

Automatikus fotogrammetriai eljárással előállított digitális terepmodell beépített környezetben

Kugler Zsófia doktorandusz – dr. Barsi Árpád egyetemi docens, tanszékvezető –
dr. Mélykúti Gábor egyetemi docens – Ládai András Dénes egyetemi tanársegéd
Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem
Fotogrammetria és Térinformatika Tanszék



1. Bevezetés, a digitális terepmodellezés főbb lehetőségei

Napjaink fotogrammetriai feldolgozó programjainak fejlesztési iránya a légifelvételek kiértékelési lépéseinek automatizálása. Egy előző számban [1] az automatikus légiháromszögelés lehetőségeiről, illetve azok nehézségeiről számoltunk be. Ezen cikk az előzőhöz kapcsolódóan a fotogrammetriai feldolgozás tájékoztatást követő lépésének, a domborzat kinyerésének automatizálási lehetőségeit mutatja be a 2000. évi országos légi felvételezés során Budapestről készített légifotók kiértékelésének példáján.

A szerzők egy korábbi cikkben már foglalkoztak domborzat modellek városi környezetben történő összehasonlításával [2]. Akkor három különböző eljárással – radar interferometria, topográfiai térképből levezetett, illetve fotogrammetriai feldolgozással – kinyert domborzat és felszínmodell került összehasonlításra. Ezen adatforrások közül a jelen cikk a fotogrammetriai eljárással készült modellt emeli ki és járja körbe, vizsgálva az automatikus feldolgozás különböző lehetőségeit és annak hatását.

2. Terepmodellezés automatikus eljárással

A légifelvételek a 2000-es országos légifényképezés során 60%-os átfedéssel és 1:30 000 képméretarányal készültek [9]. Ez lehetővé teszi térmodellek kialakítását, melyek segítségével a terepfelszín magasságának pontszerű meghatáro-

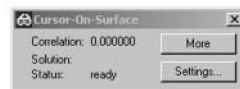
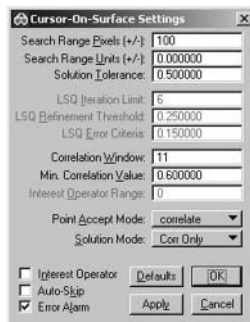
zására van lehetőség a légiháromszögeléssel számított külső ($X_0, Y_0, Z_0, \omega, \phi, \kappa$) és az adott belső tájékozási elemek ismeretében [7]. A tájékozások elvégzéséhez szükséges mérések automatikus elvégzéséről az előző cikkünkben [1] számoltunk be. A két vagy több képen leképződött, azonos pontok meghatározása, mely a terepmodellezés alapját képezi, történhet manuális kiértékeléssel vagy automatikus eljárással. Ez utóbbit, az automatikus illesztést a képfeldolgozásban is gyakran használt *matching* algoritmus végzi.

A *matching* eljárás első lépésében a Förstner érdeklődési operátor [8] jellegzetes pontokat ismer fel az egyik képen. A következő lépésben egy hasonlósági érték alapján a másik képen is azonosítja a pontot. A pontok hasonlósági értékének meghatározása a pontokra fektetett kereső ablak által definiált közvetlen környezetben számított korrelációs együttható segítségével történik. A két képen lévő pontok és környezetük korrelálása alapján azon pontokat tekinti azonosnak, ahol egy keresési tartományon belül a korrelációs felület maximuma található. Ezen keresési tartományban a második képen geometriai megkötések (pl. a normalizált képen a magsugár más néven epipoláris sor követése [7, 10]) szabnak határt. A két képen leképződött pontok illesztéséhez szükséges hasonlósági érték számítását tehát az illesztendő képen csak az így kijelölt tartományra korlátozva végzi az eljárás [3]. Az illesztés során paraméterként meghatározott geometriai megkötéseket és azok hatását a következő fejezetben tárgyaljuk.

