

Bezpilotní letecké prostředky v geoinformatice

04 – Zpracování snímků technikou Structure from Motion

Michal Kačmařík

Katedra geoinformatiky, VŠB-TUO

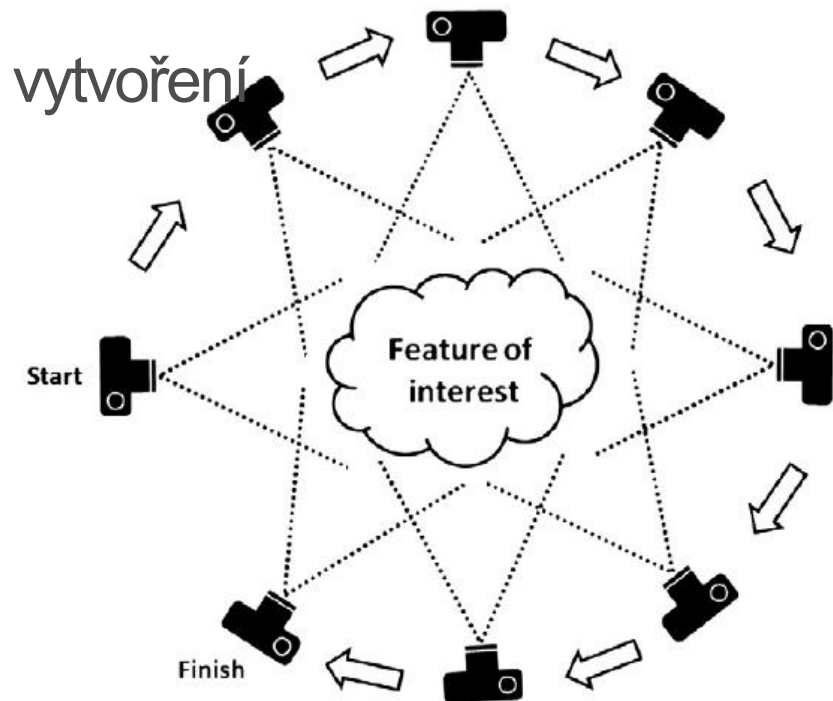
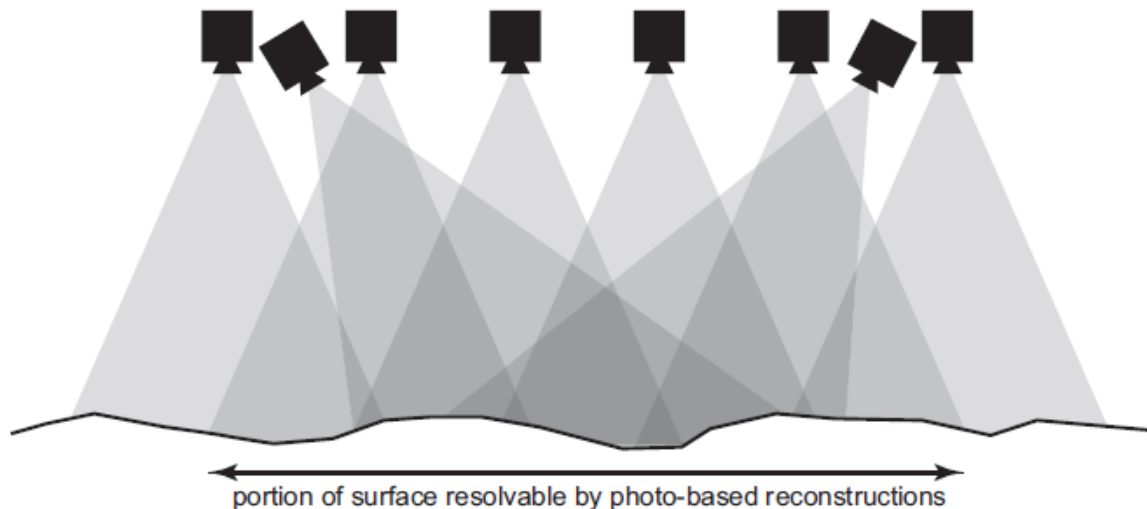


Obsah

- Úvod, historie
- Princip, postup
- Dostupné software

Shrnutí

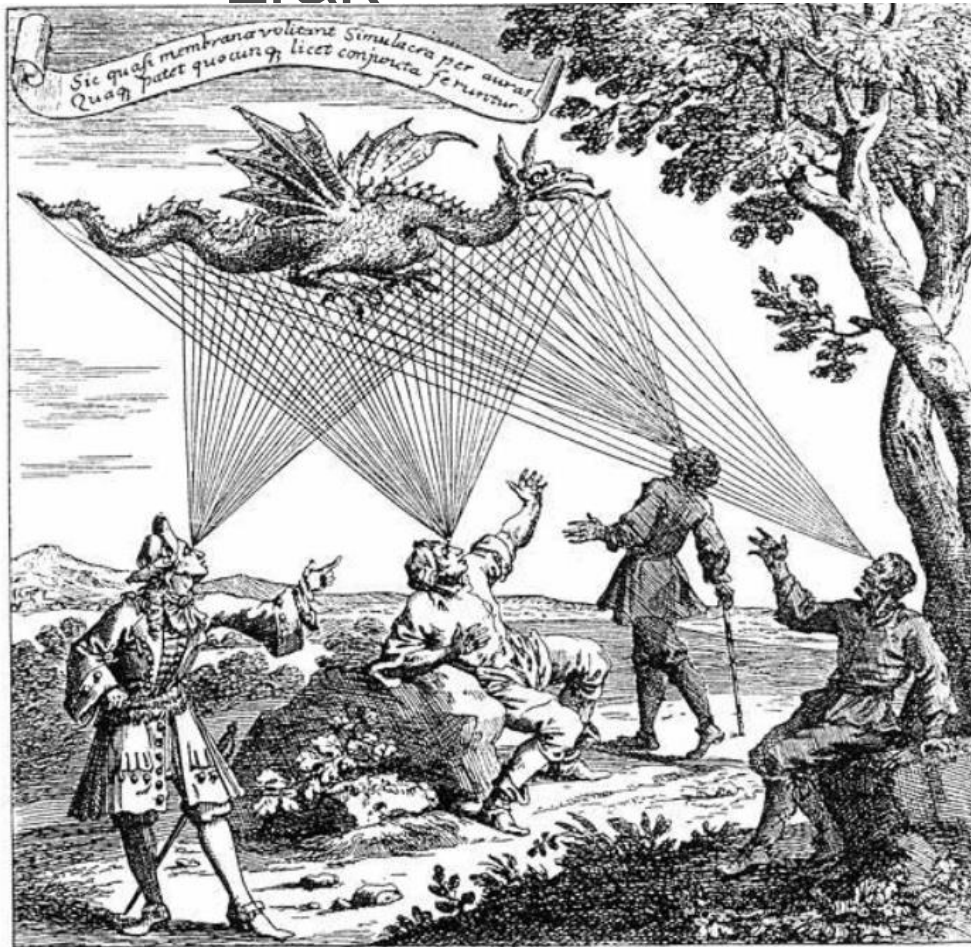
- technika Structure from Motion (SfM) umožňuje z (RGB) snímků s dostatečným překryvem rekonstruovat
 - 3d mračno bodů terénu a objektů na něm stojících, či libovolného trojrozměrného objektu
 - Prvky vnitřní a vnější orientace snímku v okamžiku jeho vytvoření



