

3. Moderní geodetické měřické technologie (GNSS, 3D skenování, DPZ, Fotogrammetrie).

3.1 Globální navigační satelitní systémy (GNSS).

3.1.1 Princip.

3.1.2 Metody měření a jejich přesnost, využití.

3.1.3 Systémy GNSS.

3.2 Laserové skenování.

3.2.1 Princip.

3.2.2 Přístroje.

3.2.3 Zpracování.

3.3 Fotogrammetrie.

3.3.1 Principy, dělení, využití.

3.3.2 Dálkový průzkum Země (DPZ).

3.1 Globální navigační satelitní systémy (GNSS).

3.1.1 Princip.

Globální navigační systémy jsou v povědomí veřejnosti spojeny zejména s automobilovou navigací, v dnešní době je běžně dostupná tzv. GPSka jako autonomní navigace včetně mapových podkladů, případně jako součást mobilního telefonu či tabletu. Technologicky se však jedná o systémy vytvořené v sedmdesátých letech minulého století (1973), jejichž princip je zachován a pouze se technicky vylepšuje.

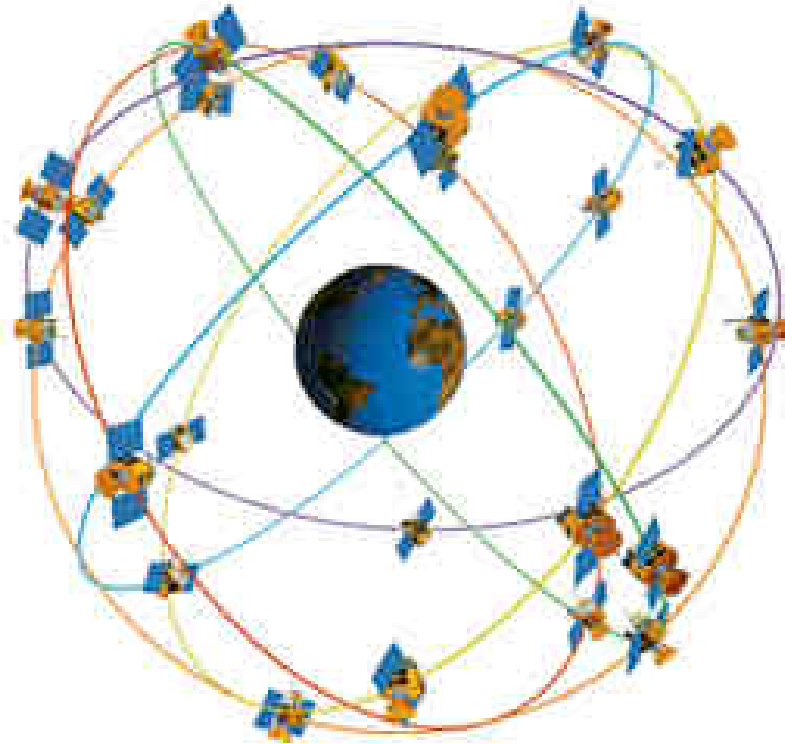
Je vhodné upozornit, že primárně byl první takovýto systém NAVSTAR GPS (viz. dále) vytvořen armádou USA pro vojenské účely jako např. navádění raket, lodí, letadel, chytrých bomb a vojáků na cíl.

Kromě uvedených aplikací se tyto systémy uplatňují při geodetických měřeních, kde zejména v poslední době mění tvář technické a inženýrské geodézie. Jako každá „nová“ a „převratná „ technologie ovšem správně funguje pouze za dodržení konkrétních podmínek, jejich dodržení je nutné zejména pro dosažení předpokládané přesnosti geodetických prací.

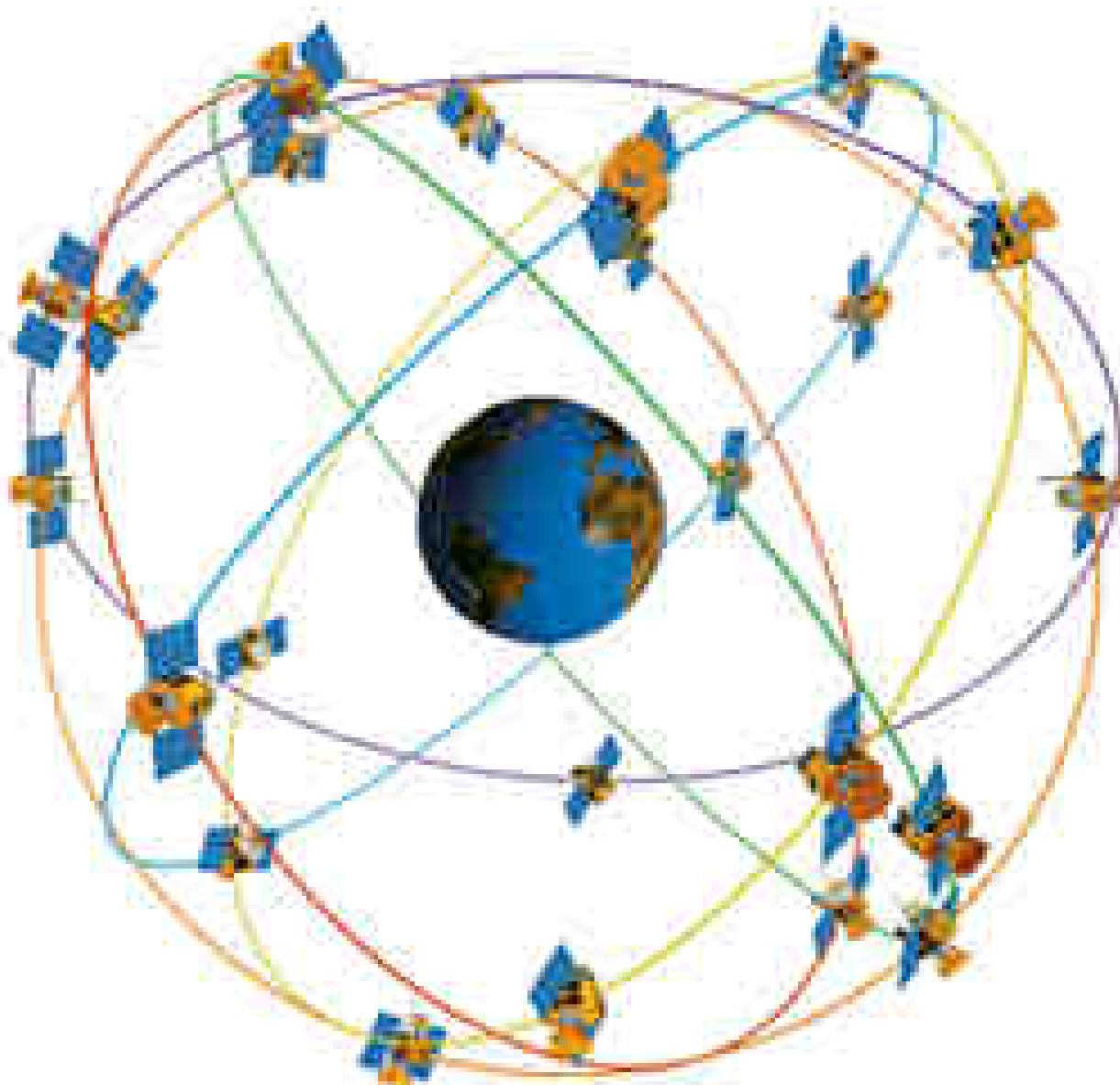
3.1.1 Princip.

