



Důlní fotogrammetrie na PC

Lačezar Ličev¹

Mining photogrammetry using PC

This contribution introduces mining photogrammetry as a relatively new branch. It describes a system which is divided into two modules. The first one is used to describe single objects on a snap, the second one performs a synthesis of all the snaps. New expansion of this branch is made by solving photogrammetric problems on computers. The photogrammetric system FOTOM was used to solve a particular task in mining photogrammetry. The system is an integral system on a qualitatively better level than the current technical and software resources.

Key words: mining photogrammetry, system FOTOM.

Úvod

Název **fotogrammetrie** vznikl složením tří řeckých slov: PHOTOS ... světlo, GRAMMA ... to, co jest zapsáno nebo nakresleno, čili záznam, a METRON ... měřit. Slovo fotogrammetrie vzniklo ze snahy nazvat vhodným způsobem činnost, zbývající se měřením světelných záznamů, neboli fotografických snímků (Maršík, 1982). Ve fotogrametrii se nezískávají informace o předmětech přímým měřením těchto předmětů, nýbrž měřením jejich fotografických obrazů. Fotogrametrii můžeme tedy definovat jako vědní a technický obor, zabývající se **měřením na fotografických snímcích** a zpracováním takto získaných informací.

Základem fotogrammetrie jako měřické techniky je to, že fotografický snímek je za určitých podmínek exaktním středovým průmětem fotografovaného předmětu. Existují tedy jednoznačné geometrické vztahy mezi předmětem a jeho snímkem, které lze numericky, graficky nebo mechanicky určit pomocí speciálních přístrojů. Kvalitní fotogrammetrický měřický snímek musí být pořízen zvláštním aparátem se speciálním vybavením - fotografickou měřickou komorou.

Budeme-li uvažovat pouze dvě úrovně černání filmu, zjistíme, že snímek o rozměru 18 x 18 cm obsahuje asi 200 miliónů informací (Maršík, 1982). Toto množství informací je dostačující pro dosažení vysoké přesnosti měření zkoumaných objektů.

Využití výpočetní techniky ve fotogrametrii

Oblast digitální fotogrammetrie se zabývá možností použití výpočetní techniky ve fotogrametrii. Je naprosto zřejmé, že počítače mohou v mnoha směrech usnadnit, zpřesnit a zefektivnit práce, jež se v tomto oboru uplatňují.

Posledním krokem ve vývoji fotogrammetrie je kompletní zpracování digitální metodou. To znamená, že veškerá měření se neprovádějí na fotografiích, nýbrž na zdigitalizovaných obrazech přímo v počítači. Technologie převodu světelné informace do digitální formy mohou být dvojího druhu. První metoda spočívá v nascanování měřických snímků kvalitním scannerem. Druhá, zatím spíše experimentální metoda je založena na přímé digitalizaci obrazu ihned za objektivem kamery a úplně z procesu vynechává klasickou fotografickou techniku. Využití digitální fotogrammetrie plně umožnily až výkonné pracovní stanice; dnes dokonce postačuje běžný lepší počítač typu PC.

Důlní fotogrammetrie

Jednou z oblastí, kde se k měření a pořizování dokumentace používá fotogrammetrické metody, je také hornictví a důlní průmysl (Gavlovský, 1990). Jedná se zde především o zaměřování profilů svislých důlních děl. U jam, šachet a jejich vybavení je nutno z bezpečnostních i jiných důvodů pravidelně sledovat jejich deformace, což přispívá k zajištění plynulého a bezpečného provozu v těchto prostorách.

Pořizování důlních snímků

Pro zaměřování profilů svislých jam byla na Ústavu pro výzkum rud v Praze vyvinuta speciální fotogrammetrická metoda. Základem metody je zdroj rovinného svazku světelných paprsků, kterým je měřený profil osvětlen. Světlo vytváří na stěnách důlního díla světelnou stopu širokou asi 3 - 5 cm.