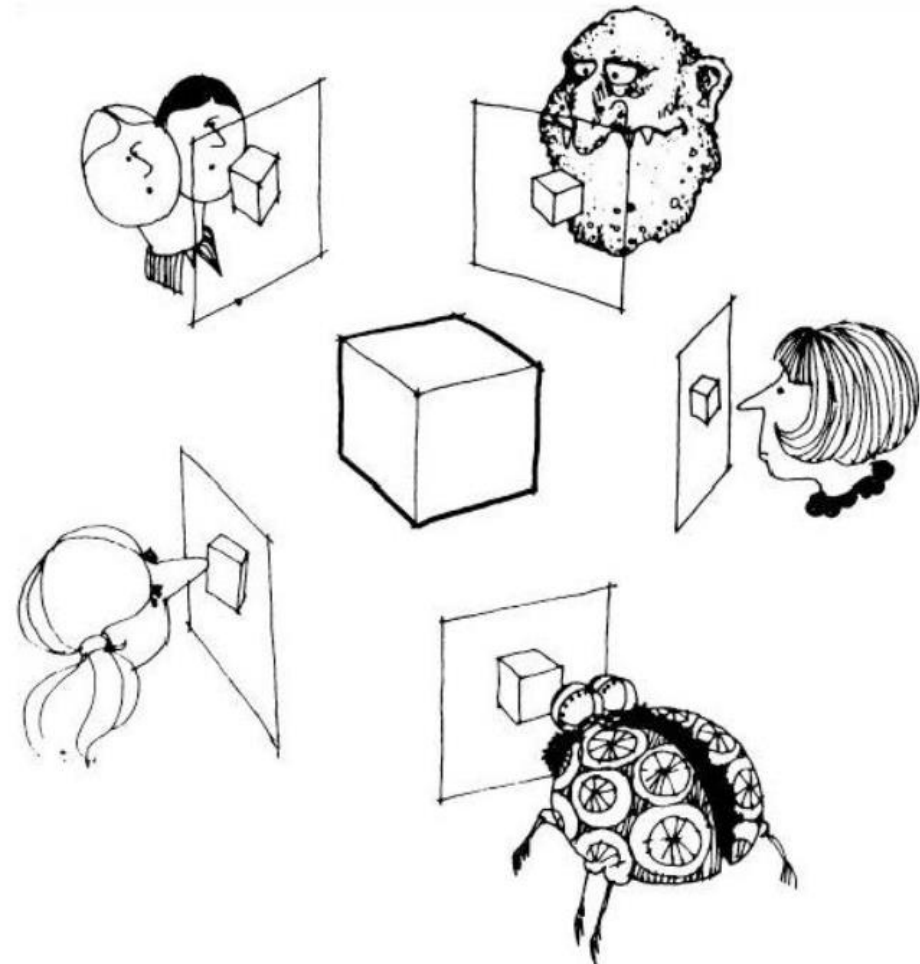
Shrnutí

Multi-view stereo

- SfM a lidský zrak



Драконъ, видимый подъ различными углами зрѣнія
По гравюру на мѣди изд. 'Oculus artificialis teleiopicus' Цана. 1702 года



Slides from S. Lazebnik who adapted many from S. Seitz

Historie - myšlenka

Proc. R. Soc. Lond. B. **203**, 405–426 (1979)

Printed in Great Britain

The interpretation of structure from motion

BY S. ULLMAN

*Artificial Intelligence Laboratory, Massachusetts Institute of Technology,
545 Technology Square (Room 808), Cambridge, Massachusetts 02139 U.S.A.*

(Communicated by S. Brenner, F.R.S. – Received 20 April 1978)

The interpretation of structure from motion is examined from a computational point of view. The question addressed is how the three dimensional structure and motion of objects can be inferred from the two dimensional transformations of their projected images when no three dimensional information is conveyed by the individual projections.

Historie – algoritmus pohánějící SfM

*Proc. of the International Conference on
Computer Vision, Corfu (Sept. 1999)*

Object Recognition from Local Scale-Invariant Features

David G. Lowe

Computer Science Department
University of British Columbia
Vancouver, B.C., V6T 1Z4, Canada
lowe@cs.ubc.ca

Abstract

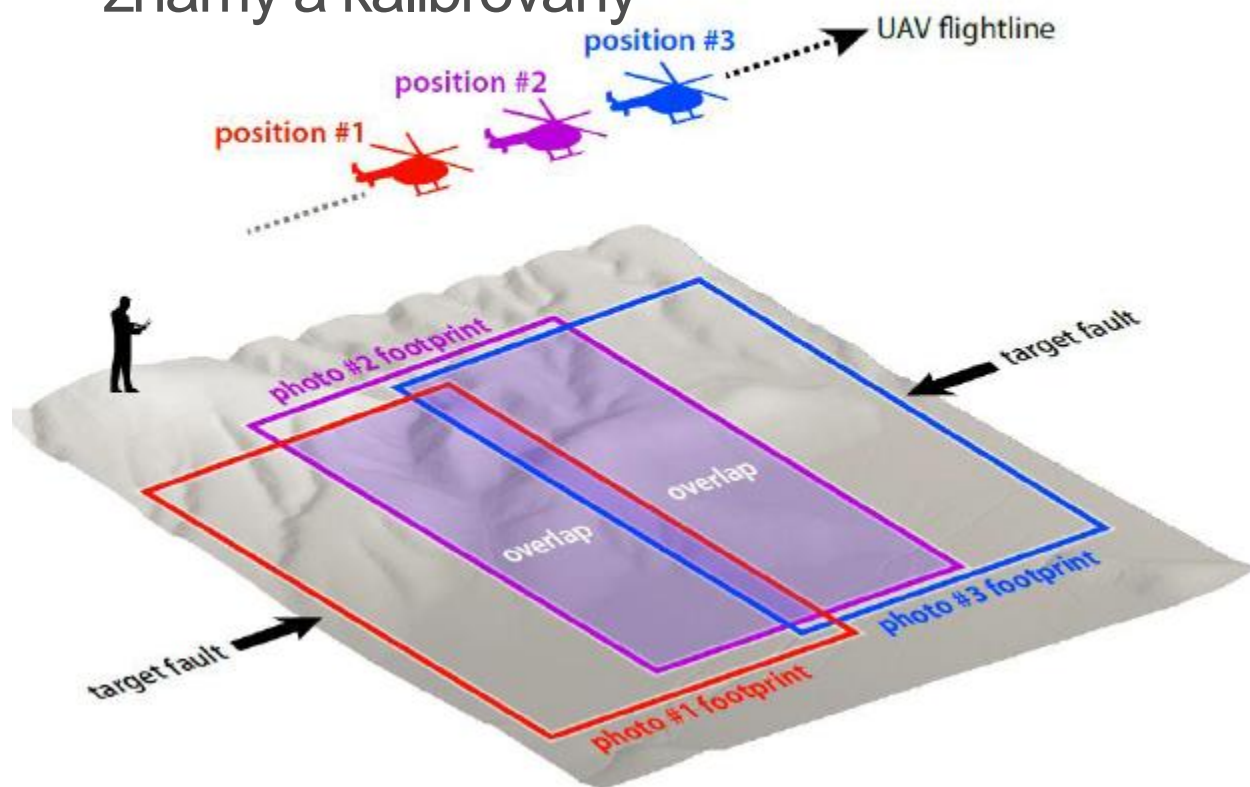
An object recognition system has been developed that uses a new class of local image features. The features are invariant to image scaling, translation, and rotation, and partially invariant to illumination changes and affine or 3D projection.

