44.6	46.5	19.5
A	1011	0.268	0.175	0.552	2.6218	19.0450	99.6719
+-		0.	0.	0.	39.8	45.5	14.1
A	1012	0.265	0.263	0.545	17.7131	-1.2635	-201.1230
+-		0.	0.	0.	43.7	46.4	18.4

Mean photo scale: 0.0039

RMS precision values of photo orientations from Qxx matrix (X,Y,Z,phi,omega,kappa): (1/1000)

0. 0. 0. 42.0 45.9 17.6

Poorest precision values of photo orientations from Qxx matrix (X,Y,Z,phi,ome,kap): (1/1000)

0. 1. 0. 44.6 47.5 21.0

Camera data

Camera 1

Camera constant c' : 126.9924

+-S (1/1000) : 60.1

Principal point PPA xH', yH' : -0.0049 0.1569

+-S (1/1000) : 14.5 17.3

Additional parameters : Format factor = 1.277800

25 26

16.3057 -1.7983

Radial symmetric lens distortion from additional radial parameters (1/1000)

Distortion values; First value for R = 7.8 (= Step width)

617.7 1187.7 1674.5 2043.9 2262.8 2299.6 2124.0 1706.8 1020.3 38.1
-1265.2-2913.3-4928.8

New radial symmetric lens distortion (sum from input values and additional parameters)

Distortion values; First value for R = 4.0 (= Step width)

320.5 633.0 932.8 1215.0 1474.8 1707.5 1908.7 2073.8 2198.5 2278.4
2309.3 2287.2 2208.0

Coordinates of object points

Point X Y Z +- S X S Y S Z

(1 / 1 0 0 0)

100	0.000	0.000	0.000	0.	0.	0.
103	0.000	0.134	0.000	0.	0.	0.
104	0.000	0.179	0.000	0.	0.	0.
105	0.000	0.224	0.000	0.	0.	0.
106	0.000	0.269	0.000	0.	0.	0.
107	0.000	0.314	0.000	0.	0.	0.
108	0.000	0.358	0.000	0.	0.	0.
110	0.000	0.448	0.001	0.	0.	1.
111	0.000	0.492	0.000	0.	0.	0.
203	0.045	0.134	0.000	0.	0.	0.
204	0.045	0.179	-0.001	0.	0.	0.
205	0.045	0.224	0.000	0.	0.	0.
206	0.045	0.269	0.000	0.	0.	0.
207	0.045	0.314	0.000	0.	0.	0.
208	0.045	0.358	0.000	0.	0.	0.
209	0.045	0.403	0.000	0.	0.	0.
301	0.090	0.045	-0.001	0.	0.	0.
302	0.090	0.090	-0.001	0.	0.	0.
303	0.090	0.134	-0.001	0.	0.	0.
304	0.090	0.179	0.000	0.	0.	0.
305	0.089	0.224	-0.001	0.	0.	0.
306	0.089	0.269	-0.001	0.	0.	0.
307	0.090	0.314	0.000	0.	0.	0.
308	0.090	0.358	0.000	0.	0.	0.
309	0.090	0.403	0.001	0.	0.	0.
400	0.134	0.000	0.000	0.	0.	0.
401	0.134	0.045	-0.001	0.	0.	0.
402	0.134	0.089	-0.001	0.	0.	0.
403	0.134	0.134	-0.001	0.	0.	0.
404	0.134	0.179	-0.001	0.	0.	0.
405	0.134	0.224	-0.001	0.	0.	0.
406	0.134	0.269	0.000	0.	0.	0.
407	0.134	0.314	0.000	0.	0.	0.
408	0.134	0.358	0.000	0.	0.	0.
409	0.135	0.403	0.000	0.	0.	0.
410	0.135	0.447	0.001	0.	0.	0.
411	0.135	0.492	0.002	0.	0.	0.
501	0.179	0.045	-0.001	0.	0.	0.
502	0.179	0.089	-0.001	0.	0.	0.
503	0.179	0.134	-0.001	0.	0.	0.
504	0.179	0.179	-0.001	0.	0.	0.
505	0.179	0.224	-0.001	0.	0.	0.
506	0.179	0.269	0.000	0.	0.	0.
507	0.179	0.313	0.000	0.	0.	0.
508	0.179	0.358	-0.001	0.	0.	0.
509	0.179	0.403	0.000	0.	0.	0.
510	0.180	0.447	0.002	0.	0.	0.
511	0.180	0.492	0.002	0.	0.	0.
601	0.224	0.044	-0.001	0.	0.	0.
603	0.224	0.134	-0.001	0.	0.	0.
604	0.224	0.179	-0.001	0.	0.	0.
605	0.224	0.224	-0.001	0.	0.	0.
606	0.224	0.268	-0.001	0.	0.	0.
607	0.224	0.313	0.000	0.	0.	0.
608	0.224	0.358	0.000	0.	0.	0.
609	0.224	0.403	0.001	0.	0.	0.
610	0.224	0.447	0.001	0.	0.	0.
611	0.224	0.492	0.002	0.	0.	0.
700	0.269	0.000	0.001	0.	0.	0.
701	0.269	0.044	0.000	0.	0.	0.
702	0.269	0.089	0.000	0.	0.	0.
703	0.269	0.134	-0.001	0.	0.	0.
704	0.269	0.179	-0.001	0.	0.	0.
705	0.269	0.224	-0.001	0.	0.	0.
706	0.269	0.268	0.000	0.	0.	0.
707	0.269	0.313	0.000	0.	0.	0.
708	0.269	0.358	0.000	0.	0.	0.
709	0.269	0.403	0.000	0.	0.	0.
710	0.269	0.447	0.001	0.	0.	0.
711	0.269	0.492	0.002	0.	0.	0.
800	0.314	0.000	0.001	0.	0.	0.
801	0.314	0.044	-0.001	0.	0.	0.
802	0.314	0.089	0.000	0.	0.	0.
803	0.314	0.134	-0.001	0.	0.	0.
804	0.314	0.179	-0.001	0.	0.	0.

805	0.314	0.224	-0.001	0.	0.	0.
806	0.314	0.268	0.000	0.	0.	0.
807	0.314	0.313	0.000	0.	0.	0.
808	0.314	0.358	0.000	0.	0.	0.
809	0.314	0.403	0.000	0.	0.	0.
810	0.314	0.447	0.001	0.	0.	0.
900	0.359	-0.001	0.001	0.	0.	0.
901	0.359	0.044	-0.001	0.	0.	0.
902	0.359	0.089	0.000	0.	0.	0.
903	0.359	0.134	0.000	0.	0.	0.
904	0.359	0.179	-0.001	0.	0.	0.
905	0.359	0.224	-0.001	0.	0.	0.
906	0.359	0.268	0.000	0.	0.	0.
907	0.359	0.313	0.000	0.	0.	0.
908	0.359	0.358	0.000	0.	0.	0.
909	0.359	0.402	0.001	0.	0.	0.
910	0.359	0.447	0.001	0.	0.	0.
911	0.359	0.492	0.001	0.	0.	0.
1001	0.404	0.044	-0.001	0.	0.	0.
1002	0.403	0.089	0.000	0.	0.	0.
1003	0.403	0.134	0.000	0.	0.	0.
1004	0.404	0.179	-0.001	0.	0.	0.
1005	0.403	0.224	0.000	0.	0.	0.
1006	0.404	0.268	0.000	0.	0.	0.
1007	0.404	0.313	0.000	0.	0.	0.
1008	0.404	0.358	0.000	0.	0.	0.
1009	0.404	0.402	0.000	0.	0.	0.
1010	0.404	0.447	0.001	0.	0.	0.
1102	0.448	0.090	0.001	0.	0.	0.
1103	0.448	0.134	0.000	0.	0.	0.
1104	0.448	0.179	0.000	0.	0.	0.
1105	0.448	0.224	0.000	0.	0.	0.
1106	0.448	0.268	0.000	0.	0.	0.
1108	0.448	0.358	0.000	0.	0.	0.
1109	0.448	0.402	0.000	0.	0.	0.
1200	0.493	0.000	0.000	0.	0.	0.
1201	0.494	0.044	-0.001	0.	0.	1.
1203	0.494	0.134	0.000	0.	0.	0.
1204	0.493	0.179	0.000	0.	0.	0.
1205	0.493	0.224	0.000	0.	0.	0.
1206	0.493	0.268	0.000	0.	0.	0.
1207	0.493	0.313	0.000	0.	0.	0.
1210	0.493	0.447	0.000	0.	0.	0.
1211	0.493	0.492	0.000	0.	0.	0.

