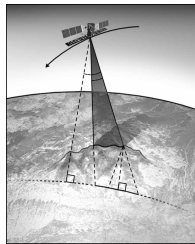


## Družicová fotogrammetrie

### (Specifika transformace družicových snímků)

Snímek vzniká v **dynamickém** režimu a vedle již definovaných zdrojů zkreslení obsahuje další:

- Geometrie dráhy družice
- Poloha družice
- Efekt rotace Země



### Nutnost využití principů fotogrammetrie:

- Zvyšuje se prostorové rozlišení družicových dat – některé vlivy na geometrii obrazu již nelze zanedbat
- Mnoho družicových systémů poskytuje snímky šikmé (off-nadir) při poměrně malé šířce scény
- Mnoho družicových systémů používá snímky ve stereo-režimu
- Přesnější postupy geometrické korekce vyžadují metody následné fúze dat

## Družicová fotogrammetrie

### (zdroje nepřesností v geometrii družicových snímků)

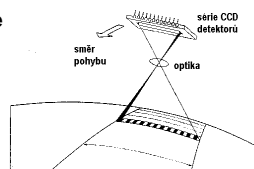
Table 1. Description of error sources for the two categories, the *observer* and the *observed*, with the different sub-categories.

Category	Sub-category	Description of error sources
The <i>observer</i> or the acquisition system	Platform (spaceborne or airborne)	Variation of the movement Variation in platform attitude (low to high frequencies)
	Sensor (VIR, SAR or HR)	Variation in sensor mechanics (scan rate, scanning velocity, etc) Viewing/look angles Panoramic effect with field of view
	Measuring instruments	Time-variations or drift Clock synchronicity
The <i>observed</i>	Atmosphere	Refraction and turbulence
	Earth	Curvature, rotation, topographic effect
	Map	Geoid to ellipsoid Ellipsoid to map

Zdroj: Toutin, 2004

## Družicová fotogrammetrie

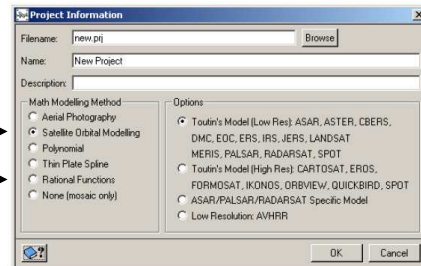
### (specifika transformace družicových snímků)



- Fotogrammetrické postupy se liší při zpracování snímků z různých systémů.
- Zpracování se týká se především snímků vznikajících tzv. podélným skenováním elektrooptickými skenery.
- Snímky z mechanooptických skenerů vznikají při tzv. příčném skenování a mají horší geometrické vlastnosti.
- Na současných družicových systémech probíhá skenování přes matici CCD detektorů

## Geometrická transformace družicových snímků

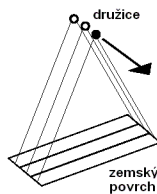
- **empirický přístup** - („přibližný“) pro snímky kolmé, pořízené se širokým úhlem záběru.
- **modelový přístup** – modelují se všechny podstatné zdroje nepřesností



## Empirické modely

### Poměrové funkce („rational“) RPC

$$R_{3D}(X, Y, Z) = \frac{\sum_{i=0}^m \sum_{j=0}^n \sum_{k=0}^p a_{ijk} X^i Y^j Z^k}{\sum_{i=0}^m \sum_{j=0}^n \sum_{k=0}^p b_{ijk} X^i Y^j Z^k}$$



**Poměr dvou polynomů 3 stupně, které jsou funkcí X, Y, Z**  
**Koeficienty transformačních rovnic jsou poskytovány se snímkem či je nutné je vypočítat pomocí vřícovacích bodů**  
**Využitelné pro letecké snímky pokud chybějí informace o kameře a pro družicové, pokud není znám fyzikální model (IRS).**

**Aplikovatelné na snímky menších rozměrů**

## Empirické modely

### Rational Polynomial Coefficients

Pomocí koeficientů lze přepočítat polohu každého bodu ze souřadnic obrátového souboru (řádek, sloupec) do skutečných souřadnic X, Y, Z

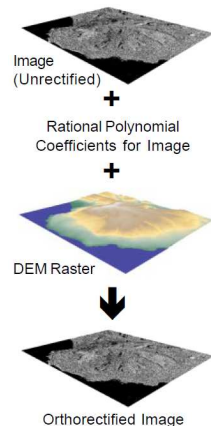
Každý snímek obsahuje dvě rovnice (pro řádek a sloupec)

Koeficienty jsou součástí hlavičky souboru obrazových dat.

Transformace snímků je provedena s pomocí RCP, vřícovacích bodů a výškového modelu.