Klasická stereo-fotogrammetrie vs. SfM

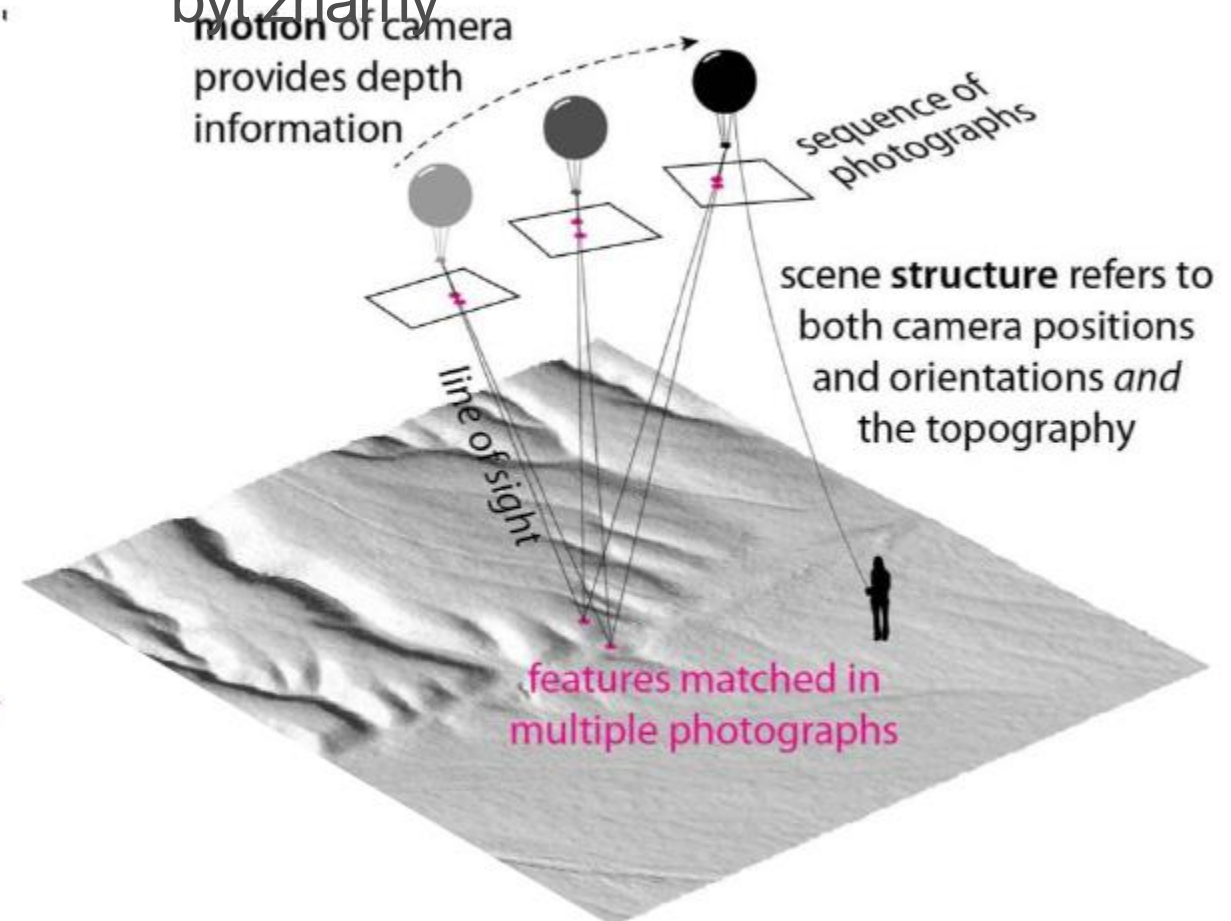
- Stereo-fotogrammetrie vyžaduje pro rekonstrukci 3d polohy objektu:
 - Znat prvky vnější orientace snímků (poloha kamery a její orientace v prostoru)Nebo
 - Mít k dispozici sadu signalizovaných bodů, jejichž 3d poloha je známá
- SfM nevyžaduje na vstupu ani jedno z výše uvedeného
 - Prvky vnitřní orientace snímků, poloha a orientace kamery jsou odvozeny společně s řídkým 3d mračnem bodů v jednom kroku zpracování
 - není tak potřeba ani využívat kalibrované kamery (= ty s určenými prvky vnitřní orientace snímků)