Jedná se o dálkoměrný systém, tj. družice vysílají navigační zprávu, kde uvádějí (kromě jiného) své označení, polohu a čas vyslání. Přijímač, jehož poloha je určována, musí přijmout tyto signály alespoň od čtyř různých družic. Pro každou z družic lze z rozdílu času vyslání signálu družicí a přijetí signálu přijímačem vypočítat jejich vzájemnou vzdálenost, což ve spojení se znalostí polohy družice tvoří kulovou plochu.

V průsečíku kulových ploch se nachází přijímač, resp. lze takto určit jeho souřadnice X, Y, Z. V principu by stačily tři družice, ale přijímač nemá ani zdaleka tak přesné hodiny, jak by bylo třeba a proto je nutné počítat čtvrtou neznámou – opravu hodin přijímače. Z hlediska geodetických úloh se jedná o prostorové protínání z délek. Čím více signálů družic je zachyceno, tím je výsledek přesnější.



3.1.1 Princip.



3.1.1 Princip.

Navigační zpracování dat

Pro potřeby navigace se informace přijaté z družic zpracovávají tak, jak bylo uvedeno v předchozím odstavci. Běžná (absolutní) přesnost v poloze je cca 5 m – 10 m, chyby jsou však na menším území z větší části systematické a lze je snížit pomocí diferenčního měření.

DGPS (diferenční GPS, lépe by mělo být DGNSS) pracuje tak, že jeden přijímač je umístěn na bodě o známých souřadnicích a stále měří, jím určené rozdíly se jako opravy zavádějí do měření na bodech o neznámých souřadnicích. Existují v některých oblastech radiově vysílané korekce, kde tuto činnost za uživatele provádí poskytovatel (korekce WAAS, EGNOS apod.; v ČR placené CZEPOS). Takto lze přesnost zvýšit až na cca 0,5 až 1 m v poloze, využívá se zejména pro potřeby měření v oblasti GIS.

3.1.1 Princip.

Geodetické zpracování dat

Zpracování měření pro potřeby geodetické je nepoměrně složitější, využívají se zde mnohé další údaje z radiových signálů. Podstatný rozdíl je, že se současně musí měřit nejméně dvěma speciálními geodetickými přístroji, alespoň jeden musí být umístěn na bodě o známých souřadnicích a vždy se určuje pouze vektor mezi známým a neznámým bodem, tj. rozdíl souřadnic.

V současné době se velmi často využívá tzv. síť referenčních stanic, která se využije místo přijímače na známém bodě, připojení k ní se provádí prostřednictvím internetu, obvykle GSM modemem v reálném čase a lze pak jak měřit, tak vytyčovat. V ČR jsou v provozu tři takové sítě a to CZEPOS (ČUZK), Trimble VRS NOW (Geotronics spol. s r.o.; Trimble) a TOPnet (Geodis Brno, Topcon) a jejich využití je za úplaty. Výhodou je nutnost zakoupit pouze jeden geodetický přijímač.

3.1.2 Metody měření a jejich přesnost, využití.

Geodetické zpracování dat

Podle délky a způsobu měření se rozlišují různé metody, které se také liší přesností v poloze:

1. Statická metoda (3 – 5 mm)
2. Rychlá statická (5 mm – 10 mm + 1 ppm)
3. Stop and go (10 mm – 20 mm + 1 ppm)
4. Kinematická (20 mm – 30 mm + 3 ppm)
5. RTK – Real Time Kinematic (25 mm – 50 mm)

Výhradně se v praktické geodézii využívá metoda RTK v síti referenčních stanic, případně rychlá statická metoda.

Metody lze rozdělit na postprocesní (během měření se registrují data a posléze se vypočítají výsledky), které lze použít pouze pro měření, nebo real-timeové, které poskytují výsledky okamžitě = v reálném čase; tyto lze využít i pro vytyčování.

3.1.2 Metody měření a jejich přesnost, využití.

Geodetické zpracování dat

Souřadnicové systémy

Každý GNSS funguje ve „svém“ souřadnicovém systému, např. GPS v geocentrickém WGS-84, a tedy veškeré výsledky zpracování jsou v tomto souřadnicovém systému. Pro běžné použití jsou však potřeba souřadnice v jiném systému, v geodézii obvykle v S-JTSK a Bpv, proto je třeba výsledky měření z GNSS vždy převést z „jeho“ systému do cílového systému transformací, v ČR je Českým úřadem zeměměřickým a katastrálním (ČUZK) dán závazný postup (včetně rovnic a konstant), jak transformaci provést. V současné době programy obsažené v kontroleru přijímače nebo programy pro zpracování po měření (pokud jsou zakoupeny v ČR) mívají tuto transformaci vestavěnou.

3.1.3 Systémy GNSS.

Struktura systému (zde konkrétně GPS NAVSTAR, ostatní jsou podobné)

Kosmický segment

Kosmický segment je tvořen družicemi, původně 24, nyní až 32. Družice obíhají ve výšce 20 200 km nad povrchem Země na 6 kruhových drahách se sklonem 55°. Dráhy jsou vzájemně posunuty o 60° a na každé dráze jsou původně 4 pravidelně, nyní 5-6 nepravidelně rozmístěné pozice pro družice. Družice váží asi 1,8 tuny a na střední oběžné dráze (MEO, Medium Earth Orbit) se pohybuje rychlostí 3,8 km/s, s dobou oběhu kolem Země 11h 58min (polovina siderického dne).

Družice obsahuje 3 až 4 velmi přesné atomové hodiny, antény pro komunikaci s pozemními kontrolními stanicemi, optické, rentgenové a pulzní-elektromagnetické detektory, senzory pro detekci startů balistických raket a jaderných výbuchů, solární panely a baterie jako zdroj energie. V České republice je nejčtenější viditelnost 8 družic (medián), minimum pak 6, maximum 12 družic, při elevační masce 10° v roce 2008.

Družice jsou několikrát do roka, obvykle plánovaně, odstaveny pro údržbu atomových hodin a korekci dráhy družice.

