

10. Transformace digitálního obrazu

Digitální podoba snímků a výkonná výpočetní technika umožnila realizovat řadu algoritmů sloužících k jejich geometrické transformaci. Vhodnost použití konkrétního algoritmu závisí na požadované přesnosti výstupů, měřítku, celkové ploše a charakteru mapovaného území (převýšení) atd. Některé algoritmy jsou řešením pouze přibližným, např. neodstraňují radiální změny polohy v důsledku převýšení.

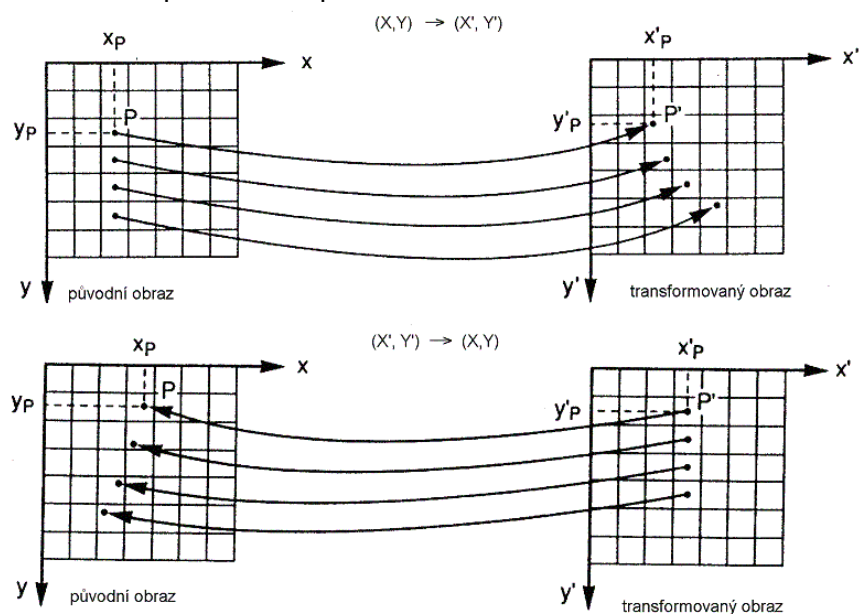
Mezi nejčastěji používané algoritmy transformace digitálního obrazu patří:

- Jednoduché rovinné transformace (shodnostní, podobnostní, afinní)
- Polynomické transformace
- Transformace s využitím splinových funkcí (thin plate splines – plátové spliny)
- Transformace metodou trojúhelníkové sítě (po částech)
- Poměrové funkce (rational functions)
- Ortorektifikace snímku (model snímkové orientace založený např. na rovnicích kolinearity resp. diferenciálním překreslování)

Obecné dělení algoritmů:

- Algoritmy globální a lokální
- Algoritmy exaktní aproximující (s vyrovnáním)

Obrazová transformace řeší obecně převod jedné souřadné soustavy do soustavy jiné a lze ji rozdělit na transformaci přímou a nepřímou.



Obr. 10.1 Princip přímé a nepřímé obrazové transformace

Přímá obrazová transformace (obr. 10.1a):

1. Z databáze vlíčovacích bodů se určí vztah mezi zdrojovou a cílovou souřadnou soustavou. Tento vztah je sestaven do podoby transformačních rovnic – viz. např. kolineární rovnice.
2. Z originálního obrazu se bere ve směru řádek pixel za pixel a pomocí transformačních rovnic se vypočte nová -**obecně neceločíselná** - poloha ve výsledném obraze.
3. Nové hodnoty obrazových prvků jsou určeny jedním z algoritmů převzorkování

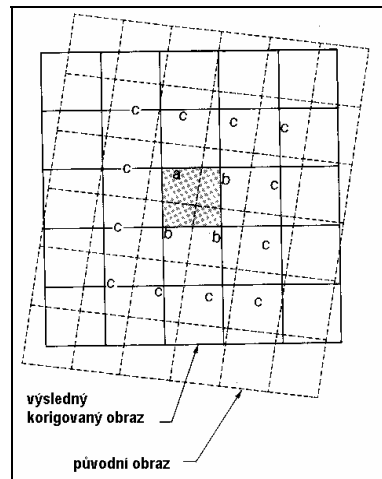
Nevýhodou této metody je nepravoúhlost výsledného obrazu a možnost vzniku prázdných míst ve výsledném obraze.

Nepřímá obrazová transformace (obr. 10.1b):

Je založena na opačném postupu, využívá se nejčastěji.

1. Vychází z nadefinování výsledného obrazu – pravouhelníku.
2. Na základě **inverzních** transformačních rovnic se v originálním obraze hledá pixel, který je vzorem pro výsledný přetransformovaný pixel.
3. Takto „zpětně“ spočtená poloha vzoru v pixelových souřadnicích může být také neceločíselná a je nutno jednoznačně určit, který pixel je použit pro vytvoření DN hodnoty pixelu výsledného.
4. Nové hodnoty jsou opět určeny převzorkováním.