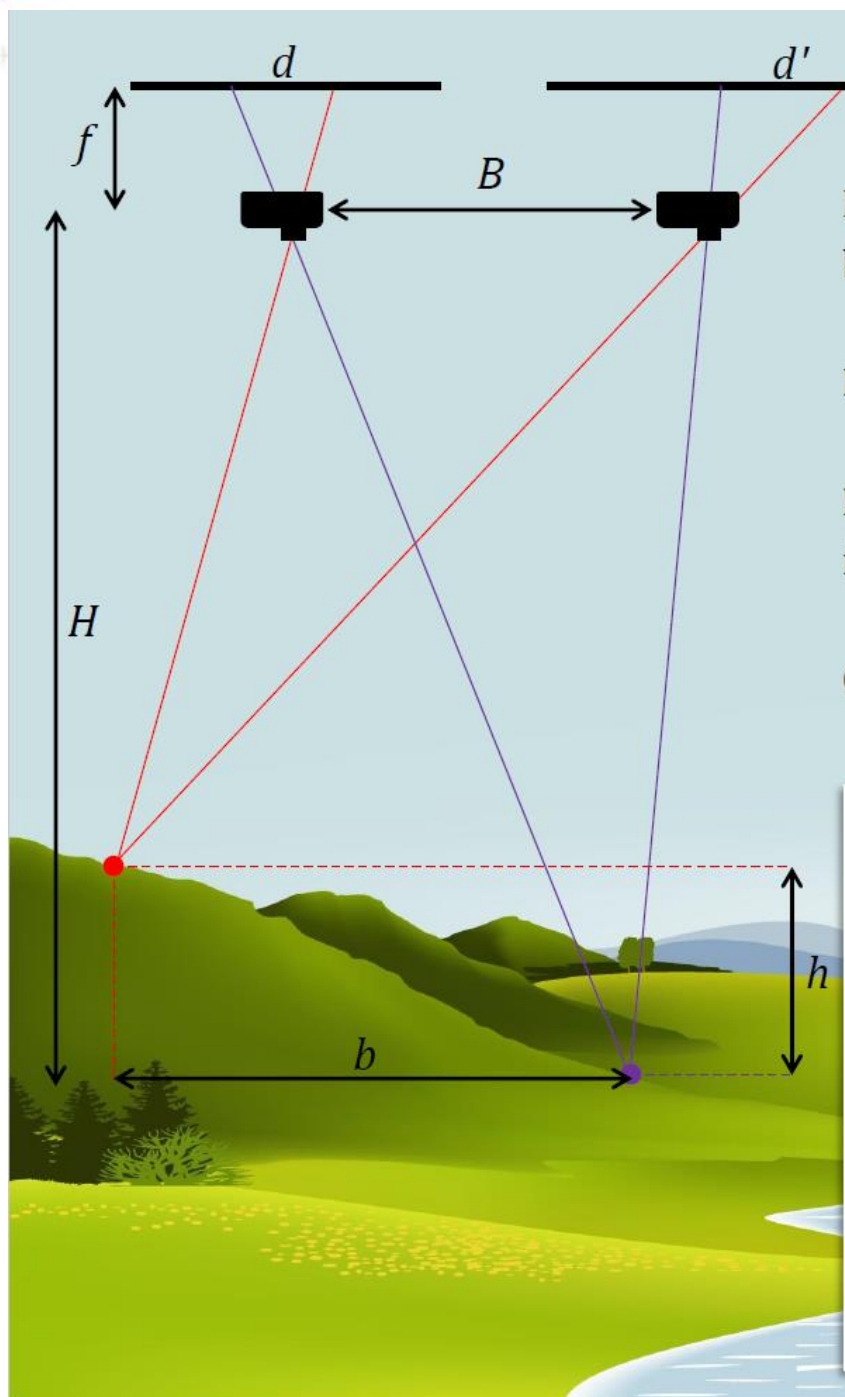
Klasická stereo-fotogrammetrie vs. SfM

- Snímky pořizovány v pravidelném intervalu s uzamčenou orientací kamery, prvky vnitřní orientace kamery jsou známy a kalibrovány



- Snímky pořizovány z nepravidelných pozic, mohou mít rozdílnou orientaci, prvky vnitřní orientace kamery nemusí být známy





Traditional stereo-photogrammetry

Known camera height H and focal length f , and the baseline B between images

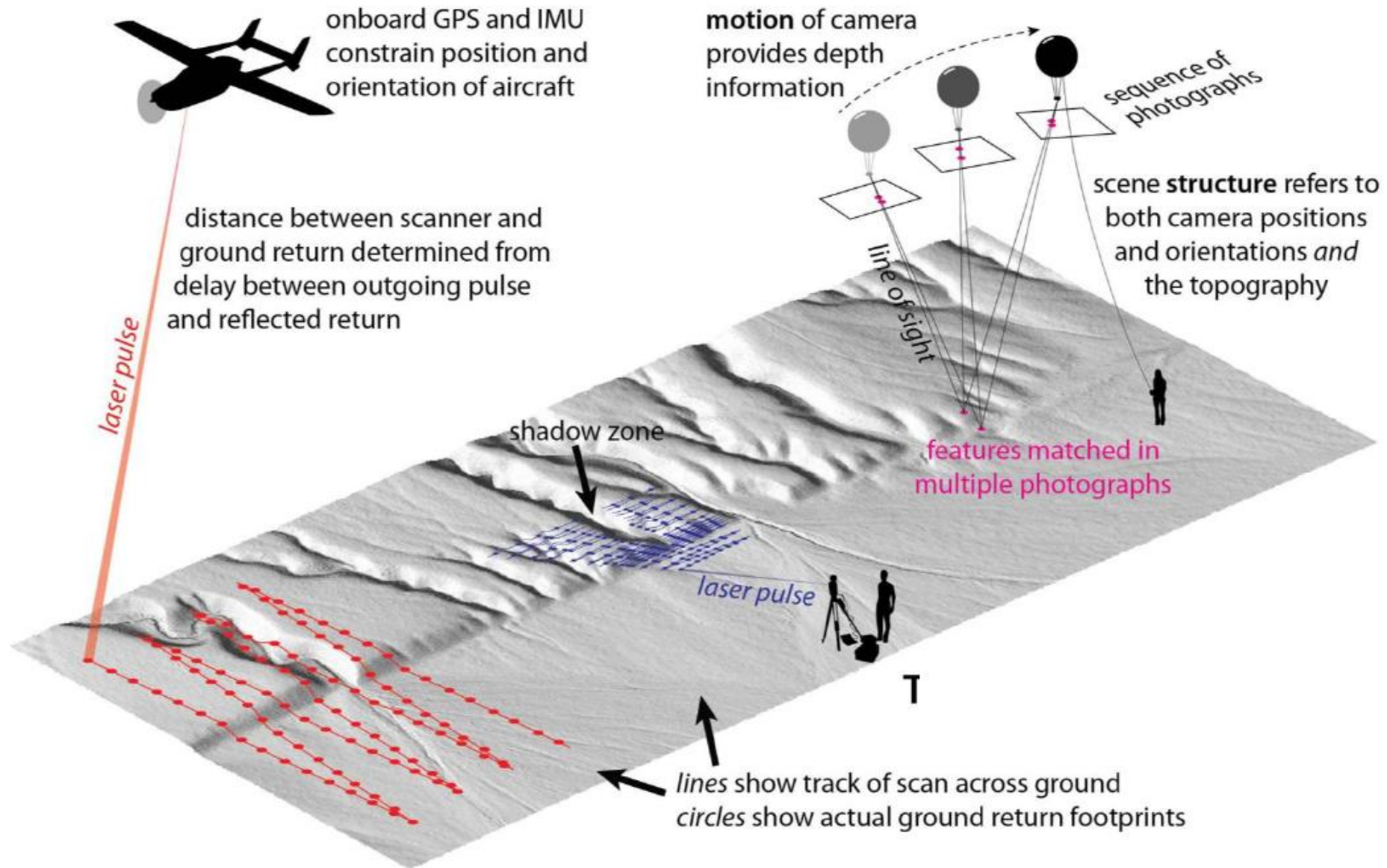
Match corresponding features

Measure distances between features on the camera image plane d, d'

Calculate relative positions of features b, h



SfM vs. LiDAR (terestrický, letecký)



Postup zpracování využívající SfM

1. Sběr snímků
2. Odvození řídkého 3d mračka bodů pomocí SfM
3. Odvození hustého 3d mračka bodů pomocí návazných technik
4. Volitelné odvození dalších potřebných výstupů (DMR, ortofotomapa, apod.)

