

Digitální ortofoto

stručná teorie

Hodač J.

VII 2004

Obsah

1. Překreslení leteckých snímků	2
1.1. Úvod	2
1.2. Teorie, metody řešení	2
1.2.1. Překreslení snímků na překreslovačích	2
1.2.2. Diferenciální překreslování	3
1.2.3. Digitální ortofoto	3
2. Digitální ortofoto	4
2.1. Princip	4
2.1.1. Porovnání s předešlými metodami	4
2.2. Pracovní postup	5
2.2.1. Příprava projektu	5
2.2.2. Digitalizace leteckých snímků	5
2.2.3. Vnitřní (interní) orientace	5
2.2.4. Vnější (externí) orientace	5
2.2.5. Bundle Adjustment (AAT)	6
2.2.6. Příprava DMT	6
2.2.7. Ortofoto	6
2.2.8. Závěrečné úpravy	6
2.3. Další aspekty tvorby digitálních ortofot	7
2.3.1. Definice parametrů ortofota	7
3. Zdroje	10

1. Překreslení leteckých snímků

1.1. Úvod

Liniová mapa, získaná například vyhodnocením leteckých snímků, ne vždy vyhovuje požadavkům jejích uživatelů, ať už jsou z oblasti lesnictví, geografie, územního plánování, státní správy atd. Hlavním problémem je, že neobsahuje všechny důležité detaily potřebné pro toho kterého uživatele. Mapy, které by měly obsah leteckých snímků (fotomapy), se jeví jako nejlepší řešení v těchto oblastech. Další nezanedbatelnou výhodou fotomap je jejich nižší pořizovací cena a velmi krátká doba jejich výroby oproti liniovým mapám.

1.2. Teorie, metody řešení

Letecké snímky vznikají centrálním promítáním zemského povrchu na rovinu snímku, kdežto liniové mapy jsou ortogonálním průmětem povrchu. Jde tedy o to, jakými metodami bude snímek s centrální projekcí konvertován do podoby překresleného snímku s ortogonální projekcí.

Deformace (zkreslení) **obrazu** je způsobena několika vlivy a to zejména:

- *aberací* - závisí na optické soustavě objektivu,
- orientací osy záběru - její nesvislostí
- *centrální promítání* - diferenciální posuny obrazu vlivem výškové členitosti terénu.

K **odstranění** těchto **deformací** se používají tři základní metody:

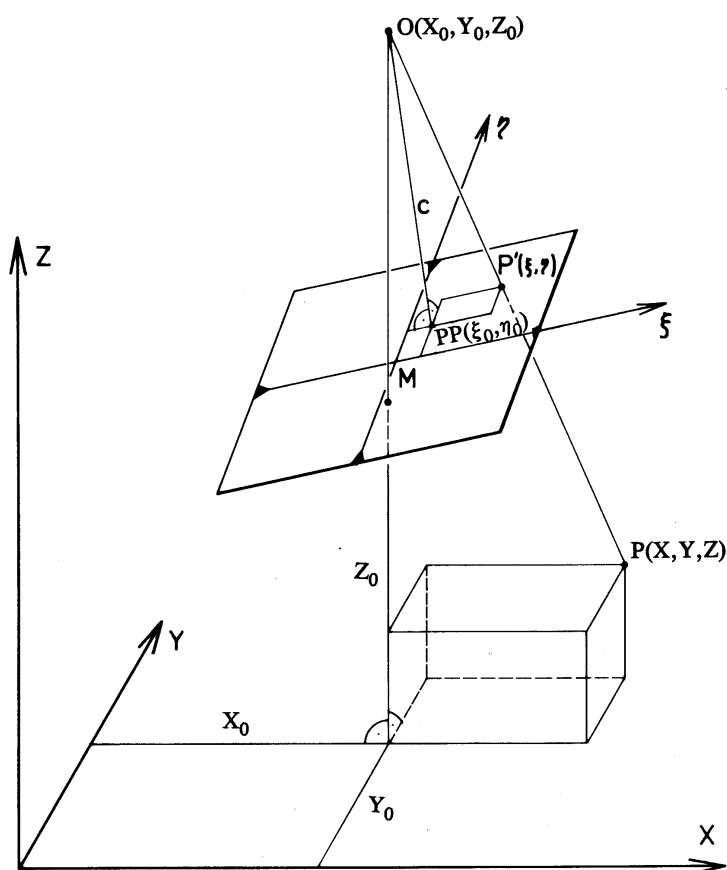
- překreslení snímků na překreslovačích
- diferenciální překreslení
- digitální ortofoto.