K transformaci jedné scény postačuje 6 vřícovacích bodů

Méně přesná transformace nevyžaduje žádné vřícovací body



### Modelový přístup – fyzikální model

**Empirické modely geometrické korekce lze využít pro snímky kolmé, pořízené se širokým úhlem záběru.**

**Pro systémy jako SPOT, IKONOS apod. se využívá fyzikálních modelů – spočívají v modelování všech zdrojů geometrických nepřesností.**

**Využívá se principů vnitřní a vnější orientace, kolinearit.**

**Takový model obsahuje tři součásti:**

- **Specifický model senzoru**
- **Model orbity**
- **Model snímaného území**

### Modelový přístup

**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 orbity** - určuje přesnou polohu družice v době zaznamenávání jednotlivých obrazových prvků (řádků.) Řeší parametry vnitřní orientace (**satellite orbit segment**). Protože je snímek na družici vytvářen v dynamickém režimu jsou parametry také **funkcí času**.

**Model snímaného terénu** zahrnuje popis topografie (DTM) a model 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.

### Model senzoru

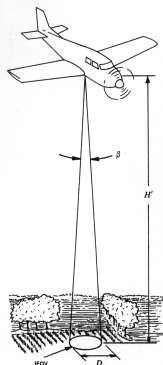
Model senzoru vychází ze znalosti jeho mechanických či optických komponent určujících tzv. parametr IFOV (okamžitě zorné pole radiometru).

IFOV definuje velikost pixelu ve výsledném obraze.

Parametry definující model senzoru slouží k vnitřní orientaci

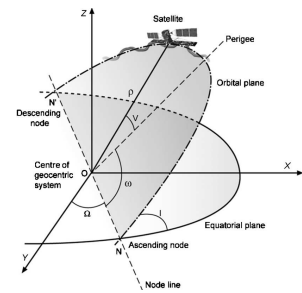
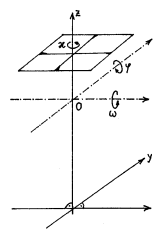
Jsou známy jen pro některé systémy (ohnisková vzdálenost, velikost CCD)

Některé systémy je poskytují v podobě tzv. RPC (Rational Polynomial Coefficients) – viz. výše



IFOV – instantaneous field of view

### Model orbity



Poskytuje přesnou prostorovou **polohu** nosiče v době snímání každého pixelu (tři souřadnice x, y, z), dále přesnou **orientaci** ve všech třech prostorových osách (tři úhly rotace  $\omega, \phi, \kappa$ ) a také **změny v čase**

### Model snímaného území

Zahrnuje jednak **definování parametrů geoidu** a jednak definování topografie snímaného terénu - tedy digitálního modelu území.

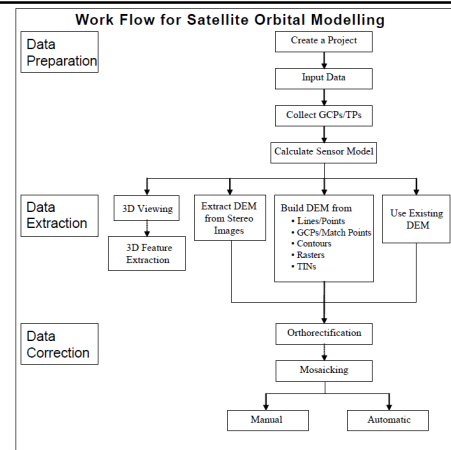
$$x^2 + y^2 + z^2 = R_e^2 \quad \left(\frac{x}{R_e}\right)^2 + \left(\frac{y}{R_e}\right)^2 + \left(\frac{z}{R_p}\right)^2 = 1$$

$$R_p = (1 - 1/f)R_e$$

x,y,z – souřadnice bodu na zemském povrchu

$R_e$  – poloměr země

f = faktor zploštění (298,255)



**SATMODEL**

**Generate Satellite Model**

**Parameters**

SATMODEL is controlled by the following global parameters:

Name	Prompt	Type	Length
MFIL	Input File Name, Directory, Text File	Char	1 - 192
DBG	Ground Control Segment Number	Int	0 - 1
ORBIT	Orbit Segment Number	Int	0 - 1
MMSEG	Math Model Segment Number	Int	0 - 1
MAPUNITS	Map Units: PDELU/TM/other	Char	0 - 16
REPORT	Report Mode: TERM/OFF/file name	Char	0 - 192

**Parametry modelu pro snímky SPOT**

2 skenery HRV v PAN módu - snímky s prostorovým rozlišením 10 m

Ohnisková vzdálenost optického systému kamery je 1084 mm (u klasických komor např. 78 mm)

Obrazový úhel (field of view) je 4.1 stupně.