¹ Ing. Lačezar Ličev, CSc., Katedra Informatiky FEI VŠB TU v Ostravě, tř. 17. listopadu, 708 33 Ostrava-Poruba, ČR
(Recenzovali: Doc. Ing. Michal Badida, CSc. a Ing. Jozef Kaijer, CSc.)

Tento světelný zdroj je zavěšen pod fotokomorou, fotokomora je umístěna těsně pod klecí, objektivem směrem dolů. Po celé délce měřeného úseku jsou v jámě spuštěny olovnice, které slouží později pro zajištění orientace snímků v prostoru.

Na snímku máme tedy ve formě světelné stopy zachycen nejen vlastní profil jámy, pruvodnic, potrubí a dalšího vybavení, ale také průsečíky světelné roviny se závěsy (dráty) olovnic (vlíčovací body).

Proměřování důlních snímků

Metoda uplatňovaná při analýze důlních snímků spadá do kategorie jednosnímkové fotogrammetrie. To znamená, že můžeme z jednoho snímku určit na základě znalosti polohy fotostanoviště a orientace fotografovaného rovinného předmětu pouze dvojrozměrné souřadnice v rámci tohoto fotografovaného rovinného předmětu.

Transformační vztahy pro převod údajů ze snímkového souřadnicového systému do prostorového souřadnicového systému, spadají do kategorie afinních rovinných transformací. Je nutno dodržet následující podmínky:

- světelná rovina a projekční rovina jsou rovnoběžné,
- osa záběru je kolmá na tyto roviny a musí být svislá,
- objektiv kamery má zanedbatelné zkreslení.

Transformace zahrnuje posun (translaci), otočení (rotaci) a změnu měřítka (scale). K určení parametrů těchto transformací vycházíme z polohy vličovacích bodů, u kterých známe jejich polohu v prostoru.

Pro vyjádření transformace je vhodné pracovat s homogenními souřadnicemi a vyjádřit ji v maticovém tvaru jako součin matic.

Jednotlivé transformační matice vypadají takto (Holuša, 1997), (Sojka, 1994):

$$\text{otočení: } \mathbf{R} = \begin{pmatrix} r_x & r_y & 0 \\ -r_y & r_x & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}; \quad \text{posun: } \mathbf{T} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ t_x & t_y & 1 \end{pmatrix}; \quad \text{změna měřítka: } \mathbf{S} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & \frac{1}{s} \end{pmatrix};$$

Transformace bodu je pak vyjádřena maticovou rovnicí

$$\mathbf{X}' = \mathbf{X} \cdot \mathbf{Tr}$$

kde \mathbf{X}' je řádkový vektor reprezentující polohu transformovaného bodu po transformaci, \mathbf{X} je řádkový vektor reprezentující polohu bodu před transformací a \mathbf{Tr} je matice transformace.

Pak celková transformační matice bude vypadat takto:

$$\mathbf{Tr} = \mathbf{R} \cdot \mathbf{S} \cdot \mathbf{T} = \begin{pmatrix} r_x & r_y & 0 \\ -r_y & r_x & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & \frac{1}{s} \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ t_x & t_y & 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} r_x & r_y & 0 \\ -r_y & r_x & 0 \\ \frac{t_x}{s} & \frac{t_y}{s} & \frac{1}{s} \end{pmatrix}$$

Zbývá určit koeficienty r_x , r_y , t_x , t_y a s . Zaveďme si pomocnou funkci dvou proměnných **atg2**, která ze dvou parametrů x a y vypočítá úhel odklonu spojnice bodů $[0, 0]$ a $[x, y]$ od kladné poloosy x . Je to funkce s oborem hodnot $(-p, p)$.

