



KATEDRA GEOINFORMATIKY

Univerzita Palackého v Olomouci | Přírodovědecká fakulta

FOTOGRAMMETRICKÝ PŘÍSTUP PŘI SBĚRU GEODAT POMOCÍ BEZPILOTNÍCH LETECKÝCH ZAŘÍZENÍ

AUTOREFERÁT DISERTAČNÍ PRÁCE

Studijní program: P1314 Geografie

Obor studia: 1302V011 Geoinformatika a kartografie

Školitel: prof. RNDr. Vít Voženílek, CSc.

RNDr. Jakub MIŘIJOVSKÝ

PHOTOGRAMMETRIC APPROACH TO COLLECTING GEODATA USING BY UNMANNED AERIAL VEHICLE

Ph.D. THESIS SUMMARY

Study Programme: P1314 Geography

Specialization: Geoinformatics and Cartography

Supervisor: prof. RNDr. Vít Voženílek, CSc.

Department of Geoinformatics

Faculty of Science, Palacký University in Olomouc

Olomouc 2013

Disertační práce byla vypracována v kombinované formě doktorského studia na Katedře geoinformatiky Přírodovědecké fakulty Univerzity Palackého v Olomouci.

Dissertation thesis was compiled within Ph.D. study at the Department of Geoinformatics, Faculty of Science, Palacký University in Olomouc.

Předkladatel / Submitter:

RNDr. Jakub Miřijovský

Školitel / Supervisor:

prof. RNDr. Vít Voženilek, CSc.

Katedra geoinformatiky

Přírodovědecká fakulta Univerzity Palackého v Olomouci

17. listopadu 50

771 46 Olomouc

Oponenti / Opponents:

doc. RNDr. Jaromír Kolečka, CSc. (Masarykova univerzita)

doc. RNDr. Jakub Langhammer, Ph.D. (Univerzita Karlova v Praze)

prof. Ing. Ján Tuček, CSc. (Technická univerzita vo Zvolene)

Autoreferát byl zaslán dne / Summary was posted on: 31. 1. 2013

Obhajoba disertační práce se koná dne _____ před komisí pro obhajoby disertačních prací doktorského studia v oboru P1314 Geografie, studijním oboru 1302V011 Geoinformatika a kartografie, v prostorách Katedry geoinformatiky Přírodovědecké fakulty Univerzity Palackého v Olomouci, 17. listopadu 50, 771 46 Olomouc.

The defence of the dissertation thesis will be held on _____ at the commission for the defence of dissertation thesis of Ph.D. degree in study programme P1314 Geography, specialization Geoinformatics and cartography, in the premises of the Department of Geoinformatics, Faculty of Science, Palacký University in Olomouc, 17. listopadu 50, 771 46 Olomouc.

S disertační prací je možno se seznámit na studijním oddělení Přírodovědecké fakulty Univerzity Palackého v Olomouci, 17. listopadu 12, 77 46 Olomouc.

The dissertation thesis is available at the Study Department, Faculty of Science, Palacký University in Olomouc, 17. listopadu 12, 771 46 Olomouc.

© Jakub Miřijovský, 2013

ISSN 1805-7500

Obsah

Abstrakt	4
1. Úvod	5
2. Cíle práce	6
3. Koncept nasazení UAV technologií	7
4. Výsledky	9
5. Diskuse	21

6. Závěr	22
Odborný životopis autora	24

Contents

Abstract	26
1. Introduction	27
2. Aims of the study	27
3. Methods and processing procedure	28
4. Results and Discussion	29
5. Conclusion	30
Author's professional Curriculum Vitae	31
Seznam vybraných publikací autora souvisejících s disertační prací / Author's selected publications related to the dissertation	33
Úplný seznam publikací autora / All author's publications	33

Abstrakt

Disertační práce představuje původní autorský přístup k nasazení UAV technologií ve fotogrammetrii. V práci je využito dvou bezpilotních systémů a autor dokazuje jejich využitelnost v aplikacích přesného sběru geodat.

První část práce se zabývá konceptem nasazení UAV systému a jeho požadavky. Na systém je kladeno množství technologických i netechnologických požadavků, které musí být splněny. V první části práce je řešena kalibrace kamer, tvorba letového plánu, získávání letového povolení a jsou řešeny legislativní aspekty pro splnění podmínek k provozu bezpilotních systémů v České republice.

Druhá část se věnuje terénním pracím a snímkovému letu. V rámci kapitoly jsou řešeny různé typy vličovacích bodů a jejich zaměření. Dále je řešeno nastavení expozičních parametrů kamery. V neposlední řadě je řešena problematika samotného snímkového letu a kontroly získaných dat.

Třetí část práce se zabývá různými metodami zpracování dat včetně jejich přesnosti. Část práce se zabývá interpolačními metodami pro tvorbu 3D modelu povrchu. Jsou analyzovány metody Structure from Motion a metoda stereofotogrammetrická. Přesnost výstupů je hodnocena na základě dvou nezávislých referenčních datových zdrojů. Data z UAV fotogrammetrie jsou porovnávána s daty geodetického měření a leteckého laserového skenování. Hodnocení přesnosti je provedeno pro 3D model a pro ortogonalizovaný snímek.

Poslední část práce se věnuje případovým studiím. Jsou uvedeny tři případové studie z oblasti fluvialní geomorfologie a dvě studie z oblasti archeologie. Případové studie dokazují využitelnost UAV fotogrammetrie v oblastech aplikovaného výzkumu.

Klíčová slova:

fotogrammetrie, UAV, digitální model povrchu, bezpilotní, snímek

1. Úvod

V dnešní době je naprosto běžné používat v geovědním výzkumu data dálkového průzkumu Země (DPZ). Jde o neustále se rozvíjející obor, který nachází uplatnění v mnoha oborech a odvětvích, ať už vědecké či komerční sféry.

Při snímkování z výšek maximálně 30 metrů nad povrchem je možné použít visutých plošin, případně snímkovat z vysokých budov a věží. Pokud je nutné získat snímky z větší výšky, je potřeba použít modelů letadel nebo jiných platform schopných snímkovat ve výškách kolem 100 m. Mezi nejdůležitější nevědecké přínosy pro odborníky z různých oborů patří cena a operabilita. Velmi cenné vědecké poznatky přináší zejména kombinace pozemních metod s přidáním vizuální informace ze snímkování z modelů. Vlastní tvorba leteckých fotografií nabízí maximální operabilitu jak časovou, tak i technickou. Technické parametry kamery a nosiče umožňují volit nejen čas a místo snímkování, ale také úhel snímkování, šířku záběru nebo nastavení expozice. Vlastní snímkování přináší velké výhody při výzkumu v oblastech, kde je nezbytné použít letecké snímky s velmi vysokým rozlišením a vysokou geometrickou kvalitou. V takovém případě se snímky z nízkých výšek stávají neocenitelným zdrojem dat. S potřebou získávat velmi přesné a geometricky kvalitní snímky vyvstává celá řada vědeckých otázek kolem kalibrací kamer, rozmístění vlíčovacích bodů nebo letových vlastností modelů samotných. Výsledné produkty pak nacházejí uplatnění v širokém spektru odborných disciplín od geomorfologie, přes zemědělství až po archeologii. Věda získává nový nástroj a metody pro získávání velmi přesných leteckých dat. Nástroj se tak stává součástí geoaplikací, ve kterých může pomoci při hledání odpovědí na geografické a analytické otázky. Bezpilotní letecká zařízení se běžně v odborné literatuře označují zkratkou UAV (Unmanned Aerial Vehicle).

2. Cíle práce

Disertační práce si klade za cíl sestavit koncept nasazení UAV technologií ve fotogrammetrii pro velmi přesný sběr geodat a ověřit jej na případových studiích aplikovaného výzkumu. Vytvořený koncept představuje systematicky uspořádaný soubor dílčích technologických a metodologických procedur, realizovaných při průběhu práce s UAV systémem. Jedná se zejména o:

- určení základních parametrů kamery pro použití v UAV fotogrammetrii, které souvisí s použitím neprofesionálních leteckých komor,
- analýzu míry přesnosti kalibrace kamery ve vztahu k celkové přesnosti výstupu,
- volbu správného výpočtu prvků vnější orientace při absenci GPS/IMU přístroje,
- vliv rozmístění vřícovacích bodů na přesnost výpočtu,
- analýzu vlivu atmosférických a světelných podmínek na kvalitu výstupu,
- kvantifikování a kvalifikování všech možných prostorových chyb vstupujících do systému sběr – vyhodnocení dat.