Sběr snímků

- Podélný a příčný překryv snímků by měl být $\geq 60\%$
- Obecně se dá říci, že čím je rekonstruovaný povrch komplexnější, tím s vyšším překryvem by měly být snímky pořizovány (rovinaté pole by tak mělo být snazší korektně rekonstruovat ze snímků s nízkým překryvem než např. strmý kaňon vodního toku)
- V případě rekonstrukce porostů vegetace (lesní porosty) může vyšší překryv snímků (až 90%) zajistit nalezení bodů 3d řídkého mračka, které by při nižším překryvu nebylo možné detekovat
- V případě výskytu výrazných vertikálních změn terénu (obzvláště s vysokým sklonem reliéfu) je velmi vhodné doplnit snímky s kolmou osou záběru snímky s šikmou osou záběru

Sběr snímků

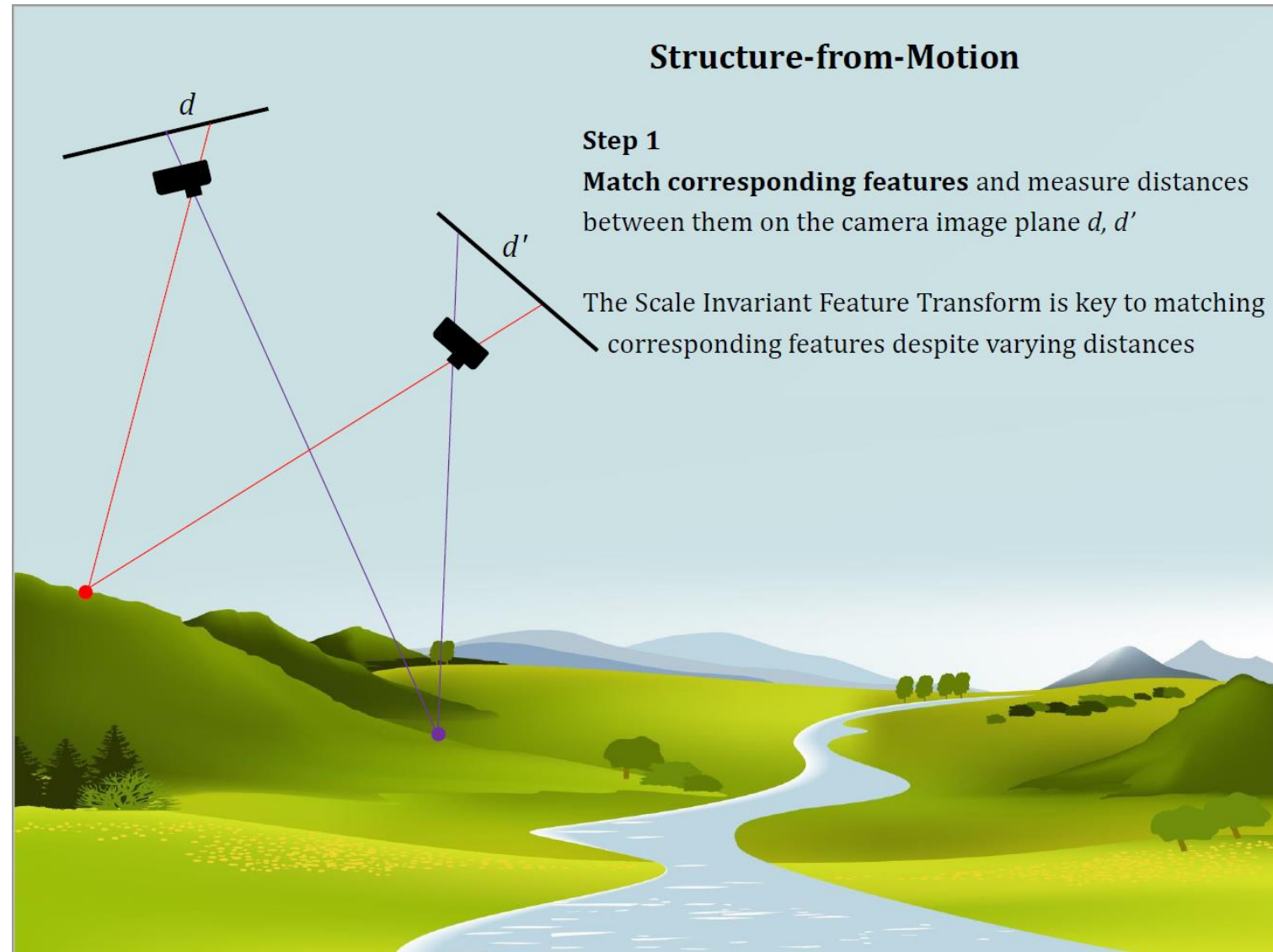
- Dotaz: je možné pro SfM obecně možné použít video záznam pořízený během letu UAV?

Odvození řídkého 3d mračna bodů pomocí SfM

1. Identifikace identických bodů napříč snímky (**klíčové body**, keypoints)
 - Využití algoritmu SIFT (Scale Invariant Feature Transform) určeného pro systémy rozpoznávání obrazu
 - SIFT umožňuje identifikovat klíčové body nehledě na jejich změny způsobené změnou měřítka či orientace snímků a také částečně nehledě na jejich změny vlivem změny v 3d poloze snímače či změně v osvětlení
 - Aby mohl být klíčový bod použit, musí být nalezen alespoň na 3 snímcích; snahou je však identifikovat jej na co nejvyšším počtu snímků
 - Celkový počet nalezených klíčových bodů je závislý na rozlišení snímků (dáno vzdáleností snímače od objektu a parametry snímací aparatury) a textuře a charakteristice povrchu snímaných objektů

Odvození řídkého 3d mračka bodů pomocí SfM

1. Identifikace identických bodů napříč snímky (**klíčové body**, keypoints)



Odvození řídkého 3d mračka bodů pomocí SfM

2. Určení parametrů v jednom kroku

- Jsou určeny prvky vnitřní orientace snímků, poloha a orientace kamery, poloha klíčových bodů v relativním (lokálním) souřadnicovém systému
- Využití „bundle adjustment“
- Klíčové body na více snímcích jsou spojeny přímkami (spojnice o dvou klíčových bodech na minimálně třech snímcích jsou použity pro odhad parametrů, klíčové body vykazující odlehlé chování jsou z řešení eliminovány, toto vede k automatické eliminaci objektů reprezentujících pohybující se objekty ve scéně)
- Vzniká projekční matice daná vztahem mezi polohou klíčových bodů na 2D snímcích, jejich 3D polohou v relativním souř. s. a parametry kamery

