

PRIMERJAVA METRIČNE NATANČNOSTI ANALOGNEGA IN DIGITALNEGA FOTOAPARATA VISOKE LOČLJIVOSTI

METRIC ACCURACY COMPARISON OF THE ANALOGUE AND HIGH RESOLUTION DIGITAL CAMERAS

Boštjan Pucelj, Mojca Kosmatin Fras, Dejan Grigillo

UDK: 528.71:771.3

POVZETEK

Članek opisuje preizkus zmogljivosti današnjih nemetričnih digitalnih fotoaparatorov, ki jih lahko uporabljamo v fotogrametriji. V preizkusu smo digitalni nemetrični fotoaparati visoke ločljivosti in formata leica Canon Eos 1Ds primerjali z analognim metričnim fotoaparatom Rolleiflex 6006 metric. Preizkus je temeljil na enoslikovnem izvrednotenju z uporabo projektivne transformacije. Natančnost in kakovost digitalnega fotoaparata smo ocenili iz koordinatnih razlik izmerjenih kontrolnih in detajlnih točk z obema fotoaparatom. Rezultati so pokazali, da se digitalni fotoaparati visoke ločljivosti po kakovosti in natančnosti zaenkrat še ne morejo popolnoma enačiti z metričnimi analognimi fotoaparati, ki jih uporabljamo v fotogrametriji, vendar so primerni za tiste fotogrametrične bližeslikovne aplikacije, katerih želena natančnost je okrog 1 cm pri objektih velikih okoli 10 metrov.

KLJUČNE BESEDE

enoslikovna fotogrametrija, digitalni fotoaparati, visoka ločljivost, test natančnosti

Klasifikacija prispevka po COBISS-u: 1.02

ABSTRACT

The article describes the efficiency test of contemporary non-metric digital cameras for photogrammetric application. In the test, the high resolution leica format non-metric digital camera Canon Eos 1Ds was compared with the analogue camera Rolleiflex 6006 metric. The single image method based on the projective transformation was applied. The quality and accuracy of the digital camera was estimated from the co-ordinate differences between the same control and detail points captured from the non-metric and metric images, respectively. The results have shown that the digital non-metric high resolution cameras still do not reach entirely the performance of metric cameras, however they can replace metric cameras in certain applications where around 1 cm geometric accuracy with 10-metre objects is satisfactory.

KEY WORDS

single image photogrammetry, digital camera, high resolution, accuracy test

1 UVOD

Fotogrametrične metode predstavljajo merske postopke, s katerimi lahko določimo in predstavimo geometrične mere ravninskih ali prostorskih objektov. Predvsem se te metode uporabljajo tam, kjer imamo razsežnejše meritve oziroma zajemamo veliko število točk. Za fotografiranje objektov se danes večinoma uporabljajo metrični analogni fotoaparati. S hitrim razvojem digitalne tehnologije so na razpolago vedno bolj zmogljivi in kakovostni digitalni fotoaparati. V preizkusu smo primerjali kakovost, ki jo dosežemo s klasičnim metričnim analognim in nemetričnim

digitalnim fotoaparatom pri enakih pogojih fotografiranja in postopku izvedenja. Uporabili smo enoslikovni postopek, v katerem smo s projektivno transformacijo izračunali ravninske koordinate točk na ravnem objektu. Končna ocena natančnosti digitalnega fotoaparata je bila izračunana iz koordinatnih odstopanj na kontrolnih in detajlnih točkah, pri čemer smo meritve, pridobljene z analognim fotoaparatom, privzeli kot dane.

Uporabili smo analogni fotoaparati srednjega formata Rolleiflex 6006 metric, ki ga za fotografiranje uporablja Geodetski inštitut Slovenije. Ker si v Sloveniji ni bilo mogoče izposoditi digitalnega fotoaparata srednjega formata (cena okoli 10 milijonov SIT), smo si sposodili digitalni fotoaparati z največjo ločljivostjo formata leica (Canon EOS 1Ds, cena okoli 2 milijona SIT).

1.1 Digitalni fotoaparati Canon EOS 1Ds

Digitalni fotoaparati Canon EOS 1Ds ima vgrajeno svetlobno tipalo CMOS (aktivni tip). Na tržišče je prišel decembra leta 2002 in je eden redkih modelov, ki ima velikost senzorja približno enako formatu 'leica' (36 mm x 24 mm). Fotoaparati je zrcalno refleksnega tipa in je imel v času izvedbe preizkusa v tem razredu tudi največjo ločljivost (11 M pikselov velikosti 8,8 mm, velikost digitalne fotografije 4064 x 2704 pikselov). Fotoaparati omogoča uporabo več vrst objektivov. Pri fotografiranju smo uporabili tri fiksne objektivne (brez spremenljive goriščne razdalje) z različnimi goriščnicami (24 mm, 50 mm, 100 mm).

