

ÉVFOLYAM
Volume

I

1998

**G E O M A T I K A I
K Ö Z L E M É N Y E K**

Publications in Geomatics

SZERKESZTŐ
Editor

ZÁVOTI J, BÁNYAI L, PAPP G

Geomatika a geodézia elméletében és gyakorlatában
Továbbképző szeminárium
Sopron, 1998. október 29-30.

HU ISSN 1419-6494

MTA GEODÉZIAI ÉS GEOFIZIKAI KUTATÓINTÉZET, SOPRON

Geomatikai Közlemények

Publications in Geomatics

kiadja az

MTA GEODÉZIAI ÉS GEOFIZIKAI KUTATÓINTÉZET

9400 Sopron, Csatkai E. u. 6-8. Pf. 5.

tel.: 99 – 314-290 fax.: 99 - 313-267

felelős kiadó

Varga Péter

igazgató

szerkesztő

Závoti József, Bányai László és Papp Gábor

technikai szerkesztő

Karner Ani

készült a

LÓVÉR PRINT Kft. nyomdájában

9400 Sopron, Ady Endre u. 5.

tel.: 99 - 329-977

megjelent 100 példányban
Sopron, 1999

HU ISSN 1419-6494

GEOMATIKA A GEODÉZIA ELMÉLETÉBEN ÉS GYAKORLATÁBAN

Továbbképző szeminárium
Sopron, 1998 október 29-30.

szervezte:

MTA Geodéziai és Geofizikai Kutatóintézet
MTESZ MFTTT Soproni Városi Szervezet
SE FFFK Térinformatikai Tanszék

Szervező bizottság:

Závoti József	zavoti@ggki.hu
Papp Gábor	papp@ggki.hu
Bányai László	banyai@ggki.hu
Márkus Béla	mb@geo.csbm.hu

Tartalomjegyzék

Geomatika - Bevezető előadás Ádám József	7
<i>Műszertechnika, GPS</i>	
Extenzométeres adatok megbízhatóságának növelése a műszerek egységes kalibrálásával Mentes Gyula	11
Elektrooptikai távmérők kalibrálása Bányai László	21
GPS mérések felhasználhatósága folyón átszintezéshez Dede Károly, Szűcs László	27
Az Országos GPS Hálózat geodéziai jelentősége Borza Tibor	37
Permanens állomás(ok) a hazai geodéziai gyakorlatban Kenyeres Ambrus	43
<i>Nehézségi erőter modellezése</i>	
A Föld pólusmozgásának idősor analízise Závoti József	49
A függővonal modellezése a tömegvonzási erőterben Papp Gábor, Benedek Judit	55
A gravimetriai geoidmeghatározások újabb eredményei Tóth Gyula	71
<i>Fotogrammetria, Térinformatika</i>	
Korszerű geodéziai és fotogrammetriai eljárások az építmény térinformációs rendszer adatbázisához Kis Papp László	81
Új utak keresése a helymeghatározásban Kádár István, Busics György	89
Mesterséges neurális hálózatok mint GIS függvények Sárközy Ferenc	109
A digitális fotogrammetria szerepe az automatikus geoinformatikai adatnyerésben Barsi Árpád	131
Térinformatikai feladatok és a gyakorlat objektum-orientált környezetben	

Németh András	141
Gondolatok a térinformatika oktatásról	
Márkus Béla	157
<i>Geomatematika</i>	
Átszámítások vonatkozási rendszerek között	
Bácsatyi László	163
A Monte-Carlo módszer	
Kalmár János	179
<i>Fractals in GIS</i>	
Introduction to fractal geometry	
Horváth R, Németh L, Szalay L, Závoti J	185
Scale dependence of cartometric and fractal line characteristic in cartographic line generalization	
Oleg Musin	189
Steps of automated line generalization	
Tanja Sobchuk	193

E l ő s z ó

A *Geomatikai Közlemények I.* szándékunk szerint egy olyan új sorozat első példánya, amely lehetőséget biztosít elsősorban magyar nyelven íródott tudományos igényű munkák megjelenésére. Célunk kiegészíteni a Geodézia és Kartográfia folyóirat által biztosított publikációs lehetőségeket, és a Geomatika folyóirat gyakorlati szempontból rendkívül fontos közleményeit.

A sorozat címének megválasztásával csatlakoztunk ahhoz az új világ jelenséghez, amely szakterületünk automatizálási törekvésein, és jelentős eredményein keresztül több egyetem tanszékének a névtábláját is átfestette. A geomatika általános értelmezése magában foglalja a modern adatgyűjtési, adatfeldolgozási és felhasználói rendszereket, ezért ez a sorozat a tágabb értelemben vett szakterületünk (Geodézia, Fotogrammetria, Távérzékelés és Térinformatika) teljes palettáját is átfoghatja.

A sorozat pénzügyi háttérét elsősorban az aktuális kiadványok témájában szervezett szemináriumok bevételéből, pályázati lehetőségekből és szakmai szponzorok hozzájárulásából kívánjuk előteremteni.

Első kiadványunk a "Geomatika a geodézia elméletében és gyakorlatában" című továbbképző szeminárium anyagát tartalmazza, amely a korábbi soproni rendezvények felújítását jelentette. Ezen kötetben megjelent tanulmányok tartalmáért – a konferencia – jelleg miatt – a szerzőkre hárul a felelősség. A jövőben szakmai lektorok segítségével törekedni fogunk a folyóirat szakmai színvonalának állandó emelésére. Szándékunk szerint ezt a rendezvényt két évente szeretnénk megismételni.

A kiadvány megjelenéséért köszönettel tartozunk a szeminárium résztvevőinek, előadóinak és kiállítóinak, valamint az **T 01263 OTKA** pályázat támogatásának.

a szerkesztők

GEOMATIKA - BEVEZETŐ ELŐADÁS

*Dr. Ádám József**

A geomatika kialakulása

A társadalom részéről egyre növekvő igény mutatkozik a *térinformatika (geoinformatika)* iránt. A térinformatika elmélete és a kapcsolódó korszerű technológia gyorsan fejlődik. Mivel a térinformatika eszközeivel a legváltozatosabb mérnöki feladatokat lehet megoldani, ezért a *térinformatikai alapú fejlesztések köre rohamosan bővül* (Detrekői és Szabó 1995).

A korszerű mérési technikák óriási mennyiségű mérési adatokat képesek szolgáltatni, melyek megfelelő kezelésére és feldolgozására a legújabb számítógépekre van szükségünk. Ezért igen fontos, hogy a geodéziai információkat a *földrajzi információs rendszerek* (Geographic Information Systems = GIS) keretében használjuk fel és hasznosítsuk. Így minden kétséget kizáróan a GIS alapvető fontosságú a földmérés és a geodézia területén, amely a *geomatika (geomatics, geoinformation systems)* elnevezés kialakulásához is vezetett.

A GIS alkalmazásában és fejlesztésében a nemzetközi szakmai szervezetek közül elsősorban a FIG (Földmérők Nemzetközi Szövetsége), az ICA (Nemzetközi Térképészeti Társulás) és az ISPRS (Nemzetközi Fotogrammetriai és Távérzékelési Társaság) területén járnak az élen. Az IAG (Nemzetközi Geodéziai Szövetség) területén is érdekeltek a GIS alkalmazásában.

A geomatika viszonylag új szakkifejezés, amely alatt a földrajzilag vonatkoztatott információ használatának, technológiájának és tudományának leírását értjük. A geomatika egyúttal magában foglalja a térbeli helyhez kötött információ kinyerésére, gyűjtésére, tárolására, elemzésére, megjelenítésére és terjesztésére vonatkozó ismeretek összességét is. A geomatika különösen értékes döntés-előkészítő és tervezési eszközzé válik, továbbá hatékonyan használják olyan eltérő területeken is, mint pl. a terepi felmérések, erdészet, tengeri erőforrások felmérése, önkormányzati szolgáltatások, stb.

Geomatika a felsőoktatásban

Geomatikával összefüggő felsőoktatás és továbbképzés valamint a geomatikai technológiák fejlesztésében már a múlt évtizedben több egyetem élenjárt, (pl. Kanadában a Calgary Egyetem, Laval Egyetem, New Bruswicki Egyetem), de öröndetes fejlemény, hogy az elmúlt évek folyamán térségünkben is lényeges előrelépés történt, így hazánkban is. Elég csak emlékeztetnem arra, hogy önálló *Térinformatikai Tanszék* működik a fehérvári főiskolán vagy, hogy a BME-n 1992 óta "*földmérő és térinformatikai mérnököket*" képezünk.

A kialakulóban levő geomatika (vagy geoinformatika) elnevezésű szakterület egyé-
síti magában a geodéziát, a földmérést, a fotogrammetriát és a kartográfiát információel-
méleten alapuló, egységes szemléletű mérnöki tudománnyá (*Geomatics Engineering*).
Ennek megfelelően már több egyetemen a jól ismert szaktanszékek nevükben is kifeje-
zésre juttatják a geomatika térhódítását, pl.

- a) Department of Geomatics Engineering
(University of Calgary, Canada),
- b) Department of Geodesy and Geomatics Engineering

(University of New Brunswick, Canada),

c) Department of Geomatics

(University of Newcastle upon Tyne, United Kingdom) és

d) Department of Geodesy and Geoinformatics

(Stuttgart University, Germany).

A Zürichi Műszaki Egyetemen (ETH, Svájc) pedig az 1998/99-es tanévvel vezették be a **geomatikamérnöki** (Geomatikingenieur) szak oktatását.

A szakmai felsőoktatással foglalkozó nemzetközi rendezvények eredményei alapján általános egyetértés van abban, hogy a *földmérő és térinformatikai mérnöki tevékenység és szaktudomány egységének (integritásának) megtartása céljából továbbra is alapvető szükség van elméleti geodéziai (felsőgeodéziai, matematikai és fizikai geodéziai, satellitageodéziai, geofizikai, stb.) ismeretek oktatására kellő kiméretben* (Vanicek et al. 1991, Ádám 1996). E vonatkozásban bizonyos ellentmondás érzékelhető. Ugyanis a tantárgyak száma, amelyet oktatni kellene, erősen növekszik az egyetemeken és főiskolákon, mivel a klasszikus tantárgyakat semmi esetre sem hagyhatjuk el. Ezzel szemben a tanulmányi időtartam nem növelhető.

Az alaptudományi törzsanyag (matematika, fizika, mechanika, stb.) továbbra is rendkívül fontos. A társtudományok oktatását (geofizika, geológia, tervezés stb.) célszerű megtartanunk, mert a *GIS-nek integráló szerepe van.* A GIS miatt nem kell lényegesen megváltoztatnunk a tantervet, hanem az egyes már meglévő tantárgyakba kell integrálnunk minél gyorsabban a GIS-re vonatkozó ismereteket az előbb említett integráló szerep miatt. A közgazdasági jellegű tantárgyak arányát célszerű a tanterven belül növelni, mert az üzleti szempontok oktatása rendkívül fontossá válik, mivel a GIS-nek egyre növekvő piaca van.

A térinformatika miatt a *vetülettan* és azon belül a kartográfia szemszögéből nézve az *optimalizáció* felerősödik, hiszen a számítógépek felhasználásával lehetőség van az adatbázisok átszámítására a célszerűségnek megfelelő optimális vetületi rendszerekbe. A geodéziai gyakorlat még hosszú ideig térképekkel és vetületi rendszerekhez kötött térképekkel (sőt egyre inkább digitális térképekkel) fog dolgozni - és úgy tűnik legalábbis Magyarország viszonylatában - a közel jövőben még nem lesz lehetőség arra, hogy térképektől és vetületi rendszerektől mentes információs rendszerek széleskörűen megvalósuljanak (Mihály 1998). Azonban még ebben az időszakban is szükség lesz olyan térképi anyagokra és geodéziai információknak képernyős megjelenítésére, melyeket a köznapi ember könnyen áttekint és megért.

Több európai ország felsőoktatási intézménye vonatkozó tantervének tanulmányozása és a mérnöki gyakorlat általános fejlődése alapján is általában megállapítható az, hogy a *GPS-technika alkalmazási körének bővülésével nő a geodézia szerepének fontossága is:* következésképpen a GPS-technika helyes és hatékony alkalmazása szükségessé teszi a geodéziai módszerek és eljárások mélyebb ismeretét más mérnöki tudományok területén is. A GIS/LIS-hez kapcsolódó ismeretek összességét a geodéziai programok részeként célszerű tekinteni, annak érdekében, hogy az adott alkalmazáshoz elengedhetlenül szükséges pontossági (minőségi) igényeket biztosítani lehessen.

A geomatika fejlődésével összefüggő egyes gyakorlati problémák

A geomatika előretörésével a geodéziai koordináták átszámításával összefüggő problémák sokasodnak. Egyre nagyobb számban társaságok és privát szakemberek is használják a geodéziai és földmérési szakemberek által létrehozott termékeket. Egyre többen

érdeklődnek (személyesen nálam is, még külföldről is) a magyarországi geodéziai vonatkozási rendszerről, a transzformációs paraméterekről és az alkalmazott vetületi síkkoordináta-rendszerekről. Sok felhasználónak azonban egyáltalán nincs ismerete a geodéziáról (vagy csak elég kevés van). Két fontos problémával találják magukat szemben:

- a) elég nehéz a szükséges megfelelő információkhoz hozzájutni,
- b) a kellő ismeretek hiánya miatt nem képesek azokat a buktatókat (hibalehetőségeket) elkerülni, melyek az esetleg talált leírásokban előfordulhatnak.

A hibalehetőségek egyik példája a 7-paraméteres hasonlósági transzformáció forgatási paramétereinek előjelével kapcsolatos, nevezetesen azzal, hogy a közzétett számszerű értékek előjele összhangban van-e a felhasználó által alkalmazott szoftverben levővel. A forgatási paraméterek nagyságától függően az ilyen típusú hibák több métertől akár néhány 100 m-ig is terjedő helyzeti hibát okozhatnak.

A térinformatika (geomatika, GIS) és az RTK/DGPS (valós idejű kinematikai GPS és differenciális GPS módszerek) előretörésével és rohamos fejlődésével egyre nő a nagy pontosságú (~1 m) igényekkel fellépő alkalmazások száma. Ez a körülmény növeli a helyes transzformációs eljárás alkalmazásának fontosságát. Ezért nagyon időszerű az, hogy a kapcsolódó témakört az MTA Geodéziai Tudományos Bizottsága is megvitatja az 1998. december 3-i ülésén (Borza 1998, Závoti 1998).

Mivel az említett problémakör európai szinten is jelentkezik, ezért az IAG EUREF albizottság technikai munkacsoportjának 1998. júniusi és októberi ülésén is foglalkoztunk a lehetséges megoldás kialakításával. Igény mutatkozik arra, hogy valamelyik európai geodéziai intézmény (valószínűleg a BKG, az IfAG utódja, Németország) szervezésében az *Internetre* kerüljön fel hozzáférhető formában az európai országok geodéziai vonatkozási rendszerére és a szükséges transzformációkra vonatkozó leírás az adatokkal, a használati utasítással, az elérhető felelős szakemberek nevével és címével, valamint részletesen kidolgozott mintafeladatokkal együtt. Egy hasonló, korábbi anyagról készített ismertetőt tartalmaz (Ádám 1993).

Hivatkozások

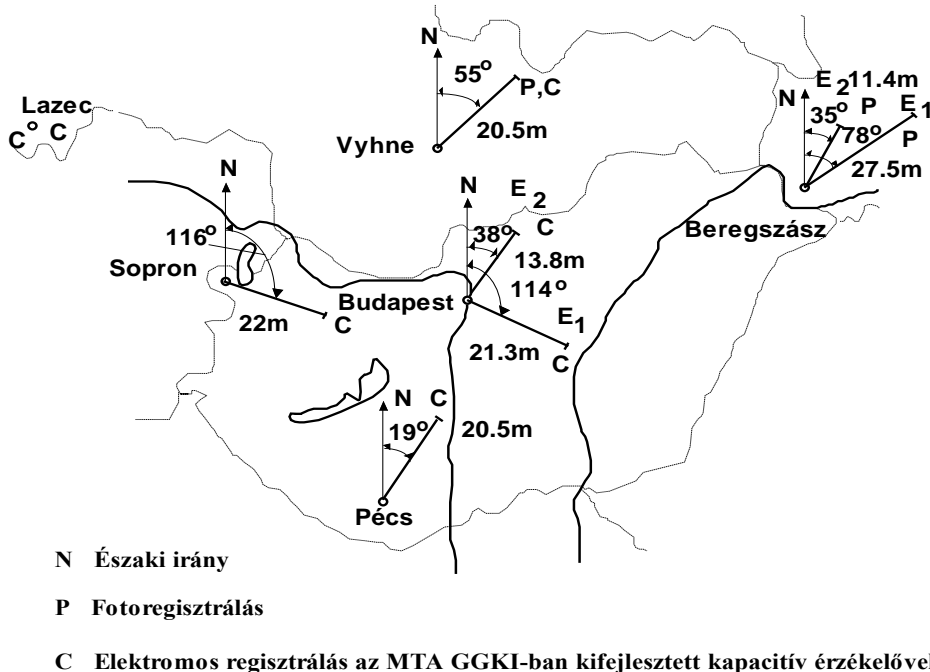
- Ádám J** (1996): The role of geodesy in the education of GPS and GIS/LIS. Reports on Geodesy, Inst. of Geod. and Geodetic Astronomy, Warsaw Univ. of Technology, 4, 43-46, Warszawa.
- Ádám J** (1993): Reference Systems in Europe (Geodéziai vonatkozási rendszerek Európában. Szerkesztő: H. Seeger, 56. IAG, Germany, June 1993.). *Geodézia és Kartográfia*, 5, 327.
- Borza T** (1998): A térinformatika vonatkozási rendszerei. (Vitaanyag az MTA-GTB ülésére, 5. Penc, október.)
- Detrekői Á, Szabó Gy** (1995): Bevezetés a térinformatikába. Nemzeti Tankönyvkiadó, Budapest.
- Mihály Sz** (1998): A FÖMI adatbázisai, szabványosítási kérdések. (Az MTA Geodéziai Tudományos Bizottságának (GTB) ülésén közreadott írásos anyag, 35. Budapest, október 8.)
- Vanicek P, Langley R B, Kleusberg A** (1991): Geodesy-Still the scientific backbone of surveying and mapping. *CISM Journal ACSGC*, 45 (4): 545-546.
- Závoti J** (1998): A térinformatika vonatkozási rendszerei. (Vitaanyag az MTA-GTB ülésére, 8. Sopron, november 21.)

EXTENZOMÉTERES ADATOK MEGBÍZHATÓSÁGÁNAK NÖVELÉSE A MŰSZEREK EGYSÉGES KALIBRÁLÁSÁVAL

*Mentes Gyula**

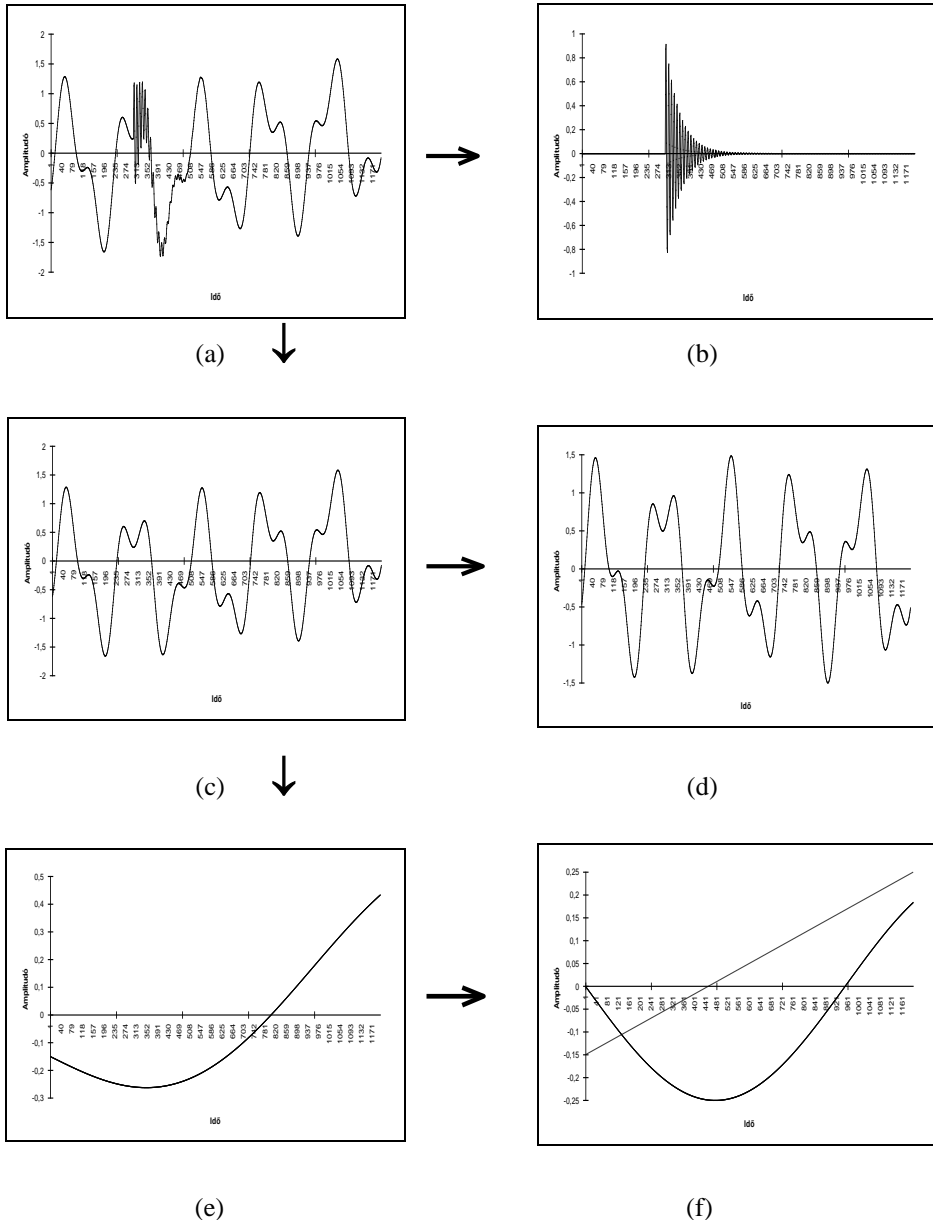
Bevezetés

A Pannon-medence jelenkori tektonikai mozgásainak vizsgálatára a medencében és annak peremén több extenzométeres állomás létesült. Az obszervatóriumok elhelyezkedését az 1. ábra mutatja, amely egyben feltünteti az egyes műszerek hosszát és irányát, valamint a regisztrálás módját.



1. ábra. A Pannon-medence extenzométerei.

A kismértékű tektonikai mozgások, valamint a nagyon lassú geodinamikai jelenségek kimutatása igen nagy érzékenységű műszerek segítségével is csak hosszúidejű folyamatos méréssel lehetséges. Ezek a műszerek a tektonikai mozgások mellett - még stabil obszervatóriumi körülmények között is - számos egyéb geodinamikai jelenséget és lokális zavart regisztrálnak. Ezenkívül a műszerek hőmérsékletfüggése, öregedése, stb. a kimeneti jel lassú, a tektonikai mozgások periódusidejének nagyságrendjébe eső megváltozását az ún. driftet okozza. Ez utóbbi kiküszöbölése jelenti a legnagyobb mérés technikai problémát. Ennek szemléltetésére a 2. ábra bemutatja egy nagyérzékenységű geodinamikai műszer (pl. extenzométer, dőlésmérő) által regisztrált jelet, valamint a tényleges tektonikai mozgás meghatározásának menetét. A 2a. ábrán a mért összetett deformáció-görbe látható, amely tartalmazza a geodinamikai (tektonikai) deformációt, a



2. ábra. Deformációmérési regisztrátum és összetevői. (a) az összetett deformációgörbe, (b) a leválasztott "nagyfrekvenciás" zaj, (c) deformációgörbe a zaj leválasztása után, (d) a leválasztott árapálygörbe, (e) maradékgörbe, (f) a maradékgörbe szétbontása deformációra és driftre (Mentes 1996).

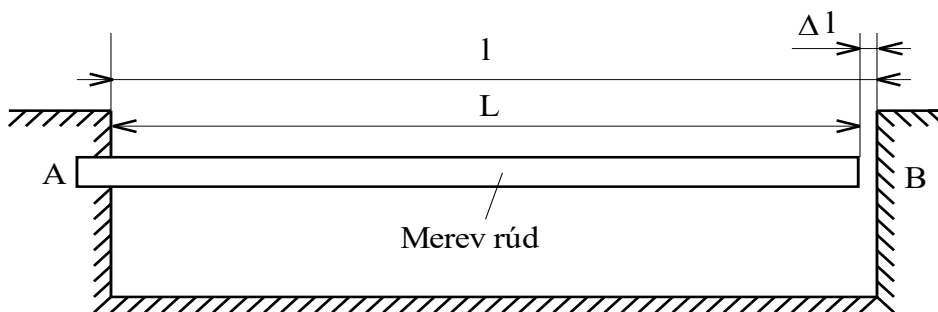
műszer driftjét, a földi árapályt és a tektonikai deformációhoz viszonyítva nagyfrekvenciás jelnek tekinthető szeizmikus jeleket, valamint a lokális zavarokat. A 2b. ábra a leválasztott nagyfrekvenciás jelet mutatja. Ezt a jelet nem mindig tekintjük zajnak, hanem gyakran további feldolgozásra kerül, pl. a nagy földrengések keltette hullámok felhasználhatók a Föld sajátrezgéseinak kimutatására (Mentes 1991a). A 2c. ábrán látható szűrt jelből leválasztva az árapályjelet (2d. ábra) kapjuk a 2e. ábrán látható maradékgörbét. Az árapályjel analíziséből kapott adatok hozzájárulhatnak a Föld szerkezetének jobb megismeréséhez. A maradékgörbe további analíziséből pedig a deformáció mértékére lehet következtetni. Ez utóbbi feladat jelenti a deformáció-méréseknél a legnagyobb problémát, mivel a maradékgörbe a deformáció mellett a műszerek instabilitásából, öregedéséből, az alapkőzet és a műszer csatlakoztatásából valamint a regisztrálási hely instabilitásából (üreghatás, hőmérséklet-, légnyomás-, páratartalom-változás, stb.) származó műszerjársásokat az ún. driftet is tartalmazza (2f. ábra). Mind a deformáció, mind a drift hosszúperiódusú jelnek tekinthető, ezért szétválasztásuk csak a műszerek viselkedésének pontos ismeretében végezhető el. A gyakorlatban azonban műszereink viselkedését ill. a környezeti paraméterek és lokális hatások műszereinkre gyakorolt hatását nem ismerjük pontosan, ezért a drift és a deformáció sem választható szét tökéletesen. A problémát csak bonyolítja, hogy az árapály hosszúperiódusú hullámait sem tudjuk a maradékgörbéről tökéletesen leválasztani. Ezért a 2f. ábra egy idealizált esetre vonatkozik.

A maradékgörbéből a műszerdrift leválasztása csak komplex mérés technikai módszerekkel végezhető el (Mentes 1994), amelyek közül kiemelkedő szerepet játszik a műszerek rendszeres kalibrálása. Erre a célra egyrészt a műszerekbe beépített kalibráló egység szolgál, amellyel a műszerek naponta automatikusan kalibrálhatók, másrészt pedig a Pannon-medence extenzométerei által mért adatok egységes értelmezése céljából a műszerek egységes kalibrálására is szükség van.

Az MTA Geodéziai és Geofizikai Kutatóintézetben (MTA GGKI) mind a mérőérzékenők és a beépített kalibrálóegységek mind pedig a működő extenzométerek obszervatóriumi (in-situ) kalibrálására nagypontosságú módszereket és berendezéseket dolgoztunk ki.

Az extenzométerek elve és felépítése

A geodinamikai deformáció mérésére általában rúd-extenzométereket használnak. Ezek működésének az az alapja, hogy a kőzet deformációja két közeli pont (0,1-1 mm) között annyira kicsi, hogy a jelenlegi mérőátalakítókkal nem mérhető. Ezért két távolabbi pont (1-100 m) közötti elmozdulást határozzunk meg oly módon, hogy az A pont elmozdulását egy teljesen merev rúd segítségével átvisszük a B pontba, ahol már nagy pontossággal mérhető (3. ábra). A Pannon-medence extenzométerei 2-2,5 m hosszúságú, 40-45 mm átmérőjű kvarcüveg csövekből összeerősített merev rudakból épülnek fel. A rúd merevségének és az elmozdulást mérő elektronika működésének, valamint a műszer érzékenységének ellenőrzésére a rúdba egy kis elmozdulás (0,1 - 0,3 μm) előállítására szolgáló kalibráló egységet (crapaudine-t ill. magnetostrikciós átalakítót) építenek be. A Magyarországon létesített, valamint a Vyhne-ben (Szlovákia) és Lazec-ben (Csehország) működő extenzométerekben az elmozdulás mérésére az MTA Geodéziai és Geofizikai Kutatóintézetben kifejlesztett kapacitív mérőátalakító szolgál.

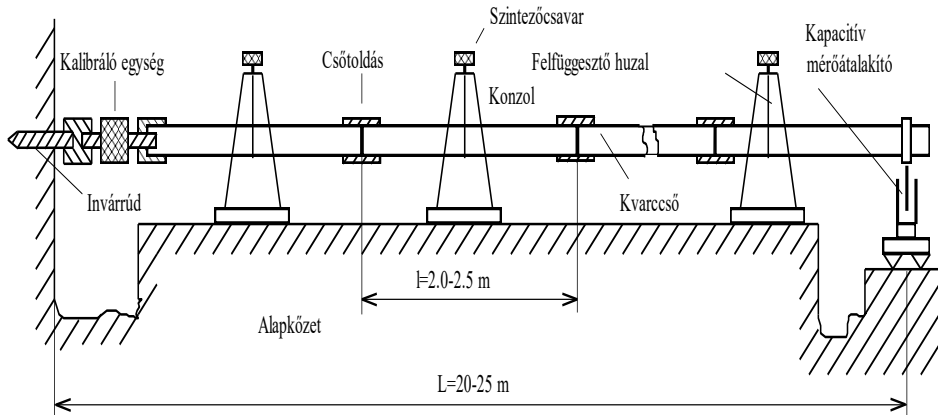


Alapkőzet

3. ábra. Rúd-extenzométerek elvi felépítése.

A kvarccsöves extenzométerek felépítését a 4. ábra mutatja. A műszerek részletes leírását Mentés (1991b) ismerteti.

Amint az a 3. ábrából látható - más műszerekkel ellentétben - az extenzométernek szerves részét képezi a két végpont között elhelyezkedő közet is. A műszerek a közet-hoz erősítéséről, annak szilárdságáról, valamint a közet állapotáról a beépített kalibráló-egység nem ad felvilágosítást. Ezért az extenzométereket egy külön kalibráló berendezéssel rendszeres időközönként ellenőrizni kell. Ha a különböző műszereket azonos berendezéssel kalibráljuk, akkor biztosítható az egyes extenzométerekkel mért adatok azonos megbízhatósága is.

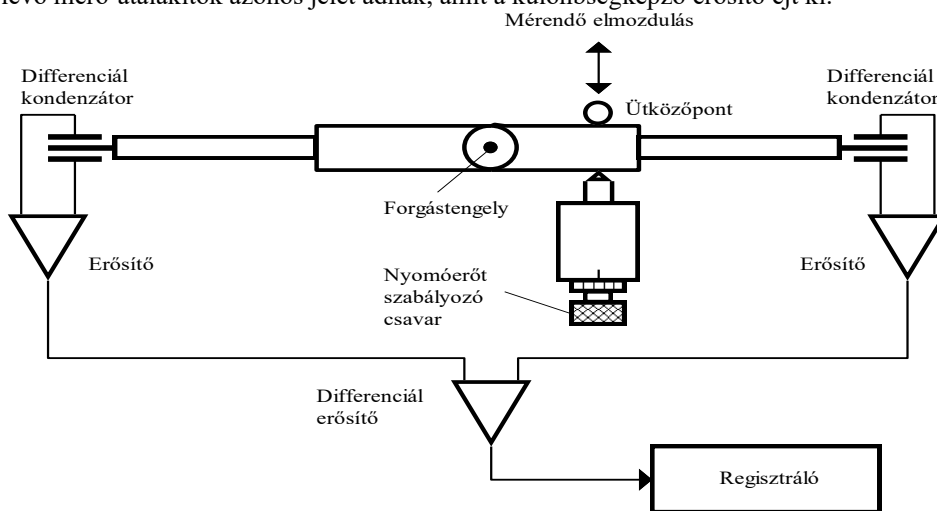
**4. ábra.** A kvarccsöves, hosszú extenzométerek felépítése.

Extenzométerek beépített kalibrálóegységeinek és érzékelőinek laboratóriumi kalibrálása

A nanométer felbontóképességű érzékelők és a $0,1 \mu\text{m}$ nagyságrendű elmozdulást előállító beépített kalibráló egységek vizsgálatára, karakterisztikáinak felvételére a $0,1 \mu\text{m}$ pontosságú lézer-interferométerek közvetlenül nem alkalmasak. Ezért az MTA GGKI-ban egy olyan kalibráló berendezést fejlesztettünk ki, amellyel nm nagyságrendű

elmozdulások mérhetők. A berendezés elvi felépítését az 5. ábra, mechanikai felépítését pedig a 6. ábra mutatja.

A berendezés egy precíziós tengely körül elforduló, középen finoman csapágyazott karból áll, amelynek elfordulását a kar végeinél elhelyezett differenciál-kondenzátorok érzékelik. A két differenciál-kondenzátor jele a kar elfordulása során ellentétesen változik. A két jelet egymásból a különbségképző erősítővel kivonva a kar elfordulásából származó jelek összeadódnak, az érzékenység kétszeresére nő. A környezeti paraméterek változásának a hatása egyrészt a kar egyes végein levő két kondenzátorban, másrészt a kar két végén levő mérőátalakítóban azonosan jelentkezik. A kar végein levő differenciál-kondenzátorok miatt a környezeti hatások kiesnek, legfeljebb a kondenzátorok aszimmetriája miatt marad némi zavaró jel. Mivel a kar két végén levő kondenzátorok jele a környezeti hatásokra azonosan változik, a különbségképző erősítő a még fennmaradó zavaró jeleket tovább csökkenti. Hasonló módon belátható, hogy a kétszeres különbségképzés a forgástengely excentricitásából származó hibákat is kiejti. A tengely excentricitása által okozott karelmozdulás felbontható karirányú és a karra merőleges összetevőre. A karirányú elmozdulásra a kar végén elhelyezkedő differenciál-kondenzátorok nem érzékenyek, a karra merőleges elmozdulásra pedig a kar két végén levő mérő-átalakítók azonos jelet adnak, amit a különbségképző erősítő ejt ki.

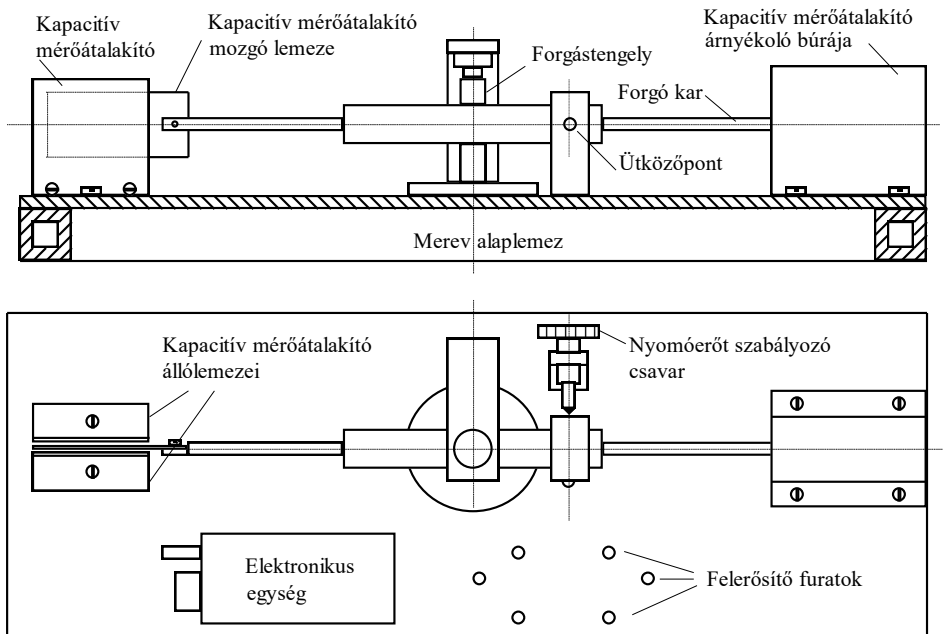


5. ábra. Nagyfelbontású mérő-átalakítók vizsgálatára kifejlesztett kalibráló berendezés elvi felépítése.