3.1.3 Systémy GNSS.

Struktura systému GNSS

Řídící segment

Pozemní základny, které sledují družice a řídí jejich chování.

Uživatelský segment

Uživatelé pomocí GPS přijímače přijímají signály z jednotlivých družic, které jsou v danou chvíli nad obzorem. Na základě přijatých dat (časových značek z jednotlivých družic a znalosti jejich polohy) a předem definovaných parametrů přijímač vypočítá polohu antény, nadmořskou výšku a zobrazí přesné datum a čas (GPS čas!). Komunikace probíhá pouze od družic k uživateli, GPS přijímač je tedy pasivní.

Geodetický GNSS přijímač se skládá z antény, přijímače a kontroleru (polní počítač pro nastavení, spuštění a ovládání měření, při měření v reálném čase také k registraci dat) v mnoha variacích a kombinacích uspořádání. V České republice se v současné době využívají přístroje přijímající signál ze systémů GPS a GLONASS.

3.1.3 Systémy GNSS.

Uživatelský segment = přístroje



3.1.3 Systémy GNSS.

Uživatelský segment = přístroje



3.1.3 Systémy GNSS.

Uživatelský segment = přístroje



3.1.3 Systémy GNSS.

Vybrané systémy GNSS

Prvním systémem byl GPS NAVSTAR, další systémy se objevují vzhledem k obrovským finančním nárokům pomalu a obvykle se jedná spíše o dosažení strategické nezávislosti nežli o zlepšení kvality měření. Geodetické přístroje a měření s nimi ovšem přesnější je, neboť běžně existují přístroje využívající více systémů najednou (typicky GPS + GLONASS) a zde platí jednoduchá rovnice: Více družic = přesnější výsledek.

3.1.3 Systémy GNSS.

GPS Navstar (USA)

Global Positioning System, zkráceně GPS, je vojenský globální družicový polohový systém provozovaný Ministerstvem obrany USA.

Původní název systému je NAVSTAR GPS (Navigation Signal Timing and Ranging Global Positioning System), vývoj byl zahájen v roce 1973 sloučením dvou projektů určených pro určování polohy System 621B (USAF) a pro přesné určování času Timation (US Navy). Mezi léty 1974–1979 byly prováděny testy na pozemních stanicích a byl zkonstruován experimentální přijímač. Od roku 1978–1985 začalo vypouštění 11 vývojových družic bloku I (dnes blok IIF). V roce 1979 byl rozšířen původní návrh z nedostačujících 18 na 24 družic. Od roku 1980 začalo vypouštění družic se senzory pro detekci jaderných výbuchů jako výsledek dohod o zákazu jaderných testů mezi USA a SSSR.

Počáteční operační dostupnost byla vyhlášena 8. prosince 1993, plná operační dostupnost pak 17. ledna 1994, kdy byla na orbitu umístěna kompletní sestava 24 družic.

3.1.3 Systémy GNSS.

GLONASS

(Globalnaja navigacionnaja sputnikovaja sistěma) je globální družicový polohový systém (GNSS) vyvinutý v SSSR a provozovaný armádou.

Vývoj GLONASS byl zahájen v roce 1970, který byl v roce 1976 přijat, a první testovací družice byla vypuštěna v roce 1982. V letech 1996-2001 byla kosmická část systému GLONASS v úpadku. Od roku 2001 (do 2012) je prováděno jeho znovuoobnovení do plného operačního stavu. Kosmický segment je projektován na 24 družic, které obíhají ve výšce 19 100 km nad povrchem Země na 3 kruhových drahách se sklonem 65° . Dráhy jsou vzájemně posunuty o 120° a na každé dráze je 8 symetrických pozic pro družice po 45° . Dnes používané družice Uragan-M váží asi 1,4 tuny a na střední oběžné dráze se pohybuje rychlostí 3,9 km/s, s dobou oběhu kolem Země 11h 15min.

Pozemní segment se téměř celý nachází na území Ruské federace, od 18. května 2007 výnos o bezplatném uvolnění systému GLONASS pro nevojenské použití.

3.1.3 Systémy GNSS.

Galileo

Navigační systém Galileo je plánovaný evropský autonomní globální družicový polohový systém. Jeho výstavbu zajišťují státy Evropské unie.

Původní plány na sahají do roku 1999, kdy byl plánován jako veřejný projekt financovaný soukromými investory, od tohoto finančního modelu však investoři odstoupili. Proto se projekt hradí z rozpočtu EU. V roce 2005 byla do vesmíru vyslána první technologická navigační družice pro testování komponent tohoto systému, druhá družice byla vynesena na oběžnou dráhu v roce 2008, v roce 2011 další dvě, 2012 další dvě.

Kosmický segment systému má být tvořen 30 operačními družicemi (27+3), obíhajícími ve výšce přibližně 23 tisíc kilometrů nad povrchem Země po drahách se sklonem 56° k zemskému rovníku ve třech rovinách, vzájemně vůči sobě posunutých o 120°. Každá dráha bude mít 9 pozic pro družice a 1 pozici jako zálohu, aby systém mohl být při selhání družice rychle doplněn na plný počet. Systém není doposud funkční (2012).

3.1.3 Systémy GNSS.

Compass (Beidou-2, Čína)

Compass, známý také jako (Beidou-2) je plánovaný globální družicový polohový systém provozovaný vedle GNSS jako GPS a Galileo. Compass má sestávat z celkem 35 družic. 27 z nich je (podobně jako u GPS a Galileo) situováno na středním zemském orbitu, 5 na geostacionární dráze a 3 na geosynchronní dráze. Systém není funkční.