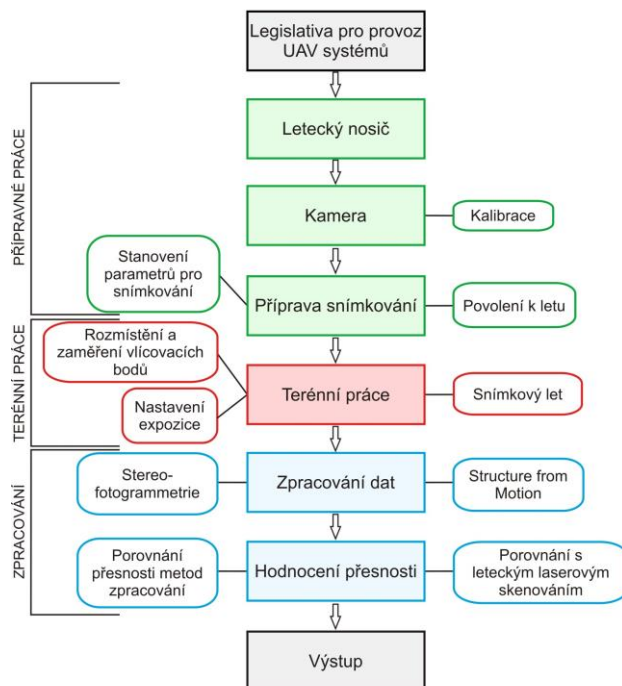
K nalezení řešení na předcházející úkoly je nezbytné řešit:

1. Vliv počtu vřícovacích bodů na přesnost AAT
2. Doporučení postupů pro zaměřování a přesnost vřícovacích bodů
3. Stanovení základních parametrů pro správnou extrakci bodů ze snímků pomocí autokorelačních metod včetně výpočtů přesnosti
4. Provedení analýzy interpolačních metod z dat extrahovaných z UAV fotogrammetrie
5. Určení absolutní přesnosti DMP ze stereofotogrammetrie a SfM metody na reálných datech v testovacím území
6. Analýza ortogonalizovaných snímků a stanovení absolutní přesnosti včetně vyvození patřičných závěrů
7. Porovnání dat z laserového skenování s daty UAV fotogrammetrie v testovacím území

Sestavený koncept je ověřen na pěti případových studiích z oblasti fluvialní geomorfologie a archeologie.

3. Koncept nasazení UAV technologií

Navržený koncept představuje základní stavební kameny nasazení UAV technologií ve fotogrammetrii, které autor v průběhu doktorského studia ověřil. Obrázek 1 představuje sestavený koncept nasazení UAV technologií ve fotogrammetrii. Ve schématu jsou zobrazeny nejdůležitější části konceptu. Každá z uvedených oblastí schématu se ve většině případů dále dělí na detailnější části, které jsou uvedeny v samostatných kapitolách práce.



Obr. 1 Základní koncept nasazení UAV systému.

Popis konceptu

Disertační práce má povahu metodické studie s ověřením na experimentálních a reálných datech. Metody a postup práce jsou zpracovány v jednotlivých kapitolách, které se týkají daného tématu (konceptu). Z převažující části se jedná o přímo autorem navržený a vytvořený postup.

Letecký nosič

Část nazvaná *Letecký nosič* představuje detailní popis dvou systémů, které byly vybrány pro fotogrammetrické snímkování v předkládané práci. Podkapitola se dále věnuje povoleným frekvencím na území ČR pro provoz UAV systémů.

Kamera

Jsou představeny používané metody a postupy pro kalibraci kamer, které se využívají ve fotogrammetrii. V navazující části jsou popsány různé přístupy autora k laboratorní kalibraci použité kamery. Pro práci v této části byly využity zejména metody průsekové fotogrammetrie.

Příprava snímkování

Část konceptu *Příprava snímkování* představuje autorem navržený ideální postup prací pro ověření podmínek letu v zájmové lokalitě, pro návrh letových os a stanovení parametrů letu. Autor práce na konkrétním příkladu ukazuje použití letecké mapy ICAO a aplikace AIS View. Jsou popsány jednotlivé parametry snímkování, na které navazuje příklad výpočtu všech parametrů letu.

Terénní práce

V kapitole *Terénní práce a snímkový let* je autorem navržen optimální postup pro práce prováděné v terénu. V samostatném experimentu dokazuje vliv geometrického uspořádání a rozmístění vličovacích bodů na přesnost výstupů. Kapitola pokračuje představením řešení pro správné nastavení expozice a problémů, které mohou vzniknout při nastavení nesprávném.

Zpracování dat

Zpracování dat bylo provedeno metodami digitální stereofotogrammetrie a metodou Structure from Motion. Jsou představeny provedené analýzy vlivu různého nastavení parametrů na výpočet aerotriangulace, automatickou extrakci bodů ze snímků a rovněž je provedeno testování vhodnosti různých interpolačních metod pro tvorbu DMP. V další části je představen postup zpracování dat metodou Structure from Motion s hodnocením přesnosti výpočtu.

Hodnocení přesnosti

Pro ověření reálné chybovosti modelů bylo provedeno testovací snímkování s následnou analýzou dat z reálného prostředí. Data byla konfrontována s daty geodetického měření a s daty z leteckého laserového skenování. Cílem bylo ověřit přesnost metod zpracování a zjistit, zda výstupy splňují kritéria pro fotogrammetrické aplikace. Pro hodnocení bylo využito popisné statistiky používané v geodézii a v fotogrammetrii.

4. Výsledky

Hlavním výsledkem disertační práce je navržený a ucelený koncept UAV snímkování a UAV fotogrammetrie, zahrnující aspekty základního i aplikačního výzkumu. Tento koncept představuje řešení základních otázek formulovaných v kapitole *Cíle*. Nejvýznamnějšími dosaženými výsledky jsou poznatky doplňující navržený koncept UAV snímkování a UAV fotogrammetrie a prokazující jeho použitelnost v odborné praxi. Patří k nim zejména:

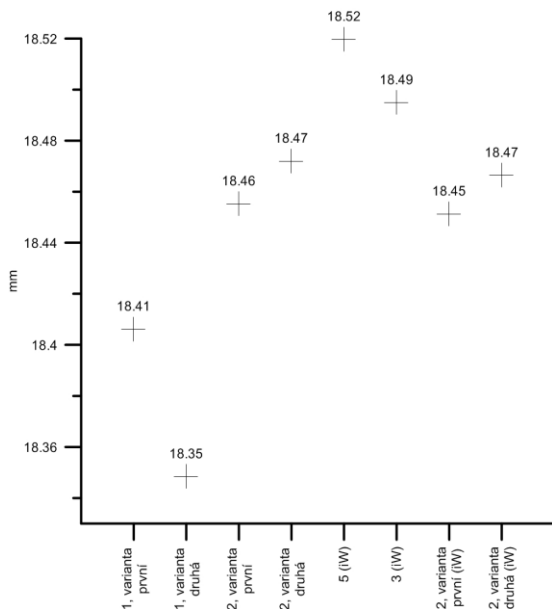
Určení základních parametrů kamery pro použití v UAV fotogrammetrii, které souvisí s použitím neprofesionálních leteckých komor

Výsledky různých kalibračních postupů a použití různých testovacích polí potvrzují, že nelze jednoznačně upřednostnit jeden konkrétní postup nebo kalibrační pole. V tabulce 1 jsou uvedeny všechny výsledky provedených kalibrací s celkovou RMSE chybou menší než 0,5 mm.

Tabulka 1 Výsledky kalibrace kamery Canon EOS 500D s RMS chybou menší než 0,5.

Kalibrační pole	Program	f (mm)	x_p (mm)	y_p (mm)
1, varianta první	PM	18,4061	0,002	0,003
1, varianta druhá	PM	18,3483	0,002	0,002
2, varianta první	PM	18,4552	9,30E-04	0,001
2, varianta druhá	PM	18,4719	0,001	0,001
5	iW	18,5196	-0,133	0,194
3	iW	18,4948	-0,099	0,134
2, varianta první	iW	18,4512	-0,081	0,140
2, varianta druhá	iW	18,4663	-0,128	0,136
Kalibrační pole	K1	K2	K3	RMS error
1, varianta první	$5,56 \cdot 10^{-4}$	$-1,34 \cdot 10^{-6}$	0,00	0,401
1, varianta druhá	$5,63 \cdot 10^{-4}$	$-1,34 \cdot 10^{-6}$	0,00	0,252
2, varianta první	$5,40 \cdot 10^{-4}$	$-1,16 \cdot 10^{-6}$	0,00	0,177
2, varianta druhá	$5,35 \cdot 10^{-4}$	$-1,16 \cdot 10^{-6}$	0,00	0,163
5	$5,28 \cdot 10^{-4}$	$-1,1 \cdot 10^{-6}$	$-1,21 \cdot 10^{-9}$	0,280
3	$5,24 \cdot 10^{-4}$	$-8,1 \cdot 10^{-7}$	$-3,03 \cdot 10^{-9}$	0,260
2, varianta první	$5,44 \cdot 10^{-4}$	$-1,3 \cdot 10^{-6}$	$-9,75 \cdot 10^{-11}$	0,280
2, varianta druhá	$5,19 \cdot 10^{-4}$	$-8,5 \cdot 10^{-7}$	$-2,33 \cdot 10^{-9}$	0,200

Z tabulky je zřejmé, že i při stejné hodnotě RMSE chyby, se mohou prvky vnitřní orientace mírně lišit. Graficky jsou rozdílné hodnoty znázorněny v obrázku 2.



