

Digitální fotogrammetrie



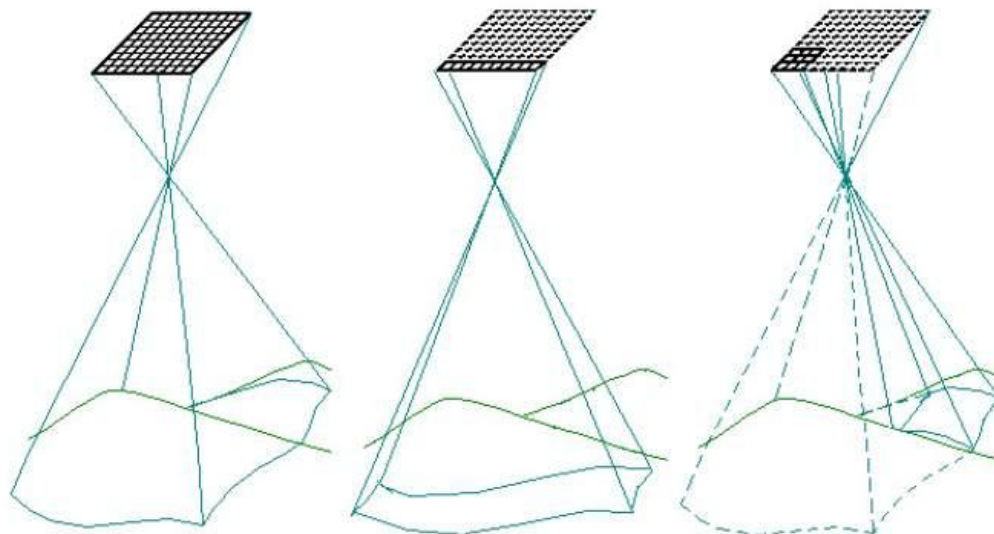
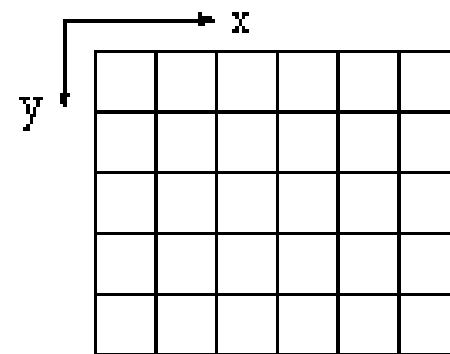
Výhody digitální fotogrammetrie (softcopy photogrammetry):

- snadný a rychlý přenos dat
- dokonalé kopírování snímků
- nové možnosti geometrické a radiometrické transformace
- možnosti odstranění šumu a předzpracování snímků
- značný podíl automatizace, automatická detekce jevů

Problémy použití digitálního obrazu ve fotogrammetrii:

- omezená prostorová rozlišovací schopnost digitálního obrazu
- velký objem dat
- nákladné HW a SW vybavení

Primární digitální obraz



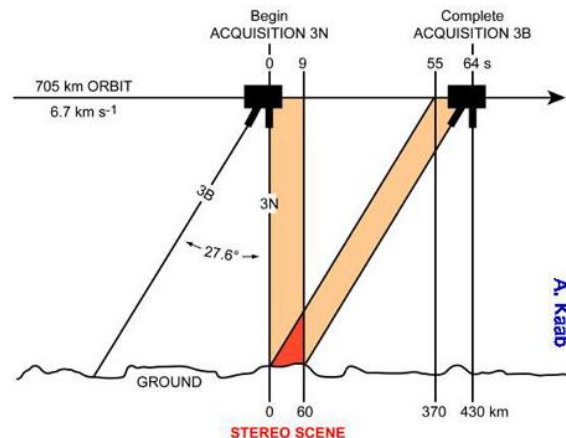
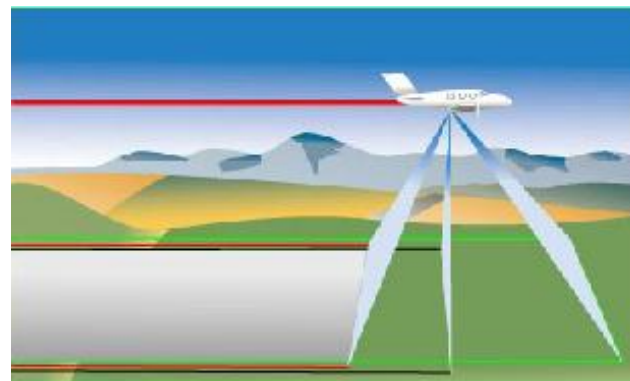
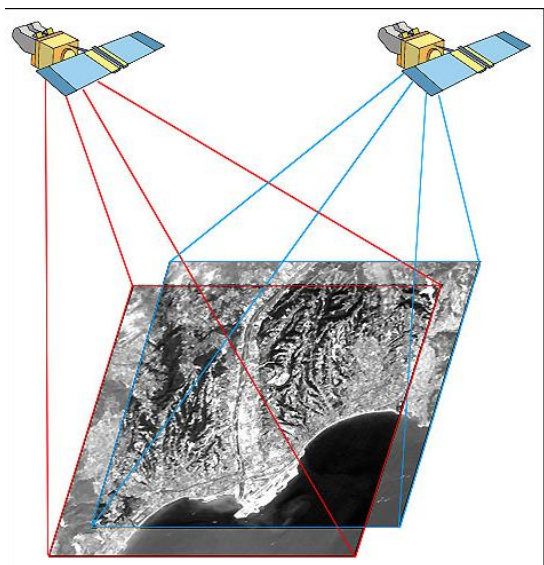
Primární digitální obraz vytvářený elektro-optickým skenerem s **řádkou** CCD (skenující radiometr DPZ) a digitální komorou s **maticí** CCD (fgm)

Maticové skenery:

- větší hloubka obrazu (radiometrické rozlišení) – lepší výsledky obrazové korelace
- snazší potlačení atmosférických vlivů
- nejsou ovlivněny smazem

Způsoby získávání stereoskopické dvojice v dig. FGM

- Podélný překryv fotografií při řadovém snímkování
- Náklon skeneru vpřed a vzad ve směru dráhy letu
- Náklon skeneru do boku, kolmo k dráze letu
- Využití příčného překrytu území ze snímků ze dvou sousedních drah (málo vhodný způsob v důsledku špatného základového poměru)



Digitální kamery

Specifické parametry digitálních komor definují matematický model, který se používá při transformaci snímků



**DMC (Digital Mapping)
Camera - Z/I Imaging**



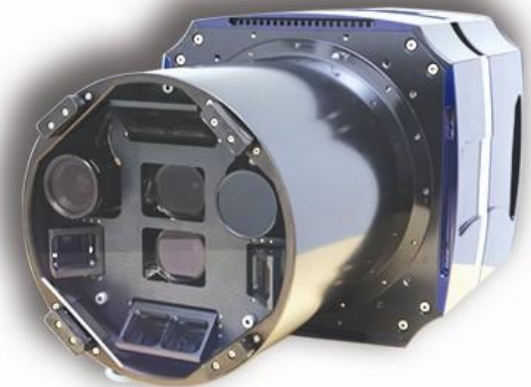
**Digitální komora ADS 40 (LH
Systems)**



UltraCam Eagle

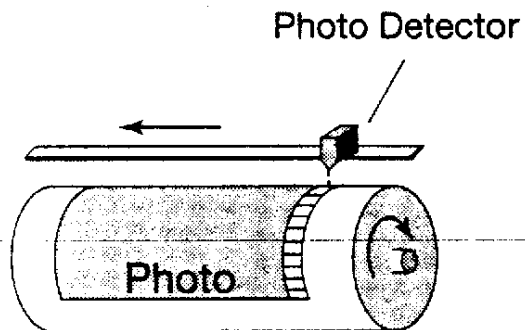


Leica RCD30

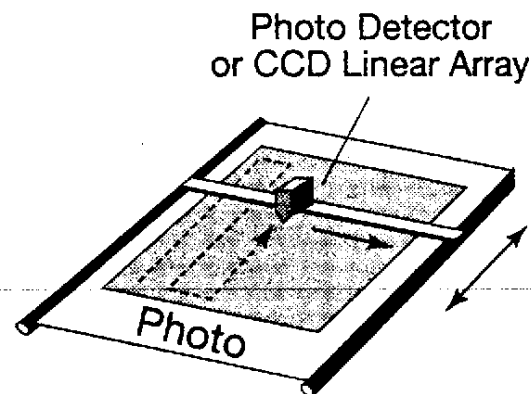


UltraCam Osprey

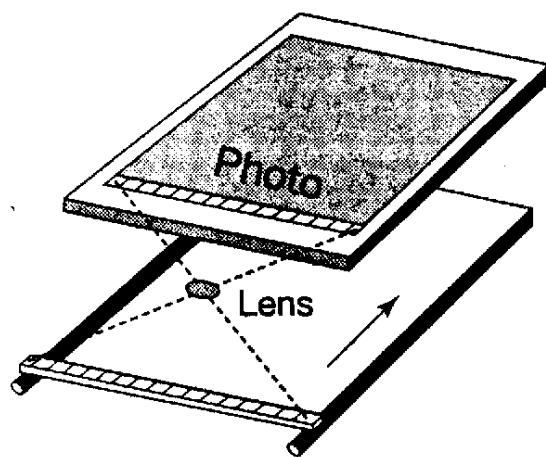
Sekundární digitální obraz a digitalizace fotografie



