

Digitális Monoplotting alkalmazása a fotogrammetriában

Application of Digital Monoplotting in photogrammetry

Dr. habil JANCSÓ Tamás

Óbudai Egyetem Alba Regia Műszaki Kar, Geoinformatikai Intézet
8000 Székesfehérvár, Pirosalma u. 1-3., +36-22-200 457
jancso.tamas@amk.uni-obuda.hu www.amk.uni-buda.hu

Abstract

Digital Monoplotting is a single-image evaluation procedure that can be used to determine spatial coordinates. The image data source can be the original image or the orthophoto produced from it. In both cases, we will need a digital elevation model covering the area. The height coordinates are assigned to the pixels by interpolation. The paper provides an overview of the entire process, illustrated with an example for an aerial photo gained by a metric camera having fiducial marks.

Keywords: digital monoplotting, digital elevation model, orthophoto, orientation elements, interpolation

Kivonat

A Digitális Monoplotting olyan egyképes kiértékelési eljárás, melynek segítségével térbeli koordinátákat határozhatunk meg. A képi adatforrás lehet az eredeti felvétel vagy az abból előállított ortofotó. Mindkét esetben szükségünk lesz a kiértékelésre szánt területet lefedő digitális magasságmodellre. A magassági koordinátákat interpolációval rendeljük a képpontokhoz. A cikk példával illusztrálva áttekinti a teljes mérési folyamatot egy keretjelekkel ellátott mérőkép esetén.

Kulcsszavak: digitális monoplotting, digitális magassági modell, ortofotó, tájékozási elemek, interpoláció

1. BEVEZETÉS

A Digitális Monoplotting vagy másképpen az Interaktív Egyképes Kiértékelés a fotogrammetrián belül az egyképes kiértékelési eljárások közé tartozik. A mérés során a cél, hogy a megírányzott képpont térbeli (X,Y,Z) tárgykoordinátáit kapjuk meg végeredményként. A feladat megoldásához a képen kívül szükségünk lesz a képet lefedő magassági adatokat magába foglaló állományra és a kép helyzetét egyértelműsítő belső és külső tájékozási elemekre. A magasságok vonatkozhatnak a topográfiai földfelszínre (DTM – Digitális Terepmodell) vagy a terepre minden részletével és tartalmával együtt (DFM – Digitális Felszínmodell). Fotogrammetriai szempontból előnyösebb a DFM használata, mert ez jobban összhangban van a képi tartalommal. Ha megvizsgáljuk a monoplotting matematikai háttérét, akkor egyértelművé válik, hogy a digitális ortofotó előállításához áll közel, azzal a különbséggel, hogy az ortofotó létrehozásakor minden pixelre elvégezzük a számítási műveletet, míg a monoplotting esetén csak a megírányzott pixel koordinátáira számoljuk ki a kapcsolatot a kép és a magassági modell között. Abban az esetben, ha eleve rendelkezünk ortofotóval, akkor tovább egyszerűsödik a számítás, mivel ilyenkor már a pixelekhez tartoznak X,Y terepi koordináták és nekünk csak a Z koordinátát kell meghatározni interpolációval a magassági modell pontjai alapján.

Külön, a Digitális Monoplotting végrehajtásához szükséges szoftvert ritkán fejlesztenek. Ha áttekintjük az elmúlt 15 év szakirodalmát és szoftverpiacát, akkor viszonylag kevés szoftvert találunk [1], [2], [5]. Jelen cikk megjelenésekor éppen egy ilyen jellegű szoftver fejlesztésén dolgozom elsősorban oktatási célra [3]. A valós mérési feladatok során ez a technika jól alkalmazható meglévő térképek kiegészítésre vagy olyan speciális célokra, ahol a kisebb pontosság is elfogadható, ilyen lehet például egy tájékológiai vagy morfológiai felmérés [5].

2. ELMÉLETI HÁTTÉR

A következőkben tekintsük át röviden a mérési módszer elméleti háttérét. Az 1. táblázatban látható, hogy alapvetően háromféle képtípusból indulhatunk ki. Minden képtípus esetén a kiinduló adatok és a számítás menete eltérnek egymástól.