3. A feldolgozó programok nyújtotta lehetőségek

Vizsgálatunk során két fotogrammetriai kiértékelő programmal dolgoztunk; a Z/I Imaging ImageStation 2001 (IS) nevű digitális fotogrammetriai munkaállomást használtuk, illetve a Leica Geosystems GIS & Mapping, Leica Photogrammetric Suite (LPS) programcsomagja lehetőségeit teszteltük. Mindkét szoftver képes a külső és belső tájékozási elemek ismeretében, sztereo megjelenítéssel a tereppontok manuális kimérésére.

A két képen történő azonos pont keresésében nyújt félautomatikus segítséget az IS Cursor-On-Surface üzemmódja (1. ábra). Hasonló megoldást nyújt a Leica képfeldolgozó csomagjának Stereo Analyst megjelenítő és kiértékelő moduljában a Terrain Following Cursor lehetőség [4]. Sztereo megjelenítés során a kiértékeléshez használt mérőjel mentén a két képet matching eljárással összeilleszti. A felhasználónak elegendő az így „összerántott” sztereo képpáron elfogadni a felszínmodell kialakításához szükséges terepi pontot, a félig automatikus eljárás gondoskodik arról, hogy a mérés mindkét képen azonos pontról készüljön. Az illesztés különféle módszereinek (korreláció, legkisebb négyzetek módszere) és paramétereinek meghatározásával irányítható a számítás, melynek következtében az eljárás különböző terepi magasság- (azaz parallaxis-)



1. ábra Az ImageStation félautomatikus kiértékelése, Cursor-On-Surface üzemmód beállításai

különbségeket képes áthidalni [5]. Szélsőséges terepi magasságkülönbség esetében, például egy magas toronyház teteje mentén összeillesztett képrészleten a ház tetejéről az utcaszintre ugorva ezen eljárás nem ad értékelhető megoldást.

Mindkét program matching eljárással teljesen automatikus megoldást kínál a teljes képállományon lévő pontok terepi koordinátájának emberi beavatkozás nélküli kimérésére. A programok működését különböző paraméterek beállításával lehet befolyásolni. A következőkben néhány kiemelt, legfontosabbnak tartott paramétert és azoknak az illesztés kimenetelére gyakorolt hatását mutatjuk be.

A két program automatikus pontmérési eljárásainak főbb beállítási lehetőségeit az 1. táblázat foglalja össze.

LPS	Z/I ImageStation		
Paraméter neve	Leírása	Paraméter neve	Leírása
Search size X	Az illesztendő képen vizsgált illesztési tartomány bázis (x) irányban	Parallax bound	Az illesztendő képen vizsgált illesztési tartomány bázis (x) irányban
Search size Y	Az illesztendő képen vizsgált illesztési tartomány haránt (y) irányban	Epipolar line distance	Az illesztendő képen vizsgált illesztési tartomány haránt (y) irányban
Correlation size (X, Y)	A pontokra fektetett kereső ablak mérete (x, y) irányban	Default	Alapértelmezett, nem definiálható érték
Correlation coefficient	A pont környezetében számított korrelációs együttható küszöbértéke	Default	Alapértelmezett, nem definiálható érték
Adaptive search	Illesztési tartomány alkalmazkodva változik	Adaptive parallax	Bázis irányú illesztési tartomány a domborzathoz alkalmazkodva változik
Adaptive correlation	Korrelációs ablak mérete alkalmazkodva változik	Adaptive	
Matching	Illesztés alkalmazkodva változik		
Adaptive coefficient	Korrelációs együttható alkalmazkodva változik		

1. táblázat Az automatikus képpont illesztés legfontosabb paraméterei [3, 6]

Vizsgálatunk során megfigyeltük, hogy a keresett pontra fektetett *kereső ablak mérete* jelentősen befolyásolja az illesztés kimenetelét. Mivel az ImageStation egy számunkra ismeretlen értéket vesz fel ezen paraméter esetében, ezért hatását csak az LPS programcsomagban tudtuk vizsgálni. Az LPS alapértelmezésben a pontok 7×7 pixelnyi környezetéből határoz meg hasonlósági értéket. Minél nagyobb (pl. 9×9) környezetet vizsgálunk a magas házakkal beépített belvárosi területen, annál alacsonyabb hasonlóságot, tehát annál kevesebb illeszthető pontot találunk mind a magasabban, mind a mélyebben fekvő városi objektumokon (*lásd hátsó belső borítóoldalon*). Az alapértelmezettnél kisebb méretű kereső ablakot nem érdemes vizsgálni, mert kisebb környezet vizsgálatánál nem kapunk megbízható hasonlósági értéket.