Transformace je odvozena ze znalosti dvou dvojic odpovídajících si vličovacích bodů. Lokální vličovací body označme $L1$ a $L2$, odpovídající globální vličovací body $G1$ a $G2$. Dále zaveďme ΔL jako vzdálenost mezi body $L1$ a $L2$:

$$\Delta L = \sqrt{(L2_x - L1_x)^2 + (L2_y - L1_y)^2}$$

Obdobně ΔG je vzdálenost mezi body $G1$ a $G2$. Úhel rotace označme ψ :

$$\psi = \text{atg2}(G2_y - G1_y, G2_x - G1_x) - \text{atg2}(L2_y - L1_y, L2_x - L1_x)$$

Pak transformační koeficienty jsou:

$$s = \frac{\Delta G}{\Delta L}$$

$$r_x = \cos(\psi)$$

$$r_y = \sin(\psi)$$

$$t_x = G1_x - s \cdot (L1_x r_x - L1_y r_y)$$

$$t_y = G1_y - s \cdot (L1_y r_x + L1_x r_y)$$

Faktory ovlivňující přesnost měření

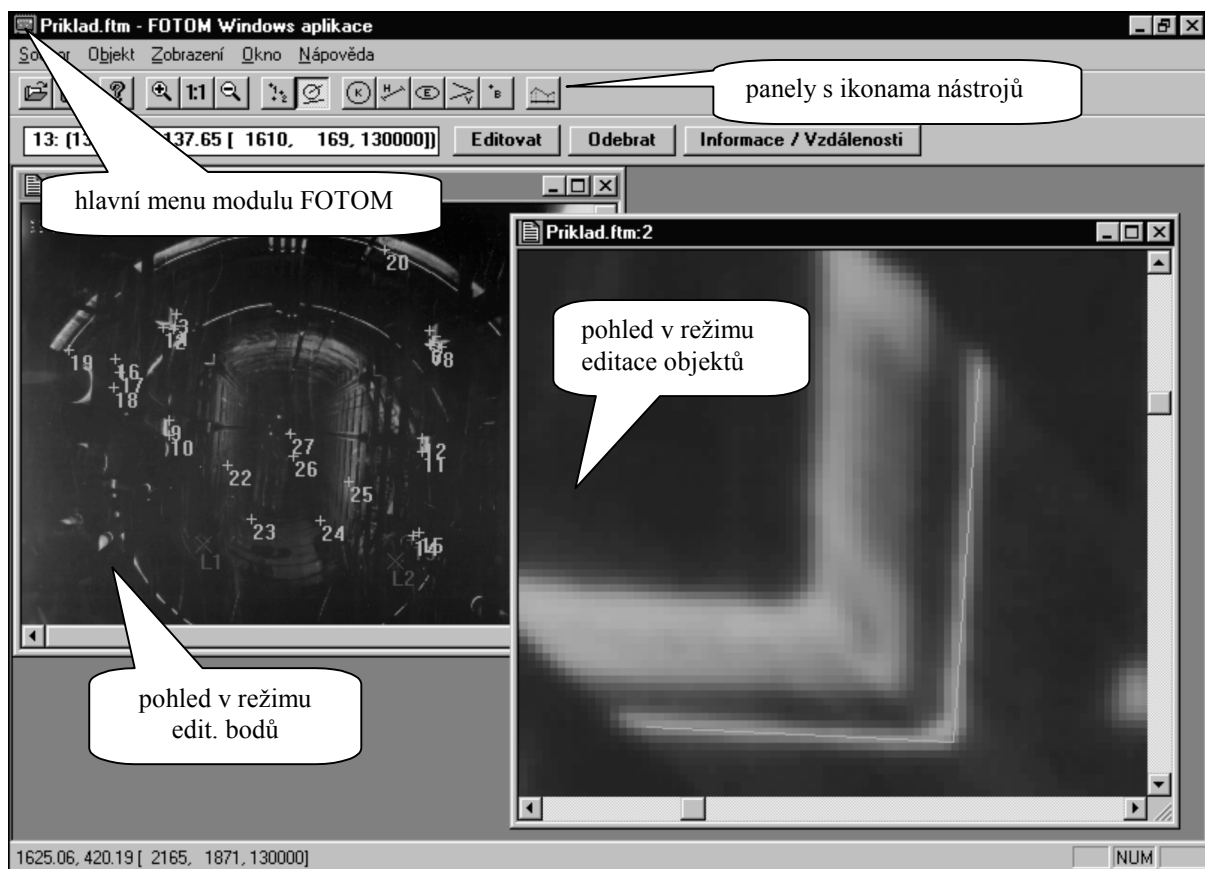
Tato problematika je poměrně velmi rozsáhlá a proto se zde omezíme pouze na výčet jednotlivých faktorů. Nejdůležitější faktor ovlivňující přesnost měření (Ličev a Holuša, 1998), je stanovení přesné polohy vřícovacích bodů olovnic). Podstatnou chybu může způsobit také odklon světelné roviny od roviny projekční. V ideálním případě mají být tyto roviny obě vodorovné. Další faktory ovlivňující přesnost jsou závislé na použitém fotografickém přístroji (fotokomora, zkeslení objektivu, ...) a použitém fotografickém materiálu (film, skleněné desky). Další chyby vznikají při stanovování souřadnic bodů na snímku (rozlišovací schopnost použitého zařízení - digitizér, scanner, monitor, ...).