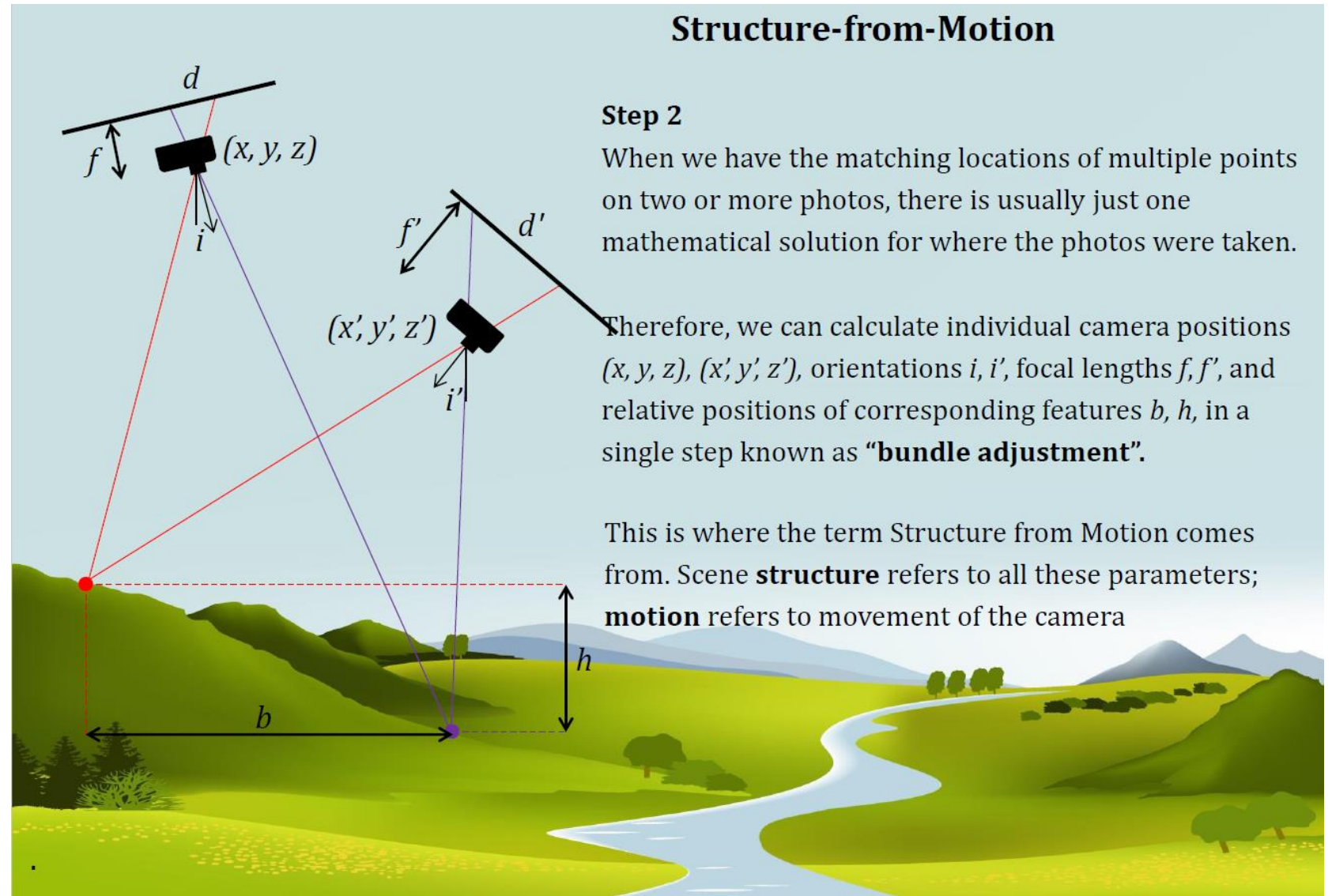
Odvození řídkého 3d mračka bodů pomocí SfM

2. Určení parametrů v jednom kroku

- Parametry jsou určeny pomocí podobnostní transformace s využitím metody nejmenších čtverců pro minimalizaci chyb jejich odhadů, 3D poloha klíčových bodů je určena triangulací
- Proces probíhá iterativně s postupným zpřesňováním (cílem je minimalizace chyb reprojekce klíčových bodů)

Odvození řídkého 3d mračka bodů pomocí SfM

2. Určení parametrů v jednom kroku



Georeferencování (řidkého) 3d mračka bodů

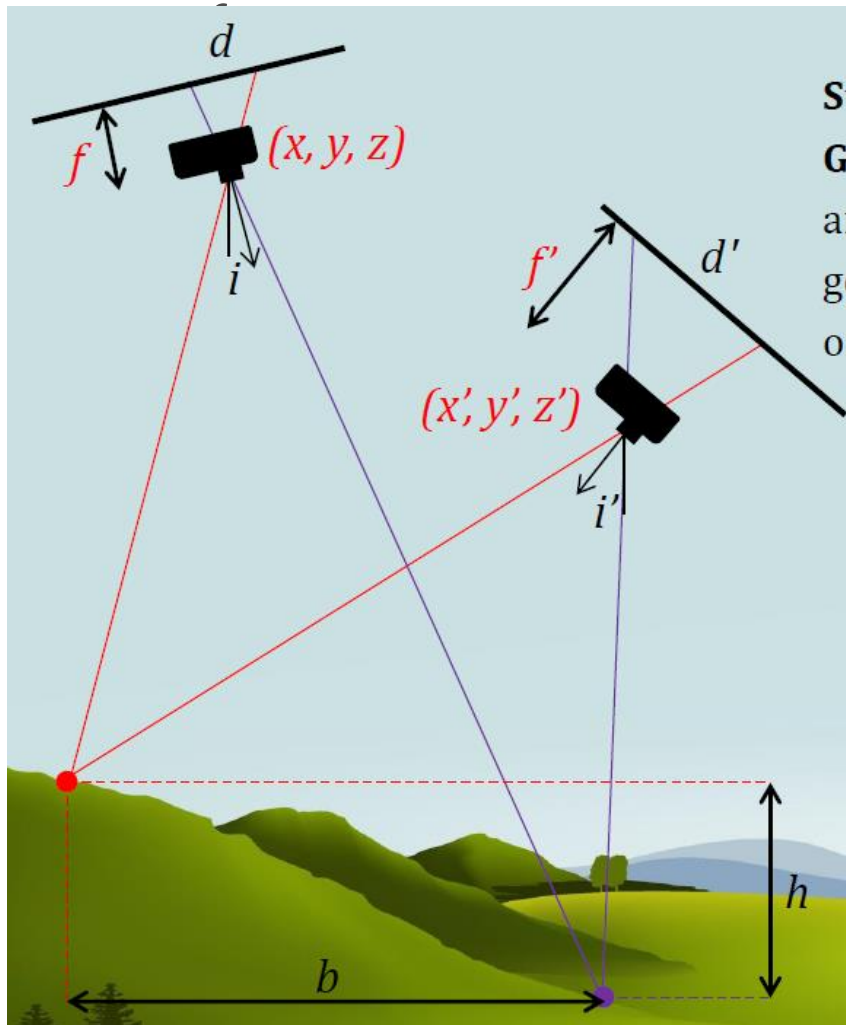
- Dvě možnosti:

1. **Přímé georeferencování:** poloha kamer při pořizování snímků je známá ve vybraném souř. s. (např. ve WGS-84 z GPS přijímače snímače) a známá je také ohnisková vzdálenost použitého objektivu
2. **Nepřímé georeferencování:** Poloha kamer při pořizování snímků není známá ve vybraném souř. s. (či není známá s požadovanou přesností), ale je známá 3D poloha sady kontrolních bodů, které jsou jednoznačně identifikovatelné na snímcích (typicky formou různých vlícovacích terčů)