RMS precision values of object points (X,Y,Z): 0. 0. 0. (1/1000)

Poorest precision values of object points (X,Y,Z): 0. 0. 1. (1/1000)

RMS precision values of control points (X,Y,Z): 0. 0. 0. (1/1000)

(Computed from Qxx matrix)

Residuals of photo coordinates list limit = 4.0 * sigma

Point	Photo	Vx'	Vy'	Rx'% Ry'%	Wx'	Wy'	Nabla x' y'
		(1 / 1 0 0 0)					(1 / 1 0 0 0)

Residuals of photo measurements (x', y') in photo space:

RMS	25.5	23.5
MAX	89.4	99.5

RMS residuals of all other photo measurements transformed to object space: (1/1000)

RMS	0.	0.	0.
-----	----	----	----

Frequency of photo measurement residuals N(0,1) :

for x	for y
*	*
***	**
*****	***
*****	*****
*****	*****
*****	*****
*****	*****

```

          *****
          *****
          *****
          * ***** *
<-----> <----->
- 4 3 2 1 0 1 2 3 4 + - 4 3 2 1 0 1 2 3 4 +

Residuals          List limit = 1.0 * sigma

Type              No.1          No.2          Residual      Rii$         W           Nabla L
                  (1/1000)
-----
CONT X            100              0.0           7            -1.2
CONT Y            100              0.0           5             1.2
CONT Z            100              0.0           3            -0.3
CONT X            111              0.0           9            -0.5
CONT Y            111              0.0           7            -1.0
CONT Z            111              0.0           3             0.3
CONT X            1200             0.0           6             1.3
CONT Y            1200             0.0          10             0.7
CONT Z            1200             0.0           3             0.3
CONT X            1211             0.0          10             0.5
CONT Y            1211             0.0           9            -0.7
CONT Z            1211             0.0           3            -0.3
P' Y              1              156.9         96            1.6

RMS control point residuals:      0.    0.    0. (1/1000)
Maximum control point residuals:  0.    0.    0. (1/1000)
(Computed from real residuals)

Test :                v(T)Pv =  1.396566E+00  O.K.
          1(T)Pl - n(T)x = -v(T)Pl =  1.396566E+00

Test :                Sum. of red. =  1893.000  O.K.
          f = n-u+d =  1893

A posteriori variance-component estimation

Test value = s(a posteriori) / s(a priori)

Group              Test Value   No. of Obs.  Redundancy
-----
Photo coordinates  :    0.91         2312        1889.75
Camera data incl. vector e' :    0.99           3           2.50
Coordinates of control points :    0.81          12           0.75

Sum of all observations :    0.91         2327

Results written on ITERA FILE

END BINGO elapsed time: 1 sec

```

Priloga A2: Rezultati Bingo kamera 2 sobne kalibracije

BINGO 5.5 Feb. 2008

FREE NETWORK BUNDLE ADJUSTMENT FOR ENGINEERING APPLICATIONS

16:46:41 Wednesday, 1 April 2009

Names of connected files :

Project file : project.dat
Image coordinates : image.dat
Geo input file : geoin.dat
Itera file : itera.dat
Control residuals : reselli.dat
Image residuals : imresi.dat
Skip file : skip.dat
Bingo list file : bingo.lis

DATA FROM IMAGE COORDINATE FILE

Selected parameters :

Minimum no. of rays for points : 2
Mean key (to built average) : 10
Listing key for photo data : 0
Key for scaling image coord.s : 1
Smallest valid point number : 1
Highest valid point number : 10000000

Selected image numbers :

2001 2002 2004 2005 2007 2008

6 photos ignored from input

Normal number of data sets per photo is 1 (from 6 photos)

21 point(s) skipped from processing by user.

3 point(s) ignored. Measured in less than 2 photo(s).

22 control point(s) ignored. They are not measured at all.

Number of points measured in 1 photo: 1
Number of points measured in 2 photos: 13
Number of points measured in 3 photos: 8
Number of points measured in 4 photos: 12
Number of points measured in 5 photos: 15
Number of points measured in 6 photos: 70

Summary of photo data:

No. of used points : 119
No. of used photos : 6
No. of used cameras : 1
Max. photo rays per point : 6
Max. photo measurements per point: 6
Used points per photo - minimum : 99
Used points per photo - median : 108
Used points per photo - maximum : 127
Max. photo index difference : 5

DATA FROM PROJECT FILE AND GEO INPUT FILE

49 Lines read from PROJECT FILE

41 Lines read from GEO INPUT FILE

1 Control points ignored from input

DATA FROM ITERA FILE

```
=====
No. of photo orientation data :    6
No. of approximate coordinates :  118
No. of camera input statements :    1
```

BINGO 5.5 Feb. 2008

16:46:41 Wednesday, 1 April 2009

CHECK PRINT OF INPUT DATA

Selected parameters :

```
-----
A priori standard deviation for photo coordinates
in x' : 30.0 (1/1000)   in y' : 30.0 (1/1000)
```

```
Criteria to terminate iterations
Max. no. of iterations           : 16
Max. value in solution vector x  : 0.10E-01
```

```
Program operations
Calculation of profile inverse   : yes
Calculation of full inverse      : no
Calculation of redundancies      : yes
Reading from ITERA FILE         : yes
Write results on ITERA FILE      : yes
Write original point coords. on ITERA FILE: no
Correct photo coords. for earth curvature: no
Correct photo coordinates for refraction : no
Error detection for wrong point numbers : yes
Transf. of photo residuals to object space: yes
Create photo residual file       : yes
```

```
No. of adjustment points : 119
No. of photos             : 6
```

BINGO 5.5 Feb. 2008

16:46:41 Wednesday, 1 April 2009

START OF ITERATIVE ADJUSTMENT

```
-----
Iteration no. 1
No. of unknowns           : 398
No. of observation equations : 1200
Profile of normal equation matrix N : 14664 = 18.47%
Memory space available for N : 29336
Average bandwidth of N     : 38
Effort for factorisation (Mio mult.) : 0.27
A priori stand. dev. of unit weight : 30.00 (1/1000)
Sigma 0 before adjustment   : 2116.98 (1/1000)
```


Stand. dev. of unit weight sigma 0 : 27.60 (1/1000)

Max. value in solution vector : 0.2439E-01

Average value in solution vector : 0.2223E-02

Iteration no. 2

Stand. dev. of unit weight sigma 0 : 27.54 (1/1000)

Max. value in solution vector : 0.2587E-01

Average value in solution vector : 0.3781E-03

Iteration no. 3

Stand. dev. of unit weight sigma 0 : 27.54 (1/1000)

Max. value in solution vector : 0.5910E-04

Average value in solution vector : 0.9872E-06

Camera 2

Correlation between add. parameters in %

```

25 100
26 5 100
C' -38 -13 100
XH' -61 -19 -15 100
YH' -11 0 36 -12 100
25 26 C' XH' YH'
    
```

Sigma 0 used for estimation of standard deviations: 27.54 (1/1000)

Par.no	Parameter value (1/1000)	Standard dev. (1/1000)	Value/Stand.dev	Total correlation
25	16493.6	53.3	309.6	0.64
26	-1538.6	90.0	-17.1	0.12
C'	-43.8	84.1	-0.5	0.49
XH'	-191.3	41.3	-4.6	0.61
YH'	136.6	30.1	4.5	0.14

BINGO 5.5 Feb. 2008 16:46:42 Wednesday, 1 April 2009

RESULTS OF ADJUSTMENT SIGMA 0 = 27.54 (1/1000)

Exterior orientation data

Type	Photo	X	Y	Z	Phi	Omega	Kappa (1/1000)
A	2001	0.375	0.254	0.432	17.7494	-1.2861	98.6662
+-		1.	1.	0.	60.0	64.2	24.9
A	2002	0.224	0.329	0.462	-4.1085	-7.6338	199.9500
+-		1.	1.	0.	57.1	65.2	29.1

A	2004	0.196	0.136	0.398	-5.6686	15.4274	2.6414
+-		1.	1.	0.	60.9	64.3	30.7
T	2005	0.344	0.187	0.558	85.1536	-76.8268	83.2710
+-		1.	1.	0.	175.1	62.5	170.1
T	2007	0.124	0.334	0.521	-115.8674	-74.7627	82.1383
+-		1.	1.	0.	148.6	62.9	170.8
T	2008	0.170	0.130	0.575	-17.3582	-73.6346	80.0512
+-		1.	1.	0.	144.0	68.7	143.6

Mean photo scale: 0.0039

RMS precision values of photo orientations from Qxx matrix (X,Y,Z,phi,omega,kappa): (1/1000)

1. 1. 0. 118.4 64.7 116.3

Poorest precision values of photo orientations from Qxx matrix (X,Y,Z,phi,ome,kap): (1/1000)