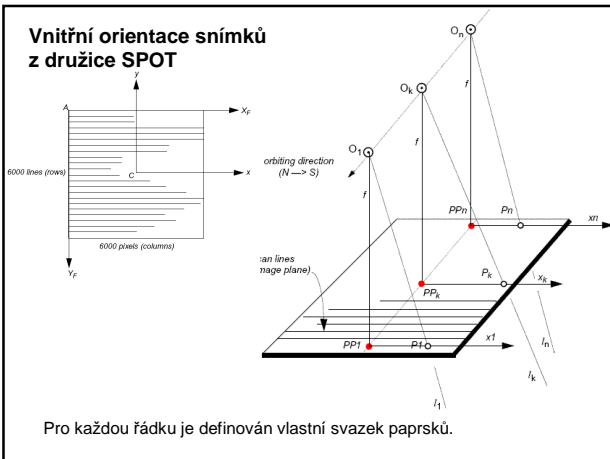
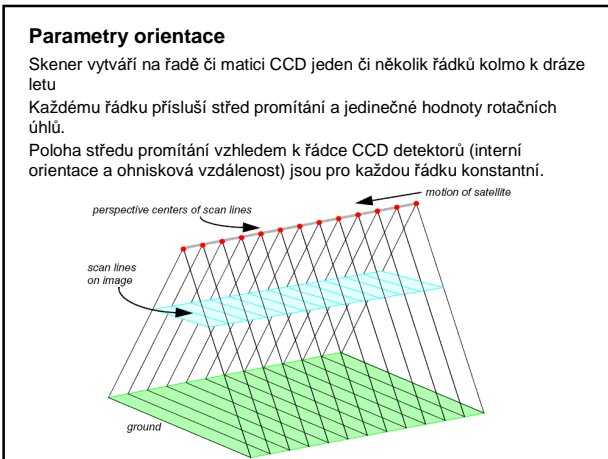
Družice se pohybuje na dráze synchronní se sluncem v průměrné výšce 830 km.

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.



**Vnější orientace snímků**

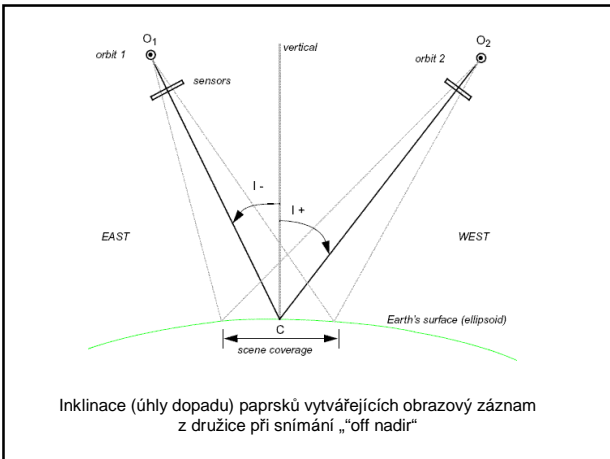
Triangulace obrazových záznamů je nestabilní v důsledku úzkých, téměř rovnoběžných svazků paprsků.

**Prvky vnější orientace** - parametry dráhy družice (efemeridy) jsou součástí obrazového souboru.

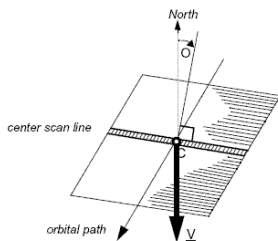
Udávají polohu a pozici družice v 60-ti sekundových intervalech. Efemeridy obsahují následující údaje:

- 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, roste význam znalosti přesných hodnot **úhlu dopadu** a **vektoru rychlosti**



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



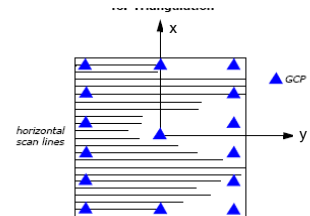
Vektor rychlosti definuje pohyb družice nad sféroidem. Reprezentuje pohyb družice jako kdyby se děl na rovném povrchem

### Prvky vnější orientace družicových snímků

Protože družicové scény vznikají v dynamickém režimu, prvky vnější orientace pro danou scénu lze definovat následovně:

- geodetické souřadnice X,Y,Z středu promítání centrální řádky scény
- změny polohy středu promítání podél orbity
- tři úhly rotace středu promítání centrální řádky scény
- změny tří úhlů podél orbity

Za pomoci vícovacích bodů a rovnic kolinearity se určí parametry vnější orientace pro střední řádek scény.



