

Miroslav KOŽUCH

DIGITÁLNE LETECKÉ KAMERY – VÝZNAMNÝ POKROK V KVALITE FOTOGRAMETRICKÝCH VÝSTUPOV

Kožuch, M.: Digital photogrammetric cameras – the significant progress in quality of photogrammetric outputs. Kartografické listy 2011, 19, 2 figs., 1 tab., 18 refs.

Abstract: This article is devoted a new record type, which is being used in digital photogrammetry. The need for direct digital capture, in which the analogue aerial photograph as well as their photographic processing in a laboratory and digitizing on the photogrammetric scanners is excluded, it has led to the construction of digital cameras. The main problem at the beginning of replacing analogue cameras by digital ones, was the low geometric resolution of recorded images. The article talks about the advantages of direct digital capture and differences to an analogue sensing. Created record has a higher radiometric image quality, and higher spatial resolution than the digitized analogue aerial photographs. It describes digital image processing of area village Malženice.

Keywords: digital aerial images, digital frame cameras, image quality, digital photogrammetry

Úvod

Technický vývoj a následné využívanie nových objavov prebieha v každej vednej disciplíne. V histórii fotogrametrie sa pri tvorbe topografických máp z leteckých nosičov postupne vystriedali vyhodnocovacie systémy od analógových, cez analytické až po digitálne. Systémy sa odlišovali v základných princípoch spracovania snímkového obrazu. Ich spoločným znakom v nedávnej minulosti bolo, že vo všetkých sa využíval rovnaký záznam vytvorený analógovou fotogrametrickou kamerou – letecká meračská snímka (LMS).

V analógových a analytických systémoch sa LMS priamo vkladala do vyhodnocovacieho fotogrametrického systému. Spracovanie LMS metódami digitálnej fotogrametrie znamenalo nahraďiť jej analógový obraz digitálnym. Vývoj digitálnych snímačov, ktoré sú schopné zachytiť obraz pomocou fotocitlivých prvkov, začal oveľa skôr, ako predstavenie prvého digitálneho fotogrametrického systému pracujúceho s digitálnym obrazom snímkového dvojice v roku 1981 (Sarjakoski, 1981).

Prvými digitálnymi snímačmi sa stali riadkové snímače, pre ktoré sa udomácnil názov skener (Žíhla a Scheer, 2001). Snímače našli uplatnenie na satelitných nosičoch diaľkového prieskumu Zeme (DPZ). Snímali zemský povrch v pruhoch, ktoré boli kolmé na smer letu nosiča snímačieho zariadenia. Koncepcia snímania obrazu po jednotlivých obrazových elementoch (pixeloch), pomocou výkyvného zrkadla do riadkov obrazu, bola úspešne overená v podobe opticko-mechanického skenera na satelite Landsat od roku 1972. Snímač vytváral obrazy v niekoľkých spektrách, ktoré sa odosielali na zemský povrch. Zdokonalenie snímača v podobe opticko-elektronického skenera sa uplatnilo v roku 1986 na satelite SPOT a neskôr aj na ďalších. Rozdiel opticko-elektronického skenera od opticko-mechanického skenera bol v princípe vzniku obrazu, keď sa vytváral jeden riadok obrazu naraz pomocou riadkového snímača umiestneného v obrazovej rovine, tzv. CCD (Charge Coupled Device) senzora.

Problém využitia riadkových snímačov bol, že spočiatku vytvárali digitálny obraz s malým počtom pixelov. Preto pre digitálnu fotogrametriu sa stále využívala analógová LMS, ktorej prevod do digitálnej podoby sa realizoval jej skenovaním na precíznych fotogrametrických skeneroch

Mgr. Miroslav KOŽUCH, PhD., Univerzita Komenského v Bratislave, Prírodovedecká fakulta, Katedra kartografie, geoinformatiky a DPZ, Mlynská dolina, 842 15 Bratislava, e-mail: kozuch@fns.uniba.sk

(Köbl a Bach, 1996). Pri skenovaní sa volilo geometrické rozlíšenie zvyčajne 15 – 20 μm , čo pri rozmere LMS 230 x 230 mm znamenalo vytvoriť digitálny obraz od 11 500 x 11 500 do 15 000 x 15 000 pixelov.