1. 1. 0. 175.1 68.7 170.8

Camera data

Camera 2

Camera constant c' : 126.9562
+-S (1/1000) : 84.1

Principal point PPA xH', yH' : -0.1913 0.1366
+-S (1/1000) : 41.3 30.1

Additional parameters : Format factor = 1.277800

25 26

16.4936 -1.5386

Radial symmetric lens distortion from additional radial parameters (1/1000)

Distortion values; First value for R = 7.8 (= Step width)

622.3 1198.1 1691.5 2067.4 2292.0 2332.6 2157.6 1736.4 1039.5 38.8
-1292.9-2981.9-5052.9

New radial symmetric lens distortion (sum from input values and additional parameters)

Distortion values; First value for R = 4.0 (= Step width)

322.6 637.8 940.4 1225.7 1488.8 1725.0 1929.6 2098.0 2225.6 2308.2
2341.3 2320.5 2241.8

Coordinates of object points

Point X Y Z +- S X S Y S Z
(1 / 1 0 0 0)

100	0.000	0.000	0.000	0.	0.	0.
103	0.000	0.134	-0.001	0.	0.	1.
104	0.000	0.179	-0.001	0.	0.	1.
105	0.000	0.224	-0.001	0.	0.	1.
106	0.000	0.269	-0.001	0.	0.	1.
107	0.000	0.314	-0.001	0.	0.	1.
111	0.000	0.492	0.000	0.	0.	0.
201	0.044	0.044	-0.002	0.	0.	1.
202	0.045	0.090	-0.001	0.	0.	1.
203	0.045	0.134	-0.001	0.	0.	1.

204	0.045	0.179	-0.001	0.	0.	1.
205	0.045	0.224	-0.001	0.	0.	1.
206	0.045	0.269	0.000	0.	0.	1.
207	0.045	0.314	-0.001	0.	0.	1.
208	0.045	0.359	-0.001	0.	0.	1.
300	0.089	0.000	-0.001	1.	0.	1.
301	0.090	0.045	-0.001	0.	0.	1.
302	0.090	0.090	-0.001	0.	0.	1.
303	0.090	0.135	-0.001	0.	0.	1.
304	0.089	0.179	-0.001	0.	0.	1.
305	0.090	0.224	-0.001	0.	0.	1.
306	0.089	0.269	-0.001	0.	0.	1.
307	0.089	0.314	-0.001	0.	0.	1.
308	0.089	0.359	-0.001	0.	0.	1.
400	0.134	-0.001	0.000	0.	0.	1.
401	0.134	0.045	-0.001	0.	0.	1.
402	0.135	0.090	-0.001	0.	0.	1.
403	0.134	0.134	-0.002	0.	0.	1.
404	0.134	0.179	-0.001	0.	0.	1.
405	0.134	0.224	-0.001	0.	0.	1.
406	0.134	0.269	-0.001	0.	0.	1.
407	0.134	0.314	-0.001	0.	0.	1.
408	0.134	0.359	-0.001	0.	0.	1.
409	0.134	0.403	-0.001	0.	0.	1.
411	0.134	0.493	0.000	0.	0.	1.
500	0.179	0.000	0.001	0.	0.	1.
501	0.179	0.045	-0.001	0.	0.	1.
502	0.179	0.090	0.000	0.	0.	1.
503	0.179	0.135	-0.001	0.	0.	1.
504	0.179	0.179	-0.001	0.	0.	1.
505	0.179	0.224	-0.001	0.	0.	1.
506	0.179	0.269	-0.001	0.	0.	1.
507	0.179	0.314	-0.001	0.	0.	1.
508	0.179	0.358	-0.001	0.	0.	1.
509	0.179	0.403	0.000	0.	0.	1.
510	0.179	0.448	-0.001	0.	0.	1.
511	0.179	0.493	0.001	0.	0.	1.
600	0.224	0.000	0.001	0.	0.	1.
601	0.224	0.045	-0.001	0.	0.	1.
602	0.224	0.090	-0.001	0.	0.	1.
603	0.224	0.135	-0.001	0.	0.	1.
604	0.224	0.179	-0.001	0.	0.	1.
605	0.224	0.224	-0.001	0.	0.	1.
606	0.224	0.269	-0.002	0.	0.	1.
607	0.224	0.314	-0.001	0.	0.	1.
608	0.224	0.358	-0.001	0.	0.	1.
609	0.224	0.403	-0.001	0.	0.	0.
610	0.224	0.448	0.000	0.	0.	1.
611	0.224	0.493	0.001	0.	0.	1.
700	0.269	0.000	0.001	0.	0.	1.
701	0.269	0.045	0.000	0.	0.	1.
702	0.269	0.090	-0.001	0.	0.	1.
703	0.269	0.134	-0.001	0.	0.	1.
704	0.269	0.179	-0.001	0.	0.	1.
705	0.269	0.224	-0.001	0.	0.	1.
706	0.269	0.269	-0.001	0.	0.	1.
707	0.269	0.313	-0.001	0.	0.	1.
708	0.269	0.358	-0.001	0.	0.	0.
709	0.269	0.403	0.000	0.	0.	0.
710	0.269	0.448	-0.001	0.	0.	0.
711	0.269	0.493	0.000	0.	0.	1.
800	0.314	0.000	0.001	0.	0.	1.
801	0.314	0.045	0.000	0.	0.	1.
802	0.314	0.090	-0.001	0.	0.	1.
803	0.314	0.134	-0.001	0.	0.	1.
804	0.314	0.179	-0.001	0.	0.	1.
805	0.314	0.224	-0.001	0.	0.	1.
806	0.314	0.269	-0.001	0.	0.	1.
807	0.314	0.313	-0.001	0.	0.	1.
808	0.314	0.358	-0.001	0.	0.	0.
809	0.314	0.403	0.000	0.	0.	0.
810	0.314	0.448	0.000	0.	0.	0.
811	0.314	0.493	0.001	0.	0.	1.
901	0.359	0.045	0.000	0.	0.	1.
902	0.359	0.090	0.000	0.	0.	1.
903	0.359	0.135	-0.001	0.	0.	1.
904	0.359	0.179	-0.001	0.	0.	1.

905	0.359	0.224	-0.001	0.	0.	1.
906	0.359	0.269	0.000	0.	0.	1.
907	0.359	0.313	-0.001	0.	0.	1.
908	0.359	0.358	0.000	0.	0.	0.
909	0.359	0.403	0.000	0.	0.	0.
910	0.359	0.448	0.000	0.	0.	0.
911	0.359	0.493	0.000	0.	0.	1.
1001	0.404	0.045	0.000	0.	0.	1.
1002	0.404	0.090	0.000	0.	0.	1.
1003	0.404	0.135	-0.001	0.	0.	1.
1004	0.404	0.179	-0.001	0.	0.	1.
1005	0.404	0.224	-0.001	0.	0.	1.
1006	0.404	0.269	-0.001	0.	0.	1.
1007	0.404	0.313	-0.001	0.	0.	1.
1008	0.404	0.358	-0.001	0.	0.	0.
1009	0.404	0.403	0.000	0.	0.	0.
1010	0.404	0.448	-0.001	0.	0.	0.
1103	0.448	0.135	-0.001	0.	0.	1.
1104	0.449	0.179	-0.001	0.	0.	1.
1105	0.448	0.224	-0.001	0.	0.	1.
1106	0.448	0.269	0.000	0.	0.	1.
1107	0.449	0.313	-0.001	0.	0.	1.
1108	0.449	0.358	-0.001	0.	0.	1.
1109	0.449	0.403	-0.001	0.	0.	0.
1111	0.449	0.493	-0.001	0.	0.	1.
1204	0.494	0.179	-0.001	0.	0.	1.
1205	0.494	0.224	-0.001	0.	0.	1.
1206	0.493	0.269	0.000	0.	0.	1.
1207	0.493	0.313	0.000	0.	0.	1.
1208	0.493	0.358	-0.001	0.	0.	1.
1209	0.494	0.403	-0.001	0.	0.	1.
1211	0.493	0.493	0.000	0.	0.	0.