A keresőablak mértéhez hasonlóan a pontok hasonlóságát számszerűsítő *korrelációs együttható* küszöbértékét is változtathatjuk az LPS programcsomagban. Ez az ImageStation estében sajnálatos módon nem definiálható. Az LPS alapértelmezésben a 0,8-nál magasabb korrelációs együtthatójú pontokat tekinti azonosnak. Amennyiben ezen értéket növeljük, kevesebb pontot, amennyiben csökkentjük, több pontot fog azonosnak tekinteni.

A korrelációs együttható értékekből eredménykép is készülhet (DTM Point Status Output Image) a teljes illesztett területről, ahol 3 különböző osztály képviseli az 1–0,85; 0,85–0,7; 0,7–0,5 együttható intervallumot. Az eredményképből a gyengén illeszthető területek, mint például növényzettel borított felszínek, jól elkülönülnek.

Az eljárás második legfontosabb irányadó paramétere a vizsgált tartomány *bázis* (x), illetve *haránt* (y) *irányú* kiterjedése, ami az illesztett képen vizsgálandó pontok leválasztásának ad geometriai korlátot. A feldolgozás korábbi lépéseiben, az epipoláris képsorok előállításával a haránt irányú parallaxist minimalizáljuk. Optimális esetben az ez után fennmaradó haránt parallaxis értéke nem éri el az 1 pixelt. A vizsgált állományban ez 0,5 pixel volt. Következésképpen ezen tartomány változtatásával nem nagy különbség jelentkezik az illesztett pontok elhelyezkedésében.

Jelentősebb különbséget idézett elő a *bázis* (x) *irányú keresés* módosítása. Minél nagyobb bázis irányú parallaxis tartozik egy adott területhez, vagyis minél nagyobb magasságkülönbségek vannak a terep adott részén, annál nagyobb x irányú tartományban szükséges az illesztendő

pontok keresése. Az adott terepnek megfelelően érdemes ezen értéket úgy választani, hogy az a terep átlagos magassági változásának megfelelő bázis irányú távolsággal legyen megegyező. Az LPS alapértelmezésben 31 pixelen belül keres hegyvidéki, 7 pixelen belül pedig sík területen. Tapasztalataink szerint ezen értéket beépített városi környezetben 20 felett kell meghatározni. Ennél alacsonyabb keresés esetén a magas házak és utcák közötti magasságkülönbséget nem képes áthidalni. Az IS sík területen 4, hegyes területen pedig 15 pixelnyi parallaxis határt értelmez.

Mindkét szoftver lehetőséget kínál az előbb felsorolt, változtatható paraméterek dinamikus, az illesztési folyamat közben történő változtatására. Tapasztalataink szerint mindkét szoftver „adaptive” beállítása, mely a magasságkülönbségekhez való alkalmazkodást segíti, egyik esetben sem okozott nagy eltérést az illesztett pontok elhelyezkedésében, vagyis mind a keresési ablak méretének dinamikus változtatása, mind a korrelációs érték, illetve a bázis irányú parallaxis illesztés közbeni módosítása kis mértékben befolyásolja a magassági pontok automatikus kiértékelését.

A fejezetben leírt paramétereken felül további „külső” tényezők is befolyásolhatják az automatikus illesztés kimenetelét. Ilyenek például a légifelvétel méretaránya, a repülési magasság, a megvilágítási viszonyok, a bázis viszony, a szkennelési paraméterek, melyek a vizsgált felvételek esetében már nem befolyásolhatók, ezért ezek hatásainak vizsgálatától eltekintettünk.