A mérendő elmozdulást az ütköző- vagy csatlakozóponton keresztül közöljük a karral. Ez a pont a forgástengely közelében van, ezért a differenciál-kondenzátorok az ütközőpont elmozdulásának kb. ötszörösét mérik, amely szintén hozzájárul a nagy felbontóképesség eléréséhez.

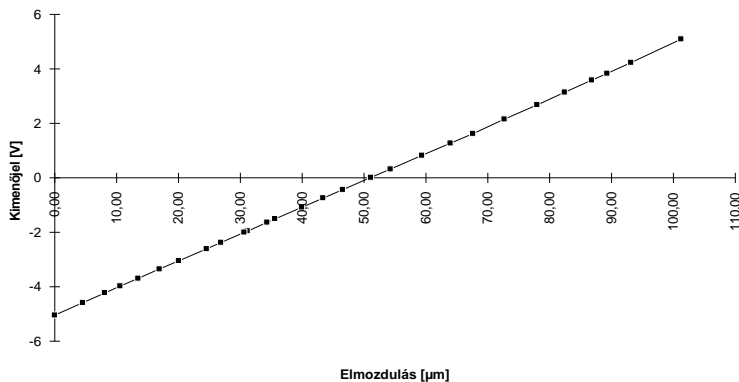
Crapaudine és magnetrostrikiós átalakítók vizsgálatához az átalakítót a felerősítő futatok segítségével lehet stabilan az alaplapra felfogatni. A pontos kalibrálás érdekében szükség van akkor a terhelőerő beállítására, amely üzem közben fellép. Ennek beállítására szolgál a nyomóerőt szabályozó csavar. A nagy felbontóképességű kalibrálóberendezést lézer-interferométerrel csak "nagy lépésekben", 1-10 μm -enként lehet kalibrálni. Ez kétféle módon történhet (Mentes 1995). Az első esetben a lézer-interferométer

reflektorprizmáját az ütközőponthoz erősítjük és közvetlenül az ütközőpont elmozdulását mérjük. A másik esetben szögmérő interferométerrel a kar elfordulását mérjük és az ütközőpont, valamint a forgástengely távolságának ismeretében az ütközőpont elmozdulása számítható.



6. ábra. Nagyfelbontású mérő-átalakítók vizsgálatára kifejlesztett kalibráló-berendezés mechanikai felépítése.

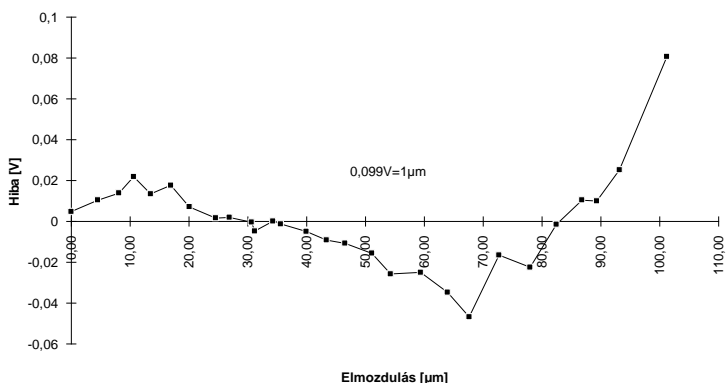
Ez utóbbi módszer azért lényeges, mert mérőátalakítót, crapaudine-t vagy magnetostrikciós átalakítót kalibrálva csak a szögelfordulás mérést tudjuk a kalibrálóberendezés karakterisztikájának egyidejű ellenőrzésére alkalmazni, mivel az ütközőpont ebben az esetben a vizsgálandó eszköz csatlakoztatására szolgál.



7. ábra. A kalibráló berendezés lézer-interferométeres hitelesítéssel kapott karakterisztikája.

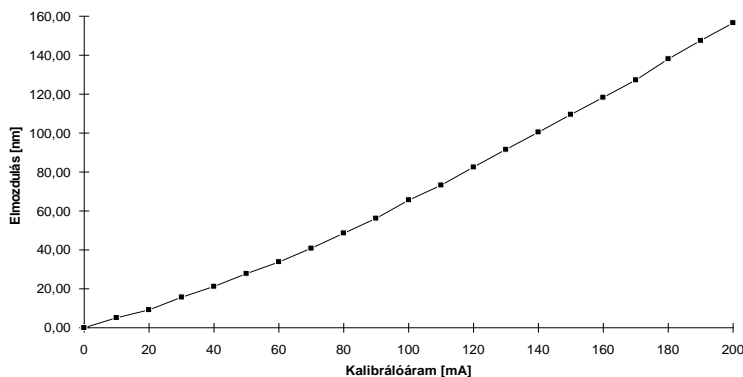
A kalibrálóberendezés lézer-interferométeres hitelesítéssel kapott karakterisztikáját a 7. ábra és linearitási hibáját a 8. ábra mutatja. A kalibráló berendezés átlagos érzékenysége a mérésekből: $99,3 \text{ mV}/\mu\text{m}$ és az érzékenység meghatározásának átlagos hibája $\pm 0,1 \text{ mV}/\mu\text{m}$, ami kb $0,1\%$ -nak felel meg.

A durva lépésekben felvett karakterisztikának a mérési pontok közötti linearitása nemcsak feltételezés, hanem elektronikus mérési módszerekkel is igazolható. Ezért a 8. ábra tulajdonképpen nem a karakterisztika linearitási hibáját, hanem a lézer-interferométeres kalibrálás hibáját adja meg. A kalibráló berendezés linearitása a méréssel kapott értékeknél valamivel jobb. Ez megnyugtatóan csak úgy volna igazolható, ha nagyobb felbontóképességű lézer-interferométer állna rendelkezésünkre.



8. ábra. A kalibráló berendezés lézer-interferométeres hitelesítéssel kapott karakterisztikájának linearitási hibái.

A 9. ábra példaképpen a kalibráló berendezéssel egy extenzométerek rendszeres napi hitelesítésére használható, permendúrmagos magnetostrikciós kalibrálónak a kifejlesztett berendezéssel felvett karakterisztikáját mutatja be.



9. ábra. Permendúrmagos magnetostrikciós kalibrálóegység karakterisztikája.

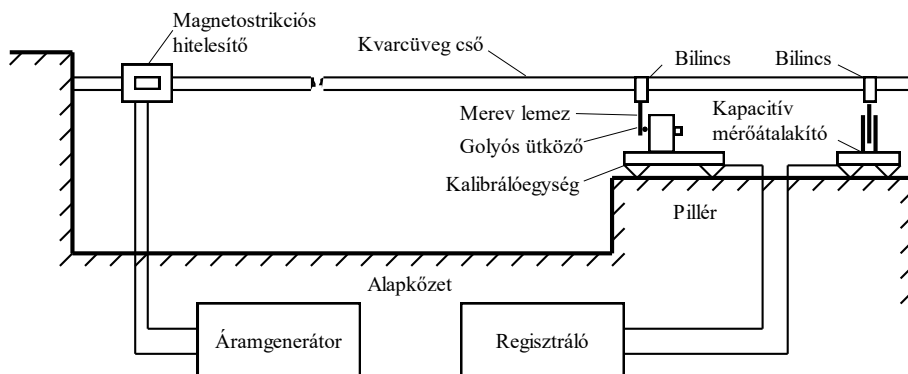
Extenzométerek obszervatóriumi, in-situ kalibrálása

Az extenzométereket az obszervatóriumban való installálás után mindig, ezt követően pedig rendszeresen kalibrálni kell. A fotoregisztrálást alkalmazó műszerek esetében (Latynina és Karmaleeva 1978) a fotoregisztráló optikai áttételének ismeretében határozták meg az extenzométer érzékenységét. A fotopapíron kapott kis kitérés és az optikai áttétel nem pontos ismerete (az extenzométer dörzskeréken keresztül forgatja a fényviszszaverő tükröt) és hibái miatt a módszer nem elég megbízható.

Ha egy régió tektonikai mozgásvizsgálatára több extenzométert használunk, akkor célszerű a mérési eredmények egységes interpretálhatósága érdekében az egyes műszereket ugyanazzal a kalibráló-berendezéssel hitelesíteni. Az MTA GGKI-ban kidolgozott módszerrel nemcsak az extenzométerek kalibrálása végezhető el nagy pontossággal, hanem a kalibráló berendezéssel hosszú ideig együtt lehet regisztrálni az extenzométer jelét. A extenzométer elektronikája és a kalibrálóegység által egyidőben regisztrált jelekből következtetni lehet az extenzométer driftjére. Ha az extenzométer driftjét nem ismerjük, akkor azt helytelenül tektonikai mozgásként is interpretálhatjuk. A kidolgozott kalibrálási eljárás tehát a mérési adatok pontossága mellett azok megbízhatóságát is növeli.

Az obszervatóriumi kalibrálási módszer elvét a 10. ábra mutatja. Az extenzométer kapacitív mérő-átalakítójának mozgó bilincse közelében az extenzométer csővére felszerelünk egy másik bilincset, amelynek segítségével a kalibráló berendezést csatlakoztatjuk az extenzométerhez. Nagyon fontos, hogy a kalibráló berendezés a pilléren stabilan álljon. Az alkalmazott kalibráló berendezés azonos az 5. valamint a 6. ábrákon bemutatott berendezéssel, amelyet nagyérzékenységű mérő-átalakítók, valamint magnetostrikciós átalakítók és crapaudineok vizsgálatára fejlesztettünk ki.

A magnetostrikciós tekercsre ráadva a hitelesítő áramot (rendszeres napi hitelesítéskor alkalmazott áramot) a kalibráló berendezéssel és az extenzométerrel is regisztráljuk az extenzométer elmozdulását. A lézerrel előzetesen kalibrált kalibrálóberendezés érzékenységének ismeretében az extenzométer érzékenysége meghatározható. A mérés nagyszámú megismétlésével a mérés pontossága fokozható. A magnetostrikciós tekercs áramát nullától a maximumig lépésenként változtatva meghatározható a rendszer linearitása is. Ehhez azonban előzetes mérésekből ismerni kell a magnetostrikciós tekercs linearitását.



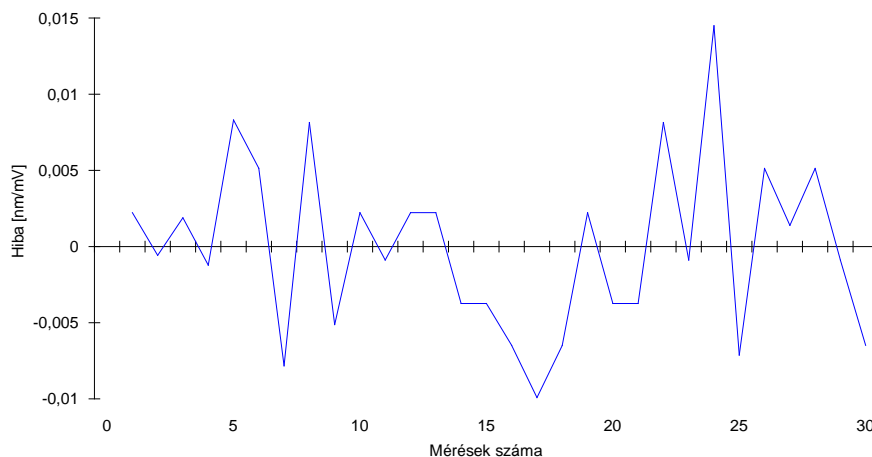
10. ábra. Extenzométerek obszervatóriumi, in-situ kalibrálásának elve.

A magnetostrikciós kalibrálásnál az extenzométer rúdjának merevsége miatt nem okoz mérési hibát, ha a kalibráló berendezést nem pontosan az extenzométer kapacitív érzékelője mozgólemezt rögzítő bilincsnél csatlakoztatjuk a kvarcüveg rúdhoz. Abban az esetben, ha az extenzométer és a kalibráló berendezés elektronikájával párhuzamos regisztrálást végzünk drift meghatározás céljából, a különböző csatlakozási helyek miatt más-más bázishosszt kell figyelembe venni. Ilyenkor a két csatlakozási pont távolságának ismeretében a kalibrálóberendezéssel mért elmozdulásokat át kell számolni az extenzométer tényleges hosszára.

A mérési módszerrel eddig az 1. táblázatban felsorolt extenzométereket kalibráltuk. A mérések pontosságának bemutatására a 11. ábra megadja a budapesti 1. számú extenzométer esetében az egyes skálatényező eltéréseit az átlagos értéktől egy 30 mérésből álló sorozat esetében, 18,7 mA kalibrálóáramnál. A görbéből jól látható, hogy a kalibrálás hibája szélső esetekben is kisebb, mint 1 %, amely lényegesen jobb, mint a fotoregisztrálással történő kalibrálás 4-5 %-os hibája.

1. táblázat. Az eddig kalibrált extenzométerek skálatényezői (érzékenységei).

EXTENZOMÉTER	HOSSZÚSÁG [m]	REGISZTRÁLÁS	SKÁLATÉNYEZŐ
Budapest 1.	21	elektromos	1,341 [nm/mV]
Budapest 2.	13	elektromos	2,259 [nm/mV]
Sopron	22	elektromos	0,219 [nm/mV]
Vyhne (Szlovákia)	20,5	foto	4,907 [nm/mm]



11. ábra. A Budapest 1. extenzométer skálatényezőjének meghatározási hibái.

Összefoglalás

Az elvégzett vizsgálatok bizonyítják, hogy az MTA Geodéziai és Geofizikai Kutatóintézetben kifejlesztett kalibráló berendezés az eddigi megoldásoknál sokkal nagyobb pontossággal alkalmazható kapacitív és CCD érzékelők (Mentes és Kahmen 1995), valamint az extenzométerek napi rendszeres kalibrálására a műszerbe beépített, mikrométer alatti finommozgásokat előállító crapaudine-k és magnetostriktív átalakítók pontossági vizsgálatára (Mentes 1995). Erre korábban csak közvetett módszerek álltak rendelkezésre. Az általunk kidolgozott berendezés és módszer segítségével a Pannon-medence összes extenzométere azonos pontossággal kalibrálható (Mentes 1998), amely lehetővé teszi a műszeres hibák kiszűrését és az azonos megbízhatóságú mérési adatok egységes interpretálását.

Köszönetnyilvánítás

A tanulmány az OTKA T 019030 és T 014896 számú kutatási projektek keretében készült.

Hivatkozások

- Latynina L A, Karmaleeva R A** (1978): Deformograficeszkie izmerénijá, Nauka, Moszkva.
- Mentes Gy** (1991a): The FR-1 field instrument for automatic recognizing of near earthquakes, Acta Geod. Geoph. Mont. Hung., 26, 45-55.
- Mentes Gy** (1991b): Installation of a quartz tube extensometer at the Sopron Observatory. Marees Terrestres Bulletin d'Informations, Bruxelles, 110, 7936-7939.
- Mentes Gy** (1994): Automation of Geodynamical Observations, Acta Geod.Geoph. Mont.Hung., 29, 421-438.
- Mentes Gy** (1995): High Precision Calibration of Quartz Tube Extensometers. Proceedings of the Twelfth International Symposium on Earth Tides (Ed. H. T. Hsu), Science Press, Beijing, New York, 209-214.
- Mentes Gy** (1996): Continuous Horizontal Crustal Deformation Measurements. Proceedings of the IAG Regional Symposium on Deformations and Crustal Movement Investigations Using Geodetic Techniques, Székesfehérvár, 23-30.
- Mentes Gy** (1998): Calibration of tidal instruments. Proceedings of the 13th International Symposium on Earth Tides, Brussels, 43-50.
- Mentes Gy, Kahmen H** (1995): Investigation of displacement transducers built by means of CCD image line sensors, Gruen, Kahmen (Eds.): Optical 3D Measurement Techniques III., Herbert Wichmann Verlag GmbH, Karlsruhe, 149-158.

AZ ELEKTROOPTIKAI TÁVMÉRŐK KALIBRÁLÁSA

*Bányai László**

Bevezetés

A rendszerváltást követően egyre fokozottabban jelentkeznek a gyakorlati munkák során a minőségbiztosítási rendszerek kidolgozásának az igénye, melyet törvényi előírások is szabályoznak. A geodéziai munkák minőségbiztosítási rendszere magában foglalja a geodéziai műszerek kalibrálását, illetve a kalibrálás eredményeként kiállított bizonyítványt, amely a vizsgált műszer megbízhatósági adatait tartalmazza.

Magyarországon elsőként az MTA Geodéziai és Geofizikai Kutatóintézetben hoztak létre akkreditált laboratóriumot a szögmérő és szintező műszerek kalibrálására (Orbán 1999).

Annak ellenére, hogy intézetünk a korábbi évek rendszeres geodinamikai vizsgálati során az elektrooptikai távmérők kalibrálása területén is jelentős tapasztalatokra tett szert, a távmérők alapvonalon történő kalibrálásának feltételei Sopronban még nem adóttak. A FÖMI gödöllői alapvonalának az akkreditálása, amely megfelel a szükséges műszaki feltételeknek, jelenleg is folyamatban van.

Ebben a tanulmányban összefoglaljuk az alapvonalon történő kalibrációs mérések feldolgozása során szerzett tapasztalatainkat, bemutatjuk a Wild/Leica DI2002 szabatos távmérő gödöllői alapvonalon történő kalibrálásának eredményeit és összefoglaljuk az új alapvonalak optimális tervezésére vonatkozó ismereteinket.

A kalibrációs mérések feldolgozása

Az elektrooptikai távmérők kalibrálása során kíváncsiak vagyunk a távmérő összeadóállandójára, a méretarány-tényezőjére (vagy szorzóállandójára), a méréseket terhelő ciklikus (vagy harmonikus) hibákra valamint a mérések megbízhatóságára.

A műszerek gyártásakor az összeadóállandót és a méretarány-tényezőhöz rendelt korrekciót nullaértékűnek állítják be. Ezek az értékek azonban a használat során időben változhatnak, különösen a vevők alaphérfrekvenciája, amely öregedés következtében évenként akár az 1 ppm (1 mm/km) értéket is meghaladhatja. A gyártók a mérések várható középhibáját az

$$m_L = \pm (\mathbf{A} + \mathbf{B} L) \quad (1)$$

alakban adják meg, ahol L a mért távolság, \mathbf{A} a konstans és \mathbf{B} a távolságfüggő tag (Krauter és Sárközy 1974), melyeket általában mm illetve mm/km (ppm) dimenziókban adnak meg. A távmérések megbízhatóságát a távmérők, az alkalmazott meteorológiai korrekciók és közvetve a hőmérséklet, légnyomás és páratartalom mérések megbízhatósága határozza meg. Ezeknek az összetevőknek a hatása együtt jelentkezik, ezért a kalibrációs méréseknél ezeket az eszközöket szintén együtt kell alkalmazni.

Egy alkalmas kalibrációs alapvonalon minden kombinációban végzett távmérések felfoghatók egy olyan egydimenziós hálózat meghatározásának, ahol az alappontok egyetlen koordinátatengely mentén helyezkednek el, ezért a távolságok és az ismeretlen koordináták között közvetlenül lineáris összefüggések írhatók fel, valamint a fölös mérések száma is kedvezően alakul. A geodéziai gyakorlatnak megfelelően a kalibrációs

* MTA Geodéziai és Geofizikai Kutatóintézet, 9401 Sopron, Pf. 5.

mérések feldolgozására a legkisebb négyzetek módszere szerinti kiegyenlítéssel kerülhet sor. Az 1. ábrán a gödöllői alapvonal sematikus rajzát mutatjuk be.

	0	24	216	432	864			
	I	I	I	I	I			
Alaptávolságok:								
X_{01}	$\langle \text{-----} \rangle$					24 m		
X_{02}	$\langle \text{-----} \rangle$					216 m		
X_{03}	$\langle \text{-----} \rangle$					432 m		
X_{04}	$\langle \text{-----} \rangle$					864 m		
mérések minden kombinációban:								
L_1	m	$\langle \text{-----} \rangle$			p	24 m		
L_2	m	$\langle \text{-----} \rangle$			p	216 m		
L_3	m	$\langle \text{-----} \rangle$			p	432 m		
L_4	m	$\langle \text{-----} \rangle$				p	864 m	
L_5		m	$\langle \text{-----} \rangle$			p	840 m	
L_6		m	$\langle \text{-----} \rangle$		p	408 m		
L_7		m	$\langle \text{-----} \rangle$		p	192 m		
L_8			m	$\langle \text{-----} \rangle$		p	216 m	
L_9			m	$\langle \text{-----} \rangle$			p	648 m
L_{10}				m	$\langle \text{-----} \rangle$		p	432 m
műszer: m prizma: p								
független különbségek:								
$L_4-L_1 \approx 840$ m; $L_5-L_7 \approx 648$ m; $L_9-L_8 \approx 432$ m; $L_{10}-L_2 \approx 215$ m; $L_3-L_6 \approx 24$ m								

1. ábra. A gödöllői alapvonal sematikus vázlata.

Az **S** méretarány-tényezőt, mellyel az L_m mért távolságot az L_n névleges értékre az

$$L_n = \mathbf{s} L_m$$

összefüggéssel lehet átszámolni, célszerű az $\mathbf{s} = 1.0 + \mathbf{b}$ összegre felbontani, ahol \mathbf{b} a méretarány-tényezőnek a névleges értéktől való eltérése, amit a továbbiakban méretarány-eltérésnek nevezünk.

A kalibrációs mérések közvetítő egyenleteit általánosan az

$$L_{ij} + (\mathbf{a} + \mathbf{b} L_{ij}) = (X_{0j} + \mathbf{dx}_j) - (X_{0i} + \mathbf{dx}_i)$$

alakban írhatjuk fel, ahol \mathbf{a} az összeadó-állandót, X_{0i} az alaptávolságot és \mathbf{dx}_i az alaptávolságokhoz rendelt változásokat jelöli. A mérésekhez \mathbf{v}_{ij} javítást rendelve a

$$\mathbf{v}_{ij} = -\mathbf{a} - \mathbf{b} L_{ij} + \mathbf{dx}_j - \mathbf{dx}_i - (L_{ij} - (X_{0j} - X_{0i})) \quad (2)$$

javítási egyenletekhez jutunk, amely mátrixos alakban a

$$\underline{\mathbf{v}} = \underline{\mathbf{A}} \underline{\mathbf{x}} - \underline{\mathbf{1}}$$

összefüggéssel írható fel.

Az egyenletrendszer megoldását Detrekői (1991) alapján az 1. táblázatban, a kiegyenlítéshez kapcsolódó statisztikai tesztek pedig a 2. táblázatban foglaltuk össze.

1. táblázat. A koordináta kiegyenlítés összefoglalása.

javitási egyenlet	$\underline{v} = \underline{A} \underline{x} - \underline{l}$
minimum norma súlymátrix	$\underline{v}^t \underline{P} \underline{v} = \min !$
normál egyenlet	$\underline{P} = \sigma_0^2 \underline{M}_L^{-1} = \underline{Q}_L^{-1}$
ismeretlenek mérési javítások	$\underline{x}' = (\underline{A}^t \underline{P} \underline{A})^{\text{inv}} \underline{A}^t \underline{P} \underline{l}$
súlyegység középhibája	$\underline{v}' = \underline{A} \underline{x}' - \underline{l}$
variancia mátrix	$\sigma_0'^2 = (\underline{v}'^t \underline{P} \underline{v}') / f$
variancia mátrix	$\underline{M}_{x'} = \sigma_0'^2 (\underline{A}^t \underline{P} \underline{A})^{\text{inv}} = \sigma_0'^2 \underline{Q}_x$
	$\underline{M}_{v'} = \sigma_0'^2 (\underline{Q}_L - \underline{A} \underline{Q}_{x'} \underline{A}^t)$
a priori értékek: $\sigma_0, \underline{M}_L$ szabadságfok: f	

2. táblázat. A statisztikai tesztek összefoglalása.

khi négyzet (χ^2)	$f \sigma_0'^2 / \sigma_0^2 \approx \chi^2_f$
tau (τ)	$ v'_i / m_{v_i} \approx \tau_f$
student (t)	$ x'_i / m_{x'_i} \approx t_f$
student (t)	$ x'_A - x'_B / m_{\Delta x'} \approx t_{fA+fB}$
középhibák: m szabadságfok: f	

Azt, hogy a méréseink megfeleltek-e az előzetes elvárásoknak az (1) összefüggés alapján becsült \underline{M}_L variancia mátrixon keresztül a khi négyzet és tau tesztekkel ellenőrizhetjük. Az egyes becsült ismeretlenek nullától való szignifikáns eltérése student teszttel vizsgálható. Két azonos, de különböző módon becsült ismeretlen azonossága - a különbségük nullától való szignifikáns eltérésén keresztül - szintén student teszttel ellenőrizhető.

A (2) összefüggésből kiindulva különböző független módszereket alkalmazhatunk:

Az **A-módszer** szerint az $\underline{x}' = | \mathbf{a} \mathbf{d} \mathbf{x}_1 \dots |$ ismeretlenek az alapvonal elfogadott hosszainak ismerete nélkül is meghatározhatók, mivel ez a megoldás reguláris normál mátrixot eredményez.

A **B-módszer** szerinti általános modell $\underline{x}' = | \mathbf{a} \mathbf{b} \mathbf{d} \mathbf{x}_1 \dots |$ ismeretlenjei szinguláris normál mátrixokhoz vezetnek, ezért a szabadhálózatok elvének megfelelően a $\Sigma \mathbf{d} \mathbf{x}_i^2 = \min!$ feltételnek megfelelő általánosított inverzet alkalmazhatjuk. Ebben az esetben az alapvonal elfogadott hosszainak az ismerete is szükséges.

A **Δ-módszer** szerint lehetőségünk van olyan $\Delta L_{i,j} = L_i - L_j$ különbségek képzésére, melyek továbbra is függetlenek és középhibájuk az $m^2_{\Delta L} = m^2_{L_i} + m^2_{L_j}$ össze-

függés alapján becsülhető (1. ábra). Ekkor az egyetlen ismeretlen (**b**) az alapvonal elfogadott hosszainak az ismeretében határozható meg, mivel az összeadóállandó a különbségképzés során kiesik. Ennek ellenére az **a** mennyiséget is ismeretlenként kezelhetjük, de eredményül nulla várhatóértékű mennyiséget illene kapnunk.

A fölös mérések száma a **C-módszer** esetében a legkedvezőbb, ahol az **a**, **b** ismeretlenek az alapvonal elfogadott hosszainak az ismeretében együtt határozható meg. Mivel ebben esetben az ismeretlenek korrelációja elég nagy érték, a különböző független módszereket együtt célszerű alkalmazni.

A Wild/Leica DI2002 szabatos távmérő kalibrációja a gödöllői alapvonalon

Intézetünk Wild/Leica DI2002 szabatos rátéttávmérőjének a gödöllői alapvonalon végrehajtott egyik kalibrációjának az eredményeit és a különböző módszerek fő jellemzőit a 3. és 4. táblázatban foglaltuk össze. Az adatfeldolgozást egységnyi és a gyártók által megadott a priori megbízhatóságok alkalmazásával is elvégeztük. A különböző megoldások összhangját az eredmények statisztikai vizsgálata is alátámasztotta, amely azt mutatja, hogy a méréseket durva hibák nem terhelték és gondos méréssel az a priori megbízhatóságnál kedvezőbb eredmények is elérhetők.

Méréstechnikai szempontból a pontraállítás, rátéttávmérőknél a prizma beállítása és a meteorológiai paraméterek mérése lehet a legjelentősebb hibaforrás. Ez utóbbi csökkentésére hordozható, automatikusan regisztráló meteorológiai állomást állítottunk össze.

3. táblázat. A különböző módszerek jellemzőinek összefoglalása.

módszer	ismeretlenek	min. norma	fölös mérések	X_0 használata
A	a dx_i	v^tP_v	5	nem
B	a b dx_i	$v^tP_v, \Sigma dx_i^2$	5	részben
Δ	b	v^tP_v	4	igen
(Δ)	(a) b	v^tP_v	3	igen
C	a b	v^tP_v	8	igen

4. táblázat. A DI2002 szabatos távmérő kalibrációjának eredményei.

Súlyozás:	egységnyi		$m_L \approx 1 \text{ mm} + 1 \text{ mm/km}$	
Módszer	a (mm)	b (mm/km)	a (mm)	b (mm/km)
A	0.5010 \pm 0.16	-	0.5628 \pm0.15	-
B	0.5010 \pm 0.16	3.2784 \pm 0.50	0.5628 \pm 0.15	3.0403 \pm 0.55
Δ	-	2.8424 \pm 0.22	-	2.8523 \pm0.22
(Δ)	(-1.1530 \pm 0.22)	3.0855 \pm 0.42	(-1.1372 \pm 0.21)	3.0757 \pm 0.41
C	0.5948 \pm 0.15	2.9076 \pm 0.30	0.6098 \pm0.13	2.8708 \pm0.32

Kalibrációs alapvonalak optimális tervezése

Sopron környezetében a Harkai-platón található két olyan, egymástól 859 m távolságra lévő vasbetonpillér, amely a Soproni Egyetem mérőterepének a része. Mivel a pillérek egy kevésbé forgalmas országút mentén helyezkednek el, és az eddigi mérési tapasztalatok alapján a terület stabilnak tekinthető, alkalmas lehet kalibrációs alapvonal kiépítésére is.

Mivel a gödöllői tapasztalatok alapján az öt pillérre vonatkozó minden kombinációban végrehajtott méréseket (1. ábra) egy gyakorlott mérőcsoport 2-3 óra alatt végre tudja hajtani és a fölös mérések száma is optimálisnak tekinthető, ezért hasonló hálózat kialakítását tervezzük.

Egy egységnyi hosszúságú alapvonal két végpontja között további három pillér optimális elhelyezésére vonatkozóan végeztünk különböző vizsgálatokat.

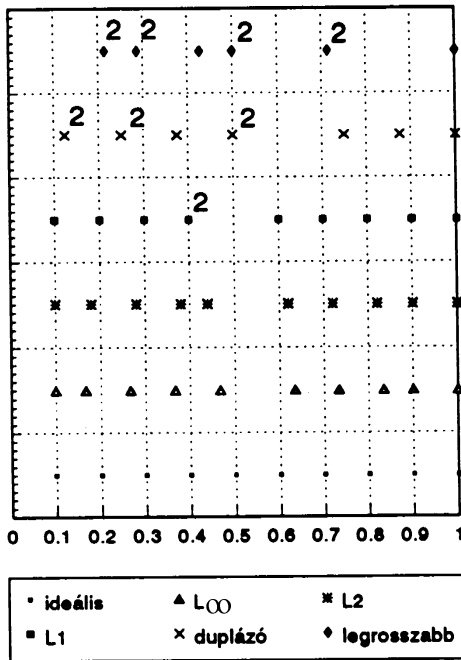
Első vizsgálatként olyan ponthelyeket kerestünk, amely a **C-módszer** szerinti feldolgozásnál a legkedvezőbb középhibákat szolgáltatja a $\text{spur}(\underline{Q}_x) = \min!$ feltételen keresztül. A legrosszabb elhelyezést természetesen a $\text{spur}(\underline{Q}_x) = \max!$ feltételtől várhatjuk. Az eredményeket az **a**, **b** ismeretlenek közötti korrelációval (Korr.) együtt az 5. táblázat felső részében mutatjuk be. A legkedvezőbb megoldás sajnos gyakorlati szempontból kivitelezhetetlen. Pusztán azt jelzi, hogy elméletileg a lehetséges legrövidebb és leghosszabb távolságokat célszerű együtt alkalmazni.

5. táblázat. Az alapvonal-tervezés eredményeinek összefoglalása.

Módszer	X_1	X_2	X_3	Spur (\underline{Q}_x)	Korr.
legkedvezőbb	0.000	0.000	1.000	1.167	0.522
legrosszabb	0.286	0.500	0.713	5.352	0.887
duplázás	0.125	0.250	0.500	3.470	0.819
L1 - norma	0.100	0.400	0.800	3.518	0.842
L2 - norma	0.100	0.380	0.820	3.324	0.834
L_∞ - norma	0.100	0.366	0.833	3.188	0.827

Az alapvonalakat régebben az alaptávolságok duplázásával szokták kialakítani, amely egyrészt a Väisälä-féle fényinterferométer tulajdonságaihoz alkalmazkodik, másrészt a közel azonos távolságok különbségének a mérésével történő duplázásnál a távmérő szabályos hibái gyakorlatilag kiejthetők. A gödöllői alapvonal is lényegében ennek a két módszernek az alkalmazásával készült (Németh 1988). A duplázásra vonatkozó eredményeket szintén az 5. táblázat tartalmazza.

A duplázásos módszer legnagyobb hátránya az, hogy a minden kombinációra vonatkozó távolságok nem egyenletesen oszlanak el, ezért a ciklikus (vagy harmonikus) hibákat nem lehet megfelelően nyomon követni. Az ideális egyenletes elosztást az L1, L2 és L_∞ normák alkalmazásával is megpróbáltuk megközelíteni. Az eredményeket az 5. táblázat alsó része tartalmazza. A vizsgált módszerekre vonatkozó távolságok eloszlását az ideális elrendezéssel együtt a 2. ábrán mutatjuk be. A duplán előforduló távolságokat 2-vel jelöltük.



2. ábra. A távolságok eloszlása a vizsgált megoldások esetében.

Az eredmények összefoglalása

A távmérők öregedésének és helyes működésének az ellenőrzésére célszerű évente legalább egy kalibrációs mérést elvégezni. A kalibráció a szabatos munkák esetében a mérések előtt, vagy után, esetleg minkét alkalommal is indokolt lehet.

A mérések feldolgozásánál statisztikai tesztek alkalmazni. A különböző megoldásoknál fellépő nagy korreláció miatt az **A**, **Δ** és **C** független módszerek együttes alkalmazásával ellenőrizhetjük az eredmények helyességét.

Az új alapvonalak létesítésénél az L_∞ norma szerinti tervezést javasoljuk, ha az alapvonal méréséhez szabatos eszközök állnak a rendelkezésünkre. Ellenkező esetben a duplázás lehet a megfelelő megoldás.

Hivatkozások

- Detrekői Á** (1991): Kiegyenlítő számítások. Tankönyvkiadó, Budapest.
- Krauter A, Sárközy F** (1974): Elektronikus geodéziai műszerek. Tankönyvkiadó Budapest.
- Németh Zs** (1988): Országos geodéziai etalonhossz létesítése Gödöllőn. Geod. Kart. 3. 161-165.
- Orbán A** (1999): A geodéziai műszerkalibrálás kialakulása a soproni MTA GGKI-ban. Geod.Kart. 1, 24-28.

A legrosszabb megoldásnál négy, a duplázó módszernél három oldal fordult elő kétszeresen. Nagyon érdekes eredmény, hogy az L_1 norma szerinti megoldás egy távolságtól eltekintve előállítja az ideális elrendezést, de ez az egy távolság kettőzve fordul elő. Az L_∞ megoldás is szimmetrikus elrendezést szolgáltatott: három távolság a helyére került, két távolságköz rövidebb, a középső pedig a rövidülések összegével hosszabbnak adódott.

Az 5. táblázat alapján az L_∞ megoldás tekinthető a legkedvezőbbnek, de hasonlóan a duplázáshoz a korreláció itt is nagyon magas értékű.

GPS MÉRÉSEK FELHASZNÁLHATÓSÁGA FOLYÓN ÁTSZINTEZÉSHEZ

Dr. Dede Károly, Szűcs László***

Bevezetés

A folyók, illetőleg nyílt víztükrök feletti átszintezés végrehajtására az utóbbi száz évben számos eljárást dolgoztak ki, és ezt napjainkban is különféle módon, különféle speciális mérőeszközökkel végzik. Ezek között megemlíthetjük a tárcsás szintezőlécek alkalmazását vagy a vastag osztásvonásokkal ellátott szintezőlécekkel végzett átszintezést, a Zeiss-féle "kettős-műszerrel" és a hozzá tartozó speciális jelekkel való mérést, a hidrosztatikai szintezést és a lézer-szintező felhasználásával végzett átszintezést (Feles 1954, Homoródi 1996, Miskolczi 1973a).

Az EOMA 11. poligon 1121 számú II. rendű vonalán Lórév-Duna túlsó part között nyílt víztükrök feletti átszintezést kellett végezni. Az eddig alkalmazott eszközöktől részben eltérő műszerfelszerelést használtunk, és a kiválasztott eljárást egy másik szintezés végrehajtásakor a Tiszán való átszintezéskor is alkalmaztuk.