RMS precision values of object points (X,Y,Z): 0. 0. 1. (1/1000)
 Poorest precision values of object points (X,Y,Z): 1. 0. 1. (1/1000)
 RMS precision values of control points (X,Y,Z): 0. 0. 0. (1/1000)
 (Computed from Qxx matrix)

Residuals of photo coordinates list limit = 4.0 * sigma

Point	Photo	Vx'	Vy'	Rx'% Ry'%	Wx'	Wy'	Nabla x' y'
		(1 / 1 0 0 0)					(1 / 1 0 0 0)

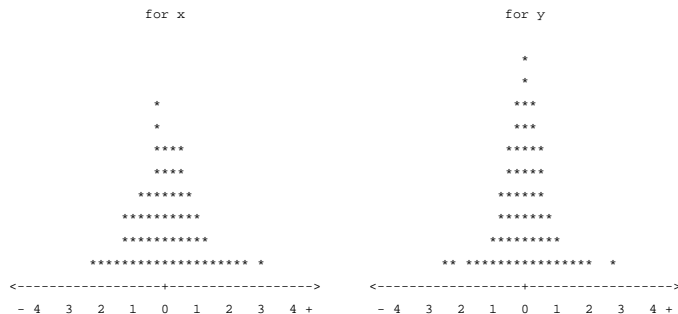
Residuals of photo measurements (x', y') in photo space:

RMS	25.6	19.1
MAX	90.6	80.4

RMS residuals of all other photo measurements transformed to object space: (1/1000)

RMS	0.	0.	0.
-----	----	----	----

Frequency of photo measurement residuals N(0,1) :



Residuals List limit = 1.0 * sigma

Type	No.1	No.2	Residual	Rii%	W	Nabla L
			(1/1000)			(1/1000)

```

CONT X      100          0.0      0      -0.3
CONT Y      100          0.0      1       0.3
CONT Z      100          0.0      0  R<0.001 => w unreal.
CONT X      111          0.0      0      -0.3
CONT Y      111          0.0      4      -0.3
CONT Z      111          0.0      0  R<0.001 => w unreal.
CONT X      1211         0.0      1       0.3
CONT Y      1211         0.0      0       0.3
CONT Z      1211         0.0      0  R<0.001 => w unreal.

C'          2          -43.8     16     -1.1
    
```

```

RMS control point residuals:      0.      0.      0. (1/1000)
Maximum control point residuals:  0.      0.      0. (1/1000)
(Computed from real residuals)
    
```

```

Test :          v(T)Pv =  6.082706E-01  O.K.
        l(T)Pl - n(T)x = -v(T)Pl =  6.082706E-01
    
```

```

Test :          Sum. of red. =      802.000  O.K.
        f = n-u+d =      802
    
```

A posteriori variance-component estimation

Test value = s(a posteriori) / s(a priori)

Group	Test Value	No. of Obs.	Redundancy
Photo coordinates	: 0.92	1188	799.84
Camera data incl. vector e'	: 0.87	3	2.08
Coordinates of control points	: 0.33	9	0.08
Sum of all observations	: 0.92	1200	

Results written on ITERA FILE

END BINGO elapsed time: 1 sec

Priloga B1: Rezultati Bingo kamera 1 zunanje kalibracije

BINGO 5.5 Feb. 2008

FREE NETWORK BUNDLE ADJUSTMENT FOR ENGINEERING APPLICATIONS

=====
10:45:32 Wednesday, 6 May 2009

Names of connected files :

Project file : project.dat
Image coordinates : image.dat
Geo input file : geoin.dat
Itera file : itera.dat
Control residuals : reselli.dat
Image residuals : imresi.dat
Skip file : skip.dat
Bingo list file : bingo.lis

DATA FROM IMAGE COORDINATE FILE

Selected parameters :

Minimum no. of rays for points : 2
Mean key (to built average) : 10
Listing key for photo data : 0
Key for scaling image coord.s : 1
Smallest valid point number : 0
Highest valid point number : 1000000

All images will be processed

Normal number of data sets per photo is 1 (from 5 photos)

1 point(s) ignored. Measured in less than 2 photo(s).

18 control point(s) ignored. They are not measured at all.

List of points with highest photo index differences

Point	First Photo	Last Photo	Difference
4	1001	1005	4
5	1001	1005	4
6	1001	1005	4
104	1001	1005	4
105	1001	1005	4
106	1001	1005	4
204	1001	1005	4
205	1001	1005	4
206	1001	1005	4
305	1001	1005	4
306	1001	1005	4

Number of points measured in 1 photo: 21
Number of points measured in 2 photos: 66
Number of points measured in 3 photos: 4
Number of points measured in 4 photos: 5
Number of points measured in 5 photos: 11

Summary of photo data:

No. of used points : 107
No. of used photos : 5
No. of used cameras : 1
Max. photo rays per point : 5
Max. photo measurements per point: 5
Used points per photo - minimum : 20
Used points per photo - median : 28
Used points per photo - maximum : 80

Max. photo index difference : 4

DATA FROM PROJECT FILE AND GEO INPUT FILE

30 Lines read from PROJECT FILE

113 Lines read from GEO INPUT FILE

18 Control points ignored from input

DATA FROM ITERA FILE

No. of photo orientation data : 5
No. of approximate coordinates : 107
No. of camera input statements : 1

BINGO 5.5 Feb. 2008

10:45:32 Wednesday, 6 May 2009

CHECK PRINT OF INPUT DATA

Selected parameters :

A priori standard deviation for photo coordinates
in x' : 62.0 (1/1000) in y' : 62.0 (1/1000)

Criteria to terminate iterations

Max. no. of iterations : 16
Max. value in solution vector x : 0.10E-01

Program operations

Calculation of profile inverse : yes
Calculation of full inverse : no
Calculation of redundancies : yes
Reading from ITERA FILE : yes
Write results on ITERA FILE : yes
Write original point coords. on ITERA FILE: no
Correct photo coords. for earth curvature: no
Correct photo coordinates for refraction : no
Error detection for wrong point numbers : yes
Transf. of photo residuals to object space: yes
Create photo residual file : yes

No. of adjustment points : 107
No. of photos : 5

BINGO 5.5 Feb. 2008

10:45:32 Wednesday, 6 May 2009

START OF ITERATIVE ADJUSTMENT

Iteration no. 1

No. of unknowns : 357
No. of observation equations : 657
Profile of normal equation matrix N : 9858 = 15.43%

```

Memory space available for N      :      19720

Average bandwidth of N           :           28

Effort for factorisation (Mio mult.) :      0.13

A priori stand. dev. of unit weight :    62.00 (1/1000)

Sigma 0 before adjustment        :    3513.47 (1/1000)

Stand. dev. of unit weight sigma 0 :    61.68 (1/1000)

Max. value in solution vector    :    0.6738E-02

Average value in solution vector  :    0.3341E-03
    
```

Camera 1

Correlation between add. parameters in %

```

17  100

25  1 100

26  2 -8 100

C'  -11 -2 -1 100

XH' -10 0 2 -4 100

YH'  15 -8 -6 -7 -3 100

      17 25 26 C' XH' YH'
    
```

Sigma 0 used for estimation of standard deviations: 61.68 (1/1000)

Par.no	Parameter value (1/1000)	Standard dev. (1/1000)	Value/Stand.dev	Total correlation
17	-763.4	49.9	-15.3	0.05
25	33808.1	125.2	270.0	0.02
26	-5020.3	548.0	-9.2	0.02
C'	-43.5	98.2	-0.4	0.02
XH'	-15.3	74.8	-0.2	0.02
YH'	-70.9	85.2	-0.8	0.04

BINGO 5.5 Feb. 2008 10:45:32 Wednesday, 6 May 2009

RESULTS OF ADJUSTMENT SIGMA 0 = 61.68 (1/1000)

Exterior orientation data

Type	Photo	X	Y	Z	Phi	Omega	Kappa
		(1/1000)					
+- S							
T	1001	462857.359	5102217.002	348.565	-132.1012	-7.2616	-0.1104
+-		5.	5.	7.	58.2	93.8	37.8
T	1002	462855.646	5102211.981	348.536	-84.5043	-7.1177	-1.1883
+-		5.	5.	8.	46.5	82.7	33.2
T	1003	462853.466	5102213.693	348.465	-91.8836	-9.9515	-1.0295
+-		8.	9.	16.	54.0	120.2	36.6
T	1004	462852.679	5102218.340	348.432	-124.2149	-9.6276	-0.8657
+-		8.	9.	17.	39.1	111.9	29.6


```
T      1005  462849.447  5102210.862  348.477  -88.9054  -10.9796  -0.0517
+-      11.      9.      16.      34.0      79.9      28.6
```

Mean photo scale: 0.0596

RMS precision values of photo orientations from Qxx matrix (X,Y,Z,phi,omega,kappa): (1/1000)

```
      7.      8.      13.      47.2      99.0      33.4
```

Poorest precision values of photo orientations from Qxx matrix (X,Y,Z,phi,ome,kap): (1/1000)

```
      11.      9.      17.      58.2      120.2      37.8
```

