

FOTOGRAMETRICKÉ ZISŤOVANIE OBOSTAVENÉHO PRIESTORU

Příspěvek XV. mezinárodní konference soudních znalců – Brno, leden 2006.

ABSTRAKT: Projektívna fotogrametria, stereofotogrametria, konvergentné snímokovanie. Príklady využitia fotogrametrie pri zisťovaní skutočných rozmerov stavieb.

1. ÚVOD

Dôležitým faktorom pri porovnávaní hodnoty jednotlivých nehnuteľností je správna voľba porovnávacej mernej jednotky (zastavaná plocha, podlahová plocha, obostavaný priestor, dĺžka v bežných metroch, kus a pod.) [1]. Pri hodnotení bytov a kancelárskych priestorov kde býva výška podlaží štandardná sa najčastejšie používa ako merná jednotka – hodnota na jednotku plochy. Pri stanovení hodnoty nebytových pozemných stavieb, kde je rozdielna výška podlaží a inžinierskych stavieb sa ako porovnávacia merná jednotka osvedčila – hodnota na jednotku obostavaného priestoru.

Určenie podlahovej plochy, respektíve obostavaného priestoru sa najčastejšie určuje z dokumentácie skutočného vyhotovenia stavby, prípadne zo schválenej projektovej dokumentácie.

V prípadoch ak nemá majiteľ budovy k dispozícii potrebnú dokumentáciu musí sa pre určenie obostavaného priestoru zabezpečiť zameranie skutkového stavu budovy, hlavne určenie konštrukčných výšok jednotlivých podlaží a strechy. Pre získanie týchto údajov je možné využiť okrem bežných geodetických metód aj fotogrametrické metódy.

Prezentované fotogrametrické metódy výrazne znižujú náklady na zistenie obostavaného priestoru a umožňujú krátkom čase získať potrebné údaje.

2. FOTOGRAMETRIA

Je vedný odbor, ktorý klasifikuje kvantitatívne (rozmer, poloha, tvar) a kvalitatívne (štruktúra, textúra, farba, odrazivosť ...) vlastnosti objektov z ich perspektívnych obrazov. Fotogrametria využíva niekoľko metód na spracovanie obrazov, pričom pre účely odhadu hodnoty nehnuteľností prichádzajú do úvahy metóda projektívnej fotogrametrie, stereofotogrametria a konvergentná fotogrametria [3].

2.1 Projektívna fotogrametria

Pre rekonštrukciu rovinných objektov v referenčnom súradnicovom systéme resp. pozorovanie pretvoreni v referenčnej rovine sa

využíva matematický model projektívnej transformácie (1) medzi dvoma rovinami odvodený z projektívnej geometrie alebo centrálnej projekcie roviny:

$$\begin{aligned} X &= \frac{a_1x' + a_2y' + a_3}{c_1x' + c_2y' + 1} \\ Y &= \frac{b_1x' + b_2y' + b_3}{c_1x' + c_2y' + 1} \end{aligned} \quad (1)$$

kde:

x', y' sú obrazové súradnice,
 $a_1 - c_2$ sú koeficienty projektívnej transformácie,
 X, Y sú referenčné súradnice.

Najvyššiu presnosť je možné dosiahnuť za predpokladu eliminácie geometrického skreslenia spôsobeného distorziou objektívu. Referenčná presnosť $m_{X,Y}$ je v prípade digitálnej snímky závislá:

- od mierkového čísla snímky M_s ,
- veľkosti obrazového elementu P ,
- presnosti merania obrazového elementu m_p ,
- stočenia snímky voči pozorovanej rovine.



Obr. 1 Originálna – extrémne šikmá snímka



Obr. 2 Projektívne prekreslená snímka

V praxi sa snažíme dodržať malé sklony snímky, potom je presnosť konštantná po celej ploche snímky a vyjadruje ju jednoduchý vzťah:

$$m_{x'} = m_{y'} = M_s \cdot P \cdot m_p \quad (2)$$

Príklad originálnej a prekreslenej snímky je vidno z obr. 1 a 2. Medzi aplikačné oblasti projektívnej fotogrametrie patrí predovšetkým:

- určenie vybraných rozmerov stavebných objektov,
- pretvorenia stavebných konštrukcií v danej referenčnej rovine,
- prekreslenie rovinných fasád do fotoplánov, atď.