Převzorkování obrazu:



Obr. 10.2 Princip převzorkování obrazu

K převzorkování (resampling) se nejčastěji využívá těchto postupů (obr. 10.2):

- metoda nejbližšího souseda
- metoda bilineární interpolace (4 nejbližší pixely)
- metoda kubické konvoluce (16)
- metody označené $\sin(x)/x$ (64, 256)

Metoda nejbližšího souseda je založena na prostém posunutí nejbližšího pixelu do požadované pozice. Tedy je přesná z hlediska radiometrických vlastností snímků, avšak nepřesná z hlediska geometrie.

Ostatní metody převzorkování určují hodnoty výsledného obrazového prvku váženým průměrem vypočteným z určitého počtu pixelů okolních. Jsou přesnější geometricky – ovšem na úkor ztráty původních hodnot pixelů.

Specifika transformace digitálních snímků

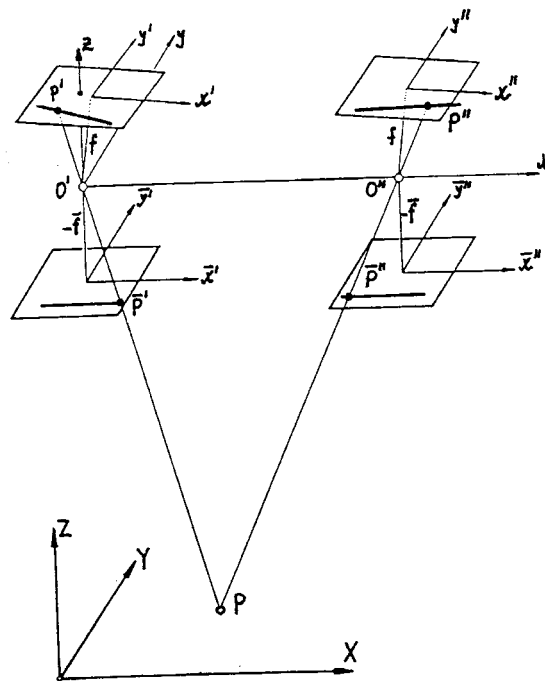
Vnitřní orientace – její prvky jsou ve většině případů známy, zadávají se z kalibračního protokolu. K vyhledávání rámových značek je možno využít automatických postupů obrazové korelace. Manuálně se vyhledá pouze první značka, ostatní jsou vyhledávány korelací jako podobné části obrazu. Poloha hlavního bodu se ztotožňuje se středem snímku – tedy s průsečíkem spojnic protějších rámových značek. Rozdíly v poloze těchto dvou bodů bývají v rámci jednoho obrazového prvku – lze je tedy zanedbat. V opačném případě se využívá tzv. subpixelové transformace (viz. dále).

Vnější orientace – využívá některé z metod početního určení šesti neznámých prvků ($X_0, Y_0, Z_0, \omega, \varphi, \kappa$). Starší systémy využívaly postupného řešení rozloženého na orientaci relativní a absolutní. Současné systémy využívají komplexního řešení založeného na orientaci celého **bloku snímků** s využitím **rovníc kolinearity**.

Na rozdíl od práce s analogovými snímky, kdy se orientace a tvorba zdánlivého modelu provádí skutečným fyzickým otáčením snímků, orientace digitálních snímků je založena na jiných přístupech, které zajišťují vytvoření zdánlivého modelu a stereoskopické pozorování a vyhodnocování:

- Převod snímků do **normálního případu** (kolmé snímky) s využitím kolineárních rovnic
- Převod snímků do tzv. **epipolární projekce** a využití metod obrazové korelace

Epipolární projekce zajišťuje, že bod na levém snímku má svůj obraz na známé přímce ve snímku pravém (viz. výše – tzv. podmínka komplanarity). Jak je patrné z obr. 10.3, obrazy odpovídajících si bodů na levé a pravé fotografii stereopáru leží na jedné přímce (ve stejném řádku). Touto transformací se odstraní vertikální paralaxy bodů, které by znemožňovaly stereoskopické pozorování a dále se zjednoduší metody automatické obrazové korelace.



Obr. 10.3 Princip transformace stereodvojice do tzv. epipolární projekce

Korelační techniky a automatické vyhledávání bodů

Pro porovnání dvou obrazů mezi sebou, nalezení obrazů shodných bodů a pro měření paralaxy na digitálních snímcích je možné s výhodou využít korelačního počtu. Metoda slouží pro **automatické vyhledávání bodů** (image matching). Princip metody je založen na použití vzoru, části obrazu ve formě matice pixelů, která se posouvá po části obrazu, kde se předpokládá výskyt hledaného bodu a počítá se korelační koeficient pro jednotlivé polohy vzorového okénka.