2 METODA PREIZKUSA

Za preizkus smo izbrali enoslikovno metodo fotogrametričnega izvedenja. V ta namen smo izbrali raven objekt, kar je omogočilo izračun ravninskih koordinat in izdelavo ortofoto načrta objekta z uporabo enačb projektivne transformacije:

$$X = \frac{a_1x + a_2y + a_3}{c_1x + c_2y + 1}, \quad Y = \frac{b_1x + b_2y + b_3}{c_1x + c_2y + 1}. \quad (2.1)$$

Parametre projektivne transformacije smo izračunali na podlagi šestih oslonilnih točk, ki so bile razporejene po obodu objekta. Med oslonilnimi točkami, ki smo jih izmerili z vsemi tremi prostorskimi koordinatami, smo izračunali regresijsko ravnino, na katero smo projicirali vse izmerjene točke. Tako smo za namen izvedbe preizkusa vzpostavili lokalni ravninski koordinatni sistem. Koordinatna odstopanja med meritvami z analognim in digitalnim fotoaparatom smo izračunali na sedmih kontrolnih in štiriindvajsetih izbranih detajlnih točkah.

3 PRIPRAVA NA FOTOGRAFIRANJE

Za testni objekt smo izbrali fresko na fasadi študentskega doma ŠD3 študentskega naselja Mestni log v Ljubljani. Freska je enostavno dostopna, primerno velika, leži na ravni podlagi in zunanji površini stavbe, tako da ne potrebujemo dodatne osvetlitve, v bližnji okolici ni večjih objektov, ki bi metali senco, poleg tega z meritvami nismo zelo motili okolice.



Slika 1: Razporeditev oslonilnih (kvadrati) in kontrolnih točk

Za signalizacijo oslonilnih in kontrolnih točk smo uporabili retrotarče. Oslonilne in kontrolne točke smo izmerili (kote in dolžine) z elektronskim tahimetrom Leica TC605 v lokalnem koordinatnem sistemu z dveh stojišč v dveh girusih. Njihove prostorske koordinate smo določili z zunanjim urezom, položajni pogreški točk v izravnavi niso presegle 1 mm. Razporeditev oslonilnih in kontrolnih točk na objektu prikazuje slika 1.

4 FOTOGRAFIRANJE

Fresko smo posneli z analognim fotoaparatom srednjega formata Rolleiflex 6006 metric in digitalnim fotoaparatom Canon EOS 1Ds z razdalje približno pet metrov. Merilo podob je tako pri uporabi 50 milimetrskega objektivna 1 : 100.

4.1 Fotografiranje z analognim fotoaparatom

Metrični fotoaparati Rolleiflex 6006 metric ima vgrajeno ploščo réseau z vgraviranimi 121 križi, ki imajo znan zelo natančen položaj v slikovnem koordinatnem sistemu. Uporabili smo objektiv z goriščno razdaljo 50 mm (Distagon 4/50 mm metric) in fotografski film Fuji Velvia 50, katerega teoretična ločljivost (za dobro in pravilno osvetlitev) je 160 lp/mm. To pomeni, da je srednja vrednost fotografske ločljivosti na posnetku preračunana v dolžino 6,25 μm .

Pri fotografiranju je treba paziti na naslednje:

- fotoaparati naj bo postavljen čim bolj na sredini objekta,
- optična os naj bo čim bolj pravokotna na ravnino fotografiranja,
- ostrina mora biti natančno naravnana na objekt,
- leča objektivna mora biti čista,
- plošča réseau mora biti čista,

- čas osvetlitve mora biti primeren (če je ta prekratek, je treba uporabiti stojalo),
- objekt mora biti enakomerno osvetljen,
- doseči moramo ustrezno globinsko ostrino objekta.

4.2 Fotografiranje z digitalnim fotoaparatom

Fotografiranje z digitalnim fotoaparatom EOS 1Ds smo opravili z nastavitvami, ki omogočajo najboljšo končno podobo (z največjo ločljivostjo in brez nastavitvev, ki bi vplivale na kakovost podobe), z občutljivostjo ISO 100. Podobe smo shranili brez kompresije v zapisu RAW. Pri fotografiranju smo uporabili tri že omenjene objektivne brez spremenljive goriščne razdalje. Pri fotografiranju z istega stojišča vidimo pri fotoaparatu formata 'leica' z goriščno razdaljo 24 mm objekt v enakem obsegu kot pri fotoaparatu srednjega formata z goriščno razdaljo 50 mm. Ker je bila radialna distorzija 24 mm objektivna zelo velika, smo za končno analizo uporabili 50 mm objektiv (Canon 50 f/1,4). Sicer ima najmanjšo distorzijo 100 mm objektiv. Pri fotogrametričnih fotografiranjih se uporablja predvsem širokokotne in normalnokotne objektivne, ker ponavadi fotografiramo večje površine (fasade, pročelje) ali pa smo omejeni s prostorom stojišča (poraščenost z drevjem, notranji prostori).