1.2.1. Překreslení snímků na překreslovačích

Tato metoda patří mezi analogové metody jednosnímkové fotogrammetrie. Je založena na principu splnění podmínek projektivní (kolineární) transformace roviny snímku do roviny mapy za předpokladu, že *území zobrazené na snímku je rovinaté*. Postup vyžaduje obnovení prvků vnitřní a vnější orientace v průběhu procesu překreslení. Z toho důvodu je potřeba znát souřadnice minimálně čtyř vlčovacíků bodů. Překreslení snímků se děje fotografickou cestou. Výsledkem je fotoplán, jehož přesnost je poměrně malá zhruba kolem 0,5 mm, viz [1].

1.2.2. Diferenciální překreslování

Tato metoda je založena na řešení rovnic kolineární transformace, která přesně popisuje vztahy mezi snímkovým souřadnicovým systémem a geodetickým souřadnicovým systémem. Vztahy jsou odvozeny z obrázku č.1. Prakticky je členité území rozděleno na diferenciálně malé plošky ve tvaru obdélníků, které se v souladu s výškovou členitostí terénu fotografickou cestou překreslují (řešeno plynulou změnou zvětšení). Na rozdíl od předešlé metody je zde již uvažována výšková členitost. Děje se tak buď v režimu on-line, kdy je přímo ve stereomodelu měřická značka vedena po terénu (profilování), nebo v režimu off-line kdy se využívá výškových dat již dříve získaných (vyhodnocené nebo digitalizované vrstevnice, síť výškových bodů atd.). Výsledná přesnost vzniklého ortofotoplánu závisí na mnoha faktorech a udává se hodnotou 0,3 mm, viz [1,2].



Obr. 1

Vztah mezi souřadnicovým systémem snímkovým a geodetickým

1.2.3. Digitální ortofoto

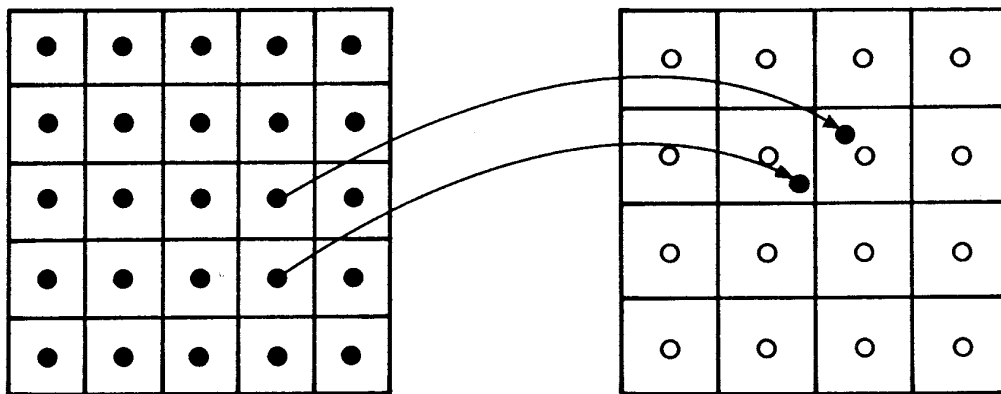
Jak název napovídá, pracuje tato metoda s leteckými snímky v digitální podobě a výsledné digitální ortofoto má taktéž digitální podobu (rastrový obrázek). Samotný princip řešení tzn. využití kolineární transformace zůstává zachován. Blíže o této metodě pojednává další kapitola.

Obě předchozí metody patří mezi historické. Dnes se používá výhradně metody digitální ortofota.

2. Digitální ortofoto

2.1. Princip

Jak bylo již dříve naznačeno, základním principem digitálního ortofota (DO) je transformace obrazové matice (rastru) ze systému snímkových do systému geodetických (rovinných) souřadnic. Vlastní proces tvorby DO začíná definováním požadované obrazové matice v rovině geodetického SS. Následuje transformace středů obrazových elementů (pixelů) do snímkového SS, jak je možno vidět na obrázku č. 2. Pro tuto transformaci (kolineární) potřebujeme znát Z souřadnice středů obrazových elementů, které je možné získat **interpolací** například z existujícího DMT.