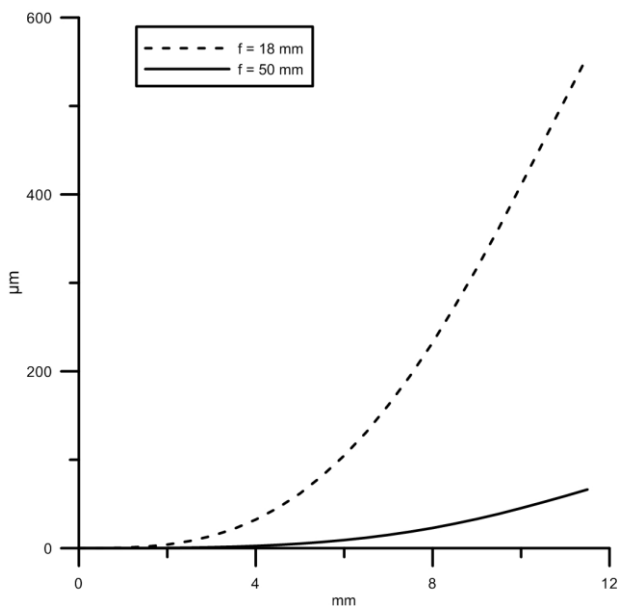
Obr. 2 Výsledné hodnoty konstanty kamery v závislosti na typu kalibrace.

Rozdílné hodnoty na výsledcích kalibrací jsou způsobeny zejména nestabilitou optických členů objektivu neměřické kamery. Výsledné zprůměrované hodnoty, které dále vstoupily do procesu zpracování dat, jsou uvedeny v tabulce 2.

Tabulka 2 Výsledné hodnoty kalibrovaných neměřických komor.

Kamera	f (mm)	x_p (mm)	y_p (mm)	x_0 (mm)	y_0 (mm)
EOS 500D	18,45168	-0,05443	0,076238	11,1125	7,5207

Hodnoty radiální distorze objektivu s ohniskovou vzdáleností 18 mm jsou uvedeny v grafu na obrázku 3.



Obr. 3 Průběh radiální distorze u dvou objektivů s rozdílnou konstantou.

Pro srovnání byl analyzován i objektiv s konstantou komory 50 mm, jehož hodnoty radiální distorze jsou v grafu také uvedeny. Vysoké hodnoty radiální distorze lze pozorovat zejména u objektivu s konstantou 18 mm. To je negativní důsledek širokého úhlu záběru. U objektivu snímkovací kamery autor doporučuje provádět v pravidelných intervalech kontrolní kalibrace, protože relativně levné kamery trpí nestabilními optickými členy a prvky vnitřní orientace se při používání mírně mění.

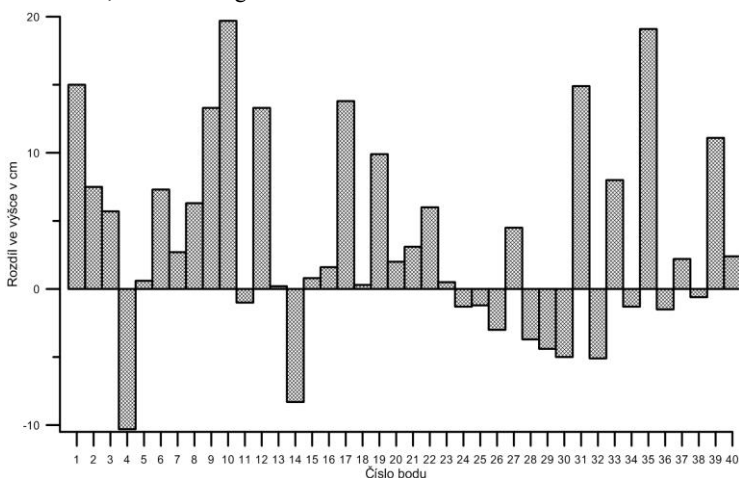
Analýza míry přesnosti kalibrace kamery ve vztahu k celkové přesnosti výstupu

Z provedených analýz jednoznačně vyplývá, že kalibrace kamery má podstatný vliv na celkovou přesnost výstupu. Bylo prokázáno, že zejména přesný výpočet koeficientů radiální distorze je zásadní, aby nedocházelo ke vzniku y-paralaxy. Proto autor práce doporučuje používat zpřesňující výpočet koeficientů K_0 , K_1 a K_2 až během závěrečné fáze automatické aerotriangulace s pomocí vřícovacích a vázacích bodů. Jako nejvhodnější z nabízených výpočtů byl vyhodnocen *Lens distortion model*. Zcela jednoznačně nelze doporučit nastavení pevných hodnot prvků vnitřní orientace během výpočtu aerotriangulace. Nestabilita optických členů objektivu vyžaduje zpřesnění prvků vnitřní orientace podle bodů, které byly použity v konkrétním snímkování. Laboratorní kalibrace totiž zcela neodpovídá reálným podmínkám snímkování (např. vzdálenost kamera – objekt). Nutnou podmínkou použití reálných vřícovacích bodů pro zpřesnění prvků vnitřní orientace je vysoká přesnost zaměření bodů. Zvýšení stability

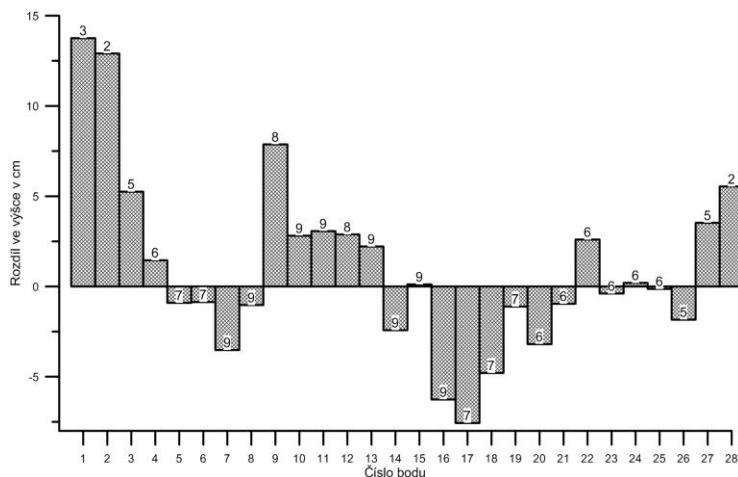
optických členů objektivu je dosaženo při použití skel s pevnou ohniskovou vzdáleností. V takovém případě je omezena nestabilita optických členů a ke změnám prvků vnitřní orientace během letu a mezi různými snímkovými lety dochází v menší míře. Zcela jednoznačně autor nedoporučuje využití celé scény u širokoúhlých objektivů. Hodnoty radiální distorze v okrajových částech dosahují extrémních hodnot a i při jejich znalosti může docházet k nepřesnostem a vzniku nežádoucí y-paralaxy.

Volba správného výpočtu prvků vnější orientace při absenci GPS/IMU přístroje

Byly testovány dvě metody zpracování dat. Odpověď na otázku, zda je pro UAV snímky přesnější stereofotogrammetrická metoda nebo metoda Structure from Motion, lze nalézt v grafech na obrázcích 4 a 5.



Obr. 4 Rozdíly mezi vřícovacími body (případně vázacími body) a body povrchu vyexportovanými automatickými postupy.



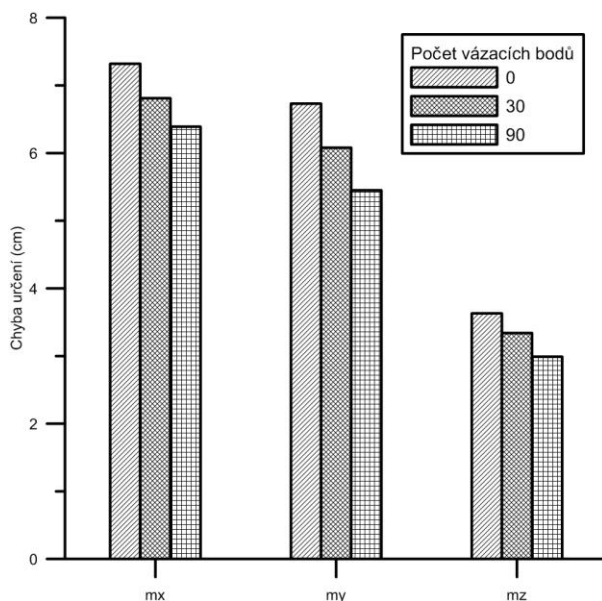
Obr. 5 Rozdíly mezi vřícovacími body a body vyexportovanými automatickými postupy.
Číslo bodu nad sloupcem značí počet snímků, na kterém se bod nachází.

Podle rozložení bodů v grafu jako přesnější jednoznačně vychází metoda Structure from Motion. Byla dokázána přímá úměra, že čím více snímků stejného území vstoupí do procesu zpracování, tím přesnější výsledek bude. Negativem je výrazně narůstající výpočetní čas. Vysoké množství snímků je hlavním důvodem přesnosti metody. V místech, kde byly pouze dva snímky stejného území, dosahovala metoda SfM velmi podobné přesnosti jako metoda stereofotogrammetrická.

V případě použití stereofotogrammetrické metody autor doporučuje použít 10 až 20 vřícovacích bodů a maximálně možný počet přesně umístěných bodů vázacích. Tím bude zaručena dostatečná přesnost výpočtu. Přesnost výpočtu AAT pomocí 22 vřícovacích bodů je uvedena v tabulce 3. Vliv počtu vázacích bodů na přesnost výpočtu dokazuje graf na obrázku 6.