Maximální hodnoty korelačního koeficientu značí polohu hledaného bodu. Metody je možné vhodně využít také např. pro automatické vyhledávání rámových značek při vnitřní orientaci modelu či pro automatické vyhledávání signalizovaných vlíčovacích bodů a především pro automatické generování digitálního modelu terénu ze stereoskopické dvojice snímků.

Velikost vzorového okénka se volí v závislosti na rozlišení snímku. Například pro pro skenovanou leteckou fotografii se volí velikost okénka 9x9 až 21x21 pixelů, pro stereopár z družice SPOT se volí okénko 5x5 či 9x9 pixelů.

Příklad obrazové korelace – program LDIPInter:

<http://ldipinter.sunsite.dk/download.html>

Techniky vyhledávání identických bodů (image matching)

Jedná se o metody automatického vyhledávání a měření korespondujících bodů, které se nacházejí na překrývajících se snímcích. Všechny metody lze rozdělit do tří skupin:

1. area-based matching (signal-based matching) – korelace mezi plochami pixelů
2. feature-based matching – korelace mezi objekty (většinou body)
3. relation-based matching

1. Area-based matching – hledá se vztah mezi dvěma částmi obrazu na základě posouzení podobnosti DN hodnot pixelů. V rámci této metody se využívá algoritmů obrazové korelace:

- křížová korelace (cross-correlation)
- korelace metodou nejmenších čtverců (least squares correlation)

V těchto metodách je používáno korelační okno předem definované velikosti (např. 3x3, 5x5, 7x7), v závislosti na metodě však může mít rozdílnou velikost i tvar. Zdrojové (referenční) okno je okno na prvním snímku, které zůstává v konstantní poloze. Vyhledávací (search) okno se posouvá po ploše druhého snímku a je testována jeho podobnost vzhledem k oknu referenčnímu.



Obr. 10.4. Princip obrazové korelace – referenční a vyhledávací okno

Korelační algoritmy nejprve normalizují hodnoty pixelů v rámci zdrojového a vyhledávacího okna. Proto není zapotřebí provádět předem úpravu jasu s kontrastu snímků. Křížová korelace je robustnějším algoritmem, vyžaduje méně přesnou a priori pozici vyhledávacího okna, její přesnost je však omezena na hodnotu jednoho pixelu. Naopak postup založený na korelaci metodou nejmenších čtverců dosahuje přesnosti jedné desetiny pixelu, avšak vyžaduje velmi přesnou a priori pozici vyhledávacího okna (v řádu 2 pixely). V praxi se nejprve provádí křížová korelace a následně jsou její výsledky zpřesňovány druhou metodou.

Křížová korelace (cross-correlation) – počítá hodnotu korelačního koeficientu r mezi vzorovým oknem a vyhledávaným podle následujícího vztahu:

$$r = \frac{\sum_{i,j} [d_1(c_1, r_1) - \bar{d}_1][d_2(c_2, r_2) - \bar{d}_2]}{\sqrt{\sum_{i,j} [d_1(c_1, r_1) - \bar{d}_1]^2 \sum_{i,j} [d_2(c_2, r_2) - \bar{d}_2]^2}}$$
$$\text{kde } \bar{d}_1 = \frac{1}{n} \sum_{i,j} d_1(c_1, r_1) \quad \bar{d}_2 = \frac{1}{n} \sum_{i,j} d_2(c_2, r_2)$$

kde význam parametrů je následující:

- d – DN hodnota pixelu na prvním (1) resp. druhém (2) snímku
- c, r – sloupec a řádek pixelu na prvním (1) resp. druhém (2) snímku
- n – počet pixelů ve vyhledávacím okně
- i, j – index značící polohu řádku a sloupce ve vyhledávacím okně

Metoda vyžaduje dobrou výchozí pozici pro obě korelační okna. Pokud jsou známy prvky vnější orientace, lze určit s dostatečnou přesností polohu oken. V některých částech snímku (rozsáhlé plochy podobných DN hodnot) může obrazová korelace selhávat.

Korelace metodou nejmenších čtverců (Least squares correlation) – využívá metody nejmenších čtverců k určení parametrů, které nejlépe popisují vztah mezi polohou referenčního a vyhledávacího okna. Metoda používá k hodnocení vztahu nejen DN hodnot, ale také geometrických rozdílů (poloha, velikost, tvar). Je to metoda vhodná v případě, kdy objekty na obou snímcích mají odlišný vzhled např. díky sklonitosti terénu). Jedná se o iterační výpočet, kdy parametry vypočítané v dané iteraci jsou použity v iteraci následné dokud není dosaženo optimálního řešení. Metoda dává přesné výsledky (až 0,1 pixelu), je však velmi senzitivní na přesnost inicializační polohy vyhledávaného okna. Ta musí být lepší než 2 pixely.

Po nalezení vyhledávaného okna k oknu referenčnímu jsou řešeny jak transformace DN hodnot, tak i transformace geometrických vlastností (poloha, velikost, tvar vyhledávacího okna).