Pre fotogrametrické a tematické mapovanie bola neskôr vytvorená trojriadková digitálna kamera DPA s počtom 12 000 prvkov na jednom riadku (Čerňanský, 1998). Ako ukázali prvé testy, pre fotogrametriu sa nehodila. Vibrácie lietadla a turbulencie v jeho okolí nepriaznivo ovplyvňovali geometrické vlastnosti výsledného digitálneho obrazu. Trojriadkové kamery našli uplatnenie v DPZ a pri mapovaní planéty Mars. Až neskôr, integráciou s globálnymi navigačnými satelitnými systémami a inerciálnymi navigačnými systémami so záznamom trojriadkovej kamery, sa podarilo zostrojiť systém využiteľný aj vo fotogrametrii v podobe riadkových kamier ADS40 a HRSC-A (Fricker, 2008).

Výraznú zmenu priniesol až rok 2000, keď na XIX. kongrese Medzinárodnej spoločnosti pre fotogrametriu a diaľkový prieskum (ISPRS) v Amsterdame bola predstavená prvá digitálna fotogrametrická veľkoformátová kamera DMC od firmy Z/I-Imaging (Hinz et al., 2000), schopná po následnom spracovaní vytvoriť jeden obraz s počtom viac ako 100 miliónov pixelov (Petrie, 2010b). O tri roky neskôr, v roku 2003, predstavila digitálnu fotogrametrickú kameru aj firma Vexcel. Kamera dostala názov UltraCamD.

Krátko po roku 2000 ešte neexistovala matica senzorov, ktorá by plne zodpovedala rozlíšeniu analógovej LMS formátu 230 x 230 mm. V prípade oboch spomínaných digitálnych plošných kamier sa na vytvorenie jedného digitálneho obrazu použil podobný proces. Zloženie do výsledného obraz sa vykonalo skladaním, ktorý sa v prípade DMC realizoval zo 4, resp. u UltraCamD z 9 čiastočne sa prekrývajúcich subobrazov. Podrobnejšie sa procesu skladania obrazu v našej literatúre venujú práce (Čerňanský a Kožuch, 2006) a (Šíma, 2007).

Prvý snímač, vytvárajúci jeden obraz s počtom viac ako 100 megapixelov, bol predstavený až v roku 2006 (Petrie, 2010a). Snímač umožňoval vytvoriť naraz obraz veľkosti cca 10 500 x 10 500 pixelov, čím sa získal záznam s počtom 111 megapixelov. Pixel snímača dosahoval geometrické rozlíšenie 9 μm a veľkosť snímacej oblasti predstavovala 4 palce x 4 palce. Na základe konštrukcie tohto snímača bola vyvinutá nová rada obrazových snímačov CCD pre firmu Intergraph, ktorá našla uplatnenie v plošných kamerách DMC II 140, DMC II 230 a DMC II 250.

V súčasnosti (2011) existuje niekoľko typov veľkoformátových digitálnych plošných fotogrametrických kamier. Ich prehľad je uvedený v tab. 1. Tabuľka obsahuje názov príslušnej kamery, výrobcu, počet pixelov vytvoreného obrazu panchromatickými (PAN) a multispektrálnymi (MS) snímačmi, veľkosť pixela (geometrické rozlíšenie), rádiometrické rozlíšenie obrazu, zorný uhol, hodnoty ohniskovej vzdialenosti objektívu kamier vytvárajúcich PAN a MS obraz, rok predstavenia kamery a fyzický rozmer vytvoreného digitálneho obrazu v ohniskovej rovine.

Tab. 1 Parametre veľkoformátových digitálnych plošných fotogrametrických kamier

Kamera	Vyrobca	Počet pixelov výsledného obrazu	Veľkosť pixela	Rádiometrické rozlíšenie	Zorný uhol	f (mm)	Rok	Rozmer obrazu
DMC	Z/I Imaging	PAN 13824 x 7680 MS 3000 x 2000	12,0 μm	12 bit/pixel/pásma	74° x 44°	PAN 4 x 120 mm MS 4 x 25 mm	2000	165,9 mm x 92,2 mm
UltraCamD	Vexcel Imaging	PAN 11500 x 7500 MS 4008 x 2672	9,0 μm	>12 bit/pixel/pásma	55° x 37°	PAN 4 x 100 mm MS 4 x 28 mm	2003	103,5 mm x 67,5 mm
UltraCamX	Vexcel Imaging	PAN 14430 x 9420 MS 4992 x 3328	7,2 μm	>12 bit/pixel/pásma	55° x 37°	PAN 4 x 100 mm MS 4 x 33 mm	2006	103,9 mm x 67,8 mm
UltraCamXp	Microsoft Photogrammetry	PAN 17310 x 11310 MS 5770 x 3770	6,0 μm	>12 bit/pixel/pásma	55° x 37°	PAN 4 x 100 mm MS 4 x 33 mm	2008	103,9 mm x 67,9 mm
DMC II 140	Z/I Imaging	PAN 12240 x 11418 MS 6096 x 6846	7,2 μm	14 bit/pixel/pásma	50,7° x 47,3°	PAN 1 x 92 mm MS 4 x 45 mm	2010	87,1 mm x 80,6 mm
DMC II 230	Z/I Imaging	PAN 15552 x 14144 MS 6846 x 6096	5,6 μm	14 bit/pixel/pásma	49,4° x 47,3°	PAN 1 x 92 mm MS 4 x 45 mm	2010	cca 87 mm x 79 mm
DMC II 250	Z/I Imaging	PAN 17216 x 14656 MS 6846 x 6096	5,6 μm	14 bit/pixel/pásma	46,6° x 40,2°	PAN 1 x 112 mm MS 4 x 45 mm	2010	cca 96 mm x 82 mm
UltraCam Eagle	Microsoft Photogrammetry	PAN 20010 x 13080	5,2 μm	14 bit/pixel/pásma	meniteľný	PAN 80 / 210 mm MS 27 / 70 mm	2011	cca 104 mm x 68 mm