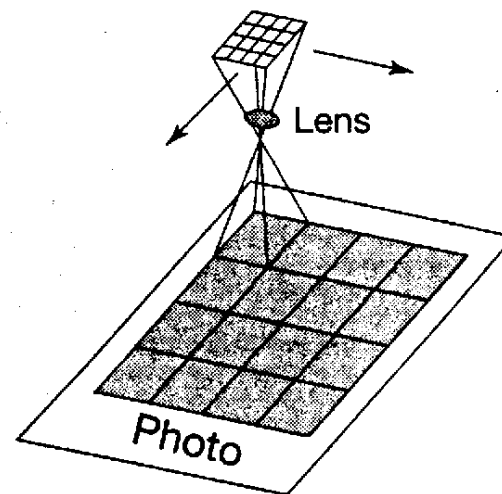
(i) Drum



(ii) Flatbed



(iii) CCD Linear Array



(iv) CCD Areal Array

PhotoScan TD (Z/I Imaging)



Přesnost skenování:

- geometrická
- radiometrická

- kalibrace skenerů
- hustota skenování – ve ftgm - v mikrometrech
- skenování z transparentních materiálů (separace barevných složek)
- skener provádí řadu předzpracování např. subpixelová interpolace, radiometrické úpravy, aerotriangulace)

Vztah mezi hustotou skenování a velikostí souboru

Hustota skenování [DPI]	100	200	600	800	1000	2000	8500
Rozměr pixelu [μm]	254	127	42	32	25	13	3
Velikost souboru [MB]	0,82	3,2	30	51,8	84,6	324	5900

Rozměr pixelu [μm]=25400 / rozlišení v DPI

Rozlišení v DPI =25400 / Rozměr pixelu [μm]

Pravidlo:

„As high as necessary, as low as possible“

Na hustotě skenování závisí přesnost určování výšek (z).
Tato by měla být 0,1 promile z výšky letu.

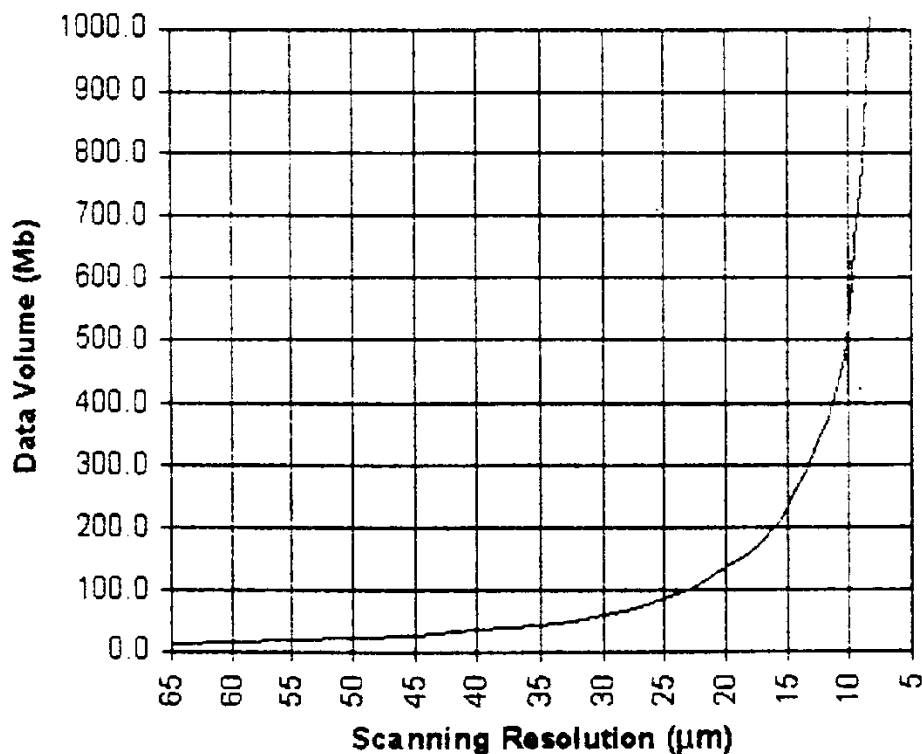
Hustota skenování

Δx - minimální přípustná chyba

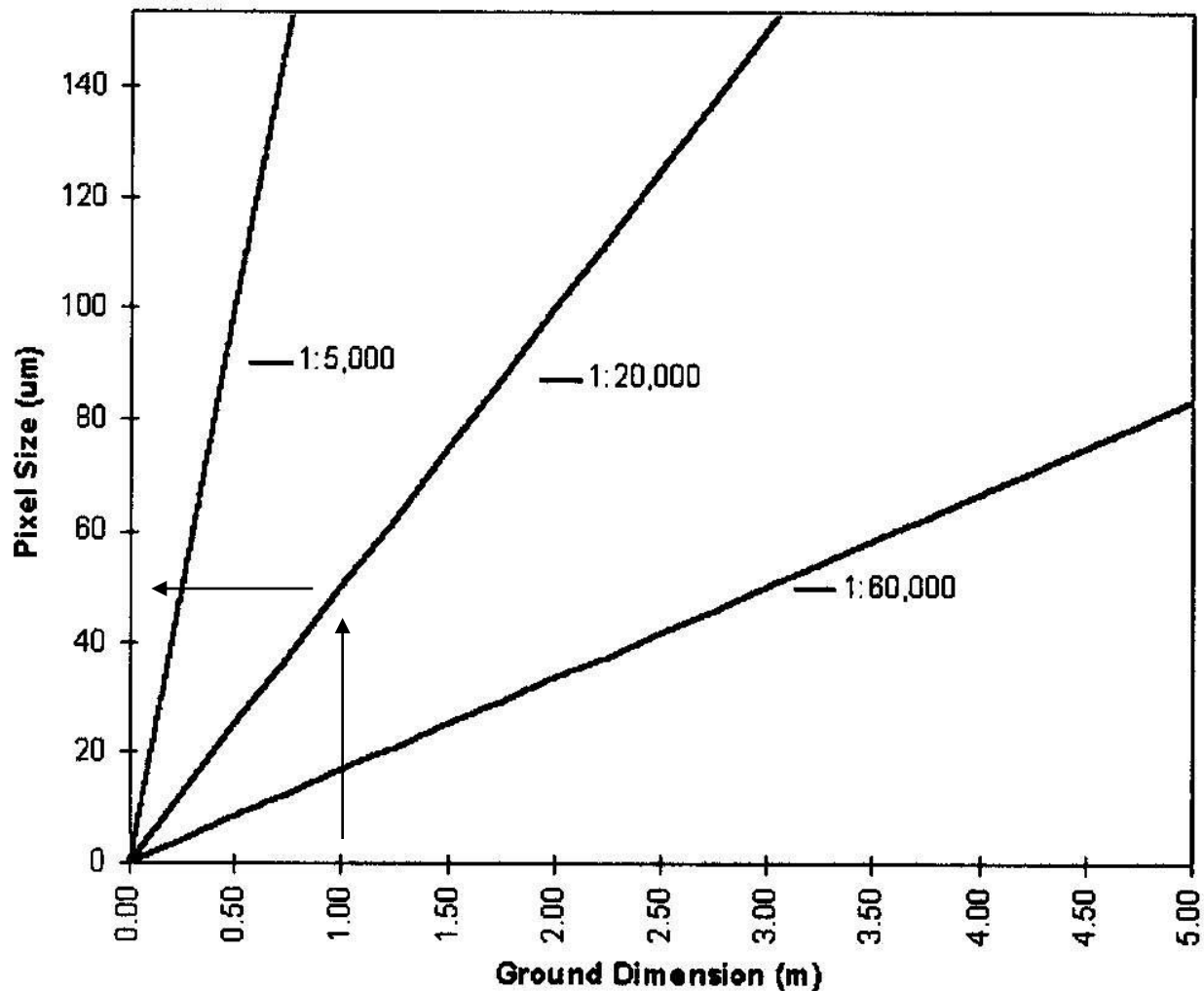
m_s - měřítko snímku

k - násobná konstanta (2-3) podle možností detekce vlíčovacích bodů

$$DPI = \frac{2,54 \cdot k \cdot m_s}{\Delta x}$$



Vztah mezi hustotou skenování a velikostí souboru



Vztah mezi hustotou skenování a velikostí pixelu (na zemském povrchu v metrech – ground sample distance) pro různá měřítka letecké fotografie

Prostorové rozlišení digitálních snímků

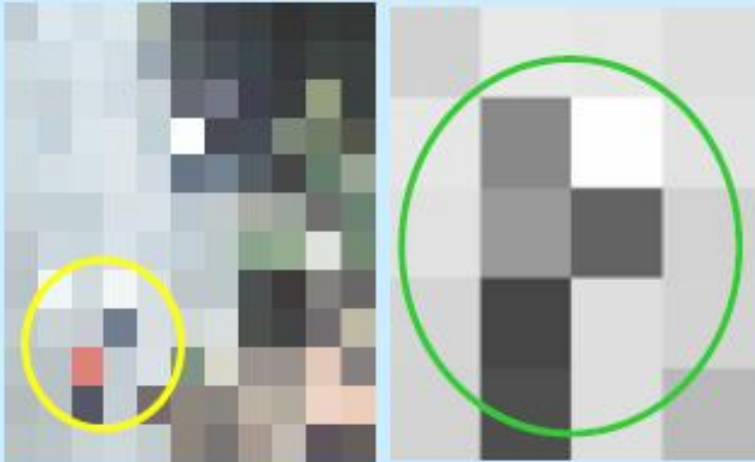

Example: 23x23 cm aerial image, 8 bit panchromatic:

Pixel size	Number of pixels	Storage (Mb)
60 μm	3833 \times 3833 = 14 691 889	14.7
30 μm	7667 \times 7667 = 58 782 889	58.8
15 μm	15333 \times 15333 = 235 100 889	235.1
7.5 μm	30667 \times 30667 = 940 464 889	940.5