Camera data

Camera 1

```
Camera constant c'      : 125.4565
+-S      (1/1000)      : 98.2

Principal point PPA  xH', yH' : -0.3684  -0.1726
+-S      (1/1000)      : 74.8      85.2

Additional parameters   : Format factor = 1.000000

      17      25      26

-0.7634  33.8081  -5.0203
```

Radial symmetric lens distortion from additional radial parameters (1/1000)

Distortion values; First value for R = 10.0 (= Step width)

```
1296.5 2485.1 3491.7 4246.0 4681.5 4735.1 4347.5 3463.2 2030.1 0.0
-2671.7-6026.0*****
```

New radial symmetric lens distortion (sum from input values and additional parameters)

Distortion values; First value for R = 4.0 (= Step width)

```
526.7 1043.4 1545.3 2027.4 2485.1 2913.5 3308.3 3664.9 3978.9 4246.0
4462.1 4623.0 4724.7
```

Coordinates of object points

```
Point      X      Y      Z      +- S X      S Y      S Z
( 1 / 1 0 0 0 )
```

```
0  462863.085  5102224.833  346.551  6.  1.  4.
1  462862.830  5102223.222  346.558  6.  1.  4.
2  462862.451  5102220.805  346.557  5.  1.  3.
3  462862.042  5102218.389  346.554  4.  1.  3.
4  462861.657  5102215.973  346.548  4.  1.  2.
5  462861.272  5102213.555  346.551  4.  1.  2.
6  462860.877  5102211.140  346.555  4.  1.  2.
7  462860.497  5102208.720  346.554  5.  1.  3.
8  462860.109  5102206.303  346.564  5.  1.  3.
50 462861.373  5102214.160  346.568  5.  2.  3.
100 462863.103  5102224.833  347.331  6.  1.  4.
101 462862.839  5102223.220  347.338  6.  1.  4.
102 462862.444  5102220.803  347.338  5.  1.  3.
103 462862.055  5102218.387  347.337  4.  1.  2.
104 462861.661  5102215.972  347.326  4.  1.  2.
105 462861.275  5102213.554  347.327  4.  1.  2.
106 462860.886  5102211.138  347.330  3.  1.  2.
107 462860.503  5102208.720  347.333  5.  1.  3.
108 462860.111  5102206.302  347.338  5.  1.  3.
200 462863.100  5102224.835  348.575  6.  1.  4.
201 462862.854  5102223.219  348.570  6.  1.  4.
```

202	462862.440	5102220.804	348.567	5.	1.	3.
203	462862.056	5102218.386	348.561	4.	1.	2.
204	462861.661	5102215.971	348.555	4.	1.	2.
205	462861.276	5102213.554	348.555	4.	1.	2.
206	462860.893	5102211.137	348.557	3.	1.	2.
207	462860.508	5102208.719	348.565	5.	1.	3.
208	462860.106	5102206.302	348.562	5.	1.	3.
300	462863.102	5102224.835	349.796	6.	1.	4.
301	462862.829	5102223.220	349.798	6.	1.	4.
302	462862.446	5102220.804	349.796	5.	1.	3.
303	462862.060	5102218.386	349.788	4.	1.	2.
304	462861.667	5102215.971	349.790	5.	1.	2.
305	462861.274	5102213.555	349.785	4.	1.	2.
306	462860.890	5102211.138	349.787	4.	1.	2.
307	462860.505	5102208.720	349.792	5.	1.	3.
308	462860.106	5102206.303	349.793	7.	1.	4.
400	462863.073	5102224.833	351.031	6.	1.	4.
401	462862.828	5102223.219	351.022	6.	1.	4.
402	462862.450	5102220.803	351.016	6.	1.	4.
403	462862.063	5102218.386	351.018	7.	1.	4.
404	462861.671	5102215.970	351.019	7.	1.	4.
407	462860.505	5102208.722	351.016	6.	1.	4.
500	462863.078	5102224.833	352.207	6.	1.	4.
1001	462861.089	5102212.336	349.764	4.	1.	2.
1002	462861.468	5102214.754	348.535	4.	1.	2.
1003	462861.083	5102212.338	348.535	4.	1.	2.
1004	462861.463	5102214.755	347.308	4.	1.	2.
1005	462861.080	5102212.338	347.308	4.	1.	2.
1006	462861.464	5102214.754	346.567	4.	1.	2.
1007	462861.079	5102212.338	346.568	4.	1.	2.
1008	462861.866	5102217.171	349.763	5.	1.	3.
1009	462861.855	5102217.171	348.541	5.	1.	2.
1010	462861.861	5102217.171	347.311	5.	1.	2.
1011	462861.855	5102217.173	346.571	7.	1.	3.
1012	462860.685	5102209.921	349.770	5.	1.	3.
1013	462860.706	5102209.921	348.541	5.	1.	2.
1014	462860.701	5102209.921	347.313	5.	1.	3.
1016	462861.467	5102214.754	349.764	4.	1.	2.
1102	462861.379	5102214.161	348.536	5.	2.	2.
1104	462861.376	5102214.162	347.308	5.	2.	2.
10001	462861.657	5102215.949	346.936	5.	2.	3.
10002	462861.463	5102214.753	346.936	5.	2.	3.
10003	462861.277	5102213.579	346.938	5.	3.	3.
10004	462861.079	5102212.338	346.939	5.	3.	3.
10005	462860.880	5102211.117	346.942	5.	3.	3.
10012	462861.375	5102214.159	346.939	5.	2.	3.
11000	462861.557	5102215.348	346.939	5.	2.	3.
11001	462861.560	5102215.347	347.307	5.	2.	2.
20001	462861.659	5102215.950	347.943	5.	2.	2.
20002	462861.469	5102214.749	347.941	5.	2.	2.
20003	462861.282	5102213.577	347.943	4.	2.	2.
20004	462861.078	5102212.339	347.943	4.	3.	2.
20005	462860.883	5102211.117	347.945	5.	3.	2.
20012	462861.380	5102214.159	347.943	5.	2.	2.
21000	462861.566	5102215.346	347.946	5.	2.	2.
21001	462861.563	5102215.349	348.535	5.	2.	2.
22000	462861.175	5102212.933	347.356	4.	3.	2.
22001	462861.181	5102212.931	347.946	4.	3.	2.
22200	462861.171	5102212.934	346.941	5.	3.	3.
22201	462861.172	5102212.933	346.567	5.	3.	3.
30000	462861.759	5102216.577	349.176	6.	2.	2.
30001	462861.669	5102215.947	349.171	5.	2.	2.
30002	462861.467	5102214.754	349.170	5.	2.	2.
30003	462861.281	5102213.578	349.170	4.	2.	2.
30004	462861.089	5102212.336	349.167	4.	3.	2.
30005	462860.887	5102211.119	349.172	5.	3.	2.
30012	462861.380	5102214.161	349.173	5.	2.	2.
31000	462861.767	5102216.579	348.543	6.	2.	2.
31001	462861.567	5102215.348	349.767	5.	2.	2.
31002	462861.556	5102215.353	349.173	5.	2.	2.
32000	462861.762	5102216.580	346.943	6.	2.	3.
32001	462861.178	5102212.933	348.584	4.	3.	2.
40001	462861.381	5102214.159	349.765	5.	2.	2.
41000	462861.178	5102212.936	349.171	4.	3.	2.
41001	462861.180	5102212.933	349.763	5.	3.	2.
49999	462860.985	5102211.747	346.941	5.	3.	3.
50000	462860.987	5102211.751	347.360	4.	3.	2.

50001	462860.983	5102211.744	347.943	4.	3.	2.
50002	462860.989	5102211.750	348.584	4.	3.	2.
50003	462860.987	5102211.748	349.174	4.	3.	2.
50004	462860.990	5102211.749	349.765	5.	3.	2.
60000	462860.788	5102210.518	346.578	5.	3.	3.
60001	462860.790	5102210.519	346.944	5.	3.	3.
60002	462860.797	5102210.515	347.362	5.	3.	3.
60003	462860.797	5102210.520	347.949	5.	3.	2.
60004	462860.797	5102210.519	348.537	5.	3.	2.