Výhody priameho digitálneho snímania a rozdiely od analógového snímkovania

Ihneď po uvedení nových kamier sa na trhu objavujú príspevky hovoriace o výhodách priameho digitálneho snímania. Podľa Leberl a Thurgood (2004), Thurgooda et al. (2004) sa dajú zhrnúť do týchto bodov:

- úspora financií – nevyžaduje sa žiadny spotrebný materiál, ako bola filmová podložka s citlivou vrstvou, odpadá jej chemické spracovanie a následné skenovanie, minimalizujú sa náklady na reprodukciu, znižuje sa manuálna práca,
- vyššia rádiometrická kvalita v porovnaní s digitalizovaným analógovým obrazom. Rádiometrická kvalita obrazu dosahuje až 12 bitov na pixel, čo sa prejaví na kvalite interpretácie obrazového záznamu, ako aj interpretácii prvkov zaznamenaných v zhoršených klimatických podmienkach a v zatienených oblastiach, dosahuje sa vyššia kvalita výsledkov automatických procesov pri výbere spojovacích bodov a automatického generovania výškových bodových polí,
- zvýšenie nadbytočnosti vo všetkých procesoch spracovania – nárast hodnoty stereoskopického prekrytu bez zvýšenia ceny materiálu, zvýšenie počtu obrazových bodov pri automatických procesoch spracovania, vyšší počet bodov automaticky generovaného bodového poľa výšok, v urbanizovaných oblastiach menší počet miest spôsobených zákrytom budov,
- vyššia geometrická kvalita obrazu – digitálny obraz nie je ovplyvnený deformáciou filmovej podložky, známe parametre vnútornej orientácie, obraz sa rozmnožovaním nemení a je presne identický originálu, kvalitu obrazu neovplyvňuje šum spôsobený znom filmovej podložky,
- zjednodušenie prác počas vyhotovenia a archivácie obrazu – kontrola kvality obrazu už počas procesu vytvárania záznamu, automatizácia s minimálnymi zásahmi operátora, žiadne ďalšie prístroje potrebné na filmové spracovanie, aktualizácia softvéru kamery môže prebehnúť aj cez internet, jednoduchšia archivácia a katalogizácia výsledkov snímania.

Perko et al. (2004) a Perko (2005) vykonali sériu experimentov. Vo svojich výsledkoch dokázali, že obraz vytvorený digitálnymi kamerami, v porovnaní so skenovanými farebnými analógovými filmami, je lepší v kvalite automatického výberu bodov stereodvojice o 1,8-krát, vo výbere hrán obrazu o 1,4-krát, obraz má znížený šum priemerne o 1 bit a pri jeho klasifikácii obrazu sa zmenšil počet nesprávne klasifikovaných pixelov až 1,6-krát.

Hlavný rozdiel medzi analógovým snímkaním a digitálnym snímaním je pri získaní informácií o farebnej zložke. Kým klasický farebný film zachytáva tri odlišné spektrá použitím jednej kamery na jednotlivé vrstvy filmu, v prípade digitálneho snímania je farebná informácia (modrá, zelená, červená a blízka infračervená) zaznamenávaná štyrmi samostatnými kamerami. Informácia o farbe je zachytená v nižšom geometrickom rozlíšení, ako v prípade panchromatického kanála, čo je známy postup vytvorenia obrazu u satelitov IKONOS, Quickbird a ďalších a zodpovedá aj stavbe ľudského oka s vyšším počtom tyčienok citlivých na odtiene sivej ako čapíkov citlivých na farbu (Jacobsen, 2005).

