

3D RECONSTRUCTION SOFTWARE ENGINE

Tomáš Babinec

Master Degree Programme(1), FEEC BUT
E-mail: xbabin01@stud.feec.vutbr.cz

Supervised by: Miloslav Richter
E-mail: richter@feec.vutbr.cz

ABSTRACT

Purpose of the new software environment presented in this paper is to enable flexible solution of various 3D reconstruction tasks from image data by a single computing tool. This approach will combine computational power of several independent programs which are based on slightly different algorithms but solve related sets of equations.

1. ÚVOD

Článek z oboru počítačového vidění se zabývá vývojem počítačové aplikace určené k univerzálnímu zpracování dat při vyhodnocení 3D vlastností snímané scény. Cílem je prostřednictvím jediného výpočetního nástroje řešit rozdílné fotogrammetrické úlohy.

Přestože jsou tyto úlohy provázány společnými parametry i matematicko-fyzikálními vztahy, nepatrná úprava rovnic, jako je změna původně hledaného parametru ve známý koeficient prostředí, dnes obvykle představuje nutnost použít jiný výpočetní nástroj bez možnosti provázání s předchozím typem úlohy. Má práce si klade za úkol odstranit tento nedostatek a umožnit tak široké spektrum flexibilních výpočtů nad množinou parametrů scény.

2. KONCEPCE APLIKACE

Diplomová práce související s tímto článkem navazuje na výzkumnou práci [1] (Exterior orientation of digital images using CCD cameras in close-range photogrammetry) autora P. Popova a pozdější úvahy o vzniku nové aplikace. Z původní práce byl převzat matematický aparát metody nejmenších čtverců modifikovaný pro řešení fotogrammetrických úloh. Ten nyní tvoří výpočetní jádro programu. Metoda byla zvolena pro svou variabilitu – především snadnou změnu vektorů neznámých a změřených parametrů rovnic, což je zásadní pro dosažení cílů stanovených v úvodu.

2.1. METODA NEJMENŠÍCH ČTVERCŮ PRO ŘEŠNÍ ÚLOH ANALYTICKÉ FOTOGAMMETRIE

Matematické vztahy a postup výpočtu této metody pocházejí z [2]. Metoda je vhodná pro řešení předefinované soustavy i nelineárních rovnic, které vyjadřují vazby mezi konstantními, změřenými a neznámými veličinami fotogrammetrické úlohy.

Je dáno N funkcí $F(\mathbf{x}, \mathbf{z})$, které popisují fotogrammetrické závislosti ve tvaru $F_i(\mathbf{x}, \mathbf{z}) = 0$, kde $i = 1, 2, \dots, N$, $\mathbf{z} = [z_1, z_2, \dots, z_p]^T$ je vektor P změřených hodnot a $\mathbf{x} = [x_1, x_2, \dots, x_M]^T$

je vektor M neznámých parametrů. Úkolem metody nejmenších čtverců je iterativně určit hodnoty neznámých parametrů $\tilde{\mathbf{x}}$ a změřených hodnot $\tilde{\mathbf{z}}$ tak, aby platila rovnice (1) při splnění podmínky (2).

$$\mathbf{F}(\tilde{\mathbf{x}}, \tilde{\mathbf{z}}) = 0 \quad (1)$$

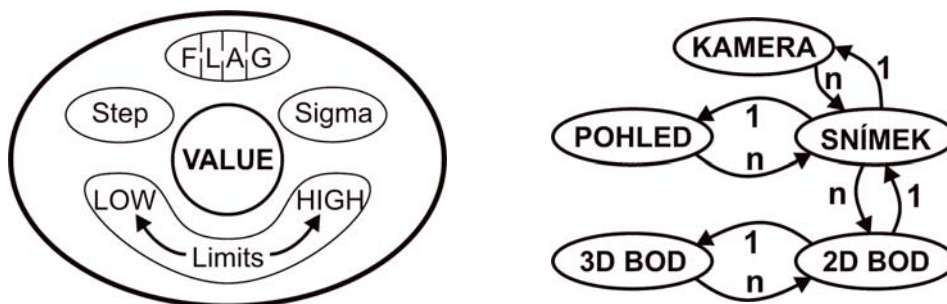
$$\left[(\tilde{\mathbf{z}} - \mathbf{z})^T \mathbf{K}_0^{-1} (\tilde{\mathbf{z}} - \mathbf{z}) \right] = \min \quad (2)$$

\mathbf{K}_0 je kovarianční matice vektoru změřených hodnot \mathbf{z} .

Z rovnic (1) a (2) byly Lagrangeovou metodou určení minima pomocné funkce odvozeny maticové rovnice (viz. [2]) pro výpočet korekčních vektorů $\Delta \mathbf{x}$ a $\Delta \mathbf{z}$. V každém kroku metody jsou aktuálně vypočtené korekce $\Delta \mathbf{x}$ použity k přepočtu odhadu neznámých parametrů: $\tilde{\mathbf{x}}_{k+1} = \tilde{\mathbf{x}}_k + \Delta \mathbf{x}$. Malé hodnoty vektoru $\Delta \mathbf{x}$ jsou signálem k ukončení iterací. Dle vztahu $\tilde{\mathbf{z}} = \mathbf{z} + \Delta \mathbf{z}$ lze na závěr upravit změřené parametry tak, aby více odpovídaly skutečnosti.