A GPS technika széleskörű elterjedése következtében, magasság meghatározásra történő felhasználása egyre több területen kerül előtérbe (Joó 1998, Ódor és Tóth 1997). Annak vizsgálatára, hogy folyókon való "átszintezésre" milyen lehetőségek vannak, a két átszintezéssel egyidejűleg GPS méréseket is végeztünk. A tapasztalatokról és az eredményekről az alábbiakban számolunk be.

Nyílt víztükrök feletti átszintezés

Különleges szintezési feladatot jelent, ha a szintezési vonallal szélesebb vízfelület felett kell áthaladni. A feladat végrehajtása viszonylag egyszerűbb, ha az átszintezés helyén híd van. Ekkor a műszerállásokat a pillérek fölé tervezzük és a lécek (kötőpontok) kerülnek a nyílások közepére. Természetesen a mérés idejére a hídon le kell zárni a forgalmat. Nehezebb a feladat megoldása, ha a mérést több száz méteres műszer-léc távolság mellett nyílt víztükrök felett kell végezni.

Az EOMA 11. poligon 1121 számú II. rendű vonala Lórév térségében keresztezi a Dunát, ezért itt mintegy 600 m széles víztükrök feletti átszintezést kellett végezni. A mérési módszer tervezésekor áttekintettük a Magyarországon korábban alkalmazott átszintezések mérési felszerelését és az alkalmazott mérési eljárásokat.

1. A magyar országos felsőrendű szintezés gyakorlatában kezdetben a víztükrök mindkét partját átfogó egyenlő oldalú négyszöget tűztek ki, és a bal és jobb parton szimultán mérést végeztek. Az alappontokra felállított léceken paránycsavarral beállítható tárcsákat mozgattak úgy, hogy azokat a szintezőlibella buborékjának közepére állítása után a műszertől beintették és a tárcsák állását a léceken leolvasták. Az eljárás nagy nehézsége, hogy a vízfelület két partján ritkán lehet kitűzni olyan négyszöget, hogy a két lécálláspont és a két műszerálláspont is közel egyenlő magasságban és egyenlő távolságra legyen. Előnye az eljárásnak, hogy az irány sík ferdeség okozta hiba kiesik, de ugyanakkor a refrakció nagysága a két irányban igen eltérő lehet.

2. A vízfelület két partján a négyszöget úgy tűzték ki, hogy átszintezéskor az irányvonal közel merőleges volt a vízfolyásra és a két parton a műszer-léc távolság csak néhány méter volt. Az egymás mellett lévő léc- és műszerálláspontok magasság-

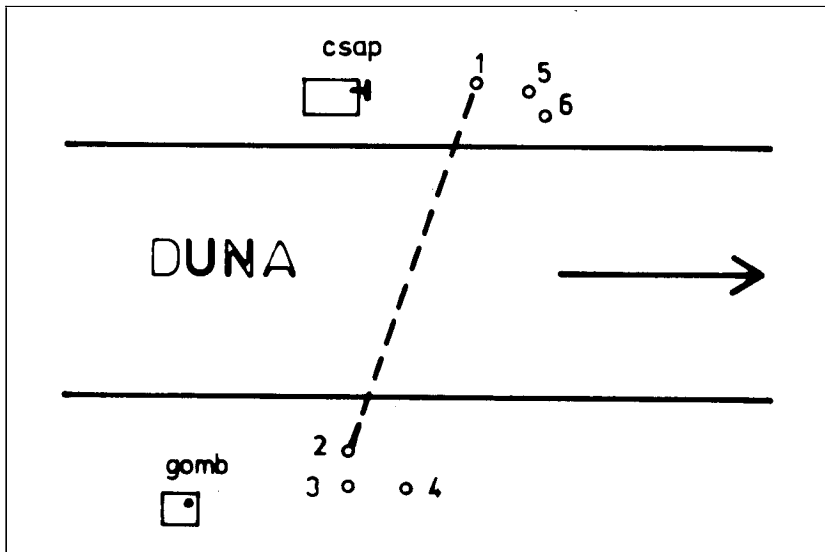
*BME Felsőgeodézia Tanszék

**MTA Fizikai Geodézia és Geodinamika kutatócsoport

különbségét (műszerhorizont) különböző módszerekkel határozták meg. (A két parton kitézített léccálláspontok közel azonos magasságúak voltak.) A lécekre festett tárcsákat helyeztek és kerek lécosztás értékre állították. A szintezőműszer távcsövének vízszintes szálát a szintező csavarral a tárcsa közepére állították és leolvasták a szintezőlibella burorékjának állását. A libellaállandó ismeretében gyakorlatilag trigonometriai magasságmérést végeztek (Guóth 1939).

3. Az optikai mikrométeres felsőrendű szintezőműszerek használatbavételekor olyan szintezőléceket szerkesztettek, hogy az átszintezések alkalmával nagy léctávolságoknál is hasznosítható legyen a műszer optikai mikrométer berendezése. A Feles-Csatkai-féle szintezőlécen a műszer ékszállával közrefogható osztásvonások mérete 20x40 mm, a középvonaluk közti távolság pedig 50 mm volt (Feles 1954). Miskolczi László a kéregmozgási hálózatban szükséges átszintezések végrehajtásához hasonló, invárbetétes lécpár gyári előállítását javasolta. Kísérleti mérésekkel igazolta, hogy a Feles-Csatkai-féle szintezőléc hátrányai kiküszöbölhetőek. Javasolta, hogy az invárszalagon 2 cm vastag fekete osztások és 2 cm vastag fehér mezők váltsák egymást. A fekete osztások szélessége 4 cm. A bal oldali és a jobb oldali skála eltolása egymáshoz képest 1 cm. A műszer ékszállával vagy valamelyik oldali fekete osztás, vagy valamelyik oldali fehér mező, bármilyen adott műszermagasságban közrefogható (Miskolczi 1973b).

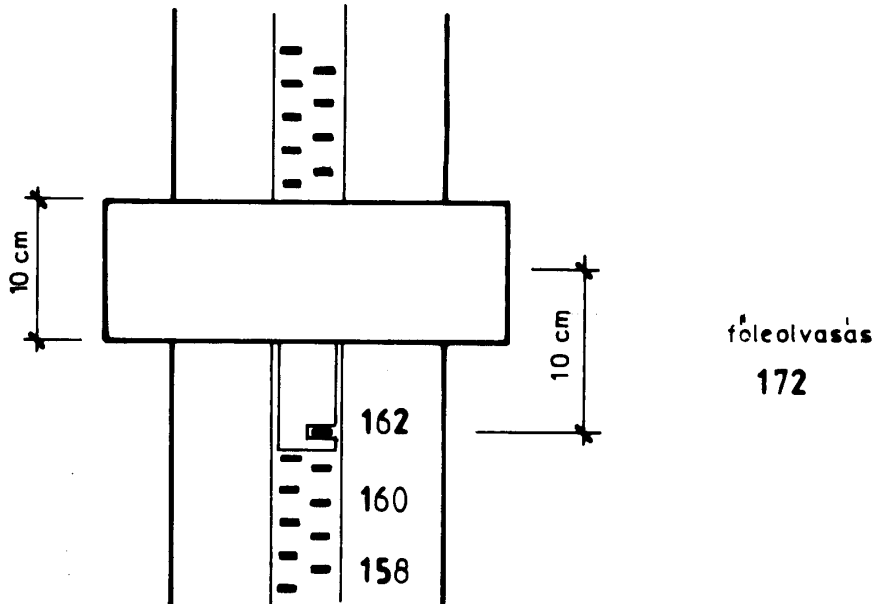
A Lórévnél végrehajtott átszintezéskor a 2. pontban ismertetett eljáráshoz hasonló hálózatot tűztünk ki. (1. ábra)



1. ábra. A Lórévnél végrehajtott átszintezés vázlata.

Az 1-2 pontokat közel egy magasságban állandósítottuk HILTI szegekkel. Az átszintezéskor ezeken a pontokon álltak a szintezőlécek és mellettük 2-3 m távolságra a szintezőműszerek. (Az 1-2 pontok közötti távolság közel 600 m, és átszintezéskor az irányvonal 4,5 m-rel haladt a víztükör felett.) A 3-6 pontokat kísérleti mérés céljából létesítettük (szintén HILTI szögekkel állandósítottuk) és a pontok között GPS méréseket végeztünk. Az átszintezéshez 2 db Wild N3 típusú szintezőműszert és 3 m-es invárbetétes szintezőlécpárt használtunk. Mindkét szintezőléchez legyártottunk egy-egy 10 cm széles téglalap

alakú alumínium lapot (tárcsa). Az alumínium laphoz - középen a Wild szintezőléc invár szalagjához simuló - indexet erősítettünk. Az index és az alumínium lap középvonala pontosan 10 cm-re van egymástól (2. ábra).



2. ábra: A szintezőléceket kiegészítő tárcsa vázlatja.

Méréskor az index segítségével a tárcsát pontosan be lehet állítani egy kerek osztásra. A tárcsát sárga fóliával fedtük be, és a mérés idején fekete kartont helyeztünk mögé a jobb kontrasztosság biztosítására. A tárcsákat bilincsekkel rögzítettük a szintezőlécekhez, és rögzítés előtt a szintezőléc tengelyének és a tárcsa tengelyének merőlegességét fém derékszögalp felhasználásával ellenőriztük. A mérések idején a lécek függőleges kitámasztását a Salmoraghi cég által készített kitámasztó szerkezet biztosította.

A méréseket 1998. szeptember 9-én és 10-én végeztük el. (Mindkét napon változóan felhős idő volt, 10-én közepes erősségű szél fújt.) A pontok kitűzése után az 1-2 pontokra a kitámasztó szerkezet segítségével függőlegesen felállítottuk az invárbetétes szintezőléceket a tárcsákkal kiegészítve. A lécektől közel 2 m-re állítottuk fel a szintezőműszereket, majd a szintezőlibella buborékjának közepre állítása után a túlsó parti szintezőlécen olyan magasságra állítottuk a tárcsát, hogy az ék alakú szállal irányozni tudjuk. Ezek után kezdtük el egy-egy sorozat mérését az alábbi lépéseket követve:

1. Leolvasás az azonos parton álló szintezőlécre.

2. Leolvasás a túlsó parton álló szintezőlécre erősített tárcsán. A főleolvasást a túlsó partról rádióan bemondták, majd az ék alakú szállal a tárcsát 20-szor közrefogtuk. A leolvasások sebességét minden ötödik leolvasás után rádióan szinkronba hoztuk. (A libella buborékját minden leolvasás előtt ellenőriztük.)

3. Második leolvasás az azonos parton álló szintezőlécre.

Minden új sorozat mérése előtt a tárcsát újra beállítottuk, és az 1-3 pontban leírtakat megismételtük. 1998. szeptember 9-én 4 mérési sorozat után a jobb parton álló műszert és léceket kicseréltük a bal parton álló műszerrel és újabb 5 sorozatot mértünk. 1998. szeptember 10-én 14 sorozatot mértünk, 8 sorozat után átcserélve a felszerelést.

Az 1. pontot összeszinteztük a bal parton található 1121112-1 számú falicsappal, a 2. pontot pedig a jobb parton beépített 1121113-1 számú szintezési gombbal.

Magasságkülönbségek számítása

A szimultán mérések számtani középértékéből számítható ki az 1-2 pont magasságkülönbsége. A műszerek és lécek kicserélése a jobb és bal parton mért magasságkülönbségek számtani középértékéből kiejti a refrakció, a műszerhorizont-ferdeség, a földgörbület, és a lécek talpponti hibájának hatását. A mérési sorozatokból 8-8 átszintezést vontunk be a számításba (1-2. táblázat).

Azokat a mérési sorozatokat, amelyeket bizonytalannak ítéltünk (7 mérés) kihagytuk a számításból. A számtani középértékek középértékének középhibája $\pm 0,5$ mm-nek adódott.

A szintezőlécek komparálását a Geodézia RT végezte el, és a komparálási javítást a végleges magasságkülönbség számításakor vettük figyelembe.

A mérések idején a Duna vizének hőmérséklete $18\text{ }^{\circ}\text{C}$ volt, a levegő hőmérséklete pedig $20\text{-}23\text{ }^{\circ}\text{C}$ között változott. Enyhe szellő mellett változóan felhős volt az égbolt, tehát az átszintezéshez igen kedvező időjárási körülmények voltak. Megvizsgálva az 1. és 2. táblázatban az azonos parton azonos műszerrel különböző időszakokban mért magasságkülönbségeket cm nagyságrendű változást is tapasztaltunk. Az eltérések oka a leolvasási hibákon túl elsősorban a refrakció változásában kereshető. Tekintettel a magasságmeghatározás középhibájára (± 0.5 mm), megállapíthatjuk, hogy a leolvasásokban pillanatonként tapasztalható változás, elsősorban a refrakció hatása, mely a 20 leolvasásból számított szimultán mért sorozatok számtani középértékéből gyakorlatilag kiesik. Tapasztalataink szerint a 400-600m szélességű vízfelület felett végzett átszintezések alkalmával az I-III rendű szintezési vonalakra előírt hibahatárokat akkor lehet biztonságosan tartani, ha 8-10 sorozatot mérünk. Sorozatonként 20 leolvasásra azért van szükség, mert a szimultán mérő szintezőműszerek irányvonala sohasem ugyanazon a vonalon halad és a leolvasások sem pontosan egyidejűleg történnek. A 3. ábrán a refrakció változását ábrázoltuk két egymást követő mérési sorozat idején.

A mérési módszert a Tiszán Tápénál végzett átszintezéskor is sikerrel alkalmaztuk. A mérés elrendezését a 4. ábrán tüntettük fel. A 10 mérési sorozat eredményét a 3. és 4. táblázat tartalmazza. Az egyes mérési sorozatok számtani középértékét vizsgálva kitűnik, hogy itt kisebbek voltak a refrakció változásai. Méréskor a víz hőmérséklete $15\text{ }^{\circ}\text{C}$ volt, a levegő hőmérséklete pedig $18\text{-}22\text{ }^{\circ}\text{C}$. A két szintezési gomb között a távolság 260 m volt, az irányvonal 5 m-rel a Tisza felett haladt, és az időjárás változóan felhős, szélmentes volt.

A refrakció változása a rövidebb távolságnak megfelelően kisebb értékű volt. A magasságkülönbség meghatározásának középhibája $\pm 0,24$ mm volt.

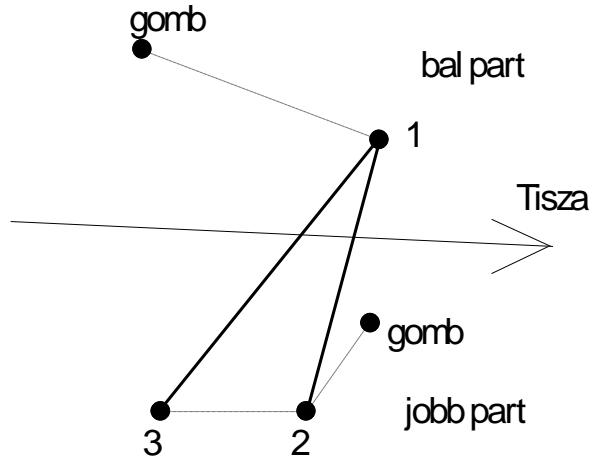
1. táblázat. A Lórévi mérési sorozat eredményei (m).

	Bal part	Jobb part		
Műszer:	N3-125237	N3-183144		
Dátum idő	$\Delta m'_b$	$\Delta m'_j$	$\Delta m'_b + \Delta m'_j$	$\frac{1}{2}(\Delta m'_b + \Delta m'_j)$
09.09. 14 ¹⁵	-0,04680	-0,02168	-0,06848	-0,03424
14 ³⁵	-0,04180	-0,02715	-0,06895	-0,03448
15 ²⁰	-0,03760	-0,03229	-0,06989	-0,03494
09.10. 11 ⁴⁵	-0,05411	-0,01305	-0,06716	-0,03358
13 ³⁵	-0,05118	-0,01875	-0,06993	-0,03496
13 ⁵⁵	-0,05131	-0,02000	-0,07131	-0,03566
14 ³³	-0,05008	-0,01792	-0,06800	-0,03400
14 ⁴⁷	-0,04373	-0,02223	-0,06596	-0,03298
számtani közép=				-0,03436

2. táblázat. A Lórévi mérési sorozat eredményei (m).

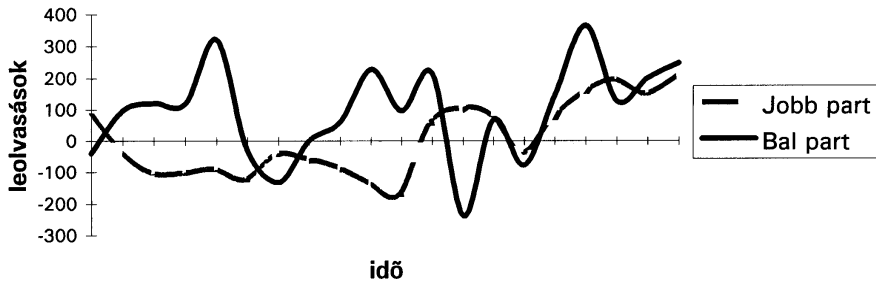
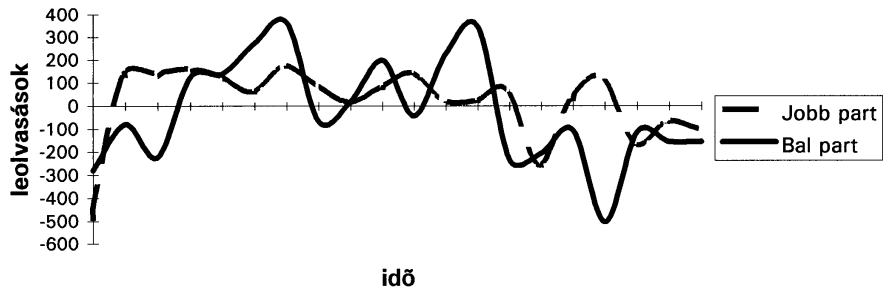
	Bal part	Jobb part		
Műszer:	N3-183144	N3-125237		
Dátum idő	$\Delta m'_b$	$\Delta m'_j$	$\Delta m'_b + \Delta m'_j$	$\frac{1}{2}(\Delta m'_b + \Delta m'_j)$
09.09. 17 ⁴⁰	-0,02160	-0,02567	-0,04727	-0,02364
18 ⁰⁰	-0,02773	-0,01616	-0,04389	-0,02195
18 ¹⁰	-0,02658	-0,01579	-0,04237	-0,02118
09.10. 9 ²⁵	-0,04324	+0,00306	-0,04018	-0,02009
9 ⁴⁰	-0,04434	+0,00278	-0,04156	-0,02078
9 ⁵⁵	-0,04400	+0,00222	-0,04178	-0,02089
10 ²⁰	-0,04527	+0,00378	-0,04149	-0,02074
10 ³⁵	-0,04220	+0,00180	-0,04040	-0,02020
számtani közép=				-0,02118

1. Hilti - 2. Hilti magasságkülönbsége: $\frac{1}{2}(-0,03436-0,02118) = -0,02777$ m.



4. ábra. A Tápénál végzett átszintezés vázlatja.

Refrakció vizsgálata



3. ábra. A refrakció változása két egymást követő mérési sorozat idején.

3. táblázat. A Tápéi mérési sorozatok eredményei (m).

	Bal part	Jobb part	
Műszer:	N3-183144	N3-125237	
Dátum idő	$\Delta m'_b$	$\Delta m'_j$	$\frac{1}{2}(\Delta m'_b + \Delta m'_j)$
10.16 14 ⁵⁰	1,26942	1,27028	1,26985
15 ⁰⁰	1,27182	1,26856	1,27019
15 ¹⁰	1,27038	1,27082	1,27060
15 ²⁰	1,27411	1,26619	1,27015
15 ³⁰	1,27095	1,26878	1,26987
15 ⁴⁰	1,27174	1,26747	1,26961
15 ⁵⁰	1,27332	1,26716	1,27024
16 ⁰⁰	1,27249	1,26449	1,26849
16 ¹⁵	1,27347	1,26791	1,27069
16 ²⁵	1,27124	1,26981	1,27053
számtani közép=			1,27002

4. táblázat. A Tápéi mérési sorozatok eredményei (m).

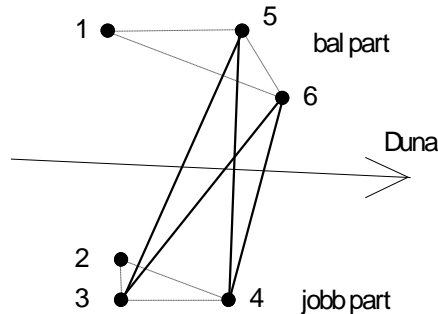
	Bal part	Jobb part	
Műszer:	N3-183144	N3-125237	
Dátum idő	$\Delta m'_b$	$\Delta m'_j$	$\frac{1}{2}(\Delta m'_b + \Delta m'_j)$
10.16 12 ⁰⁰	1,26612	1,26553	1,26583
12 ¹⁰	1,26665	1,26523	1,26594
12 ²⁵	1,26737	1,26529	1,26633
12 ³⁵	1,26576	1,26686	1,26631
12 ⁴⁵	1,26570	1,26547	1,26559
12 ⁵⁵	1,26636	1,26561	1,26599
13 ⁰⁵	1,26702	1,26637	1,26670
13 ²⁰	1,26774	1,26509	1,26642
14 ¹⁰	1,26932	1,26406	1,26669
14 ²⁵	1,26724	1,26403	1,26564
számtani közép=			1,26614

A két gomb között a magasságkülönbség: $\frac{1}{2}(1,27002 + 1,26614) = \mathbf{1,26808}$ m.

Magasság meghatározás GPS-szel

Az átszintezéssel párhuzamosan GPS méréseket is végeztünk. A mérésekhez TRIMBLE típusú műszereket használtunk, az egyik 4000SE a másik 4600LS geodéziai pontosságú műszer volt. A 4000SE műszerhez kinematikus antennát kapcsoltunk. Mérési módszerként a statikus mérést alkalmaztuk.

A méréshez olyan hálózatot alakítottunk ki, hogy ne akadályozza az átszintezés méréseit. Az 5. ábrán (az 1. ábrának megfelelő hálózatban) a pontok közötti GPS méréseket folyamatos vonallal, a GPS mérésekhez kapcsolódó szintezéseket szaggatott vonallal tüntettük fel.



5. ábra.

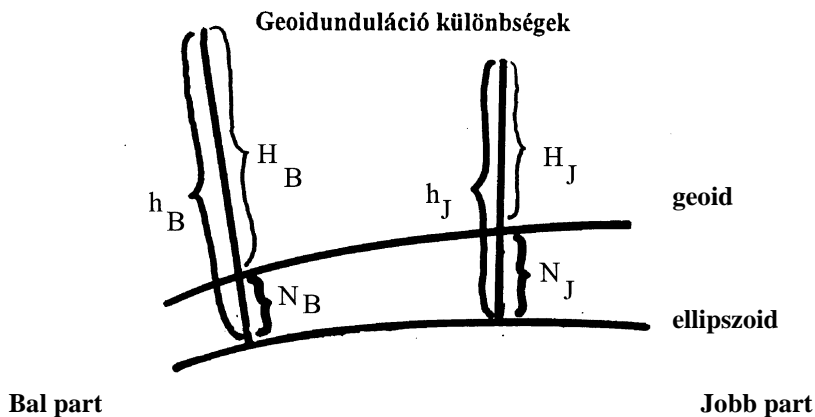
Az első napon egyik műszer az egész mérés ideje alatt az 5-ös számú ponton állt, míg a másik a 3-ason, majd a 4-esen. A második nap a felállás annyiban változott, hogy a műszerek helyet cseréltek, valamint a bal parti műszer az egész mérés ideje alatt a 6-os ponton állt. Mind a bal, mind a jobb parton a pontok által alkotott háromszögekben szintezéssel meghatároztuk a pontok közötti magasságkülönbséget és ezek felhasználásával a GPS mérésekből körzárásokat számítottunk.

Korábbi műszervizsgálat alapján azt tapasztaltuk, hogy a két antenna által meghatározott magasságkülönbség 0,0095 m-rel eltér a szintezéssel nyert értéktől. Ez a hatás leginkább ahhoz hasonlít, mint amikor a szintezésnél a léceknek talpponti hibájuk van és a két talpponti hiba különbsége is jelentkezik a meghatározott magasságkülönbségben. Ez a hiba két háromszög körzárási eredményéből kiesik, azonban két körzárársban a kétszerese van benne. Ezért a GPS mérésekből meghatározott magasságkülönbségeket meg kellett javítanunk a fent említett állandó értékkel.

A szintezési körök záróhibája a bal parton 0,02 milliméter, a jobb parton 0,01 milliméter értékű volt. Mivel a szintezések megbízhatósága nagyságrendileg meghaladja a GPS mérések megbízhatóságát, a szintezéseket a számításoknál hibátlannak tekintettük. A hat pont által alkotott hálózat szintezési eredményeit (az átszintezés kivételével) és a GPS mérésekből nyert magasságkülönbségeket együttesen egyenlítettük ki a legkisebb négyzetek módszerével. A kiegyenlítésből az 1-2 pontok közötti magasságkülönbség értéke: 0,02652 méter. Összehasonlítva a szintezésből nyert magasságkülönbséggel (0,02777 m), a kétféle mérési eljárással meghatározott magasságkülönbség jó egyezést mutat. A két magasságkülönbség azonban más-más alapfelületre vonatkozó magasságmérésekből van levezetve, ugyanis a GPS-szel meghatározott magasságok a WGS84 ellip-

szoidra, ezzel szemben a szintezéssel meghatározott normálmagasságok a kvázi geoidra vonatkoznak. A magyarországi geoidmodellek geoidunduláció változása a síkvidéki területeken K-NY irányban kilométerenként közel 1 cm változást mutat. A GPS-szel meghatározott magasságkülönbség normálmagasság-különbséggé történő átalakításakor a geoidképből interpolált javítást lehet felhasználni. Egyelőre azonban ezek a modellek a helyi anomáliákat nem tartalmazzák, ennek ellenére síkvidéki területen a változások irányát és tendenciáját jól mutatják. (A normálmagasság és az ortométeres magasság között elméletileg levezethető különbségtől az átszintezésekkor – tekintettel a pontok közötti távolságra – eltekinthetünk, különösen akkor, ha a mért magasságkülönbség megbízhatóságát is figyelembe vesszük.)

A 6. ábra az ellipszoid és a geoid viszonyát mutatja Lórév térségében a HGR 95C geoidmodell alapján.



6. ábra. Az ellipszoid és a geoid viszonya Lórévnél.

A felhasznált GPS felszereléssel meghatározott magasságkülönbség megbízhatósága néhány milliméter, valamint a geoidmodellek alapján is csak néhány milliméter megbízhatósággal tudunk geoidunduláció különbséget megállapítani, ezért mondhatjuk, hogy ezen a távolságon a GPS-szel meghatározott magasságkülönbség is csak néhány milliméteres megbízhatóságú, ami a felsőrendű szintezési feladatoknak nem, de több mérnöki feladatnak elegendő pontosságú (Min 1996). Különösen jól alkalmazható azoknál a síkvidéki vízgazdálkodási, vízepítési mérnöki feladatoknál, ahol a negyedrendű szintezés végrehajtása is nehézségekbe ütközik a kedvezőtlen terepviszonyok miatt.

Összefoglalás

A bemutatott mérési módszerekkel azt vizsgáltuk, hogy az átszintezéskor alkalmazott módszer megfelel-e az I-III. rendű szintezési vonalak mérésekor előforduló átszintezések végrehajtására, illetve mérnökgeodéziai feladatok megoldásakor a GPS technikával mért magasságkülönbség milyen megbízhatósággal határozható meg.

A mérésekből számított középhibák bizonyították, hogy az általunk alkalmazott módszerrel végzett átszintezések megbízhatósága biztosítja a szükséges pontosságot.

A javasolt mérési elrendezéssel végrehajtott GPS magasságkülönbség meghatározások megfelelnek az építőmérnöki gyakorlat pontossági igényeinek. Az 1-2 cm megbízha-

tóságot igénylő munkáknál síkvidéki területeken a magyarországi geoidfelület napjainkig számított modelljei felhasználásával az "átszintezésként" végzett GPS magasság mérések geoid feletti magassággá alakíthatók.

Hivatkozások

- Feles A** (1954): A Geodéziai és Kartográfiai Intézet új lécei folyókon való átszintezéshez. Földméréstani Közlemények, 6, 4.
- Guóth B** (1939): Szintezések a Dunán át. Geodéziai közlöny, 15, 1.
- Homoródi L** (1966): Felsőgeodézia, Tankönyvkiadó, Budapest.
- Joó I** (1998): A GPS-szel mért magasságok megbízhatóságáról. Geodézia és Kartográfia, 50, 2.
- Min E** (1996): The new Netherlands geoid. European Geophysical Society XXI General Assembly, The Hague, The Netherlands, 6-10 may.
- Miskolczi L** (1973a): A szabatos szintezőlécek tökéletesítésének néhány lehetősége. Geodézia és Kartográfia, 25, 3.
- Miskolczi L** (1973b): Kéregmozgások vizsgálata szabatos szintezésekkel. Akadémiai Kiadó, Budapest.
- Ódor K, Tóth J** (1997): Süllyedési horpa vízszintes és függőleges értelmű mozgáselemeinek meghatározása. Geodézia és Kartográfia, 49, 6.

AZ ORSZÁGOS GPS HÁLÓZAT GEODÉZIAI JELENTŐSÉGE

*Borza Tibor**

Nem lehet vita tárgya, hogy az alappont meghatározások területén a GPS technika meghatározó szerephez jut. A NKP keretében általam ismert felmérések mindegyikénél a GPS-re támaszkodva végzik a pontsűrítést. Betudható ez annak, hogy ezen a területen a GPS hatékonyságának nincs alternatívája. Ennek ellenére a GPS technikának talán mégsem a hatékonyság a legnagyobb érdeme, hanem az, hogy a 3D geodéziát behozta a gyakorlatba.

A geocentrikus ortogonális 3D koordináta-rendszer gondolata, mint a 3D geodézia vonatkozási rendszere már a múlt században is felmerült (Bruns 1978). A megvalósítására azonban várni kellett, mert nem volt megfelelő technika, amellyel dolgozni lehetett volna egy olyan térbeli koordináta-rendszerben, amelyiknek a Z tengelye a Föld forgástengelye. Hangsúlyoznunk kell, hogy nem a 3 dimenziós meghatározási technika a fő jellemzője a 3D geodéziának, hanem az egész Földet magába foglaló vonatkozási rendszer. Ez a koordináta-rendszer azért szokott gondot okozni, mert túlságosan is hozzá szoktunk a szintfelületi rendszerekhez. Nehéz megszokni, hogy itt nincs vízszintes, nincs magasság. (Bár a GPS antennájának felállításához használjuk a helyi függőlegest, de kizárólag a külpontos felállítás számításához.) A meghatározott pont koordinátáit geocentrikus rendszerben kapjuk, amelynek kétségtelen szemléletbeli hátrányát azonban kamatoztól kárpótolja az a tény, hogy ez az egyetlen geodéziai rendszer, (ha a lokális horizontális rendszerektől eltekintünk) amely euklédészi (lineáris és ortogonális) ezért nem kell semmilyen redukciónak végezni a számítások során. Ez az egyetlen rendszer, amelyben a mért hosszak, vektorok értékei megegyeznek a koordinátákból számított értékekkel. Mindez annak köszönhető, hogy elszakadtunk a szintfelülettől és kiléptünk a térbe.

Mint ismeretes a potenciáltér önkényesen rögzített szintfelülete (geoid), matematikailag zárt összefüggésekkel nem írható le, aminek következtében a kétségtelenül szemléletes 2+1 dimenziós koordináta-rendszerek mindig csak feltevésekkel, közelítésekkel alkalmazhatók, ellentétben a feltevéstelen geocentrikus 3D rendszerrel. Az euklédészi térben a koordináta-meghatározás egyetlen vektor összeadásá váls egyszerűsödik.

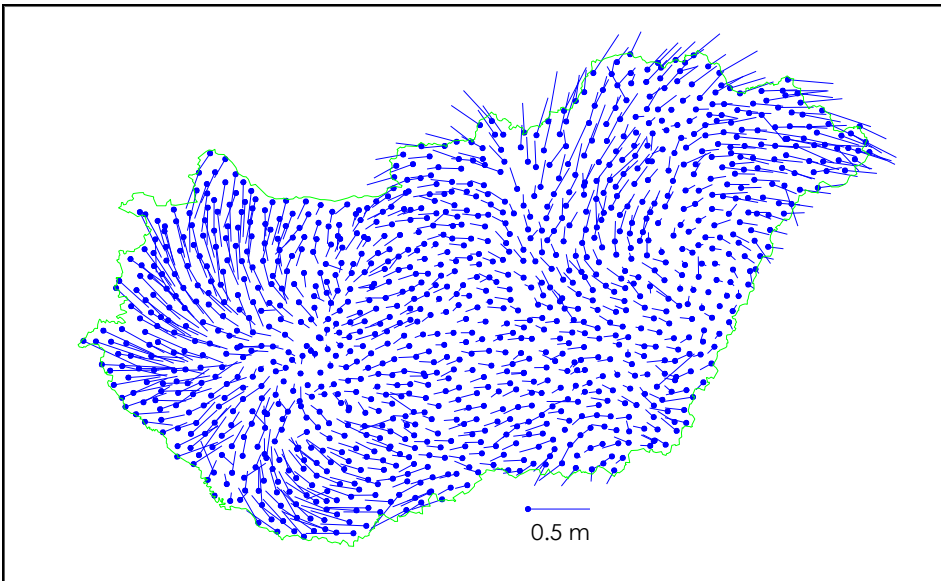
A GPS technika - a helymeghatározásban páratlan előnyeivel - mindenki számára elérhető, de egy hasonlattal élve, ha egy elmaradott ország rendelkezik autósodákkal, még nem beszélhetünk autós kultúráról, ha hiányzik a megfelelő infrastruktúra. A GPS technika infrastruktúrája a GPS hálózat. Szükség van rá, mert a GPS technika abszolút pontossága több nagyságrenddel elmarad a geodézia igényeitől, a relatív mérési technikának pedig feltétele a GPS rendszerében ismert egyenletes sűrűségben telepített alappontok rendszere, tehát a GPS hálózat.

A hazai GPS hálózat mérése és feldolgozása három évet érintve lényegében két év alatt megtörtént (Borza 1998), a hálózat pontjainak digitális adatbázisa bekerült a FÖMI adatbázisába (Mihály 1994). A hálózatnak 1154 pontja van, tehát mintegy 8-10 km sűrű. A pontosságáról el lehet mondani, hogy vízszintes értelemben a hiba kisebb, mint 2 cm, magassági értelemben valamivel rosszabb. Ezek az értékek azonban bármely két pont viszonylatában igazak. Ez azt jelenti, hogy akár a soproni és a tarpai pont is egymáshoz képest ilyen pontos. (Sőt mivel ez a két pont éppen keretpont, történetesen a hiba kisebb,

mint 1 cm.) Az eddigi tapasztalatok szerint a szomszédos pontok közötti hiba szinte minden esetben a mm-es tartományba esett. A hálózat vonatkozási rendszere az ETRF89 (European Terrestrial Reference Frame), ami egyben azt is jelenti, hogy a GPS hálózatunk része az egységes európai GPS hálózatnak (EUREF). Az OGPSH minden pontja egyben EOVS pont is, hiszen belőlük lettek kiválasztva. Ennek igen nagy a jelentősége, mert így nyílik lehetőség az EOVS és a világszinten egységes GPS vonatkozási rendszer közötti átszámításra.

Az átszámítással kapcsolatban szeretnénk egy gyakori félreértést eloszlatni. A két hálózatot teljesen eltérő mérésekből hozták létre, tehát mindkét hálózatot sajátos mérési hibák terhelik. Ebből következik, hogy a két hálózat valamennyi pontját hibátlanul egymásba áttranszformálni lineáris eszközökkel nem lehet. Minél nagyobb területet érint a transzformáció, annál nagyobbak a feszültségek, tehát egyre nagyobb maradék hibákat kapunk. Sokan szeretnék, ha a két hálózat egymásra illesztését és a legvalószínűbb paraméterek meghatározását nem nekik kellene elvégezni. Szeretnék, ha nekik már csak olyan transzformációs paraméterekkel lenne dolguk, amelyek érvényesek az egész országra. A kész paraméterekkel való átszámítás azonban veszélyeket rejt magában:

Vízszintes irányban a legjobb paraméterekkel is (ha az ország területéről egyenletesen kiválasztott pontpárok alapján hozták létre) közel fél méteres hibák is előfordulhatnak (1. ábra). Ha viszont nem országos paraméterekkel próbálkozunk, akkor ennél is rosszabbak a kilátások, ha csak véletlenül nem éppen ott alkalmazzuk, ahonnan a paramétereket meghatározták.