Ortofotó alkalmazásakor csak pár adatra van szükségünk. Ezek a kép bal felső pontjának tárgykoordinátái (X_{UL}, Y_{UL}), egy pixel terepi felbontása (Δ_T) és a tárgykoordináta tengelyek irányai az uv pixel koordináta-rendszer tengelyeihez képest. Az (1) egyenlet segítségével így ki tudjuk számolni az ortofotón megírányzott pont X, Y terepi koordinátáit. A képletekben a \pm előjelek a már említett tárgykoordináta tengelyek irányai szerint változnak. Abban az esetben, ha az X tengely pozitív iránya megegyezik az u tengely irányával, vagyis az X koordináták növekednek az u növekedésével, akkor az (1) egyenletben az összeadást, egyébként a kivonást használjuk. Ugyanez a szabály vonatkozik értelemszerűen az Y koordináták számítására is.

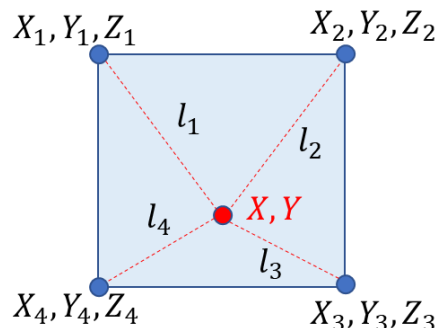
$$\begin{aligned} X &= X_{UL} \pm u \cdot \Delta_T \\ Y &= Y_{UL} \pm v \cdot \Delta_T \end{aligned} \quad (1)$$

Képtípusok

1. táblázat

Képtípus	Szükséges adatok	Matematikai számítások
Ortofotó	X_{UL}, Y_{UL}, Δ_T , tengelyek iránya, DTM vagy DFM	$u, v \rightarrow X, Y$ Z bilineáris interpolációval
Digitális kamerakép	$c_k, \xi_0, \eta_0, X_0, Y_0, Z_0, \varphi, \omega, \kappa$ DTM vagy DFM	$u, v \rightarrow \xi, \eta \rightarrow X, Y$ Z bilineáris interpolációval, fokozatos közelítéssel
Keretjeles mérőkép	$c_k, \xi_0, \eta_0, X_0, Y_0, Z_0, \varphi, \omega, \kappa$ $a_0, a_1, a_2, b_0, b_1, b_2$ DTM vagy DFM	

Miután kiszámoltuk az X, Y terepi koordinátákat, következhet a magasság meghatározása. Ehhez először be kell azonosítanunk, hogy a képen mért pont melyik négy pontból álló cellába esik a magassági modellen. A cella sarokpontjainak a koordinátái alapján bilineáris interpolációval számíthatjuk a mért pont Z koordinátáját. A bilineáris interpolációt többféle számítással is elvégezhetjük [6]. Nézzük erre két alternatívát. A (2) képletben a mért pont és a cella sarokpontjai közötti távolságok segítségével számítjuk a súlyozott középértéket. A jelölések értelmezését az 1. ábra segíti.

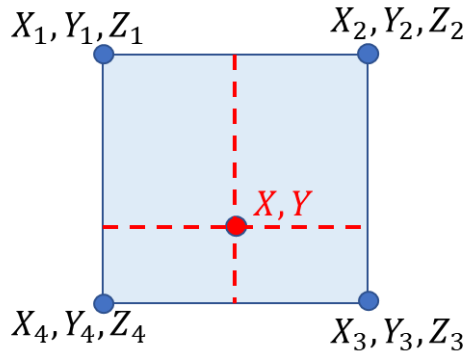


1. ábra. Bilineáris interpoláció távolságok alapján

$$Z = \frac{\left(\frac{l_3}{l_1}\right) \cdot z_1 + \left(\frac{l_4}{l_2}\right) \cdot z_2 + \left(\frac{l_1}{l_3}\right) \cdot z_3 + \left(\frac{l_2}{l_4}\right) \cdot z_4}{\frac{l_3}{l_1} + \frac{l_4}{l_2} + \frac{l_1}{l_3} + \frac{l_2}{l_4}} \quad (2)$$

A második lehetőség, hogy a cellán belül kialakuló négy téglalap területét használjuk fel a súlyozott középérték képzéséhez. Ezt mutatja a (3) képlet és a 2. ábra.