Ak chceme vytvoriť farebné obrazy v prirodzených farbách s plným rozlíšením, musíme zafarbiť panchromatický obraz farebnými obrazmi v procese panchromatického zaostrenia multispektrálneho obrazového záznamu – anglicky pansharpening (Perko, 2005). Výsledkom spracovania sa stáva farebný obraz, ktorý bude mať geometrické rozlíšenie panchromatického obrazu.

V súvislosti s digitálnymi kamerami sa mierka záznamu neurčuje von Gruberovým vzťahom medzi mierkovým číslom spracovávanej snímky m_s a vytvárajúcej mapy m_k

$$m_s = c \cdot \sqrt{m_k} , \quad (1)$$

kde c je tzv. koeficient hospodárnosti dosahujúci v digitálnej fotogrametrii hodnotu 300, ale sa nahrádza tzv. efektívnym rozlíšením zemského povrchu (Ground Sampling Distance – GSD), ktorý je výsledkom vzťahu fyzickej veľkosti pixelu v poli snímača p , výšky letu h a ohniskovej vzdialenosti objektívu f . Matematický vzťah na výpočet GSD je podľa (Leberl, 2004):

$$GSD = \frac{p \cdot h}{f} \quad (2)$$

Spracovanie údajov z kamery Vexcel UltraCamX v lokalite obce Malženice

Spracovanie obrazových záznamov, vyhotovených plošnou digitálnou fotogrametrickou kamerou, sme realizovali v okolí obce Malženice (okres Trnava). Obrazové záznamy pre účely diplomovej práce (Vargová, 2011) poskytla firma (C) PHOTOMAP, s.r.o. Spracovávaná oblasť predstavovala malú časť z väčšieho bloku nalietanú v trase elektrického vedenia medzi Atómovými elektrárnami Jaslovské Bohunice a mestom Trnava. Blok tvorilo 16 digitálnych obrazov, ktoré boli nasnímané v 2 náletových osiach. Pozdĺžny prekryt medzi susednými obrazmi dosahoval štandardných hodnôt používaných aj pri analógovom snímkaní $p = 60 \%$, priečny prekryt obrazov bol vyšší a dosahoval $q = 40 \%$.

Firma poskytla aj priestorové súradnice 8 signalizovaných lícovacích bodov. Vykonala ich signalizáciu, zameranie pomocou prístroja GNSS Topcon Hiper GGD+ a transformáciu súradníc do polohového systému S-JTSK a výškového systému BpV. Firma nám poskytla aj pozemné fotografie s pohľadom na okolie signalizovaných lícovacích bodov.

Využitie digitálne záznamy boli vyhotovené fotogrametrickou kamerou Vexcel UltraCamX s ohniskovou vzdialenosťou $f = 100,5$ mm, ktorá vytvára digitálny obraz obdĺžnikových rozmerov 14430 x 9420 pixelov, s veľkosťou obrazového elementu 7,2 μm , čo určuje veľkosť obrazového záznamu rozmerov 103,896 mm x 67,824 mm. Snímanie sa vykonalo dňa 1. 9. 2009 z výšky letu cca 1300 m, čím veľkosť obrazového elementu dosahovala na zemskom povrchu 0,10 m. Záznamy boli dodané vo formáte TIFF, v rádiometrickom rozlíšení 24-bitov. Ich súčasťou bol aj kalibračný protokol použitej digitálnej kamery.

Pre ďalšie spracovanie vo fotogrametrickom systéme ImageStation museli byť záznamy upravené do rastrového formátu Intergraph použitím stratovej kompresie JPEG. Z hľadiska minimalizácie straty obrazovej informácie sme použili kompresný faktor $Q = 10$. Súčasťou prípravy obrazových dát bolo vytvorenie jednotlivých stupňov digitálneho obrazu v podobe obrazových pyramíd (overview) s počtom 9.

Po výbere typu fotogrametrického projektu nasledovalo vloženie informácií o použitej digitálnej kamere. Zadané boli hodnoty konštanty fotokamery a nasledujúcich parametrov, ktorými sa uvedený postup výrazne odlišoval v parametroch zadávaných pri spracovávaní digitalizovaného obrazu. V prípade spracovania priamo vytvoreného digitálneho obrazu sa zadávajú stĺpce a riadky digitálneho záznamu (obr. 1 vľavo) a veľkosť pixela v mikrometroch. Hodnoty sme prebrali z údajov z dodaného kalibračného protokolu. Skreslenie objektívu fotokamery nepresiahlo 2 μm , preto sme ho neuvažovali.