4. Az automatikus pontmérés eredményei

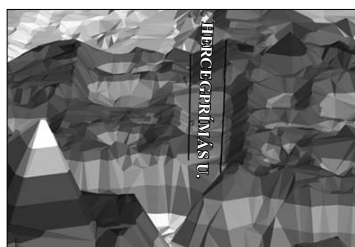
Automatikus illesztéssel, matching eljárással kapott terepi koordinátával rendelkező pontfelhő tulajdonságait összegezzük ebben a fejezetben. A két szoftver által számított pontok összehasonlításával megállapíthatjuk, hogy az ImageStation az automatikus illesztés során az objektumoknak a bázis irányára merőleges határoló vonalai mentén jelentős mennyiségű közös pontot mér. Beépített városi környezetben ez a háztetők, illetve a repülésre merőlegesen futó utcák határának jó modellezhetőségét adja. Ezzel szemben az LPS e határoló vonalaktól jobban eltérve, szórta pontfelhőt mér (2. ábra).

Jelentős nehézséget okoz mindkét szoftver használatakor, a sűrűn beépített magas házas, belvárosi környezetben a házak közötti utcákon történő illesztés. A manuális kiértékelés során is



2. ábra Az ImageStation (ponttal jelölve) és az LPS (X-szel jelölve) automatikus kiértékelés során kapott pontok elhelyezkedésének összehasonlítása

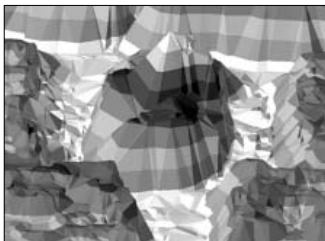
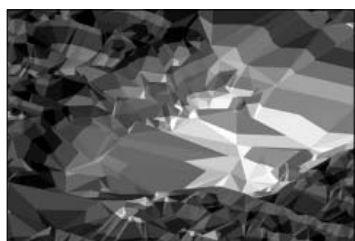
megfigyelhető, hogy az ilyen kis méretarányú légifelvétel esetén a házak tetejéhez képest nehéz a homogénnek tűnő utcák szintjén két vagy több képen azonos pontokat találni. Ennek eredményeként automatikus kiértékelés során a házak tetejé-



3. ábra Nehezen „belátható”, szűk, belvárosi utcák mentén kapott terepmodell és az utca látképe



4. ábra Növényzet által kitakart utcaszint illesztési nehézségei



5. ábra Bazilika automatikus matching eljárással kinyert modellje. A bal képen az ImageStation által, középen az LPS által mért pontokra illesztett felület látható.

nek magasságában viszonylag sok pontot kapunk, a köztük húzódó utcán és annak magasságában szinte alig talál az eljárás illeszthető pontot. Tehát az utcákban is a tetőre jellemző magasságot fogja eredményezni az utca szintjén talált pontok hiányában. Ez a pontokra történő felület illesztése során hangsúlyosan megjelenik (3. ábra).

A terepmodellezés szempontjából további nehézséget okoz, hogy a szűk utcák mentén, sok helyen – a fás beültetés miatt – optikai távérzékelési módszerekkel nem „látunk be” a növényzet alatt fekvő, ezáltal kitakart utcaszintre (4. ábra). Ilyen területeken téli, lombnélküli felmérésből származó felvételezés segíthetne az utca szintjén történő magasságmérésben. Így a nyáron készített mintaállomány feldolgozása során ilyen esetben az utca felett, a fák lombkorona szintjén kaptunk illesztett pontot.

Érdekes különbséget adott a két feldolgozó program a Bazilika épületének és környékének automatikus magasság modellezésekor, ahol a nagy magasságkülönbség, vagyis a nagy bázis irányú parallaxis okozott nehézséget (5. ábra).

Az ImageStation a feldolgozás során rosszul illesztette a kupolán és a tornyain lévő pontokat, emiatt az előmetszés során helytelen magassági értéket adott az illesztett pontokra, következésképpen az épület nem emelkedett ki környezetéből. Ezzel szemben az LPS viszonylag jól illesztette a főkupolát, és egy viszonylag jó modellt kaptunk automatikus eljárással az épületről. A főbejárat mellett lévő két kisebb torony mentén azonban az LPS sem talált közös pontot. A kupola és az utcaszint között húzódó nagy magasságkülönbségből adódó nagy bázis irányú parallaxis



miatt nehéz a hasonló épületek automatikus modellezése.