2.2 Stereofotogrametria

Je schopná určiť priestorovú polohu objektov v referenčnom súradnicovom systéme. Podľa vzájomnej orientácie snímok v snímkovej stereodvojici rozoznávame *normálny prípad*, *stočený prípad* a *mierne konvergentné resp. divergentné snímky*.

Stereofotogrametria je efektívna metóda, ktorá umožňuje merať priestorové súradnice priamo v referenčnom súradnicovom systéme, pričom digitálne pracovné stanice využívajú automatizované moduly na tvorbu stereomodelu, aerotrianguláciu, digitálny model reliéfu resp. terénu a ortofotomáp.

Súčasný trend plnej automatizácie minimalizuje zásahy operátora (vyhodnocovateľa) do procesov tvorby priestorových modelov a procesy spracovania obrazu nahradia z väčšej časti stereoskopické vyhodnocovanie, ktorému ostanú kontrolné a korekčné funkcie.

Presnosť digitálnej fotogrametrie založenej na princípe približne normálnych stereosnímkov vyjadrujú vzťahy:

$$\begin{aligned} m_{x,y} &= 0,7 \cdot M_s \cdot P \\ m_z &= 0,5 \cdot M_s \cdot P \cdot \frac{f}{b'} \end{aligned} \quad (3)$$

kde:

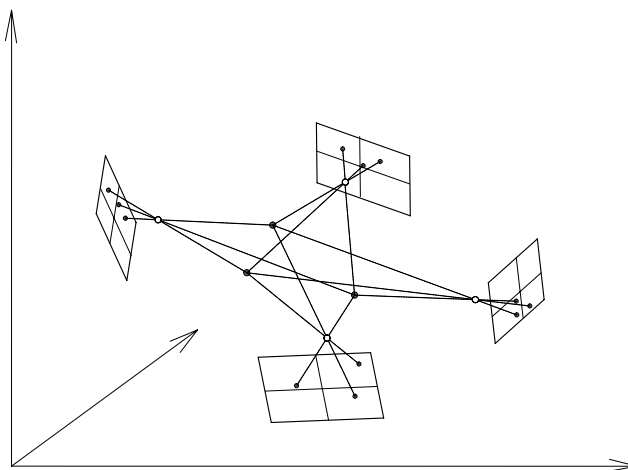
- f je konštanta kamery,
- b' je snímkovacia základnica,
- P je veľkosť obrazového elementu.

Pozemná stereofotogrametria nachádza uplatnenie v aplikáciách:

- tvorba priestorových modelov budov,
- tvorba priestorových modelov inžinierskych stavieb,
- predsaňacné a posanačné zameranie historických objektov, umeleckých diel, skalných brál a zárezov apod.

2.3 Konvergentné snímkovanie

Je to jedna z najpresnejších fotogrametrických metód pre priestorové určovanie objektov. Vychádza zo snímok toho istého objektu vyhotovených z rôznych stanovísk tak, aby každý bod bol zobrazený najmenej na 2 snímkach (obr. 3).



Obr. 3 Princíp konvergentného snímkovania

Dosiahnuteľnú presnosť za predpokladu kvalitnej geometrie stanovísk snímkovania môžeme vyjadriť približným vzťahom:

$$m_p = \frac{Y}{f} \cdot Pix \cdot m_{pix} \quad (4)$$

kde:

- m_p je priestorová presnosť bodu;
- Y je vzdialenosť objektu od stanoviska snímkovania;
- f je ohnisková vzdialenosť;
- Pix je veľkosť obrazového elementu;
- m_{pix} je presnosť merania na digitálnej snímke.

2.4 Kalibrácia fotokamery

Základným predpokladom kvalitných výsledkov je určenie tzv. prvkov vnútornej orientácie kamery. Prvky vnútornej orientácie sú:

- ohnisková vzdialenosť,
- súradnice hlavného snímkového bodu
- distorzia objektívu.



Obr. 4 Kalibračné a testovacie bodové pole

Čím presnejšie sú prvky vnútornej orientácie určené, tým presnejšie sú výsledky. Proces ktorým tieto parametre kamery určujeme, nazývame všeobecne ako kalibrácia kamery.

Existujú rôzne prístupy a metódy kalibrácie kamier, pričom najzaužívanejšími metódami sú:

- kalibrácia na bodovom poli so známymi súradnicami,
- kalibrácia na bodovom poli s neznámymi súradnicami – tzv. samokalibrácia.

Príkladom kalibračného zariadenia je kalibračné a testovacie bodové pole (obr. 4), zriadené v priestoroch Stavebnej fakulty STU v Bratislave.