1. ábra. Az EOVS és a DGPS hálózatok közti vízszintes hibák.

Magassági értelemben még rosszabb a helyzet. Akik a paramétereket előállították feltehetően gondosan jártak el és amikor szembeállították a két rendszer koordinátáit, az EOVS oldalon a magasságokhoz hozzáadták az ott érvényes geoidmagasságokat, hogy mindkét rendszerben egységesen ellipszoid feletti magasság szerepeljen. Így korrekt. Csak hogy aki használja ezeket a paramétereket ennek megfelelően ellipszoid feletti ma-

gasságokhoz jut, amivel nem sokra megy, mert neki szintfelületi kellene. Hogy szintfelületi (kvázi EOMA) magassághoz jusson korrigálni kell a magasságot a geoidmagassággal. Ez az amire nem valószínű hogy sor kerül, mert tapasztalatom szerint a geoiddal való számolás nem kenyerük a szakembereknek. Ha valaki mégis ezt az utat választja, akkor be kell szereznie az pontokhoz érvényes geoidmagasságokat. Bár a geoidmagasság megtalálható a FÖMI adatbázisai között (Mihály 1994), használatuk nem mondható általánosnak.

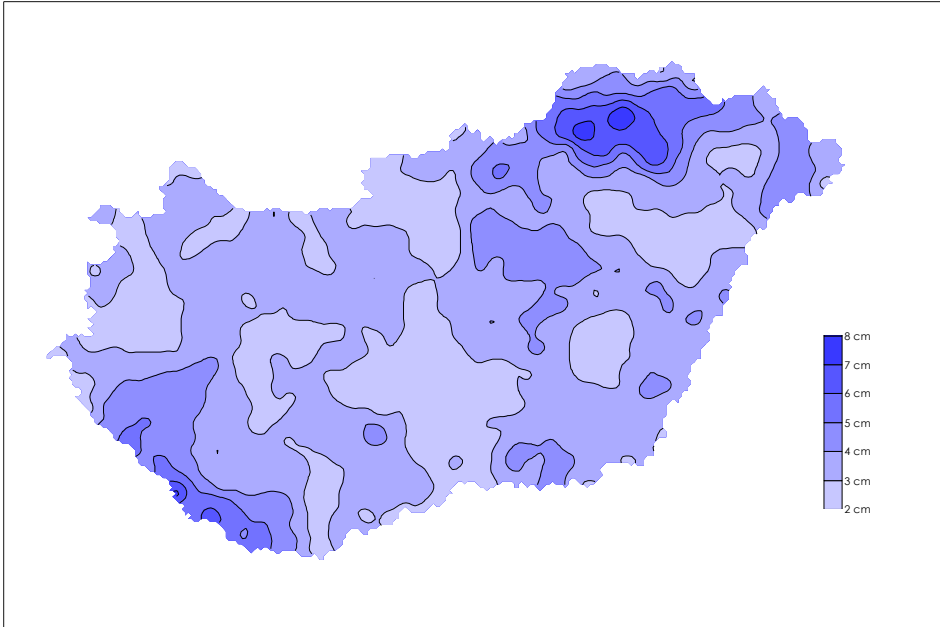
Példaként tekintsük a (Mihály 1998) 5.b pontja alatt közölt paraméter készletet, amely a HD-72 és a WGS84 rendszer közötti transzformációra készült. Ha valaki ezt alkalmazza, akkor ellipszoid feletti magasságokat fog kapni. Az alapfelület ez esetben a HD-72 vonatkozási rendszer IUGG GRS 1967 nevű ellipszoidja, ezért az erre vonatkozó geoidmagasságokat kell használni. Ugyanebben a cikkben a fentiek értelmében nem helyeselhető az a mondat, hogy „a végleges transzformációs paraméterek számítása folyamatban van” mert nincs definiálva (nem is lehet), hogy mely pontok bevonásával lehet a „végleges” paraméterekhez jutni és mitől végleges, ha a pontossága a dm nagyságrendbe esik.

Ha mégis átvett paraméterekkel akar valaki dolgozni, akkor tehát feltétlenül meg kell bizonyosodnia, hogy a paraméterek számításánál milyen geoid modellt használtak, mert ugyanazt kell neki is alkalmaznia, hogy ne kövessen el durva hibát. (Például a WGS84-re vonatkozó geoidmagasságok 40 m fölöttiek, az IUGG67-re vonatkozók viszont csak 10 m alatti értékek.) Nem szerencsés tehát leragadni a transzformációs paramétereknél, mert azokról pontosan tudni kell, hogy miből és hogyan állították elő és megfelel-e az igényelt pontossági követelménynek.

Az általunk ajánlott átszámítási technika a lokális transzformáció, mégpedig úgy, hogy egyik oldalon az ellipszoidi magasságok, a másik oldalon pedig közvetlenül a geoid feletti (szintezett) magasságok kerüljenek be. Ez ugyan nem teljesen korrekt eljárás, (keveredik a két vonatkozási rendszer) a paraméterek, különösen a méretarány eltérnek a megszokottól, de az eredmények minden tekintetben megfelelőek lesznek, és nem kell foglalkozni a geoiddal sem. Tapasztalat szerint, ha azt akarjuk, hogy a transzformációból adódó hiba ne haladja meg a pontok átlagos hibáját, (ne emelkedjen ki a zajból) akkor a terület mérete ne legyen nagyobb 30-40 km-nél. A teljesség kedvéért megjegyezzük, hogy ha megelégszünk vízszintes irányban a félméteres pontossággal és a magasság nem érdekes, akkor előnyös országosan egységes transzformációt alkalmazni, mert a jóval kevesebb művelethez a másodperc tört része is elég. Tehát egy térinformatikai rendszerrel akár valós időben is mozoghatunk közvetlenül EOVS rendszerben.

A fentiekből következik, hogy az OGPSH pontleírásokon található 3D és EOVS koordináták is csak bizonyos pontossággal felelnek meg egymásnak. A megfelelés mértékéről úgy győződhetünk meg, hogy a környező pontok alapján lokális transzformációt végzünk, majd a kapott paraméterekkel átszámítjuk mondjuk a GPS koordinátát EOVS-ba és megnézzük, hogy mennyire tér el a hivatalos EOVS koordinátáktól (lehet fordítva is). Ezt a tesztet elvégeztük az összes OGPSH pontra, majd a kapott hibamezőt a 2. ábrán izofelületekkel ábrázoltuk (Virág 1998). Bár itt a GPS és az EOVS koordináták különbségéről van szó, ismerve a GPS koordináták 2 cm abszolút pontosságát, gyakorlatilag az EOVS hálózat pontosságának országos képét látjuk. Mintegy 80 pont esetében az eltérés 5 cm-nél nagyobb mértékben haladja meg a környezetre jellemző átlagértéket, ebből 35 esetben pedig a 10 cm-t is meghaladja. (Az 1.ábrán ezek azok a vektorok, amelyek ki-lógnak a sorból.) A jelentősebb hibával terhelt pontok nagy része két területet érint:

B-A-Zemplén megye északi és Somogy megye déli részét. Nem véletlen, hogy ezzel ellentétben a legkisebb hibákat ott találjuk, ahol a IV. rendű pontsűrítés GPS technikával történt (lásd. Duna-Tisza köze).



2. ábra. Az EOVS alaphálózat hibáinak országos eloszlása.

Kik és hogyan használják a GPS koordinátákat. Bár az OGPSH állami átvétele még folyamatban van (1998 okt.), az adatokat igénylők száma nem csekély. Van olyan felhasználó is, aki nem aprózta el, megvette az egész adatbankot. Ez is arra utal, hogy idejében történt a hálózat létesítése.

Hogyan használjuk a GPS koordinátákat geodéziai célra? Két megoldást vázolunk. Az egyik szerint a bázisvevőt (vevőket) felállítjuk a területhez legközelebb eső OGPSH ponton (pontokon), majd a mozgó vevővel (vevőkkel) tetszőleges számú pontot mérünk meg. Rutin eljárással számítjuk a vevők közötti vektorokat. Több mint két vevő esetén fölös méréseink vannak, ezért hogy a végleges vektorokhoz jussunk térbeli kiegyenlítést kell végezni. A végleges vektorokat (Δ_{xi} Δ_{yi} Δ_{zi}) hozzáadjuk a bázispont (X, Y, Z) geocentrikus koordinátaíhoz, és máris megkaptuk az új pontok térbeli koordinátáit.

$$\begin{vmatrix} X_i \\ Y_i \\ Z_i \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} X \\ Y \\ Z \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} \Delta_{xi} \\ \Delta_{yi} \\ \Delta_{zi} \end{vmatrix}$$

Ezután a meghatározott és az OGPSH rendszerében ismert pontokat át kell számítani EOVS rendszerbe, amit az előzőek alapján a környező 4-6 pontra támaszkodva lokális transzformációval célszerű megoldani. A kiválasztott OGPSH pontok alapján tehát meghatározzuk a területre jellemző lokális transzformációs paramétereket. (A GPS koordinátaíknál ellipszoid feletti, az EOVS koordinátaíknál szintezett magasságokat viszünk be),

majd következik az új, WGS84 rendszerbeli pontok átszámítása HD-72 rendszerbe, amihez az előállított paraméter készletet használjuk.

$$\begin{vmatrix} X_{HD-72} \\ Y_{HD-72} \\ Z_{HD-72} \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} dX \\ dY \\ dZ \end{vmatrix} + (1 + \kappa) \begin{vmatrix} 1 & E_z & -E_y \\ -E_z & 1 & E_x \\ E_y & -E_x & 1 \end{vmatrix} \begin{vmatrix} X_{WGS} \\ Y_{WGS} \\ Z_{WGS} \end{vmatrix}$$

ahol dX, dY, dZ az eltolási paraméterek,
 E_x, E_y, E_z forgatás az x, y, és z tengely körül,
 κ méretarány különbség a két rendszer között.

Végül a HD-72 rendszerbeli X, Y, Z koordinátákat át kell számítani előbb ellipszoidi j, l, H koordinátákká, végül EOVS(y, x, H) koordinátákká. (A H geoid feletti magasság.) A paraméterek meghatározására és a transzformáció elvégzésére vannak kész szoftvercsomagok, a felhasználónak mindössze az eljárásba bevont OGPSH pontok adatait kell beszereznie, ill. az új pontok WGS84 koordinátáit előállítania.

Egy másik lehetőség szerint - amelyet az OGPSH beszerítése előtt kellett alkalmazni - a bázispont EOVS koordinátáiból indulunk ki, melyet előbb átszámítunk geocentrikus rendszerbe.

$$(y, x, H)_{EOV} \rightarrow (j, l, H)_{HD-72} \rightarrow (X, Y, Z)_{HD-72}$$

majd egy országos transzformációs paraméter készlettel átszámítjuk a GPS rendszerébe.

$$\begin{vmatrix} X_{WGS} \\ Y_{WGS} \\ Z_{WGS} \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} dX \\ dY \\ dZ \end{vmatrix} + (1 + \kappa) \begin{vmatrix} 1 & E_z & -E_y \\ -E_z & 1 & E_x \\ E_y & -E_x & 1 \end{vmatrix} \begin{vmatrix} X_{HD-72} \\ Y_{HD-72} \\ Z_{HD-72} \end{vmatrix}$$

(Ez a GPS koordináta magában hordozza az EOVS pont saját hibáját is.) Ettől kezdve a folyamat megegyezik az előbbi eljárással, azzal az eltéréssel, hogy itt nem kell paramétereket meghatározni. A mért vektorokat ehhez a transzformált GPS koordinátához adjuk hozzá, majd az így kapott új GPS koordinátákat visszaszámítjuk az EOVS-ba szigorúan ugyanazokkal a paraméterekkel, de ellenkező előjellel. Ha a vektorok hossza nem haladja meg a néhány km-t akkor ez a meghatározási technika is elég pontos, de különösen magassági értelemben a hiba az országos paraméterek miatt a vektorok hosszával egyenes arányban nő. Ezt a technikát csak ellenőrzéssel szabad alkalmazni.

Megemlítünk még egy harmadik lehetőséget is, amely talán a legnépszerűbb a felhasználók között. A GPS vevőkkel beszerzett szoftvereket gyakran ellátják olyan képességgel, hogy két pontot kiválasztva megadva azok speciális rendszerbeli (pl. EOVS) koordinátáit, egy síkbeli transzformációt végez, melynek segítségével a szűk környezetben szépen lehet dolgozni.

Különösen a nyugati érdekeltségű vegyes vállalatok részéről egyre gyakrabban merül fel az UTM vetületi rendszer iránti igény. Ennek magyarázata az, hogy a GPS koordináták és az UTM síkkoordináták között (ha a WGS84 ellipszoidot vesszük figyelembe) zárt matematikai kapcsolat áll fenn, amely a világ minden területén egyaránt érvényes. Ha tehát valaki egyszer valahol alkalmazta, akkor szívesen dolgozik vele bárhol a világon, hiszen nincs szükség új ismeretekre. Hazai elterjedésével tehát az EOVS mellett számolni kell.

De nem csupán geodéták hasznélvezői a GPS hálózatnak. Lényegesen nagyobb számban használják ki a GPS előnyeit a térinformatika legkülönbözőbb területein, a környezetvédelemtől kezdve a gépkocsi navigálásig. Mivel a GPS vevőkről közvetlenül a WGS84 rendszer földrajzi koordinátái olvashatók le, a felhasználók növekvő érdeklődést mutatnak az ilyen rácshálózattal ellátott topográfiai térképek iránt, ill. az erre a rendszerre vonatkozó digitális térképek iránt. A földrajzi koordináták használata odafigyelést igényel, mert meg kell győződni a geodéziai dátumról, azaz milyen ellipszoidra vonatkoznak a koordináták. Példaként hazai viszonylatban az EOVS hálózathoz simított IUGG67 ellipszoidi és ugyanazon pont geocentrikus WGS84 ellipszoidi koordináták között a különbség mintegy 150 méter.

Nem lenne-e egyszerűbb itthon is átvenni a WGS84, ill. az UTM rendszereket és az EOVS koordinátákat átszámítani? Erről sokat vitáztak már és bizonyára fel is fog még vetődni, de szerintünk nem az a lényeges hogy milyen rendszerben tároljuk az alapadatokat, hanem az, hogy biztosítsuk az áttérést a számunkra fontos rendszerek között. Ettől függetlenül a polgári repülésnek nemzetközi egyezmény szerint már 1998-tól a WGS-84 rendszert kell alkalmaznia. Nem kétséges, hogy a NATO-ba tartó hadseregünknek is kötelező lesz használata, de ettől polgári célra továbbra is maradhat első számú rendszerünk az EOVS.

Hivatkozások

- Borza T** (1998): Elkészült az országos GPS hálózat. Geod. és Kart. 1.
- Bruns H** (1978): Die Figur der Erde, Berlin
- Mihály Sz** (1994): A magyarországi geodéziai vonatkozási és vetületi rendszerek leíró katalógusa. Geod. és Kart. 4.
- Mihály Sz** (1998): A FÖMI adatbázisai, szabványosítási kérdések. Az MTA Geodéziai Tudományos Bizottságának okt. 8.-i ülésére készített összeállítás
- Virág G** (1998): Az EOVS alaphálózat az OGPSH tükrében. Az MFTTT vándorgyűlésén elhangzott előadás. Békéscsaba

A FÖLD PÓLUSMOZGÁSÁNAK IDŐSOR ANALÍZISE

Závoti József*

Bevezetés

A Föld pólusának helyzetváltoztatásai egy év során egy hozzávetőlegesen 200 m²-es területen játszódnak le. Ezen belül a földi árapály és a globális meteorológiai folyamatok következtében létrejövő elmozdulások amplitúdói nem haladják meg a néhány decimétert. Nyilvánvaló tehát, hogy a fenti jelenségek vizsgálatához igen kifinomult mérés technikára van szükség. Ilyenek korunkban mindenképp előtt az űrgeodéziai eszközök és módszerek. Ezek közül a VLBI (Very Long Baseline Interferometry, Ádám 1990) és az SLR (Satellite Laser Ranging) az egy év és egy nap közé eső periódusú pólusváltozásokat képesek kimutatni, míg a GPS (Global Positioning System) ezen túlmenően az egy napnál rövidebb folyamatok vizsgálatára is alkalmas.

A földi pólusmozgások vizsgálata több szempontból fontos:

- lehetőséget biztosít a Föld dinamikus folyamatainak megfigyelésére, és a bolygónk belsejében lejátszódó folyamatok kutatására,
- a globális meteorológiai folyamatok modellezésére,
- nagyobb lokális hatások (pl. nagy földrengések) és a pólushelyzet változások egybe vetésére.

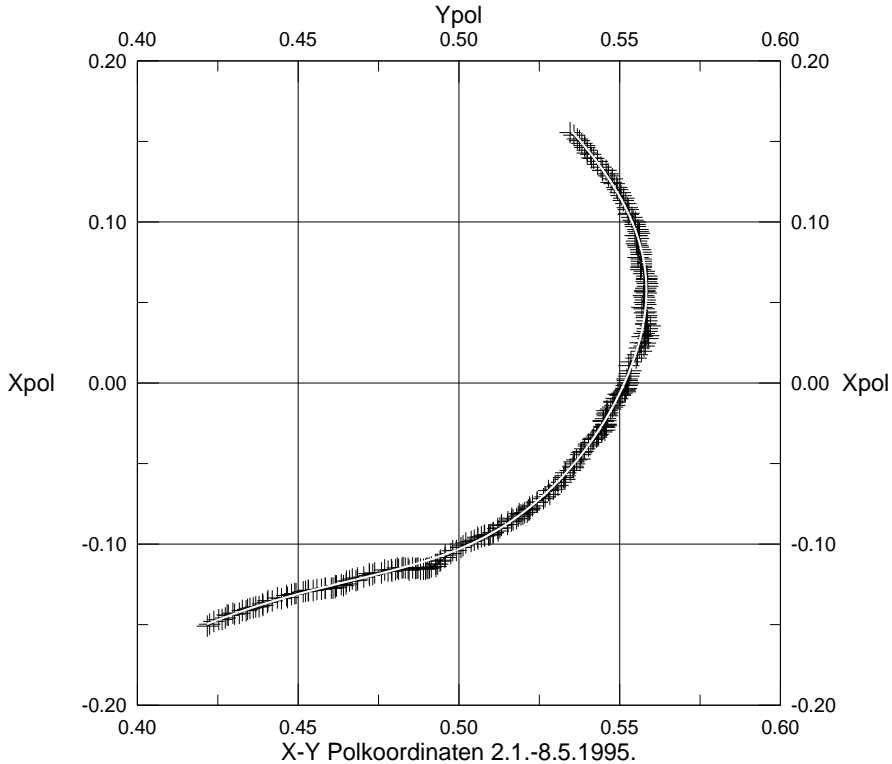
A GPS megfigyelésekből származó pólusmozgás és forgássebesség változási adatok lehetővé teszik az 1 év, 0.5 év, 0.25 év periódusú szezonális meteorológiai folyamatoknak a tengelykörüli forgás paramétereire gyakorolt hatásának kutatását. Az árapály különböző periódusú komponensei közül a lokális (14-28 nap) árapály elsősorban a tengelykörüli forgás sebességének változását idézi elő, míg a fél és egész napos (tesszerális és szektorális) hullámok a pólusmozgás okozói (Zharkov et al. 1996).

A pólusmozgás és forgássebesség változások kutatásához a műholdpályák igen pontos meghatározására van szükség. Am az így nyert adatokkal az eddigi vizsgálatoknál sokkal részletesebb és többcélú vizsgálatra nyílik lehetőség. Megvalósítható a földi és a tengeri árapály okozta változások elkülönítése a pólusmozgás adatokban. A 40-60 nap periódusú meteorológiai eredetű anomáliákat az eddigieknél jobban megalapozottan lehet modellezni (Kosek et al. 1995). Kutatható a Föld szeizmicitása és a pólushelyzet közti kapcsolat.

A trend leválasztása

A fenti megfigyelések adatainak feldolgozásához matematikai eszközként használtuk fel a lineáris szűréseket, a Fourier transzformációt, a maximum entrópia módszert (Brzezinski 1995), de vizsgálatainkat elsősorban a wavelet analízisre alapoztuk.

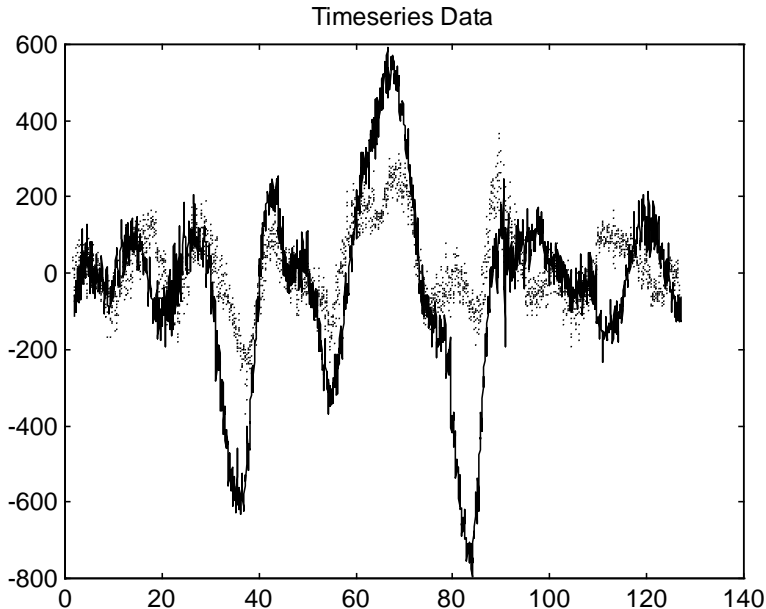
A Föld pólusának wavelet analíziséhez szükséges adatrendszereket a Darmstadt Műszaki Egyetem Fizikai Geodézia Intézete bocsátotta rendelkezésünkre. A pólus koordinátákat a Berni Egyetem Csillagászati Intézete GPS mérések alapján határozta meg. Az általunk mintafeladatnak választott és tesztelt adatrendszer tartalmazza a pólus mindkét (X-Y) koordinátáját az 1995. január 2.- augusztus 8. közötti időszakban, a póluskoordináta értékek 1 óra időtartammal követik egymást. Az 1. ábra a Föld pólusának 125 nap alatt végzett mozgását szemlélteti.



1. ábra. A Földpólus 125 napos elmozdulása.

Az eredeti adatrendszerből a nagy frekvenciával rendelkező folyamatok vizsgálata előtt el kell távolítani a trendet, a szabályos részt. A szakirodalomban ehhez különböző fokszámú polinomokat ajánlanak. Ennél a módszernél a legnagyobb bizonytalanság a polinom fokszámának megválasztásában rejlik. Megállapítottuk, hogy a vizsgált adatrendszer esetén egy elsőfokú polinom legkisebb négyzetek módszerével történő illesztése már megfelelő eredményeket szolgáltat. Azonban a trendválasztás általános problémájának megoldásához az általunk általánosított spline interpolációt ajánljuk. A hagyományos interpolálási eljárások nemkívánatos oszcillációkat mutatnak, különösen az idősor elején és végén torzítják az eredményeket. Az általunk kidolgozott eljárás kiküszöböli ezt a problémát, megszűnik a peremhatás. A módszer alapelve: az idősor adatait három, közel egyenlő hosszúságú részintervallumra bontjuk. Mind a három részintervallumra kiegyenlítésessel harmadfokú spline polinomokat illesztünk úgy, hogy az adatrendszerekre legkisebb négyzetes értelemben legjobban illeszkedjenek. A csatlakozási pontokban a függvényre és deriváltjaira feltételi egyenletek felírásával biztosítjuk az interpolált függvény folytonosságát. Az eljárás iteratív, az egymást követő lépésekben a póluskoordináták a trendfüggvénytől való távolságukkal fordított arányban kapnak súlyokat. Ezzel a módszerrel az adatrendszerben előforduló durva hibák is felderíthetők és a feloldozásból kiküszöbölhetők. Az általunk kidolgozott módszer gyakorlati alkalmazására - a korábban levezetett matematikai formulákon túlmenően - FORTRAN forráskódú programrendszert fejlesztettünk ki. A programrendszert felhasználtuk a póluskoordináták

trendjének eltávolítására. A fenti módszerrel további felhasználásra alkalmas adatrendszereket nyertünk. A trend leválasztása után kapott idősor grafikus képe a 2. ábrán látható.

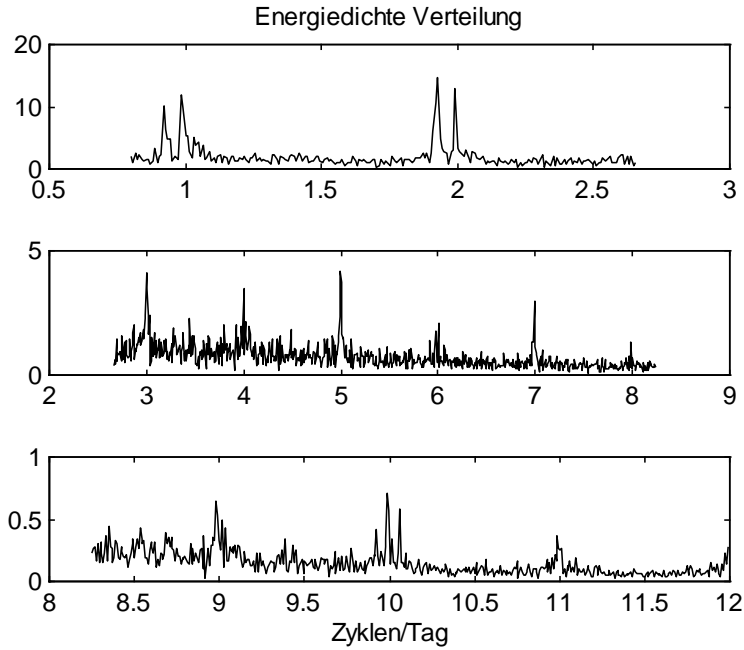


2. ábra. Pólusingadozás a trend leválasztása után.

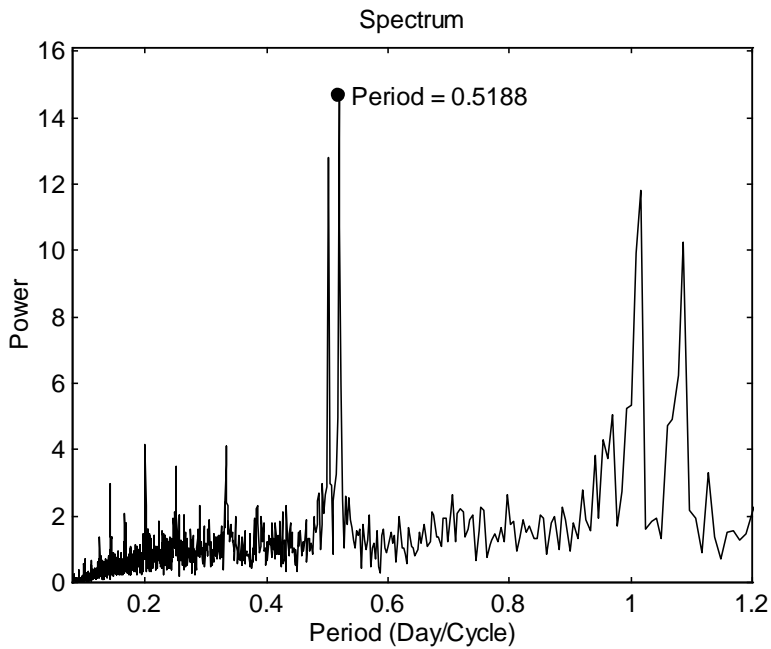
Digitális szűrés

A következő adatfeldolgozási lépés a póluskoordináták adott frekvenciasávjának szűrése. A szakirodalomban erre a célra is számos módszer ismeretes. Arfa-Kaboodvand és Groten (1998) a Butterworth felül áteresztő szűrőt alkalmazta. A digitális szűrőkről tudni kell, hogy velük ideális átvitel nem valósítható meg. Az ideális digitális szűrés problémájának megoldására a trigonometrikus interpolációt javasoljuk. A póluskoordinátákat zéró várható értékű sztochasztikus folyamatnak tekintjük, az interpoláló függvényt pedig ismeretlen amplitúdójú és fázisú, adott pozitív egész periódusú cosinus függvényekként vesszük fel. A póluskoordináták alapján becsüljük az amplitúdó és fázis értékeit. A becsléshez a legkisebb négyzetek módszerét alkalmazzuk. Ezen eljárás kidolgozásával lehetővé vált adott periódusú komponensek leválasztása a jelről. Így a frekvencia tartományból eltávolítottuk a 10 napnál hosszabb periódusokat. Az eredmények értékelése alapján arra a rejtélyes eredményre jutottunk, hogy a Föld pólusának változása a jól ismert egy napos, fél napos periódusokon túlmenően 3, 4, 5... (természetes számok) napos ciklust is tartalmaz. Valamennyi periódus érték megmagyarázására mindezen ideig nem született fizikai elmélet. A számításokat saját fejlesztésű, FORTRAN forrásnyelvű programokkal végeztük, az egész eljárást MATLAB környezetben megismételtük. Az energiasűrűség becslését a 3. ábra szemlélteti.

A 4. ábra a pólusmozgás spektrumát mutatja be.



3. ábra. A pólusingadozás periódusai.



4. ábra. Pólusingadozás spektruma.

Wavelet analízis

A fenti adatelőkészítés után jutunk el a tényleges wavelet analízishez.

A Fourier transzformáció széles körben ismert a digitális jelfeldolgozásban. Egy jel, egy folyamat tulajdonságainak leírása a jelet alkotó frekvenciák révén szokás. Stacionárius folyamatok leírásához a frekvencia dekompenzáció általában elegendő információt nyújt. A természetben előforduló folyamatok azonban nem feltétlenül elégítik ki a stacionaritás feltételét, az analizált jel karakterisztikája időfüggést mutathat.

Az olyan jelenségek elemzéséhez, amelyekben a frekvenciák az idő függvényében változnak, időtől függő frekvencia analízist szükséges bevezetni. Tipikus ilyen jelenség a Föld pólusának változása. Ebben az esetben az volt a célunk, hogy tisztázzuk az idő-frekvencia tartományban ható wavelet transzformációnak a póluskoordinátákra való alkalmazásának feltételeit, ezen túlmenően a transzformáció előnyös tulajdonságainak felhasználásával elvégezzük a rendelkezésünkre álló adatrendszer wavelet analízisét.

A wavelet transzformáció előnye abban rejlik, hogy egyidejűleg lehet az idő- és frekvencia analízist végrehajtani. Az analizálandó jelet (esetünkben a póluskoordinátákat) egy bázisfüggvénnyel mind az idő, mind a frekvencia tartományban letapogatjuk. Az alapfüggvény (ún. anya függvény) választása a feladat céljaitól függ. A szakirodalomban a Haar, a Morlet, a Mexikói kalap (Závoti 1995) bázis függvények alkalmazása terjedt el.

A wavelet transzformáció hasznos tulajdonsága, hogy a wavelet transzformáció eredményül kapott együtthatókat egyszerűen csonkítani lehet, anélkül, hogy az eredeti adatrendszer lényeges torzulást szenvedne. A Fourier transzformációnál a helyzet éppen ellenkező, külön csonkító függvény bevezetésével lehet az átvitel tulajdonságait javítani.

A pólus koordinátáit egy stacionárius kétdimenziós sztochasztikus folyamattal modellezzük, amely az (x,y) koordinátával rendelkező pontot valószínűségi változónak tekinti.

A közös kutatások során matematikai modellezését adtuk az idő frekvencia analízisben használatos wavelet transzformációnak.

A Föld pólusmozgásának wavelet analízise a megfelelő bázis függvény megválasztásával vált lehetővé. Erre a célra a Mexikói kalap és a Daubechies-féle wavelet bázist alkalmaztuk, Arfa-Kaboodvand et al. (1998) a Morlet bázisfüggvény hatását is megvizsgálta. Az általunk használt módszerrel is sikerült a pólusmozgás változásaiban az egy napos és félnapos periódusokat kimutatni, amely eredmény összhangban van Arfa-Kaboodvand és Groten (1998) tanulmányban közölt eredményekkel.

A pólusmozgás vizsgált 125 nap időtartamú wavelet analízis eredményét mutatja be az 5. ábra. Az ábrán megfigyelhető az 1 napos periódus időbeli változása.

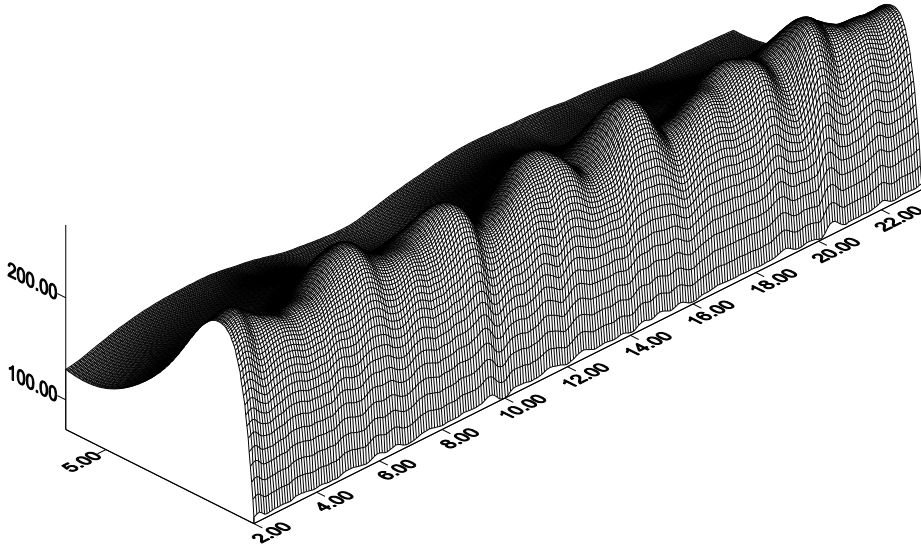
A pólusmozgás analízise nem lezárt téma. További vizsgálat célja lehet, hogy milyen felbontást lehet elérni a wavelet analízissel a frekvencia tartományban, azaz ki lehet-e mutatni a wavelet módszerrel bizonyos frekvenciák felhasadását?

A wavelet analízis további alkalmazására példaként említjük a nagyméretű lineáris egyenletrendszerek megoldását, vagy a véges elemek módszerénél fellépő parciális differenciálegyenletek ritka lineáris rendszerré való redukálását.

Összefoglalás

Megállapítható, hogy a Föld pólusmozgásának idősor analízise során a trend leválasztására kidolgozott általánosított spline interpoláció kiválóan alkalmas. Idősorok digitális

szűrésére a trigonometrikus interpolációt javasoljuk, amely lehetővé teszi adott frekvenciájú komponensek ideális leválasztását a jelről. Wavelet transzformációval sikerült kimutatni, hogy a Föld pólusának ingadozása egy- és félnapos árapály periódusokat is tartalmaz. Az eredmények értékelése alapján arra a következtetésre juthatunk, hogy a Föld pólusának mozgása a napi 1, a napi 2 cikluson túlmenően napi 3, 4, 5, ...12 (természetes számok) számú ciklust is tartalmaz.



5. ábra. Az egynapos periódus kimutatása wavelet analízissel.

Hivatkozások

- Arfa-Kaboodvand K, Groten E** (1998): Einsatz des Wavelet –Transform zur Untersuchung der kurzperiodischen Variation der Polbewegung. Zeitschrift für Vermessungswesen, 8, 259-265.
- Arfa-Kaboodvand K, Groten E, Závoti J, Varga P** (1998): Stochastische und deterministische Analyse sowie Modellierung der Erdrotation. Publikationen der DFG, 1-8.
- Ádám J** (1990): Estimability of geodetic parameters from space VLBI observables. Report of the Ohio State University, Columbus, 406, 1-82.
- Brzezinski A** (1995): On the interpretation of maximum entropy power spectrum and cross-power spectrum in earth rotation investigations. Manuscripta Geodaetica, 20, 248-264.
- Kosek W, Nastula J, Kolaczek B** (1995): Variability of polar motion oscillations with periods from 20 to 150 days in 1979-1991. Bulletin Géodésique, 69, 308-319.
- Lomb N R** (1976): Least-squares frequency analysis of unequally spaced data. Astrophysics and Space Science, 39, 447-462.
- Zharkov V N, Molodensky M S, Brezinski F, Groten E, Varga P** (1996): The Earth and its Rotation. Wichmann Verlag, 449.
- Závoti J** (1995): Application of wavelet transform for compression of signals used in geographic information systems. Acta Geod. Geoph. Hung., 30, 17-25.