Tabulka 3 Přesnost výpočtu AAT pomocí kontrolních bodů.

Číslo bodu	RMSE _x (m)	RMSE _y (m)	RMSE _z (m)
4	-0,0236	-0,0088	0,0881
7	-0,0160	0,0106	0,0174
20	-0,0123	0,0290	0,0159



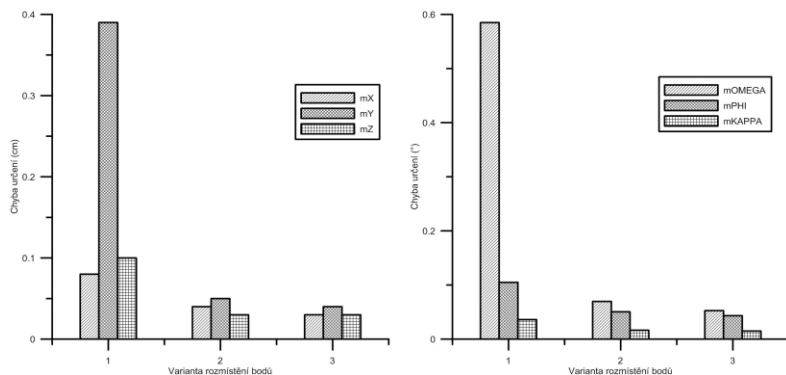
Obr. 6 Vliv počtu vázacích bodů na přesnost aerotriangulace.

Vliv rozmístění vřícovacích bodů na přesnost výpočtu

Autor provedl experiment, který měl dokázat či vyvrátit vliv rozmístění vřícovacích bodů na přesnost výpočtu AAT. Z experimentu jednoznačně vyplývá, že rozmístění bodů má nezanedbatelný vliv na přesnost výpočtu. Jednotlivé typy rozmístění jsou uvedeny na obrázku 7. V grafu na obrázku 8 jsou uvedeny hodnoty chyby pro všechny prvky vnější orientace podle variant rozmístění bodů.



Obr. 7 Vliv počtu vázacích bodů na přesnost aerotriangulace.

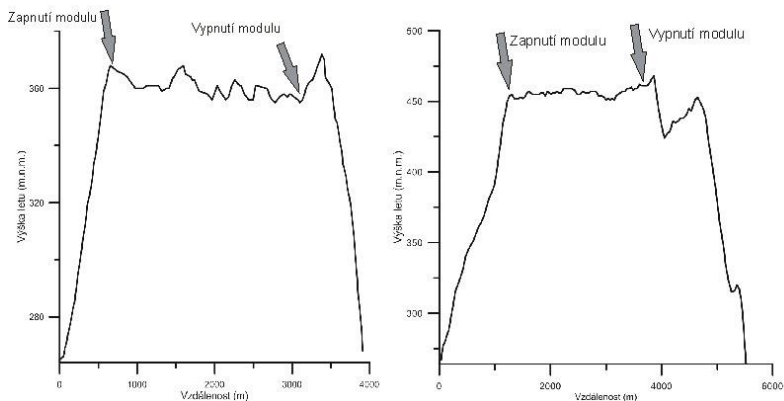


Obr. 8 Hodnocení přesnosti určení prvků vnější orientace. Vlevo souřadnice X, Y, Z. Vpravo úhly natočení kamery ω , ϕ , κ .

Optimální variantou rozmístění vřícovacích bodů je, aby žádný z bodů neměl lineární závislost s bodem jiným. To platí pro souřadnice X, Y i Z. Všechny vřícovací body by měly být umístěny na rozlém terénu. Zcela nevhodné je umístění bodů na výškové objekty z důvodu radiálních posunů objektů.

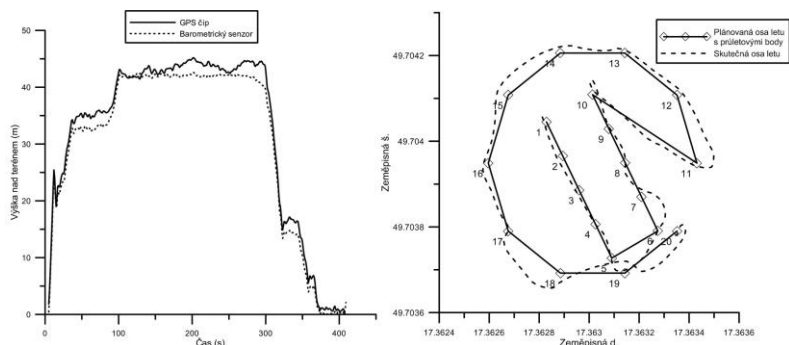
Analýza vlivu atmosférických a světelných podmínek na kvalitu výstupu

Byly analyzovány vlivy, které mohou způsobit komplikace letového charakteru nebo snížit či znehodnotit obrazový záznam. Na základě provedené analýzy letových dat z modelu PIXY byl identifikován problém, který způsobují nárazy větru (9 levý graf).



Obr. 9 Náraz větru může model vynést mimo plánovanou letovou hladinu.

Problém se ve velké většině případů vyskytuje pouze u paraglidového modelu, který je náchylný na povětrnostní podmínky. Z grafu na obrázku 10 je zřejmé, že u multirotorového systému k podobnému vlivu nedochází.



Obr. 10 Vyhodnocení letových údajů zařízení Hexakopter XL.

Velká pozornost musela být věnována světelným podmínkám. Při různém typu osvětlení dochází ke zcela rozdílné viditelnosti objektů na snímku (obr. 11).



Obr. 11 Rozdílná odrazivost slunečního záření při přímém a rozptýleném světle (vpravo).

Pokud se na snímcích vyskytnou objekty, které jsou výrazně zahlobené do terénu, pak je vhodnější volit pro snímkování rozptýlené světlo.

Kvantifikace a kvalifikace všech možných prostorových chyb vstupujících do systému sběr – vyhodnocení dat

Přesnost výsledků UAV výstupů záleží na řadě faktorů. Při nevhodně zvolených pracovních postupech nebo technice způsobí tyto faktory navýšení chyb ve všech výstupech z UAV snímkování. Jedním z cílů práce bylo na možné chyby upozornit, a pokud to je možné, je pak kvantifikovat a navrhnout řešení, jak se jich vyvarovat. U výsledků, které pocházejí z testovacího území, byla porovnána přesnost se dvěma sadami nezávisle změřených výškových dat. Kromě výsledků uvedených v předcházejících bodech bylo provedeno sedm úkolů s následujícími závěry:

1. Vliv počtu vličovacích bodů na přesnost AAT

Minimální počet vřícovacích bodů pro zajištění přesných výsledků v UAV fotogrammetrii je deset. Zpracování je možné i s menším počtem bodů, ale výsledná přesnost se snižuje (tab. 4). V tabulce jsou uvedeny parametry letu a vypočítané RMSE_z chyby z vybraných případových studií. Z tabulky je patrná značná závislost mezi počtem vřícovacích bodů a přesností výstupu. Přesnost výsledků logicky ovlivňuje i výška letu. Proto jsou výsledky v tabulce barevně odlišeny podle výšky letu do dvou skupin.

Tabulka 4 Vliv počtu vřícovacích bodů na přesnost AAT.

Výška letu (m) / GSD (cm)	Počet vřícovacích bodů	RMSE _z (m)
138 / 2,9	9	0,250
106 / 2,3	17	0,093
97 / 2,1	17	0,085
106 / 2,5	27	0,024
65 / 1,6	6	0,034
54 / 1,2	28	0,022
62 / 1,4	28	0,016

Pozn.: Barevně jsou odlišeny lety z přibližně stejné výšky.

2. Doporučení postupů pro zaměřování a přesnost vřícovacích bodů

Autor rozpracoval doporučené postupy pro zaměření vřícovacích bodů. Přesnost zaměření bodů vždy záleží na požadované výsledné přesnosti a měřítku výstupů. Pro fotogrammetrické použití by přesnost zaměření vřícovacích bodů neměla překročit hodnotu 5 cm. Autor doporučuje, aby chyba určení souřadnic vřícovacích bodů nebyla vyšší než je prostorová rozlišovací schopnost snímku, tedy skutečná velikost jednoho pixelu. V optimálním případě by se chyba měla pohybovat na poloviční hodnotě velikosti jednoho pixelu. Přesné zaměření vřícovacích bodů je o to důležitější, pokud se během zpracování dat budou používat algoritmy na zpřesnění prvků vnitřní orientace.

3. Stanovení základních parametrů pro správnou extrakci bodů ze snímků pomocí autokorelačních metod včetně výpočtů přesnosti

Autor řešil extrakci bodů ze stereosnímků. Dokazuje, že správné parametry pro automatickou extrakci bodů jsou vždy záležitostí konkrétního typu terénu, na který má být algoritmus aplikován. V obecné rovině lze v případě stereofotogrammetrické metody vycházet z nastavení v tabulce 5.

Tabulka 5 Parametry pro automatickou extrakci bodů.