Rozměr, který pixel reprezentuje na zemském povrchu - **ground sample distance**

- K **detekci** je třeba, aby byl nejdelší rozměr objektu reprezentován alespoň třemi pixely
- K **interpretaci** je třeba, aby byl objekt reprezentován alespoň 20 – 25 pixely

Prostorové rozlišení digitálních snímků

<p>GSD 1.6 m</p> 	<p>Size of <i>detectable</i> object GSD x 3</p>
<p>GSD 0.20 m</p> 	<p>Size of <i>interpretable</i> object GSD x 24</p>

Car size ~ 4.5m - 5m
GSD 1.6 m x 3 = 4.8 m

Car size ~ 4.5 - 5m
GSD 0.2 m x 24 = 4.8 m

Formáty digitálního LMS, komprese dat

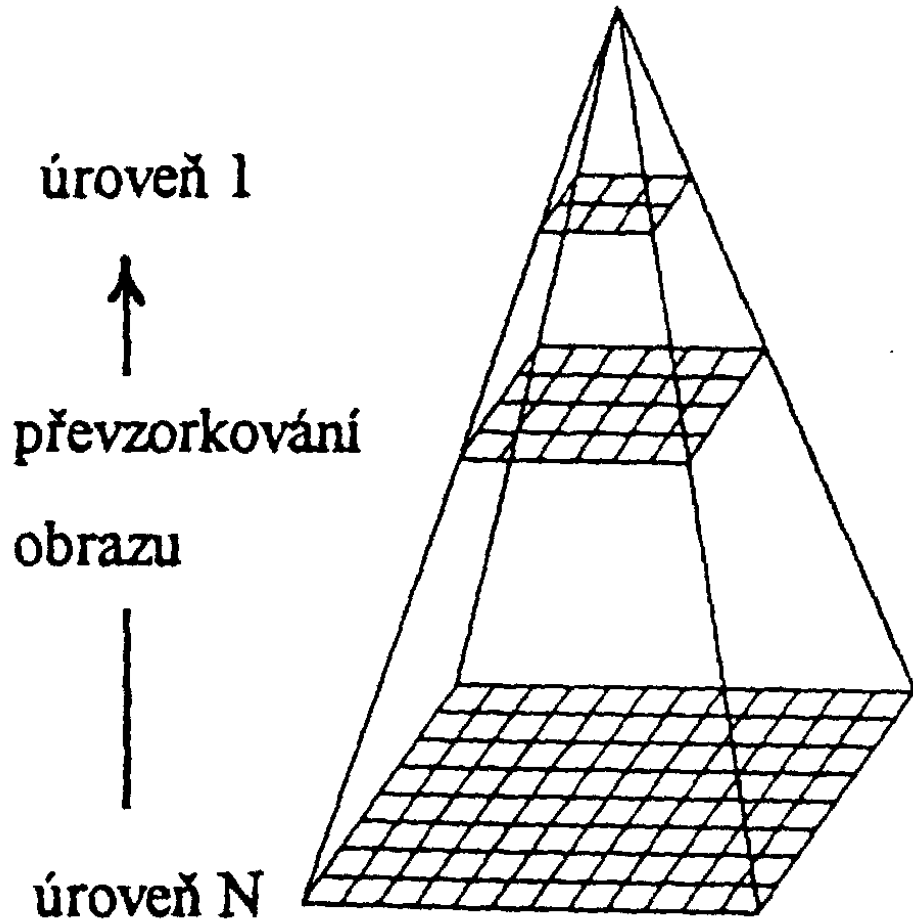
Dříve - standard - formát TIFF, GeoTIFF

Nativní formáty jednotlivých SW řešení – PIX, IMG, ...

Stále více se prosazují kompresní formáty a algoritmy:

- LZW – komprese používaná v běžném formátu TIFF
- JPEG – algoritmus DCT - Fourierovy transformace – funkce jako složenina konečného počtu kosinových funkcí o různé amplitudě a frekvenci.
- JPEG2000 – možno využívat jako ztrátový i bezztrátový, dekomprese části obrazu podle různého měřítka, různě nastavitelný stupeň komprese pro různé části obrazu.
- **ECW (Enhanced Compression Wavelet)**
- **MrSID (Multi-Resolution Seamless Image Database)**

Obrazové pyramidy



obrazová pyramida

- Jedná se o převzorkování obrazu na několik úrovní menšího rozlišení, které jsou používány v přehledovém režimu (Overview)
- Nižší úrovně poskytují více detailů, vyšší úrovně reprezentují celou plochu v přehledu
- Jednotlivé úrovně se tvoří postupným shlazováním nízkopásmovými filtry nebo výběrem n-tého pixelu

Transformace digitálního obrazu

Digitální podoba a výpočetní software umožňuje realizovat celou řadu algoritmů pro geometrickou transformaci – výběr závisí na požadované přesnosti výstupu, měřítku, ploše a char. mapovaného území.

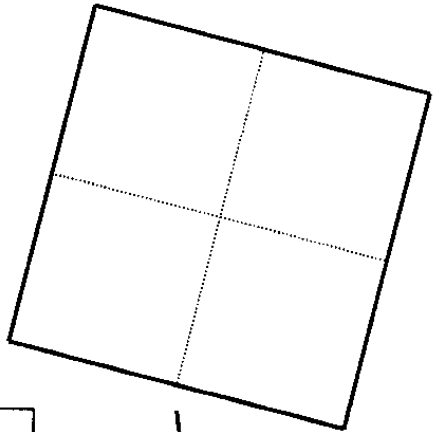
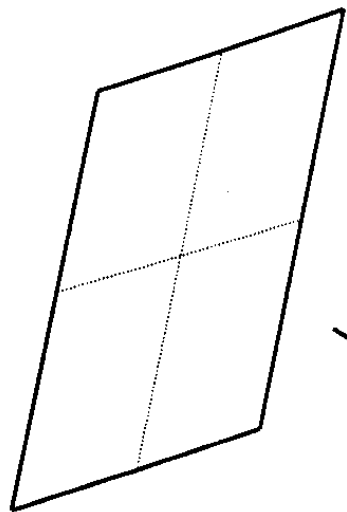
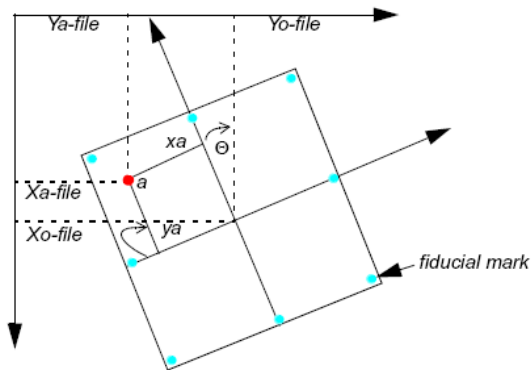
Obecné dělení algoritmů:

- Algoritmy **globální** a **lokální**
- Algoritmy **exaktní** a **aproximační** (s vyrovnáním)
- **Přímá** a **nepřímá** transformace

Transformace digitálního obrazu

- 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)

Rovinné transformace

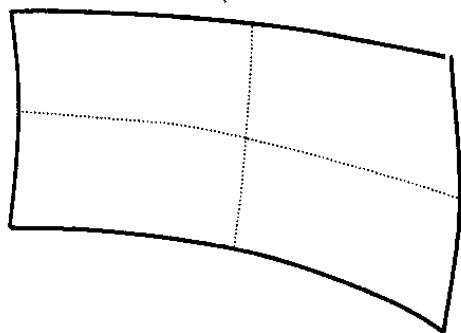
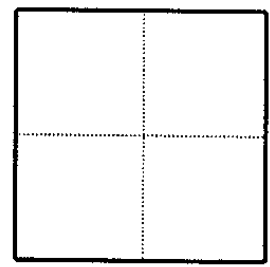
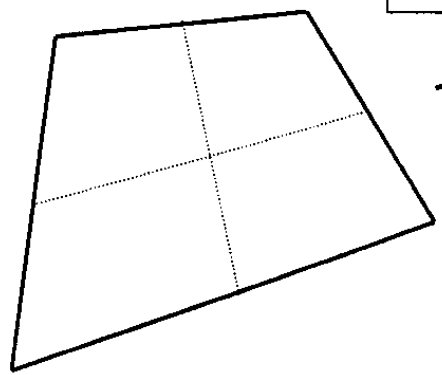


Afinní tr.

Podobnostní tr.

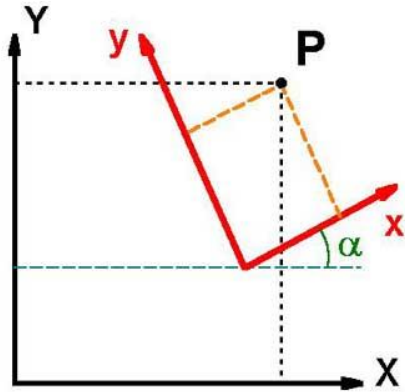
Kolineární tr.

Polynomická tr.

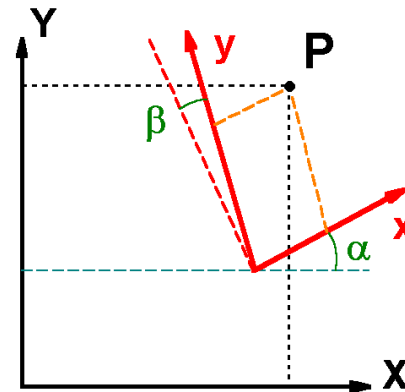


Používají se pro převod naměřených plošných souřadnic (**souborových**) do skutečných **snímkových** souřadnic.