Pri fotografiranju z digitalnim fotoaparatom je treba poleg zgoraj omenjenih pogojev, ki veljajo za fotografiranje z analognim fotoaparatom, dodatno paziti še na naslednje:

- čistost svetlobnega tipala (pri fotoaparatih s snemljivimi objektivni),
- velikost spominske kartice (datoteke so ponavadi velike),
- polne baterije (oziroma rezervne baterije).

Za pridobitev podatkov o notranji orientaciji fotoparata, predvsem radialne distorzije objektivna, smo z istimi nastavitvami fotoparata kot za fotografiranje objekta naredili še štiri podobe testnega polja. Testno polje je predstavljala ravna plošča velikosti 42 cm x 59,4 cm (format A2). Na njej je v medsebojni oddaljenosti 26 mm v 15 vrsticah in 21 stolpcih razporejeno 315 točk (krogi s premerom treh milimetrov). Njihove koordinate so bile določene z nonijskim merilom.

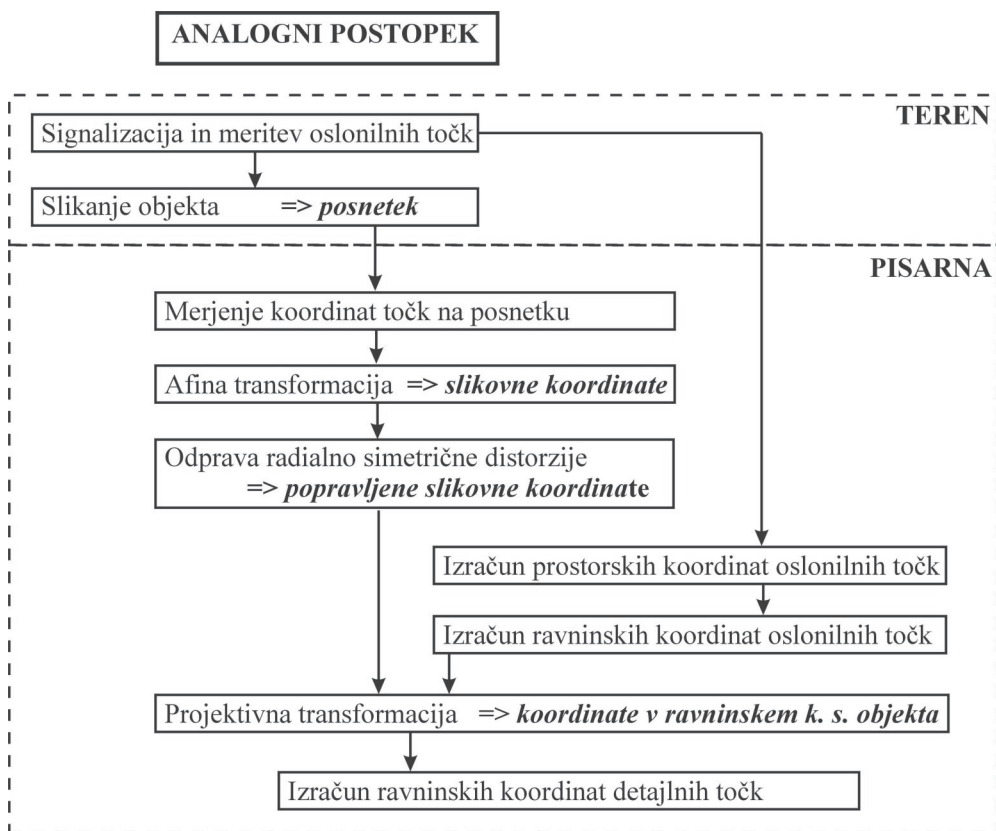
5 OBDELAVA PODATKOV

Obdelava analognih posnetkov, zapisanih na fotografski film, in digitalnih posnetkov (podob) se je nekoliko razlikovala. Izvrednotenje analognih podatkov je bilo v največji možni meri analitično, medtem ko smo meritve na podobah digitalnega fotoparata izvajali na izdelanem ortofotu. Končni rezultat so predstavljale koordinate vseh točk v projektivni ravnini objekta.