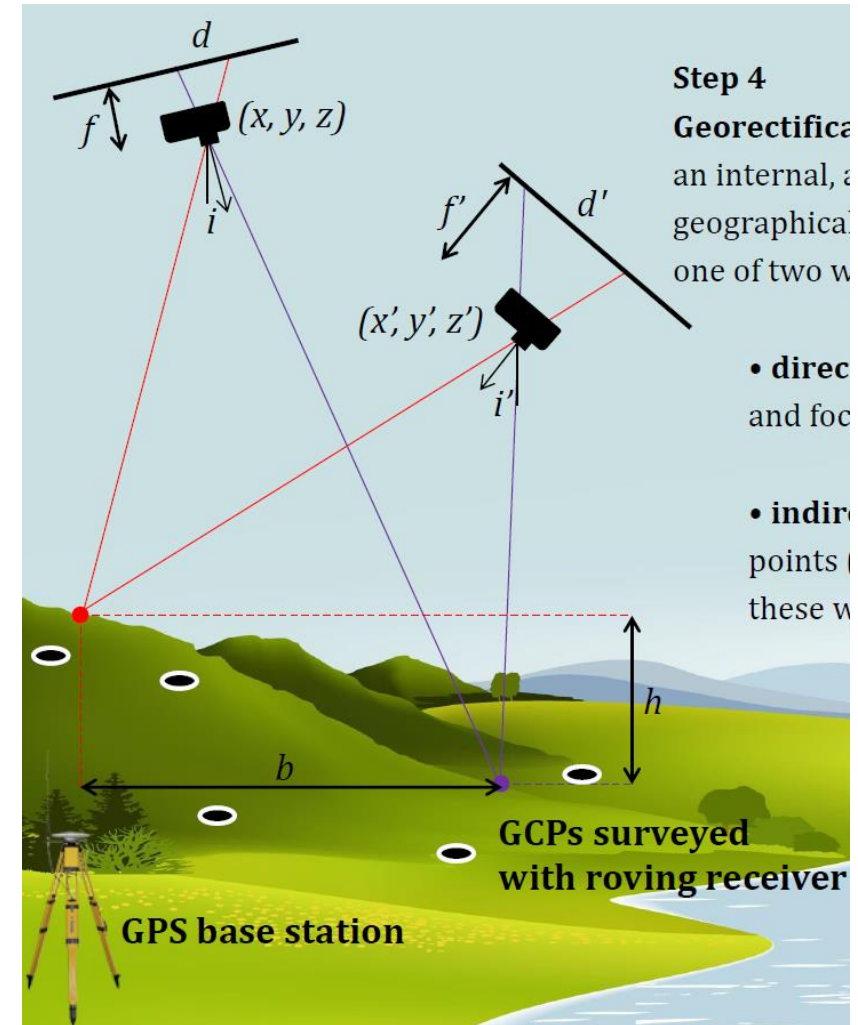


Georeferencování (řídkého) 3d mračka bodů

Možnost 1. – přímé georef.



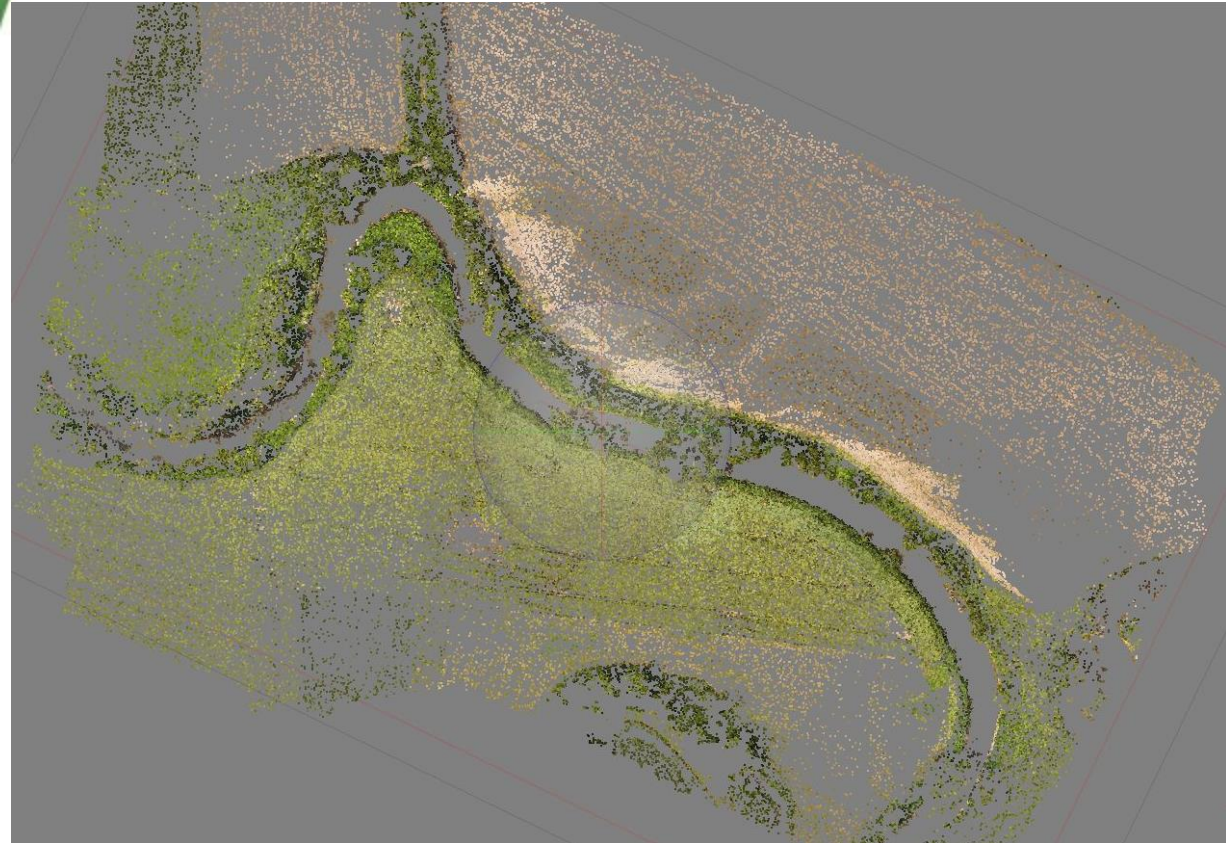
Možnost 2. – nepřímé



Odvození hustého 3d mračna bodů

- Slouží k zahuštění řídkého 3d mračna bodů (typicky dochází k nárůstu počtu bodů mračna cca o 2 řády, tedy např. z 1 000 bodů řídkého mračna na 100 000 bodů)
- Na výstupu tak získáváme 3d mračno bodů o vysoké hustotě (typicky 100 až 1 000 bodů/m²)
- Využívá se vypočtené polohy snímače a polohy klíčových bodů
- Využití algoritmů
 - Clustering View for Multi-view Stereo (CMVS) – překrývající se snímky jsou rozděleny do clusterů (skupin pixelů), které je možno samostatně zpracovávat
 - Patch-based Multi-view Stereo (PMVS2) – nezávislé odvození zhušťujících bodů ve vytvořených clusterech