2. Metody feature-based matching

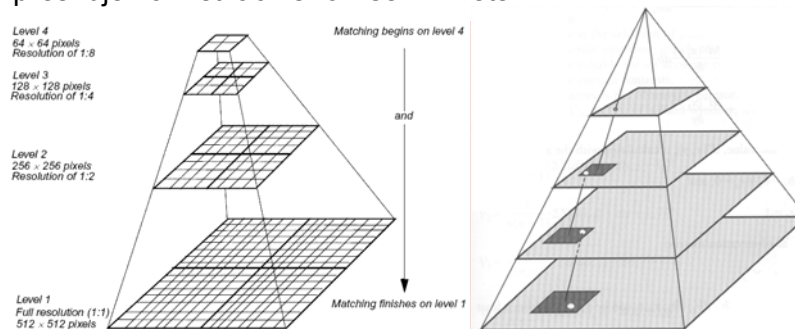
V tomto případě je určován vztah podobnosti mezi dvěma obrazovými **objekty** (image features). Těmito objekty jsou ve většině případů body (feature point matching). Body se potom označují jako zájmové body (interest points). Objekty však mohou být i linie či komplexnější objekty.

Metoda předpokládá, že v prvním kroku jsou z prvního snímku extrahovány objekty, které budou vyhledávány. Poté jsou vyhledávány podobné objekty na druhém snímku, je testována podobnost jejich parametrů.

3. Metody relation-based matching

Tyto metody se také označují jako structural matching. Metody porovnávají objekty (features) ale také i vztahy mezi nimi. Metody jsou značně početně náročné, lze jich využít i k automatickému vyhledávání rámových značek.

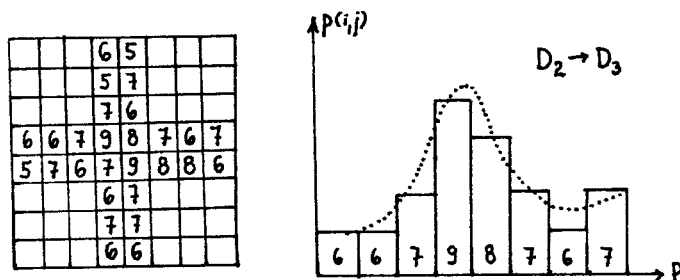
V metodách obrazové korelace se využívá obrazových pyramid, protože výrazně zkracují dobu výpočtu. Proces vyhledávání oken se realizuje nejprve na vrstvách s nižším rozlišením a postupně se zpřesňuje na vrstvách s rozlišením větším.



Obr. 10.5 Princip obrazové korelace na obrazové pyramidě

Subpixelová transformace

Digitální obraz je diskretizován do jednotlivých pixelů o konečné velikosti. V některých případech je však nutno zjišťovat souřadnice bodů i v rámci jednoho pixelu – jinými slovy s přesností větší než je rozměr pixelu. V těchto případech lze využít tzv. subpixelové transformace. Při ní mohou být body lokalizovány na základě vypočteného minima či maxima obrazové funkce. Tuto funkci získáme tak, že hodnotami okolních pixelů proložíme vhodnou funkci (obr.10.6).



Obr. 10.6 Princip subpixelové transformace

Subpixelové transformace se využívá především pro zpřesnění polohy hlavního bodu a vřícovacích bodů.

3D Vizualizace digitálních snímků

Orientace stereoskopické dvojice digitálních snímků, ke které lze využít především výše uvedené způsoby (převod na normální případ s využitím kolineární transformace či transformace snímků do epipolární projekce) dovolují stejně jako v případě analogových a analytických postupů vytvoření zdánlivého modelu, jeho stereoskopické pozorování a následné vyhodnocování.

Digitální forma snímku si v průběhu času vynutila vznik speciálních způsobů generování stereovjemu. K nim patří především tyto:

- ❑ Stereoskop a půlená obrazovka či dva monitory
- ❑ Anaglyf – nelze použít na barevnou fotografii
- ❑ Pasivní polarizační systém
- ❑ Speciální obrazovka využívající principu stereoskopického rastru
- ❑ Tekuté krystaly
- ❑ Chromo-Stereoskopie

Základní principy jsou přehledně popsány v článku v příloženém souboru **dossier_3dstereo.pdf**. Článek je převzat z časopisu Geoinformatics z prosince, 2001

V současnosti je nejrozšířenějším systémem využívající tekutých krystalů a založený na aktivních brýlích. Na monitor je střídavě vysílán levý a pravý snímek a infračerveným paprskem je do čidla umístěného na brýlích vysílána informace o tom, který snímek je promítán. Tekuté krystaly na základě této informace střídavě uzavírají průchodnost světla levou a pravou čočkou brýlí. Frekvence vysílání musí být dostatečně vysoká (>25 Hz) k tomu aby oko zaznamenávalo tyto změny jako kontinuální obraz – obdobně jako v případě filmové projekce.