A FÜGGŐVONAL MODELLEZÉSE A TÖMEGVONZÁSI ERŐTÉR BEN

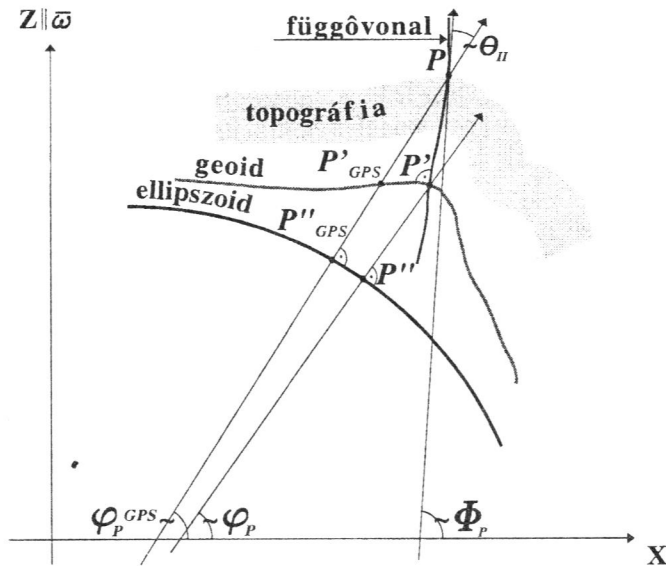
Papp Gábor* és Benedek Judit*

Bevezetés

A geodézia történetének legutóbbi évtizedében a GPS mérési technika alkalmazása ugrásszerű minőségi fejlődést eredményezett a helymeghatározásban. Nagy kiterjedésű hálózatok (pl. országos) esetén a GPS mérések relatív megbízhatósága a hagyományos vízszintes mérések relatív megbízhatóságához viszonyítva egy-két nagyságrenddel nagyobb. Ennek tulajdonítható, hogy a GPS a legfontosabb geodéziai eszközzé vált pl. minden olyan lokális ill. regionális geodinamikai kutatásban, ahol a legkisebb horizontális elmozdulás várhatóan eléri a néhány millimétert ill. centimétert. A magassági koordináták esetében (vonatkozási ellipszoid feletti magasság) ugyanezt a megbízhatóságot a GPS mérések nem tudják biztosítani. Egyrészt a harmadik koordináta relatív megbízhatósága műhold konfigurációs okok miatt kisebb a horizontális koordináták relatív megbízhatóságánál, másrészt ez a koordináta a felszíni P pontnak a vonatkozási ellipszoidtól geometriai értelemben vett távolságát ($\overline{PP''}_{\text{GPS}}$) jelenti (1. ábra). Általánosan elfogadott tétel (pl.: Leick 1994, Hofmann-Wellenhof és mások 1992), hogy a GPS koordinátákból a P pont geoid feletti magasságát megkapjuk, ha a P pont ellipszoid feletti magasságából kivonjuk a P''_{GPS} ponthoz rendelt geoidundulációt. Ez a magasság-érték tehát egy geometriai és egy fizikai mennyiség nehezen interpretálható különbsége, így nem használható tudományos vizsgálatokhoz. A P pont magassági koordinátája (\widehat{P}') kizárólag a Föld nehézségi erőterének a topográfiai tömegeken belüli szerkezetétől függ. Mivel a Föld alakja valójában nem forgási ellipszoid és a belső tömegek sűrűségeloszlása sem szabályos a $P'_{\text{GPS}} - P'$ és $P''_{\text{GPS}} - P''$ pontpárok nem esnek egybe sem a geoidon sem az ellipszoidon, ami ellentmondást eredményez a magassági és a vízszintes koordináta-rendszerek közötti. Ha tehát a gravimetriai mérésekkel kombinált szintezésből számított magassági koordinátáknak mind a pontosságát, mind a fizikai értelmezhetőségét meg akarjuk őrizni és ötvözni kívánjuk a GPS mérésekből levezethető vízszintes koordináták kedvező relatív pontosságával, akkor ezt az ellentmondást fel kell oldani. Általános feltételezés, hogy ez az ellentmondás kicsi, éppen ezért el is hanyagolják. Azonban bármely elhanyagolás csak akkor engedhető meg, ha annak mértékére számszerű becslés adható. Ha úgy ítéljük meg, hogy a becslésünk megbízható, akkor ezt akár korrekcióként is felhasználhatjuk. A felszíni P ponthoz tartozó korrekciós érték meghatározása, melynek segítségével a P'_{GPS} pont közelíthető a P' ponthoz a Helmert- illetve a Pizetti-féle vetítési módszerekkel

* MTA Geodéziai és Geofizikai Kutatóintézet, 9401 Sopron, Pf. 5.

e-mail: papp@ggki.hu; benedek@ggki.hu



1. ábra. A Helmert- és a Pizetti-féle vetítési módszerek vázlatja a P felszíni pontra vonatkozóan. Θ_H a P pontban a függővonal-elhajlás értéke, φ_P és φ_P^{GPS} a P' illetve P'_{GPS} pontok ellipszoidi szélességei és Φ_P a P pont csillagászati szélessége.

kapott vetületi pontok horizontális koordinátái közötti eltérés számszerű becslésével megoldható.

A függővonal numerikus meghatározása

Előzmények és általános megfontolások

A vízszintes és a magassági koordináta-rendszerek közötti ellentmondás vizsgálatához a függővonal modellezése szükséges. Ennek elengedhetetlen feltétele a Föld tömegvonzási erőterének ismerete méghozzá a topográfiai tömegeken belül a \mathcal{T}_{topo} tartományban. Az erőter szerkezetének numerikus leírása egy valóságú háromdimenziós (3D) sűrűségmodell birtokában megoldható. Egy ilyen modell, amely a Pannon-medence és orogén környezete litoszférájának legfelső 50–52 km-es tartományát írja le (Papp és Kalmár 1996, Kalmár et al. 1995) rendelkezésre áll. A modell utóbbi változatának ismertetése megtalálható a www.ggki.hu/a/gravity/geoid1.html URL címen. A változó méretű derékszögű hasábelemekekből az elemek számának minimalizálásával automatikusan létrehozott földtani-szerkezeti modell a következő szerkezeti egységeket tartalmazza: a földfelszín topográfiája, a neogén-negyedkori üledékösszlet, az alsó kéreg illetve a felső köpeny (2. ábra). A modell korlátozott térbeli kiterjedése és viszonylag egyszerű sűrűségeloszlása természetesen behatárolja a számítások megbízhatóságát. Ennek ellenére bebizonyosodott, hogy a modell alapján számított geoidunduláció hozzájárulások jól reprezentálják a nehézségi rendellenességekből számított geoid (pl. Kenyeres 1993) rövid hullám-

hosszúságú ($\lambda < 300$ km) összetevőit (Papp és Kalmár 1996, Papp 1996a) a ± 10 cm – ± 20 cm szórás intervallumon belül.

A topográfia modelljének alapjául az ETOPO5 globális adatrendszernek a vizsgálati területre vonatkozó részhalmaza szolgált (3. ábra). A modell alapján a tömegvonzási potenciál első és magasabb rendű parciális deriváltjai, melyek a függővonal numerikus meghatározásához szükségesek analitikusan kiszámíthatók pl. a Nagy et al. (1998) által megadott képletek segítségével. A számításokban a z tengely irányítása a Föld középpontja felé mutat, a másik két tengelyé a szokásos: az x tengelyé keleti, az y tengelyé északi irányítású. Ebben a balsodrású koordináta-rendszerben a topográfiai magasságok negatív értékek. A koordináta-rendszer kezdőpontja a geoid felületén fekszik.

A függővonal egyenletét leíró elsőrendű differenciál egyenletrendszer numerikus megoldásai

Definíció szerint a függővonal a Föld nehézségi erőterének ortogonális trajektóriája (Heiskanen és Moritz 1967). A tér egy tetszőleges pontjában a potenciál gradiens vektora — melynek iránya megegyezik a ponton áthaladó ekvipotenciális felület normálisával — az ezen a ponton átmenő függővonal érintő vektora. Így a függővonal ($x = x(z)$, $y = y(z)$) differenciál egyenletei a következők (Papp és Benedek 1999):

$$\begin{aligned} \frac{d}{dz}(x(z)) &= \frac{g_x}{g_z} \\ \frac{d}{dz}(y(z)) &= \frac{g_y}{g_z}, \end{aligned} \quad (1)$$

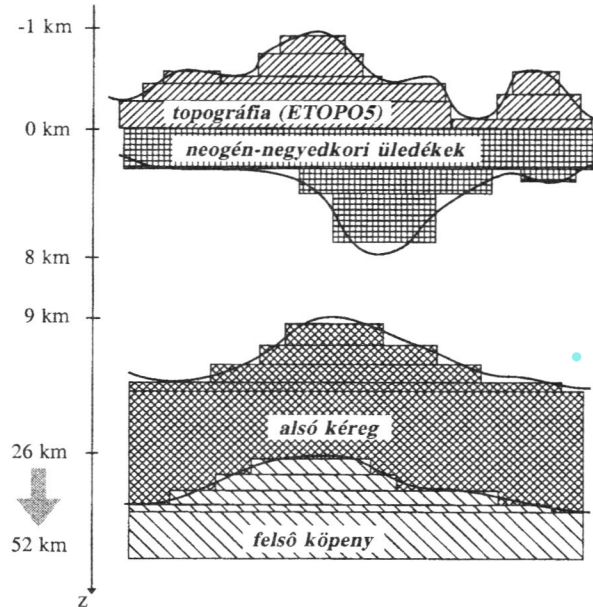
ahol g_x , g_y és g_z a modell alapján számolt tömegvonzási potenciál gradiens vektorának összetevői. Ezen értékek és egy alkalmasan választott Δz lépésköz alapján a differenciál egyenletrendszer numerikus megoldási algoritmusai (pl. Press et al. 1986) a lépésenkénti vízszintes koordináta változásokat számolják:

$$\begin{aligned} \Delta x &= f(g_x, g_z, \Delta z) \\ \Delta y &= f(g_y, g_z, \Delta z). \end{aligned} \quad (2)$$

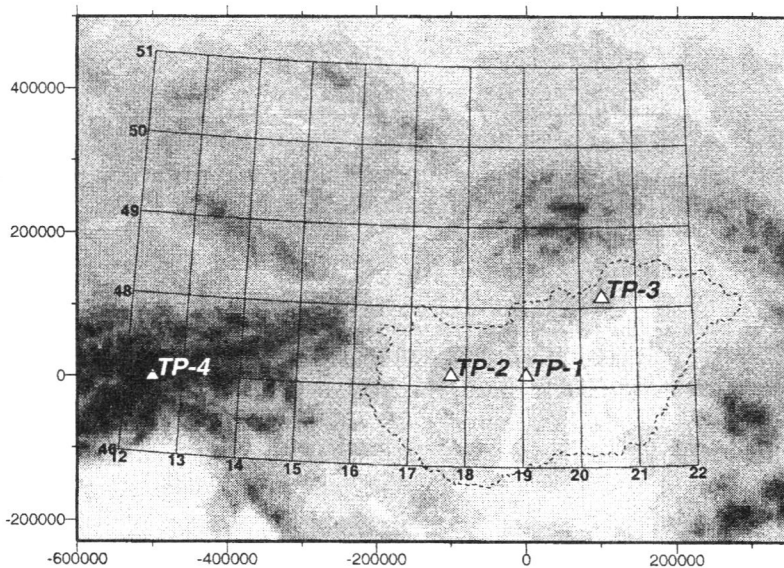
A $P_0 \equiv P(x_0, y_0, z_0)$ kezdeti feltétel esetében a horizontális eltéréseket N lépés eredményeinek összegzéséből kapjuk:

$$\begin{aligned} x_k &= x_0 + \sum_{i=1}^k \Delta x_i \\ y_k &= y_0 + \sum_{i=1}^k \Delta y_i \\ z_k &= z_0 + k\Delta z, \end{aligned} \quad (k = 1, \dots, N) \quad (3)$$

ahol x_k, y_k, z_k a P_k közbeeső számítási (futó) pont koordinátái. Az Euler illetve a Bulirsch-Stoer-féle numerikus módszerek a fent vázolt lépéseket követik.



2. ábra. A Pannon-medence litoszféra modelljének vázlata. Az ábra bal oldalán látható értékek az egyes szerkezeti egységek függőleges irányú helyzetét ill. kiterjedését jellemzik.



3. ábra. A vizsgálati terület domborzati térképe szürkességi fokozatokkal ábrázolva. A TP-1, TP-2, TP-3 és a TP-4 tesztpontokat háromszögek jelölik. A sík EOV koordináták méterben, az ellipszoidi koordináták fokokban adottak.

A Frenet-féle koordináta-rendszerben a függővonal lokális leírásához a potenciál másod- és harmadrendű parciális deriváltjai szükségesek (Grafarend 1998). A lépésenkénti vízszintes koordináta eltéréseket ez esetben a

$$\begin{aligned} \Delta x &= f(\partial V/\partial x_i, \partial^2 V/\partial x_i \partial x_j, \partial^3 V/\partial x_i \partial x_j \partial x_k, \Delta s) \\ \Delta y &= f(\partial V/\partial y_i, \partial^2 V/\partial x_i \partial x_j, \partial^3 V/\partial x_i \partial x_j \partial x_k, \Delta s) \end{aligned} \quad (4)$$

$i, j, k = \overline{1, 3},$

képletek szolgáltatják, ahol $(x_i)_{i=\overline{1,3}}$ az R^3 tér általános változója, Δs a függővonal ívhossz paramétere. Az (1) egyenletrendszer jobb oldalán található függvények folytonosak és Lipschitz tulajdonságúak az R^3 -on (Nagy et al. 1998), melyek a fent ismertetett numerikus módszerek alkalmazásának alapfeltételei.

Euler módszer

Ún. elsőrendű extrapolációs módszer (4. ábra), mely a $z_k = z_0 + k\Delta z$, ($k = 1, \dots, N$) értékekben a vízszintes koordinátákra az:

$$\begin{aligned} x_k &= x_{k-1} + \left(\frac{g_x}{g_z} \right)_{k-1} \Delta z \\ y_k &= y_{k-1} + \left(\frac{g_y}{g_z} \right)_{k-1} \Delta z. \end{aligned} \quad (5)$$

közelítő értékeket adja. A ν tényleges hiba (a kerekítési hiba és képlethiba összege az utolsó lépésben) a z_0 és a z közti intervallumon Stoer és Bulirsch (1980) szerint:

$$\|\nu(z_0, z, \Delta z)\| \leq (L\Delta z + \varepsilon/\Delta z)(e^{M(z-z_0)} - 1)/M,$$

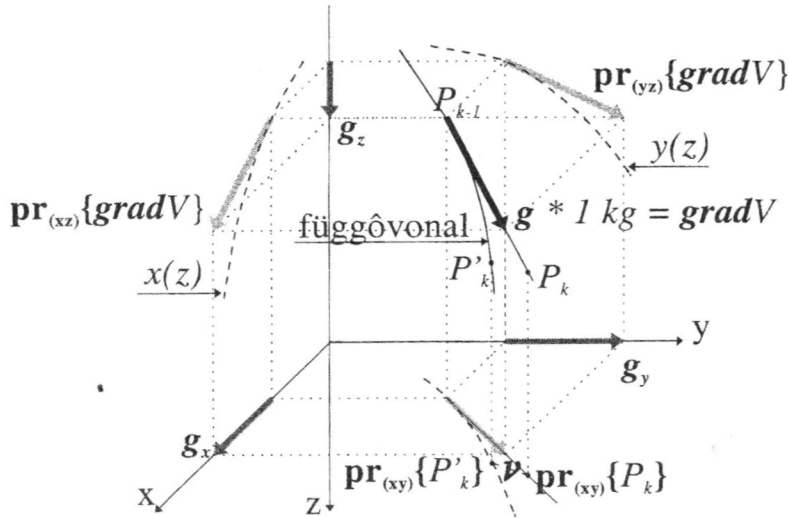
ahol ε a lépések kerekítési hibáinak felső korlátja, L illetve M olyan kifejezéseknek a \mathcal{T}_{topo} tartományon vett minták alapján számított maximális értékei (1. táblázat), amelyekben az (1) jobb oldalán található függvények és azok parciális deriváltjai szerepelnek (Papp és Benedek 1999).

A tényleges hiba becslése során a V tömegvonzási potenciál parciális deriváltjainak számítása a tartomány pontjaiban a $2050 \text{ kg/m}^3 \leq \rho \leq 3250 \text{ kg/m}^3$ közötti abszolút sűrűség értékekkel történt. A dupla pontosságú számbázis biztosítja a kerekítési hiba felső korlátjára vonatkozóan az $\varepsilon \leq 10^{-8}$ egyenlőtlenséget. Az abszolút sűrűségértékekkel számolva a tényleges hiba felső korlátja a vizsgált \mathcal{T}_{topo} tartományban $1.2 \cdot 10^{-4}$ m.

A függővonal numerikus meghatározásánál már relatív sűrűségeket használtunk ($-700 \text{ kg/m}^3 \leq \varrho(z>0) \leq +500 \text{ kg/m}^3$ és $\varrho_{topo} = +2670 \text{ kg/m}^3$), ezért a hiba maximális értéke a \mathcal{T}_{topo} tartomány pontjaiban várhatóan kisebb a fent megadott értéknél.

Bulirsch-Stoer módszer

Az Euler módszernek egy finomított változata, amely az ún. módosított felezőpont (modified midpoint) módszer alapján a Δz előzetes lépésközt n ($n = 2, 4, 6, 8, 12, \dots, 96, [n_j = 2n_{j-2}]$) részintervallumra osztja. A részintervallumok

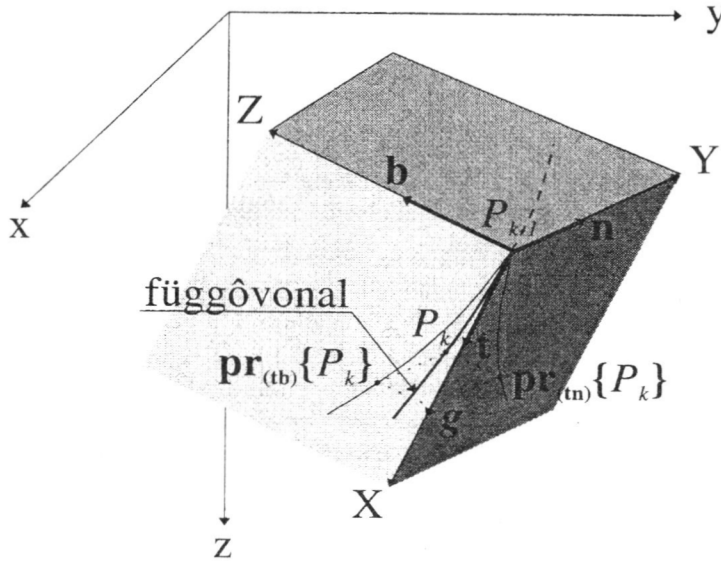


4. ábra. Az Euler módszer alkalmazása a függővonal numerikus meghatározására. $pr_{()}\{\}$ a $\{\}$ zárójelben található mennyiségnek a vetülete a $()$ zárójelben megadott síkra.

1. táblázat. Az (1) egyenletrendszer jobb oldalán levő mennyiségeknek és parciális deriváltjaiknak statisztikái. A táblázat adatai az abszolút sűrűségértékeket tartalmazó lokális litoszféra modell által keltett tömegvonzási potenciálra és a belőle származtatott mennyiségekre vonatkoznak. Ezeknél a számításoknál a Föld normál nehézségi gyorsulása nincs figyelembe véve. A statisztika 25625 adat alapján készült.

$F(x, y, z)$	max	min	mintaközép	tapasztalati szórás
$\frac{g_x}{g_z}$	$0.15 \cdot 10^1$	$-0.14 \cdot 10^1$	0.13	± 0.50
$\frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{g_x}{g_z} \right) [m^{-1}]$	$0.22 \cdot 10^{-6}$	$-0.35 \cdot 10^{-4}$	$-0.42 \cdot 10^{-5}$	$\pm 0.59 \cdot 10^{-5}$
$\frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{g_x}{g_z} \right) [m^{-1}]$	$0.10 \cdot 10^{-4}$	$-0.88 \cdot 10^{-5}$	$0.28 \cdot 10^{-7}$	$\pm 0.64 \cdot 10^{-6}$
$\frac{\partial}{\partial z} \left(\frac{g_x}{g_z} \right) [m^{-1}]$	$0.11 \cdot 10^{-3}$	$-0.10 \cdot 10^{-3}$	$0.48 \cdot 10^{-5}$	$\pm 0.23 \cdot 10^{-4}$
$\frac{g_y}{g_z}$	$0.15 \cdot 10^1$	$-0.14 \cdot 10^1$	$0.26 \cdot 10^{-1}$	± 0.36
$\frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{g_y}{g_z} \right) [m^{-1}]$	$0.12 \cdot 10^{-4}$	$-0.92 \cdot 10^{-5}$	$0.63 \cdot 10^{-3}$	$\pm 0.22 \cdot 10^{-7}$
$\frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{g_y}{g_z} \right) [m^{-1}]$	$0.92 \cdot 10^{-6}$	$-0.34 \cdot 10^{-4}$	$-0.27 \cdot 10^{-5}$	$\pm 0.38 \cdot 10^{-5}$
$\frac{\partial}{\partial z} \left(\frac{g_y}{g_z} \right) [m^{-1}]$	$0.12 \cdot 10^{-3}$	$-0.11 \cdot 10^{-3}$	$0.12 \cdot 10^{-5}$	$\pm 0.16 \cdot 10^{-4}$

számának növelésével előállított függvényérték sorozat alapján az algoritmus raciónális extrapolációt alkalmaz a ∞ lépésszámhoz tartozó extrapolált érték becslésére. Az n érték növelése addig tart, amíg a függvényérték sorozat maximális változása kisebb lesz mint egy előre megadott hibahatár (a számítások 10^{-6} m értékkel



5. ábra. A Frenet koordináta-rendszer vázlata. $pr_{()} \{ \}$ a $\{ \}$ zárójelben található mennyiségnek a vetülete a $()$ zárójelben megadott síkra

történtek). Ily módon az algoritmus elvégzi a (2) extrapolációt és a következő Δz lépésköz hosszára is becslést ad.

A függővonal számítása a Frenet koordináta-rendszer használatával

A függővonal a Frenet koordináta-rendszer $\langle \mathbf{t}, \mathbf{n}, \mathbf{b} \rangle$ segítségével lokálisan leírható. Ezen koordináta-rendszernek a nehézségi erőterrel való kapcsolatát Grafarend (1998) részletesen tárgyalta. Minden P_{k-1} pontban (5. ábra) a koordináta-rendszer egységvektorait a V tömegvonzási potenciál első és magasabbrendű parciális deriváltjai határozzák meg:

$$\begin{aligned} \mathbf{t} &= \frac{\mathbf{g}}{\|\mathbf{g}\|} \\ \mathbf{n} &= \frac{\mathbf{grad}(g_x^2 + g_y^2 + g_z^2) - \langle \mathbf{grad}(g_x^2 + g_y^2 + g_z^2) | \mathbf{t} \rangle \mathbf{t}}{\|\mathbf{grad}(g_x^2 + g_y^2 + g_z^2) - \langle \mathbf{grad}(g_x^2 + g_y^2 + g_z^2) | \mathbf{t} \rangle \mathbf{t}\|} \\ \mathbf{b} &= \mathbf{t} \times \mathbf{n}. \end{aligned} \quad (6)$$

Ebben a kísérő triéderben a függővonalat lokálisan az

$$\begin{aligned} X &= \Delta s - \Delta s^3 \kappa^2 / 6 \\ Y &= \Delta s^2 \kappa / 2 \\ Z &= \kappa \tau \Delta s^3 / 6, \end{aligned} \quad (7)$$

egyenletek jellemzik harmad és negyed rendű elhanyagolással, ahol κ – a függővonal görbülete – és τ – a függővonal torziója – a Frenet koordináta-rendszer kezdőpontjára (P_{k-1}) vonatkozó értékek. Számítási képleteik a következők:

$$\kappa = \|\mathbf{g}\|^{-3} \sqrt{\|\mathbf{g}\|^2 \|\mathbf{E}\mathbf{g}\|^2 - \langle \mathbf{g} | \mathbf{E}\mathbf{g} \rangle^2} \quad (8)$$

$$\tau = \begin{vmatrix} g_x & g_y & g_z \\ \langle \mathbf{E}_1 | \mathbf{g} \rangle & \langle \mathbf{E}_2 | \mathbf{g} \rangle & \langle \mathbf{E}_3 | \mathbf{g} \rangle \\ \langle \mathbf{E}_1 \mathbf{E} + (\mathbf{E}_1 \circ \nabla) \mathbf{g} | \mathbf{g} \rangle & \langle \mathbf{E}_2 \mathbf{E} + (\mathbf{E}_2 \circ \nabla) \mathbf{g} | \mathbf{g} \rangle & \langle \mathbf{E}_3 \mathbf{E} + (\mathbf{E}_3 \circ \nabla) \mathbf{g} | \mathbf{g} \rangle \end{vmatrix}$$

ahol \mathbf{E} az Eötvös tenzor, \circ a diadikus szorzást jelöli és \mathbf{E}_i az Eötvös tenzor i -dik sora. Δs megfelelő megválasztása mellett a függővonal pontjainak koordinátáit a (7) extrapoláló képletekkel kapjuk. Ezek a koordináták a Frenet-féle lokális rendszerre (P_{k-1} , \mathbf{t} , \mathbf{n} , \mathbf{b}) vonatkoznak, melyeket a fix koordináta-rendszerbe (x, y, z) transzformálva a függővonal extrapolált pontját kapjuk. Ez a pont lesz a következő lépésben a lokális koordináta-rendszer kezdőpontja. Az algoritmust addig ismételjük, amíg az előre megadott magasságot az extrapolált pont koordinátája eléri.

Az alkalmazott módszerek eredményeinek numerikus összehasonlítása

A eset: Homogén sűrűségeloszlású tömegeken áthaladó függővonal

Mindhárom módszernél a számítások a terep felszínéről indulnak. Az előre pl. rácson megadott (x, y) vízszintes koordinátákhoz automatikusan kiszámítható a felszíni pont z magassága, amely az (x, y) ponthoz tartozó legfelső térfogatelem felső síkjának a z koordinátája. A módszerek alapján készített algoritmusok egy adott felszíni pontból kiindulva numerikusan meghatározzák azt a függővonalat, amely ezen a ponton átmegy. A differenciál egyenletrendszer kezdeti feltételeit a felszíni pont koordinátái határozzák meg. Négy, különböző geológiai környezetből választott pontra mindhárom módszerrel elvégeztük a számításokat. Ezekből három (TP-1, TP-2, TP-3) a Pannon-medence belső részén található, a TP-4 pontot a Keleti Alpok területén jelöltük ki (3. ábra). Minden P_k számítási pontban figyelembe vettük a normál nehézségi erőteret:

$$g_z^{P_k} = g_{z,modell}^{P_k} + \gamma_{47.5^\circ} + 0.3086 \cdot 10^{-5} z_{P_k},$$

ahol $g_z^{P_k}$ a gravitációs gyorsulás vektor z összetevője, amely az (5) illetve (6) egyenletekben szerepelő mennyiség, $g_{z,modell}^{P_k}$ a modell által gerjesztett tömegvonzási potenciálból származó gyorsulás z irányú összetevője, z_{P_k} a P_k futópont magassági koordinátája, $\gamma_{47.5^\circ}$ a vizsgált terület átlagos geodéziai szélességére jellemző normál nehézségi gyorsulás értéke és a $0.3086 \cdot 10^{-5} \text{ s}^{-2}$ érték a normál nehézségi gyorsulás vertikális gradiense. Ennek megfelelően az Eötvös tenzor $\partial^2 V / \partial z^2$ komponense, amely a torziót és görbületet megadó (8) képletben szereplő mennyiség, is tartalmazza a Föld normál nehézségi gyorsulásának vertikális gradiensét:

$$(\partial^2 V / \partial z^2)^{P_k} = (\partial^2 V / \partial z^2)_{modell}^{P_k} + 0.3086 \cdot 10^{-5} \text{ s}^{-2}.$$

Ha a Föld normál nehézségi erőterét nem vesszük figyelembe a számítások során, akkor a horizontális eltérések eléri a több száz métert, mivel a \mathbf{g}_{modell} , g_x , g_y

és g_z komponensei (2. táblázat) közel hasonló nagyságrendűek. Ez a sűrűség modell vékonyréteg-szerű szerkezetéből adódik. Következésképpen a modellszámítások alapján a \mathbf{g}_{modell} és a z tengely közötti eltérések (függővonal elhajlások) sokkal nagyobbak, mint a valódi tömegvonzási erőterben a $\mathbf{g}_{Föld}$ és a $\vec{\gamma}$ között.

A három módszerrel kapott eredmények az TP-4 alpi tesztpont ($z = -1781$ m) esetében sem mutatnak szignifikáns különbséget, azaz a különböző módszerekkel számolt horizontális eltérések azonosak (3. táblázat). Továbbá megállapítható, hogy a homogén sűrűségeloszlású tömegeken áthaladó függővonal egyenes szakasznak tekinthető a vizsgált magassági tartományban ($-3000 \text{ m} \leq z \leq 0 \text{ m}$). Ezt szemléltetik a 6. ábrán látható eredmények is.

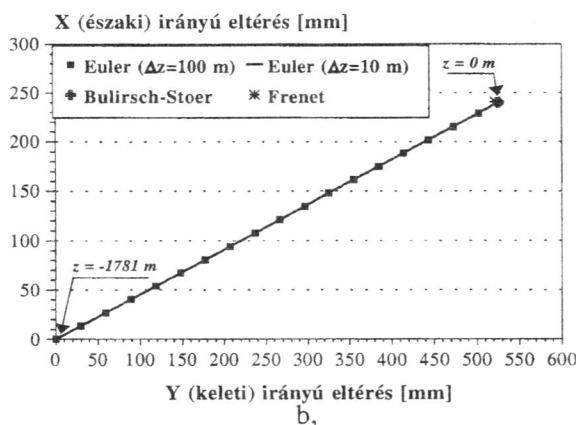
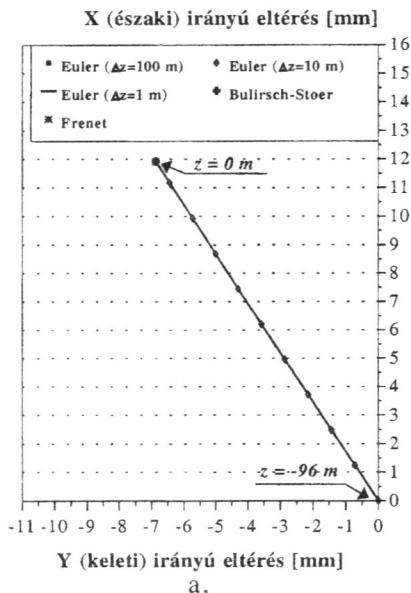
Az Euler módszerrel és a Δz lépésköz változtatásával (100 m - 10 m - 1 m) előállított függővonal megoldásokból levonható az a következtetés, hogy a lépésköz változtatása a kipróbált értékek esetében nincs befolyással a horizontális eltérésekre, ami a függővonal geometriájára vonatkozó előbbi megállapításunkat támasztja alá. A valóságban a topográfiai tömegek sűrűség eloszlása inhomogén és sok esetben rétegzett, töredezett szerkezetet mutat, melynek következtében a sűrűségeloszlás gyakran ugrásszerűen változik szingularitásokat okozva az erőter szerkezetében.

2. táblázat. Az abszolút sűrűség értékeket tartalmazó lokális litoszféra modell alapján készített statisztikák a nehézségi potenciál elsőrendű parciális deriváltjaira illetve a görbületre és torzióra vonatkozóan. Ezeknél a számításoknál nincs figyelembe véve a Föld normál nehézségi gyorsulása. A statisztika 25625 számú adat alapján készült.

$F(x, y, z)$	max	min	mintaközép	tapasztalati szórás
g_x [m/s^2]	$0.59 \cdot 10^{-1}$	$-0.55 \cdot 10^{-1}$	$0.74 \cdot 10^{-2}$	$\pm 0.25 \cdot 10^{-1}$
g_y [m/s^2]	$0.61 \cdot 10^{-1}$	$-0.57 \cdot 10^{-1}$	$0.11 \cdot 10^{-1}$	$\pm 0.19 \cdot 10^{-1}$
g_z [m/s^2]	$0.64 \cdot 10^{-1}$	$0.27 \cdot 10^{-1}$	$0.58 \cdot 10^{-1}$	$\pm 0.61 \cdot 10^{-2}$
κ [m^{-1}]	$0.14 \cdot 10^{-4}$	$0.42 \cdot 10^{-7}$	$0.95 \cdot 10^{-5}$	$\pm 0.25 \cdot 10^{-5}$
τ [m^{-1}]	$0.16 \cdot 10^{-2}$	$-0.60 \cdot 10^{-3}$	$-0.12 \cdot 10^{-6}$	$\pm 0.23 \cdot 10^{-4}$

3. táblázat. A különböző numerikus módszerekkel számolt horizontális eltérések koordinátái a négy tesztpont esetében. Ezen adatok levezetése a Föld normál nehézségi gyorsulásának figyelembe vételével történt.

Módszerek	Euler	Euler	Euler	Bulirsch-Stoer	Frenet
eltérések [mm]	$\Delta z = 100 \text{ m}$	$\Delta z = 10 \text{ m}$	$\Delta z = 1 \text{ m}$	$\Delta z = 10 \text{ m}$	$\Delta s = 10 \text{ m}$
x	-6.8626	-6.8698	-6.8705	-6.8705	-6.8814
y ($z_{TP-1} = -96 \text{ m}$)	11.9216	11.9185	11.9182	11.9182	11.9120
x	-9.9546	-9.9614	-9.9621	-9.9622	-9.9963
y ($z_{TP-2} = -303 \text{ m}$)	37.9688	37.9659	37.9656	37.9656	37.9508
x	-82.9745	-82.9548	-82.9528	-82.9525	-82.7591
y ($z_{TP-3} = -546 \text{ m}$)	19.0107	18.9693	18.9650	18.9645	18.5618
x	526.0740	525.9637	—	525.9514	522.1624
y ($z_{TP-4} = -1781 \text{ m}$)	239.9453	239.9763	—	239.9768	240.6484



6. ábra. A különböző numerikus módszerekkel meghatározott függővonalak vízszintes síkra vett vetületei a) a TP-1 és b) a TP-4 tesztpontokon.

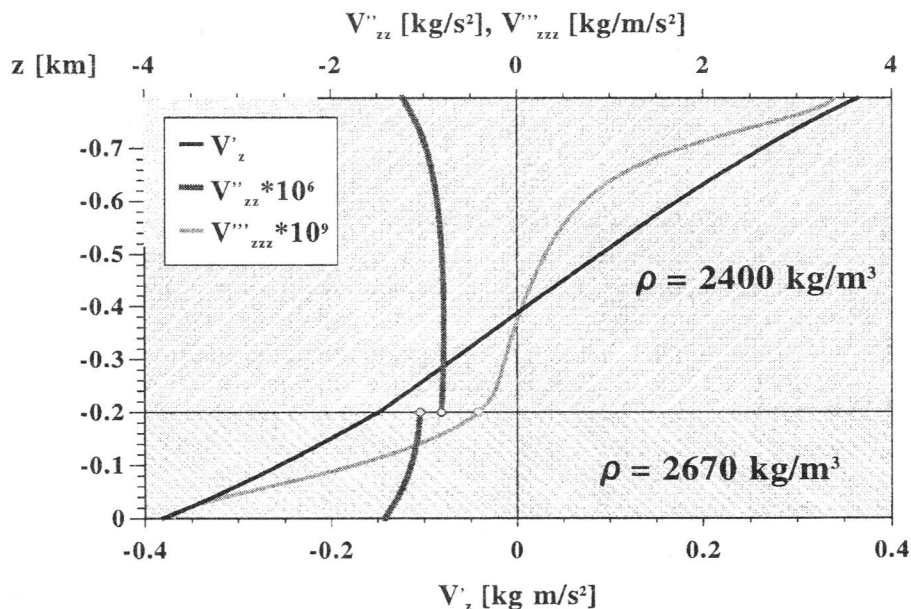
Ezért megvizsgáltuk a tömegvonzási potenciál parciális deriváltjainak változását illetve ebből fakadóan a függővonal megváltozását inhomogén sűrűségeloszlású tömegekben is.