$$Z = \frac{|(X_3-X) \cdot (Y_3-Y)| \cdot Z_1 + |(X_4-X) \cdot (Y_4-Y)| \cdot Z_2 + |(X_1-X) \cdot (Y_1-Y)| \cdot Z_3 + |(X_2-X) \cdot (Y_2-Y)| \cdot Z_4}{|(X_1-X_2) \cdot (Y_1-Y_4)|} \quad (3)$$

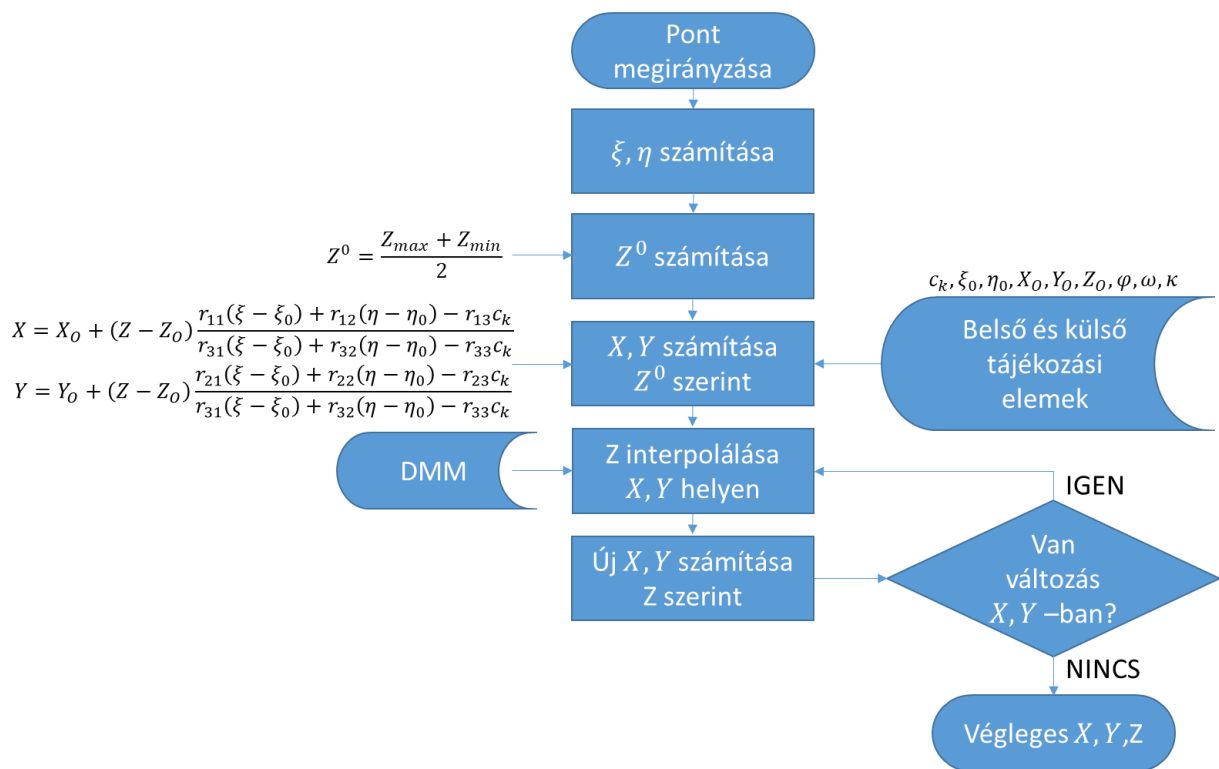


2. ábra. Bilineáris interpoláció területek alapján

Digitális kamerával készült kép esetén ismernünk kell a kamera belső adatait (c_k, ξ_0, η_0) és a külső tájékozási elemeket ($X_0, Y_0, Z_0, \varphi, \omega, \kappa$), melyeket légiháromszögelés vagy térbeli hátrametszés során tudunk számítani. Első lépésként a (4) képletpár segítségével kiszámítjuk a ξ, η képkoordinátákat a mért u, v pixelkoordináták, a Δ_{sz} pixelméret és az lx_{sz}, ly_{sz} szenzor méreteinek alapján [6].