Obr. 5 Originálne snímky steny budovy

3 PRÍKLADY VYUŽITIA FOTOGRAMETRIE

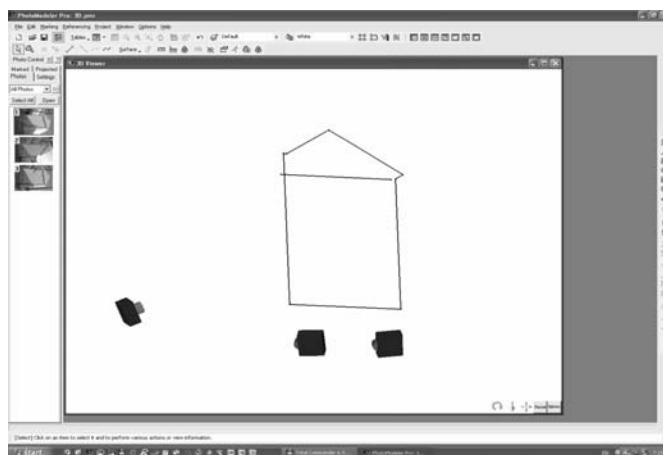
Na stavebnej fakulte STU v Bratislave sa v roku 2005 otvoril projekt využitia fotogrametrie v stavebníctve, kde sa hlavný dôraz kladie na jej praktické využitie v znaleckej a expertíznej činnosti, pri použití komerčne dostupných fotoaparátov.

3.1 Využitie bežných fotoaparátov na určenie výšky steny budovy

Snímky (obr. 5) boli vyhotovené bežne dostupnou komerčnou 4 Mpix kompaktnou digitálnou kamerou Canon A520 z 3 stanovísk.



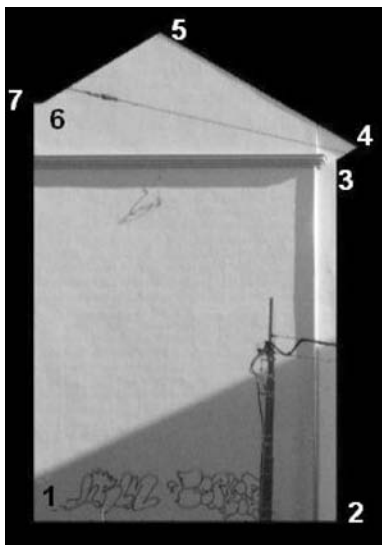
Obr. 6 Meranie na digitálnej snímke



Obr. 7 Vektorový model so stanoviskami

Tab. 1 Výstup súradníc zisťovaných bodov, vrátane ich presnosti

Bod	X [m]	Y [m]	Z [m]	Precision		
				X [m]	Y [m]	Z [m]
1	0,000	0,0	0,000	0,007	0,002	0,024
2	10,320	0,0	0,000	0,007	0,002	0,026
3	10,336	0,0	12,875	0,012	0,004	0,010
4	11,046	0,0	13,325	0,013	0,004	0,011
5	4,331	0,0	17,434	0,008	0,003	0,019
6	0,311	0,0	14,914	0,012	0,002	0,013
7	0,017	0,0	14,914	0,013	0,002	0,015



Obr. 8 Ortogonálna projekcia meranej steny objektu

Pre určenie rozmeru bola meraná šírka budovy v úrovni horného okraja podmurvky budovy.

Spracovanie projektu prebehlo v softvérovom prostredí systému PhotoModeler Pro5, ktorý umožňuje fotogrametrické vyhodnotenie tak rovinných ako aj priestorových objektov z ich digitálnych snímok. Vyhodnotenie vychádza z merania identických prvkov (bodov, čiar, hrán, kriviek) na všetkých použitých snímkach. V ďalšom kroku bola nastavená mierka objektu priradením dĺžky meranej v teréne ku identickej hrane na digitálnej snímke a predefinovanie referenčného súradnicového systému, čím sa stena dostala do zvislej polohy a do roviny XZ. Počiatok tohto súradnicového systému bol vložený do ľavého dolného rohu steny. V tomto systéme je potom možné merať priestorové súradnice jednotlivých bodov, dĺžky čiar, obsahy plôch a objemy.

