

Digitális domborzatmodellek ellenőrzési módszerei

*Dr. Engler Péter - Jancsó Tamás**

Bevezetés

A digitális domborzatmodellek (DDM) ellenőrzési módszereit több szempontból csoportosíthatjuk. Mi most az előállítási módok közül két nagy csoportot emelünk ki és különböztetünk meg:

1. DDM előállítása topográfiai térképek szintvonalainak digitalizálása (vektorizálása) alapján
2. DDM előállítása sztereo-fotogrammetriai módszerrel

Ezen előállítási módokon belül különböző módszerek állnak rendelkezésre a DDM ellenőrzésére. Magáról a DDM-ről megemlíjtük, hogy legtöbbször diszkrét pontok halmazával közelítjük a teljes terepet, ahol a szükséges közbülső pontokat interpolációval számítjuk ki. A megfelelő DDM kiválasztásakor két szempontot kell mindenekelőtt figyelembe vennünk: a pontsűrűséget és maguknak a DDM pontoknak a pontosságát.

Reprezentációs modellek

Mielőtt a részletes tárgyalásra rátérünk, tekintsük át röviden a DDM reprezentációs modelljeit.

A domborzatmodellek reprezentációjakor megkülönböztetünk raszteres és vektoros modelleket, attól függően, hogy a DDM pontjait egy raszteres képen vagy egy vektoros objektumokból álló adathalmaz alapján reprezentáljuk [Aranoff 1995, Czimmer 2000, Detrekői-Szabó 2002, Markó 2003, Márkus-Végső 2004]. A raszteres modellnél az adatmodellt felépítő elemi pixelek egy-egy adott területet fednek le. A pixelek értékei tematikus kódként a terepi magasságokat fejezik ki. Georeferenciaként az adatmodellhez tartozik még a pixelek által lefedett összterület és a raszter egy előre definiált pixelének (általában a bal felső) koordinátái az adott vetületi rendszerben.

Ha a vektoros modellnél a digitális domborzatmodellt (DDM) a terepfelszín célszerűen egyszerűsített másának tekintjük, akkor meg kell különböztetni elsődleges és másodlagos pontokat [Czimmer 2000, Markó 2003, Márkus-Végső 2004]. Az elsődleges pontok a terep valamely kiválasztott pontjára, mint támpontra vonatkoznak. Ezen pontok közé iktatott pontok, mint másodlagos pontok magasságát már interpolációval határozzuk meg.

Az elsődleges pontok eloszlása szerint megkülönböztetünk szabályos (pl. négyzet, háromszög), strukturált (pl. szintvonal, idomvonal, profil) és véletlenszerű modelleket.

A DDM pontosságát több szempontból is lehet vizsgálni attól függően, hogy az összevetés a DDM előállítási forrásával vagy független ellenőrző mérésekkel történik. Ezen belül szétválaszthatjuk a pontosságvizsgálatot aszerint is, hogy a DDM elsődleges vagy másodlagos (interpolált) pontjaira vonatkoztatjuk.

* NYME Geoinformatikai Főiskolai Kar, Fotogrammetriai és Távérzékelési Tanszék
8000 Székesfehérvár, Pirosalma u. 1-3.

GRID modell pontossági vizsgálata

A leggyakoribb, a GRID elrendezésű DDM pontossági vizsgálata legegyszerűbben ellenőrző mérésekkel vizsgálható. Ennek során független (általában geodéziai) mérésből pontosan ismert magasságú pontokat vetünk össze a DDM-el. Az eltéréseket maradék hibaként értelmezve kiszámíthatunk egy átlagos négyzetes középhibát (1.). Minél több pontot vonunk be az ellenőrzésbe, annál jobban a valós helyzetet fogja tükrözni a kapott középhiba.

$$m_Z = \sqrt{\frac{\sum dZ_i^2}{n}} \quad (1.)$$

Ahol:

dZ_i : DDM magassági hibája az i -k ellenőrző ponton

n : az ellenőrzésbe bevont pontok száma

Közelítő megbízhatósági értéként megadhatjuk a DDM előállításához felhasznált elsődleges pontok meghatározási középhibáját is, ugyanakkor tudnunk kell, hogy a GRID előállítása során alkalmazott interpolációs eljárás a hibákat szétkeni és valamilyen simító függvény szerint elosztja (elsősorban a pont környezetében). Ebből következően a DDM várható hibájára pontosabb eredményt kapunk, ha az elsődleges pontok magassági hibája mellett figyelembe vesszük a terep típusát és a rácsháló sűrűségét (2.) [Höhle 2003].