Rovinné transformace



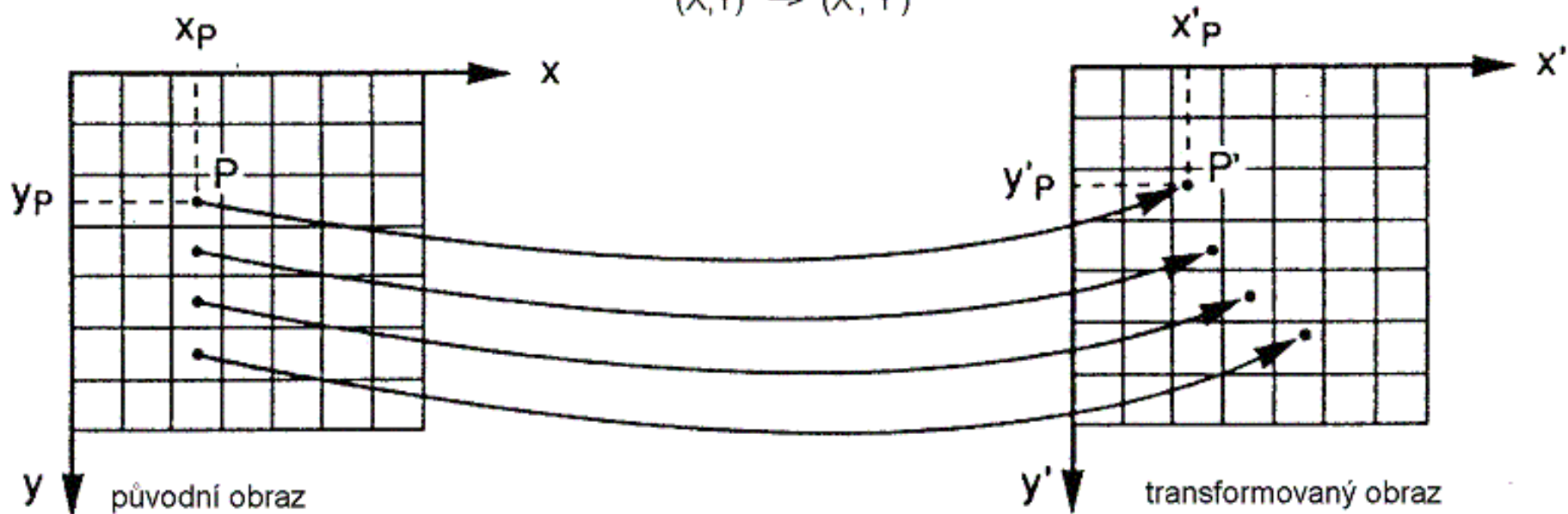
Podobnostní transformace – posun v x a y , pootočení, změna měřítka; 4 parametry, 2 vlíčovací body



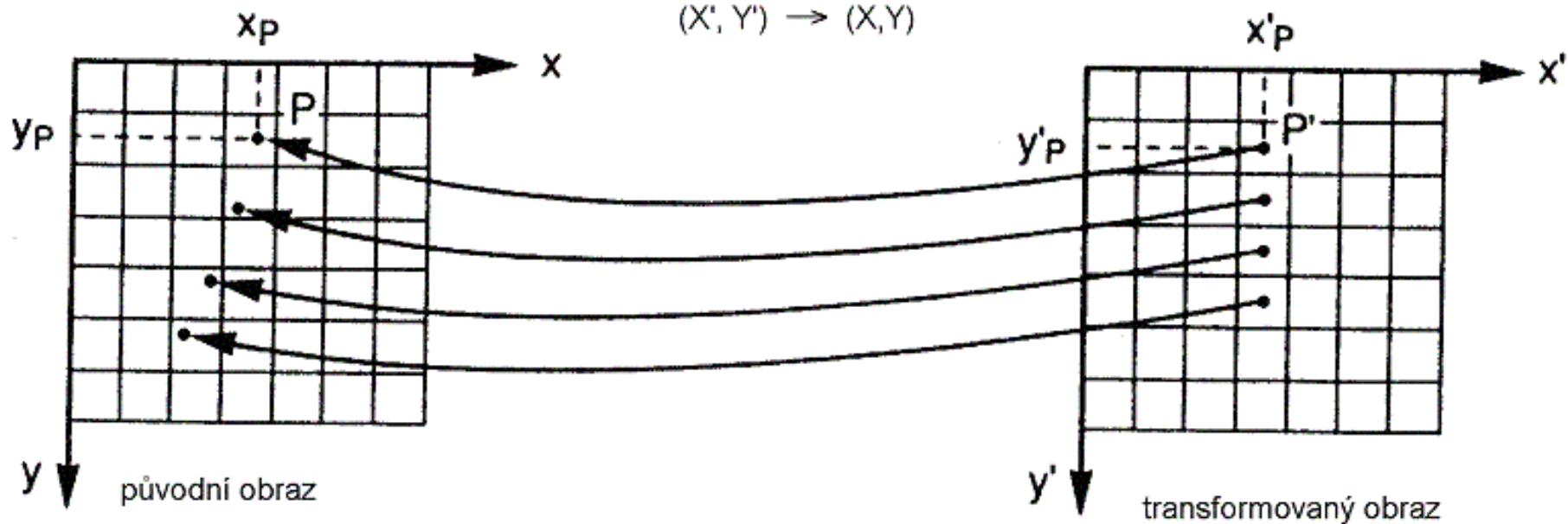
Afinní transformace – dva posuny, otočení, dvě změny měřítka, deformace úhlu souřadnicových os; 6 parametrů, 3 vlíčovací body

Přímá a nepřímá transformace obrazu

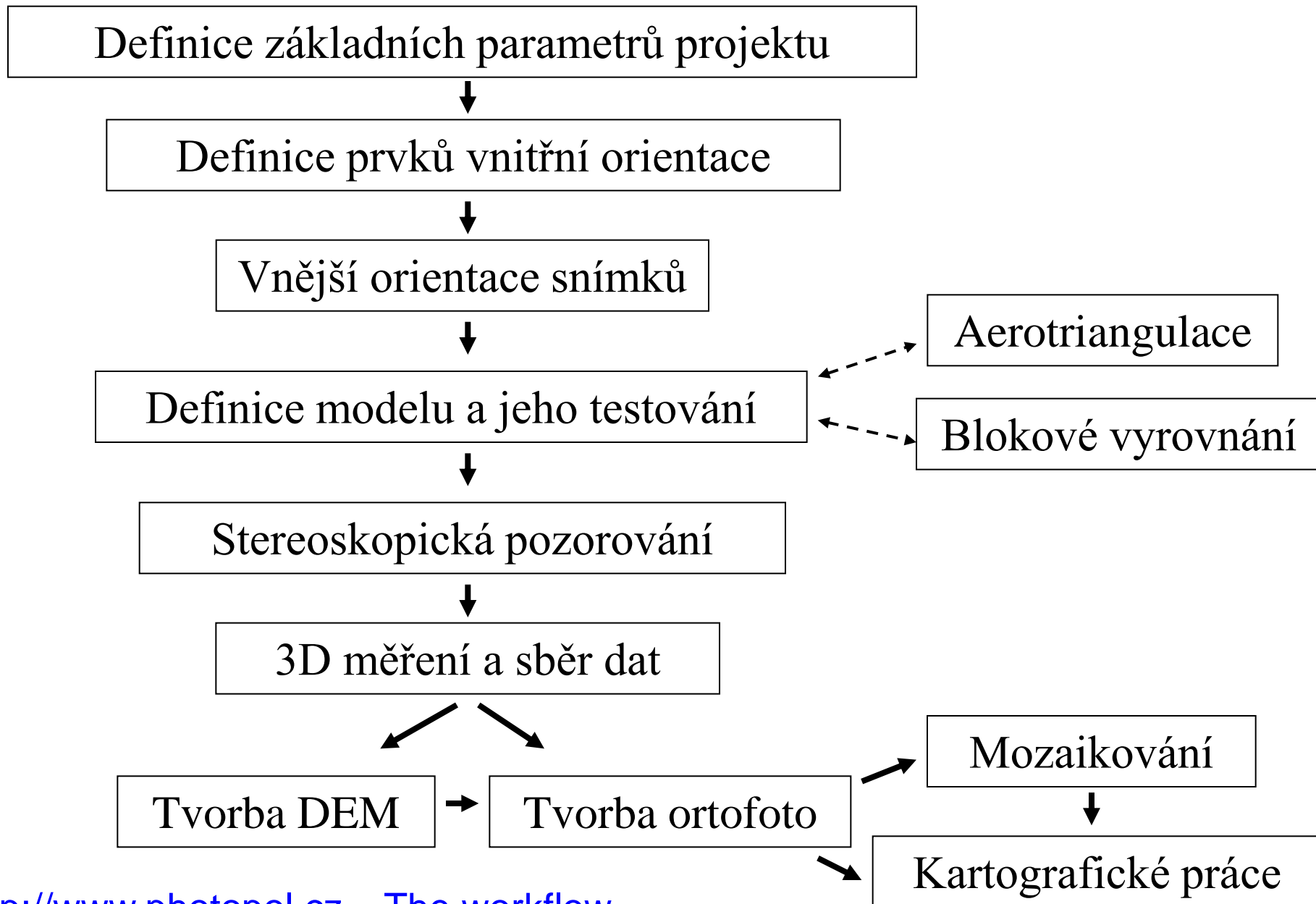
$$(X, Y) \rightarrow (X', Y')$$



$$(X', Y') \rightarrow (X, Y)$$



Obecný postup digitálních fotogrammetrických prací



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 (viz. dále).
- 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).