### Družicová bloková triangulace

- Musí uvažovat také změny v poloze a orientace nosiče
- Předpokládá se plynulý pohyb družice po orbitě
- Parametry vnější orientace všech řádek scény se získají interpolací parametrů platných pro střed scény.
- K interpolaci lze využít polynomů nižšího řádu

Bloková triangulace využívá stejně jako u bloku družicových snímků metody nejmenších čtverců

Výsledkem jsou následující parametry:

- Skutečné souřadnice středu promítání centrální řádky scény
- Orientační úhly středu promítání centrální řádky scény
- Koefficienty, ze kterých lze odvodit výše uvedené parametry vnější orientace pro jakýkoliv řádek
- Skutečné souřadnice vázacích bodů (pokud byly použity)

### Automatická extrakce DEM z družicových dat

Výškový model

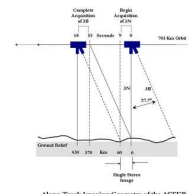
1) Z existujících zdrojů:

- SRTM jako vhodný zdroj výškových dat pro úlohy využívající snímků menšího rozlišení (velikost pixelu 90 m)

- ASTER Global Digital Elevation Model (velikost pixelu 30 m, přesnost: RMSE<sub>x</sub> < 30 m, RMSE<sub>z</sub> < 20 m), <http://www.ersdac.or.jp/GDEM/E/4.html>

- SPOT 3D velikost pixelu 20 m, přesnost polohová 20 m, výšková 15 m)

2) Odvozen přímo z dat (stereorežim)



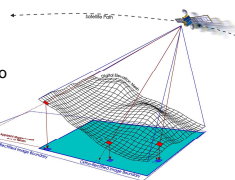
Zdroj: [https://ltdaac.usps.ovltdaac/media/images/along\\_track\\_imaging\\_geometry](https://ltdaac.usps.ovltdaac/media/images/along_track_imaging_geometry)

### Ortorektifikace družicových dat

**Snímek + DEM + vlíčovací body**

Velikost prostorového rozlišení digitálního výškového modelu by měla odpovídat zhruba 4 až 5ti násobku rozlišení ortorektifikovaných dat a výšková přesnost by měla dosahovat hodnoty rozlišení těchto dat

Souřadnice vlíčovacích bodů by měly být známy s polohovou přesností odpovídající polovině obrazového prvku a s výškovou přesností dosahující velikosti pixelu.



Zdroj: <http://www.geoimage.com.au>

**Polohová zkreslení** v závislosti na různých výškových poměrech zobrazeného území (jedná se o posuny počítané na okraji družicové scény).

Zdroj: <http://www.gisat.cz/content/cz/dp/zpracovani-dat/ortorektifikace>

Družice	Maximální výškový rozdíl [m]						
	50	100	250	500	1000	2000	5000
IRS 1C/1D	4 m	9 m	21 m	43 m	86 m	171 m	428 m
Landsat 5/7	6 m	13 m	32 m	64 m	128 m	255 m	638 m

### Ortorektifikace družicových dat

**QuickBird – přesnost orthorektifikace**

- Oběžná dráha ve výšce 450 km s inklinací 98°
- Režim PAN rozlišení 0,61 m
- XS režim, rozlišení 2,5 m při šířce záběru 16,5 km.
- Radiometrické rozlišení 11 bitů
- OFF-nadir snímky – pro stereo
- Termínové rozlišení 1-3,5 dne podle zem. šířky

Table 1. Comparison of the fore-looking results using rigorous and RPC models. All units are in metres.

Model	No. of GCPs	No. of RPCs	ICP RMS		Max Error
			X	Y	
Rigorous	7	29	0.9	0.7	1.5
RPCs	7	29	1.2	0.8	2.2
	6	30	1.2	0.7	2.6
	5	31	1.5	0.8	4.0
	4	32	1.5	0.8	3.8
	3	33	1.3	0.7	3.4
	2	34	1.4	0.9	2.6
	1	35	1.9	2.0	3.2
	0	36	8.4	13.0	10.2

Table 2. Comparison of the aft-looking results using rigorous and RPC models. All units are in metres.

Model	No. of GCPs	No. of RPCs	ICP RMS		Max Error
			X	Y	
Rigorous	7	29	0.8	0.8	1.2
RPCs	7	29	2.1	0.9	5.6
	6	30	2.1	0.9	5.7
	5	31	2.5	0.9	6.6
	4	32	2.4	0.9	6.4
	3	33	2.2	1.0	5.8
	2	34	2.7	1.7	5.3
	1	35	2.5	1.2	6.3
	0	36	2.4	3.8	6.1

Zdroj: Cheng et al. 2006