RMS precision values of object points (X,Y,Z): 5. 2. 3. (1/1000)
 Poorest precision values of object points (X,Y,Z): 7. 3. 4. (1/1000)
 RMS precision values of control points (X,Y,Z): 5. 1. 3. (1/1000)
 (Computed from Qxx matrix)

Residuals of photo coordinates list limit = 4.0 * sigma

Point	Photo	Vx'	Vy'	Rx'% Ry'%	Wx'	Wy'	Nabla x' y'
		(1 / 1 0 0 0)					(1 / 1 0 0 0)

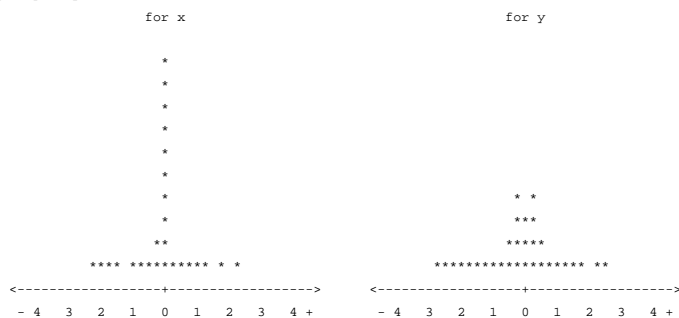
Residuals of photo measurements (x', y') in photo space:

RMS	38.2	44.8
MAX	134.2	168.8

RMS residuals of all other photo measurements transformed to object space: (1/1000)

RMS	2.	2.	4.
-----	----	----	----

Frequency of photo measurement residuals N(0,1) :



Residuals List limit = 1.0 * sigma

Type	No.1	No.2	Residual (1/1000)	Rii%	W	Nabla L (1/1000)
CONT Y	0		0.0	1	-0.3	
CONT Z	0		-4.3	27	-1.7	
CONT Y	1		0.1	1	1.1	
CONT Z	1		4.9	28	1.9	
CONT Y	2		0.1	5	0.3	
CONT Z	2		4.2	65	1.0	
CONT X	3		-12.5	69	-1.9	
CONT Y	3		0.0	7	0.1	
CONT X	4		-7.5	72	-1.1	
CONT Y	4		0.9	24	1.9	
CONT Y	5		0.0	20	0.1	
CONT Y	6		-1.0	16	-2.4	*
CONT Z	6		5.2	81	1.1	
CONT Y	7		0.0	3	-0.1	
CONT Y	8		-0.1	3	-0.6	
CONT Z	8		13.5	57	3.6	-24.0 **
CONT X	100		14.1	38	2.9	*
CONT Y	100		-0.2	1	-3.2	41.5 **
CONT Z	100		-8.0	27	-3.1	29.2 **
CONT Y	101		0.0	1	0.1	
CONT Y	102		-0.2	5	-0.9	
CONT Y	103		0.0	7	0.1	
CONT Y	104		0.8	24	1.6	

CONT Z	104		-8.4	86	-1.8	
CONT Y	105		0.2	20	0.5	
CONT Z	105		-6.8	86	-1.5	
CONT Y	106		-0.1	17	-0.3	
CONT Y	107		0.0	3	0.0	
CONT Y	108		0.3	3	1.8	
CONT X	200		12.0	41	2.3	*
CONT Y	200		-0.2	1	-2.4	*
CONT Z	200		7.8	29	2.9	*
CONT X	201		14.2	40	2.8	*
CONT Y	201		-0.2	1	-2.8	*
CONT Z	201		3.3	30	1.2	
CONT X	202		-7.3	61	-1.2	
CONT Y	202		0.1	5	0.3	
CONT Y	203		0.1	7	0.5	
CONT Y	204		0.7	25	1.3	
CONT Z	204		-7.5	88	-1.6	
CONT Y	205		0.0	21	0.0	
CONT Z	205		-6.1	88	-1.3	
CONT Y	206		-0.5	17	-1.2	
CONT Y	207		-0.1	3	-0.6	
CONT Y	208		0.0	3	0.3	
CONT X	300		14.7	41	2.9	*
CONT Y	300		-0.2	1	-3.0	*
CONT X	301		-9.3	41	-1.8	
CONT Y	301		0.1	1	1.6	
CONT Z	301		5.3	31	1.9	
CONT Y	302		0.4	4	1.8	
CONT Y	303		0.3	7	1.0	
CONT Y	304		-0.2	11	-0.5	
CONT Y	305		-0.4	21	-0.9	
CONT Y	306		0.0	16	-0.1	
CONT Y	307		-0.1	4	-0.5	
CONT Y	308		-0.1	3	-0.7	
CONT X	400		-11.8	40	-2.3	*
CONT Y	400		0.1	1	1.4	
CONT Z	400		9.9	29	3.7	-34.1 **
CONT X	401		-7.9	40	-1.6	
CONT Y	401		0.1	1	1.4	
CONT X	402		5.2	36	1.1	
CONT Y	402		-0.1	1	-0.8	
CONT Z	402		-3.0	33	-1.1	
CONT Y	403		-0.1	1	-0.5	
CONT X	404		1.7	21	0.5	
CONT Y	404		-0.1	2	-0.7	
CONT X	407		9.0	48	1.6	
CONT Y	407		0.1	1	1.3	
CONT X	500		-6.3	35	-1.3	
CONT Y	500		0.1	1	1.6	
CONT Y	1001		0.2	13	0.6	
CONT Y	1002		0.0	16	0.0	
CONT Y	1003		0.3	13	0.8	
CONT Y	1004		0.2	16	0.4	
CONT Y	1005		0.3	13	0.7	
CONT Y	1006		-0.7	15	-1.9	
CONT Y	1007		0.0	12	-0.1	
CONT X	1008		7.9	62	1.3	
CONT Y	1008		-0.1	1	-1.0	
CONT Y	1009		-0.5	19	-1.2	
CONT Y	1010		-0.3	20	-0.7	
CONT Y	1011		-0.4	17	-0.9	
CONT X	1012		-9.1	55	-1.5	
CONT Y	1012		-0.3	5	-1.2	
CONT X	1013		12.7	59	2.1	*
CONT Y	1013		0.5	6	2.1	*
CONT X	1014		10.0	59	1.6	
CONT Y	1014		0.3	6	1.4	
CONT Y	1016		0.0	15	-0.1	

Type	No.1	No.2	Residual (1/1000)	Rii§	W	Nabla L (1/1000)
C'	1		-43.5	3	-2.7	*
P' Y	1		-70.9	27	-1.4	

RMS control point residuals: 6. 0. 4. (1/1000)
 Maximum control point residuals: 15. 1. 14. (1/1000)
 (Computed from real residuals)

Test : v(T)Pv = 1.141353E+00 O.K.
 l(T)Pl - n(T)x = -v(T)Pl = 1.141353E+00
 Test : Sum. of red. = 300.000 O.K.
 f = n-u+d = 300

A posteriori variance-component estimation

Test value = s(a posteriori) / s(a priori)

Group	Test Value	No. of Obs.	Redundancy
Photo coordinates	: 0.98	480	223.10
Camera data incl. vector e'	: 0.99	3	0.73
Coordinates of control points	: 1.03	174	76.18
Control points in X	: 1.01	58	34.41
Control points in Y	: 1.07	58	5.02
Control points in Z	: 1.03	58	36.74
Sum of all observations	: 0.99	657	

Results written on ITERA FILE

END BINGO elapsed time: 1 sec

Priloga B2: Rezultati Bingo kamera 2 zunanje kalibracije

BINGO 5.5 Feb. 2008

FREE NETWORK BUNDLE ADJUSTMENT FOR ENGINEERING APPLICATIONS

=====

11:57:00 Wednesday, 6 May 2009

Names of connected files :

Project file	:	project.dat
Image coordinates	:	image.dat
Geo input file	:	geoin.dat
Itera file	:	itera.dat
Control residuals	:	reselli.dat
Image residuals	:	imresi.dat
Skip file	:	skip.dat
Bingo list file	:	bingo.lis

DATA FROM IMAGE COORDINATE FILE

Selected parameters :

Minimum no. of rays for points	:	2
Mean key (to built average)	:	10
Listing key for photo data	:	0
Key for scaling image coord.s	:	1
Smallest valid point number	:	0
Highest valid point number	:	10000000

All images will be processed

Normal number of data sets per photo is 1 (from 5 photos)

8 point(s) ignored. Measured in less than 2 photo(s).

29 control point(s) ignored. They are not measured at all.