5.1 Analogni postopek

Ker za merjenje slikovnih koordinat na analognih posnetkih nismo imeli na razpolago analitičnega inštrumenta, smo fotografije skenirali s fotogrametričnim optičnim čitalcem PhotoScan Z/I Imaging, ki ga ima v Sloveniji firma DFG CONSULTING d.o.o. Na skeniranih podobah smo izmerili strojne koordinate devetih križev plošče réseau, vseh oslonilnih, kontrolnih in izbranih detajlnih točk. Točke smo merili ročno s subpikselsko natančnostjo. Na podlagi podatkov

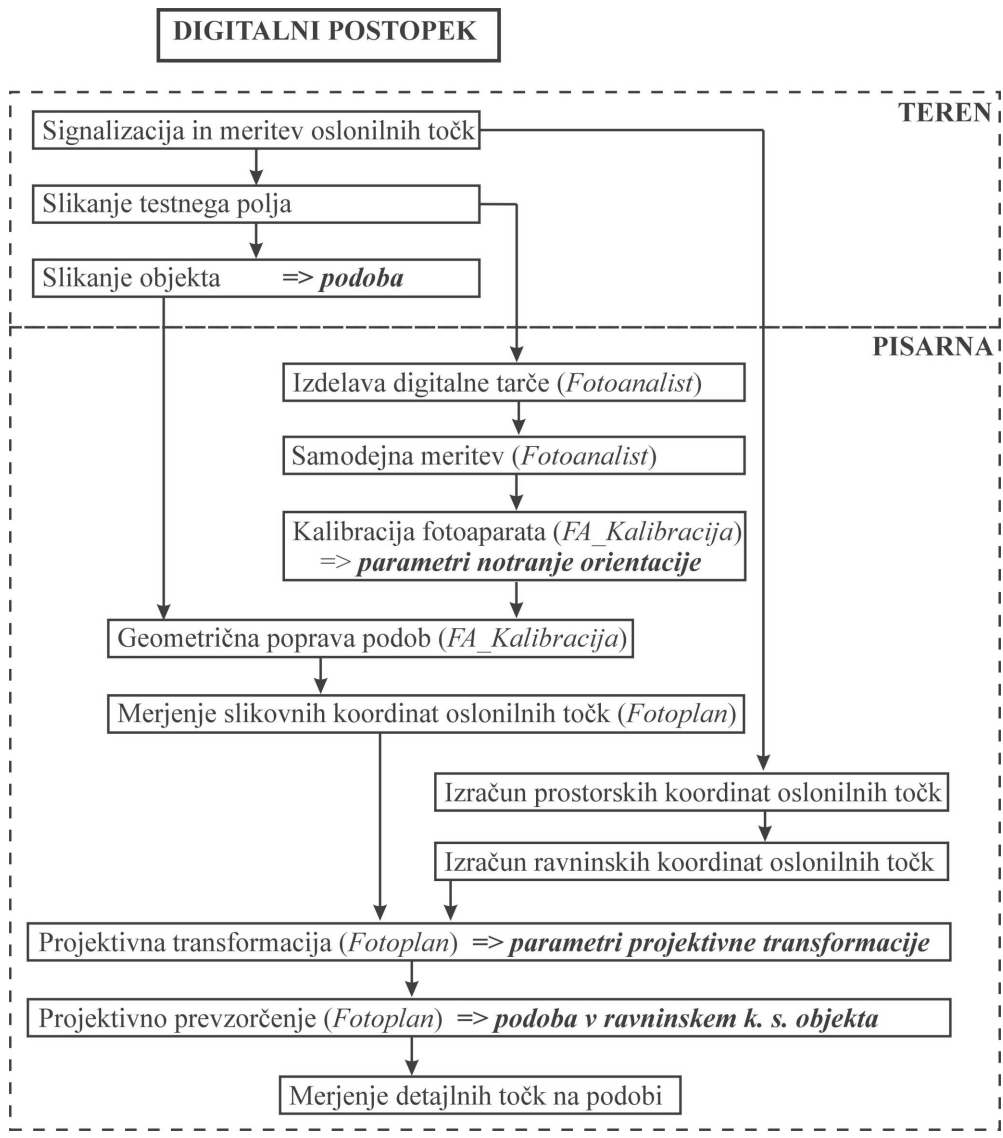
laboratorijske kalibracije fotoaparata Rollei smo izmerjene koordinate točk z afino transformacijo preslikali v slikovni koordinatni sistem in iz meritev odpravili sistematični pogrešek radialne distorzije objektiva. Tako popravljene slikovne koordinate točk smo na podlagi oslonilnih točk s projektivno transformacijo preslikali še v ravninski koordinatni sistem in s tem dobili končne koordinate. Postopek prikazuje slika 2.