Definice prvků vnitřní orientace

Camera definition

Fiducial marks: No., x, y

1:	113	0	5:	0	0
2:	0	-113	6:	0	0
3:	-113	0	7:	0	0
4:	0	113	8:	0	0

Principal point in x mm, in y mm

Focal length mm Distortion

Output file

OK Cancel

- souřadnice rámových značek či zadání rozměrů snímku)
- parametry komory (f, radiální distorze)
- digitalizace rámových značek

Interior Orientation

Camera data

Turn by 180 degrees

Subpixel improvement, range +/- pxl

Use existing orientation

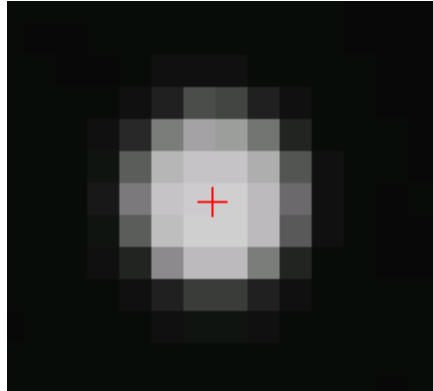
OK Cancel



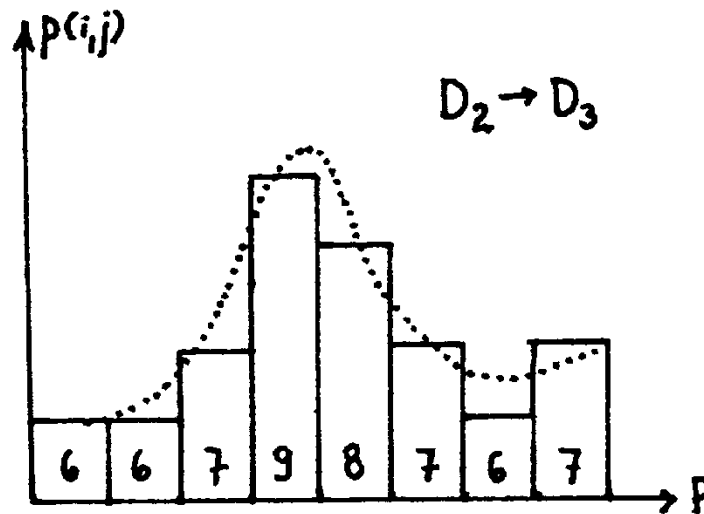
1	113.000	0.000	0.000	0.000	M
2	0.000	-113.000	0.000	0.000	
3	-113.000	0.000	0.000	0.000	
4	0.000	113.000	0.000	0.000	

Definice prvků vnitřní orientace

Subpixelová transformace

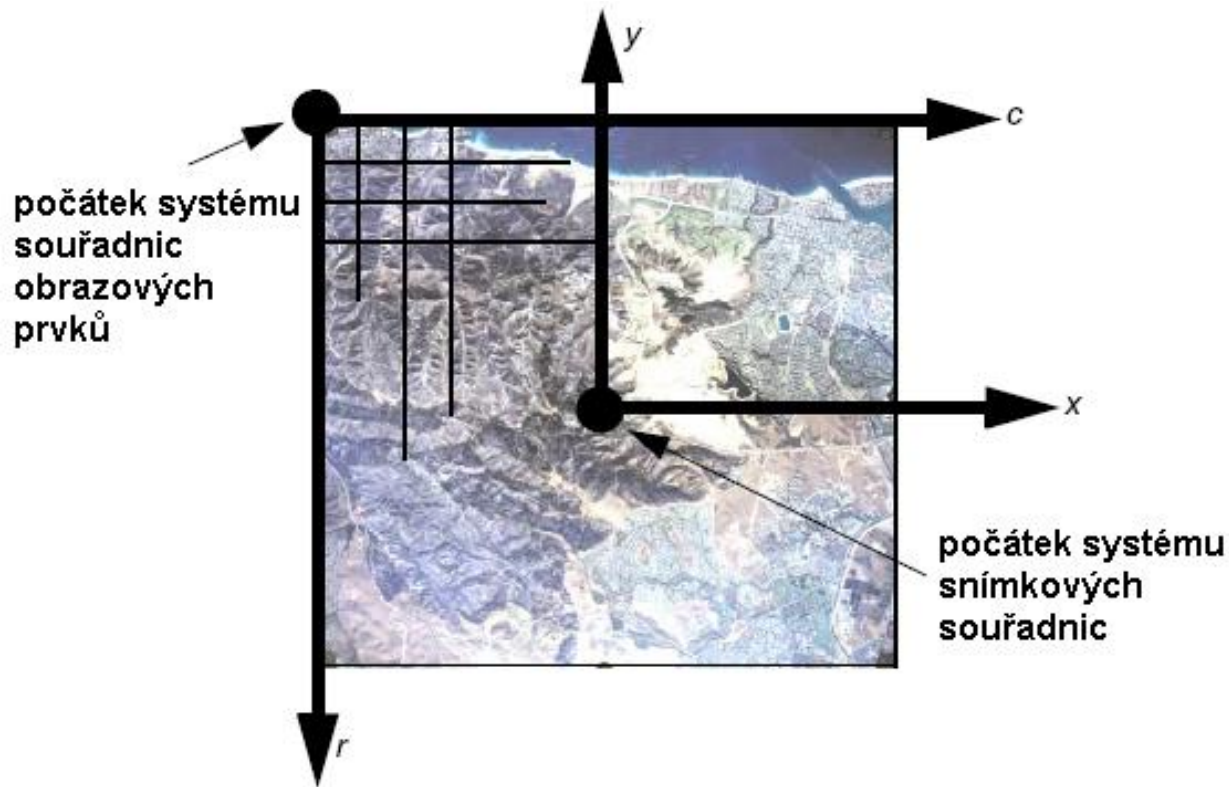


			6	5			
			5	7			
			7	6			
6	6	7	9	8	7	6	7
5	7	6	7	9	8	8	6
			6	7			
			7	7			
			6	6			



Souřadnicové systémy a digitální snímek

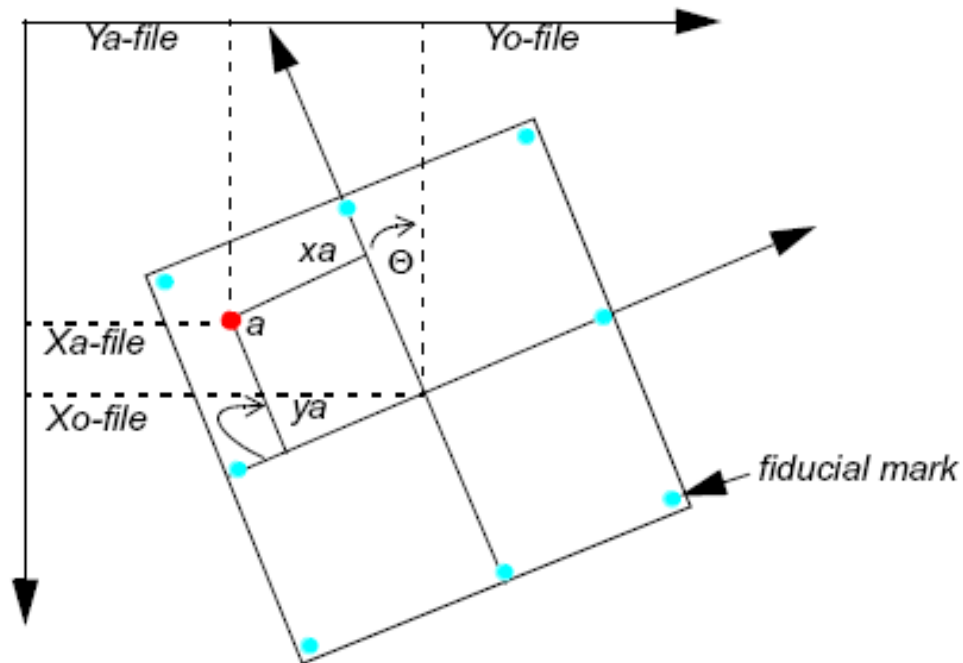
- Souřadnicový systém obrazových prvků
- Souřadnicový systém snímku
- Prostorový souřadnicový systém snímku



Vztah mezi souborovými a snímkovými souřadnicemi digitálního snímku

Vnitřní orientace digitálního snímku:

- musíme znát souřadnice rámových značek.
- můžeme je odečíst v souřadném systému obrazových prvků (řádek, sloupec).
- z něho je transformujeme do prostorového systému snímkových souřadnic tzv. **afinní transformací**



$$x = a_1 + a_2 X + a_3 Y$$
$$y = b_1 + b_2 X + b_3 Y$$

Specifika transformace digitálních snímků

Vnější orientace – využívá některé z metod početního určení šesti neznámých prvků ($X_0, Y_0, Z_0, \omega, \varphi, \kappa$).