$$m_{DDM}^2 = m_Z^2 + m_{Terep}^2 \quad (2.)$$

A rácsháló ΔX sűrűségéből következő m_{Terep} hatás egy adott típusú terepnél empirikus úton közelíthető. Pl. sík, enyhén lankás terepen a következő tapasztalati képlet adódik:

$$m_{Terep}^2 = 1.9 \cdot 10^{-4} \cdot (\Delta X)^{1.5} \quad (3.)$$

Pl. egy $m_Z = 0.5$ m mellett egy $\Delta X = 50$ m-es rácssűrűséget feltételezve $m_{DDM} = 56$ cm értéknek adódik.

Digitális domborzatmodell előállítása szintvonalak digitalizálásával

A DDM előállításának a gyakorlatban is gyakran alkalmazott módszere, amikor meglévő térképművek (topográfiai térképek) szintvonalrajzait digitalizáljuk. A következő részben e módszer során felmerülő vizsgálati és ellenőrzési szempontokat egy konkrét technológiai folyamaton keresztül követhetjük nyomon.

A vektorizált magassági adatok alapján előállított digitális domborzatmodellek pontossága több tényezőtől függ:

- a magassági adatok pontossága,
- a digitalizálási módszer pontossága,
- a DDM előállításához felhasznált szoftver,
- a DDM pontosítására kidolgozott módszerek.

A Karunkon két korábbi kutatási munka is foglalkozott részben az 1 : 10 000 méretarányú topográfiai térképek domborzatának ellenőrzésével, részben az előzetes digitális domborzatmodellek adatállományának megjavításával a síkrajzi fedvényen ábrázolt magassági adatok (töltés, bevágás, horhos, kótált pontok stb.), valamint kiegészítő mérések felhasználásával.

Az első esetben a vizsgálat célja a jellemző domborzati alakzatok mintavételes bemérése és a domborzat belső ellentmondás mentességének ellenőrzése volt. A vizsgálatához szükséges terepi méréseket GPS-sel hajtottuk végre, míg a BME Fotogrammetria Tanszékén ugyanilyen vizsgálatához sztereofotogrammetriai módszert alkalmaztak. A vizsgálatok és mérések számszerű adatai, eredményei már több alkalommal ismertetésre kerültek [Busics Gy., Engler P. 2000.; Márkus B.-Engler P.-Busics Gy. 2003.], így most csupán összegző megállapításként elmondhatjuk, hogy a domborzatábrázolás megbízhatósága a térképmű egészére nézve – függetlenül a domborzat jellegétől - sokkal egységesebb, mint azt korábban feltételeztük, a középhibák nem érik el a szabályzatokban megengedett értékeket.

Munkaterületi egység	Eltérések átlaga (eltérések előjeles értékéből számított átlag) [m]	Átlagos eltérés (eltérések abszolút értékéből számítva) [m]	Szórás [m]
2003. évi teljes terület	-0,37	0,34	0,44
2000. évi teljes terület	-0,34	0,47	0,60

Mind a GPS-es, mind a sztereofotogrammetriai mérési módszereknek vannak előnyei és hátrányai.

Példaként a GPS mérések előnyei és hátrányai:

Előnyei a jelen feladatnál:

- A vizsgálati pontok viszonylag gyorsan és kényelmesen meghatározhatók.
- Egyidejűleg megkapjuk a vizsgálati pontok vízszintes helyzetét és magasságát, néhány cm-es pontossággal. Bár nem volt feladat, de ezáltal a síkrajzi elemek helyzete is vizsgálható.
- Egy-egy referenciapont viszonylag nagy, 10-15 km-es sugarú munkaterületet tud kiszolgálni, amelyen egyidejűleg több mérőkocsi vagy mérőszemély közlekedhet.
- Rendelkezésre áll az országos GPS hálózat, amelynek alapján néhány cm-re megbízható, EOMA rendszerű magasságai számíthatók a pontoknak.

Hátrányai a jelen feladatnál:

- Csak nyílt terepen használható, ami korlátozza a vizsgálati pontok felvételének helyzetét (erdős területek, fasorok nem mérhetők).
- A mérési útvonal lényegében egy hossz-szelvény felvételét jelenti, a teljes terepfelület szintvonalrajza csak ideális esetben, a teljes terepfelszín bejárásával hozható létre.
- Utakon való haladás esetén, az esetleges töltések bevágások mértékét figyelembe kell venni.
- A gépkocsival nem megközelíthető meredek, vagy szabdaltszerű területek csak gyalogosan járhatók be, ami lassítja a munkát.