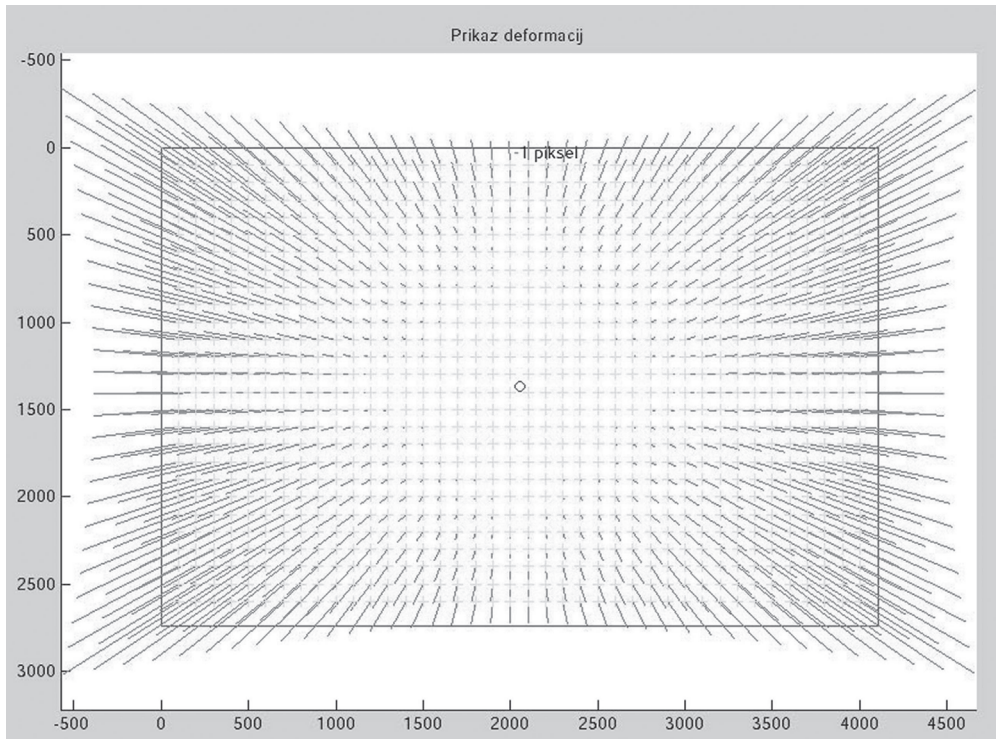
Slika 2: Analogni postopek pri enoslikovni fotogrametrični izmeri.

5.2 Digitalni postopek

Podobe smo obdelali v programskem paketu Modifoto, ki ga sestavljajo moduli Fotoanalist, FA_Kalibracija in Fotoplan (Grigillo, 2003). Na podlagi posnetkov testnega polja smo najprej izvedli kalibracijo digitalnega fotoaparata, ki je omogočila odpravo pogreškov radialne distorzije iz podobe objekta. Popravljeno podobo smo s projektivnim prevzorčenjem preslikali v ravninski koordinatni sistem oslonilnih točk (projektivno ravnino). Na ta način smo dobili ortofoto načrt objekta, na katerem smo ročno s subpikselsko natančnostjo izmerili koordinate vseh točk. Postopek prikazuje slika 3. Ugotovljeno simetrično radialno distorzijo prikazuje slika 4.



Slika 3: Digitalni postopek pri enoslikovni fotogrametrični izmeri.



Slika4: Prikaz simetrične radialne distorzije objektiv Canon 50 mm f/1,4.

6 REZULTATI

V končni analizi rezultatov smo med seboj primerjali koordinate točk, pridobljene z geodetskimi meritvami, izračunane koordinate s posnetka Rollei in koordinate, dobljene z meritvami na podobi, narejeni z digitalnim fotoaparatom Eos 1Ds. Geodetske meritve smo po metodi najmanjših kvadratov preslikali v projektivno ravnino, ki se je najbolj prilegala oslonilnim točkam. Ista ravnina je bila uporabljena tudi za vse fotogrametrične meritve.

Za nazornejši prikaz zmogljivosti digitalnega fotoaparata visoke ločljivosti Eos 1Ds smo v analizo vključili še manj zmogljiv digitalni fotoaparati Sony DSC-V1 z velikostjo tipala 7,2 mm x 5,3 mm in največjo ločljivostjo 2592 x 1944 pikselov. Podobe fotoaparata DSC-V1 smo obravnavali na enak način kot podobe fotoaparata Eos 1Ds (slikanje testnega polja, kalibracija, odprava sistematičnega pogreška radialne distorzije, izdelava ortofoto načrta).