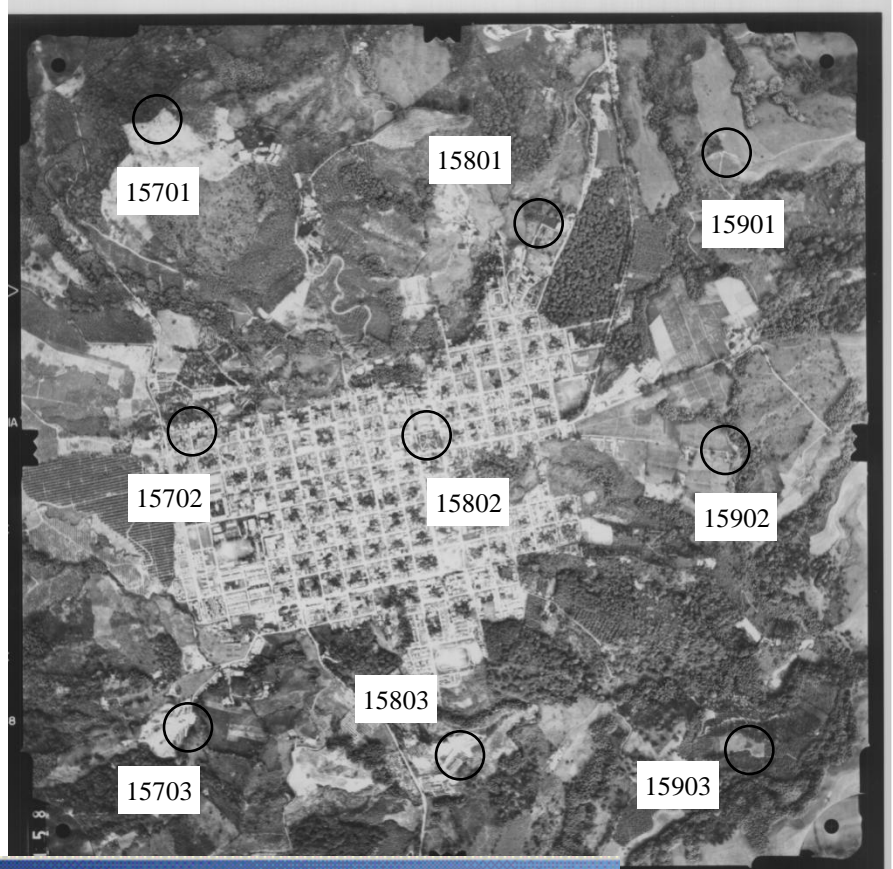
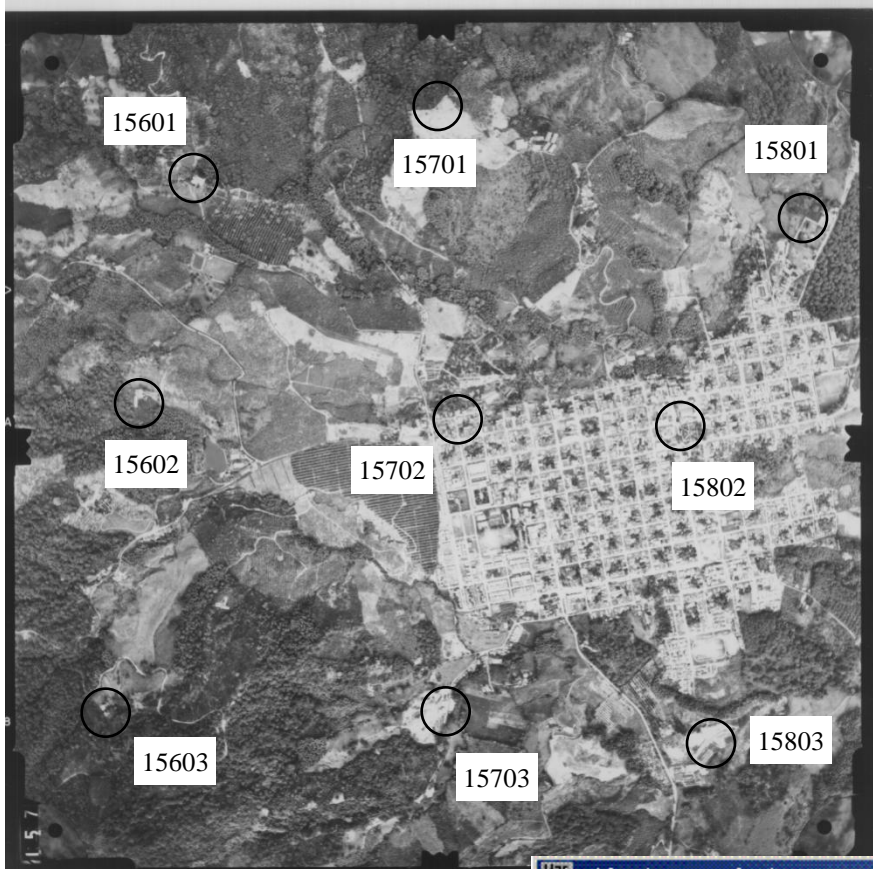
Starší systémy využívaly postupného řešení rozloženého na orientaci relativní a absolutní.

Současné systémy využívají komplexního řešení založeného na orientaci celého **bloku snímků** s využitím **rovníc kolinearity**.

Nutné použití **vlíčovacích bodů** (control points)

- způsoby určování vlíčovacích bodů
- vhodné a nevhodné body
- rozmístění bodů – Gruberovo schéma
- minimální a optimální počty bodů

Vnější orientace

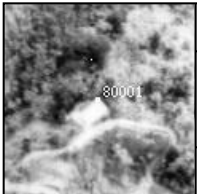


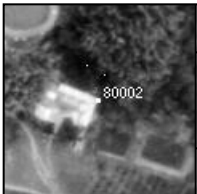
C:\lisa\tutorial_1\CONTROL.DAT


File Edit

15601	1137768.212	969477.156	1211.718	1.00	1.00
15602	1138541.117	969309.217	1245.574	1.00	1.00
15603	1139550.021	969249.250	1334.405	1.00	1.00
15701	1137534.649	970320.150	1251.964	1.00	1.00
15702	1138573.149	970388.650	1171.448	1.00	1.00
15703	1139623.149	970359.457	1158.972	1.00	1.00
15801	1137848.958	971643.004	1142.964	1.00	1.00
15802	1138601.712	971220.373	1157.148	1.00	1.00
15803	1139761.651	971315.870	1130.292	1.00	1.00
15901	1137598.525	972308.940	1128.694	1.00	1.00
15902	1138667.551	972228.208	1141.743	1.00	1.00
15903	1139767.051	972325.708	1144.467	1.00	1.00

Vnější orientace

	No. 80001
134, 135	
x = 1136080.500 y = 968916.500 z = 1427.800	

	No. 80002
134, 135, 136, 155, 156, 157	
x = 1137755.400 y = 969523.500 z = 1212.200	

	No. 80003
136, 137, 138, 139	
x = 1135875.000 y = 971998.000 z = 1089.800	

- **Image Chips** – výřezy snímků s vyznačenou polohou vlíčovacích bodů, souřadnicemi a metadaty
- Manuální resp. automatický sběr bodů

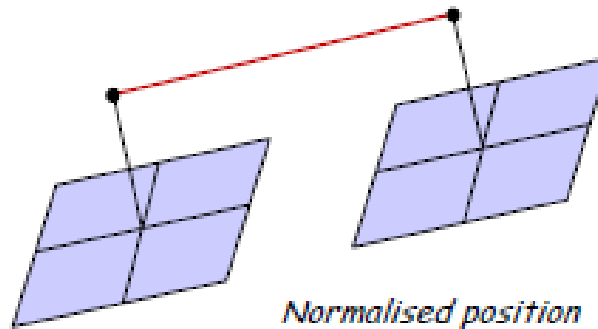
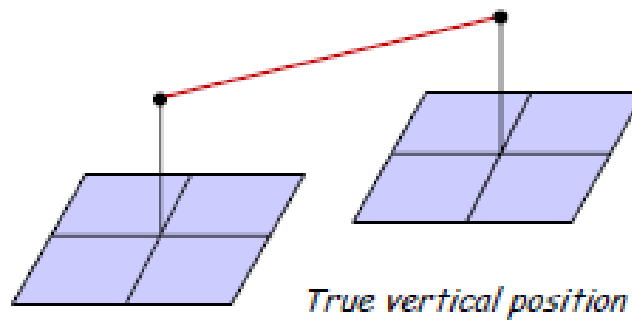
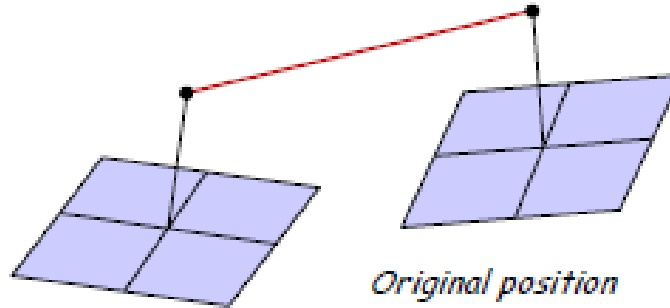
Vnější orientace

Analogové snímky - orientace a tvorba modelu fyzickým otáčením snímků

Digitální snímky – orientace je založena na jiných přístupech, které zajišťují vytvoření zdánlivého modelu a stereoskopické pozorování a vyhodnocování:

- Převod snímků do **normálního případu** (snímky se vzájemně rovnoběžnými osami) – např. s využitím kolineárních rovnic, obraz se transformací mírně degraduje (epipóly jsou v nekonečnu)
- Převod snímků do tzv. **epipolární projekce** (podmínka komplanarity = bod musí mít obraz na levém i pravém snímku, spojnice bodu a projekčních center leží v jedné rovině)
- Využití metod **obrazové korelace**