Number of points measured in 1 photo: 15
Number of points measured in 2 photos: 59
Number of points measured in 3 photos: 4
Number of points measured in 5 photos: 16

Summary of photo data:

No. of used points	:	94
No. of used photos	:	5
No. of used cameras	:	1
Max. photo rays per point	:	5
Max. photo measurements per point:		5
Used points per photo - minimum	:	20
Used points per photo - median	:	29
Used points per photo - maximum	:	79
Max. photo index difference	:	4

DATA FROM PROJECT FILE AND GEO INPUT FILE

30 Lines read from PROJECT FILE

113 Lines read from GEO INPUT FILE

29 Control points ignored from input

DATA FROM ITERA FILE

```

=====
No. of photo orientation data :      5
No. of approximate coordinates :    79
No. of camera input statements :     1
    
```

BINGO 5.5 Feb. 2008

11:57:00 Wednesday, 6 May 2009

CHECK PRINT OF INPUT DATA

Selected parameters :

```

-----
A priori standard deviation for photo coordinates
in x' :  51.0 (1/1000)    in y' :  51.0 (1/1000)
    
```

Criteria to terminate iterations

```

Max. no. of iterations          :    16
Max. value in solution vector x  :  0.10E-01
    
```

Program operations

```

Calculation of profile inverse      :  yes
Calculation of full inverse         :  no
Calculation of redundancies        :  yes
Reading from ITERA FILE             :  yes
Write results on ITERA FILE         :  yes
Write original point coords. on ITERA FILE:  no
Correct photo coords. for earth curvature:  no
Correct photo coordinates for refraction :  no
Error detection for wrong point numbers :  yes
Transf. of photo residuals to object space:  yes
Create photo residual file          :  yes
    
```

```

No. of adjustment points :      94
No. of photos            :       5
    
```

BINGO 5.5 Feb. 2008

11:57:00 Wednesday, 6 May 2009

START OF ITERATIVE ADJUSTMENT

Iteration no. 1

```

=====
No. of unknowns          :      318
No. of observation equations :      594
Profile of normal equation matrix N :    9204 = 18.15%
Memory space available for N :    18416
Average bandwidth of N    :        29
Effort for factorisation (Mio mult.) :     0.13
A priori stand. dev. of unit weight :    51.00 (1/1000)
Sigma 0 before adjustment :   2441.83 (1/1000)
Stand. dev. of unit weight sigma 0 :    52.31 (1/1000)
Max. value in solution vector :  0.4313E+01
Average value in solution vector :  0.1103E+00
    
```

Iteration no. 2

Stand. dev. of unit weight sigma 0 : 50.50 (1/1000)

Max. value in solution vector : 0.6720E+00

Average value in solution vector : 0.1186E-01

Iteration no. 3

Stand. dev. of unit weight sigma 0 : 50.54 (1/1000)

Max. value in solution vector : 0.4902E-02

Average value in solution vector : 0.1177E-03

Camera 2

Correlation between add. parameters in %

```

17 100
25 -3 100
26 -6 1 100
C' -12 -4 -4 100
XH' -4 1 -13 1 100
YH' 14 -10 -16 -8 1 100
17 25 26 C' XH' YH'
    
```

Sigma 0 used for estimation of standard deviations: 50.54 (1/1000)

Par.no	Parameter value (1/1000)	Standard dev. (1/1000)	Value/Stand.dev	Total correlation
17	-859.1	50.6	-17.0	0.04
25	33685.3	129.6	259.9	0.02
26	-5975.0	610.6	-9.8	0.05
C'	-77.7	97.5	-0.8	0.03
XH'	1.2	69.3	0.0	0.02
YH'	-53.9	82.6	-0.7	0.06

BINGO 5.5 Feb. 2008 11:57:01 Wednesday, 6 May 2009

RESULTS OF ADJUSTMENT SIGMA 0 = 50.54 (1/1000)

Exterior orientation data

Type	Photo	X	Y	Z	Phi	Omega	Kappa
		(1/1000)					
+- S							
T	2001	462856.794	5102215.956	348.541	-135.3963	-7.3528	0.0983
+-		4.	5.	7.	47.0	81.9	36.9
T	2002	462855.940	5102210.848	348.534	-88.0803	-7.2123	-1.0755
+-		4.	5.	7.	47.6	78.3	29.2
T	2003	462853.641	5102212.539	348.490	-95.4710	-10.3773	-1.0847
+-		7.	7.	13.	47.3	105.8	28.1


```

T      2004  462852.265  5102217.235  348.410 -127.6862  -9.7525  -0.8461
+-      9.      9.      14.      39.7      91.8      28.0

T      2005  462850.752  5102210.018  348.466  -85.8104  -10.8255  -0.2781
+-      9.      10.     16.      49.3      95.2      38.3
    
```

Mean photo scale: 0.0555

RMS precision values of photo orientations from Qxx matrix (X,Y,Z,phi,omega,kappa): (1/1000)

```

7.      7.      12.     46.3     91.1     32.4
    
```

Poorest precision values of photo orientations from Qxx matrix (X,Y,Z,phi,ome,kap): (1/1000)

```

9.      10.     16.     49.3     105.8    38.3
    
```

Camera data

Camera 2

```

Camera constant c'      : 124.9223
+-S      (1/1000)      : 97.5

Principal point PPA xH', yH' : -0.0495  -1.0816
+-S      (1/1000)      : 69.3      82.6

Additional parameters   : Format factor = 1.000000

17      25      26

-0.8591  33.6853  -5.9750
    
```

Radial symmetric lens distortion from additional radial parameters (1/1000)

Distortion values; First value for R = 10.0 (= Step width)

```

1300.6 2487.4 3487.1 4230.6 4653.3 4695.1 4300.0 3416.4 1997.4 0.0
-2614.1 -5878.8 -9824.0
    
```

New radial symmetric lens distortion (sum from input values and additional parameters)

Distortion values; First value for R = 4.0 (= Step width)

```

529.0 1047.2 1549.5 2031.1 2487.4 2913.7 3305.5 3658.4 3968.2 4230.6
4441.7 4597.4 4694.0
    
```

Coordinates of object points

```

Point      X      Y      Z      +- S X      S Y      S Z
              ( 1 / 1 0 0 0 )
    
```

```

3  462862.055  5102218.388  346.554  5.  2.  3.
4  462861.658  5102215.977  346.560  4.  1.  2.
5  462861.274  5102213.556  346.557  4.  1.  2.
6  462860.883  5102211.140  346.554  4.  1.  2.
7  462860.496  5102208.718  346.555  4.  2.  2.
8  462860.103  5102206.303  346.556  5.  2.  3.
9  462859.863  5102204.740  346.547  5.  2.  4.
50 462861.377  5102214.162  346.569  4.  2.  2.
103 462862.055  5102218.387  347.338  5.  2.  2.
104 462861.661  5102215.973  347.332  4.  1.  2.
105 462861.277  5102213.554  347.332  3.  1.  2.
106 462860.887  5102211.139  347.331  3.  1.  2.
107 462860.497  5102208.722  347.333  3.  2.  2.
108 462860.115  5102206.302  347.328  5.  2.  3.
109 462859.872  5102204.737  347.326  5.  2.  4.
202 462862.444  5102220.804  348.559  6.  2.  4.
    
```