Softvér poskytuje aj zavedenie rôznych podmienok ako sú zvislosť, horizontálnosť, dĺžkové podmienky, atď., ktoré umožňujú spracovanie snímky pre účely prekreslenia šikmej snímky do ortogonálnej projekcie do vybranej projekčnej roviny. Takto je možné prekresľovať iba rovinné objekty.

Výstupom sú súradnice bodov v referenčnom súradnicovom systéme s ich strednými chybami v textovom tvare (tab. 1), vektorový CAD výstup do formátu *.DXF alebo rastrový výstup ortogonálne prekreslenej snímky (obr. 8).

Výška objektu od podmurvky je daná Z-ovou súradnicou bodu 5, ktorý určuje štít strechy. Presnosť určených bodov sa pohybuje do 26 mm.

3.2 Určenie obostavaného priestoru Domu umenia

Dom umenia Piešťany postavený v roku 1980 je atypický objekt, slúžiaci viacerým kultúrnym účelom – divadlo, kino, koncerty,



Obr. 9 juhovýchodný pohľad



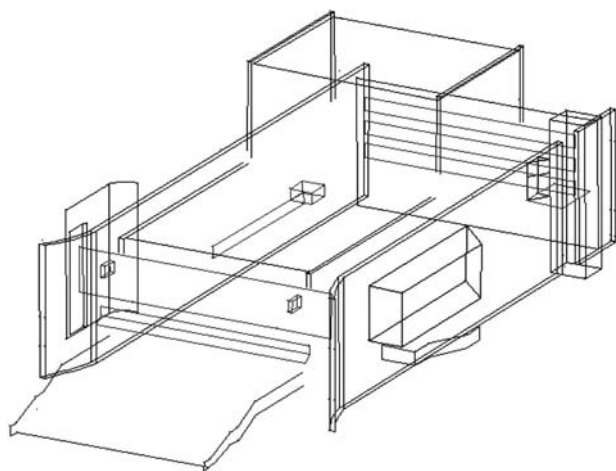
Obr. 10 severozápadný pohľad



Obr. 11 východný pohľad



Obr. 12 juhozápadný pohľad



Obr. 13 vektorový model Domu umenia

výstavy, prednášky apod., objekt je dispozične členený na 2 časti:

- priestory pre návštevníkov (1 podzemné podlažie a 4 nadzemné podlažia),
- priestory pre umelcov, obsluhu a správcu objektu (3 nadzemné podlažia).

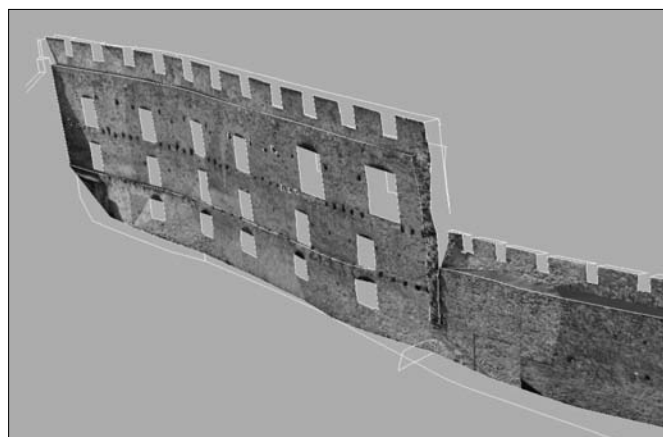
Na základe zhotovených fotografických snímkov kamerou Canon 300 D a meraní pôdorysných rozmerov, bol konvergentným snímkovaním zhotovený vektorový model Domu umenia.

Vzdialenosti prístupných rozmerov budovy (dĺžky a výšky) boli zamerané laserovým diaľkomerom a porovnané s údajmi získanými konvergentným snímkovaním. Rozdiely medzi týmito meraniami sa pohybovali v rozmedzí 25–40 mm.