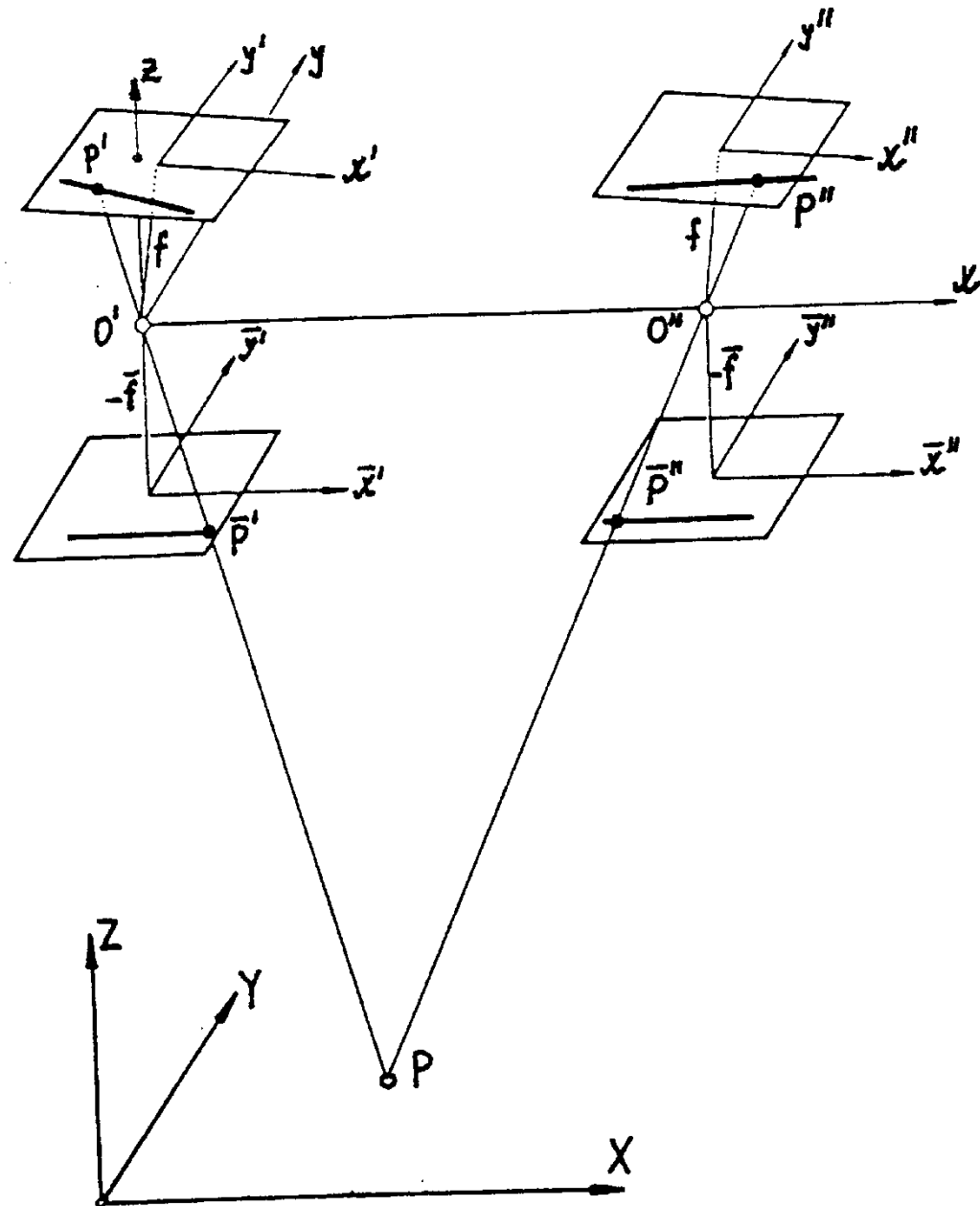
Převod snímků do normálního případu



Rotační matice
(vnější orientace)

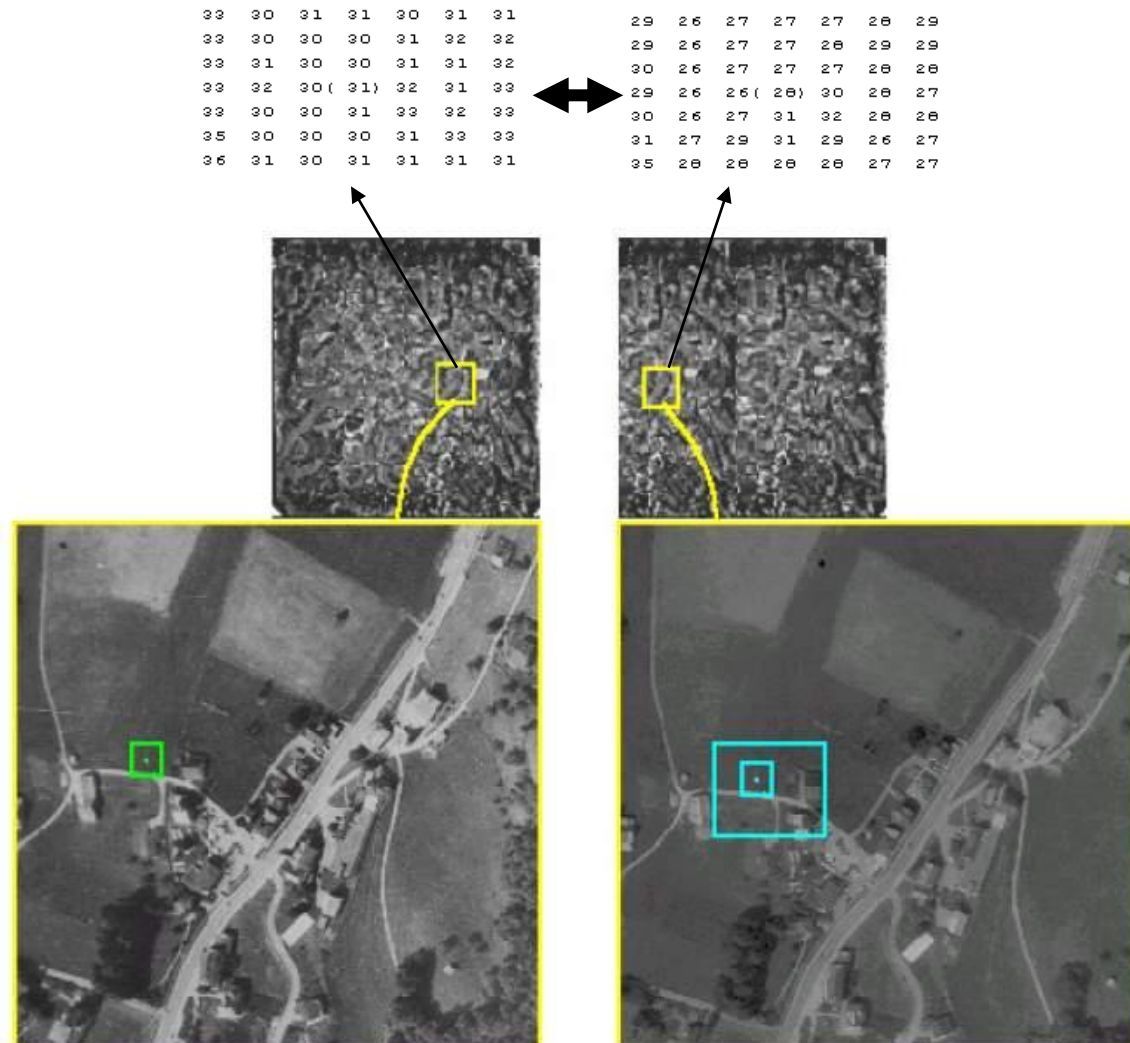
Princip transformace stereodvojice do tzv. epipolární projekce

- Epipolární projekce zajišťuje, že bod na levém snímku má svůj obraz na známé přímce ve snímku pravém.
- Touto transformací se odstraní (minimalizují) vertikální paralaxy bodů, které by znemožňovaly stereoskopické pozorování a dále se zjednoduší metody automatické obrazové korelace.



Princip obrazové korelace (image matching)

referenční a vyhledávací okno



Princip obrazové korelace

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

$$\bar{d}_1 = \frac{1}{n} \sum_{i,j} d_1(c_1, r_1) \quad \bar{d}_2 = \frac{1}{n} \sum_{i,j} d_2(c_2, r_2)$$

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

Korelační techniky a automatické vyhledávání bodů

1. area-based matching – korelace mezi plochami pixelů
2. feature-based matching – korelace mezi objekty (většinou body – rohy objektů, hrany, ...)
3. relation-based matching – (structural matching) – korelace porovnává objekty a zároveň i vztahy mezi nimi, početně náročné, lze je využít k automatickému vyhledávání rámových značek

Korelační techniky a automatické vyhledávání bodů

Area-based matching (ABM)

korelace mezi dvěma částmi obrazu (maticemi DN hodnot)