Závěrem lze říci, že přesnost při použití fotogrammetrické metody pro proměřování svislých důlních děl je především závislá na kvalitě použitých zařízení, samotném snímkování a stanovování poloh bodů na snímcích.

Návrh a realizace softwarového systému

Navržený systém (Ličev a Holuša, 1997) zpracovává bitmapové soubory ve formátu Microsoft Windows Bitmap (BMP, DIB). Tyto soubory jsou vytvořeny nascanováním jednotlivých důlních snímků v dostatečném rozlišení. V těchto souborech jsou tedy zachyceny „řezy“ jámou v různých hloubkách.

Ke každému BMP souboru je systémem vytvořen textový soubor stejného jména s příponou FTM, ve kterém je uveden odkaz na BMP soubor (snímek), veškeré další informace týkající se umístění vřícovacích a zájmových bodů na snímku, definice zájmových objektů a informace o hloubce.



Obr.1. Modul FOTOM – popis hlavního okna.

System obsahuje dva moduly, jeden pro analýzu jednotlivých snímků a druhý pro syntézu snímků. Popis modulů:

1. FOTOM: V tomto modulu uživatel určuje orientaci snímku pomocí dvou vřícovacích bodů a označí na snímcích tzv. zájmové body. Poté nad těmito zájmovými body definuje různé druhy zájmových objektů. Tyto mohou být:

Samostatný bod je definován jedním zájmovým bodem.

Hrana je úsečka definována dvěma zájmovými body, které značí její začátek a konec.

Vrchol je definován čtyřmi zájmovými body, kdy vždy dva tvoří přímku. Vrchol je průsečík těchto dvou přímek.

Kružnice je definována třemi nebo více zájmovými body, které leží na této kružnici.