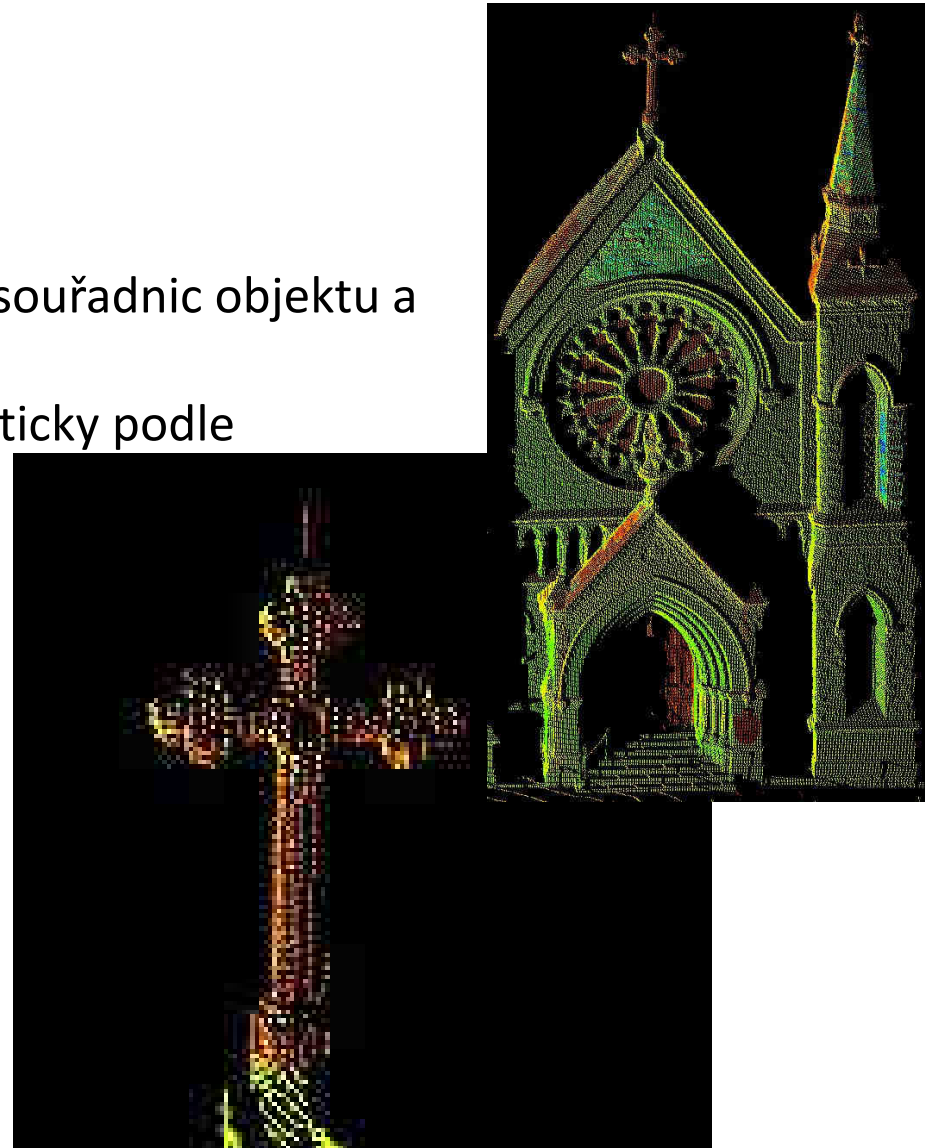
Další teritoriální systémy

V současné době existují další regionální systémy (např. Indie – Indian Regional Navigational Satellite System; Japonsko - Quasi-Zenith), které jsou však jen plánovaným místním systémem nebo dokonce doplňkem globálního systému, z hlediska geodetických měření v ČR či střední Evropě nemají žádný význam.

3.2 Laserové skenování

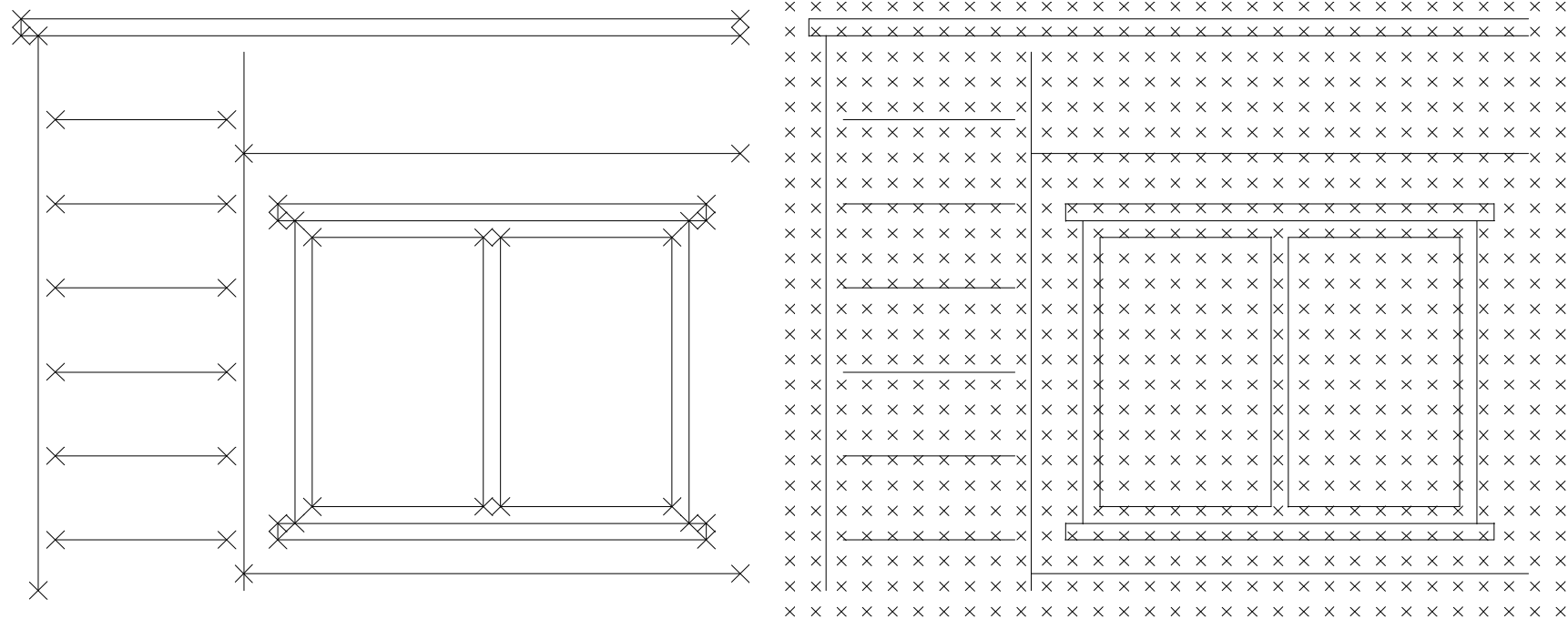
3.2.1 Princip

- neselektivní určování prostorových souřadnic objektu a jejich ukládání do paměti,
- provádí se pomocí skeneru, automaticky podle nastavených parametrů,
- je řízeno počítačem,
- výsledkem je tzv. mračno bodů,
- přístroje určují prostorovou polohu diskretních bodů, obvykle na principu prostorové polární metody.



3.2.1 Princip

- neselektivní určování 3D souřadnic,
- obrovská množství bodů (mračna), řádově miliony,
- velká rychlost měření, např. 100 000 bodů/ sekundu,
- pozemní, letecké.



3.2.2 Přístroje.

Přístroje

Dosah – až 1 km; přesnost až 0,1 mm;

Typicky 6 mm na 50 m.