6.1 Primerjava kontrolnih točk

Pri analizi meritev na kontrolnih točkah smo geodetske meritve privzeli kot dane. Za ostale meritve smo z enačbami (6.1) izračunali srednje pogreške koordinatnih odstopanj:

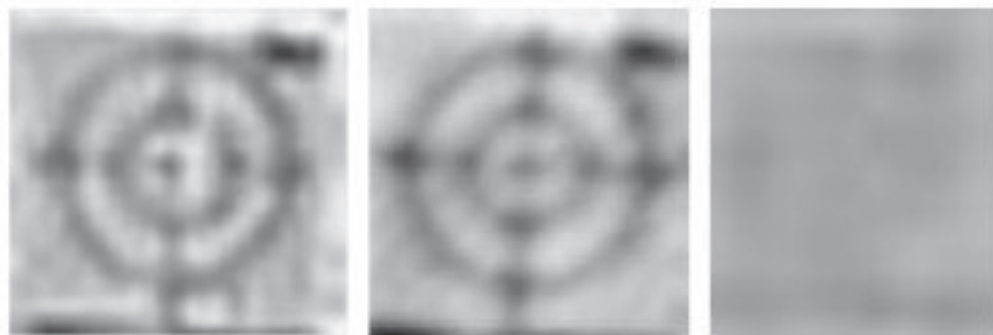
$$\begin{aligned}
 RMSE(x) &= \sqrt{\frac{\sum dx^2}{n}}, & RMSE(y) &= \sqrt{\frac{\sum dy^2}{n}}, \\
 RMSE(xy) &= \sqrt{\frac{\sum (dx^2 + dy^2)}{n}}, & &
 \end{aligned}
 \tag{6.1}$$

kjer dx in dy predstavljajo koordinatne razlike fotogrametrično določenih točk glede na geodetske meritve, n pa število merjenih kontrolnih točk. Koordinatne razlike so najmanjše pri fotografiranju z analognim fotoaparatom (položajni pogrešek znaša 1,7 mm), sledi digitalni fotoaparati Canon EOS 1Ds (položajni pogrešek 3,9 mm), največje razlike pa so pri običajnem digitalnem fotoaparatu (položajni pogrešek 6,8 mm). Z digitalnim fotoaparatom večje ločljivosti smo dosegli občutno večjo natančnost kot z digitalnim fotoaparatom manjše ločljivosti, kar smo tudi pričakovali. Rezultate prikazuje preglednica 1.

	Rolleiflex	EOS 1Ds	DSC-V1
RMSE(x) [mm]	0,85	2,74	5,21
RMSE(y) [mm]	1,51	2,81	4,38
RMSE(xy) [mm]	1,73	3,92	6,80

Preglednica 1: Primerjava natančnosti izmerjenih kontrolnih točk.

Največjo težavo pri merjenju koordinat je predstavljala geometrična ločljivost podob. Ta je bila najvišja na skenirani podobi analognega posnetka fotoaparata Rolleiflex, kjer so bile retrotarče zelo dobro vidne in jasno določene. Prepoznavnost tarč pri digitalnem fotoaparatu visoke ločljivosti je bila zadovoljiva. Pri običajnem digitalnem fotoaparatu v večini primerov nismo mogli nedvoumno prepoznati sredine retrotarče. Če primerjamo tarči podob, pridobljenih iz digitalnega fotoaparata Canon EOS 1Ds in Sony DSC-V1 (slika 5), lahko ugotovimo, da poleg ločljivosti tipala na končno prepoznavnost in izris podobe vplivajo tudi druge značilnosti fotoaparata (optika, vrsta svetlobnega tipala).



Slika 5: Primerjava tarč (oslonilna točka 7), izrezanih iz podob (Rolleiflex, EOS 1Ds, DSC-V1).

6.2 Primerjava detajlnih točk

Za analizo meritev detajlnih točk smo koordinate, pridobljene s posnetka analognega fotoaparata Rollei, vzeli kot dane. Za oba digitalna fotoaparata smo izračunali koordinatna odstopanja dx , dy in položajne srednje pogreške (enačbe 6.1). Koordinatna odstopanja so bila manjša pri meritvah z digitalnim fotoaparatom visoke ločljivosti (srednji položajni pogrešek 3,5 mm) kot pri običajnem digitalnem fotoaparatu (50,8 mm). Rezultate prikazuje preglednica 2.

