Durva hibák felderítése modell- és terepi koordináták alapján számított méretarányszámok összehasonlításával

Jancsó Tamás doktorandusz, főiskolai adjunktus
Nyugat-Magyarországi Egyetem Geoinformatikai Főiskolai Kar
Fotogrammetriai és Távérzékelési Tanszék

Bevezetés, a relatív tájékozás fontossága

Az analitikus és digitális fotogrammetriában a külső tájékozási elemek meghatározásához általában a kollineár egyenleteket használjuk, melyek közvetlen kapcsolatot teremtenek egy terepi pont és az annak megfelelő képpont között. Ugyanakkor egy sztereo képpár külső tájékozása megoldható a relatív tájékozás + abszolút tájékozás egymásra épülő tájékozási együttessel is. A relatív tájékozás után mérhető és számítható minden illesztőpont modell-koordinátája, melyeket eredményesen felhasználhatunk az illesztőpontokon jelentkező durva hibák szűrésére. Ehhez képeznünk kell minden kombinációban a méretarányszámokat. Ha ismerjük a megengedett ellentmondás értékét a méretarányszámban, akkor ez alapján kiszűrhetők a durva hibával terhelt pontok.

A méretarányszámok alkalmazása durva hibák felderítésére

Tételezzük fel, hogy elvégeztük a képpár relatív tájékozását. Az így létrejött modellen az összetartozó képpontok képkoordinátáinak mérése alapján tudjuk számítani a modell-koordinátákat az (1) és (2) képletek alapján [1]:

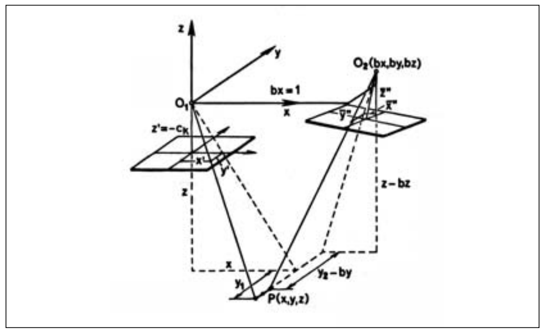
$$x = \lambda x' \qquad y = \frac{y_1 + y_2}{2} \qquad z = \lambda z' \qquad (1),$$

ahol

$$\lambda = \frac{\bar{z}'' - b_z\bar{x}''}{x'\bar{z}'' - z'\bar{x}''} \quad és \quad \mu = \frac{z' - b_z x'}{x'\bar{z}'' - z'\bar{x}''} \qquad (2)$$

<u>Jelölések (lásd az *1. ábrá*t):</u>

x, y, z : modell-koordináták,
y_1, y_2 : y modell-koordináták a bal és jobb képpontból számítva,



1. ábra Modell-koordináták meghatározása

$x', y', z' = -c_k$: képkoordináták a bal képen,
$\bar{x}'', \bar{y}'', \bar{z}'' = -ck$: képkoordináták a jobb képen,
λ, μ : méretarány tényezők.

Így adottnak tekinthető az illesztőpontok modell- és geodéziai koordinátája, továbbá tételezzük fel, hogy körülbelül ismert a modell és a terep között meglévő m_k méretarányszám. Első lépésként képezzük a pontokból felépíthető háromszögeket minden lehetséges kombinációban, vagyis a pontok száma n, akkor az ezekből összeállítható háromszögek száma $\frac{n!}{(n-3)!\cdot 3!}$.

Továbbá egy háromszögből háromféle méretarányt számíthatunk az összetartozó oldalélek hosszát egymással elosztva. Keressük, hogy adott körülbelüli méretarányszám mellett mekkora méretarányszám-ellentmondás jelent durva hibát a koordinátákban. A *2. ábrá*n lévő háromszögben a méretarányok szerint a következő ellentmondások jelentkeznek:

$$\begin{aligned} dm_1 &= m_{12} - m_{13} \\ dm_2 &= m_{12} - m_{32} \\ dm_3 &= m_{13} - m_{32} \\ m_{12} &= L_{12} / l_{12} \\ m_{13} &= L_{13} / l_{13} \\ m_{32} &= L_{32} / l_{32} \end{aligned} \qquad (3)$$

Jelölések:

dm_1, dm_2, dm_3 : ellentmondás a méretarányban,
m_{12}, m_{13}, m_{32} : méretarányszámok,
L_{12}, L_{13}, L_{32}, l_{12}, l_{13}, l_{32} : ferde távolságok a terepen és a modellen.