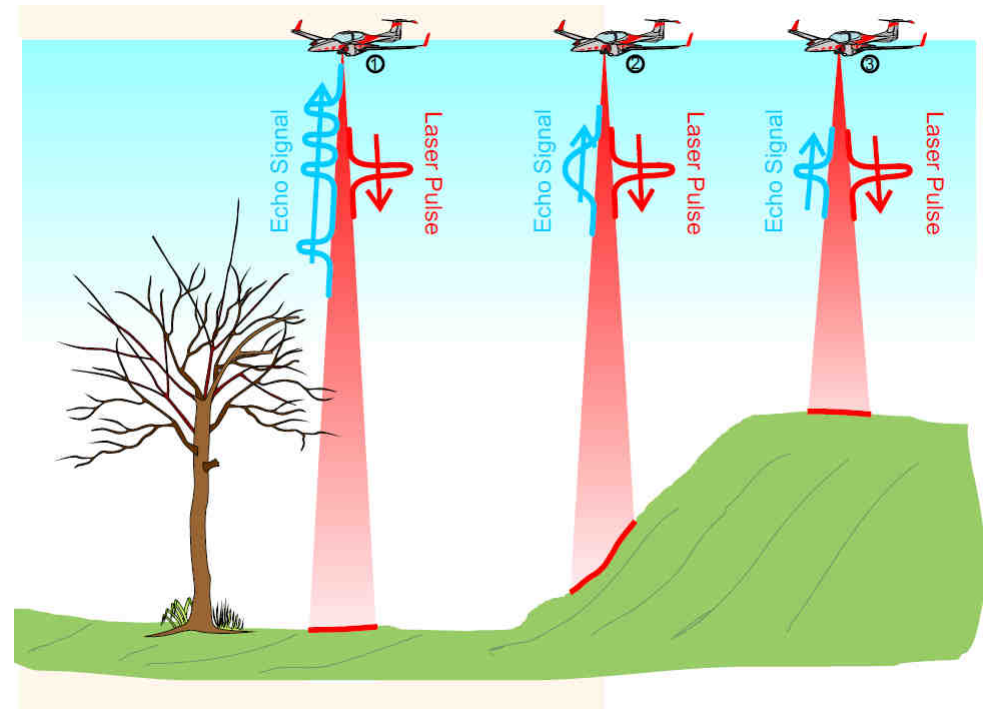
Přístroj TOPCON GPT-8200 a kontrolér PC-100

3.2.2 Přístroje.

Pozemní (stacionární)

Mobilní (mobilní)