Súčasťou informácie o kamere ďalej bolo zadanie spôsobu zápisu jednotlivých pixelov na disku, t. j. ide o zápis po riadkoch alebo po stĺpcoch obrazu, kde je počiatok rastrového záznamu a poloha vzťažného bodu jednotlivých pixelov. Spomenuté parametre sa nedajú nájsť v kalibračnom protokole. Závisia od vlastného spracovania v procese panchromatického zaostrenia multi-spektrálneho obrazového záznamu (tzv. úroveň spracovania označovaná ako Level 3). Spôsob uloženia dát a poloha vzťažného bodu pixela záznamu sa zistila prečítaním hlavičky digitálneho súboru pomocou programu Display Header, ktorý je súčasťou modulu pripravujúceho digitálne záznamy na ich fotogrametrické spracovanie – ImageStation Raster Utilities (ISRU). V našom prípade digitálny záznam bol uložený na záznamovom médiu po riadkoch, počiatok rastra bol v ľavom hornom rohu záznamu a vzťažný bod pixela sa vzťahoval k jeho ľavému hornému rohu. Vnútorňá orientácia digitálneho záznamu bola tým vyriešená (obr.1 vpravo).

Nasledovalo doplnenie údajov o jednotlivých obrazoch a ich umiestnení na pevnom disku zadaním približných parametrov vonkajšej orientácie a údajov o obrazoch, ktoré tvorili jednotlivé stereomodely a vloženie priestorových súradníc 8 lícovacích bodov.

Spracovanie bloku obrazov sa uskutočnilo automatickou aerotrianguláciou (AAT), ktorej metodika bola prezentovaná v práci Čerňanský a Kožuch (2003). Spracovanie bloku obrazov sa výrazne neodlišovalo od metodiky spracovania digitalizovaných snímok.

Na spracovanie bloku obrazov sme využili všetkých 8 lícovacích bodov, ktoré sme považovali za fixné, nemeniace svoju priestorovú polohu po zväzkovom blokovom vyrovnaní. Počet bodov, ktoré sa majú vyberať v tzv. von Gruberových pozíciách, sme určili na 7. Celkový čas výberu spojovacích bodov a ich priradenie do susedných snímok trvalo 4 minúty a 15 sekúnd. Automatickým

generovaním bolo na jednom digitálnom obraze vybraných približne 60 spojovacích bodov, z ktorých sa približne 40 nachádzalo v oblasti stereoprekrytu. Stredná kvadratická chyba automaticky meraných obrazových súradníc dosiahla hodnotu 2,2 μm , resp. 0,31 pixela.



Obr. 1 Uloženie dát na disku (vľavo) a vnútorná orientácia digitálneho obrazu (vpravo) (C) PHOTOMAP, s.r.o., www.photomap.sk

Kontrola presnosti automaticky generovaných orientačných bodov sa overila na hodnotách zviskových vertikálnych paraláx stereomodelov. Za hrubú chybu sme považovali, ak hodnota vertikálnych paraláx prekročila 0,5 veľkosti pixela. Takýto orientačný bod bol potom z výpočtu odstránený. Počet bodov, ktoré sme museli odstrániť nebol veľký. Boli to len 1 až 2 orientačné body na jeden stereomodel. Po ich odstránení sme dostali hodnoty stredných kvadratických chýb vertikálnych paraláx všetkých stereomodelov v rozpätí od 0,6 po 0,8 μm .

Zväzkovým blokovým vyrovnávaním boli určené parametre vonkajšej orientácie každého obrazu v bloku, zvyškové chyby na lícovacích bodoch a referenčné priestorové súradnice novourčených orientačných a spojovacích bodov. Rozmiestnenie lícovacích bodov a dosiahnuté zvyškové chyby v smere ε_x , ε_y a ε_z sú znázornené na obr. 2. Presnosť AAT charakterizujú, okrem hodnoty strednej chyby opráv snímkových súradníc 1,4 μm , resp. 0,19 pixela, aj stredné zvyškové chyby na lícovacích bodoch:

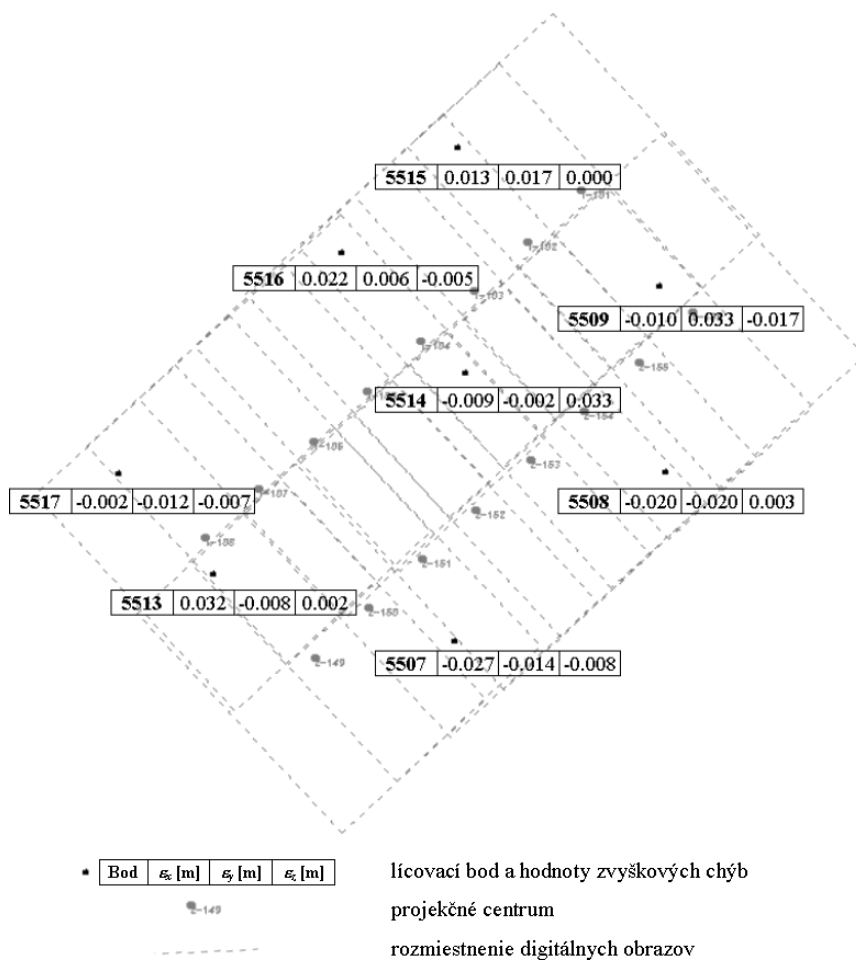
$$m_x = 0,019 \text{ m}, \quad m_y = 0,017 \text{ m}, \quad m_z = 0,014 \text{ m},$$

pričom maximálne zvyškové chyby nepresiahli v smere jednotlivých osí hodnôt:

$$\max \varepsilon_x = 0,032 \text{ m}, \quad \max \varepsilon_y = 0,033 \text{ m}, \quad \max \varepsilon_z = 0,033 \text{ m}.$$

Vytvorenie ortofotosnímkov sa realizovalo rovnakým postupom, ako v prípade spracovania sekundárne digitalizovaného obrazu. Predchádzal mu zber diskretného bodového poľa, ktorý sa uskutočnil poloautomaticky využitím digitálnej obrazovej korelácie. Vyhodnotenie sa vykonalo zberom bodov na rozhraniach tried krajinnej pokrývky, ktoré následne boli konvertované do trojuholníkovej štruktúry TIN. Ortofotosnímky boli vytvorené s veľkosťou GSD 0,1 m.

Spracovanie digitálnych obrazov, ktorých obrazová kvalita je vyššia ako u skenovaných analógových záznamoch spôsobila, že bolo potrebné venovať veľkú pozornosť aj rádiometrickým úpravám. Na vytvorenej ortofotomozaike nesmie byť rozoznateľný prechod medzi spájanými obrazmi. Preto rádiometrická úprava prebehla zadaním odlišných hodnôt stmavenia a zosvetlenia pre jednotlivé ortofotosnímky. Vhodnosť výsledku sa určovala vizuálnym pohľadom na základe priloženia neskôr mozaikovaných obrazov.



Obr. 2 Zvyškové chyby na lícovacích bodoch po AAT

Vytvorená ortofotomozaika bola ďalej spracovávaná metódami automatickej klasifikácie obrazu. Výsledky klasifikácie budú prezentované v ďalších príspevkoch.

Záver

Predložený príspevok sa venuje spracovaniu priamo vytvoreného digitálneho záznamu, ktorý sa začína aj v našich podmienkach využívať v digitálnej fotogrametrii. Približuje vývoj digitálnych snímačov a problémy, ktoré sa museli vyriešiť, aby sa dal vytvoriť digitálny obraz využiteľný aj vo fotogrametrii. Hovorí o výhodách digitálneho snímania a porovnáva ho s analógovým. Využívaním digitálnych kamier sa konečne začína v digitálnej fotogrametrii využívať digitálny obraz úplne od jeho počiatku až po záverečnú tvorbu výstupov.