$$\begin{aligned} \xi &= -\frac{lx_{sz}}{2} + \Delta_{sz} \cdot u \\ \eta &= \frac{ly_{sz}}{2} - \Delta_{sz} \cdot v \end{aligned} \quad (4)$$

Ezután következhet az X, Y terepi koordináták kiszámítása a centrális vetítés alapegyenletei alapján (lásd a 3. ábrán feltüntetett alsó képletpárt [6]). A problémát itt az okozza, hogy nem ismerjük a Z pontos értékét. Ezért első lépésben csak egy átlagos Z^0 értékkel tudunk számolni a 3. ábra felső képlete szerint. Az így kapott vízszintes koordinátákat első közelítésnek vesszük (X^1, Y^1) és ezek alapján interpolációval pontosítjuk a magassági értéket (2) vagy (3) képlet szerint (Z^1). A pontosított magassággal újra számoljuk a vízszintes koordinátákat (X^1, Y^1), amik alapján interpolációval tovább pontosíthatjuk a magassági értéket (Z^2). Ezt a folyamatot mindaddig ismétljük, amíg értékes tizedesjegyen változást tapasztalunk, ellenkező esetben befejezzük a fokozatos közelítést és az utoljára számolt X, Y, Z koordinátákat véglegesnek tekintjük. Ezt a teljes folyamatot mutatja be a 3. ábra [4].



3. ábra. Monoplotting fokozatos közelítéssel

A 3. ábrán bemutatott folyamat a keretjelekkel rendelkező mérőképek esetére is használható azzal a különbséggel, hogy ott a ξ, η képpkoordinátákat a mért u, v pixelkoordinátákból affín transzformációval kell számítanunk (5) képlet-pár szerint. Az affín transzformációhoz szükséges $a_0, a_1, a_2, b_0, b_1, b_2$ transzformációs állandókat egy korábban elvégzett belső tájékozás során kellett megkapnunk [6].

$$\begin{aligned} \xi &= a_0 + a_1 \cdot u + a_2 \cdot v \\ \eta &= b_0 + b_1 \cdot u + b_2 \cdot v \end{aligned} \quad (5)$$

3. GYAKORLATI PÉLDA

Egy saját fejlesztésű szoftver segítségével nézzünk egy példát a Digitális Monoplotting alkalmazására [4]. A 4. ábrán láthatjuk a program felhasználói felületét. Első lépésként behívjuk a digitális képet leíró adatokat, majd a kép betöltése után a Digitális Magassági Modell pontjait hívjuk be. A kiértékeléshez használhatunk pont, vonal, vonallánc vagy poligon rajzi elemeket. Minden rajzi elemnek automatikusan ad egy azonosító kódot a program, így nemcsak színekkel tudjuk elkülöníteni az egybe tartozó rajzi elemeket. A megrajzolt elemek között utólag műveleteket végezhetünk, vagyis elmozgathatjuk egy elemnek a pontját, összekapcsolhatunk egy azonosító alá két vagy több rajzi elemet. Topológiai értelemben pontosan egymáshoz kapcsolhatjuk különböző azonosítóval ellátott rajzi elem bármely pontját vagy pontjait. Ezen kívül vonalláncot poligonná zárhatunk, pontokat kivehetünk rajzi elemekből vagy megváltoztathatjuk a rajzi elemek színét. A 4. ábrán Székesfehérvár szélét láthatjuk egy 2011-ben készült keretjelekkel ellátott légifelvételen, ahol egy pixel mérete 56 mikron, ami az adott repülési magasságnál hozzávetőleg 45 cm-es terepi felbontást eredményezett. A magassági modellt 1:10 000 méretarányú topográfiai térképek szintvonalalaiból származtatott 20x20 m sűrűségű domborzatmodell szolgáltatva. Az ábrán egy kisebb tömb határoló poligonja (1-es kód) és egy földút pontjai lettek bemérve (2-es kód). A bemért pontok koordinátái a jobboldali listában láthatók, illetve elmenthetők későbbi felhasználásra.