Zcela novým přístupem je využití tzv. **Chromo-stereoskopie**. Na rozdíl od ostatních metod je stereoskopický vjem generován ne ze stereopáru, ale z ortofoto a ze zakódovaného výškového modelu studovaného území do speciální barevné palety. Další informace lze nalézt na této adrese: <http://www.chromatek.com>

Družicová fotogrammetrie, specifika transformace družicových snímků

Ve srovnání s fotogrammetrickými metodami zpracovávajícími snímky, které vznikají centrální projekcí v rámové komoře, mají fotogrammetrické metody zpracování snímků vzniklých skenery na družicích jistá specifika. Fotogrammetrické postupy se také liší při zpracování snímků z různých systémů. Zpracování se týká především snímků vznikajících tzv. podélným skenováním elektrooptickými skenery. Snímky z mechanooptických skenerů vznikají při tzv. příčném skenování a mají horší geometrické vlastnosti.

V případě **družicových obrazových dat** se při malém převýšení zpracovávaného území využívá k transformaci obrazu především polynomické transformace s využitím databáze vlíčovacích bodů. Je to postup pouze přibližný, kterým se neodstraňují chyby v geometrii související se zdánlivými radiálními posuvy objektů v důsledku jejich nestejně nadmořské výšky. Snímky výškově členitých území a také snímky z družic s vysokým rozlišením vyžadují modelový přístup využívající principů fotogrammetrie. Tento přístup je založen na postupném modelování všech příčin geometrických distorzí, které jsou do snímku vnášeny v průběhu jeho vytváření. Transformace tedy zahrnuje:

- model dráhy družice
- model senzoru
- model snímaného terénu (DTM)

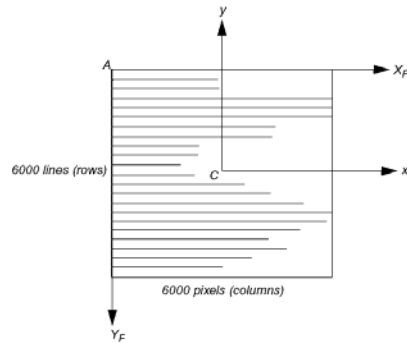
Model orbity umožňuje určit přesnou polohu družice v době zaznamenávání jednotlivých obrazových prvků a v rámci něho se tedy řeší parametry vnitřní orientace – poloha středu promítání a orientace tří os rotace (analogicky letecké fotografii). Protože je snímek na družici vytvářen v dynamickém režimu (postupně) jsou uvedené parametry také funkcí času.

Model použitého senzoru – popisuje geometrii, mechaniku a optiku senzoru. V závislosti na družicovém systému existují dvě velké skupiny modelů – model pro skenery používající řádkové uspořádání CCD a model pro maticové skenery.

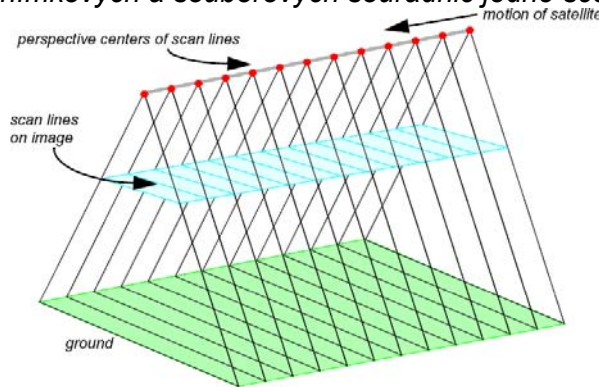
Model snímaného terénu zahrnuje vedle vlastního popisu topografie (DTM) také submodel popisující použitý elipsoid. V případě snímků z rozsáhlejšího území je nutné počítat i se zakřivením Země, které právě popisuje tato část. Model terénu je často vytvářen jako meziprodukt v případě, že je k dispozici stereopár družicových snímků.

Především implementace sensorových modelů pro tvorbu ortofoto ze snímků z družic jako IKONOS či QuickBird jsou „know how“ jednotlivých producentů programového vybavení pro zpracování obrazu. Parametry modelu orbity jsou dodávány přímo s obrazovými daty jako tzv. „satellite orbit segment“ – jsou v něm uloženy hodnoty nutné pro obnovení prvků vnitřní orientace (poloha a orientace na oběžné dráze).