B eset: Inhomogén sűrűségeloszlású tömegeken áthaladó függővonal

Mivel a vizsgált területen a topográfiai tömegek valódi sűrűségeloszlásáról nincsenek birtokunkban adatok, ezért a számítások egy hipotetikus sűrűségeloszlású modellel történtek. A térfogat-elem rendszer ún. quadtree geometriája lehetővé teszi mind a vízszintes irányú (tektonikai), mind a függőleges irányú (sztratigráfiai)

sűrűség ugrások modellezését. A térfogatelemek sűrűség értékeit két intervallumból ($2100 \text{ kg/m}^3 \leq \rho \leq 2300 \text{ kg/m}^3$ és $2300 \text{ kg/m}^3 < \rho \leq 2900 \text{ kg/m}^3$) véletlenszerű sűrűségérték generálással állítottuk elő. Az intervallum kiválasztása egyrészt a vizsgált hasáb magassági koordinátáitól függött, mivel kis magasságnál ($z > -300 \text{ m}$) az első intervallumból történt a véletlenszerű elem generálás, másrészt azonban a vizsgált hasábra rátelepülő további hasábok magassága is befolyásolta az intervallum megválasztását. Ha a rátelepülő hasábok magassági helyzete olyan, hogy $z < -300 \text{ m}$, akkor a második intervallumból történt a generálás. Következésképpen maguk a sűrűség értékek általánosságban jól jellemezték a topográfiai tömegeket a sík és hegyvidéki területek megkülönböztetésével és csak az aktuális térbeli eloszlásuk volt fiktív egy-egy konkrét értékre vonatkozóan. Mivel az így kialakított modell sűrűség ugrás határfelületeket tartalmaz a függővonal számításának folyamatában ezt figyelembe kellett venni.

A tömegvonzási potenciál különböző rendű parciális deriváltjainak viselkedése ezeken a határfelületeken két különböző sűrűségű, érintkező helyzetben levő derékszögű hasáb segítségével tanulmányozható. Ilyen helyzetet mutat a 7. ábra amelyen különböző parciális deriváltak értékeinek változása látható a két hasáb csatlakozási felületére merőleges egyenes mentén. A g_z függvény folytonos, az egyenes és a hasábok csatlakozási felületének metszéspontja szögpontja a függvénynek, ami maga



7. ábra. Két különböző sűrűségű hasáb által keltett tömegvonzási potenciál z szerinti első és magasabb rendű parciális deriváltjainak viselkedése a csatlakozási felületet merőlegesen el metsző egyenes mentén. $V'_z = \partial V / \partial z$, $V''_{zz} = \partial^2 V / \partial z^2$, $V'''_{zzz} = \partial^3 V / \partial z^3$.

után vonja, hogy a $\partial^2 V / \partial z^2$ függvény ilyen pontokban nem értelmezhető. Ezek a pontok $\partial^2 V / \partial z^2$ függvénynek elsőfajú szakadási pontjai. A $\partial^3 V / \partial z^3$ függvénynek ezekben a pontokban elsőfajú megszüntethető szakadása van.

Ennek következtében bármely numerikus módszer alkalmazásánál ellenőrizni kell, hogy a függővonal két egymást követő pontja között van-e sűrűség ugrás. Ha ilyen helyzet áll fenn, akkor az utóbbi pontot a csatlakozási felületre rögzítjük a lépésköz megfelelő módosításával és itt csak az Euler-féle módszer alkalmazható a következő, már más sűrűséggel bíró pont extrapolálására.

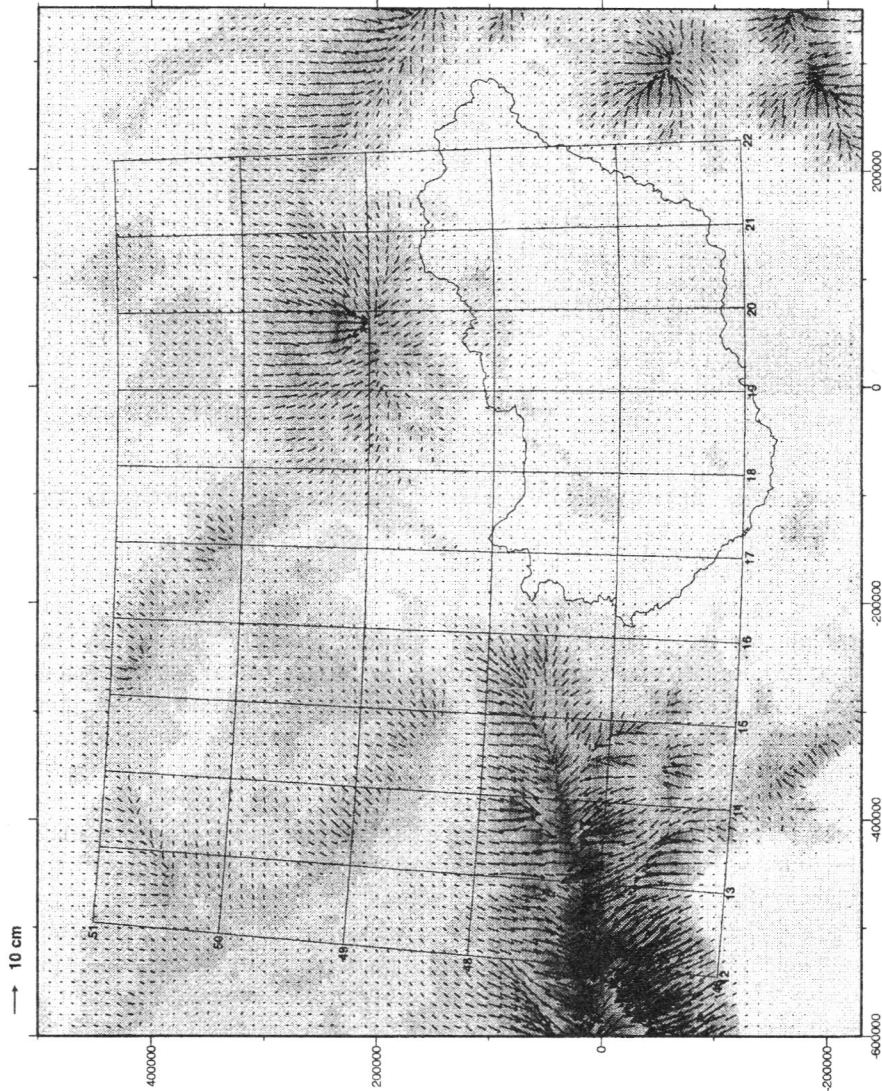
A földkéreg sűrűségeloszlásának rendellenességéből adódó horizontális koordináta eltérések meghatározása Közép Európa területén

Közelítőleg a $\varphi = 43^\circ$ és $\varphi = 53^\circ$ geodéziai szélességek illetve a $\lambda = 13^\circ$ és $\lambda = 31^\circ$ geodéziai hosszúságok közötti területre egy $10 \text{ km} \times 10 \text{ km}$ -es síkhálót szerkesztettünk. Mind a számítások P_0 kezdőpontjainak a rácspontok alapján levezethető magassági koordinátái, mind a lehetséges sűrűség ugrás határfelületek az előző fejezetben leírtak alapján automatikusan meghatározhatók. A 8. ábrán a "fizikai szűréssel" (Papp 1996b) feldolgozott horizontális eltérés vektorok láthatók, melyek már mentesek a modell korlátozott térbeli kiterjedéséből származó szisztematikus hatásoktól.

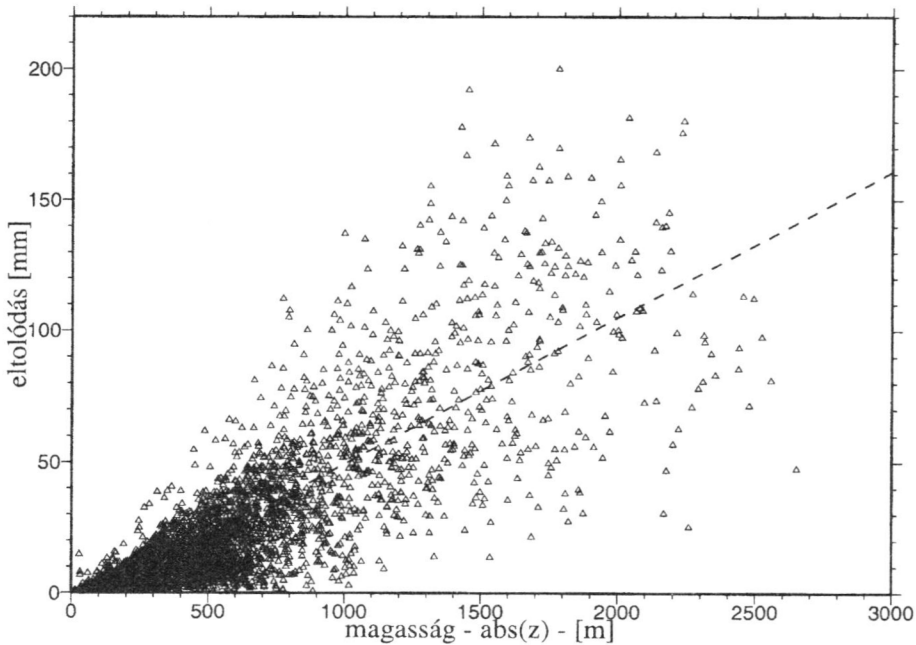
Az ábra alapján úgy tűnik, hogy az eltérés-vektorok hosszai leginkább a topográfiai magasságokkal korrelálnak. Ezt a megállapítást látszólag a 9. ábra is alátámasztja.

A teljes adatsorra számolva a tapasztalati korrelációs együttható értéke $r = 0.84$. Ha azonban T_{topo} tartomány azon részadatait vizsgáljuk, melyre a $z_{topo} < -1000 \text{ m}$ feltétel teljesül, a tapasztalati korrelációs együttható 0.48 értékre csökken. A korrelációs együtthatónak ez a drasztikus változása azt mutatja, hogy a topográfiai magasságok és a horizontális eltérések közötti kizárólagos és lineáris korreláció feltételezése helytelen, amelyből az következik, hogy a litoszféra modell minden szerkezeti egységének szignifikáns hatása van a horizontális eltérésekre. A legmegbízhatóbb eltérés értékek a Pannon-medence területén számíthatók, mivel itt az üledékösszetétel és az alsó kéreg is modellezhető a rendelkezésre álló adatok alapján. A 10. ábrán a topográfia homogén illetve inhomogén modelljével számolt horizontális eltérés vektorok különbsége látható. A számítások az Euler módszerrel és $\Delta z = 10 \text{ m}$ lépésközzel történtek. A vizsgált területen az inhomogén modell fiktív sűrűségeloszlásának hatása 2 cm alatti érték marad, ami a homogén esetre vonatkozó maximális eltérés 10 százaléka.

Ez igazolja azt, hogy a topográfiai tömegek valódi, tehát inhomogén sűrűségeloszlásának hatása nem elhanyagolható. Mivel nem ismerjük a topográfiai tömegek valódi sűrűségeloszlásának helyfüggését az ezen eltérés-vektorok helyzetére vonatkozó becslése nem reális, így kizárólag a vektorok hosszára adott becslés értelmezhető általánosságban.



8. ábra. Horizontális koordináta eltérések — a felszíni pontoknak a Helmert- és a Pizetti-féle vetítéssel a geoidon kapott vetületi pontjai közötti különbségek — Közép-Európa területén. A háttér térkép szürke árnyalatai a vizsgált terület topográfiáját jellemzik. Az EOVSík koordináták méterben, az ellipszoidi koordináták fokokban adottak.

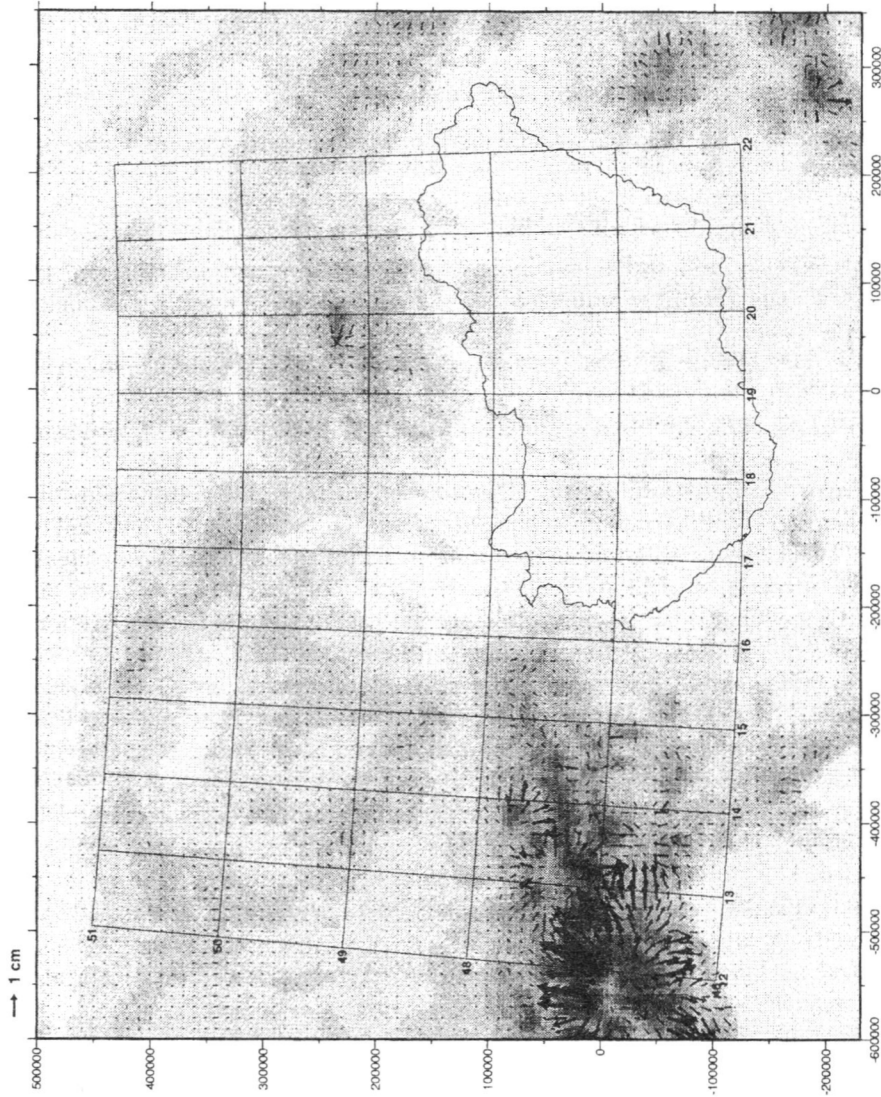


9. ábra. A topográfiai magasságok és a horizontális eltérések közötti korreláció vizsgálata. A szaggatott vonal a regressziós egyenes.

Összefoglalás

Elméleti vizsgálatokra alapozva és a Közép Európa területére vonatkozó litoszféra sűrűség modell felhasználásával megvalósítottuk a topográfiai tömegeken áthaladó függővonal numerikus meghatározását ill. modellezését. A módszerek vizsgálata alapján megállapíthatjuk, hogy a topográfiai tömegek feltételezett homogén sűrűségeloszlása mellett 1) az alkalmazott numerikus módszerekkel kapott eredmények között nincs szignifikáns különbség, mivel különböző geológiai környezetben is az eltérések csak milliméteres nagyságrendűek; 2) a függővonal jó közelítésben megegyezik azzal az egyenessel amelynek iránya egybeesik a felszíni kezdőponthoz tartozó nehézségi gyorsulás vektor irányával. A függővonalnak egyenessel való helyettesítését alátámasztja az, hogy egyrészt a függővonal extrapolált pontjaiban a görbületre és a torzióra kapott értékek igen kicsinyek: κ és τ a $\mathcal{T}_{\text{topo}}$ tartományon megközelítőleg $\frac{1}{R_{\text{Föld}}}$ illetve 0 értékek, másrészt az alkalmazott numerikus módszerek hiba analízise során a tényleges hiba nagyságára kapott becslés, csak néhány tizedmilliméter nagyságrendű.

Ha a függővonal különböző sűrűségű tömegeken halad át a számításokat több lépésben kell elvégezni. A lépések száma a kezdeti pont és a végső magassági szint között található sűrűség ugrás felületeinek számától függ. Egy ilyen felület közelében a lépésközt úgy állítjuk be, hogy az extrapolált pont a felületre kerüljön. Ezzel az eljárással mind elméleti mind gyakorlati szempontból egyértelmű megoldást ka-



10. ábra. A topográfia homogén illetve inhomogén sűrűségeloszlású modelljei alapján számolt horizontális eltérés vektorok közötti különbségek. A háttér térkép szürke árnyalatai a vizsgált terület topográfiáját jellemzik. A vízszintes EOv koordináták méterben, az ellipszoidi koordináták fokban adóttak.

punk. A kimutatott horizontális eltérések meghaladják a horizontális mérések megbízhatóságát. Ezért a GPS mérésekből származó vízszintes koordináták javításával, amely a tanulmányban kiszámított horizontális eltérések hozzáadását jelenti feloldható a vízszintes és a magassági koordináta-rendszerek közötti ellentmondás. Ennek következtében a vízszintes GPS koordináták elméleti nehézségek nélkül használhatók a szintezésből származó ortométeres magasságokkal. Így a kapott eredményeknek nemcsak elméleti jelentőségük van, hanem gyakorlati lehetőséget is rejtenek magukban.

Köszönetnyilvánítás

A kutatást támogatta az OTKA a T025318 projekt finanszírozásával, amiért a szerzők köszönetüket fejezik ki.

Hivatkozások

- Grafarend E W** (1997): Field lines of gravity, their curvature and torsion, the Lagrange and the Hamilton equations of the plumbline. *Annali di Geofisica*, XL, 5, 1233–1247.
- Heiskanen W A, Moritz H** (1967): *Physical geodesy*. WH Freeman, San Francisco.
- Hofmann-Wellenhof B, Lichtenegger H, Collins J** (1992): *Global Positioning System*. Springer-Verlag, Wien.
- Kalmár J, Papp G, Szabó T** (1995): DTM-based surface and volume approximation: geophysical applications. *Computers and Geosciences*, 21, 245–257.
- Kenyeres A** (1993): Detailed geoid determination using the combination of truncated global integrals and geopotential models. In: Völgyesi L (ed.) *Global and local geoid investigations*. National Scientific Research Fund Project Report, 5–204, Dept. of Geodesy, Technical Univ. Budapest, 50–68.
- Leick A** (1994): *GPS satellite surveying*. John Wiley and Sons, Inc., New York.
- Papp G, Benedek J** (1999) : Numerical determination of gravitational field lines - the effect of mass attraction on horizontal coordinates. *Journal of Geodesy* (bírálat alatt).
- Nagy D, Benedek J, Papp G** (1998): The potential and its derivatives for the prism (előkészületben).
- Papp G, Kalmár J** (1996): Toward the physical interpretation of the geoid in the Pannonian Basin using 3-D model of the lithosphere, *IGeS Bulletin, DIAR Politecnico di Milano*, 5, 63–87.
- Papp G** (1996a): A Pannon-medence nehézségi erőterének modellezése. Kandidátusi értekezés, MTA Geodéziai Geofizikai Kutatóintézet Sopron.
- Papp G** (1996b): On the application of physical filtering in 3-D forward gravity field modeling. *Österreichische Beiträge zu Meteorologie und Geophysik*, Heft 14, 145–154.
- Press H W, Flannery B P, Teukolsky S A, Vetterling W T** (1986): *Numerical Recipes*. Cambridge University Press, Cambridge.
- Stoer J, Bulirsch R** (1992): *Introduction to numerical analysis*. 2nd edition, Springer-Verlag.

A GRAVIMETRIAI GEOIDMEGHATÁROZÁSOK ÚJABB EREDMÉNYEI

Tóth Gyula*

Bevezetés

Az utóbbi évtizedben számos geoidmeghatározás történt Magyarország területére különböző adatok és módszerek alkalmazásával (Kenyeres 1992, Ádám és Borza 1995, Ádám et al. 1995). A jelenlegi geoidmeghatározásnak a fő célja javulást elérni a Tziavos et al. (1998) által már kiszámolt előző geoidmeghatározáshoz képest jobb gravimetriai adatbázist felhasználva, különösen a környező országok némelyike esetében.

Az elvégzett gravimetriai geoidmeghatározások felszíni nehézségi méréseken és terepadatokon alapulnak, vonatkozási rendszerként az EGM96 globális geopotenciál modellt felhasználva készültek. A $45.5^\circ < \varphi < 49^\circ$, $16^\circ < \lambda < 23^\circ$ területen rendelkezésre álltak átlag nehézségi adatok egy $1.5' \times 2.5'$ -os földrajzi rácshálóra. A terepadatok $1\text{ km} \times 1\text{ km}$ -es rácshálóra voltak megadva. A felhasznált módszerek a gömbi 1D gyors Fourier transzformáció (FFT) és a gyors kollokáció (FCOL) eljárásai voltak.

A számított geoidmagasságok ellenőrzését 43 magyar GPS/szintezési ponton végeztük el, melyek az EUREF89 hálózatnak a pontjai. A meghatározott eltéréseknek a statisztikai jellemzői a szórás tekintetében közel ± 12 cm-es egyezést mutattak, mely ± 8 cm-re csökkent egy egyszerű döntést és eltolást figyelembe véve. Kizárva 14 GPS pontot az országhatár közelében, az előbb említett szórások ± 7 és ± 6 cm-re csökkentek. Ezenkívül a teljes teszt területen összevetettük geoidmegoldásunkat az EGG97 európai geoiddal és a különbségek szórását ± 41 illetve ± 20 cm-nek találtuk egy egyszerű döntés és eltolás figyelembe vétele előtt és után. Megvizsgáltuk, hogy az 1D FFT módszerrel különböző integrálási sugarakat használva milyen geoidmagasságok adódnak. Ezek hasonlóak lettek és lényeges javulást nem tapasztaltunk. Fontos következtetéseket és ajánlásokat fogalmazunk meg a sűrű rácson, nagy területre kiterjedő nemzeti vagy nemzetközi geoidmeghatározások számára.

Felhasznált adatok

Földi nehézségi mérések (Δg)

A geoidszámításban felhasznált nehézségi adatok a következő két fő csoportba sorolhatók:

1. Átlag szabadlevegő-anomáliák csak Magyarország területére az Eötvös Loránd Geofizikai Intézet (ELGI) adatbázisából.

* Felsőgeodéziai Tanszék, Budapesti Műszaki Egyetem, H-1521 Budapest, Pf. 91.

e-mail: gtoth@geo.fgt.bme.hu

Ez az adatrendszer Ádám et al. (1995) szerint 13089 darab $1,5' \times$ átlag $2,5'$ -es szabadlevegő-anomália, melyek $0,75' \times 1,25'$ -es blokkokra predikált pontbeli Bouguer-anomáliákból és magasságokból lettek levezetve (blokkonként összesen átlag $10,5$ pontbeli értékből). Ez ugyanaz az adatrendszer, melyet Magyarország a precíz európai referencia geoid céljaira átadott. A becsült négyzetes középhiba jobb mint $\pm 0,1$ mgal az ELGI adatbázisban levő adatok esetében.

2. Átlag szabadlevegő-anomáliák a környező területekről különböző egyéb forrásokból.

Ezek a nehézségi adatok a következő sűrűségűek: Ausztria, Szlovákia, Nyugat-Ukrajna, Románia és a volt Jugoszlávia esetén a rácshálózat rendre $3' \times 5'$, $5' \times 7,5'$, $5' \times 7,5'$, $5' \times 7,5'$ és $5' \times 5'$ volt. Az előző megoldásunkhoz képest jobb, sűrűbb adatokat használtunk Románia és a volt Jugoszlávia területére. A fenti adatok becsült középhibája körülbelül ± 3 mgal.

A fenti összes földi nehézségi rendellenességek az International Gravity Standardisation Net 1971 (IGSN71) rendszerre és az 1980-as nemzetközi geodéziai vonatkozási rendszerre (GRS 80) vonatkoznak.

Az alkalmazott digitális terepmodell (DTM)

A terepmodell az amerikai NIMA (National Imagery and Mapping Agency) úgynevezett Digital Terrain Elevation Data (DTED Level 0) adatrendszerének a $43,5^\circ < \varphi < 51^\circ$, $13^\circ < \lambda < 25^\circ$ területre vonatkozó része volt. A magassági adatok osztásköze e rács esetében 30 szögmásodperc földrajzi koordinátákban kifejezve (névlegesen egy kilométer). Az adatok vízszintes dátuma a WGS 84-es rendszer, a magassági dátuma pedig a közép-tengerszint. Nem alkalmaztunk dátumtranszformációt a WGS84-es és a GRS80-as rendszer között. A magasságadatokat becsült abszolút pontossága jobb mint ± 30 méter.

Az adatok előkészítése

Az a terület, ahova kiválogattuk a nehézségi rendellenességeket a következő volt: $45,5^\circ < \varphi < 49^\circ$, $16^\circ < \lambda < 23^\circ$. Mind a 13089 rendelkezésre álló $1,5' \times 2,5'$ -es nehézségi rendellenességet kiválasztottuk az 1)-ből és további 2811 rendellenességet a 2)-ből. Végül összefésültük ezt a két rácsot majd interpoláltuk a végleges $1,5' \times 2,5'$ -es rácsra. Az interpolációt a GRAVSOF (Tscherning et al. 1992) programrendszerrel a kollokáció módszerével végeztük el. Így a végleges rács 141 sort és 169 oszlopot tartalmazott (összesen 23829 $1,5' \times 2,5'$ -es átlag szabadlevegő-anomáliát).

Ezenkívül a 600 sort és 1080 oszlopot ($648\,000$ rácspontot) tartalmazó digitális terepmodellt is elkészítettük a fentebb említett területre a terepi korrekciók számításához. Ezeknek az adatoknak a statisztikai jellemzőit az 1. táblázatban foglaltuk össze.

Módszerek

Az ismertett adatbázist felhasználva a geoid meghatározásához a spektrális 1D FFT módszert és a sztochasztikus gyors kollokáció (FCOL) módszerét alkalmaztuk.

1. táblázat. Az adatok statisztikai jellemzői.

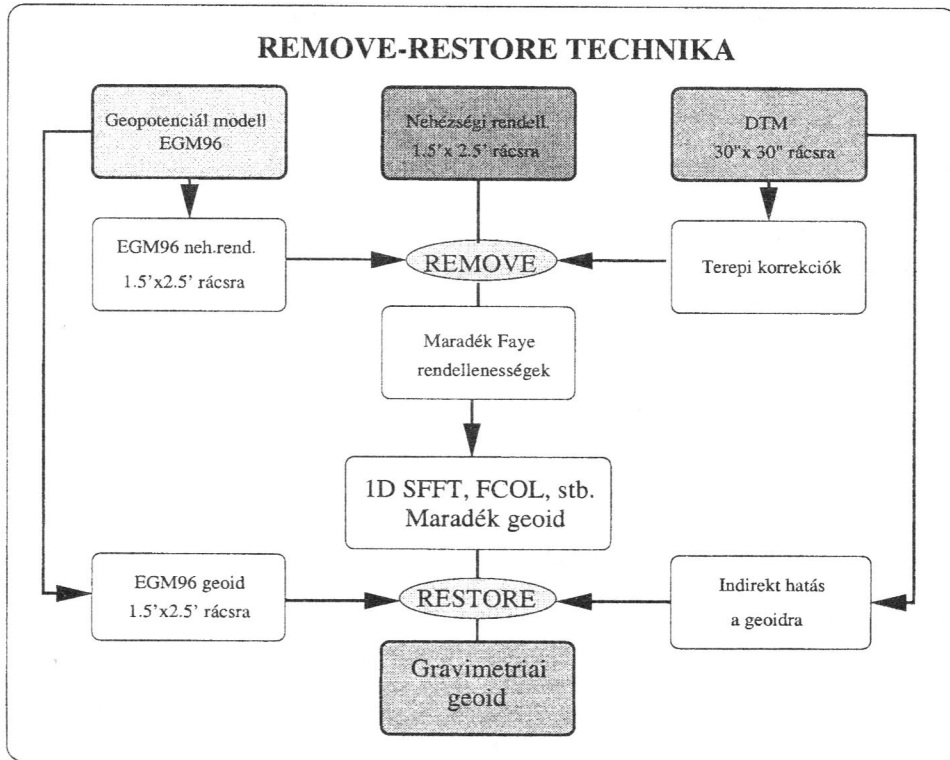
	max	min	átlag	szórás
szabadlevegő-anomáliák [mgal]	101.088	-38.592	17.251	±17.732
DTM adatok [m]	2428	21	338.34	±292.38

Mivel mindkét módszer az ún. 'remove-restore' technikára épül (lásd 1. ábra), a geoidmagasságok meghatározását az alábbi összefüggések szerint végeztük:

$$N = N_{GM} + N_{\Delta g} + N_h, \quad \Delta g = \Delta g_{FA} - \Delta g_{GM} - \Delta g_h$$

ahol N_{GM} adja meg a földmodell együtthatóinak unduláció hozzájárulását, míg $N_{\Delta g}$ adja meg a redukált szabadlevegő anomáliák hatását az undulációra a földmodell és a terep hatásának eltávolítása után. N_h adja meg a topográfia hatását az N -re (indirekt hatás, a Helmert-féle kondenzációs elmélet szerint). A másik összefüggésben Δg_{FA} a vizsgálati terület szabadlevegő anomáliáit jelenti és Δg_{GM} a geopotenciál modellből, Δg_h pedig a terepmodellből számítható nehézségi rendellenességeket jelenti.

A leghatékonyabb módját a helyi nehézségi mérések figyelembe vételének a gömbi 1D

**1. ábra.** A 'remove-restore' technika lépései.

FFT technika adja az alábbi egyenlet szerint (Haagmans et al. 1993):

$$N_{\Delta g}(\varphi_P, \varphi_Q) = \frac{R\Delta\varphi\Delta\lambda}{4\pi\gamma} \mathbf{F}^{-1} \left\{ \sum_{\varphi_Q=\varphi_1}^{\varphi_M} \mathbf{F} \{ (\Delta g_{FA} - \Delta g_{GM}) \cos \varphi_Q \} \mathbf{F} \{ S(\psi_{PQ}) \} \right\}$$

ahol $\mathbf{F}\{.\}$ és $\mathbf{F}^{-1}\{.\}$ jelöli a diszkrét 1D Fourier transzformációt és inverzét, γ a normál nehézségi gyorsulást, S a Stokes függvényt a gömbön és ψ a gömbi szögtávolságot. A részletes összefüggéseket Sideris és Li (1993), valamint Tziavos (1995) tárgyalták. Az FFT módszer alkalmazása számítástechnikailag bizonyítottan sokkal hatékonyabb mint a klasszikus közvetlen numerikus integrálás.

Helyi illetve regionális gravimetriai geoid megoldást előállíthatunk az időigényes *legkisebb négyzetes kollokáció* (LSC) eljárásával is, ahol egy lineáris egyenletrendszer kell megoldani (Tscherning et al. 1992). Az LSC módszer esetén szükséges számítások felgyorsítása érdekében Bottoni és Barzaghi (1993) alapvető módosításokat javasolt az eredeti egyenletekben, melyek lehetővé teszik a klasszikus legkisebb négyzetes kollokáció kiszámítását gyors és megbízható módon (gyors kollokáció – FCOL). A módszer az eredeti LSC eljárás némi módosításán alapszik. A legfontosabb követelmény az, hogy az adatok rácshálózatban legyenek adva. Ebből az fakad, hogy a C kovariancia mátrix a kollokáció egyenletében szimmetrikus blokk Toeplitz szerkezetű lesz és mindegyik blokk maga is szimmetrikus Toeplitz mátrix (Toeplitz/Toeplitz szerkezet). A numerikus analízis kiterjedhet akár sík, akár földrajzi rácsra. Érdekes azt is megfigyelni, hogy a

$$(C + D)b = (\Delta g_{FA} - \Delta g_{GM} - \Delta g_h)$$

egyenlet megoldását egy iterációs eljárás adja a Prekondicionált Konjugált Gradiens Módszer (PCGM) és a gyors Hartley transzformáció együttes alkalmazásával. A teszteredmények Bottoni és Barzaghi (1993) és a saját tapasztalataink szerint is igazolják azt, hogy ez az eljárás jelentős CPU idő csökkenéssel jár a szokásos módszerekhez képest, melyeket a kollokáció feladatának megoldására alkalmaznak (Cholesky módszer, Levinson módszer, stb.).

Az alkalmazott hardver és szoftver

Számításainkat többféle hardveren végeztük, ezek között volt egy Intel 5x86-133-as Pentium, egy Intel 6x86MMX-233-as és egy UltraSparc I-143-as számítógép. Az operációs rendszer mindhárom gépen Unix volt, illetve annak GNU/Linux változata (Debian GNU/Linux, illetve a Sparc alapú gépen az UltraPenguin 1.0.9.). A fejlesztői környezetet a GNU Fortran/C fordító nyújtotta.

Az adatelőkészítés során a standard Unix awk illetve tr programjait használtuk valamint a GRAVSOFTE geoidszámító FORTRAN programrendszer segédprogramjait. Az adatok interpolációja a GEOGRID programmal történt, mely szintén a fenti programcsomag része. A földmodellel kapcsolatos számítás a GEOCOL szoftver végezte. A terepi hatás számításában a TC2DFTPL program nyújtott segítséget, melyet FORTRAN nyelven fejlesztett ki Yecai Li a kanadai Calgari Egyetemen. A rácsok kombinálására az ugyanitt írt COMDATA illetve a GCOMB programokat alkalmaztuk, mely szintén a GRAVSOFTE része. Az

FFT számításához az FFTGEOID programot használtuk, melyet Yecai Li írt és alkalmas mind gömbi mind sík FFT számítására. A gyors kollokáció (FCOL) számítására rendelkezésünkre állt a C.C. Tscherning és R. Barzaghi által írt FASTCOL program, valamint a kovariancia függvények meghatározására a GRAVSOFTE csomag.

Ábráinkat a Generic Mapping Tools szoftver (GMT, 3-ás verzió) segítségével készítettük (Wessel és Smith 1995).

Eredmények

A terepi korrekciókat (T.C.) a teljes digitális terepmodell területére meghatároztuk állandó sűrűségű prizma-modell segítségével egészen a harmadrendű tagokig bezárólag. Az eredmények statisztikáit Tziavos et al. (1998) már publikálták, ezért azt itt nem ismételjük meg. A Faye-anomáliákat az EGM96-os geopotenciál modell mint referencia nehézségi erőter és a fenti terepi korrekciók segítségével készítettük el (2. táblázat). A nehézségi rendellenességek szórásának 27%-os csökkenését tapasztaltuk az eredeti szabadlevegő-anomáliákhoz képest. Mivel az FFT módszer megkívánja, hogy a sorok és az oszlopok száma páros legyen, a maradék Faye-rendellenességek rácsát egy sorral és egy oszloppal csökkentettük, azaz 140 sorra és 168 oszlopra, ami 23520 adatot jelent.

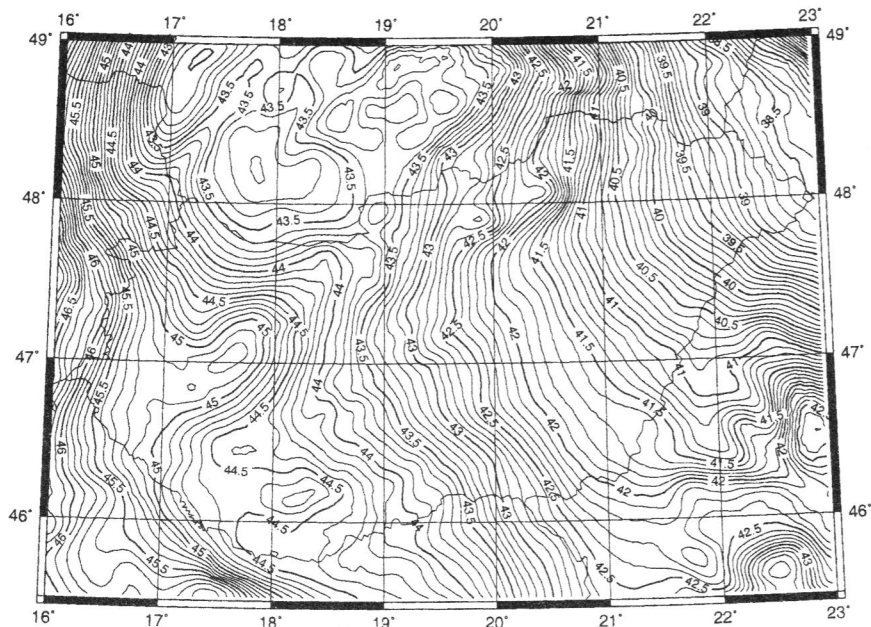
Az 1D gömbi FFT geoidmeghatározási módszerét mind az összes adat figyelembe vételével, mind pedig 0.5° , 1° , 1.5° , 2° és 3° -os integrálási sugárral alkalmaztuk. Az 2. ábra a végső geoidmegoldást mutatja Magyarországot területére az összes adat felhasználásával. Független geoidmeghatározás céljából a gyors kollokáció (FCOL) eljárását használtuk.