Digitális Monoplotting

Adatok betöltése

Kép típusa: keretjes mérőkép
Pixel mérete: 0.056 mm
Ck: 153.0000 mm
X_h főpont: 0.007 mm
Y_h főpont: 0.001 mm
Xo: 607426.938 m
Yo: 206375.878 m
Zo: 1426.172 m
Fi: 0.98091 fok
Omega: 0.28566 fok
Kappa: -88.72065 fok
A0: 116.3842865224 B0: -114.4006967215
A1: -0.0560130192 B1: -0.0000558863
A2: -0.0000623622 B2: 0.0560053497

DMM betöltése

File: 54-412.dat
Grid size: 20 x 20 m
Pontok száma: 30000
Min X: 606 007.500 m
Max X: 608 987.500 m
Min Y: 204 007.500 m
Max Y: 207 987.500 m
Min Z: 3.720 m
Max Z: 185.000 m
Atl. Z: 94.360 m

ID Kód	X[m]	Y[m]	Z[m]	u[pix]	v[pix]	x[mm]	y[mm]	Szín
1	607996.455	206442.952	128.957	2174.625	3302.705	2174.625	3302.705	16777
1	607774.687	206842.524	144.894	3040.810	2857.983	3040.810	2857.983	16777
1	607893.644	206898.505	143.208	3154.579	3115.186	3154.579	3115.186	16777
1	608079.134	206480.509	127.957	2250.200	3480.200	2250.200	3480.200	16777
1	607996.455	206442.952	128.957	2174.625	3302.705	2174.625	3302.705	16777
2	607232.806	206590.831	175.272	2538.287	1679.580	2538.287	1679.580	255
2	607216.346	206549.763	172.488	2448.887	1642.703	2448.887	1642.703	255
2	607183.194	206537.849	167.698	2423.185	1572.300	2423.185	1572.300	255
2	607148.030	206548.917	164.682	2447.770	1498.545	2447.770	1498.545	255
2	607119.104	206592.633	163.554	2542.758	1439.318	2542.758	1439.318	255
2	607137.624	206631.836	166.760	2627.688	1479.548	2627.688	1479.548	255
2	607178.410	206725.737	163.791	2826.603	1573.418	2826.603	1573.418	255

Alakzatok
 Pont
 Vonal
 Vonallánc
 Poligon

Kiválasztás

Törölés/Frissítés
Összes törlése
Behívás
Mentés
Kilépés

Mozgatás Csatlakozás
Összekötés Leválasztás
Bezárás Szincserre

4124 x 4085 TC_11-03_9441.bmp x= 36.462 mm y= 84.438 mm

4. ábra. Monoplotting gyakorlati megvalósítása

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A cikk megírását a „Felületi formák jellemzőinek vizsgálata vidéki környezetben pontfelhők és távérzékelési adatok alapján” című 2019-2.1.11-TÉT-2020-00171 azonosító számmal ellátott kétoldalu kínai-magyar TÉT projekt, valamint az Óbudai Egyetem Alba Regia Műszaki Kara támogatta.

IRODALMI HIVATKOZÁSOK

- [1] Fluehler M., Niederoest J., Akca D. *Development of an educational software system for the digital monoplotting*. International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. ETH, Eidgenössische Technische Hochschule Zürich, Institute of Geodesy and Photogrammetry, 2005, 36(6), 1-6.
- [2] Golparvar B., Wang R. *AI-supported Framework of Semi-Automatic Monoplotting for Monocular Oblique Visual Data Analysis*. Archiv, Cornell University, 2021, 1-8.
- [3] Jancsó T. *Digitális Monoplotting megvalósítása személyi számítógépen*. GISOpen 2022 Konferencia, Székesfehérvár, Óbudai Egyetem, <https://www.gisopen.hu/2022/>, 2022, 1-14. (Utolsó letöltés: 2022. 08.30)
- [4] Jancsó T. *Digitális Fotogrammetria*. Óbudai Egyetem, Budapest, 2017.
- [5] Stockdale C. A. S., Bozzini C., Macdonald S. E., Higgs E. *Extracting ecological information from oblique angle terrestrial landscape photographs: Performance evaluation of the WSL Monoplotting Tool*. Applied Geography, Elsevier, 2015, 63 (2015), 315-325.
- [6] Thomas L., Stuart R., Stephen K., Boehm J. *Close-Range Photogrammetry and 3D Imaging*. De Gruyter Textbook, 2nd edition, Berlin/Boston, ISBN 978-3-11-030269-1, 2018.