A megengedett legnagyobb $dm_{\max}$ ellentmondás a méretarányszámban az adott háromszögből számítható a (4) szerint. Ehhez szükséges ismernünk a $dL_{0\max}$ megengedett legnagyobb ellentmondást a távolságban:

$$L_0 = (L_{12} + L_{13} + L_{32})/2$$
$$L_{m_k} = L_0/m_k \tag{4}$$
$$dL_{0\max} = f(m_k\,,\, L_0)$$
$$dm_{\max} = (dL_{0\max} \,/\, L_{m_k})$$

Jelölések:

L_0 : távolságok átlaga;
m_k : körülbelüli (átlagos) méretarányszám; ezt az értéket a felhasználó adja meg;
L_{m_k} : távolságok átlaga m_k méretarányszám szerint;
$dL_{0\max}$: megengedett legnagyobb ellentmondás a távolságban;
$dm_{\max}$: megengedett legnagyobb ellentmondás a méretarányszámban.

Továbbá a koordinátakülönbségekben jelenlévő hiba hatása szintén számítható. Példaként tekintsük meg az $m_{dX_{12}}$ hiba számítási képletét, mely az L_{12} alapján a dX_{12} koordinátakülönbségre a (4) szerint számítható:

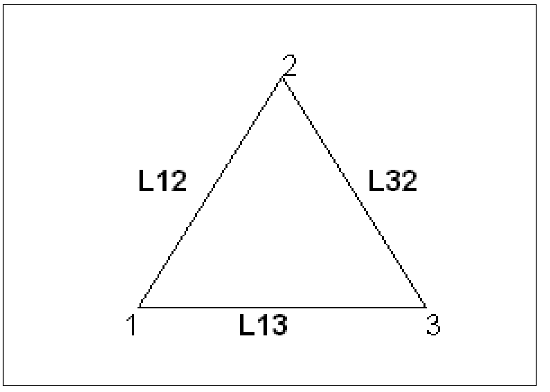
$$m_{12} \pm dm_{12} = \frac{\sqrt{\left(dX_{12} \pm m_{dX_{12}}\right)^2 + dY_{12}^2 + dZ_{12}^2}}{l_{12}} \tag{5}$$

$$m_{dX_{12}} = \pm\sqrt{\left[l_{12} \cdot (m_{12} \pm dm_{12})\right]^2 - dY_{12}^2 - dZ_{12}^2} - dX_{12}$$

A többi koordinátakülönbségre vonatkozó hibák értelemszerűen adódnak.

A durvahiba-szűrés megvalósítása számítógépen

Vizsgáljuk meg, hogy a 2. pontban leírt elméleti alapokon hogyan valósítható meg a durvahibaszűrés egy számítógépes alkalmazás keretében.



2. ábra Három illesztőpontból alkotott háromszög

- Az adott n számú (n>=3) pontból létrehozzuk az összes lehetséges $\frac{n!}{(n-3)!\cdot 3!}$ számú háromszöget.
- Minden háromszögben az oldalak alapján számítjuk az *m* méretarányszámot (3).
- Minden háromszögre számítjuk a megengedett legnagyobb ellentmondást a méretarányszámban (4).
- Megkeressük azt a háromszöget, ahol a *dm* hiba a megengedett alatt van, és legkisebb az összes háromszög közül, ha nincs ilyen, akkor minden pont hibás. Az így felderített hibátlan háromszöget etalonnak tekintjük, és annak súlypontját pedig referencia pontnak.
- A referencia pontot összepárosítva az összes többi ponttal kiszámítjuk a méretarányokat. Az így kapott méretarányokat az adott *dm* mellet megszűrjük az etalon méretaránnyal összehasonlítva. A megengedettnél nagyobb *dm*-hez tartozó pont hibásnak minősül, és számítható a durva hiba értéke terepi hosszban kifejezve.

Számpélda

Tekintsük a következő számpéldát az elmondottakra.