Obr.2: Vztah mezi obrazovou maticí v geodetickém a snímkovém SS

Dalšími požadovanými vstupními daty jsou známé prvky vnitřní a vnější orientace snímků.

Následně pak řešíme otázku jak určit hodnoty šedi (barvy) jednotlivých pixelů nově vznikajícího ortofota na podkladě známých hodnot v rámci leteckého snímku. Pro tyto účely se běžně používají tři základní metody a to metoda nejbližšího souseda, bilineární interpolace, kubická konvoluce. Každá z těchto metod má své výhody a nevýhody, podrobněji viz později.

2.1.1. Porovnání s předešlými metodami

- geometrická **přesnost je vyšší** v souvislosti s použitím DMT k aproximaci povrchu terénu
- vniklý **obraz** může být dál **upravován** (např. úpravou kontrastu, filtrace, hranové operace)
- lepší nástroje na úpravu kontrastu na styku jednotlivých ortofot při **mozaikování**
- DO se může stát jednou z informačních vrstev **GISů**
- DO může být analyzováno pomocí **klasifikace**, rozpoznávání vzorů atd.

2.2. Pracovní postup

Celý postup zpracování ortofota se dá rozdělit do několika etap, o kterých se v následujícím textu krátce zmíním.

2.2.1. Příprava projektu

V této fázi jde o stanovení základních parametrů daného projektu tedy např. o - stanovení měřítka snímkování, volbu fotografické kamery, volbu rozlišení při digitalizaci snímku apod.

2.2.2. Digitalizace leteckých snímků

Letecké snímky v analogové podobě je třeba převést do podoby digitální, což je provádí speciálními fotogrammetrickými skenery. Volba rozlišení skenování je v přímém vztahu s požadovanou přesností, ale zároveň i efektivitou zpracování ortofot. Hodnota rozlišení se obvykle pohybuje okolo 25 μm (přibližně 1000 DPI). Velikost takto vzniklých datových souborů je zhruba 90Mb (pro šedotón) a asi 3 krát větší pro barevný snímek (true color). Při skenování máme též možnost ovlivnit kvalitu obrazu úpravou histogramu (potlačení extrémních hodnot šedi).

2.2.3. Vnitřní (interní) orientace

Interní orientace slouží k navázání vztahu mezi pixelovými souřadnicemi naskenovaného snímku a snímkovými souřadnicemi definovanými rámovými značkami komory, které získáme nejčastěji z kalibračního protokolu komory. Výpočet se provádí pomocí vhodné rovinné transformace (například afinní).

2.2.4. Vnější (externí) orientace

Externí orientace slouží k transformaci dat ze snímkových do geodetických souřadnic. V této fázi se již neobejdeme bez kontrolních tzv. vlíčovacích bodů, což jsou body na snímcích dobře identifikovatelné případně i uměle signalizované se známými geodetickými souřadnicemi. Přesnost jejich určení závisí na požadované přesnosti ortofota, dnes se k jejich určení převážně používá metody GPS.

Protože určení geodetických souřadnic odpovídajícího množství vlíčovacích bodů může být nákladné, nemusejí tyto body pokrývat zájmové území v dostatečné hustotě, pak je možné využít tzv. spojovacích bodů, které jsou jednoznačně identifikovatelné a u nichž souřadnice neznáme. V tom případě se pro výpočet neznámých prvků vnější orientace používá metody analytické aerotriangulace (AAT).

Někdy je externí orientace provedena na analytických stereoplotrech (např. Leica SD 3000) a tyto výsledky je poté možno pro účely tvorby ortofot převzít.

2.2.5. Bundle Adjustment (AAT)

Metoda vyrovnání paprskových svazků může být s úspěchem použita jak pro jednotlivé snímky tak i pro celou řadu, případně blok řad snímků. Výsledkem je vypočtená externí orientace respektive prvky vnější orientace.

Pokud metodu používáme pro zpracování více snímků (řada, blok) pak mluvíme o analytické aerotriangulaci.