	EOS 1Ds	DSC-V1
RMSE(x) [mm]	2,68	21,19
RMSE(y) [mm]	2,20	46,17
RMSE(xy) [mm]	3,46	50,80

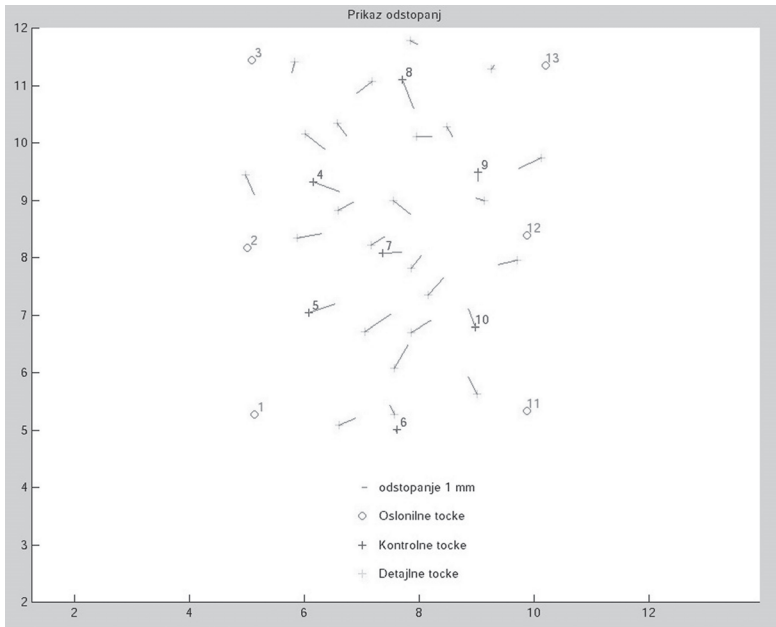
Preglednica 2: Primerjava natančnosti izmerjenih detajlnih točk.

S fotoaparatom višje ločljivosti smo dosegli občutno večjo natančnost meritev. Z boljšim fotoaparatom (z višjo ločljivostjo in kakovostnejšo optiko) se tudi izognemo grobim pogreškom pri meritvi točk, ki so se pojavili pri meritvah na podobah, narejenih s slabšim digitalnim fotoaparatom (slika 8), kljub temu, da so bile detajlne točke nedvoumno opredeljene. Primer detajlne točke prikazuje slika 6. Grobih pogreškov meritev, pridobljenih na podobah, narejenih s Sonyjevim fotoaparatom DSC-V1, namenoma nismo izločili iz obravnave, s čimer želimo opozoriti na previdnost pri uporabi nemetričnih digitalnih fotoaparatorov v fotogrametrične namene. Če bi izpustili meritve na detajlnih točkah 103, 111 in 114, na katerih je že iz slike 8 jasno razvidna prisotnost grobih pogreškov, bi srednji položajni pogrešek za fotoaparata DSC-V1 znašal 8,37 milimetrov.

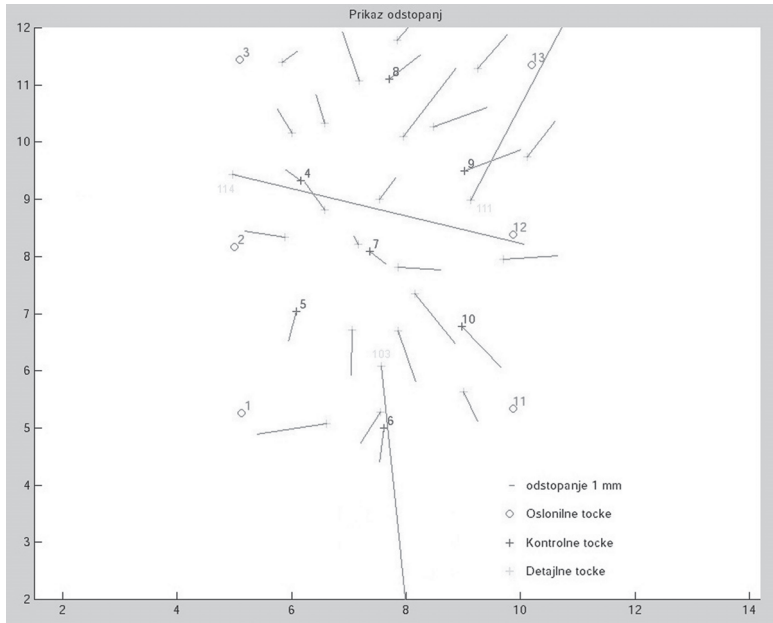


Slika 6: Detajlna točka 105, izrezana iz različnih podob (Rolleiflex, EOS 1Ds, DSC-V1).