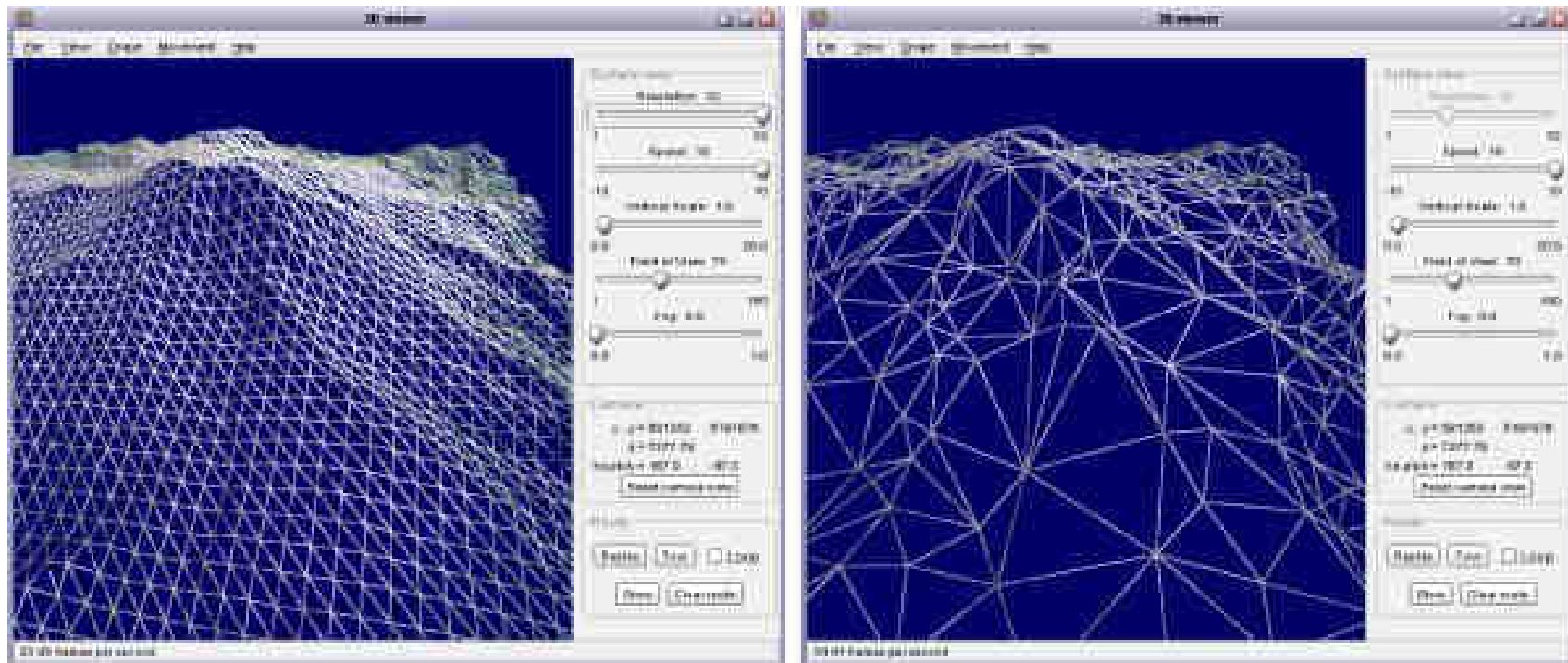
Letecké



3.2.3 Zpracování.

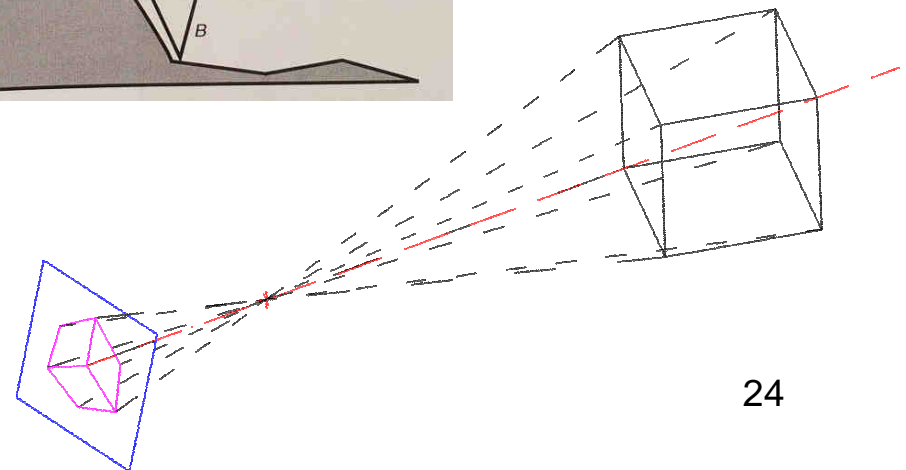
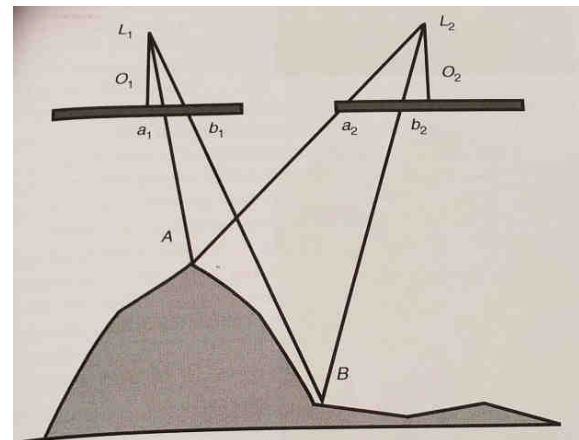
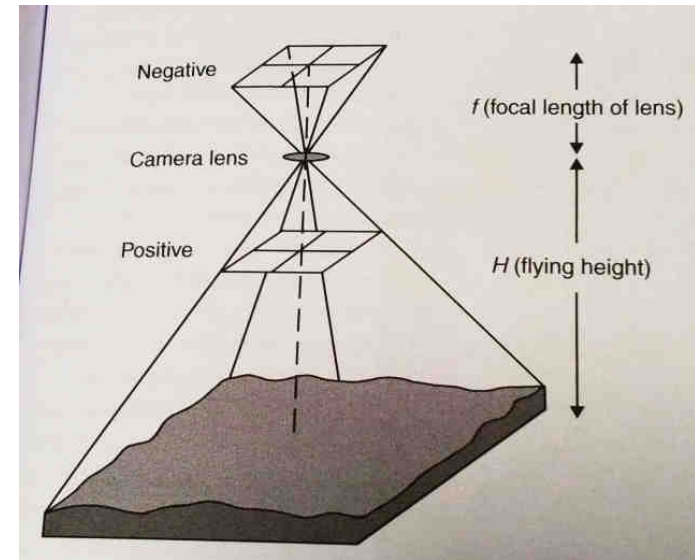
Zpracování

- aproximace objektů matematickými primitivy (rovina, koule, válec, atd. ...),
- modelování s využitím mnoha plošek (trojúhelníkové sítě, NURBS.)



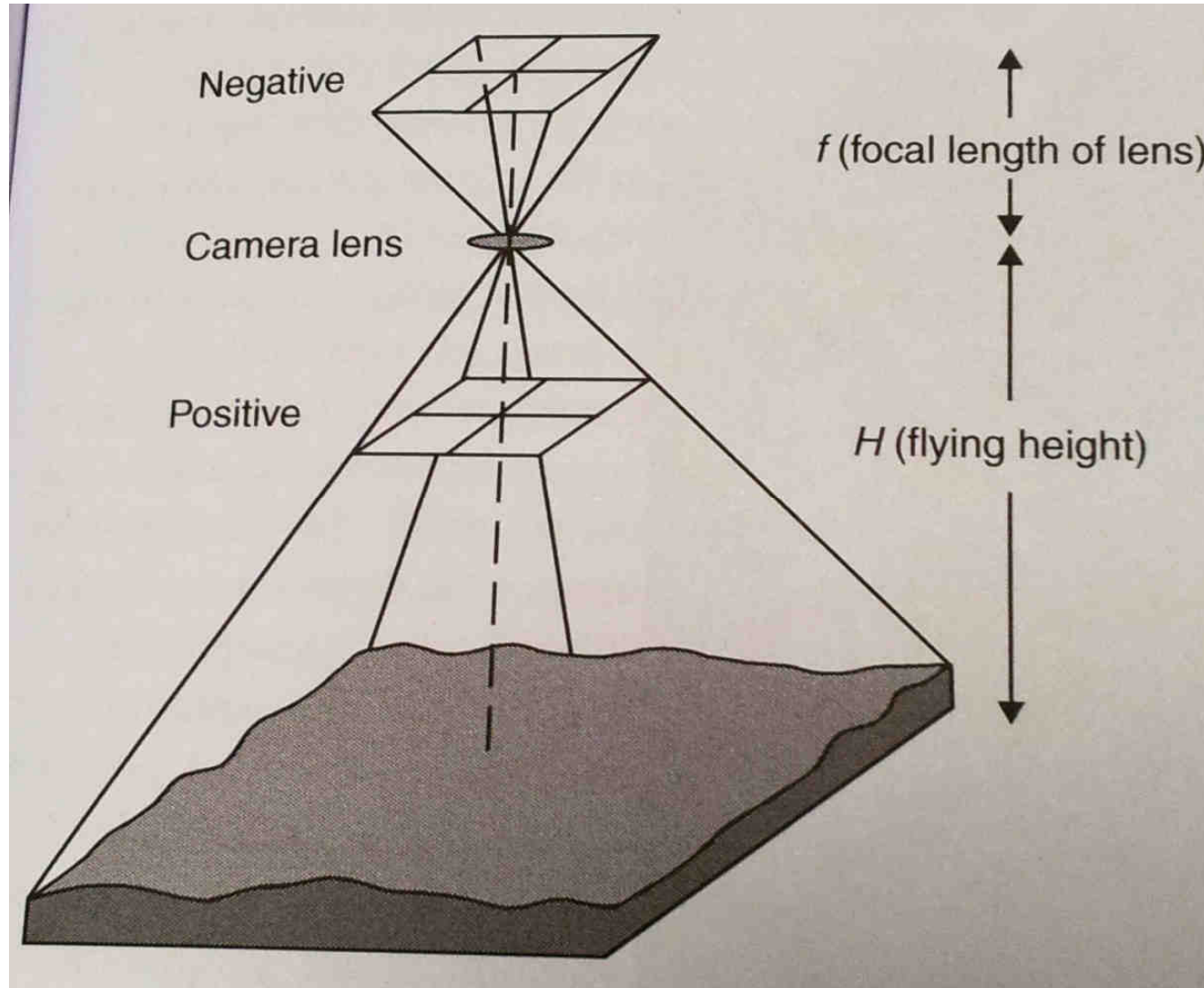
3.3 Fotogrammetrie

Fotogrammetrie je věda, způsob a technologie, která se zabývá získáváním dále využitelných měření a dalších produktů, které lze získat z fotografického záznamu. Ten lze pořídit analogovou formou na světlocitlivé vrstvy (chemická reakce vlivem světla) nebo digitálně. Pro získání snímku lze použít zařízení od amatérských fotoaparátů až po specializované měřické fotogrammetrické komory. Z měřických snímků lze odvodit tvar, velikost a umístění předmětu měření v prostoru či určit vzájemnou polohu jednotlivých bodů apod.