A tapasztalati kovariancia függvényt csak a 13089 magyarországi Faye-rendellenességből határoztuk meg, mert ez jobb mint a teljes rácsra meghatározott kovariancia függvényt használni. Az előállított geoidkép jól egyezett az FFT megoldással, a különbségek szórása csak 4 cm volt. Viszont jelentős eltolódás jelentkezett a kétféle megoldás között, mely 41 cm-t tett ki. Ezeket a különbségeket illusztrálja a 3. ábra. Összevetettük továbbá a geoidmegoldásunkat a teljes teszterületen a nemrég a Hannoveri Egyetem Geodéziai Intézetében meghatározott európai geoidmegoldással (European Gravimetric Geoid 1997, EGG97). Az eltérések szórása ± 0.41 m és ± 0.21 m volt egy egyszerű döntés és eltolás figyelembe vétele előtt illetve után; az eltolódás pedig 0,27 m-nek adódott. Az eltéréseket a 4. ábrán mutatjuk be.

Amennyiben a mostani összehasonlítást egybevetjük a Tziavos et al. (1998) által publikálttal, láthatjuk, hogy Magyarországtól DK-re a különbségek 2 méterről 1 méterre csökkentek, mivel az előző megoldásunkhoz képest itt több adat állt rendelkezésre. Románia és a volt Jugoszlávia esetében például a nehézségi adatok sűrűsége az előző $20' \times 30'$ helyett $5' \times 7.5'$ -re, illetve $5' \times 5'$ -re nőtt. Összevetettük geoidmegoldásunkat Ádám és Borza(1995) által publikált 43 magyar EUREF89 állomás adataiból meghatározható geoidmagasságokkal. Az összes statisztikai jellemzőt kiszámítottuk Magyarország belső részére is, ahol kizártunk az országhatár közelében fekvő 14 GPS pontot. Ezeknek az összehasonlításoknak a statisztikai jellemzőit tartalmazza a 3. táblázat.

2. táblázat. A Faye-rendellenességek statisztikai jellemzői.

	max	min	átlag	szórás
Faye-rendellenességek, mgal	72.821	-79.079	-3.464	± 13.292



2. ábra. Az FFT módszerrel meghatározott geoidmegoldás Magyarország területére (szintvonalköz: 0,1 m).

3. táblázat. A most meghatározott geoidmegoldások és az EGG97 megoldás összevetése a GPS/szintezés adataival (méter).

Módszer	eltolás+döntés nélkül				eltolás + döntés után			
	átlag	min	max	szórás	átlag	min	max	szórás
FFT ^o	0.251	0.045	0.750	±0.118	0.000	-0.167	0.338	±0.084
FFT*	0.275	0.137	0.477	±0.072	0.000	-0.098	0.151	±0.056
FCOL ^o	-0.158	-0.331	0.346	±0.116	0.000	-0.160	0.364	±0.090
FCOL*	-0.135	-0.253	0.052	±0.074	0.000	-0.098	0.127	±0.058
EGG97 ^o	0.244	0.020	0.559	±0.107	0.000	-0.147	0.235	±0.084
EGG97*	0.229	0.020	0.428	±0.093	0.000	-0.127	0.147	±0.060

FFT - 1D gömbi FFT, integrálási sugár nincs korlátozva

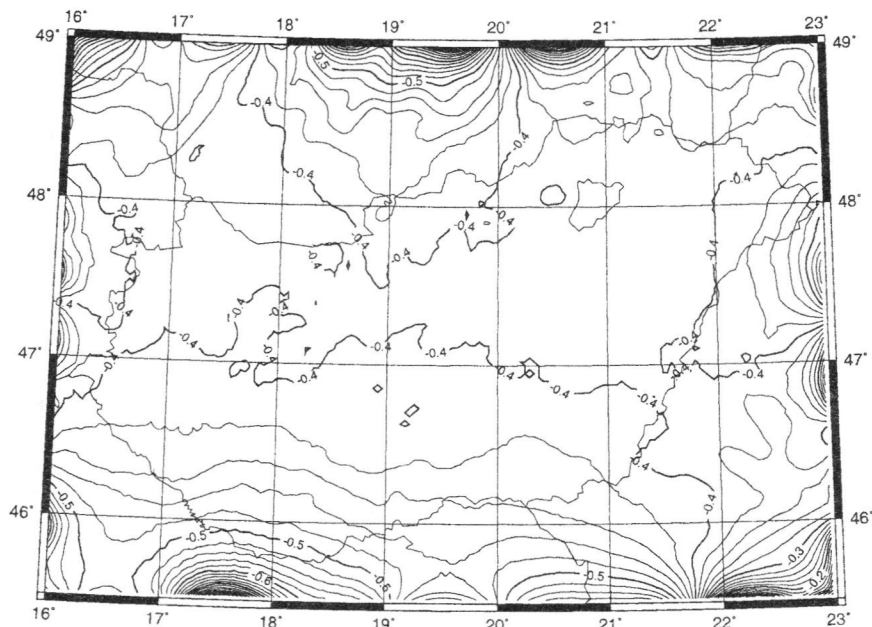
FCOL - gyors kollokáció

EGG97 - Európai Gravimetriai Geoid 97

^o - összehasonlítás 43 GPS állomással

* - összehasonlítás 29 GPS állomással

Amint azt említettük, kísérleteztünk különböző integrálási sugarakkal is. Azonban világosan látható a 4. táblázat eredményeiből, hogy lényeges javulást nem tapasztaltunk.



3. ábra. Az FFT és FCOL megoldás különbsége (szintvonalköz: 0,02 m).

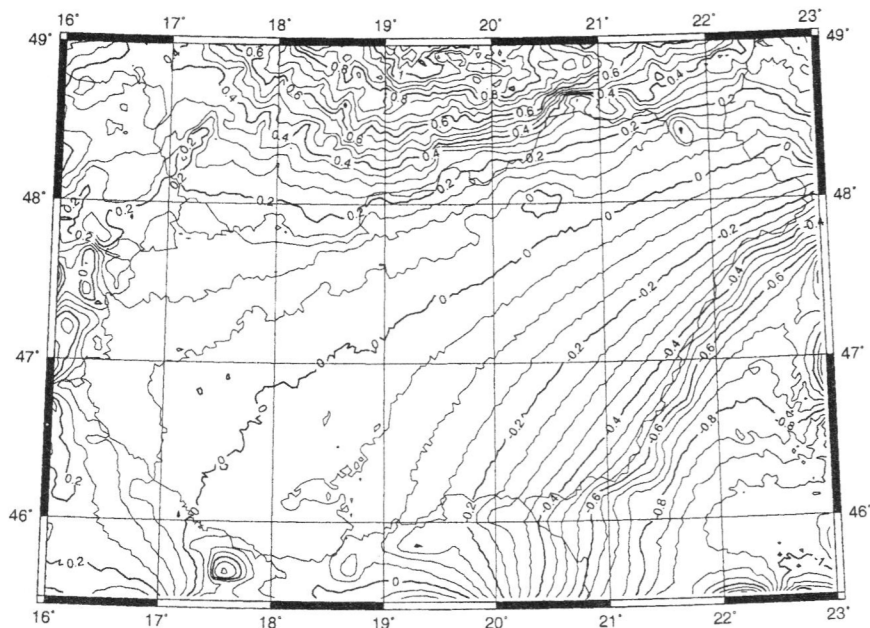
4. táblázat. A különböző integrálási sugarakkal számított FFT geoidmegoldások összevetése GPS/szintezési adatokkal, eltolás és döntés után (méter).

Int. sugár (fok)	43 GPS/szintezési pont				29 GPS/szintezési pont			
	átlag	min	max	szórás	átlag	min	max	szórás
0.5	0.000	-0.187	0.328	±0.097	0.000	-0.138	0.192	±0.080
1.0	0.000	-0.156	0.349	±0.093	0.000	-0.121	0.228	±0.082
1.5	0.000	-0.175	0.277	±0.094	0.000	-0.165	0.127	±0.078
2.0	0.000	-0.164	0.353	±0.089	0.000	-0.088	0.197	±0.063
3.0	0.000	-0.209	0.298	±0.103	0.000	-0.158	0.170	±0.079

Következtetések és javaslatok

Kétféle gravimetriai geoidmegoldást számítottunk Magyarország területére FFT-n és gyors kollokáción (FCOL) alapuló eljárással heterogén, azaz különböző sűrűségű és megbízhatóságú adatok alapján. A két megoldás eredményei ± 4 cm-es szinten megegyeztek, ami a különbségek szórását illeti, viszont jelentős eltolódás jelentkezett a kétféle megoldás között, mely 41 cm-t tett ki. Egy eltoláson és döntésen alapuló regressziós modellt használva az említett szórás ± 3 cm-re csökkent. Összevetve mindkét megoldásból származó geoidmagasságokat az EGG97-es európai geoid megoldással, a különbségek szórása ± 20 cm-hez közel adódott, míg az eltolódás 27 cm lett. Az előbb említett regressziós modell alkalmazása után a különbségek szórása ± 6 cm-re csökkent.

A gravimetriai geoidmagasságok összevetése a 43 GPS/szintezésből származó magas-



4. ábra. Geoidmagasság különbségek az FFT és az EGG97 megoldás között (szintvonalköz: 0,05 m).

ságokkal a különbségek ± 14 és ± 10 cm-es szórását eredményezte a regressziós modell illesztése előtt és után. Kihagyva néhány GPS pontot Magyarország határai mentén megismételtük ugyanezeket az összehasonlításokat 29 GPS állomásra is. Az összevetés a gravimetriai és a GPS/szintezési magasságok között a különbségek közel ± 9 és ± 6 cm-es szórásait mutatta a regressziós modell alkalmazása előtt illetve után.

A statisztikai jellemzők némelyike tovább javítható lesz, ha a környező országokra vonatkozó adatbázist ki tudjuk bővíteni mind pontosság mind felbontás tekintetében. További javulás lehetséges a Magyarország területére vonatkozó 500 m \times 500 m-es DTM és 1 km \times 1 km-es szabadlevegő-anomáliák felhasználásával. A mostani vizsgálatok esetében a klasszikus terepi korrekciót alkalmaztuk. Mivel a topográfia hatásának egy része jelen van simított formában a geopotenciál modellben is, ezért szeretnénk ezt figyelembe venni a jövőben az ún. RTM (residual terrain modelling) technika alkalmazásával. Az északi hegyvidéki területeken egy nagy pontosságú és sűrűbb GPS hálózat tovább javíthatja ezeket a jellemzőket.

E vizsgálat keretében az integrálási sugár különböző megválasztása nem eredményezte a statisztikai jellemzők javulását.

Vizsgálataink megmutatták, hogy a nemzeti geoidmeghatározások segítségével olyan geoidmagasságokat és magasságkülönbségeket kaphatunk, melyek pontossága összehasonlítható a GPS és szintezés segítségével kapott értékekkel, legalábbis a sík területeken. A geoidmagasságok különbségeinek statisztikai jellemzői, melyek ebben a tanulmányban adódtak, megfelelnek annak az elvárásnak, melyet a legtöbb mai geodéziai alkalmazás valamint a mérnöki munkák, térképezés és felmérések támasztanak.

Köszönetnyilvánítás

A szerző megköszöni az Országos Tudományos Kutatási Alap (OTKA T-015960) és a MTA TKI "Geodézia és Geodinamika" elnevezésű kutatócsoportjának támogatását, ami által lehetősége nyílt ezeket a vizsgálatokat elvégezni.

Hivatkozások

- Ádám J, Borza T** (1995): The GPS networks and their comparison with the traditional network of Hungary. In Reports on Geodesy (Vol. 16, 211–219). Warsaw: Institute of Geod. and Geodetic Astronomy, Warsaw Univ. of Technology.
- Ádám J, Denker H, Sárhidai A, Szabó Z** (1995): The Hungarian contribution to the determination of a Precise European Reference Geoid. In H. Sunkel és I. Marson (Eds.), Proceedings of the IAG Symposium No. 113. (579–587). Springer
- Bottoni G P, Barzaghi R** (1993): Fast Collocation. Bulletin Géodésique, 67, (119-126).
- Haagmans R, Min E de, Gelderen M van** (1993): Fast evaluation of convolution integrals on the sphere using 1-d fft, and a comparison with existing methods for Stokes' integral. Manuscr. Geod., 18, (111–241).
- Kenyeres A** (1992): GPS-gravimetric geoid determination based on combination of GPS/leveling and gravity data. In Holota-Vermeer (Ed.), Proceedings of the 1st Continental Workshop on the Geoid in Europe (482–490), Prague
- Li Y C** (1993): Optimized spectral geoid determination. In (Tech. Rep. No. 20050). Calgary, Alberta, Canada: Dept. of Geomatics Engineering, The University of Calgary
- Sideris M G, Li Y C** (1993): Gravity field convolutions without windowing and edge effects. Bull. Geod., 67, (107–118).
- Tscherning C C, Knudsen P, Forsberg F** (1992): Description of the GRAVSOFTE package. In 1st Continental Workshop on the Geoid in Europe
- Tziavos I, Ádám J, Tóth Gy, Andritsanos V, Rózsa Sz** (1998): Recent geoid computations in Hungary and the surrounding area. In: M. Vermeer és J. Ádám (Eds), Proceedings of the 2nd Continental Workshop on the Geoid in Europe. Reports of the Finnish Geodetic Institute, 98:4, (257-262).
- Tziavos I N** (1995): Comparisons of spectral techniques for geoid computations over large regions. Journal of Geodesy, 70, (357–373).
- Wessel P, Smith W H F** (1995): New version of the Generic Mapping Tools released, EOS Trans. AGU, 76, (329).

KORSZERŰ GEODÉZIAI ÉS FOTOGRAMMETRIAI ELJÁRÁSOK AZ ÉPÍTMÉNY TÉRINFORMÁCIÓS RENDSZER ADATBÁZISÁHOZ

*Kis Papp László**

Bevezetés

Az építmények felépítéséhez, üzemeltetéséhez, felújításához - akár lakóépületek, akár műemlék épületekben működő közintézményekről van szó - nagyszámú geometriai, műszaki, igazgatási információra van szükség. Az információnyerés eszközei napjainkban a hagyományos eljárással készült térképek és tervek. Minden kombináció előfordul - a manuálétól a számítógépes listáig, a méretarány nélküli tervskicctől a korrekt felmérés alapján készült állománytervig - és ezek különböző részlegekben található a vállalaton belül. Az adatokat mindenütt előállítják - gyakran duplán vagy triplán - egymástól függetlenül kezelik, aktualizálják és archiválják azokat.

Ugyanakkor napjainkban az automatizált adatfeldolgozás területén elsöprő fejlődés tapasztalható. Egy sor eljárás áll rendelkezésre, amelyben a geometriai és attribútum adatok egymással összekapcsolva átfogó térinformációs rendszert alkotnak. Ezek a grafikus-interaktív programrendszerek az előzőekben ismertetett problémákat hivatottak kiküszöbölni és széles felhasználhatósági palettájuk révén a jövő eszközei lehetnek.

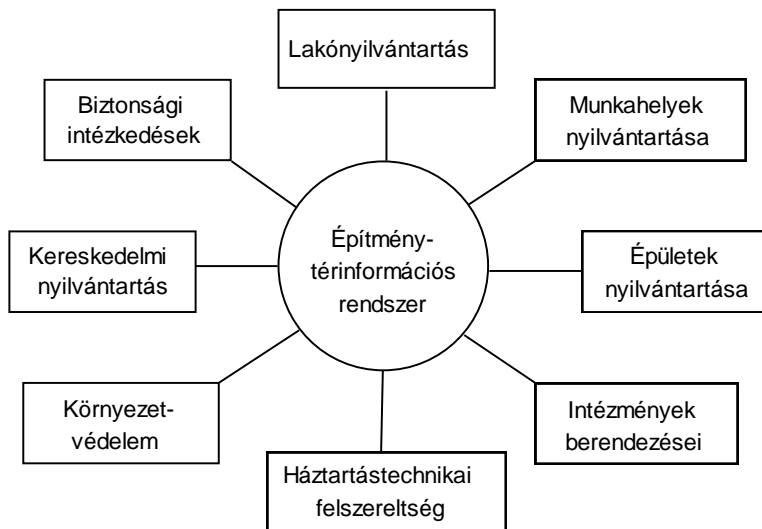
Egy térinformációs rendszer felépítése - a keret feltételek figyelembevétele mellett - a jelenlegi állapot elemzésén alapul. Elsősorban a rendelkezésre álló tervek minőségét kell megvizsgálni, ezekből vezethetjük le a koncepciót a geometriai adatok felvételére. Egyidejűleg kell elkészülni az attribútum adatok strukturálásának is. A szakterületen belül kell tisztázni, hogy mely adatok kerülnek aktívan a rendszerbe, illetőleg melyek lesznek passzívan lehívhatók. Meg kell állapítani az adatstruktúrát és a hozzá tartozó mennyiségeket. Összegezve a mennyiségeket, ki lehet alakítani az információs rendszer koncepcionális kérdéseit, és felvilágosítást nyerhetünk a hardver- és szoftver igényekről.

Az építményinformációk strukturált tudnivalói:

- az épület geometriája kívül és belül,
- az épületek rendszerbe sorolása helyi vagy országos koordináta-rendszerben,
- az épületekkel és épületrészekkel, azok berendezéseivel összefüggő leírások, használati funkciók, azok értékelése (attribútum adatok).

Az ÉPTIR (1. ábra) egy rendszer az építmények

- regisztrációja,
- dokumentációja,
- kiértékelése számára, tartalmazza:
- az adatmodellt,
- a szoftvert,
- a hardvert,
- a rendszerergonomiai funkciókat,
- a kezdeti regisztrációt,
- az aktualizáló szolgáltatást és a
- a felhasználási eligazítást.



1. ábra. Az Építmény térinformációs rendszer (ÉPTIR) koncepciója.

Oszályozás az adatok származása szerint

A bevitelre kerülő adatok két fő csoportra oszthatók:

1. geometriai adatok a topológiai jellemzőkkel és
2. leíró, tematikus adatok (attribútum adatok).

Mindkét csoport adatai egymással összekapcsolódnak és az objektumok mint pl. a helyiségek, falak vagy az ajtók rendszerére kerülnek. A beviteli módszer kiválasztásánál figyelembe kell venni, hogy a kiválasztott eljárással mindkét fajtájú adatot egyidejűleg meg lehessen határozni és a kapcsolatuk már a bevitel során létrejöjjön. A rendezési hibákat ezáltal hosszú távra ki tudjuk küszöbölni. A meglévő épületek adatai esetenként már léteznek digitális vagy analóg formában. Miután az újra történő adatbevitel költségesebb, mint a már meglévő adatanyag betöltése, meg kell vizsgálni, hogy milyen feltételek mellett felel meg ez a megoldás az ÉPTIR egységeinek.

Új építmények esetén az ÉPTIR elkészítését már az építmény tervezési fázisában kellene elkezdni. Törekedni kell arra, hogy nagy építmények esetében a CAD rendszerek segítségével készülő tervek előzetes geometriai adatokként az ÉPTIR át tudja venni. A rendszer irányában támasztott magas pontossági követelményeket az építési pontosság és a kivitelezési változások miatt a tervezési adatok nem elégítik ki. Ekkor kívánalom az építést követő alapfelvétel, miután sok esetben az épület elkészülte után az adatfelvétel költségesebb, vagy már nem lehetséges. Példaként a közművezetéseket egyszerűbben lehet felmérni, mielőbb egyéb építmények által takarásba nem kerülnek.

Az ÉPTIR felépítéséhez meg kell vizsgálni minden létező adatot arra vonatkozóan, hogy alkalmasak-e a rendszerbe való átvételre.

Az alkalmazott eljárások az adatok származása szerint

- elsődleges vagy közvetlen, és
- másodlagos vagy közvetett eljárásokra csoportosíthatók.

Az elsődleges felvételeknél az adatokat közvetlenül az objektumon vagy arról készült fotogrammetriai felvételekről határozzuk meg. A geometriai adatnyerés számára geodé-

ziai és fotogrammetriai eljárásokat lehet alkalmazni. Az attribútum adatok elsődleges megadását sok esetben a geometriai adatszolgáltatással együtt lehet elvégezni. Példaként a geodéziai helyszínrajzi felmérés a helyiségek méreteinek felmérésével egyidejűleg történhet. Különösen műemlék épületek esetében van ennek kiemelt jelentősége.

A másodlagos felvételi módszerekkel a már meglévő objektumadatokat át lehet vinni az építmény térinformációs rendszerbe. A kiinduló adatok lehetnek analóg vagy digitális formában. Geometriai adatok felvétele túlnyomóan digitalizáló technikával történik, ezzel a módszerrel az adatokat a grafikai alapokból az ÉPTIR-be átvihetik. Az épületgeometria mellett grafikusán dokumentált szakági adatokat is bevihetünk az adatbázisba. A másodlagos adatfelvétel egyik következő lehetősége a meglévő alfanumerikus adatok kézi bevitelére. Ez a megoldás főleg analóg technikával készült térképek esetében alkalmazható. Ha a térképek gépi úton olvashatóak, lehetséges szkener technikák alkalmazása a szövegfelismerőkkel az alfanumerikus adatok átvitelére az információs rendszerbe.

A másodlagos adatfelvétel másik nehéz pontja a digitálisan meglévő adatok átvétele. Itt adott esetben a konvertáló modulokra van szükség, vagy metszethelyeket kell létrehozni, amelyek az adattranszfert adatvesztés nélkül képesek elvégezni. Mivel az adatok struktúrája heterogén, a metszethelyek specifikusak, a felhasználó kötelessége a megfelelő metszethelyek előállítására.

Az adatfeldolgozás időrendi tervezése

Alapvető szabály az ÉPTIR számára történő adatbevitelkor az, hogy olyan hamar, ahogyan csak lehetséges meg kell, hogy történjen, mivel sok esetben a késedelmes rögzítés magasabb költség- és időráfordítással párosul. Az objektumok építési állapota vonatkozásában az adatrögzítés felosztható:

- a tervezés fázisában történő bevitelre,
- a kivitelezést kísérő adatbevitelre,
- a meglévő állapot bevitelére,
- a meglévő állapot változásainak bevitelére.

Az ÉPTIR adatbázisának feltöltése műemlék épületek esetében az épültrekonstrukció tervezési fázisában kell, hogy megkezdődjön. Mivel az épületek rekonstrukciós tervezéséhez többségében CAD-rendszerek használatosak, ezeknek a tervezési anyagoknak az áttételeit figyelembe kell venni. Ezáltal a geometriai információk mellett sokféle szakági adat, pl. a falazat anyaga, vagy a statikai méretezés paraméterei is megadhatók.

Elsődleges rögzítési technikák

Az elsődleges rögzítési technikák az adatokat közvetlenül az objektumról vagy annak fotogrammetriai felvételéből nyerik. A geometriai-topológiai adatok legfontosabb rögzítési technikájának a geodéziai és fotogrammetriai eljárásokat nevezhetjük. Ezen eljárások segítségével az objektum geometriai formája mellett szakági adatokat is rögzíthetünk. További elsődleges rögzítési technikák az adatgyűjtések vagy az olyan regisztrációk, amelyek a szakági adatok begyűjtésére irányulnak. Mivel a szakági adatok gyakran térvonatkozásúak, a rögzítésnél biztosítani kell, hogy az adatokat az épületgeometriával össze lehessen kapcsolni.

Geodéziai eljárások

Minden geodéziai eljárásra az jellemző, hogy az objektum geometriáját a felületének diszkrét pontjainak felméréséből határozza meg. A pontok koordinátáinak meghatározá-

sa mellett kiegészítő topológiai információk is rögzíthetők ezzel a módszerrel. Az eljárások digitális adatokat szolgáltatnak, ezek jelentős utómunkálat-szükséglet nélkül az ÉPTIR-be átíthatók. A geodéziai eljárások a továbbiakban a kapcsolópontok meghatározására is felhasználhatók. Ezek segítségével a rögzített geometriai adatok egységes helyi vonatkozási rendszere készül el. Fotogrammetriai eljárásokhoz az illesztőpontok meghatározására feltétlenül szükség van, az illesztőpontok meghatározása ugyancsak geodéziai eljárással lehetséges.

A feldolgozható geometriai adatok fajtája alapján az eljárások csoportosíthatók. Megkülönböztetünk eljárásokat a

- magasság és az alaprajz egyidejű meghatározására,
- az alaprajzi meghatározás és a
- magasságmeghatározás számára.

Az eljárások kombinálhatóak egymással, ekkor biztosítani kell, hogy az eredmények csatlakoztatása egyértelmű rendezést biztosítson.

Mivel az ÉPTIR ideális esetben az épület geometriáját 3 D formában és a hozzá tartozó attribútum adatokkal együtt írja le, túlnyomóan a vízszintes helyzet (alaprajz) és a magasság egyidejű meghatározására képes eljárások alkalmazhatók. Előnyösek a tachimetriai eljárások, mivel ezek egyszerű eljárások. Továbbá a mérőállomások a hozzájuk tartozó regisztrációs egységekkel - ezek a célszerűen felszerelt földmérő vállalkozások mindennapos eszközei.

Az elektrooptikai tachiméter regisztráló eljárásai lehetővé teszik az adatrögzítés objektumkódoló munkáját. A mért pontok adataihoz kapcsolódó objektumkulcsok alapján a mérésekből meghatározott koordináták közvetlenül az információs rendszerbe kerülnek. Az így nyert adatok az információs rendszerbe történő átvétel után csak csekély utómunkákat igényelnek. A regisztráló számológépekkel egybeépített elektronikus teodolitok alkalmazása lehetővé teszi az automatikus adatbevitelt. Amennyiben a teodolit az említett egységekkel egybe van építve, a mérési adatokat már a felvételkor ellenőrizhetjük. Mint a tachimetriai eljárásnál is, itt is lehetséges az objektumkódoló adatfeldolgozás.

Fotogrammetriai eljárások

A fotogrammetria az a mérési és kiértékelési módszer, amellyel térbeli objektumok helyzetét, formáját és nagyságát fotografikus és digitális képekből határozzuk meg. A geodéziai mérés technikával ellentétben az objektumokat nem közvetlenül, hanem leképezéseik alapján közvetett úton mérhetjük. Ezeket a leképezéseket filmkamerák, fotografikus vagy digitális kamerák opto-elektronikus úton állítják elő.

A fotogrammetriai eljárások alkalmazása akkor célszerű, ha nagyobb pontmennyiség kell háromdimenziósan meghatározni. A fotogrammetriai eljárás előnyei a következő tulajdonságokon alapulnak:

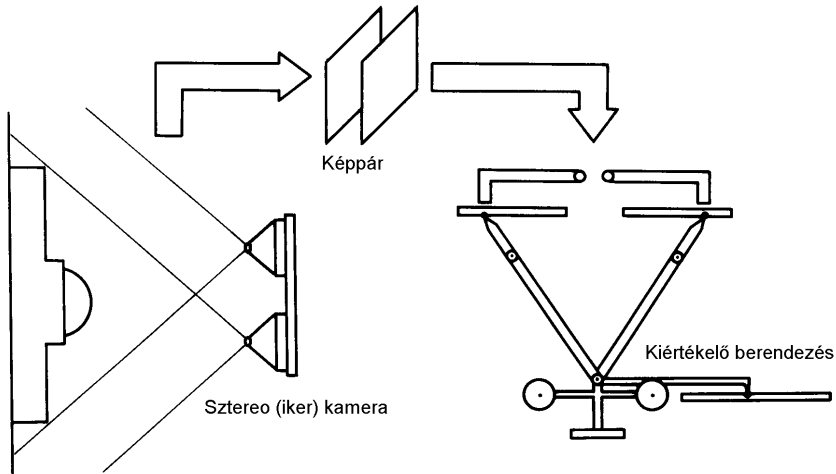
- a mérések időigénye csekély, leginkább a felvételre kerülő részletek számától függ,
- a műszerálláspontok messzemenően szabadon választhatók, így ezt rugalmasan előre tervezhetjük,
- az objektumokat hozzáférés nélkül megmérhetjük, a hozzáférhetetlen helyeket is meghatározhatjuk csekély számú mérésszükséglet mellett,
- háromdimenziós koordinátákat határozhatunk meg,
- az objektumok tetszőleges számú sok pontja határozható meg egyidejűleg,

- teljesen homogén pontosságot érhetünk el a felvett objektumok adataiban,
- az objektumállomány a felvételek megvilágításával dokumentálható, utólagos mérések nem igényelnek új felvételt,
- a kiértékelésnél az eredmények utómunkálat nélkül vihetők át az információs rendszerbe

Az ÉPTIR számára történő adatnyerés szempontjából a fotogrammetriai eljárás hátrányai a következők:

- a kiértékelés munkaiigénye a geodéziai eljáráshoz képest igen magas, ha kevés pontot kell meghatározni,
- az Építmény térinformációs rendszer koordináta-rendszeréhez történő csatlakozáskor a kapcsolópontokat geodéziai módszerrel kell meghatározni.
- fontos, hogy a felvételre kerülő objektumok kielégítően és lehetőleg egyenletesen meg legyenek megvilágítva,

Éppen a közelfotogrammetria és ennek speciális alkalmazása az építészet területén ért el az elmúlt években jelentős előrelépést a felhasználóbarát és költségekben kedvező felvételi- és kiértékelési rendszere révén (2. ábra).

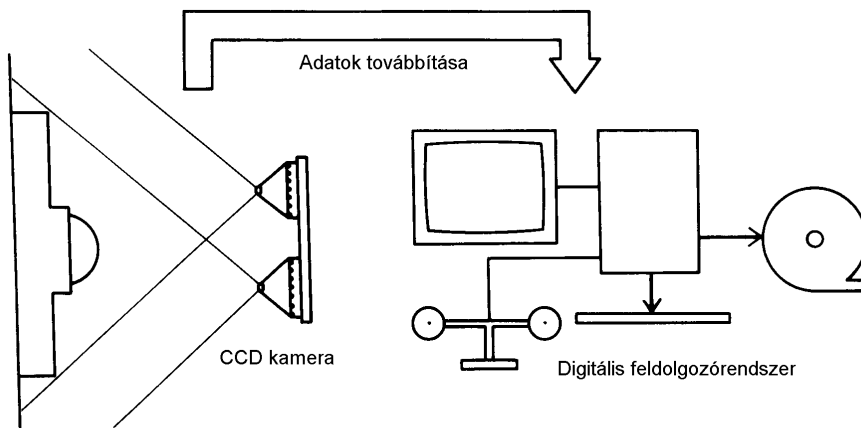


2. Ábra. A közelfotogrammetria felvételi és kiértékelési rendszere.

Az emberi természetes sztereolátási képesség kihasználásával mennyiségi méréssel összekötve a sztereofotogrammetria segítségével a felvett objektumokat háromdimenzióan rekonstruálni lehet. Mindkét megfigyelt szem számára készül egy sztereoképpár. A megfigyelő agyközpontjában a két kép homológ sugarai plasztikus, háromdimenziós képpé olvadnak össze. A térmodell előállításához feltételezzük, hogy a képeket két különböző álláspontból vették fel. Az így keletkezett virtuális térmodell háromdimenziós felméréséhez a sugármenetben két mérőjelt helyeztek el, ami a szemlélő számára virtuális térjellel olvad össze. A két mérőjel mozgatásával a modelltárban a térbeli mérőjel háromdimenziós mozgását tudjuk figyelembe venni, ezáltal minden mérni kívánt pontot felkereshetünk a sztereomodellhez.

A mérőjelmozgások értékelése által mérhetők a modellen a háromdimenziós koordináták. A közelfotogrammetriai felvételkészítésnél a digitális kamerák alkalmazása az

aktuális kutatások tárgya. Ezeknél a felvétel filmanyag egy félvezető-területszenzorral un. CCD kamerával van feltöltve, ami fényérzékeny elektro-optikus detektorok terület-sorából áll össze. A képek információja digitálisan mátrix formában jelenik meg. A kép-felbontást erősen befolyásolja a fényérzékeny cellák távolsága és mennyisége a terület-szenzoron. A mai szokásos CCD kamerák szenzor-felbontása 1012 x 1524 pixel. Az automatikus pontméréshez 9 x 9 μm -es pixelméret és a képfeldolgozó algoritmusok alkalmazása mellett a képkoordináták 1 μm -es pontossága érhető el. Egy digitális felvevő és kiértékelő rendszer kombinációját mutatja be a 3. ábra.



3. Ábra. Egy digitális felvevő és kiértékelő rendszer kombinációja.

Másodlagos feldolgozási módszerek

A másodlagos feldolgozási módszerek a már létező adatokhoz nyúlnak, amelyek már analóg vagy digitális formában elő vannak készítve. Ezeket az adatokat úgy dolgozzák fel, hogy az ÉPTIR átvehesse őket. Mivel az elsődleges megadás során gyakran csak azok az adatok kerülnek meghatározásra, amelyek az akkori felhasználási célokat szolgálták, ezért a másodlagos dokumentáció információtartalma csekélyebb, mint az elsődleges megadásnál. Több esetben a rendelkezésünkre álló adatok eredeti felvételi módszerre sem ismeretes, ezért csak korlátozottan nyilatkozhatunk azok pontosságáról.

Ha az eredeti tervekről kerülnek be az épületgeometriai adatok, akkor a dokumentáció méretarányának függvényében az átvett adatok geometriai pontossága is csökkenő tendenciájú. Éppen úgy csökken a terveken a részletgazdagság, mivel a kis formátumú objektum-ábrázolások nem kedvezőek és a rajzi generalizálás során ezek a részletek elnagyoltan jelentkeznek.

A geometriai adatok az analóg terveken csak kétdimenziósan láthatóak. Homogén háromdimenziós adatállomány felépítéséhez az ÉPTIR esetében csak feltételesen alkalmasak az analóg tervekről kiinduló átvételi technikák. Ha mégis az ÉPTIR felépítéséhez csak nagyméretarányú kétdimenziós adatok állnak rendelkezésre, a másodlagos beviteli technikák jelentős szerepet játszhatnak, mivel költségben kedvezőbbek, mint az elsődleges adatbevitel. Általában már meglévő épületeknél használatosak, ahol már sokféle adat áll rendelkezésre.

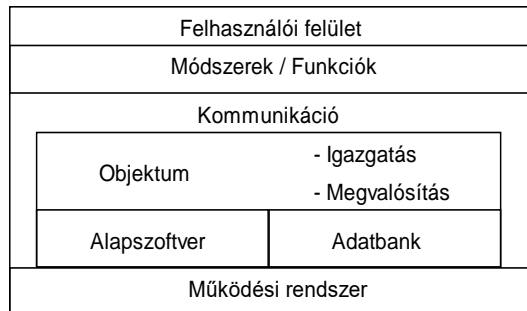
Manuális digitalizálás

A manuális digitalizálás ez idáig a legáltalánosabban elterjedt másodlagos adatnyerési módszer az Építmény térinformációs rendszerek felépítéséhez. Az adatok a digitalizáló asztralra lefektetett méretarányos tervek alapján rögzíthetők. Az információs rendszer koordináta-rendszerében az asztalkoordináták transzformálására legalább két koordinátájával ismert pontra van szükség, melyek egy curzornagyító segítségével az adott tervrajzon kimérhetők. Általánosságban több mint két ismert koordinátájú pont bemérését végezzük el azért, hogy fölös mérésekkel rendelkezünk a transzformáció végrehajtásához. Továbbá több pontnál adódik lehetőség különböző paraméterek affintranszformációval történő meghatározására is.

A koordináta-transzformáció azonnal az objektumpont digitalizálásával egyidejűleg, vagy a terven szereplő összes objektumpont bevitele után is elvégezhető. Általában a direkt transzformációt részesítik előnyben, mivel az így keletkezett koordináták az operátor számára áttekinthetőbbek és ezáltal a digitalizálás hibalehetőségei csökkennek. A geometriai adatstruktúra regisztrálása mellett a manuális digitalizálás során helyi vonatkozású attribútum adatok is rögzíthetők.

Az építmény térinformációs rendszer felhasználásának alkalmassági követelménye

Az ÉPTIR-nek formailag illeszkednie kell az épületadatok terjedelméhez, amely egy ilyen rendszer irányában támasztott felhasználási kívánalmaknak megfelel. A rendszernek olyannak kell lennie, hogy az információkat szabadon választott kritériumok alapján lehessen szűrni és kombinálni (4. ábra).



4. ábra. Az ÉPTIR működési rendszere.

Ahogy azt a 4. ábra is mutatja, ezeket az alapszoftver és az adatbank segítségével kell végrehajtani. A kommunikáció cserefelület az objektumok és alkalmazások között, amelyek a módszerben és a funkciókban vannak definiálva és a felhasználói felületen megvalósíthatóak.