V súčasnosti už existuje pomerne veľký počet veľkoformátových digitálnych plošných fotogrametrických kamier s podobnými parametrami. Väčšiemu rozšíreniu digitálnych kamier zatiaľ bráni pomerne ich vysoká nadobúdacia cena. Záznam vytvorený digitálnymi kamerami má vyššiu rádiometrickú kvalitu obrazu, vyššie geometrické rozlíšenie než digitalizované analógové snímky.

Práca vznikla na základe podpory grantov udelených Vedeckou grantovou agentúrou VEGA Ministerstva školstva SR a Slovenskej akadémie vied č. 1/0457/10 a č. 1/0469/10.

Ďakujeme firme (C) PHOTOMAP, s.r.o., www.photomap.sk za poskytnutie dát vyhotovených digitálnou fotogrametrickou kamerou.

Literatúra

- ČERNÁNSKÝ, J. (1998). Perspektívy priameho leteckého digitálneho snímání a analógového leteckého snímání. In *Geoinformatika v službách armády Slovenskej republiky*. Banská Bystrica (Topografický ústav Armády SR), s. 79-88.
- ČERNÁNSKÝ, J., KOŽUCH, M. (2003). Digitálna automatická aerotriangulácia – využitie v geoinformatike a v kartografií. *Geodetický a kartografický obzor*, 49/91, 7-8, s. 157-165.
- ČERNÁNSKÝ, J., KOŽUCH, M. (2006). Digitálne fotogrametrické kamery. *Pedagogické listy*, 13, s. 41-49.
- FRICKER, P. (2008). Review of digital photogrammetric cameras. [CD-ROM]. In *Aktuální problémy fotogrammetrie a DPZ*. Praha (ČVUT v Praze).
- HINZ, A., DÖRSTEL, C., HEIER, H. (2000). DIGITAL MODULAR CAMERA: System concept and data processing workflow. *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*, Vol. 33, Part B2. [on-line]. [cit. 2001-05-16]. Dostupné na: <http://www.isprs.org/proceedings/XXXIII/congress/part2/164_XXXIII-part2.pdf>
- JACOBSEN, K. (2005). *High resolution imaging satellite systems*. [on-line]. [cit. 2005-11-29]. Dostupné na: <http://www.ipi.uni-hannover.de/uploads/tx_tkpublikationen/038-jacobsen.pdf>
- KÖBL, O., BACH, U. (1996). Tone reproduction of photographic scanners. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 62, 6, s. 687- 694.
- LEBERL, F. (2004). *Questions and answers on the delivery, installation, training and support for a large format digital aerial camera system Ultracam-D*. [on-line]. [cit. 2005-11-25]. Dostupné na: <<http://www.vexcel.co.at>>
- LEBERL, F., THURGOOD, J. (2004). The promise of softcopy photogrammetry revisited. *XXth ISPRS Congress*. Commission III. Istanbul. [on-line]. [cit. 2005-11-29]. Dostupné na: <<http://www.isprs.org/proceedings/XXXV/congress/comm3/papers/370.pdf>>
- PERKO, R. (2005). *Image quality: Digital pansharpening versus full color film*. [on-line]. [cit. 2005-11-29]. Dostupné na: <<http://www.gtbi.net/export/sites/default/GTbiWeb/soporte/descargas/DigitalPansharpeningVsColorFilm.pdf>>
- PERKO, R., KLAUS, A., GRUBER, M. (2004). Quality comparison of digital and film-based images for photogrammetric purposes. *XXth ISPRS Congress*. Commission III. Istanbul. [on-line]. [cit. 2005-11-29]. Dostupné na: <<http://www.isprs.org/proceedings/XXXV/congress/comm3/papers/437.pdf>>
- PETRIE, G. (2010a). The Intergraph DMC II camera range: New large-format airborne digital frame cameras. *GeoInformatics*, 13, 5, s. 8-11. [on-line]. [cit. 2010-08-10]. Dostupné na: <http://web2.ges.gla.ac.uk/~gpetrie/Petrie_Intergraph_DMC-II_Camera_Range.pdf>
- PETRIE, G. (2010b). Current developments in airborne digital frame cameras: As displayed in the intergeo 2010 exhibition. *GeoInformatics*, 13, 8, s. 34-40. [on-line]. [cit. 2010-12-06]. Dostupné na: <http://web2.ges.gla.ac.uk/~gpetrie/Petrie_Airborne_Cameras_Intergeo_2010.pdf>
- SARJAKOSKI, T. (1981). Concept of a completely digital stereoplotter. *The Photogrammetric Journal of Finland*, 8, 2, s. 95-100.
- ŠÍMA, J. (2007). Perspektívy digitálneho leteckého měřického snímání území České republiky. *Geodetický a kartografický obzor*, 53/95, 7-8, s. 121-129.
- THURGOOD, J. D., GRUBER, M., KARNER, K. (2004). Multi-ray matching for automated 3D object modeling. *XXth ISPRS Congress*. Commission III. Istanbul. [on-line]. [cit. 2005-11-25]. Dostupné na: <<http://www.isprs.org/proceedings/XXXV/congress/comm3/papers/256.pdf>>
- VARGOVÁ, J. (2011). *Spracovanie a vyhodnotenie digitálnych obrazových záznamov získaných plošnými digitálnymi kamerami*. Diplomová práca, Bratislava (Univerzita Komenského, Prírodovedecká fakulta).
- ŽÍHLAVNÍK, Š., SCHEER, E. (2001). *Dialkový prieskum Zeme v lesníctve*. Zvolen (Technická univerzita vo Zvolene).