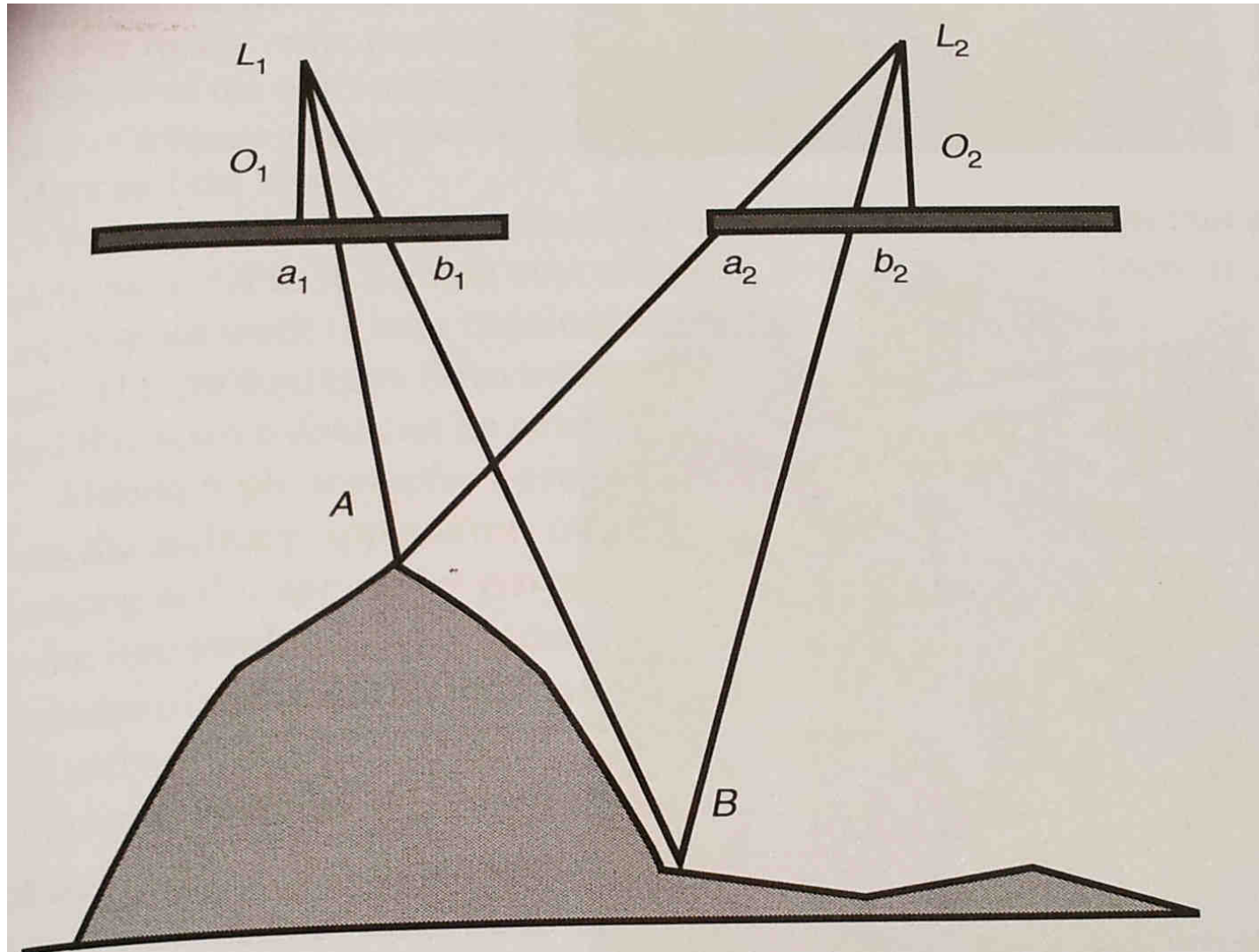
3.3 Fotogrammetrie

Princip



3.3 Fotogrammetrie

Princip



3.3 Fotogrammetrie

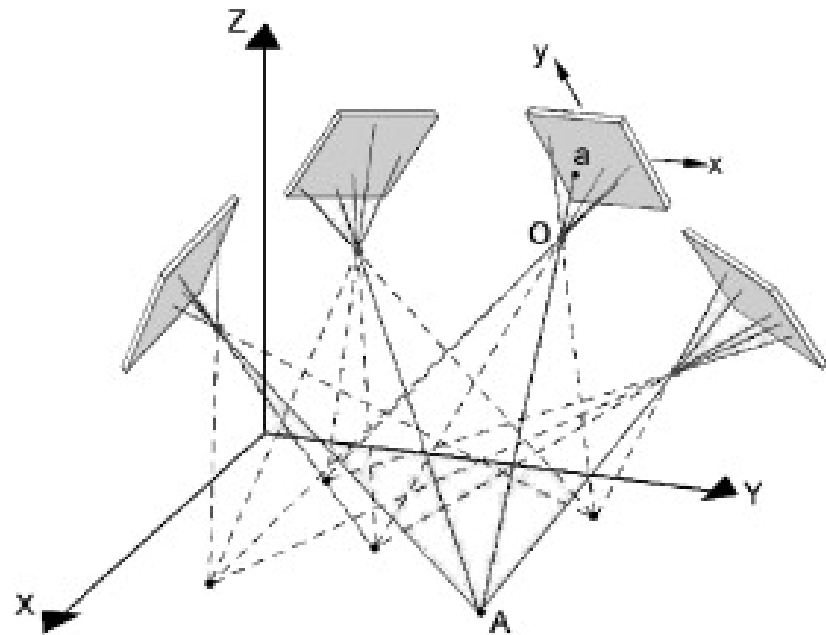
Pro zpracování měřického snímku je v ideálním případě třeba znát nebo vypočítat tzv. prvky vnitřní a vnější orientace.

Prvky vnitřní orientace :

- konstanta komory (ohnisková vzdálenost, f),
- poloha hlavního snímkového bodu (x_0, y_0),
- vyjádření distorze objektivu.

Prvky vnější orientace :

- poloha projekčního centra (vstupní pupily, X_0, Y_0, Z_0),
- rotací v jednotlivých osách ($(\omega, \varphi, \kappa)$ v pořadí os (x, y, z)).