Összegezve elmondható, hogy az ImageStation adott területen több illeszthető pontot talál, de a pontokra fektetett felület futása kihangsúlyozza ezen pontok magasságának a felszín objektumait nem követő, durva szóródását. Végeredményben zilált lefutású felületet kapunk. Ezzel szemben az LPS által mért pontokra illesztett felület futása nyugodtabb, a kapott magasságmodell jobban közelíti a valós környezetet.

5. Szórt pontokra illesztett felület

A háromdimenziós pontok meghatározásának végső célja általában a vizsgált terület felületének reprodukálása. A matching-ből kapott szórt, nem szabályos elrendezésű pontokra valamilyen módszerrel felületet szeretnénk illeszteni (surface reconstruction). Erre mindkét kiértékelő program több módszert és több struktúrát kínál fel; választásunkat mindig a végcél, a későbbi felhasználás határozza meg.

Mindkét szoftver egy 3D felszínmodellt generál a szórt ponthalmazból. Első lépésként a felzint egy háromszög lapokból álló szerkezettel, a TIN (Triangulated Irregular Network) modellel közelíti. A háromszögek elrendeződését a Delaunay-féle háromszögelés szabályait követő algoritmus határozza meg, ahol a térbeli pontjaink 2D-s, X–Y síkbeli vetületén osztja ki a háromszögeket. A kiosztás szempontjai: az oldalhossz-különbségek minimálisak legyenek, minél nagyobb legyen a legkisebb belső szög, a háromszög köré írt kör sugara legyen minél kisebb, és természetesen a háromszögek nem metszhetik egymást. E kritériumokból láthatjuk, hogy a szórt pontokra illesztés esetében a struktúra kialakítására nincs különösebb befolyásunk.

Természetesen további kényszerítő elemek bevitelére lehetőség van, ha a pontjaink mellett egyéb felmérésekből származó szerkezeti elemeket is meghatározunk. Esetünkben például az utcaszint magasságában húzódó épület alaprajza meghatározhatná az érintett háromszögek egy oldalát, és megakadályozná két szomszédos ház tetejének összekötését, mely a szűk utcák esetén gyakran előforduló probléma. Erre ad lehetőséget az ImageStation „use breakline” funkciója.

A TIN modell síklapokkal határolt háromszögeként a legegyszerűbb, csupán nulladrendű folytonosságot biztosító változat. Ezért további interpolációs lehetőséget kínál mindkét program, alapul

véve a számított TIN modellt. A felszínmodell struktúráját tovább módosíthatjuk (szabályos rács vagy raszter szerkezet); interpolációs lehetőségek egész tárházából válogathatunk. E módszereket a fotogrammetriai kiértékelés után a Surfer és az ArcInfo programok segítségével alkalmaztuk. Első vagy másodrendű illeszkedésű háromszögfelületekre (azaz az érintő, illetve a görbület is folytonos az illeszkedéseknél) számíthatjuk a keresett pontokat, vagy segítségül hívhatjuk a véges elemek módszerét, a splineokat, de akár „krigelhetünk” is.

6. Összefoglalás, konklúzió

Összefoglalóan elmondható, hogy sűrűn beépített városi környezetben automatikus terepmodellezéssel nehéz az utcák magassági szintjén megfelelő mennyiségű pontot illeszteni. Az illesztés állítható paraméterei közül a pont környezetét definiáló korrelációs ablak mérete van legnagyobb hatással az elért eredményre. Az utcák illesztési nehézsége mellett jelentős akadályt jelentenek a növényzet által okozott kitakarások. A jövőben tervezzük az automatikus digitális terepmodell előállításának vizsgálatát nagyobb méretarányú légifelvételek felhasználásával, városi környezetben.