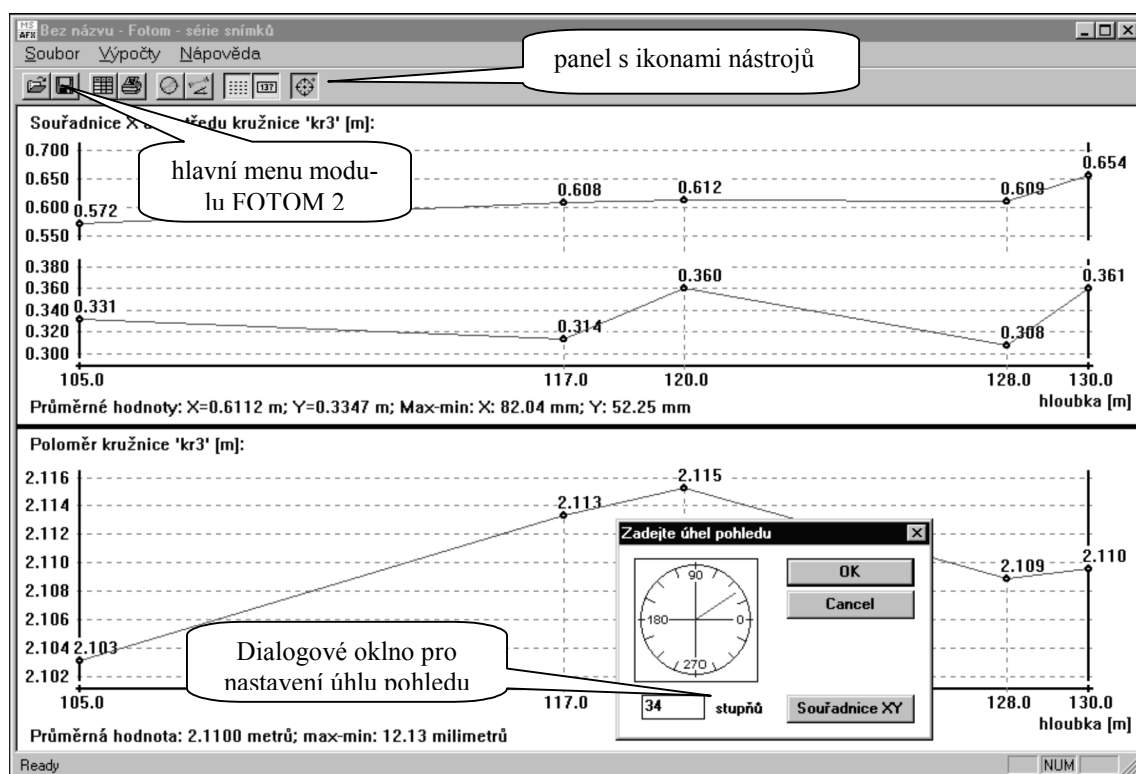
Elipsa je definována pěti zájmovými body, které náležejí této elipse.

Tyto objekty můžeme okamžitě zkontrolovat, jak „zapadají“ na fotografii do skutečných objektů. Dále může provádět nad definovanými zájmovými objekty různé druhy výpočtů (vzdálenosti, úhly, ...).

Po odstartování systému se objeví základní menu modulu FOTOM, viz obrázek č. 1.

Funkce které modul umožňuje jsou patrné z obrázku. Na tomto obrázku je znázorněn konkrétní příklad zpracování snímku. Vlevo je vidět celý snímek s označenými zájmovými body a vpravo je detail téhož snímku, kde je vidět nalícování zájmového objektu (vrcholu) na světelnou stopu na fotografii.

2. FOTOM2: V tomto modulu uživatel provádí syntézu více snímků. To znamená, že může sledovat změnu všech parametrů zájmových objektů v závislosti na hloubce pořízení snímku - má možnost „celkového pohledu“ na zájmové objekty v jámě v celé délce proměřovaného úseku.



Obr.2. FOTOM 2 – modul pro výpočty na sériích snímků.

Na obrázku č. 2 je zobrazeno hlavní okno modulu FOTOM2 - graf závislosti parametrů kružnice „kr3“ na hloubce pořízení pěti snímků. V horní polovině okna jsou grafy vyjadřující polohu středu kružnice jako souřadnice x a y, v dolní polovině okna je graf poloměru této kružnice. Je otevřeno dialogové okno pro zadání směru pohledu na objekt.

Tento modul dále umožňuje tisk aktuálně zobrazených grafů, prohlížení tabulek hodnot těchto grafů a výstup těchto tabulek do textových souborů nebo tiskových sestav.

Realizace systému

Systém byl realizován v jazyce C++ pod operačním systémem Microsoft Windows 95 ve vývojovém prostředí Microsoft Visual C++ v 2.0.

Systém se dá provozovat pod operačními systémy Windows 95, Windows NT, případně i Windows 3.1x s rozšířením Win32s.