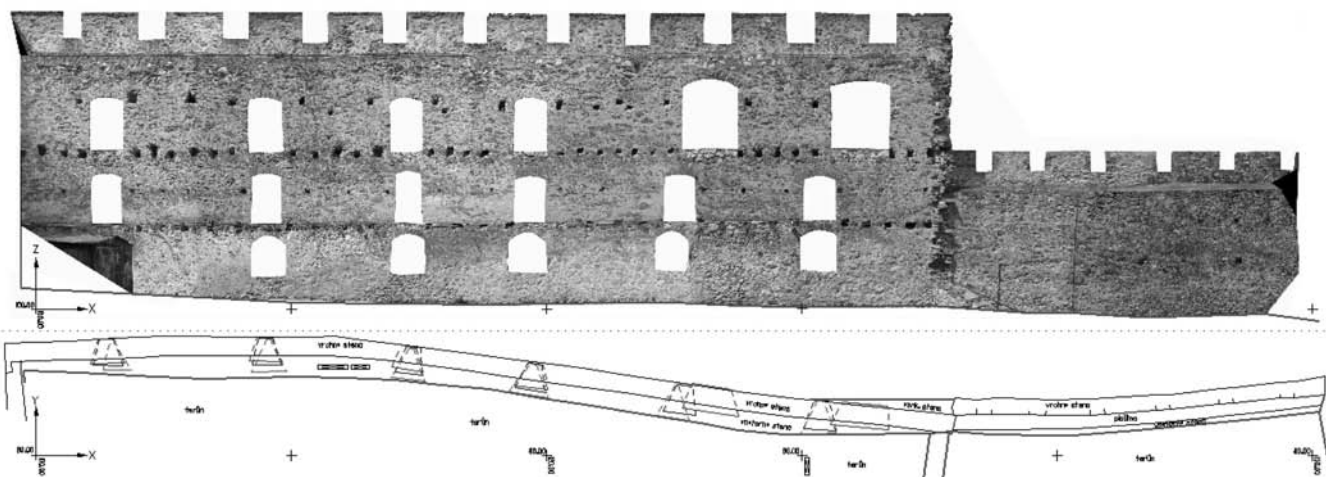
3.3 Geometrické rozmery objektu „Kasárne“ na Trenčianskom hrade

Pre projekt turistickej ubytovne bola fotogrametricky rekonštruovaná stena bývalých kasární v objekte Trenčianskeho hradu. Stena je dlhá 50 m, vysoká do 11 m a hrúbka steny sa pohybuje od 1,2 m do 0,5 m. Pôdorys má tvar písmena „S“. Fotogrametrickou metódou bol určený priestorový tvar steny, poloha v lokálnom súradnicovom systéme a ortofotomapa ako ortogonálna projekcia do vertikálnej roviny rovnobežnej so spojnicou okrajov steny.

Ako fotogrametrická metóda bolo použité konvergentné snímkovanie so všeobecnou polohou osi záberu. Všetky body objektu boli signalizované prirodzene a priestorová presnosť modelu m_{XYZ} sa pohybuje do 20 mm.



Obr. 14 Textúrovaný virtuálny 3D model steny



Obr. 15 Ortofotomapa a pôdorys

4. ZÁVER

Zavedením digitálnej fotografie sa zvýšila možnosť využitia pozemnej fotogrametrie v znaleckej a expertíznej činnosti odboru stavebníctva najmä v týchto oblastiach:

- zisťovanie geometrických rozmerov neprístupných časti stavebnej konštrukcie, vrátane určenia ich vybraných rozmerov a tvarov,
- dlhodobé sledovanie deformácií vybraných stavebných konštrukcií,
- zhotovovanie nákresov skutočného vyhotovenia zakrytých časti stavieb (vedenia vo výkopoch pred ich zasypáním, v stenách a stropoch pred ich zakrytím a pod.).
- pozorovanie pretvorení skalných brál a zárezov,
- rekonštrukcia postupnej sanácie historických objektov,
- rekonštrukcia dopravných nehôd atď.

Užším prepojením softvéru systému PhotoModeler Pro5 s kresliacimi programami typu CAD bude možné efektívnejšie využívať výhody fotogrametrie v znaleckej a expertíznej činnosti v stavebníctve.

Príspevok bol spracovaný v rámci grantovej výskumnej úlohy VEGA 1/260005/05 „Určenie všeobecnej hodnoty nehnuteľností v podmienkach vstupu SR do EÚ“.

5. LITERATÚRA

- [1] BRADÁČ A.: *Soudní inženýrství*. CERM, Akademické nakladatelství, Brno, 1999. ISBN 80-7204-133-9
- [2] NIČ M.: *Prieskumy stavieb. Vybraté problémy*. Slovenská technická univerzita v Bratislave, Bratislava, 2002. ISBN 80-227-1771-1.
- [3] FRAŠTIA M.: *Kalibrácia a testovanie digitálnych kamier pre aplikácie blízkej fotogrametrie*. Dizertačná práca. STU v Bratislave, Stavebná fakulta, Bratislava, 2005.

Recenzent: Prof. Ing. Albert Bradáč, DrSc.