Ukázka – řídké (vlevo) a husté (vpravo) 3d mračno bodů



Výhody x nevýhody SfM

Výhody	Nevýhody
Umožňuje tvorbu detailních 3d modelů terénu a objektů s jednoduše a levně dostupným HW a SW vybavením	Problém se zpracováním povrchů s jednotnou texturou (např. vodní plochy, jednolitý betonový, asfaltový a obdobný povrch, vybrané zemědělské plodiny – obilí, kukuřice, atd.)
Možnost využívat standardní nekalibrované kamery	Neschopnost rekonstruovat tvar terénu pod vegetačním krytem a obdobnými překážkami (na rozdíl od LiDARu)
Plně automatizované zpracování	Možnost vzniku deformací topografie terénu (povrchu rekonstruovaného objektu)

Očekávatelná přesnost výstupu SfM

- Ovlivňována řadou parametrů (vzdálenost kamery od objektu, kvalita kamery, přesnost georeferencování, podmínky, za kterých byly snímky pořizovány, způsob zpracování, apod.)
- Typická přesnost dle vzájemné vzdálenosti kamery a rekonstruovaného objektu:
 - Vzdálenost několika desítek decimetrů → přesnost několik mm
 - **Vzdálenost několika desítek metrů → přesnost několik cm**
 - Vzdálenost několika stovek metrů → přesnost několik dm

Dostupné software pro SfM – komerční řešení

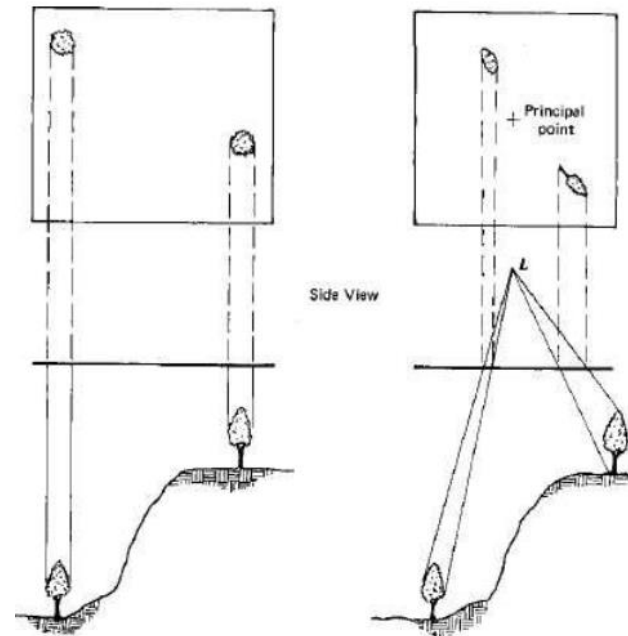
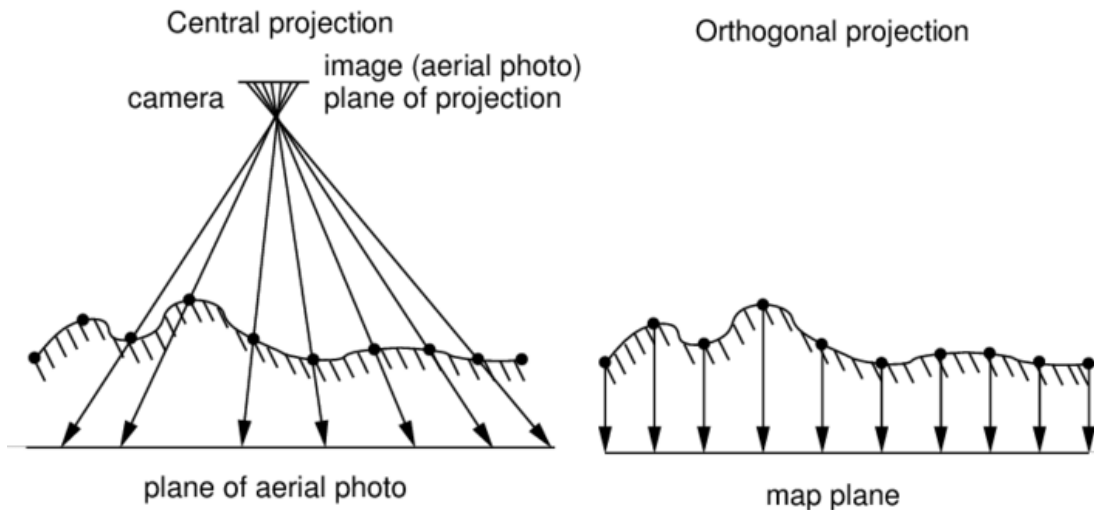
Software	Odkaz	Free verze	Online zprac.
Agisoft Metashape (Photoscan)	https://www.agisoft.com/	Ano	Ne
Pix4Dmapper	https://www.pix4d.com/product/pix4dmapper-photogrammetry-software	Ne	Ano
PhotoModeler	https://www.photomodeler.com/	Ne	Ne
3DF Zephyr	https://www.3dflow.net	Ano	Ne
Trimble Inpho	https://geospatial.trimble.com/products-and-solutions/inpho	Ne	Ne
iWitness	https://iwitnessphoto.com	Ne	Ne
DroneMapper	https://dronemapper.com	Ano	Ne
3Dsurvey	https://www.3dsurvey.si	Ne	Ne

Dostupné software pro SfM – open source

Software	Odkaz
VisualSFM	<u>http://ccwu.me/vsfm/</u>
Regard3D	<u>http://www.regard3d.org</u>
Colmap	<u>https://colmap.github.io</u>
Python Photogrammetry Toolbox	<u>https://github.com/steve-vincent/photogrammetry</u>
SFMTToolkit	<u>http://www.visual-experiments.com/demos/sfmttoolkit</u>

Tvorba ortofoto snímku

- Pořízené snímky mají centrální projekci,
- pro ortofoto snímek je nutné ji převést na ortogonální projekci (totéž, co je na mapě), kdy si horizontální vzdálenosti na zemi budou odpovídat
- Pro tento převod je nutné mít k dispozici digitální model reliéfu



Zdroje

- Bemis et al.: *Ground-based and UAV-Based photogrammetry: A multi-scale, highresolution mapping tool for structural geology and paleoseismology*, Journal of Structural Geology, 69, 163-178, doi:10.1016/j.jsg.2014.10.007, 2014.
- Fergus, R.: *Lecture 6: Multi-view Stereo & Structure from Motion*, https://cs.nyu.edu/~fergus/teaching/vision_2012/6_Multiview_SfM.pdf
- Lowe, D.L.: *Distinctive Image Features from Scale-Invariant Keypoints*, International Journal of Computer Vision, 2004.
- Micheletti et al.: *Structure from Motion (SfM) Photogrammetry*, Geomorphological Techniques, Chap. 2, Sec. 2.2, 2015.
- Nissen et al.: *Introduction to Structure-from-Motion*, <https://kb.unavco.org/kb/file.php?id=810>
- Voumard et al.: *Pros and Cons of Structure for Motion Embarked on a Vehicle to Survey Slopes along Transportation Lines Using 3D Georeferenced and Coloured Point Clouds*, Remote Sensing, 10, 1732; doi:10.3390/rs10111732, 2018.
- Westoby et al.: *'Structure-from-Motion' photogrammetry: A low-cost, effective tool for geoscience applications*, Geomorphology, 179, 300–314, doi:10.1016/j.geomorph.2012.08.021, 2012.