Ověření a zhodnocení systému

Funkčnost systému FOTOM byla ověřena na sérii důlních snímků z dolu OKD, a. s. ČSM jih - černobílých negativů formátu 13 x 18 cm. Nascanování negativů bylo provedeno na scanneru ScanMate 5000. Snímky byly nascanovány do 256 odstínů šedi při rozlišení 1000 dpi. Celková velikost bitmapových souborů byla okolo 170 MB. Pro ověření systému bylo z důvodu dostupného počítače typu PC (Pentium 100 MHz, 16 MB paměti) použito snímků softwarově převzorkovaných na 30% původního rozměru (jeden snímek cca 4 MB).

Závěr

Důlní fotogrammetrie jako odvětví fotogrammetrie obecně je relativně mladá. Předchůdci zde popisovaného systému jsou systémy vyvinuté ve Vědecko-výzkumném uhelném ústavu v Ostravě-Radvanicích a systém vyvinutý na Hornicko-geologické fakultě VŠB - TU Ostrava (Ličev, 1997). Systém byl záměrně rozdělen do dvou modulů, kde v prvním modulu, jak již bylo řečeno, se popisují body jednotlivých objektů na snímku a ve druhém modulu se provádí syntéza všech snímků. Porovnáme-li tento systém s předcházejícími systémy, můžeme konstatovat, že úloha komparátoru (ASCORECORD) je eliminována (Ličev a Holuša, 1997). Tuto úlohu plně řeší první modul, který vytváří podstatně komfortnější prostředí práce. Co se týká přesnosti, tak ta je postačující a při nascanování na kvalitním bubnovém scanneru v dostatečném rozlišení je možno dosáhnout vyšší přesnosti, než při použití původního postupu s využitím komparátoru. Řešení fotogrammetrických úloh za využití výpočetní techniky vytváří nový prostor pro rozvoj tohoto odvětví. Fotogrammetrický systém FOTOM vyřešil konkrétní požadavek kladený na důlní fotogrammetrii jako ucelený systém na kvalitativně vyšší úrovni, než jsou stávající technické a softwarové prostředky.

Literatura

- Bubnové scannery: jediná cesta k dokonalým barvám. *CAD&Graphics 4 – 1995*.
- Digitální fotogrammetrie, vytvoření mapy z leteckých snímků. *Elektronika 1/96*.
- Fotogrammetrie. *Věda a technika mládeži 2/94*.
- Gavlovský, E.: Zaměřování a mapování lomů. 1. vydání, *Ediční středisko VŠB, Ostrava 1990*.
- Holuša, T.: Počítačové zpracování fotografie. *Diplomová práce, VŠB - TUO, FEI, 1997*.
- Ličev, L.: Fotogrammetrické měření důlních jam. *Habilitační práce, VŠB - TUO, FEI, 1997*.
- Ličev, L. a Holuša, T.: Nové řešení důlní fotogrammetrie na PC. *URGP, Praha, 2/1998*.
- Ličev, L.: New approaches to mining photogrammetry using PC. *V-ta nacionalna konferencia, červen'98, Varna-Bulharsko*
- Maršík, Z.: Fotogrammetrie. 1. Díl - *Základy letecké fotogrammetrie*. 2. vydání, *SNTL, Praha 1982*.
- Schejbal, C.: Geologická informatika. 1. vydání, *Ediční středisko VŠB, Ostrava 1994*.
- Sojka, E.: Digitální zpracování obrazu. *Učební text, VŠB - TUO, FEI, 1994*.
- Šmidrkal, J.: Fotogrammetrie I, II, III. 1. vydání, *Ediční středisko ČVUT, Praha 1982*.
- Tomášek, Z.: Fotografujeme na černobílý film. 3. vydání, *Merkur, Praha 1984*.
- Tomsa, K.: Teoretické základy letecké fotogrammetrie. 1. vydání, *Academia, Praha 1984*.