Například na družicích SPOT jsou skenery HRV vytvářeny v panchromatickém módu snímky s prostorovým rozlišením 10 m. Ohnisková vzdálenost optického systému kamery je 1084 mm, což je výrazně větší hodnota než u klasických komor (např. 78 mm). Obrazový úhel (field of view) je 4.1 stupně. Družice se pohybuje na dráze synchronní se sluncem v průměrné výšce 830 km. Jedna scéna obsahuje 6000 řádků, každý s 6000 pixely. Každá řádka je exponována po dobu 1,5 milisekund, tedy celá scéna je vytvářena po dobu 9 sekund. Fyzická velikost jednoho CCD, který vytváří jeden pixel je 13 x 13 mikrometrů. Střed scény je střední pixel prostředního řádku. To je počátek souřadného systému snímku (obr. 10.7)



Obr. 10.7 Systém snímkových a souborových souřadnic jedné scény z družice SPOT



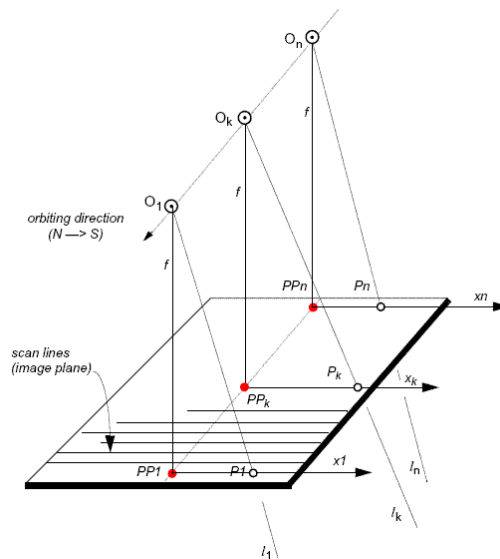
Obr. 10.8 Středů promítání pro jednotlivé řádky obrazového záznamu z elektrooptického skeneru

Skener vytváří na řadě či matici CCD jeden či několik řádků kolmo k dráze letu – scan line. Každému řádku přísluší střed promítání (perspective center) a jedinečné hodnoty rotačních úhlů. Naopak poloha středu promítání vzhledem k řádce CCD detektorů (interní orientace a ohnisková vzdálenost) jsou pro každou řádku konstantní.

Dráha, po které se pohybuje družice během vytváření jedné scény je „hladká“, je možné předpokládat, že středy promítání také leží na „smooth line“.

Vnitřní orientace snímků z družice SPOT

Následující obrázek ukazuje vnitřní orientaci snímků z družice SPOT. Transformace mezi souborovými a snímkovými souřadnicemi je konstanta. Pro každou řádku je definován vlastní svazek paprsků.



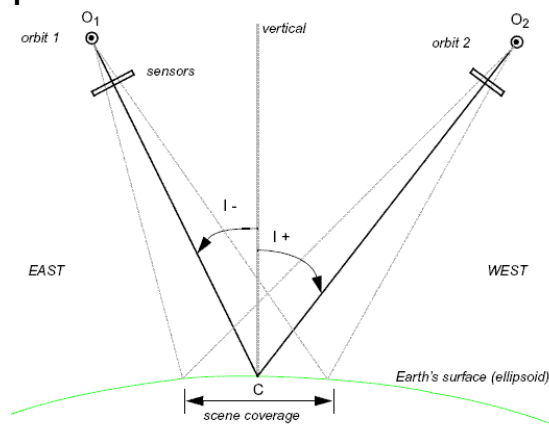
Obr. 10.9 Vnitřní orientace snímků z družice SPOT

Vnější orientace snímků z družice SPOT

Parametry vnitřní orientace jsou přesně známy. Naproti tomu triangulace takovýchto snímků je nestabilní a to v důsledku úzkých, téměř rovnoběžných svazků paprsků. Prvky vnější orientace - parametry dráhy družice (efemeridy) jsou součástí obrazového souboru. Udávají polohu a pozici družice v 60-ti sekundových intervalech. Efemeridy obsahují následující údaje:

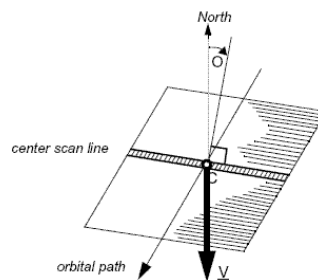
- polohu a družice v trojrozměrných geocentrických souřadnicích pro nejbližší sekundu
- orientaci v prostoru
- vektor rychlosti, který určuje směr pohybu družice
- přesný čas expozice středu každé řádky

Protože svazky paprsků pro jednotlivé řádky jsou téměř rovnoběžné, u vnější orientace obrazového záznamu klesá důležitost pozice družice, naopak roste význam znalosti přesných hodnot **úhlu dopadu**.