Konkrét feladat esetében a terület nagysága, a fedettsége, a mérendő pontok mennyisége lehet a megfelelő módszer kiválasztásának szempontja. A nagyterjedésű változások felmérésére vagy analitikus, vagy digitális fotogrammetriai technológia javasolt.

A második feladatnál a cél a földmérési topográfiai térképek vektorizált domborzati tartalmából előállított digitális domborzatmodell előállításának és minőségi ellenőrzése és a domborzatmodell pontosításának lehetséges megoldásainak kidolgozása volt.

A domborzatmodell előállításához a következő alapanyagokat álltak rendelkezésére:

- az EOTR rendszerű topográfiai térképek domborzati fedvényeinek raszteres állományai georeferenciával ellátva *.tif formátumban,
- Az EOTR rendszerű topográfiai térképek domborzati fedvényeinek vektoros állományai *.dgn formátumban.

Az ellenőrzéshez

- EOTR rendszerű topográfiai térképekből előállított domborzati modellek,
- GPS ellenőrző mérések eredményei.

A domborzat modell pontosításának érdekében további, a síkrajzi raszteres adatbázisokban előforduló elemosztályok képernyő-digitalizálására került sor.

Pont típusú: Kótált pontok és magasságaik

Interpolált pontok és magasságaik

A domborzatmodell pontosításának érdekében minimalizálni kell a TIN modell előállításából adódó síkfelületek számát. Ennek érdekében, ahol a szintvonalak öblözetet alakítanak ki, az öblözetekbe kótált pontok interpolálására került sor, a vektoros szintvonalrajzolat, valamint a raszteres topográfiai térkép együttes használata segítségével. A több lépcsős interpolálás a TIN modell alapján előállt síkfelületekre és az eredeti szintvonalrajzolatra digitalizált pontok felrakásával készült, melyek az új TIN modell generálásába felhasználásra kerültek. A digitalizálás a szintvonalak között lineáris interpolációval készült. A szükséges interpolálási helyek kiválasztása az eredeti TIN modellen kimutatásra került síkháromszög helyek alapján készült. Az interpolálási folyamat a síkháromszögek minimalizálásáig folytatódott. Az interpolációra több lépcsőben (általában 4) került sor, amelynek során az újabb interpolációs helyek kiválasztására a flat háromszögek elhelyezkedéséből következtettünk klasszikus térinformatikai elemzéssel. Az interpoláció eredményeként a domborzatmodell különösen a keskeny völgyekben illetve a visszahajló szintvonalak körül javult nagymértékben.

Az eredeti szintvonalakból 2 és 5 méteres tolerancia megadásával új szintvonal rajzolatok kerültek generalizálásra, a TIN modell előállításakor létrejövő háromszögek minimalizálása érdekében.

A raszteres modelleket több féle módon vizsgáltuk. Statisztikai elemzéssel hisztogramokat állítottunk elő az egyes magassági értékek statisztikai előfordulásának függvényében. A hisztogramokon látható túszerű kiugrások domborzat modell anomáliát jelenthetnek, ugyanis az adott magassági érték túl gyakori előfordulása síkfelületet jelent. A valóságban viszont a terepfelületen előforduló síkok száma minimális.

A FÖMI-től kapott rácshálóból kivonásra kerültek az általunk előállított rácsok, amelyekből szintén hisztogramok készültek a magassági eltérések bemutatására.

A terepen végzett GPS mérések pontjait ráillesztettük a raszteres domborzat-modellre, a modelltől átvett magasságok bilineáris interpolációval kerültek beírásra a pontszerű fedvénybe.

A bilineáris interpoláció során a rácspontok magassági értéke a rácsközéppontra kerül definiálásra, a köztes helyekre pedig a magassági értékek távolságarányosan interpolálódnak. A GPS mérésből meghatározott magasságok és a domborzatmodellről az adott pontba átvett magassági eltérések kerültek kimutatásra.

DDM ellenőrzési lehetőségei a sztereofotogrammetriában

Ha a DDM előállítását fotogrammetriai kiértékeléssel végezzük, akkor szükségünk van a kívánt terepi részletet lefedő sztereoképpárra. A belső és külső tájékozás elvégzése után erre alkalmas programmal elvégezhetjük a DDM pontok manuális mérését sztereoszkópikus irányzással. A kiértékelést végezhetjük analitikus műszeren vagy digitális fotogrammetriai munkaállomáson. A sztereoszkópikus irányzás digitális fotogrammetriai munkaállomások esetében automatizálható különböző sztereokorrelációs eljárásokkal.