S u m m a r y

Digital photogrammetric cameras – the significant progress in quality of photogrammetric outputs

In the history of photogrammetry were used photogrammetric systems from analogue through analytical to digital. The common feature of these systems was using of the same input record. It was created by analogue photogrammetric camera.

The line sensors were the first digital sensors, called scanners. The sensors were applied on remote sensing satellites at first. The main problem of the use of digital sensors in digital photogrammetry was low spatial resolution and stability sensor on the aerial deck. Therefore the creation of digital image for processing of digital photogrammetry was obtained by digitizing of analogue aerial photographs.

The first airborne frame digital large-format camera was presented in year 2000. Camera DMC can achieved picture in one time with resolution more than 100 megapixels in one picture. The digital frame camera, name UltraCamD The Vexcel company, was presented in year 2003. There were not exist a matrix of sensors, before 10 years, that it had fully match resolution of the analogue aerial photographs with format 230 x 230 mm. Cameras to create a single image used the principle stitching of image from several smaller cameras. In 2006, was introduced a sensor that allows using one camera to create images with more than 100 megapixels. On the basis of this sensor were designed DMC II 140, DMC II 230 and DMC II 250. Currently (2011) exists several types of diffuse large-format digital photogrammetry cameras. They are presented in Tab. 1.

The advantages of direct digital capture is considered (Leberl and Thurgood 2004), (Thurgood et al., 2004) – superior economy, higher radiometric quality in comparison with the digitized analogue picture, increased redundancy in all processes of photogrammetry, higher geometric image quality and superior work flow during the capture and archiving images.

The relationship between the scale of the photograph and the scale of the generated map is replaced by the Ground Sampling Distance (GSD) in digital cameras. GSD is the result of the relationship of physical pixel size in the field of sensor p , altitude h and focal length f .

The image processing from frame digital photogrammetric camera we applied in the area around the village Malženice (Trnava district). Aerial images of camera Vexcel UltraCamX for the purpose of thesis (Vargová, 2011) was provided by the company (C) PHOTOMAP, s.r.o., www.photomap.sk.

Photogrammetric processing was performed on the system ImageStation. Specific was input parameters for the digital camera. Values represented enter the columns and rows of digital picture, pixel size in microns in the direction of axes x' and y' and coordinates the principal point. Information about concept assessment these data on the disk, origin of the raster and about origin pixel were identified from digital file header.

The next processing was similar as to the digitized images. Block of 18 digital aerial images was used as an input for automatic triangulation. RMSE automatically measured image coordinates was 2,2 μm , respectively 0,31 pixel. RMSE of vertical parallax reached the value from 0,6 to 0,8 μm on all stereomodels.

RMS residual values for the X, Y and Z control point coordinates after the bundle block adjustment were estimated as follows: $m_x = 0,019 \text{ m}$, $m_y = 0,017 \text{ m}$, $m_z = 0,014 \text{ m}$.

Discrete altitude points fields was collected by using digital image correlation. Created orthophoto had pixel size 0,1 m and it was given for the next processing by methods of the automatic image classification.

Fig. 1 Assessment of the digital data on the disc (on the left side) and interior orientation of the digital image (on the right side), (C) PHOTOMAP, s.r.o., www.photomap.sk

Fig. 2 Residual errors of automatic triangulation on control points

Tab. 1 The characteristics of large-format digital frame cameras

Recenzoval:

Ing. Marek FRAŠTIA, PhD.,
Slovenská technická univerzita, Stavebná fakulta,
Bratislava