Search Window	30 x 30
Window Size	9 x 9
Coefficient Start	0,8
Coefficient End	0,95

Použité pásmo obrazu	1 nebo 2
----------------------	----------

Při automatické extrakci bodů autor doporučuje použití pouze jednoho spektrálního pásma. Použití všech spektrálních pásem sice zvyšuje celkový počet extrahovaných bodů, ale zároveň s nimi se zvyšuje i RMSE chyba (tab. 6).

Tabulka 6 Závěrečné hodnocení z poslední iterace dvou automatických extrakcí.

Z min. (m)	Z prům. (m)	Z max. (m)	Směrodatná odchylka (m)	RMSE _Z (m)	Střední chyba (m)	Počet propojených bodů	Počet bodů na výstupu
433,735	439,175	447,903	0,072	0,080	0,036	1 285 564	39 925
433,918	439,354	447,900	0,256	0,263	0,062	2 333 441	58 803

4. Provedení analýzy interpolačních metod z dat extrahovaných z UAV fotogrammetrie

Analýzu nejvhodnější interpolační metody pro výšková data, která jsou extrahována ze stereosnímků, autor testoval na testovacích datech. Jako nejvhodnější autor doporučuje interpolační metodu Kriging s parametry: gaussian model, nugget 0,03; sill 0,07; range 0,5; lag size 0,5; number of lags 10.

5. Určení absolutní přesnosti DMP ze stereofotogrammetrie a SfM metody na reálných datech v testovacím území

V samostatné kapitole autor provedl analýzu přesnosti UAV fotogrammetrie vůči referenčním datovým zdrojům. Absolutní přesnosti DMP zpracovaných metodami Stereofotogrammetrie a SfM jsou uvedeny v tabulce 7.

Tabulka 7 Porovnání přesnosti digitálních modelů ze stereofotogrammetrické a SfM metody.

Metoda extrakce bodů	Střední chyba (m)	Směrodatná odchylka (m)	RMSE _Z (m)
Stereofotogrammetrie	-0,063863448	0,10918434	0,12649
SfM	-0,011016239	0,07244522	0,07328

Nejpřesnějších výsledků zcela jednoznačně dosáhl metodou SfM s hodnotou RMSE chyby 7,32 cm v souřadnici Z. Přesnost DMP v souřadnici Z stejného území ze Stereofotogrammetrické metody je 12,6 cm.

6. Analýza ortogonalizovaných snímků a stanovení absolutní přesnosti včetně vyvození patřičných závěrů

Hodnocení přesnosti ortogonalizovaných snímků vytvořených na základě DMP z obou metod potvrdilo vyšší přesnost metody SfM, byť je rozdíl pouze nepatrný (tab. 8 a 9).

Tabulka 8 Statistické porovnání ortogonalizovaných snímků pro souřadnici X.

	Střední chyba (m)	Směrodatná odchylka (m)	RMSE _X (m)
Stereofotogrammetrie	-0,0135	0,0201	0,0242
SfM	-0,0037	0,0228	0,0231

Tabulka 9 Statistické porovnání ortogonalizovaných snímků pro souřadnici Y.

	Střední chyba (m)	Směrodatná odchylka (m)	RMSE _Y (m)
Stereofotogrammetrie	0,0366	0,0207	0,0421
SfM	6,964E-05	0,0329	0,0329

I přes podobné výsledky při hodnocení přesnosti je znatelný rozdíl v kvalitě výstupů z hlediska vizuálního hodnocení. Přestože je rozdíl v parametrech RMSE_X a RMSE_Y menší než jeden centimetr, obrázek 12 dokazuje negativní vliv nepřesného 3D modelu na ortogonalizaci snímku.



Obr. 12 Vizuální rozdíl vybraného detailu v ortogonalizovaných snímcích z metody SfM (vlevo) a stereofotogrammetrie (vpravo).

7. Porovnání dat z laserového skenování s daty UAV fotogrammetrie v testovacím území

Pro nezávislé ověření byly výsledky z UAV fotogrammetrie konfrontovány s daty z leteckého laserového skenování. Podle údajů v tabulce 10 lepších výsledků dosáhl model vytvořený metodou SfM. RMSE_Z modelu ze Stereofotogrammetrie je 14,7 cm a byl tedy hodnocen hůře než výstup z leteckého laserového skenování.

Tabulka 10 Statistické porovnání přesnosti 3D modelů z UAV fotogrammetrie s daty z laserového skenování.

	Střední chyba (m)	Směrodatná odchylka (m)	RMSE _Z (m)
Stereofotogrammetrie	-0,0731	0,1280	0,1474
SfM	-0,0167	0,0499	0,0526

Model vytvořený metodou SfM s hodnotou $RMSE_z$ 5,3 cm je srovnatelný nebo dokonce lepší než výstup z laserového skenování. Na základě hodnot chyb, které byly zjištěny při porovnání výstupů vytvořených metodou SfM a dat laserového skenování, nelze jednoznačně stanovit, která z metod dosahuje vyšší přesnosti. Oba datové zdroje jsou velmi přesné a zcela vyhovují použití ve fotogrametrii a geografických informačních systémech.

Případové studie

V aplikační části práce autor dokumentuje případové studie z oblasti fluvialní geomorfologie a archeologie. Případovými studiemi dokázal významný vědecký potenciál UAV fotogrametrie pro základní, ale také pro aplikační geovědní výzkum. V oblasti fluvialní geomorfologie autor aplikoval možnosti UAV fotogrametrie při sledování vývoje říční laterální eroze a dalších geomorfologických fluvialních procesů, konkrétně pohyb dřevní hmoty v korytě toku. UAV fotogrametrii významnou měrou použil při výzkumu vývoje kenického meandru a pomocí ní zdokumentoval konečnou fázi jeho vývoje. V oblasti moderního archeologického výzkumu autor použil UAV fotogrametrii jako první v České republice a představil ji jako zcela novou metodu nedestruktivní archeologie, která byla spolupracujícími archeologickými organizacemi a institucemi přijata s velmi pozitivním ohlasem. V další podkapitole autor popisuje příklady využití UAV fotogrametrie při archeologickém výzkumu v lokalitě bývalého hradu Tepenec a dále u přeložky silnice I/44.

5. Diskuse

Během výzkumu v rámci své disertační práce řešil autor problémy, které způsobily technické prostředky nebo nevhodně zvolené pracovní postupy a metody. Při praktických úlohách autor dosáhl hraničních situací, za kterými UAV fotogrammetrii již nelze použít.

Kamera a její kalibrace

I po provedení několika kalibrací kamery různými metodami se prvky vnitřní orientace vždy mírně lišily. Díky nestabilitě optických členů objektivu docházelo v průběhu výzkumu k mírným změnám prvků vnitřní orientace. Autorovi se podařilo problém vyřešit použitím metody využívající pro opravu kalibračních parametrů nadbytečné množství snímků. Prvky vnitřní orientace byly zpřesněny až pomocí vřícovacích bodů zaměřených pro daný snímkový let.

Manuální vyhodnocování ve stereorežimu

Během práce bylo zjištěno, že pokud má být dodržen požadavek na velmi vysokou přesnost extrakce bodů, není možné manuální režim až na výjimky použít. Fyziologické vlastnosti lidského oka a velmi vysoká podrobnost snímků neumožňovaly s dostatečnou přesností manuálně vyhodnotit a extrahovat body z 3D modelu, který byl zobrazen ve stereorežimu. Na velmi malé ploše snímků dochází ke změnám ve výšce v řádech centimetrů. I tyto rozdíly a změny musí být ve výsledném 3D modelu zachyceny, ale lidské oko tyto centimetrové rozdíly nedokáže ve stereorežimu rozeznat. Autor až na výjimky upustil od manuálního vyhodnocování dat a jednoznačně doporučuje pouze automatickou, případně poloautomatickou extrakci bodů.

Y-paralaxa u zpracovaných stereopárů

Hodnoty radiální distorze použitého objektivu byly několikrát vyšší než u kamer v letecké fotogrammetrii. Zejména při zpracování snímků stereofotogrammetrickou metodou docházelo v okrajových částech snímků ke vzniku y-paralaxy, která je ve fotogrammetrii nežádoucí. I přes znalost průběhu radiální distorze objektivu nebylo v autorových silách namodelovat koeficienty radiální distorze zcela bezchybně. Při použití stereofotogrammetrické metody bylo jediným řešením vynechání okrajových částí ze zpracování. Po zavedení metody SfM byl problém odstraněn použitím velkého množství snímků při zpracování.

6. Závěr

Cílem disertační práce bylo sestavit koncept nasazení UAV technologií ve fotogrammetrii pro velmi přesný sběr geodat a ověřit jej na případových studiích aplikovaného výzkumu. Autorem sestavený koncept představuje systematicky uspořádaný soubor dílčích technologických a metodologických procedur, které je potřeba realizovat v průběhu práce s UAV systémem.

Během řešení cílů disertační práce byly využity poznatky, metody a znalosti zejména z oborů fotogrammetrie, dálkového průzkumu Země, geodézie, statistiky, geografických informačních systémů, informatiky a elektronických systémů. Sestavený koncept použití UAV systémů ve fotogrammetrii byl ověřen na testovacích i reálných datech. Pro zpracování dat byly vybrány a otestovány fotogrammetrické metody Stereofotogrammetrie a Structure from Motion.