203	462862.062	5102218.385	348.563	5.	2.	2.
204	462861.669	5102215.971	348.562	4.	1.	2.
205	462861.274	5102213.554	348.563	3.	1.	2.
206	462860.882	5102211.138	348.560	3.	1.	1.
207	462860.500	5102208.720	348.558	3.	2.	2.
208	462860.106	5102206.301	348.557	4.	2.	3.
209	462859.837	5102204.737	348.555	5.	2.	4.
302	462862.456	5102220.803	349.788	6.	2.	4.
303	462862.064	5102218.387	349.790	5.	2.	2.
304	462861.677	5102215.973	349.794	4.	1.	2.
305	462861.274	5102213.554	349.792	4.	1.	2.
306	462860.883	5102211.138	349.791	4.	1.	2.
307	462860.493	5102208.718	349.791	4.	2.	2.
308	462860.102	5102206.301	349.788	5.	2.	3.
309	462859.842	5102204.737	349.790	5.	2.	4.
402	462862.447	5102220.803	351.011	6.	2.	4.
403	462862.059	5102218.387	351.012	6.	2.	4.
404	462861.665	5102215.971	351.022	6.	2.	4.
407	462860.497	5102208.722	351.019	5.	2.	3.
408	462860.118	5102206.304	351.020	5.	2.	4.
409	462859.868	5102204.740	351.026	5.	2.	4.
1001	462861.087	5102212.335	349.769	4.	1.	2.
1002	462861.467	5102214.753	348.543	4.	1.	2.
1003	462861.090	5102212.337	348.539	3.	1.	2.
1004	462861.469	5102214.754	347.310	4.	1.	2.
1005	462861.084	5102212.336	347.311	4.	1.	2.
1006	462861.466	5102214.754	346.566	4.	1.	2.
1007	462861.080	5102212.337	346.566	4.	1.	2.
1012	462860.699	5102209.923	349.766	7.	2.	3.
1013	462860.697	5102209.922	348.539	7.	2.	2.
1014	462860.692	5102209.921	347.311	7.	2.	3.
1016	462861.463	5102214.754	349.767	4.	1.	2.
1102	462861.377	5102214.160	348.591	4.	2.	2.
1104	462861.371	5102214.161	347.362	4.	2.	2.
10001	462861.669	5102215.946	346.939	5.	2.	2.
10002	462861.467	5102214.753	346.942	4.	2.	2.
10003	462861.283	5102213.579	346.941	4.	2.	2.
10004	462861.085	5102212.337	346.940	4.	2.	2.
10005	462860.884	5102211.115	346.938	4.	2.	2.
10012	462861.373	5102214.161	346.943	4.	2.	2.
11001	462861.564	5102215.348	347.311	4.	2.	2.
20001	462861.669	5102215.947	347.947	5.	2.	2.
20002	462861.469	5102214.752	347.949	4.	2.	2.
20003	462861.278	5102213.575	347.948	4.	2.	2.
20004	462861.089	5102212.334	347.947	4.	2.	2.
20005	462860.884	5102211.117	347.947	4.	2.	2.
20006	462860.695	5102209.920	347.945	4.	2.	2.
20007	462860.476	5102208.710	347.947	5.	3.	2.
20012	462861.375	5102214.158	347.950	4.	2.	2.
21000	462861.569	5102215.347	347.951	4.	2.	2.
21001	462861.571	5102215.347	348.539	4.	2.	2.
22000	462861.181	5102212.931	347.359	4.	2.	2.
22001	462861.184	5102212.929	347.949	4.	2.	2.
22200	462861.182	5102212.930	346.939	4.	2.	2.
22201	462861.179	5102212.930	346.569	4.	2.	2.
30001	462861.668	5102215.944	349.175	5.	2.	2.
30002	462861.464	5102214.753	349.175	4.	2.	2.
30003	462861.275	5102213.575	349.178	4.	2.	2.
30004	462861.084	5102212.336	349.173	4.	2.	2.
30005	462860.883	5102211.115	349.176	4.	2.	2.
30006	462860.692	5102209.922	349.173	4.	2.	2.
30012	462861.375	5102214.158	349.181	4.	2.	2.
31001	462861.571	5102215.341	349.771	5.	2.	2.
32001	462861.181	5102212.929	348.589	4.	2.	2.
40001	462861.378	5102214.156	349.772	4.	2.	2.
41000	462861.180	5102212.928	349.179	4.	2.	2.
41001	462861.176	5102212.931	349.770	4.	2.	2.
49999	462860.988	5102211.746	346.942	4.	2.	2.
50001	462860.992	5102211.744	347.946	4.	2.	2.
50002	462860.989	5102211.744	348.587	4.	2.	2.
50003	462860.988	5102211.744	349.178	4.	2.	2.
50004	462860.976	5102211.745	349.766	4.	2.	2.
60000	462860.795	5102210.515	346.566	4.	2.	3.
60001	462860.793	5102210.514	346.937	4.	2.	2.
60002	462860.792	5102210.513	347.358	4.	2.	2.
60003	462860.792	5102210.515	347.949	4.	2.	2.
60004	462860.795	5102210.512	348.539	4.	2.	2.

70002 462860.606 5102209.327 347.947 4. 3. 2.

RMS precision values of object points (X,Y,Z): 4. 2. 2. (1/1000)
 Poorest precision values of object points (X,Y,Z): 7. 3. 4. (1/1000)
 RMS precision values of control points (X,Y,Z): 5. 2. 3. (1/1000)
 (Computed from Qxx matrix)

Residuals of photo coordinates list limit = 4.0 * sigma

Point	Photo	Vx'	Vy'	Rx'% Ry'%	Wx'	Wy'	Nabla x' y'
		(1 / 1 0 0 0)					(1 / 1 0 0 0)

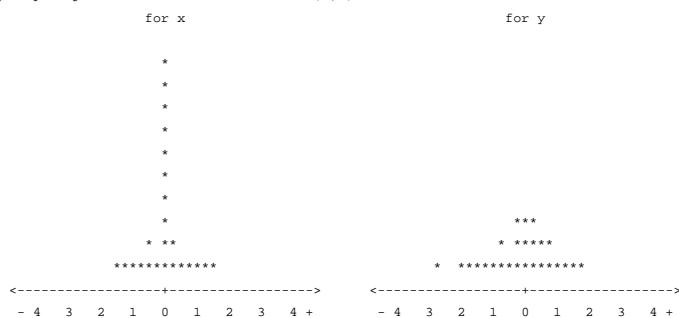
Residuals of photo measurements (x', y') in photo space:

RMS	25.5	39.1
MAX	82.1	137.3

RMS residuals of all other photo measurements transformed to object space: (1/1000)

RMS	1.	1.	2.
-----	----	----	----

Frequency of photo measurement residuals N(0,1) :



Residuals List limit = 1.0 * sigma

Type	No.1	No.2	Residual (1/1000)	Rii%	W	Nabla L (1/1000)
CONT Y	3		-1.1	23	-1.1	
CONT Y	4		4.3	58	2.8	*
CONT Z	4		10.7	82	2.3	*
CONT Z	5		7.0	84	1.5	
CONT Y	6		-1.5	54	-1.0	
CONT Y	7		-1.8	40	-1.5	
CONT X	8		-9.2	63	-1.5	
CONT Y	8		0.3	15	0.4	
CONT Z	8		5.9	66	1.4	
CONT X	9		12.3	57	2.0	*
CONT Y	9		0.5	1	2.0	
CONT Y	103		-0.3	24	-0.3	
CONT Y	104		2.0	62	1.3	
CONT Y	107		2.4	42	1.9	
CONT Y	108		0.3	15	0.4	
CONT Z	108		-7.0	70	-1.7	
CONT X	109		19.5	61	3.1	-31.9 **
CONT Y	109		0.8	1	3.4	-56.4 **
CONT Z	109		-6.5	46	-1.9	
CONT Y	202		0.3	3	0.8	
CONT Z	202		-5.9	42	-1.8	
CONT Y	203		-1.3	25	-1.3	
CONT Z	207		-4.9	90	-1.0	
CONT Y	208		-0.8	16	-1.0	
CONT Z	208		-4.9	72	-1.1	
CONT X	209		-14.7	64	-2.3	*
CONT Y	209		-0.6	1	-2.3	*
CONT Z	209		-6.5	48	-1.9	
CONT X	302		10.0	45	1.9	
CONT Y	302		-0.6	3	-1.6	
CONT Z	302		-4.5	42	-1.4	

CONT Y	303	0.9	24	0.9	
CONT X	304	8.2	75	1.2	
CONT X	306	-7.5	80	-1.0	
CONT X	307	-8.0	80	-1.1	
CONT Y	307	-2.9	38	-2.3	*
CONT X	308	-8.2	68	-1.2	
CONT Y	308	-1.4	14	-1.9	
CONT X	309	-11.1	63	-1.7	
CONT Y	309	-0.4	1	-1.7	
CONT Y	402	0.2	3	0.5	
CONT Z	402	-8.2	41	-2.6	*
CONT Y	403	0.4	5	1.0	
CONT Z	403	-6.0	45	-1.8	
CONT Y	404	0.1	7	0.2	
CONT Z	404	4.4	49	1.2	
CONT Y	407	0.1	4	0.3	
CONT X	408	8.2	60	1.3	
CONT Y	408	0.4	2	1.5	
CONT X	409	11.5	56	1.9	
CONT Y	409	0.7	2	2.9	*
CONT Z	409	8.0	46	2.4	*
CONT Y	1002	-1.8	56	-1.2	
CONT Z	1002	5.0	88	1.1	
CONT Y	1006	-1.5	54	-1.0	
CONT X	1012	5.4	30	1.2	
CONT Y	1012	1.6	39	1.3	
CONT X	1013	3.6	23	0.9	

Type	No.1	No.2	Residual (1/1000)	Rii%	W	Nabla L (1/1000)
c'	2		-77.7	3	-4.3	2427.0 ***

RMS control point residuals: 6. 1. 4. (1/1000)
 Maximum control point residuals: 19. 4. 11. (1/1000)
 (Computed from real residuals)

Test : v(T)Pv = 7.050376E-01 O.K.
 l(T)Pl - n(T)x = -v(T)Pl = 7.050376E-01

Test : Sum. of red. = 276.000 O.K.
 f = n-u+d = 276

A posteriori variance-component estimation

Test value = s(a posteriori) / s(a priori)

Group	Test Value	No. of Obs.	Redundancy
Photo coordinates	0.99	450	193.77
Camera data incl. vector e'	1.03	3	0.85
Coordinates of control points	1.00	141	81.39
Control points in X	0.98	47	31.17
Control points in Y	1.07	47	15.96
Control points in Z	0.97	47	34.26
Sum of all observations	0.99	594	

Results written on ITERA FILE

END BINGO elapsed time: 1 sec