Obr. 10.10 Inklinace (úhly dopadu) paprsků vytvářejících obrazový záznam z družice při snímání „off nadir“

Dalším důležitým parametrem je tzv. vektor rychlosti, který definuje pohyb družice nad sféroidem



Obr. 10.11 Vektory rychlosti (V) a úhel orientace (O) pro jednu scénu obrazového záznamu. C – střed scény

Vnější orientace družicové scény se provádí jako metodami blokového vyrovnání (triangulace) a poskytuje vztah mezi pozicí senzoru a skutečnými souřadnicemi pro každý řádek záznamu. Tento vztah je vyjádřen následujícími proměnnými:

- pozicí středu promítání každého řádku (X, Y, Z)
- změnou pozice středu promítání podél dráhy letu
- třemi rotacemi středu každé řádky (úhly ω, φ, κ)
- změnami hodnot úhlů podél dráhy letu

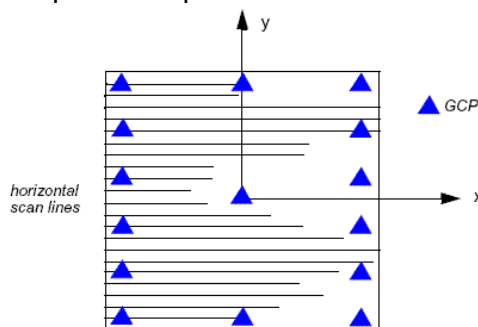
Vnější orientace se řeší obdobně jako u letecké fotografie za pomoci modifikovaných kolineárních rovnic a využitím vlíčovacích a vázacích bodů. Výpočet využívá k vyrovnání chyb metodu nejmenších čtverců. Řešení vnější orientace poskytuje následující hodnoty:

- skutečné souřadnice středu promítání každé řádky

- rotační úhly středu promítání každé řádky
- koeficienty, pomocí kterých se určí poloha a orientace středu promítání
- skutečné souřadnice všech vázacích bodů

Každý řádek obrazového záznamu má jiné hodnoty souřadnic středu promítání a rotačních úhlů. Jak se družice pohybuje, tak se tyto hodnoty mění. Protože pohyb po orbitě je plynulý, jsou tyto změny parametrů vnější orientace malé a lze je modelovat polynomem nižšího řádu.

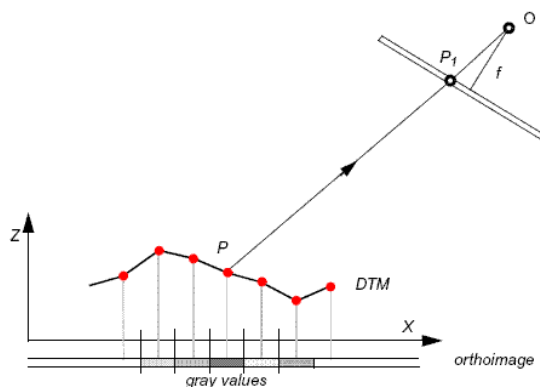
Pro orientaci stereoskopické dvojice scén se využívá vlíčovacích a vázacích bodů. Pro orientaci každé jedné scény ve stereopáru se využívá metody zpětného protínání (space resection). Je tedy třeba znát souřadnice minimálně šesti vlíčovacích bodů. Pro dobré výsledky triangulace je však doporučeno použít minimálně 10 vhodně rozmístěných bodů.



Obr. 10.12 Vhodné rozmístění vlíčovacích bodů pro orientaci obrazového záznamu

Model terénu (DTM)

Ortofotofoto – fotografie (snímek) v ortografické projekci. Každý obrazový prvek na ortofoto vypadá tak, jak by vypadal v případě, že by byl pozorován z pozice přímo nad sebou. K jeho vytvoření je nutná znalost modelu terénu.



Obr. 10.13 Generování ortofotosnímku

Odstranění relativních změn v poloze bodů je dosaženo tak, že pro každý bod (pixel) modelu terénu se hledá odpovídající pixel na snímku. Hodnota stupně šedi je určena některou z metod převzorkování. Přesnost použitého modelu terénu ovlivňuje přesnost ortofoto. Obecně platí, že pro nadírové snímky vystačíme s méně přesným DTM, naopak snímky šikmé ("off nadir") vyžadují přesnější model terénu. Pro letecké fotografie s přibližným měřítkem 1: 60 000 a větším se doporučuje vertikální přesnost DTM kolem 1 m. Velikost obrazového prvku výsledného ortofoto by měla být stejná či větší než velikost pixelu vstupního snímku.

Automatické generování DTM

Výškový model území zobrazeného na snímcích může být jedním z produktů fotogrammetrického vyhodnocení. Zvláště při digitálních metodách zpracování lze tvorbu modelu výrazným způsobem zautomatizovat.