Výsledkem disertační práce je sestavený koncept nasazení UAV technologií ve fotogrammetrii a pět vypracovaných případových studií. V sestaveném konceptu jsou obsaženy všechny důležité části systému, které jsou potřebné pro jeho správnou funkčnost. Autor navrhl postupy pro přípravu snímkování, tvorbu plánu letu i práci v terénu včetně provedení snímkového letu. Dále byly navrženy a ověřeny postupy zpracování dat včetně kvantifikace chyb. Při dodržení všech postupů a metod zpracování bylo autorem prokázáno, že přesnost výstupů je srovnatelná nebo dokonce lepší než u jiných fotogrammetrických aplikací. Přesnost výstupů z UAV fotogrammetrie byla porovnána s výstupy leteckého laserového skenování a bylo prokázáno, že v přesnostních parametrech může UAV fotogrammetrie bez problémů konkurovat i těmto technikám sběru dat. V oborech fluvialní geomorfologie a archeologie bylo vypracováno pět případových studií. Studie jsou součástí širšího vědeckého výzkumu a dokazují využitelnost UAV technologií v aplikovaném výzkumu.

Při správném pochopení původního smyslu UAV technologií se k uživatelům dostane velmi silný nástroj na sběr geodat v různých oblastech aplikovaného výzkumu. UAV fotogrammetrie může být využita v mnoha oborech nejen z oblasti geografie a geografických informačních systémů. V aplikovaném výzkumu se nabízí její využití například v oblasti geomorfologie, biogeografie, ekologie, kartografie, archeologie a dalších oborů. Pro základní výzkum stále zůstává velké množství otevřených otázek, pro které je možné hledat vhodná řešení. Zejména je možné jmenovat oblast vhodnějších kalibračních postupů pro neměřické kamery nebo návrh nových konstrukcí objektivů pro snímkování z nízkých výšek.

Odborný životopis autora

OSOBNÍ ÚDAJE

Jméno	Jakub Miřijovský
Bydliště	Dvořákova 30, 779 00 Olomouc
E-mail	jakub.mirijovsky@upol.cz
Datum a místo narození	10. 4. 1982, Ostrava



VZDĚLÁNÍ

2008	Ostravská univerzita v Ostravě, Přírodovědecká fakulta, získán titul RNDr.
2007–dosud	Univerzita Palackého v Olomouci, student doktorského studijního oboru Geoinformatika a kartografie
2002–2007	Ostravská univerzita v Ostravě, Přírodovědecká fakulta, obor Geografie – fyzická geografie a geoekologie (Mgr.)
1997–2001	SPŠ – Stavební v Ostravě, obor Geodézie, zakončeno maturitou

PRAXE

2009–dosud	Univerzita Palackého v Olomouci, katedra geoinformatiky, pozice Asistent
2008–2009	odborný asistent na Ostravské univerzitě v Ostravě, katedra fyzické geografie a geoekologie
2007	Geocentrum s. r. o., pozice „Informatik GIS“ Během studia odborná praxe na Správě NP České Švýcarsko

ČLENSTVÍ V ODBORNÝCH ORGANIZACÍCH

Individuální člen Společnosti pro fotogrammetrii a dálkový průzkum Země

STÁŽE

2011	Universitet Marii Curie-Sklodowskiej, Instytut Nauk o Ziemi (Lublin, Polsko)
2011	University of Iceland in Reykjavik (Reykjavík, Island)
2010	Aerofilm Photo Services (Paříž, Francie)
2010	Ruhr Universität Bochum, Geographisches Institut (Bochum, Německo)
2008	University of West Hungary, Faculty of Geoinformatics (Székesfehérvár, Maďarsko)

PROJEKTOVÁ ČINNOST

2013-2015	Visegrad Fund N. 11210039, Evaluation of a new remote sensing methodology for detailed international mapping in the V4 region - ostatní řešitel
-----------	---

2012-2015	Operační program: OP Vzdělávání pro konkurenceschopnost (osa 7.2.3) CZ.1.07/2.3.00/20.0170 - StatGis Team
2012	PrF_2012_007 Maloformátové snímkování při studiu vlivu heterogenity povrchu na charakter stanoviště - spoluřešitel projektu
2012	Visegrad Fund N. 31210058, Detailed aerial mapping and flood impact monitoring in the V4 region - ostatní řešitel
2011	EEA Norway Funds č. B/CZ0046/4/0001 - Integration of the sensor network and the small format remote sensing for prediction of the snow hazard - spoluřešitel projektu
2011	AV ČR - Otevřená věda CZ.1.07/2.3.00/09.0034 - pracovník v rámci jednoho subprojektu
2010	PrF_2010_14 POHOS (Pohyb obyvatel na styku urbánního a suburbánního prostoru) - spoluřešitel projektu
2009	FRVŠ 1818/2009: Terénní cvičení z dynamické geomorfologie - řešitel projektu

PEDAGOGICKÁ ČINNOST

Výuka předmětů: Dálkový průzkum Země, Polohové a navigační systémy, Digitální zpracování obrazu, Základy geodézie, Pokročilé metody DPZ, Fotogrammetrie

KONFERENCE

Přednesení vlastního příspěvku na celkem 11 konferencích, z toho 5 s výsledky disertační práce.

Abstract

This Ph.D. thesis represents the original author's approach to the deployment of UAV technology in photogrammetry. Two unmanned aerial systems were used and author demonstrates their usefulness in the applications of accurate collection of geodata.

The first part of the thesis deals with the concept of deploying UAV system and its requirements. The system is exposed to number of technological and non-technological requirements that must be met. Camera calibration, creation of a flight plan, obtaining flight permits are solved in the first part and legal aspects for fulfill the conditions for the operation of unmanned systems in the Czech Republic.

The second part is devoted to field work and imaging flight. Different types of the ground control points and their orientation are solved in this chapter. There is also resolved the camera exposure. As well the issues of imaging flight and control of the obtained data are resolved.

The third part deals with the various methods of processing the data, including its accuracy. This part is focused on interpolation methods for creating 3D surface model. A method Structure from Motion and stereophotogrammetry method are analyzed in this part. Output accuracy is evaluated on the basis of two independent reference data sources. Data from the UAV photogrammetry are compared with the data of geodetic measurements and aerial laser scanning.

In the last part of the thesis, five case studies in the fields of fluvial geomorphology and archaeology were introduced. The case studies are a part of a broader scientific research and demonstrate the usability of the UAV technology in applied research. The outputs of selected parts of the case studies are 3D terrain or surface models of an area of interest, orthophoto images, photo plans, and maps. All results are based on the collection, processing and evaluation of the UAV data.

Keywords:

Photogrammetry, UAV, Digital Surface Model, Unmanned, Image

1. Introduction

Nowadays it is quite common to use remote sensing (RS) data in a geoscientific research. It is a constantly evolving field, which is applied in many fields and industries, whether scientific or commercial sphere. For an imaging from the heights up to 30 m above the surface can be used aerial platforms, or the images can be taken from the tall buildings and towers. If there is necessary to acquire images from a greater height, it is necessary to use models of aircraft or other platforms which have the capability imaging at altitudes around 100 m. The

UAV photogrammetry is the field of science, contains methods and technologies that deals with the acquisition of further usable measurements, maps, digital terrain models and other products that can be obtained from the images, mostly photographic materials. If it is need to obtain very precise images with high geometric quality then arise many scientific questions about camera calibration, the deployment of control points and flight characteristics of the models.

The main condition is that a pilot may not be physically presented in the platform. UAV photogrammetry combines advantages of air and land photogrammetry. The UAV photogrammetry takes the advantage of vertical aerial view from aerial photogrammetry and the advantage of close distance and the high image detail from ground photogrammetry. Geometric-mathematical reconstruction of the direction of the photographic rays in the image is the basic principle of the photogrammetric measurement. The UAV photogrammetry is a new measurement tool with a possibility of obtaining precise geographic data.

2. Aims of the study

The main objective of the thesis is to build a concept of UAV deployment in photogrammetry for highly accurate collecting of geodata, and to verify it on case studies related to applied research. The proposed concept is a systematically organized set of partial technological and methodological procedures, undertaken during the course of work with the UAV system. The main aims of the thesis were:

- Definition of basic parameters of the camera for use in UAV photogrammetry, which are related to the use of non-professional aerial cameras.
- Analysis of the accuracy of camera calibration in relation to the overall accuracy of the output.
- Study of the relation of ground control points distribution to the accuracy of the aerotriangulation calculation.
- Analysis of the impact of atmospheric and light conditions to the resulting image quality.

The assembled concept has to be properly tested on five case studies.

3. Methods and processing procedure

Concept

The design of the concept is composed from the basic blocks which enable deployment UAV technologies in the photogrammetry. The author verified all parts of the concept during doctoral studies. Figure XX represents the concept of the UAV technologies in photogrammetry. The diagram shows the most important part of the concept. Each of these parts is broken down into more detailed parts that are found in other chapters of the work.