8.3 Fotogrammetrie

Princip

Dělení:

- Jednosnímková
- Dvou a více snímková

- Pozemní
- Letecká

- DPZ

3.3 Fotogrammetrie

Jednosnímková fotogrammetrie

Může být použita pouze ve speciálních případech a to tehdy, pokud měřený předmět je rovinný nebo alespoň přibližně rovinný. Může se jednat např. plochou fasádu budovy, plochý terén. Vztah mezi skutečnými (geodetickými, prostorovými) souřadnicemi je dán kolineární (projektivní) transformací.

$$X = \frac{ax + by + c}{gx + hy + 1} \quad Y = \frac{dx + ey + f}{gx + hy + 1}$$

Pokud jsou známy tyto prvky, lze vyjádřit prostorovou přímkou, na které měřený/určovaný bod leží. Z uvedeného je zřejmé, že k úplnému popisu polohy bodů jsou třeba alespoň dva snímky daného objektu z různých stanovisek. Pokud nejsou prvky orientace známy, je možno je (komplikovaně) vypočítat s využitím tzv. vlíčovacích bodů, tzn. bodů, u nichž známe geodetické i snímkové souřadnice.

3.3 Fotogrammetrie

Dvou a více snímková fotogrammetrie

Metody, které mají za cíl určit 3D vyjádření měřeného objektu, musí využít dva nebo více snímků. Nejvíce se pro vyhodnocení využívalo stereofotogrammetrie, kdy se pořídily dva snímky s rovnoběžnou osou záběru a vyhodnocovali se pomocí umělého stereovjemu. V minulosti byl tento způsob hojně využíván, protože celé vyhodnocení bylo realizováno na jednoúčelových analogových přístrojích, které mechanicko-optickou cestou vytvořily stejnou situaci jako při snímkování a operátor využil stereovjemu pro měření v takto získaném modelu. Odbourávaly se tím velmi komplikované výpočty.

$$x' = x'_0 - f \frac{r_{11}(X-X_0)+r_{21}(Y-Y_0)+r_{31}(Z-Z_0)}{r_{13}(X-X_0)+r_{23}(Y-Y_0)+r_{33}(Z-Z_0)},$$

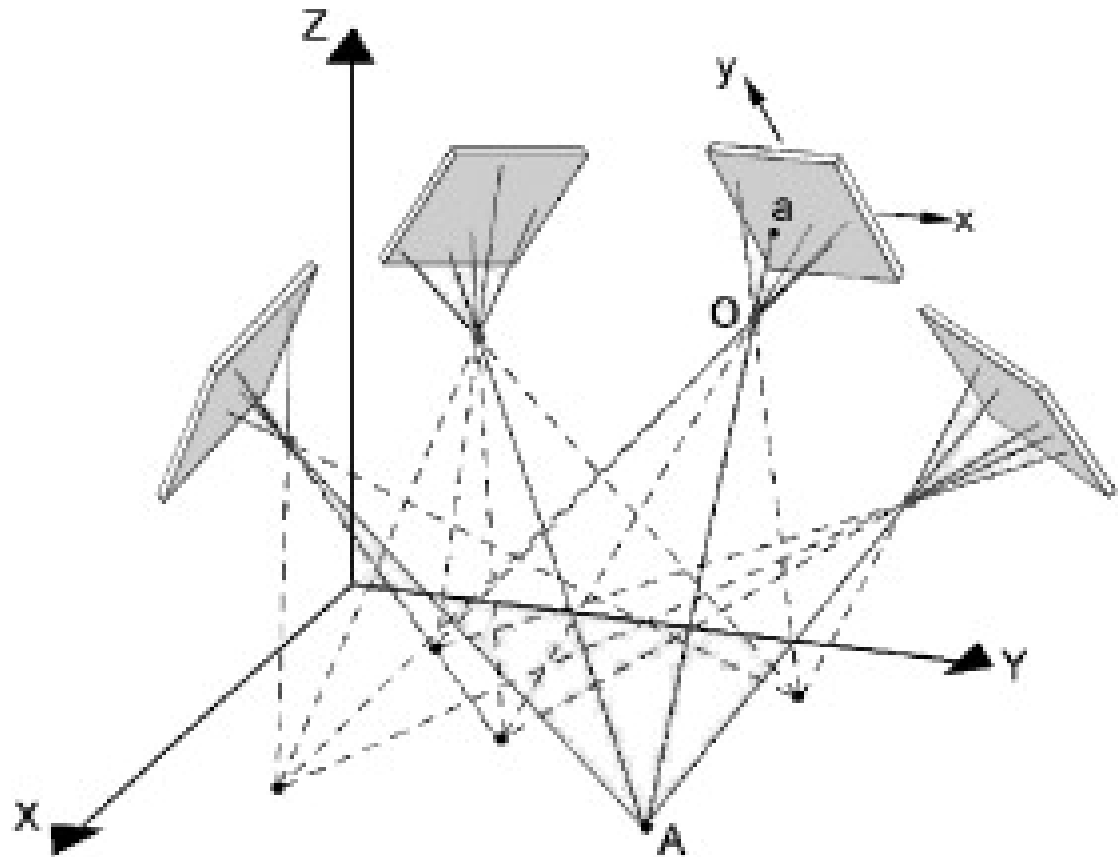
$$y' = y'_0 - f \frac{r_{12}(X-X_0)+r_{22}(Y-Y_0)+r_{32}(Z-Z_0)}{r_{13}(X-X_0)+r_{23}(Y-Y_0)+r_{33}(Z-Z_0)},$$

3.3 Fotogrammetrie

Dvou a více snímková fotogrammetrie

V současné době jsou tyto metody nahrazeny metodami digitálními, lze i vytvořit prostorový vjem prostřednictvím monitoru a zvláštních brýlí.

Současně s rozšířením počítačů prožila svoji renesanci metoda průsekové fotogrammetrie, která je obdobou protínání vpřed a byla první fotogrammetrickou metodou. Výpočetní zpracování umožňuje aplikaci vyrovnání z více snímků a tím zpřesňování výsledků.



3.3 Fotogrammetrie

DPZ

Dálkový průzkum země se zabývá pořizováním leteckých a družicových snímků, jejich zpracováním a analýzou za účelem tvorby topografických tematických map.

- Není v přímém kontaktu s danými jevy či plochami.
- Data se pořizují z letadel či z družic.
- DPZ snímky analyzuje a dále zpracovává.
- Termín DPZ je omezen na metody využívající elektromagnetické záření.
- Používá se více intervalů spektra.
- Aktivní x pasivní.

- DPZ je nejdražší způsob jak vytvořit obrázek
- Dálkový průzkum je umění rozdělit svět na množství malých barevných čtverečků, se kterými si lze hrát s cílem odhalení jejich neuvěřitelného potenciálu.

3.3 Fotogrammetrie

DPZ

Vymezení:

Fotogrammetrie z leteckých prostředků – z velmi vysokých výšek, z družic. Principy zpracování jsou velmi podobné jako u fotogrammetrie, k tomu se přidává vliv atmosféry a pohybu snímače (družice). DPZ analyzuje nejenom polohu, ale i vlastnosti.

... KONEC ...