A korrelációs eljárások közös jellemzője, hogy a homológ pontpárok keresése képrészletek (korrelációs képmatrixok) segítségével történik. A képrészletek összehasonlítása történhet az eredeti képkoordináta rendszerben vagy - az eredeti képpárból a normál sztereogramm előállítása után - a normál helyzetű képeken és végül megvalósítható az összehasonlítás az ortofotó raszteres terében is [Czímber 2000], ekkor a kiértékelési folyamatba beépül magának az ortofotónak az előállítása is. A korrelációs képmatrixon kívül az összehasonlítás önállóan vagy kiegészítésképpen történhet alak- és topológia felismeréssel is. Ekkor a képen az összetartozó pontok alakzatba rendezését (vonal, vonallánc) megelőzi az érdeklődési operátorok szerinti kijelölés, ami tovább növeli a korreláció robusztusságát.

A legtöbb program a raszteres korrelációs mintamatrixot alkalmazza és az alábbi vagy ehhez hasonló kereszt-korrelációs együttható képletet használja [Höhle 2003]:

$$\rho = \frac{\sum_{r=1}^R \sum_{c=1}^C (g_1(r,c) - \mu_1)(g_2(r,c) - \mu_2)}{\sqrt{\sum_{r=1}^R \sum_{c=1}^C (g_1(r,c) - \mu_1)^2 (g_2(r,c) - \mu_2)^2}} \quad (4.)$$

Ahol:

g_1 - a célterületen lévő pixel szürkeségi értéke

g_2 - a keresési területen lévő pixel szürkeségi értéke

r, c - sor, oszlop index

μ_1, μ_2 - szürkeségi értékek átlaga a cél- és keresési területen

R, C - a mintaterület sorainak és oszlopainak száma

Az autokorrelációval végzett DDM előállítása nem ad 100%-os megbízhatóságú eredményt, ezért, ha van rá lehetőség és a kiértékelő program támogatja, akkor érdemes a korrelációs képet is elkészíteni, ami alapján láthatóvá válnak a gyengén korreláló helyek, ahol fokozottabb utólagos ellenőrzés igényeltetik. A másik fő problémaforrás a homogén (víz, szántó, erdő, homokos területek, nagy kiterjedésű utak, repülőterek) területek automatizált kiértékelése. Ezeken a helyeken a korrelációs eljárások tévesztenek és hibás magassági modellt eredményeznek. Az ilyen természetű hibák kivédésére szokás alkalmazni a maszkolási eljárást, vagyis ezeket a területeket kirekesztik a korrelációs eljárásból. Ez a módszer akkor hatásos, ha egybefüggő területekről van szó és azok magassága kevés számú magassági értékkel utólag megadható. A másik lehetőség ilyen jellegű hibák csökkentésére az utólagos szűrő és domborzat simító eljárások közbeiktatása.

Általánosságban megállapítható, hogy az így elkészült DDM modell utólagos manuális ellenőrzése, kiegészítő mérések elvégzése elkerülhetetlen. Látványosan javítható az

eredmény, ha a korrelációs folyamat elvégzése előtt már rendelkezünk magassági értékekkel fontos tereprészletek leírására (pl. hegycsúcs, úthálózat, töltések).

A digitális fotogrammetriai munkaállomásokon autokorrelációval előállított DDM ellenőrzési módszereinek kidolgozása napjainkban aktív kutatási témának számít. Érdekes és ötletes megoldás az ellenőrzésre, ha a létrejött DDM alapján előállítjuk a kiértékelés során használt sztereoképár bal és jobb képére külön-külön az ortofotókat [Höhle-Potuckova 2003] ugyanahhoz a terepi ponthoz tartozó képpontok között nem lehet x irányú parallaxis, más szavakkal az összetartozó pontoknak a képsíkon fedésben kell lenniük. Ezen parallaxisok mérését automatizálni lehet a 4. képlet segítségével vagy más autokorrelációs eljárással. Ahhoz, hogy biztosabb legyen a hibás pontok kiszűrése a korrelációs eljárást szubpixeles tartományban is el kell végeznünk a legkisebb négyzetek módszerével. Ha a kapott korrelációs együtthatóra egy minimálisan szükséges egy küszöbértéket kötünk ki, akkor így a hibás mérésből származó DDM pont kiszűrhető. Ugyanakkor az alacsony korrelációs együttható nem minden esetben jelent hibás mérést. Ahhoz, hogy csökkentsük a tévesen megállapított hibás pontok számát további két paramétert kell még a döntési folyamatba bevinni. Az egyik paraméter az autokorreláció során alkalmazott korrelációs mátrixok (minták) közötti kölcsönös információmennyiség (MI), ami tulajdonképpen a részletgazdagságra vonatkozó információ mennyisége. A másik paraméter pedig a képek közötti távolság (d), mely tulajdonképpen a kontrasztkülönbséget jelenti. Ezen paraméterek alapján a korrelációs együtthatók egymáshoz képest normalizálhatók és a kizárési küszöbérték dinamikusan változik az MI és d függvényében.