A méretarány közelítő értéke $m_k = 10000$
A kamera fókusza $c_k = 150$ mm

A terepi pontok modell- és geodéziai koordinátáit a *1. táblázat* mutatja [2]. A táblázat utolsó három oszlopában láthatók a szándékosan elkövetett durva hibák értékei. *(1. táblázat)*

Az (5) szerint miden lehetséges koordinátakülönbségre kiszámítjuk a megengedett legnagyobb hibát a geodéziai koordinátákban, és ezek közül kiválasztjuk a legkisebb értékeket:

1 táblázat A terepi pontok modell- és geodéziai koordinátái

No.	x[mm]	y[mm]	z[mm]	X[m]	Y[m]	Z[m]	dX	dY	dZ
11	10,018	79,931	–149,872	5085,205	5852,099	527,925	+2m		
13	79,962	79,949	–147,890	5780,020	5906,365	571,549			
31	10,022	–79,955	–151,915	5210,879	4257,446	461,810		–1m	
33	80,000	–79,948	–154,922	5909,264	4314,283	455,484			
12	44,977	79,959	–148,889	5431,477	5879,399	559,658			+10m
21	10,025	0,001	–151,885	5147,362	5055,701	484,961			
22	45,002	0,010	–150,904	5495,767	5082,880	506,654			
23	79,977	0,015	–149,910	5844,151	5110,013	528,474			
32	45,013	-79,955	–152,929	5559,933	4286,193	463,540			

$m_{dX_{\max}} = \pm 1{,}214$ m;
$m_{dY_{\max}} = \pm 0{,}606$ m;
$m_{dZ_{\max}} = \pm 8{,}616$ m

A durvahiba-szűrés határértéke a (4) szerint távolságban kifejezve: $dL_{0\max} = \pm 0{,}606$ m.

A durvahiba-szűrés határértéke a (4) szerint méretarányban kifejezve: $dm_{\max} = \pm 4{,}040$.

A megengedett hibás háromszögek száma a példában szereplő 9 db pont esetén 84 lesz. Az összehasonlító ellenőrzés elvégzése után felderített hibás háromszögek száma 57-nek adódik. Ebben az 57 háromszögben a hibákat 3 pont okozza, melyeket a teljes kombinatorikai sor átvizsgálása után kizárásos alapon pontosan beazonosíthatunk, és számolhatjuk a hozzájuk tartozó *dm*, *dL* ellentmondásokat (*2. táblázat*).

2. táblázat Durva hibával terhelt pontok

PONTSZÁM	dm	dL [m]
11	–12,706	–1,906
31	12,891	1,934
12	9,125	1,369

A kapott eredményekből látható, hogy a 11. és 31. pontoknál a *dL* hiba nagyságrendben megegyezik a valódi hibákkal, viszont a 12-es pontnál a Z koordinátában meglévő 10 m-es hiba csak 1,369 m hibát okozott a távolságban.

Összefoglalás, konklúzió

A felvázolt módszer bizonyos korlátozással jól alkalmazható a durva hibák kiszűrésére. Ez a korlátozás a bemutatott számpéldánál jól látszik, ahol következtetésként levonható, hogy ennél a módszernél a különböző koordináták hatása a méretarányszámokra nagymértékben függ a koordináták egymáshoz viszonyított nagyságrendjétől, vagyis a számpélda szerint is jól látható, hogy a Z koordinátákban jelentkező hibák hatása jóval kisebb, mint az X, Y síkkoordinátákban jelentkező hibáké. Ennek ellenére véleményem szerint a módszer további kutatásra érdemes.

Gross Error Detection Using the Scale Factors Calculated from the Model and the Ground Coordinates

Jancsó, T.

Summary

The outer orientation of a stereo pair can be solved by the relative orientation + absolute orientation procedure. After the relative orientation we can calculate the model coordinates of each control points. These model coordinates can be used effectively to find the gross errors among the control points. To do this we have to calculate the scale factors in every possible combination. If we know the allowable error in the scale factor we can filter the points and we can find the gross errors. To prove this theory a detailed algorithm is given together with a numerical example.

IRODALOM

1. *Albertz, J.–Kreiling, W.* (szerk.): Photogrammetrisches Taschenbuch, Herbert Wichmann Verlag, Karlsruhe, 1975
2. *Schwidewski, K.–Ackermann, F.*: Photogrammetrie, BG Teubner, Stuttgart, 1976