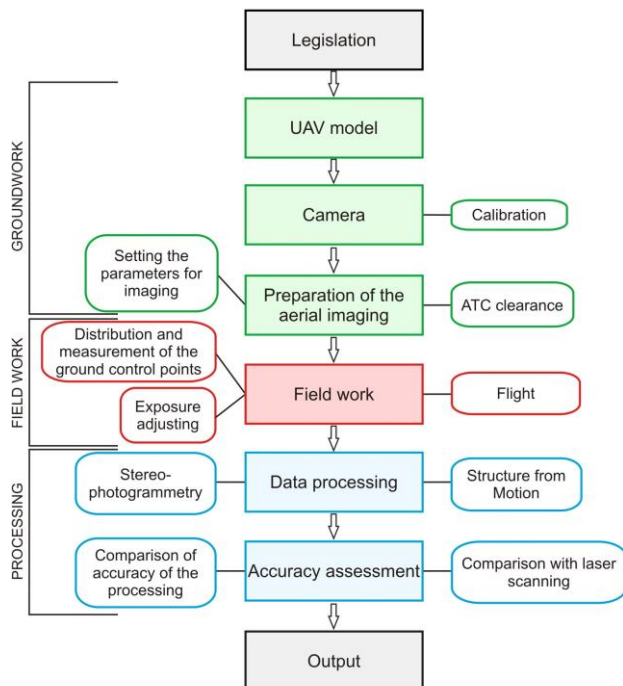


Fig. 1 Basic concept of the UAV systems deployment.

4. Results and discussion

The main outcome of the thesis is the proposed concept of the UAV technology deployment in photogrammetry, and also the five introduced case studies. The proposed concept includes all the necessary components that are required for its proper functionality. The author suggested procedures for the imaging set-up, flight planning, and field work, including the flight and data processing. Moreover, data processing methods (including quantification of spatial errors) were designed and verified, and two methods for UAV photogrammetry data processing were tested. The most important results are knowledge which complete the concept of UAV imaging and UAV photogrammetry. It demonstrates its applicability in professional practice. These include in particular:

Definition of basic parameters of the camera for use in UAV photogrammetry, which are related to the use of non-professional aerial cameras.

The results of various calibration methods and the use of different test fields confirm that there is not only one particular technique or test field for obtaining correct results. Table 1 summarizes the results of the calibration.

Table 1 The results of the camera calibration.

Kamera	f (mm)	xp (mm)	yp (mm)	x0 (mm)	y0 (mm)
EOS 500D	18,45168	-0,05443	0,076238	11,1125	7,5207

Analysis of the accuracy of camera calibration in relation to the overall accuracy of the output.

Camera calibration has a significant impact on the overall accuracy of the output. It has been shown that in particular the accurate calculation of the radial distortion coefficients is essential in order to avoid y-parallax. Therefore, the author recommends calculate the coefficients K0, K1 and K2 only during the final stage of the automatic aero-triangulation. For this process it has to be used ground control points and tie points. The most suitable model for the calculation of the radial distortion coefficients is Lens distortion model. A necessary condition for the application of the ground control points is a high precision of the ground control points.

Study of the relation of ground control points distribution to the accuracy of the aerotriangulation calculation.

The effect of correct distribution of control points in the terrain on a correct calculation of the external orientation objects is negligible. As expected, a version in which all the points are located in a single line, thus having a linear relation, has proven completely unsuitable.

Distribution of points along a straight communication or other objects in the terrain is by no means recommended. If it is at all possible, it is always best to keep the rule of an even distribution of the points over the surface so that none of the points lies on the same line with another point. This version in fact corresponds to an absolutely random distribution of the points.

Analysis of the impact of atmospheric and light conditions to the resulting image quality.

There were analyzed factors that could cause complications with the flight in the air or to reduce or degrade image recording. Based on the analysis of flight data from the PIXY model was identified a problem that causes gusts of wind. The problem in most cases occurs only in connection with paraglider model, which is prone to weather conditions. Appropriate attention had to be paid to the lighting conditions. Various illumination leads to quite different objects visibility in the image. If there are objects in images that are substantially recessed into the ground, then it is better to choose scattered light for the imaging.

5. Conclusion

UAV photogrammetry can be used in many fields, not only in the field of geography and geographic information systems. The thesis can be employed especially by the users who work with UAV systems in photogrammetry. The outcomes can be helpful for scientists who need geometrically accurate data from the airplane photos. Applications to other fields, such as geomorphology, biogeography, ecology, cartography, archaeology and other disciplines, can also be found in the literature. The results of this thesis should serve as a guideline, helping to obtain a very accurate data with a precision better than ten centimeters.

Regarding the theoretical research, there are still many open questions, for which it is possible to find appropriate solutions. In particular, it is possible to name the area more suitable calibration procedures for non-metric cameras, or creation of a new lens which will be better for usage in close-up remote sensing. The aforementioned open problems lie in the scope of the author's future research.

Curriculum Vitae



PERSONAL DATA

Name	Jakub Miřijovský
Address	Dvořákova 30, 779 00 Olomouc
E-mail	jakub.mirijovsky@upol.cz
Date and Place of the Birth	10. 4. 1982, Ostrava

EDUCATION

2008	University of Ostrava, Faculty of Science, RNDr.
2007	Palacký university in Olomouc, Ph.D. student. Geoinformatics and Cartography
2002–2007	University of Ostrava, Faculty of Science, Geography – Physical geography and Geoecology (Mgr.)

WORKING EXPERIENCES

From 2009	Palacký university in Olomouc, Department of geoinformatics, Teacher
2008–2009	University of Ostrava, Faculty of Science, Geography – Physical geography and Geoecology - Teacher
2007	Geocentrum s. r. o., position „IT in GIS“

ORGANIZATION AND COMMISSION MEMBERSHIP

Individual member of the Czech Society for Photogrammetry and Remote Sensing

ABROAD MOBILITIES

2011	Universitet Marii Curie-Sklodowskiej, Instytut Nauk o Ziemi (Lublin, Poland)
2011	University of Iceland in Reykjavik (Reykjavik, Iceland)
2010	Aerofilm Photo Services (Paris, France)
2010	Ruhr Universität Bochum, Geographisches Institut (Bochum, Deutschland)
2008	University of West Hungary, Faculty of Geoinformatics (Székesfehérvár, Hungary)

RESEARCH PROJECTS MEMBERSHIPS/LEADING

2013-2015	Visegrad Fund N. 11210039, Evaluation of a new remote sensing methodology for detailed international mapping in the V4 region - project team leader
2012-2015	Operační program: OP Vzdělávání pro konkurenceschopnost (osa 7.2.3) CZ.1.07/2.3.00/20.0170 - StatGis Team

- 2012 PrF_2012_007 Maloformátové snímkování při studiu vlivu heterogenity povrchu na charakter stanoviště - project team member
- 2012 Visegrad Fund N. 31210058, Detailed aerial mapping and flood impact monitoring in the V4 region - project team leader
- 2011 EEA Norway Funds č. B/CZ0046/4/0001 - Integration of the sensor network and the small format remote sensing for prediction of the snow hazard - project team member
- 2010 PrF_2010_14 POHOS - project team member
- 2009 FRVŠ 1818/2009: Field course of dynamic geomorphology - project team leader

TEACHING COURSES

Remote Sensing, Global Navigation Satellite Systems, Digital Image Processing, Geodesy, Advanced Methods in Remote Sensing, Photogrammetry

CONFERENCE

Presenting own contribution at 11 conferences, of which 5 with the results of the Ph.D. thesis.

Seznam vybraných publikací autora souvisejících s disertační prací / Author's selected publications related to the dissertation

Publikace v kategorii Jrec / Publications in Jrec category

- Miřijovský, J., Pechanec, V., Burian, J. (2012). Využití bezpilotního modelu PIXY při snímkování krajiny. *Informace ČGS*, 31, č. 1, s. 11–17.

Publikace recenzované - ve světovém jazyce / Reviewed papers in English language

- Miřijovský, J., Michalková, M., Trizna, M. (2012). Evaluation of a new remote sensing methodology for detailed international mapping in the V4 region. *Journal of Landscape Management* Vol. 3 / No. 2. p. 7-11.

Publikace v kategorii D - články ve sborníku indexovaný v databázi Conference Proceedings Citation Index / Publications in D category - Papers in conference proceedings

- Miřijovský, J., Vávra, A. (2012). UAV photogrammetry in fluvial geomorphology. In Conference Proceedings SGEM 2012. 12th International Multidisciplinary Scientific GeoConference STEF92 Technology Ltd., Sofia, Bulgaria.
- Svobodová, J., Miřijovský, J., Kilianová, H. (2012). The peculiarities of the digital surface model creation from the data acquired by small format photography. In Conference Proceedings SGEM 2012. 12th International Multidisciplinary Scientific GeoConference STEF92 Technology Ltd., Sofia, Bulgaria.
- Miřijovský, J., Brus, J., Pechanec, V. (2011). Utilization of a Small format aerial photography from drone PIXY concept in the evaluation of the landscape changes. In Conference Proceedings SGEM 2011. 11th International Multidisciplinary Scientific GeoConference STEF92 Technology Ltd., Sofia, Bulgaria, 345-352s.