Je nutné odlišovat mezi digitálním modelem terénu (DTM – digital terrain model) a digitálním modelem povrchu (DSM – digital surface model). Fotogrammetrickým zpracováním vzniká DSM. DSM je DTM plus výšky všech objektů, které se nachází na zemském povrchu (budovy, stromy apod.) Obecný postup automatického generování DSM sestává z následujících kroků:

1. provedení vnitřní a vnější orientace stereopáru za pomoci vlíčovacích bodů – nutné je určení snímkových a skutečných souřadnic těchto bodů a orientace s využitím kolineárních rovnic.
2. Definování tzv. feature points na překrývajících se částech všech fotografií – dobře identifikovatelných bodů v částech obrazu s dostatečným kontrastem.
3. Vyhledávání odpovídajících obrazů bodů na druhé fotografii v stereopáru metodami obrazové korelace.
4. Určení výšky bodu na základě rozdílu x-ových souřadnic a výpočtu paralaxy

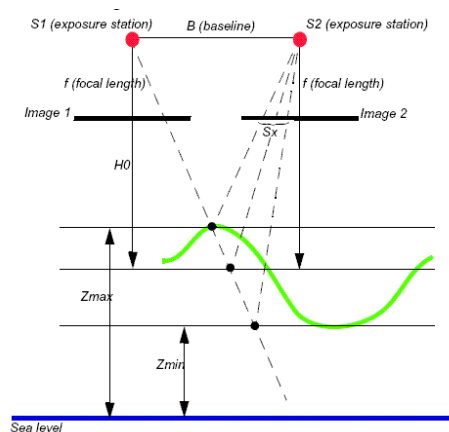
Proces obrazové korelace závisí na následujících parametrech.

- velikost vyhledávacího okna
- velikost referenčního okna
- limitní hodnota korelačního koeficientu

Velikost vyhledávacího okna

Vyhledávací okno je část snímku o rozměrech X, Y ve kterém se hledá obraz odpovídajícího bodu (feature point) z druhého snímku stereodvojice. Body se vyhledávají na snímcích předvedených do epipolární projekce. X určuje rozměr vyhledávacího okna podél epipolární linie, Y rozměr okna kolmo k této linii. Hodnota X tedy reflektuje kolísání výšek a je mu přímo úměrná.

Pro letecké snímky, u kterých epipolární linie přesně určena je hodnota Y malá (1 až 3 pixely). Pro obrazové záznamy z elektropotických skenerů je Y = 3 až 5 pixelů a může být i větší při nepřesné triangulaci.



Obr. 10.14 Určení rozměru X vyhledávacího okna

Jak plyne z obr. 10.14, určení rozměru X vyhledávacího okna pro dvě kolmé fotografie, pořizené ze stejné výšky bude hodnota S_x určena ze vztahu:

$$S_x = \frac{B \cdot f}{H_0} = \frac{Z_{\max} - Z_{\min}}{H_0}$$

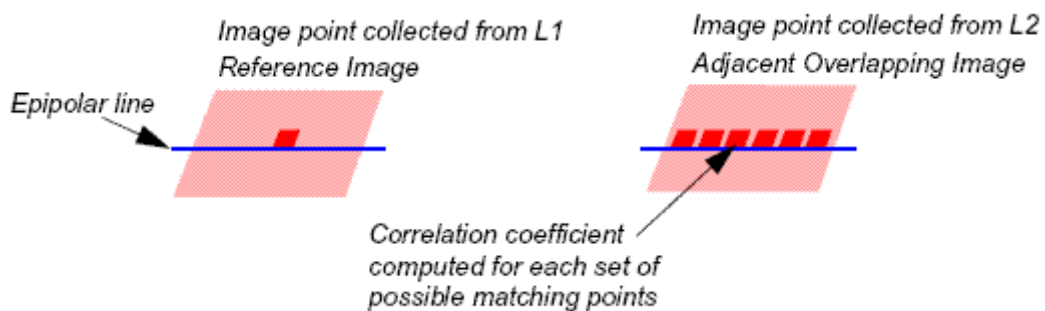
Vzhledem k tomu, že snímky nebývají kolmé a mohou být pořízeny z různých výšek, je třeba hodnotu S_x v reálu násobit konstantou 1,5 až 2. Tedy vypočtená hodnota 7 bude zvětšena na 11 až 15 pixelů.

Velikost referenčního (korelačního) okna

Definuje okno, pro jehož všechny obrazové prvky je vypočtena hodnota korelačního koeficientu. Běžná velikost je 7 x 7 pixelů. Větší okno je zapotřebí zvolit pro málo kontrastní části obrazu (větší plochy polí, lesní komplexy apod.). Okno může mít i tvar obdélníku s větší hodnotou ve směru Y (?????)

Limitní hodnota korelačního koeficientu

Vyšší hodnota koeficientu dává méně bodů ale většinou přesnější výsledky. Doporučenou hodnotou je 0,7 až 0,8. Při nižších hodnotách klesá přesnost, zvláště u málo kontrastních snímků.



Obr. 10.15 Lokalizace referenčního okna na epipolárních snímcích

Přesnost obrazové korelace výrazně ovlivňuje přesnost epipolární transformace. Výrazně snižuje výpočetní nároky a v ideálním případě omezuje obrazovou korelaci na jeden rozměr – podél epipolární linie. Po identifikaci odpovídajících si obrazů vyhledávaného bodu na stereopáru lze jeho souřadnice určit např. metodou prostorového protínání vpřed.

Posledním krokem tvorby výškového modelu je interpolace hodnot Z z vypočtených souřadnic bodů určených obrazovou korelací.