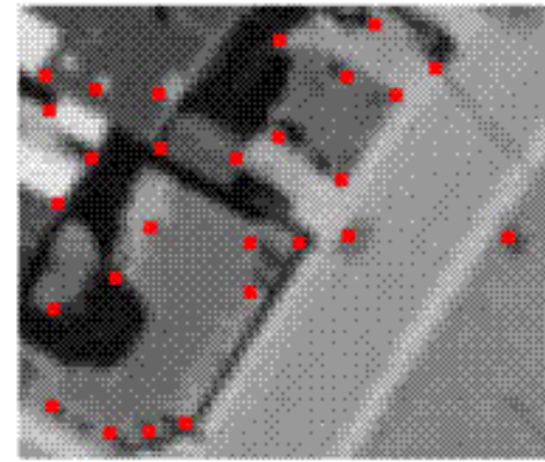
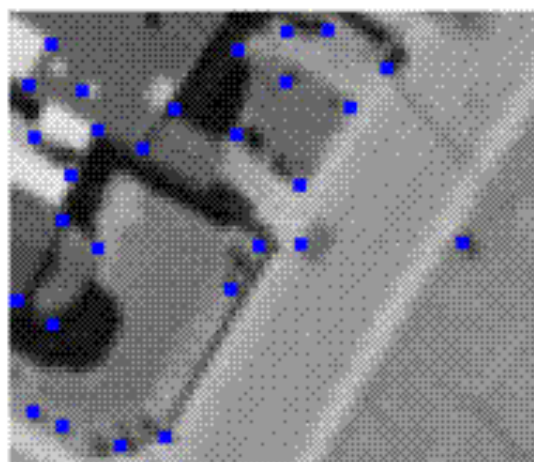
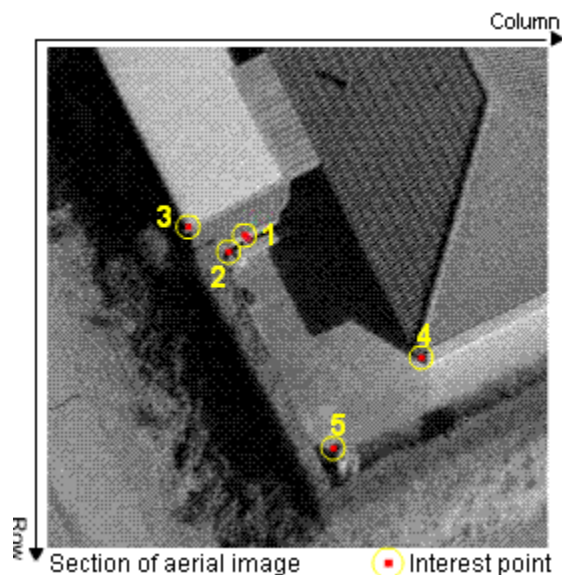
1. Definování velikosti referenčního a vyhledávacího okna
2. Testování podobnosti DN hodnot
 1. Korelačním koeficientem
 2. MNČ
3. Subpixelová přesnost



Area-based matching (ABM)

- relativně velká plocha filtrovacího okna
- nutno znát přibližnou polohu, kde začít vyhledávat
- nejednoznačné řešení
- rozdíly mezi L a P snímkem (osvětlení, terén, „uzavřené oblasti“ v zastavěných plochách)

Feature-based matching (FBM) korelace mezi objekty



1. Extrahování objektů ze snímků (interest points)
2. Objekty mají vlastnosti, pomocí kterých se vyhledávají odpovídající body na sousedních snímcích
3. Míry podobnosti – gradienty DN hodnot ve směru ř, s, korelační koeficient, parametry korelačního pole bodů, míry textury, ...
4. Méně přesná metoda využívaná pro první přiblížení

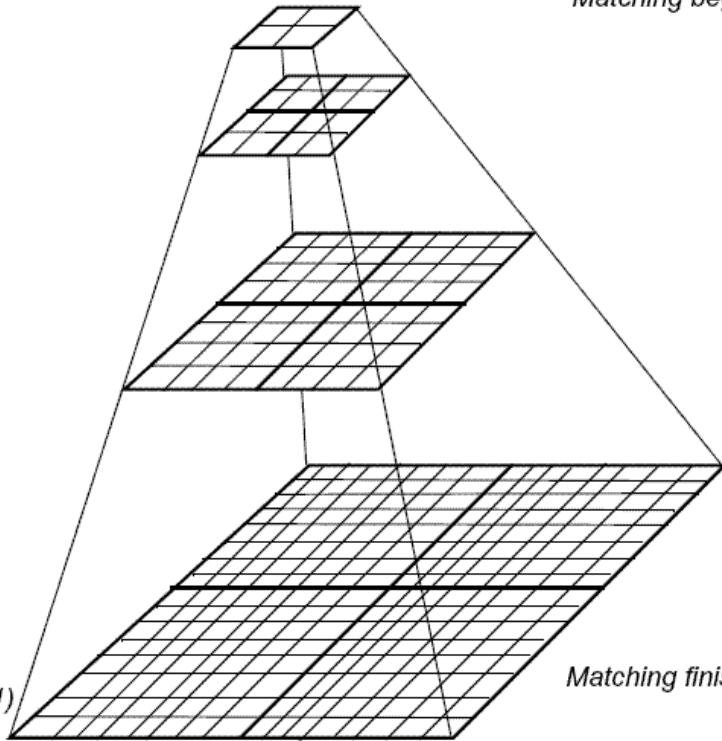
Princip obrazové korelace na obrazové pyramidě

Level 4
64 × 64 pixels
Resolution of 1:8

Level 3
128 × 128 pixels
Resolution of 1:4

Level 2
256 × 256 pixels
Resolution of 1:2

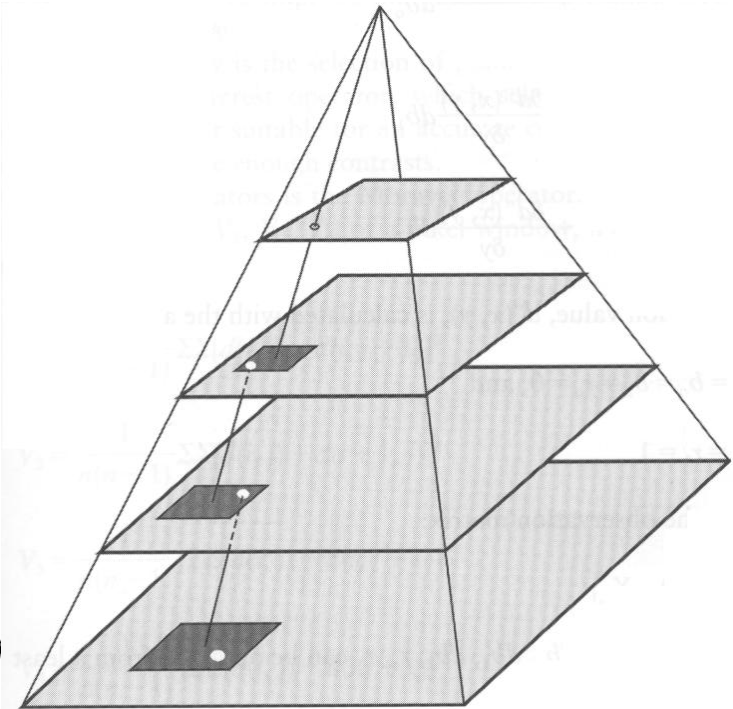
Level 1
Full resolution (1:1)
512 × 512 pixels



Matching begins on level 4

and

Matching finishes on level 1



výrazně zkracují dobu výpočtu, proces vyhledávání oken se nejdříve realizuje na vrstvách s nižším rozlišením (vyšší patra) a postupně se zpřesňuje ve vrstvách s větším rozlišením

Využití obrazové korelace

Proces obrazové korelace závisí na následujících parametrech.

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

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.)

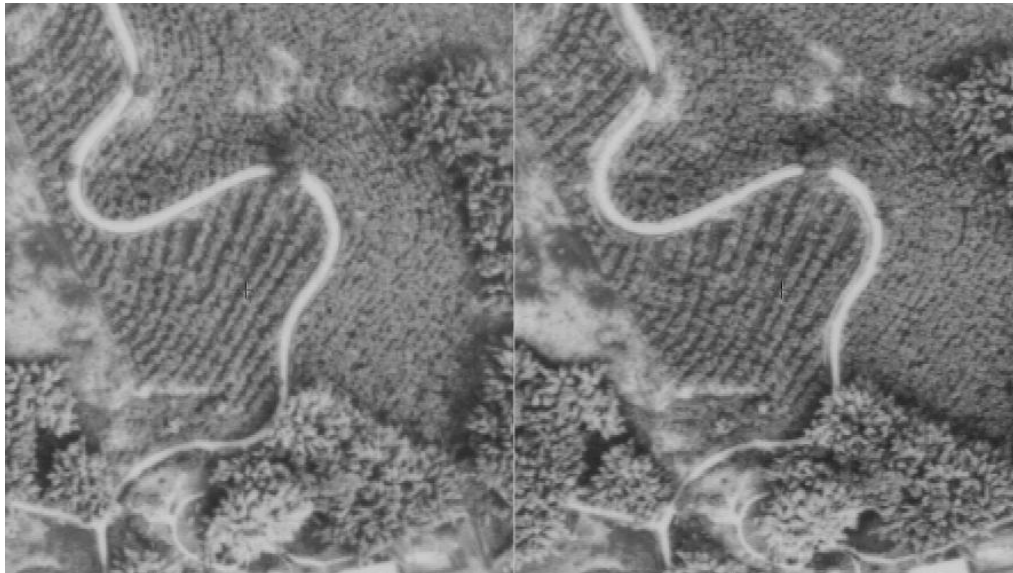
Okno může mít i tvar obdélníku

Limitní hodnota korelačního koeficientu

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

Využití obrazové korelace

- Problém „repetitive structures“
- Vhodná proměnlivá hustota bodů (v závislosti na komplexnosti terénu)
- Velikost vyhledávací matice – velká matice - stabilnější, méně přesné výsledky



Problémy spojené s automatickým vyhledáváním bodů

- chybná korelace na snímcích s výraznou texturou (příklad pruhů na chodníku)
- chybné body na vrcholech výškových budov, na vrcholcích stromů, na nestacionárních bodech
- chybné výsledky na rozlehlejších homogenních plochách (zasněžená pole, vodní plochy)

Kontrolní algoritmy

- prahování hodnot korelačního koeficientu (vylučování hodnot menších než 0,6-0,7).
- nastavitelná hodnota maximální přípustné výškové difference dvou sousedních obrazových prvků (odfiltrování bodů automaticky lokalizovaných na vrcholcích osamělých stromů či výškových budov)
- nastavení maximálního přípustného rozdílu paralax sousedních bodů.