A korreláció során számított dX parallaxiskülönbség dh magassági hibát eredményez a terepen. Ez a hiba a következő képlettel közelítően számítható:

$$dh \approx \left(dX \cdot \frac{h}{b} \right) + \left(dX \cdot \frac{h}{b} \right)^2 \cdot \frac{1}{h} \quad (5.)$$

Ahol:

dX - parallaxiskülönbség

h - repülési magasság

b - felvételi bázis

A képlet második tagja az elsőhöz képest elhanyagolható nagy repülési magasságoknál. Például ha $h=3.8$ km a második tag mindössze 0.1 m körüli, ha a dh hiba legalább 19 m.

Összefoglalás

A szintvonalak digitalizálásából nyert DDM minőségének vizsgálatok szerzett tapasztalatok alapján összegzésként megállapítható, hogy az előállított domborzatmodellek minőség javulása nem az alapadatok minőségi különbségéből adódik, hanem a térinformatikai alapszoftverek nyújtotta elemzési lehetőségek kihasználásából, mint a kialakuló flat háromszögek helyzetének meghatározása és számának csökkentése. Tapasztalataink szerint a TIN modellezés esetén a domborzatmodellek minőségének javulása alapvetően a kialakuló „flat” háromszögek számának csökkentésétől függ. A „flat” háromszögek elsősorban az éles, illetve keskeny talpú völgyekben alakulnak ki, de hullámos szintvonalak mentén is teraszokat alkotnak. A domborzatmodell pontosításának ára viszont, hogy négyzetkilométerenként mintegy 200-500 pontot kell négy lépcsőben interpolálni, négyzetkilométerre vetített időtartama 4 munkaóra és az interpoláció a térinformatikai elemzésen túl topográfiai

térképolvasási szakértelmet is igényel. A feladat precíz és körültekintő végrehajtása a bemutatott elemzésekben látható minőségjavulást eredményez. Hatékony minőségjavító intézkedés a szelvényeken található egyéb topográfiai elemeknek magassági értékkel való ellátása és a domborzatmodellbe bevonása. Ez a vizsgált szelvényeken mintegy 15 %-os javulást eredményezett.

Irodalom

Aranoff, S. 1995. Geographic Information Systems: A management perspective, WDL Publications, Ottawa, Canada, 103-187 pp.

Czímber K. 2000. Korszerű geoinformatikai módszerek az erdészetben, Doktori értekezés, Sopron, 87 p.

Busics Gy., Engler P. 2000. 1:10000 méretarányú földmérési topográfiai térképek domborzati tartalmának pontossági vizsgálata, Zárójelentés, NYME FFFK

Detrekői Á., Szabó Gy. 2002. Térinformatika, Nemzeti Tankönyvkiadó, Budapest, 88-212 pp.

Höhle, J. 2003. Automatic Georeferencing of aerial images by means of topographic database information, Aalborg University, Aalborg, 41 p.

Höhle, J., Potuckova M. Automated quality control for orthoimages and Dems, Aalborg University, Aalborg, 14 p.

Markó G. 2003. Digitális felületmodellek és felhasználásuk az erdőgazdálkodásban, szigorlati dolgozat, Sopron, 23 p.

Márkus B.-Engler P.-Busics Gy. 2003. Digitális domborzatmodellek vizsgálata és javítása, Zárójelentés, Nyugat-Magyarországi Egyetem, Geoinformatikai Főiskolai Kar

Márkus B., Végső F. 2004. Térinformatika (jegyzet), NYME Geoinformatikai Főiskolai Kar, Székesfehérvár, 65-87 pp.