2.2. DATOVÉ OBJEKTY

Pro popis prvků scény a jejich vzájemných vazeb slouží komplexní datové objekty nazvané CLUSTER (shluk). Každý shluk je tvořen množinou iteračních elementů pojmenovaných CELL (buňka), které nesou hodnoty jeho parametrů. Např. CLUSTER určený pro popis 2D bodu $[x, y]$ obsahuje 2 buňky, s informací o x-ové a y-ové souřadnici.



Obrázek 1: Vnitřní struktura buňky (vlevo); Vazební podmínky (vpravo)

Vnitřní struktura buňky je uvedena na obrázku 1 vlevo. Její hlavní položkou je hodnota (value). Ta je doplněna údaji sigma (směrodatná odchylka) a limits (omezení číselného rozsahu). Položka step definuje iterační krok na daném parametru při výpočtech. Příznakový registr flag umožňuje rozlišit konstantní, změřené a neznámé parametry.

V současné době byly realizovány následující druhy CLUSTERŮ:

- **kamera:** 4 buňky. První dvě buňky popisují polohu středu projekční roviny $[u_0, v_0]$. Třetí buňka obsahuje hodnotu konstanty kamery c a čtvrtá definuje poměr šířky a výšky pixelu $\frac{w}{h}$.
- **pohled:** 6 buňek. První tři popisují polohu $[t_x, t_y, t_z]$ kamery. Zbýlé tři buňky obsahují hodnoty úhlů ω, φ, κ definujících natočení kamery.
- **snímek:** 0 buněk. Význam pro definici vazebních podmínek. Z obrázku 2 vpravo je patrné, že snímek vystupuje jako spojovací článek mezi 2D bodem, kamerou, která bod zachytila, a pohledem, ve kterém byla tato kamera umístěna.
- **3D a 2D bod:** 3/2 buňky. Souřadnice troj-/dvojměrného bodu $[x, y, z]/[x, y]$

2.3. VAZEBNÍ ROVNICE

Apriorní znalost o matematicko-fyzikálních principech, které ve vyhodnocované scéně platí, lze popsat prostřednictvím vazebních rovnic. Vyvíjená aplikace dokáže systém rovnic generovat automaticky. Uživatel pouze intuitivně zadá vztahy mezi CLUSTERy pomocí předdefinovaných vazebních podmínek uvedených na obrázku 1 vpravo.

Za „základní“ typ rovnice lze považovat projekci, která modeluje proces zobrazení 3D bodu $[X, Y, Z]$ pomocí kamery umístěné v jistém pohledu na 2D bod $[a, b]$ v pořízeném snímku. Z původně maticové rovnice lze získat dva lineárně nezávislé vztahy (3) a (4). Význam parametrů projekce byl uveden s popisem odpovídajících CLUSTERŮ v části 2.2.

$$(a - u_0)(r_{31}(X - t_x) + r_{32}(Y - t_y) + r_{33}(Z - t_z)) = c \frac{w}{h} (r_{11}(X - t_x) + r_{12}(Y - t_y) + r_{13}(Z - t_z)) \quad (3)$$

$$(b - v_0)(r_{31}(X - t_x) + r_{32}(Y - t_y) + r_{33}(Z - t_z)) = c (r_{21}(X - t_x) + r_{22}(Y - t_y) + r_{23}(Z - t_z)) \quad (4)$$

Aplikace je vyvíjena s důrazem na snadnou rozšiřitelnost o nové vazební vztahy. Ty upřesní omezení, která ve scéně panují, což ovlivní konvergenci výpočtů. Zvýší se také kvalita získaných výsledků. Nyní je ověřována možnost doplnění koplanarity a linearity, které vystihují situaci, kdy skupina 3D bodů leží v jedné rovině respektive na stejné přímce.

2.4. VRSTVY APLIKACE

Vyvíjené aplikační prostředí je možné rozdělit na tři víceméně samostatné vrstvy. První je tvořena GUI (Graphical User Interface), které představuje rozhraní pro komunikaci s uživatelem. Umožní přehlednou reprezentaci dat a usnadní zadávání vstupů.

Druhou vrstvu tvoří MANAGER. Mezi jeho hlavní funkce patří správa databáze CLUSTERŮ, generování soustavy rovnic a spouštění výpočtu neznámých parametrů. Tyto činnosti jsou vykonávány jako odezva na příkazy zadané uživatelem z GUI.

Třetí vrstva aplikace (CALCULATOR) působí jako výpočetní jádro celého prostředí. Její činnost je aktivována MANAGERem. Výpočetní algoritmus pracuje s modifikovanou metodou nejmenších čtverců uvedenou v části 2.1.

Schopnost zobrazení 3D informací o scéně může být do aplikace doplněna formou modulu využívajícího služeb OpenGL nebo DirectX.

3. ZÁVĚR

Aplikace vyvíjená v jazyce C++ poskytne flexibilní nástroj pro vyhodnocení vlastností trojrozměrné scény, která je zachycena na obrazovém záznamu. Výpočetní schopnost programu byla ověřena na úloze kalibrace kamery s daty generovanými modelem v MatLabu.

LITERATURA

- [1] Popov P., Richter M.: Exterior orientation of digital images using CCD cameras in close-range photogrammetry, Výzkumná zpráva pro GACR 101/93/2435 grantu „Advanced schemes of robot kontrol“
- [2] Тюфлин Ю. С.: Способы стереофотограмметрической обработки снимков, полученных с подвижного базиса, Недра, Москва 1971