Sliki 7 in 8 grafično prikazujeta ugotovljena odstopanja na kontrolnih in detajlnih točkah.



Slika 7: Prikaz odstopanj meritev na podobi, narejeni z digitalnim fotoaparatom EOS 1Ds.



Slika 8: Prikaz odstopanj meritev na podobi, narejeni z digitalnim fotoaparatom DSC-V1.

7 ZAKLJUČEK

Prednost digitalnih fotoaparátov je v hitrosti obdelave podob in v cenejšem postopku pridobitve metričnih podatkov. Izognemo se napakam kemične obdelave fotografskega materiala, napakam skeniranja in nepravilni osvetlitvi. Natančnost in notranja stabilnost fotoaparata je zaenkrat še vedno boljša pri metričnem analognem fotoaparatu. Pri preizkusu smo primerjali nemetrični zrcalno refleksni digitalni fotoaparát visoke ločljivosti formata leica z metričnim analognim fotoaparatom srednjega formata. Medij zapisa pri analognem fotoaparatu je bil štirikrat večji, končna natančnost pa trikrat večja od digitalnega fotoaparata. To pomeni, da bi svetlobno tipalo velikosti srednjega formata (6 x 6 cm) teoretično lahko doseglo večjo in boljšo natančnost kot analogni fotoaparát srednjega formata. Za zdaj je izdelava takšnega digitalnega fotoaparata dražja od analognega. Tehnologija razvoja je danes usmerjena k izdelavi večjih svetlobnih tipal, zato lahko kmalu pričakujemo masovno proizvodnjo teh tipal, kar bi zelo pocenilo digitalne fotoaparate srednjega formata. V razvoju so tudi svetlobna tipala večje geometrične ločljivosti (trenutno najzmogljivejši fotoaparát formata leica je Canon Eos 1Ds - Mark II, ki ima 16,6 M pikselov) in tehnologija, ki omogoča zajem dodatnih metapodatkov za lažje in enostavnejše arhiviranje podob (zajem časa in kraja fotografiranja). Digitalni fotoaparát D2X podjetja Nikon ima v ohišje fotoaparata že vgrajen GPS-sprejemnik. Dostopnejša in cenovno ugodna tehnologija z ustrezno kakovostjo in primerno natančnostjo nudi tudi nove možnosti in dostopnost fotogrametričnih metod manjšim podjetjem in pri finančno šibkejših projektih.

Glede na dobljene rezultate lahko rečemo, da je digitalni fotoaparát visoke ločljivosti Canon EOS 1Ds (najverjetneje tudi ostali digitalni fotoaparati istega kakovostnega razreda) primeren za tiste fotogrametrične bližjeslikovne aplikacije, katerih želena natančnost je okrog 1 cm (npr. gradbene konstrukcije v manjših merilih; arhitekturni posnetki M 1 : 50 za projektiranje in pridobitev gradbenega dovoljenja). Ugotovljena simetrična radialna distorzija vseeno opozarja na nujnost izvedbe kalibracije digitalnih fotoaparátov in odpravo sistematičnih pogreškov objektivna iz podob za izvajanje fotogrametričnih meritev. Visoka geometrična ločljivost digitalnega senzorja omogoča nedvoumno razpoznavanje detajlov na podobah in zmanjšuje možnost pojava grobih pogreškov v fotogrametričnih meritvah. Z nekaj več previdnosti pri fotogrametričnem izrednotenju (npr. vključitev večjega števila kontrolnih točk) lahko zadovoljive rezultate dosežemo tudi z uporabo manj zmogljivih digitalnih fotoaparátov, ki jih je v našem testu zastopal fotoaparát Sony DSC-V1.

Literatura in viri

Grigillo, D. (2003). Uporaba digitalnih fotoaparotov v enoslikovni arhitekturni fotogrametriji. Magistrska naloga. Ljubljana: UL, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo.

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

Boštjan Pucelj, univ. dipl. inž. geod.

Geodetska uprava Republike Slovenije

Območna geodetska uprava Novo mesto

Ljubljanska cesta 26, SI-8000 Novo mesto

E-pošta: bosstjan.pucelj@gov.si

asist. mag. Dejan Grigillo, univ. dipl. inž. geod.

FGG - Oddelek za geodezijo, Jamova 2, SI-1000 Ljubljana

E-pošta: dejan.grigillo@fgg.uni-lj.si

doc. dr. Mojca Kosmatin Fras, univ. dipl. inž. geod.

FGG - Oddelek za geodezijo, Jamova 2, SI-1000 Ljubljana

E-pošta: mfras@fgg.uni-lj.si

Prispelo v objavo: 22. april 2005

Sprejeto: 24. maj 2005