Specializované mapy s odborným obsahem - kategorie N_{map} / Expert maps

- Miřijovský, J., Petyniak, O., Uhrová, H., Michalková, M. (2012). Morfologický vývoj Kenického meandru v letech 2011 a 2012, číslo mapy: KGI-MIR-01. Dostupné online z <http://www.geoinformatics.upol.cz/app/v4mapping/results.html>.

Konferenční příspěvky zahraniční - nerecenzované / Conference papers - international (Not reviewed)

- Miřijovský, J., Martínek, J., Brus, J. (2011). Reconstruction of historical paths with using of small-format aerial photography. In XXIIIrd International CIPA Symposium, Praha : ČVÚT Praha, p. 1-7.
- Miřijovský, J., Michalková, M., Bělka, L., Brus, J. (2012). Precise Close Range UAV Mapping in Difficult Field Conditions. In XXII International Society for Photogrammetry & Remote Sensing Congress, Melbourne.

Konferenční příspěvky domácí - nerecenzované / Conference papers - (Not reviewed)

- Miřijovsky, J. (2012). The influence of the distribution and amount of ground control points on the accuracy of the aerotriangulation calculation. In: First InDOG Doctoral Conference Proceedings. p. 42-45.

- Miřijovský, J. (2008). Hodnocení podmínek využitelnosti systému GPS jako zdroje geografických dat pro GIS v NP České Švýcarsko. In Sborník sympozia GIS Ostrava 2008. VŠB-TU Ostrava, 7s. 978-80-254-1340-1.

Vyzvané přednášky v zahraničí / Keynote lectures

- 2011 - UAV mapování ve fyzické geografii. Komenského univerzita v Bratislavě. Na pozvání prof. Minára.
- 2012 - UAV fotogrammetrie. Komenského univerzita v Bratislavě. Na pozvání prof. Minára.

Úplný seznam publikací autora / All author's publications

Publikace v kategorii Jneimp / Publications in Jneimp category

- Dušek, R., Miřijovský, J. (2009). Vizualizace prostorových dat: chaos v dimenzích. Geografie - Sborník české geografické společnosti. Česká geografická společnost, 169-178 s.

Publikace v kategorii Jrec / Publications in Jrec category

- Miřijovský, J., Pechanec, V., Burian, J. (2012). Využití bezpilotního modelu PIXY při snímkování krajiny. Informace ČGS, 31, č. 1, s. 11–17.
- Burian, J., Miřijovský, J., Macková, M. (2011). Suburbanizace Olomouce. Urbanismus a územní rozvoj, 2011, 5.
- Heisig, J., Burian, J., Miřijovský, J. (2011). Změny intenzity osobní automobilové dopravy a vliv na prostorovou diferenciaci suburbanizace. Perner's Contacts. Univerzita Pardubice, 84-91 s.

Publikace recenzované - ve světovém jazyce / Reviewed papers in English language

- Miřijovský, J., Michalková, M., Trizna, M. (2012). Evaluation of a new remote sensing methodology for detailed international mapping in the V4 region. Journal of Landscape Management Vol. 3 / No. 2. p. 7-11.

Publikace v kategorii D - článek ve sborníku indexovaný v databázi Conference Proceedings Citation Index / Publications in D category - Papers in conference proceedings

- Miřijovský, J., Vávra, A. (2012). UAV photogrammetry in fluvial geomorphology. In Conference Proceedings SGEM 2012. 12th International Multidisciplinary Scientific GeoConference STEF92 Technology Ltd., Sofia, Bulgaria.
- Svobodová, J., Miřijovský, J., Kilianová, H. (2012). The peculiarities of the digital surface model creation from the data acquired by small format photography. In Conference Proceedings SGEM 2012. 12th International Multidisciplinary Scientific GeoConference STEF92 Technology Ltd., Sofia, Bulgaria.
- Pechanec, V., Vávra, A., Svobodová, J., Miřijovský, J. (2012). Phenological analysis of the landscape with the support of geographic information technologies . In Conference Proceedings SGEM 2012. 12th International Multidisciplinary Scientific GeoConference STEF92 Technology Ltd., Sofia, Bulgaria, 1125-1132s.
- Miřijovský, J., Brus, J., Pechanec, V. (2011). Utilization of a Small format aerial photography from drone PIXY concept in the evaluation of the landscape changes. In

Conference Proceedings SGEM 2011. 11th International Multidisciplinary Scientific GeoConference STEF92 Technology Ltd., Sofia, Bulgaria, 345-352s.

- Pechanec, V., Brus, J., Mirijovský, J. (2011). Monitoring of snow risks by geo-sensors in urban areas. In Conference Proceedings SGEM 2011. 11th International Multidisciplinary Scientific GeoConference STEF92 Technology Ltd., Sofia, Bulgaria, 653-660s.

Specializované mapy s odborným obsahem - kategorie Nmap / Expert maps

- Mirijovský, J., Petyniak, O., Uhrová, H., Michalková, M. (2012). Morfologický vývoj Kenického meandru v letech 2011 a 2012, číslo mapy: KGI-MIR-01. Dostupné online z <http://www.geoinformatics.upol.cz/app/v4mapping/results.html>.

Konferenční příspěvky zahraniční - recenzované / Conference papers - international (Not reviewed)

- Marjanović, M., Burian, J., Mirijovský, J., Harbula, J. (2012). Urban Land Cover Change of Olomouc City Using LANDSAT Images .Issue 71, In Conference Proceedings World Academy of Science, Engineering and Technology, 75-81s.
- Svobodová, J., Mirijovský, J., Vávra, A., Brus, J., Kilianová, H. (2012). Using of local indicators of spatial association for evaluation of spatial accuracy of DEM. In Symposium proceedings Accuracy 2012. 10th International Symposium on Spatial Accuracy Assessment in Natural Resources and Environmental Sciences Florianópolis, SC, Brazil, 115-120s.

Konferenční příspěvky domácí - recenzované / Conference papers - (Reviewed)

- Pechanec, V., Machar, I., Kilianová, H., Mirijovský, J. (2012). Environmental education: Expanding practical applications - research landscape of Litevské Pomoraví .In. Svobodová, H. (ed.): Geography and Geoinformatics: Challenge for Practise and Education. Proceedings of 19th International Conference. Brno, Masarykova universita., 172-179s.
- Mirijovský, J., Pechanec, V., Brus, J. (2010). Možnosti rozpoznávání druhů vegetace z dat DPZ .Herber, V. (ed.): In Fyzickogeografický sborník 8. Fyzická geografie a trvalá udržitelnost Brno, Masarykova Univerzita.
- Mirijovský, J., Dušek, R. (2009). Vizualizace prostorových dat: chaos v dimenzích. 18. kartografická konference 2009, Olomouc. [CD-ROM].
- Pechanec, V., Mirijovský, J. (2008). Znalostní báze krajiny pro studium ekotonů . Herber, V. (ed.): In Fyzickogeografický sborník 6. Fyzická geografie a trvalá udržitelnost Bmo, Masarykova Univerzita, 214-218s.ISBN: 978-80-210-4780-8.
- Dušek, R., Mirijovský, J. (2008). Identification of Lineaments Based on Point Phenomena Occurrence - Mathematical Model. In 16th Annual Conference Proceedings, Technical Computing Prague 2008 Humusoft, 72-72s.

Konferenční příspěvky zahraniční - nerecenzované / Conference papers - (Not reviewed)

- Mirijovský, J., Martínek, J., Brus, J. (2011). Reconstruction of historical paths with using of small-format aerial photography. In XXIIIrd International CIPA Symposium, Praha : ČVÚT Praha, p. 1-7.
- Mirijovský, J., Michalková, M., Bělka, L., Brus, J. (2012). Precise Close Range UAV Mapping in Difficult Field Conditions. In XXII International Society for Photogrammetry & Remote Sensing Congress, Melbourne.

Konferenční příspěvky domácí - nerecenzované / Conference papers - (Not reviewed)

- Mirijovsky, J. (2012). The influence of the distribution and amount of ground control points on the accuracy of the aerotriangulation calculation. In: First InDOG Doctoral Conference Proceedings. p. 42-45.
- Miřijovský, J., Pechanec, V., Šťávoř, Z., Voženilek, V. (2008). Metapopis při přípravě e-learningového kurzu. In: Řehout V. (ed.) Pedagogický software 2008. Scientific Pedagogical Publishing, České Budějovice., 247-249s.
- Miřijovský, J. (2008). Hodnocení podmínek využitelnosti systému GPS jako zdroje geografických dat pro GIS v NP České Švýcarsko. In Sborník sympozia GIS Ostrava 2008. VŠB-TU Ostrava, 7s. 978-80-254-1340-1.
- Miřijovský, J., Kaňok, J. (2008). Kartografické metody výzkumu a jejich využití při hodnocení změn ekotonů. Geografické dny Liberec 2008, 7 s.

Vyzvané přednášky v zahraničí / Keynote lectures

- 2011 - UAV mapování ve fyzické geografii. Komenského univerzita v Bratislavě. Na pozvání prof. Minára.
- 2012 - UAV fotogrammetrie. Komenského univerzita v Bratislavě. Na pozvání prof. Minára.