2.2.6. Příprava DMT

Pro území, které má být pokryto ortofotem, musí být k dispozici vhodný DMT. Existují různé způsoby jak lze takový model získat. Hlavním kritériem je jeho přesnost, která má největší vliv na přesnost vzniklého ortofota. Lze tedy využít již existujících DMT. V našem prostředí se jedná např. o vojenské DMR1 (sít' 1x1 km), DMR2 (100x100 m). Nebo můžeme vytvořit vlastní DMT z vhodných podkladů jako jsou digitalizované vrstevnice (ZABAGED), sít' měřených bodů aj. Poslední možností, která vyžaduje speciální software, je vytvoření DMT pomocí obrazové korelace dvou snímků stereodvojice. Takto vzniklý model vyžaduje dodatečnou kontrolu ve stereomódu.

2.2.7. Ortofoto

Princip tvorby ortofota byl již zmíněn dříve. Další možností jak výrazně ovlivnit čas zpracování jednotlivých ortofot je volba, zda výpočet bude prováděn pro každý pixel nebo pouze pro každý n-tý. Pak dojde k rozdělení vznikajícího ortofota do pravidelné čtvercové sítě. Výpočet pak probíhá pouze pro vrcholy této sítě, které poté určují vrcholy rovnoramenných trojúhelníků, pro něž je pak použita rovinná afinní transformace řešící přenos hodnot z původního do vznikajícího rastru. Volba kroku této sítě ovlivňuje nejen produkční dobu, ale výrazně také přesnost výsledného produktu.

2.2.8. Závěrečné úpravy

Jako výsledný produkt nejsou často požadována jednotlivá ortofota, ale blok pokrývající celé zájmové území (např. mapový list). Toho lze docílit mozaikováním jednotlivých ortofot. Různé software nám dávají různé nástroje pro mozaikování, ať už jde o interaktivní tvorbu švů operátorem nebo poloautomatickou tvorbu dle zadaných parametrů (sledování prvků obrazu – silnice, řeky atd.). Dalšími operacemi lze upravit kontrast podél jednotlivých švů tak, aby přechod mezi jednotlivými snímky nepůsobil rušivě, čemuž se ovšem ne vždy vyhneme (vodní plochy).

2.3. Další aspekty tvorby digitálních ortofot

2.3.1. Definice parametrů ortofota

Návrh parametrů výsledného produktu (ortofota) vychází především z těchto požadavků a vstupních hodnot :

- čitelnost (dostatečná podrobnost)
- přesnost
- definice mapových listů (výsledku)
- měřítko snímkování
- DMT

Naopak parametry , které jsou jasně dány touto volbou, jsou :

- souřadnicový systém
- klad mapových listů
- rozlišení při skenování
- výsledná velikost pixelů
- kontrolní měření
- aerotriangulace a bundle adjustment

Všechny tyto parametry jsou ve vzájemné vazbě, což znamená, že volbu jednoho parametru musíme dělat s ohledem na další.

Hodnotou, která prostupuje celým procesem tvorby ortofota, je měřítko snímku. To je určeno především ve shodě s **rozlišením při skenování** a výslednou velikostí pixelů. Skenování se nejvíce provádí s rozlišením 15-30 μm , protože rozlišení menší než 30 μm by mohlo znamenat ztrátu informace případně komplikace při identifikaci identických bodů. Rozlišení při skenování musí také odpovídat reálné velikosti pixelů výsledného ortofota k zaručení požadované přesnosti.

Vztah mezi velikostí pixelů výsledku a čitelností je komplexním problémem. Celá řada vlivů počínaje použitým fotomateriálem, expozicí,,konče použitou metodou určení šedi zde hraje svou roli. Obecně lze říci , že lineární prvky jsou lépe rozpoznatelné a i když mají mnohdy subpixelovou velikost, tak ve výsledném ortofotu nezanikají. Velikost pixelu výsledného ortofota

by měla být vybrána pouze na základě procesu zhodnocení produktů získaných ze snímků s různým měřítkem skenovaných s různým rozlišením.

Vztah mezi měřítkem snímku a měřítkem výsledného ortofota (v analogové = vytištěné podobě) zůstává i zde stejně jako v analogové a analytické fotogrametrii dán poměry 1: 3 až 1: 6, přičemž je jasné, že s jeho vzrůstající hodnotou poroste i rozlišení při skenování.

K **eliminaci** velkého **počtu** zpracovávaných **snímků** a potřeby jejich vzájemného mozaikování je vhodné aby bylo při snímkování zajištěno, že středy jednotlivých snímků se budou krýt se středy jednotlivých mapových listů.