Köszönetnyilvánítás

Ezúton szeretnénk a szerzők köszönetüket kifejezni a Földmérési és Távérzékelési Intézetnek, amiért oktatási és kutatási célból térítésmentesen rendelkezésükre bocsátotta a vizsgálataik során felhasznált légifelvételeket.

Digital Terrain Model Generation in Build-up Area with Automatic Photogrammetric Procedures

*Kugler, Zs. – Barsi, Á. – Mélykúti, G. –
Ládai, A. D.
Summary*

We can conclude that the matching of aerial image points for automatic elevation measurements on the surface of road network in dense build-up area is difficult. Among the user-defined geometric restrictions correlation window size has the greatest impact on the matching process. Further matching difficulties to perform elevation measurements on the road surface are related to the

consequence of optical remote sensing where vegetation like large trees covers the surface. Our future aim is to test automatic digital terrain modelling in build-up area using larger scale aerial images.

Mit automatischen photogrammetrischen Verfahren erstellten digitalen Geländemodellen im städtischen Gebiet

*Kugler, Zs. – Barsi, Á. – Mélykúti, G. – Ládai, A. D
Zusammenfassung*

Zusammenfassend kann bemerkt werden, dass sich die automatische Geländehöhenmessung mit matching Verfahren über Straßen innerhalb dicht bebauter Gebiete als schwierig erweist. Die Größe der Korrelationsfenster hatte den größten Einfluss auf dem Arbeitsablauf. Weitere Schwierigkeiten ergaben sich aus der Überdeckung des Straßennetzwerkes durch größere Bäume. Um bessere Ergebnisse zu erreichen, werden als nächstes Luftbilder höherer Auflösung für die automatische Geländehöhenmessung getestet.

IRODALOM

- [1] *Barsi Árpád–Kugler Zsófia–Mélykúti Gábor–Mészöly Tamás: Az automatikus fotogrammetriai tájékoztató lehetőségeiről? Geodézia és Kartográfia LVI. évfolyam, Budapest, 2005/10*
- [2] *Kugler Zsófia–Ládai András Dénes–Barsi Árpád: Digitális magasságmodellek összehasonlítása városi környezetben, Geodézia és Kartográfia LVI. évfolyam, Budapest, 2004/10, o. 10–15*
- [3] *Z/I Imaging Corporation: ImageStation, Automatic Elevations (ISAE), User's Guide, 2004*
- [4] *Leica Geosystems: Leica Photogrammetric Suite, Stereo Analyst, User's Guide, Atlanta*
- [5] *Z/I Imaging Corporation: ImageStation Digital Mensuration (ISDM) User's Guide, Madison, 2004*
- [6] *Leica Geosystems: Leica Photogrammetric Suite, OrthoBASE, User's Guide, Atlanta*
- [7] *Kraus, K., et al.: Fotogrammetria, Alapok és általános módszerek, 1998, Tertia Kiadó, Budapest*
- [8] *Förstner, W.–Gülch, E.: A Fast Operator for Detection and Precise Location of Distinct Points, Corners and Circular features. In Proceedings of the Intercommission Conference on Fast Processing of Photogrammetric Data, Interlaken, 1987, o. 281–305*
- [9] *Winkler, P.: „Magyarország légifényképezése 2000” Geodézia és Kartográfia LIII. évfolyam, Budapest, 2001/7*
- [10] *Schnek, T.: Digital Photogrammetry Volume 1, Background, Fundamentals, Automatic Orientation Procedures, 1999, Terra-Sciences*

HELYREIGAZÍTÁS

Folyóiratunk 2005/10. számának 38–40. oldalain szereplők születési és halálozási évszámainak helyes adatai a következők: Eötvös Loránd (1848–1919), Fasching Antal (1879–1931), Fényes Elek (1807–1896), Karacs Ferenc (1770–1838), Kiss Lajos (1922–2003), Petzelt József (1805–1850), Tárczy-Hornoch Antal (1900–1986), Vásárhelyi Pál (1795–1846). A kézirat gépelésében előfordult hibákért a szerző elnézésüket kéri.

Karsay Ferenc