Digitální model terénu

Relativní vztah snímků a mapových listů má také vliv na přesnost. S každým odchýlením od středu snímku roste vliv výškové přesnosti DMT na výsledné ortofoto. Pokud je mapový list centrován přesně na střed snímku je předpoklad, že vliv výškového posunu např. o *jeden metr* bude na rovinné souřadnice sice vždy největší v rozích, ale polohová změna (způsobená uvedenou nepřesností DMT) nepřekročí 60 % této hodnoty, viz. [3]. Pokud bude mapový list ležet v excentrické poloze vůči středu snímku, pak mohou extrémní hodnoty polohových odchylek nabývat hodnot přesahujících hodnoty výškové nepřesnosti DMT, které je způsobily. Proto musí být požadovaná přesnost DMT stanovena s ohledem na požadovanou polohovou přesnost ortofota a s ohledem na umístění mapových listů v rámci jednotlivých snímků. Obecně lze konstatovat, že požadovaná výšková přesnost DMT by měla být rovna nebo lepší, než je požadovaná polohová přesnost ortofota.

Podstatný vliv na přesnost DMT má zahrnutí či nezahrnutí významných terénních čar a bodů.

Dalším důležitým kritériem je dostatečná hustota DMT, jež je nutná k co možná nejvěrnějšímu vystižení charakteru terénu. Nezastupitelná je proto kontrolní práce operátora, který může zajistit případné zahuštění digitálního modelu.

Mozaikování

Mozaikování je časově náročná a proto drahá operace, která sebou může přinést komplikace. Obrazy (jednotlivá ortofota), které mají být mozaikovány, byly získány z různých snímků vzniklých za různých světelných podmínek. Rozdílnost jednotlivých snímků lze prostředky jednotlivých software eliminovat, v některých případech však přesto zůstává rozhraní jednotlivých částí viditelné.

Také se můžeme setkat s odchylkami v poloze, jelikož překrytové území ortofot leží na krajích snímků a tudíž vliv přesnosti DMT se projevuje nejvíce, viz výše. Tyto diskontinuity je možné odstranit pouze ručním maskováním nikoli automatickým procesem.

Tvorba ortofota

Pro výpočet hodnot šedi jednotlivých pixelů výsledného ortofota jsou využívány tři metody a to metoda nejbližšího souseda, bilineární interpolace, kubická konvoluce.

Metoda nejbližšího souseda (MNS) je nejznámější z uvedených. Hodnota šedi se stanovuje podle hodnoty šedi pixlu ležícího nejbliže středu transformovaného bodu. Do potíží se metoda dostává pokud se transformovaný bod ocitne přesně v půli mezi dvěma středy, tímto způsobem pak může dojít u liniových prvků k charakteristickému ozubení a může tím být ovlivněna výsledná přesnost. Tato metoda je nejméně časově náročná, ale zároveň ,aby nedošlo ke ztrátě informace, musí být počet pixelů ortofota výrazně vyšší než u originálního snímku. Udává se, že v rovinném území je to nárůst zhruba o 25 % a pro velmi výškově členité území může přírůstek dosáhnout až dvojnásobku, viz [1].

Bilineární interpolace využívá pro stanovení hodnoty šedi toho kterého transformovaného bodu hodnot šedi 4 sousedních pixelů (vážený průměr). Časová náročnost je větší než u předchozí metody avšak nedochází k deformacím liniových elementů. Může ovšem dojít k redukci výchozího kontrastu, což lze většinou u šedotónových dat akceptovat.

Kubická konvoluce (KK) využívá pro stanovení hodnoty šedi toho kterého transformovaného bodu hodnot šedi 16 sousedních pixelů (vážený průměr). Časová náročnost je zhruba třikrát větší než u MNS.

Výběr metody závisí vždy na úvaze zda stačí nižší přesnost s výrazně menší časovou náročností (MNS), nebo vyšší přesnost ale i vyšší doba výpočtu (KK).

3. Zdroje

[1] K. Kraus, Photogrammetry Vol.1, Bonn 1993

[2] J. Šmidrkal, Fotogrammetrie, Praha 1986

[3] J. Michael, Creating digital ortohotos, Earth Observation Magazine

[4] J. Höhle, Experiences with the production of digital ortophotos, PE& RS, vol. 62, No. 10, pp 1189-1194.

D. Fritsch, Photogrammetric Week'95, Heidelberg 1995

Geomatics Info Magazine, Zeměměřič,

firemní materiály : ERDAS, INTERGRAPH, PCI, Help service group