Az ÉPTIR használhatósága függ ezen komponensek funkcióra alkalmasságától. Az ÉPTIR irányában kialakított követelmények nem lehetnek rövid távú célok, hanem az épület használatával egyidejűleg folyamatosan karban kell tartani. Remélhető, hogy a kialakításra kerülő térinformációs rendszerek megkönnyítik a népi műemlékek archiválását is.

ÚJ UTAK KERESÉSE A HELYMEGHATÁROZÁSBAN

Kádár István és Busics György***

Bevezetés

A geodéziát a helymeghatározás tudományának is nevezik. Ma a globális helymeghatározó rendszerek korát éljük: alapvetően átalakul a mérés technika és a számítástechnika. Ebben az átalakulásban újra fel kell tenni szakmánk alapkérdéseit: hogyan értelmezzük a hely fogalmát, és hogyan megy végbe a helymeghatározás folyamata. Azért kell feltenni ezeket a kérdéseket, mert felmérő munkánk eredményét ma nem papírlapra képezzük le, hanem a számítógép memóriájába, így figyelembe kell venni ennek a forradalmian új eszköznek a sajátosságait is. Helymeghatározó feladatunkat, helyfelelősi szerepünket a továbbiakban sokkal általánosabban, a köznapi felfogáshoz hasonlóan értelmezzük.

Célkitűzésünk egyrészt a régi és az új szemléletű helymeghatározó adatoknak, másrészt a területi és térfogati adatoknak egységes – úgynevezett heterarchikus – rendszerbe való integrálása. E cél eléréséhez mintának tekintjük a naptár heterarchiáját, amely az év időtartamának tovább-osztására használatos különféle – sokszor egymásnak ellent is mondó – hierarchikus rendszerek anarchiáját jól kezeli, ezeket a rendszereket harmonikus egyensúlyban tartja.

Mottónk: „Nem a térben és időben kell keresni az anyagot, hanem az anyagban az időt és a teret” (Pál György).

A geodéziai helymeghatározásban a számítógépek megjelenéséig a különféle koordináta-rendszerek játszották az uralkodó szerepet, míg a kartográfiában a szelvény számozási rendszerek töltötték be ugyanezt a feladatot. A számítógépek tömeges elterjedésével kezd megváltozni a helyzet, mivel utóbbiak – strukturált szerkezetük miatt – kezdik a geodéziai koordinátákat is fokozatosan kiszorítani. Ma már számos olyan térbeli adatszerkezet létezik, amelyek közös jellemzője egyrészt, hogy fastruktúrát használnak, másrészt, hogy mind a csomópontokat (nodes), mind a leveleket (leaves) többnyire négyzet alakú vagy téglalap alakú szabályos geometriai alakzatok képezik. Az utóbbi években azonban egyre többen ismerik fel, hogy a valódi, szabálytalan alakú síkbeli vagy térbeli objektumokat úgy is lehet számítógépes adatszerkezetekkel strukturálni, hogy szabálytalan határvonalait, illetve felületeiket érintetlenül hagyjuk.

A földmérési adatbázisok kialakulásának kezdetén a kérdés még úgy merült fel, hogy az adatbázis tagolása (partitioning) szelvényhatáros vagy településhatáros legyen-e. Napjainkra ez a vita az utóbbi megoldás javára dőlt el és a szelvényhatár mint adatbázis-idegen fogalom már elvesztette jelentőségét. Az eredeti kérdés viszont (kicsit átfogalmazva), a négyesfák, az R-fák és a többi matematikai fastruktúra vonatkozásában, újra feltehető. Amikor a fák particionálásánál fiktív téglalapok, azaz szelvények helyett a valódi objektum-határokat részesítjük előnyben, akkor a szelvényeket már innen is kezdjük kiszorítani, vagyis azt is mondhatjuk, hogy objektum-orientált szemléletmódot követünk.

Néhány alapfogalom

A pont

Kezdjük a pont fogalmával. Az egyszerű (simple) pont egy olyan objektum, amelynek egyetlen tulajdonsága az, hogy helye van. Az összetett (compound) pont a helyén

*BME Fotogrammetriai Tanszék, Akadémiai Kutatócsoport

**SE Földmérési és Földrendezői Főiskolai Kar

kívül még más tulajdonságokkal is rendelkezik. Előbbire talán legjobb példa az időpont, melynek helye az időtengelyen van, de ha még tovább absztraháljuk ezt a közismert fogalmat, azt is mondhatjuk, hogy a számegeyenesen. Ha koordinátákban gondolkodunk, akkor a térbeli pont (vagy rövidebben: térpont) vetületei a koordináta-tengelyeken találhatóak, melyek lényegükben ugyancsak számegeyenesek.

A pont fogalmával kapcsolatban meg kell különböztetnünk a végtelen nagy euklideszi tér végtelenül kicsi geometriai pontját a geodézia pont fogalmától. Amióta geodézia létezik, mindig véges (diszkrét) eseményteret használt, vagyis a geodéziában mindig diszkrét pontokkal van dolgunk. A matematikai végtelen kicsi épp úgy idegen a geodéziák számára, mint a végtelen nagy. Igaz, hogy számításainkhoz segédeszközül felhasználjuk a matematika csaknem teljes eszköztárát, de a geodéziái munka végeredményét mindig véges jegyre kerekítjük. A végtelen kiterjedésű euklideszi síknak vagy térnek nemcsak egy véges tartományát, hanem annak is csak véges számú pontját használhatjuk fel, mivel két szomszédos pont (kerekített koordináta) között a kerekítési kényszer miatt egy közbülső pont (koordináta) felvételének még a lehetősége is kizárt. A fenti helyzet a számítógépek elterjedésével sem változott sokat, sőt még tovább bonyolódott, mivel most már az időnek és a térnek a párharcát is tudomásul kell venni. Ezzel mintegy örök kompromisszumra kényszerülünk egyrészt a szükségletek és a lehetőségek között általában, másrészt a még elviselhető számítási, feldolgozási, elérési stb. idő és az adatok tárolásához rendelkezésre álló, illetve szükséges memóriateret között különösen.

A kerekítésből adódóan tehát a pont mindig egy véges kiterjedésű "hibanégyzet", mondhatjuk úgy is, hogy a diszkrét geometria hibaellipszise. Amikor kerekítésről beszélünk soha sem szabad elfelejtenünk, hogy ilyenkor nem pusztán a feleslegesnek tekintett számjegyek elhagyásáról van szó, hanem inkább arról, hogy pusztán gazdasági okokból mindig meg kell elégednünk egy bizonyos „maradék bizonytalansággal”, amely vagy összhangban van a mérési bizonytalansággal vagy attól mindkét irányban – akár nagyságrendekkel is – eltérhet.

A térpont

A térpontok a véges geometriai alakzatok, az ún. „tértartamok” atomjai. Egydimenzióban a felbontó-képességnek megfelelő intervallumok, két-dimenzióban a pixelek, három-dimenzióban pedig a voxelek stb. A térpont hagyományos koordinátákkal vagy a későbbiekben definiált helyszámmal rendelkezik. Utóbbi a pontszámhoz hasonlóan egy azonosító sorszám, de míg a pontszámok közismerten a létező pontok rendezett halmazában azonosítanak, addig a helyszámok a lehetséges pontok, az ún. „ponthelyek” halmazára utalnak. Mértékegységük ennél fogva a tértartam dimenziójától függően lehet méter, négyzetméter, köbméter stb. vagy azok törtrészei ill. többszörösei.

A tértartam

A tértartam mindig egy véges (nem feltétlenül összefüggő) geometriai alakzat belsejében és/vagy töréspontjaiban, oldalain, felszínén stb. található térpontoknak valamilyen szempont szerint rendezett halmaza.

Egy dimenzióban a tértartam hagyományos elnevezése, vagyis a TÁVOLSÁG, HOSSZÚSÁG, SZÉLESSÉG, MAGASSÁG, SZÖG stb. a diszkrét geometriában (kvantum-geodéziában!) is használható. A hagyományos értelmezés ugyanis szintén az atomok (kvantumok), azaz a térpontok számát mutatja. Mégis, itt már éles különbséget kell tenni kétféle elnevezés között: egyrészt a tértartamnak mint halmaznak és a tértartam számosságának mint skalár mennyiségnek a fogalma között. Az említett hagyományos elnevezések csak az utóbbit jelölik.

Két dimenzióban már sem a koordinátákból számítható, sem az egyéb módon meghatározott hagyományos terület nem tekinthető tértartamnak. Ugyancsak nem tértartam két általános helyzetű síkbeli pont távolsága sem. Mivel ezekhez a régi fogalmakhoz sem véges halmaz, sem ilyen halmaz számossága nem tartozik, ezért kénytelenek vagyunk ezeket a rendkívül fontos fogalmakat kissé módosítani. Szerencsére még a múlt évszázadban akadt egy ember (Georg Pick cseh matematikus) aki ezt a korrigálást a róla elnevezett Pick-tételben megalkotta (Varberg 1985). Többek között Pólya György világhírű magyar matematikus is dolgozott ki bizonyítást ehhez a tételhez. Így született meg hosszú-hosszú vajúds után a „berület” fogalma, amely az Egyesült Államok kataszteri nyilvántartásában már évtizedek óta „digitális geodéziai szabvány”. Pick tételének általánosítása Magyarországon született meg, mely lényegében egy ötelemű kerületcsaládot és egy három elemű területcsaládot definiál a következők szerint.

HERÜLET = határpontok száma = a szomszédos pontok koordinátáiból számított dx, dy értékpárok legnagyobb közös osztóinak összege

BERÜLET = TERÜLET – HERÜLET/2 + 1 (az eredeti Pick-tétel)

MERÜLET = BERÜLET + HERÜLET

KERÜLET = hagyományos értelmezésű kerület, a töréspontok koordinátáiból számítva

NERÜLET = töréspontok száma

VERÜLET = vonalpontok száma = HERÜLET – NERÜLET

ZERÜLET = KERÜLET - HERÜLET

A határvonal

A határvonal NEM a hagyományos egyenes diszkrét geometriai megfelelője. Legalábbis a közismert, mindennapi értelmezés szerint nem az. Utóbbit ugyanis nem határvonalnak, hanem „digitális egyenesnek” hívják és az IBM egyik kutatója fejlesztette ki évtizedekkel ezelőtt (Bresenham-féle algoritmus). Ennek egyetlen rendeltetése az, hogy a raszter-mátrixszal működő kijelző és nyomtató berendezéseken a hagyományos egyeneseket látni lehessen. Ezt egy olyan összefüggő pixel-sorozat előállításával éri el, melyben a pixelek többé vagy kevésbé a hagyományos egyenes szomszédóságában helyezkednek el és csak kivételes esetben esnek rá magára az egyenesre. Eléggé távolról szemlélve mégis azt a látszatot kelti, mintha a végpontok egyenes vonallal lennének ténylegesen összekötve. A geometriai (geodéziai) adatbázisok szempontjából azonban a digitális egyenesekhez tartozó pixel-sorozat teljesen alkalmatlan és haszontalan adatszerkezet. Eltekintve attól az egyetlen bit topológiai információtartalmától, mely azt fejezi ki, hogy a szóban forgó két pont össze van kötve.

A határvonalnak ezzel szemben egészen más a rendeltetése. Mivel nem pixelekből áll, ezért megrajzolni sem lehet, mégis ugyanazt a funkciót tölti be, mint a hagyományos egyenesek a hagyományos geometriában: elválasztja egymástól a szomszédos geometriai alakzatok (tértartományok) pixeleit – általánosabb fogalmazásban – térpontjait. A szétválasztó algoritmus egyébként roppant egyszerű: egy-egy vizsgált pixel, mindig ahhoz a geometriai alakzathoz tartozik, amelyikbe geometriai középpontja esik, mikor is a vizsgálathoz a határ-egyenesek hagyományos egyenleteit használjuk. Az a harmadik eset, miszerint a vizsgált pixel középpontja se nem jobbra, se nem balra, hanem pontosan a határ-egyenesre esik, azért nem lehetséges, mivel a határvonalakat nem a szomszédos töréspontok, hanem mindig a szomszédos vonalpontok között értelmezzük. Fentiekből következik, hogy látni a határvonalakat csak úgy lehet, ha a szomszédos geometriai

alakzatok pixeleit eltérő színekkel ábrázoljuk (ilyenkor a kontraszt hordozza az információt) vagy pedig ún. „meta-pixelet” alkalmazunk, mikor is a pixeleket annyira felnagyítjuk, hogy egy-egy meta-pixel határvonalát tényleges pixelekkel is ábrázolni lehessen. Mi a későbbiekben ezt a második megoldást fogjuk választani.

Még néhány dolgot a határvonalról.

Pontszimmetriája miatt területtartó, ami azt jelenti, hogy az egyik alakzathoz tartozó minden olyan pixelhez, amely részben „átnyúlik” a másik alakzat tartományába is, mindig megfeleltethető egy-egy olyan pixel a másik alakzatban, mely pontosan ugyanolyan mértékben „nyúlik vissza”. Így a területi torzulások tökéletesen kompenzálják egymást (Körmendi 1998).

A határvonalak mindig a berületeket mint a digitális tértartamok alapalakzatait határolják el egymástól. Ha mégis a hagyományos területekre vagyunk kíváncsiak (és miért ne lennénk még sokáig azok), akkor a fenti Pick-tétel inverzének megfelelő alábbi képletből is számíthatjuk

$$\text{TERÜLET} = \text{BERÜLET} + \text{HERÜLET}/2 - 1.$$

Ez módszert ad meg arra az esetre is, ha a töréspontok koordinátáit nem ismerjük (nem tároljuk), csupán a digitális megfelelők állnak rendelkezésünkre.

A hely

Lényegét tekintve a hely nem más, mint egy olyan index (mutató, sorszám), amellyel egy rendezett vagy rendezetlen halmaz valamelyik elemét azonosítani lehet. A hely – halmazelemek azonosítására szolgáló adat. Ha a halmazelemek maguk is halmazok, akkor természetesen részhalmazt fog azonosítani. Ilyenkor persze egy olyan újabb indexre (helyre) lesz szükség, amellyel most már a részhalmazon belül tudunk azonosítani. Így jönnek létre az ún. strukturált helymeghatározó rendszerek, melyeknek legkorszerűbbnek mondott változata az ún. objektum-orientált jelzöt viseli.

Helyet jelöl egy városnév (születési hely, lakóhely), egy koordináta-pár (529456.78, 243567.14), de ugyanúgy hely a péntek vagy az okt. 30. dátum is. A köznapi élet helyhatározó és időhatározó szavai ugyanúgy helyek, mint a geodéziai koordináták (itt, jobbra, felülről, lent, tegnap, előbb...). Bizonyára sokaknak furcsa, sőt visszatetszőnek látszó megoldás a teret és az időt így összekeverni, összemosni. A téridő fizika több mint félévszázados tapasztalata azonban azt mutatja, hogy nemcsak a pontok x,y,z koordinátáit érdemes együtt kezelni (integrálni), hanem a hozzájuk tartozó t időt is. Az így kapott x,y,z,t számnégyesről azt mondjuk, hogy ezek egy esemény koordinátái, vagyis nem egy pontnak, hanem egy ún. "esemény"-nek a helyét adják meg egy általánosított négydimenziós koordinátarendszerben. Ez persze nem zárja ki, hogy speciális esetként ne lehessen az egyes koordinátákat, koordináta-párokat vagy koordináta-hármasokat külön-külön is kezelni.

Ha a halmaz többdimenziós, mint pl. egy könyv, és elemeinek a betűket tekintjük, akkor a hely megadásához többdimenziós indexeket is használhatunk (oldal, sor, betű). A három-dimenziós indexeket az (x,y,z) koordináta-hármasokkal szokás jelölni és ezeket sokszor térbeli indexeknek is nevezik, noha ezek is csak speciális eseteik az általános térbeli indexeknek.

A helyet, ezt az egyszerűnek tűnő fogalmat lehet tehát úgy is definiálni, hogy nem utalunk semmiféle "koordinátarendszer-féleségre". Előbb azonban meg kell szabadulnunk a belénk nevelt, szüklátókörű geometriai orientáltságtól és vissza kell térni a helynek velünk született, széleskörű, mindennapi, természetes értelmezéséhez. Nos, az in-

formatikát, sőt magát a halmazelméletet is éppen arra találták ki, hogy egyszerű, de általános érvényű fogalmakkal pótolja a bonyolultabb, de sokszor erősen korlátozott hatáskörű fogalmakat (Egenhofer és Mark 1995).

Halmazelméleti megfontolásból a hely a halmaz elemének sorszáma egy rendezett halmazon belül. Mivel egy objektum több halmaznak is lehet eleme, ezért egy objektumnak, illetve pontnak egyidejűleg több helye is lehet. Sőt, mivel egy halmazt többféle szempont szerint is rendezhetünk, egy objektumnak még ugyanazon halmazon belül is többféle helye lehet. Azt a rendezett halmazt, amelyen belül a pont helyét pillanatnyilag értelmezzük, a helymeghatározás (momentán) domenjének, illetve (pillanatnyi) értelmezési tartományának lehet nevezni. Mintegy axiómaként felvehetjük, hogy minden pont részére legalább egy (véges vagy végtelen kiterjedésű) domen, míg minden domen részére legalább egy rendezés mindig létezik. Ebből következik, hogy minden pontnak legalább egy helye mindig értelmezve van.

Milyen helytípusok vannak? Nagyon sokfélék. Mi itt csak a számunkra legfontosabb ún. poligon-alapú helymeghatározó rendszerek ismertetésére vállalkozunk.

MELY - Merületen belüli hELY,
 BELY - Berületen belüli hELY,
 KELY - Kerületen belüli hELY,
 NELY - Nerületen belüli hELY,
 VELY - Verületen belüli hELY,
 HELY - Herületen belüli hELY,

A helymeghatározás

A helymeghatározás a helyzeti bizonytalanság csökkentésére vagy – szélső esetben – megszüntetésére irányuló folyamat, illetve tevékenység.

Mint minden információs folyamat, így a helymeghatározás sem egyéb, mint egy vagy több lépcsőben végrehajtott bizonytalanság-csökkentés, de úgy is mondhatjuk, hogy egy vagy több lépcsőben végbemenő bizonytalanság-csökkenés. A helymeghatározást az különbözteti meg az általános információs folyamattól, hogy nem akármilyen bizonytalanság csökken(t)éséről van szó, hanem csak az ún. helyzeti bizonytalanságéről. Minél nagyobb ez a csökken(t)és, annál több helyzeti információt kaphatunk (gyűjthetünk) a helymeghatározás folyamatában. Az induláskor rendelkezésünkre álló ún. a priori (eredeti) domen nagysága a helymeghatározás a priori (eredeti) bizonytalanságát mutatja, annak mérőszáma. Erre az alábbi két feltétel egyidejű teljesülése a jellemző:

- 1, Biztosan tudjuk, hogy a meghatározandó pont a szóban forgó domenhez tartozik, úgy is mondhatjuk, hogy annak belsejében található.
- 2, Nem ismerünk a kérdéses domenon belül olyan részhalmazt, vagyis olyan kisebb rész-doment, amelyre az 1. feltétel teljesül.

Amikor a helymeghatározás (pontosabban: a fokozatos helyleírás) során egyre több részinformációt kapunk vagy adunk egy szóban forgó pont helyzetéről, az eredeti domen egyre jobban szűkül, azaz a helyzeti bizonytalanság is egyre jobban csökken mindaddig, amíg a megkívánt vagy a lehetséges helyzeti pontosságot el nem érjük. Utóbbi nevezzük a posteriori (maradék) bizonytalanságnak. Az említett kétféle helyzeti bizonytalanság számszerűsítése után azok különbségét vagy viszonyát is képezhetjük, ez lesz az ún. helyzeti információ. A gyakorlatban azonban még csak nem is a helyzeti bizonytalanságok viszonyát, hanem annak valamilyen alapú logaritmusát használják. Ez persze ugyan-

azt jelent, mintha az eredeti bizonytalanság logaritmusának és a maradék bizonytalanság logaritmusának a különbségét képeznék.

Különösen fontosak számunkra az ún. geometriai értelmezési tartományok, nevezetesen a vonalszakaszok, a síkidomok és a térbeli geometriai testek, amelyek valódi objektumoknak a mindenkori társadalmi igény és a mindenkori megvalósítási lehetőség figyelembevételével kialakított, többé-kevésbé alakhű geometriai modelljei. Mivel minden domen egy halmaz - a lehetséges ponthelyek halmaza, ezért kiterjedése (nagyságának mértéke) elemeinek számával, azaz a halmaz számosságával (kardinalitásával) adható meg. Ahhoz, hogy egy geometriai domen számosságát meg tudjuk állapítani, legelőször is rögzítenünk kell a megengedett vagy megkívánt a posteriori domen mértékét, vagyis a korábban már említett a posteriori bizonytalanságot. Ennek nagysága lesz ugyanis az a mértékegység, amellyel (vagy amelyben) mind az eredeti bizonytalanságot, mind a gyűjtött információt mérni lehet.

Nézzünk most néhány példát. Egydimenziós domenek esetén az eredeti bizonytalanságot ívhosszal (speciális esetben távolsággal, magassággal stb.) lehet mérni, ahol a skálaosztás a megkívánt pontossággal egyenlő. Kétdimenziós domeneknél az a priori bizonytalanság területjellegű, míg háromdimenziósoknál térfogatjellegű mennyiség. Az a posteriori bizonytalanságot két- illetve háromdimenziós skálaosztásokkal: raszterelemekkel (pixelekkel vagy voxelekkel) lehet szemléltetni. Utóbbiak természetesen nem mások, mint digitális hibaellipszisek, melyek létrejöttét azonban most nem mérési, hanem keresési hibáknak lehet tulajdonítani, amint azt korábban már említettük.

Milyen helymeghatározó rendszerek vannak?

Lehet informatikailag megalapozott, de lehet minden tudományos alapot nélkülöző, ún. gyakorlati megoldásokkal is találkozni. Előbbiek éles különbséget tesznek adat és információ között, míg utóbbiak vagy mindent információnak tekintenek vagy magának az információnak a létezését is kétségbe vonják.

A klasszikus, koordinátákon alapuló helymeghatározó rendszerekkel kapcsolatban a következő kritikát fogalmazhatjuk meg:

- Nem dinamikusak: csak a hol kérdésre válaszolnak, pedig legalább annyira fontos lenne a honnan-hová, mettől-meddig stb. kérdésekre is közvetlen feleletet adni (lásd pl. Freeman lánckód-rendszerét).
- Nem strukturáltak: a pontokon belüli – ma már egyáltalán nem szükséges (anakronisztikus) x-y-(z) tagoláson kívül – más szerkezeti tulajdonságokkal nem rendelkeznek.
- Nem adaptívak: állandó szóhosszúságú adattípusúak, holott információtartalmuk változásának megfelelő változó szóhosszúságú adatokra lenne szükség.
- Nem integráltak: a való világ leírásához szükséges szókincs elemei között sok esetben annyira erős a kapcsolat (összefonódás, átfedés, kohézió), hogy ezeknek az adatszerkezetekben is kifejezést kell kapniuk (lásd pl. "ház udvarral", "szőlő gyümölcsösselel" stb.). Integrálásra elsősorban a következő vonatkozásban lenne szükség:
 - * síkkoordinátákból igazi komplex-számokat, térkoordinátákból integrált térvektorokat létrehozni, mint ahogy azt annakidején Homoródi elképzelte
 - * a Hely-Alak-Tájékozás integrálása speciális geometriai kódolással
 - * a legerősebb korrelációval rendelkező geometriai alakzat – egyetlen pontpárral meghatározott egyenes-szakasz - helyzetének és tájékozásának integrálása úgy, ahogy azt a NASA kutatói elképzelik

- * a kör ill. a gömb középpontjának és sugarának integrálása úgy, ahogy azt pl. a CompuCorp cég Surveyor típusú zsebszámológépének tervezői elképzelték
- * az ugyancsak pontpárral meghatározott négyzet, ill. téglalap helyzetének és méretének integrálása úgy, ahogy azt pl. a Pascal programnyelv utasításkészletének tervezői megvalósították
- * összetartozó – fekete-fehér vagy színes – általános helyzetű pontcsoport helyzetének integrálása permutációs sorszámmal (Ágfalvi et al. 1998)
- * a természetes nyelvek mutató névmásait (ez, az, amaz stb.) és helyhatározó szavait (itt, ott, amott stb.) a helymeghatározó nyelv szókincsébe ugyancsak bele lehet és bele célszerű integrálni, úgy, ahogy ma már minden programnyelv nélkülözhetetlen tartozékai a címkék és az ezekhez tartozó goto és a gosub ugró utasítások.
- Nem relevánsak: nem a mindenkori kérdésre adnak feleletet (mellébeszélnek), mivel nem képesek az információgyűjtés előzményét (a mindenkori a priori információt) figyelembe venni (ez azért van így, mivel a contex-free nyelvcsaládba tartoznak, holott ma már legalább olyan contex-sensitive leíró nyelvekre van szükség, mint pl. a Windows Word-je).
- Nem dialektikusak: nem illeszthetők az egységes tér-idő elméletbe, mivel ellentmondanak az időpont és az időtartam egymást kölcsönösen feltételező, ill. meghatározó logikájának. A térpont és időtartam fogalom-pár bevezetésével az olyan közismert fogalmakat, mint a kerület, terület, felszín és térfogat messzemenően tovább lehet és tovább kell általánosítani, mellyel egyidejűleg természetesen a hely fogalma és a mértékegysége is új értelmezést fog kapni.
- Nem racionálisak: a tizedes törtek alkalmatlansága (matematikai környezet-szennyezés!) az egyenesen fekvő pontok helyzetének rögzítésében világosan megmutatkozik. Ezért önkritika gyakorlása után vissza kell térni a valódi törtek alkalmazására (renoméját vissza kell állítani) az ún. racionális adattípusok, illetve a homogén koordináták használatával.
- Nem (memória)hely-takarékosak: Ha a számítógép-memóriák megtervezését annak idején geodétákra bízta volna, akkor ma az adatok helyét - bitek és a bajtok sorszámai helyett - egészen biztosan x, y, és z koordinátákkal kellene megadni.
- Nem (futás)idő-takarékosak: a mai nagyteljesítményű integrált vektor- és mátrixaritmetikák tükrében úgy tűnik, hogy a koordinátákra épülő geodéziai (geometriai) számítások annyira anakronisztikusak, mintha a mezőgazdaságban az aratást-cséplést végző kombájnok munkáját még mindig sarlóval végeznék el.

Helymeghatározás a diszkrét geometriában

Kibővített hely-fogalmak

A következőkben egy sor olyan geometriai fogalmat adunk meg, amelyek a mindennapi gyakorlatban használt, közismert geometriai fogalmak kiterjesztései. Az elnevezésükben lévő nagy redundancia a jobb megértést szolgálja. Mindegyikük egy-egy véges geometriai halmaz- vagy részhalmaz-típusnak szolgál azonosítójaul. A halmazok szármosságát nevük első három betűjével fogjuk jelölni, de erre egybetűs rövidítés is alkalmazható. A Berület szármosságát például négyféleképpen is jelölhetjük: BER, B, ber, b.

I.: az egydimenziós digitális egyenes-szakasz

Végpontok: $V =$ mindig kettővel egyenlő

Belpontok: $B =$ belső pontok száma = a végpontok távolságának eggyel csökkentett értéke

Összpontok: $\ddot{O} =$ összes pont száma = $B + V$.

II.: kétdimenziós (és háromdimenziós) egyenes-szakaszok

A TÁVOLSÁG-család kiegészítő tagjai:

Végpontok: $V =$ mindig kettővel egyenlő

Belpontok: $B =$ belső pontok száma = a végpontok koordinátáiból számított $dx, dy, (dz)$ értékpár (értékhármas) legnagyobb közös osztójának eggyel csökkentett értéke

Öszpontok: $\ddot{O} =$ összes pont száma = $B + V$.

III.: poligonok kerületének és területének digitális általánosításai

A KERÜLET-család kiegészítő tagjai:

Nerület: $Ner =$ töréspontok száma

Herület: $Her =$ határpontok száma = a szomszédos töréspontok koordinátáiból számított összetartozó dx, dy értékek legnagyobb közös osztóinak összege

Verület: $Ver =$ vonalpontok száma = $Her - Ner$

Zerület: $Zer = Ker - Her$. Jól tájékozott téglalapok, illetve poligonok (goligonok, szkveregonok) esetében zérussal egyenlő, egyébként a digitális poligon tájékozásának minőségét (rosszaságát) a nem-digitális megfelelőjéhez viszonyítva mutatja (minél nagyobb a Zer , annál kevesebb osztóponthely, azaz pixel áll a poligon oldalain rendelkezésre).

A TERÜLET-család kiegészítő tagjai:

Berület: $Ber =$ belső pontok (pixelek) száma = $Ter - Her/2 + 1$

Merület: $Mer =$ összes pixel száma = $Ter + Her/2 + 1$

IV.: poliéderek felszínének (felületének) és térfogatának (belületének) digitális általánosításai

A FELÜLET-család kiegészítő tagjai:

Nelület: $Nel =$ csúcspontok (vertices) száma

Helület: $Hel =$ élpontok száma = a szomszédos csúcspontok koordinátáiból számított összetartozó dx, dy, dz értékhármasok legnagyobb közös osztóinak összege.

Velület: $Vel = Hel - Nel$

Lelület: $Lel =$ lappontok összege = területvektorok legnagyobb közös osztóiból számítva. (lásd V. pont)

Zelület: $Zel = Fel - Lel$. A Zer -hez hasonlóan, a tájékozás minőségi mutatója.

A BELÜLET-család kiegészítő tagjai:

Belület: $Bel =$ belső pontok (voxelek) száma. Zárt képlet hiányában ma még csak ún. intelligens backtrackinggel végzett leszámllással (enumerációval) határozható meg, néhány egyszerűbb, speciális esettől eltekintve.

V.: voxelek száma a tetraéder egy-egy lapján belül

$$L = (LNKO - V - 1)/2$$

ahol $LNKO =$ a TV terület-vektor összetevőinek legnagyobb közös osztója

$TV =$ két él-vektor vektoriális szorzata,

V = az éleken fekvő ponthelyek együttes száma.

**Koordináták helyett: hely;
koordináta-rendszer helyett: helyszámozó rendszerek**

Ahogy az IDŐ természetes mértékegysége a NAP, ugyanilyen nyilvánvalónak látszik, hogy a TÉR természetes mértékegysége a HELY legyen. E kétféle mérték közötti különbség csupán annyi, hogy előbbit a Föld periodikusan ismétlődő napi forgása, míg utóbbit valamilyen térbeli domen (angolul: domain) egyenletes térközökre történő felosztása (kvantálása, particionálása, skálázása) hozza létre (generálja). A matematikai modell, vagyis a mérőskála, mindkét esetben közös: maga a közismert számegeyenes. A megelőző (predessor) és a követő (successor) nap (magyarul: TEGNAP és a HOLNAP) rekurzív értelmezése térbeli domeneknél formálisan a TEGHELY és HOLHELY értelmetlen elnevezéseket eredményezné, azonban mindkét esetben a lineáris rendezéshez, továbbá egy nagyon is értelmes és hasznos alapművelethez, a számláláshoz vezet.

A "vissza az alapokhoz!" (back to basic!) jelszót követve, ma már több olyan komoly tudományos mozgalom is indult, mint a naív fizika (Hayes 1978, 1985), vagy a naív geográfia (COSIT - Conference of Spatial Information Theory), de a mi szűkebb szakterületünkön belül is akad már nem is egy naív geodéziai kezdeményezés. Itt elsősorban a kanadai-horvát Lukatela Geodissey és Hypparchus rendszerét, másrészt a NAC - Natural Area Coding világhálózatát érdemes megemlíteni. A legerőteljesebben azonban az ún. Objektum Orientált szemléletmód terjed, mely lényegében azt jelenti, hogy alapfeladatunkat, a helymeghatározást az utcák, a házak, az ajtók, illetve a közlekedési eszközökben rendelkezésre álló üléshelyek megszámozásának mintájára célszerű megvalósítani. Ezt a megközelítést a shannoni információelmélet is támogatja (Shannon 1983), szemben a sokkal tudományosabbnak látszó koordináta-rendszerekben való gondolkodással.

Az olyan helymeghatározó rendszereket, melyekben a felhasználó által választott tetszőleges vonalas létesítmény, illetve síkbeli vagy térbeli objektum határai által meghatározott domenon belüli ponthelyeket sorszámozással (vagy annak általánosításaival) különböztetjük meg egymástól, HELYSZÁMOZÓ RENDSZEREKNEK fogjuk nevezni. Magukat a sorszámokat pedig HELYSZÁMOKNAK vagy még rövidebben: HELYEKNEK.

Az időmeghatározáshoz használt számegeyenes időtengelynek szokás nevezni, az ezen értelmezett strukturálatlan (homogén) időt (pontosabban: időleírást) pedig juliáni dátumnak. A juliáni dátum természetesen nemcsak az egész napokat, hanem tizedes tört formájában a NAP törtrészeit is a kívánt pontossággal ki tudja fejezni. A csillagászok már évszázadok óta sikerrel használják ezt a rendszert. Kézenfekvő ötletnek látszik ezt a juliáni dátumot úgy általánosítani, hogy ne csak az időt, hanem a teret is magában foglalja. A juliáni térben természetesen NAP helyett négyzetmétert (vagy a köbmétert) célszerű a HELY mértékegységének választani, de tizedesekkel könnyen ki lehet fejezni a négyzetcentimétereket, sőt a négyzetmillimétereket is. Az idő és a tér rokonságát, (egy-töről-fakadását), mi sem jellemzi jobban, mint az a meglepő egyöntetűség, miszerint a hely halmazelméleti definíciója következtében a térmeghatározáshoz is használhatunk számegeyeneset, anélkül hogy koordinátatengelyeket kellene alkalmazni. Az ilyen "dimenzió-független" számegeyeneset tértengelynek, míg a rajta értelmezett ugyancsak strukturálatlan, de rendezett teret pedig juliáni térnek hívhatjuk.

A tér és idő fogalmainak említett párhuzamosításában sem erőltetés sem öncélúság nincsen, kimondottan gyakorlati igényeket kíván szolgálni. A síkról vagy térről a dimen-

zió nélküli (vagy egydimenziós) tértengelyre való áttérés például egy olyan kölcsönösen egyértelmű leképezésnek (vetítésnek) is felfogható (lásd pl. a Hilbert-görbét vagy a többi ún. térbeli indexet (Hilbert 1891)), amelynek segítségével geometriai térből közvetlenül számítógép-memóriába vetíthetünk.

Ezzel el is jutottunk egy rendkívül fontos új rendszerhez: a gépi adathordozók természetes, azaz strukturálatlan helymeghatározó rendszeréhez – a fizikai címek rendszeréhez – mely az idő- és a tértengellyel teljesen egyenértékű harmadik tengelyként is vizualizálható. Egyébként amikor ezt mint újdonságot említjük, már nyitott kapukat döngetünk, mert minden magasabb szintű programnyelvben rejtve és titokban már régóta működik egy-egy ún. címszámító függvény, amely az egy- és magasabb dimenziós tömbök indexeit (koordinátáit) – oda és vissza irányban – fizikai címekre fordítja le. Nem szükséges tehát ilyen típusú vetületet csinálni, csak tudomásul kellene venni, hogy ilyen már van, minden számítógépben működik és mind az ember, mind a gép számára hasznos tevékenységet végez.

Sajnos szakmai vonatkozásban ez még nemigen tudatosodott dolog. Nem ismeretes olyan vetület, amellyel a tér pontjait közvetlenül vetíthetnénk a számítógép-memória megfelelő bitjeibe, illetve a pontok koordinátáit megfeleltetnénk a bitek címeivel. Pedig egy ilyen vetítésből (leképezésből) kapott cím (egyetlen koordináta) több információt tartalmazna, mint a hagyományos geodéziai vagy kartográfiai vetületekből kapott koordináta-párok, mivel az előbbi vetítés egyetlen koordinátájából az eredeti térbeli pont mindhárom koordinátája minden veszteség nélkül visszaállítható. A helymeghatározás általunk használt halmazelméleti megközelítésének természetesen az lesz az elkerülhetetlen velejárója (következménye), hogy meg kell szabadulni a dimenzióban, azaz a koordinátákban való gondolkodástól. Helyette a lineáris struktúrákban való gondolkodást kell követni. A sík és a tér pontjainak az ezzel kapcsolatos lineáris rendezését a következőkben röviden csak linearizálásnak fogjuk nevezni.

Utolsó analógiaként még azt kívánjuk megemlíteni, hogy az időpont és az időtartam dialektikájára (két időpont mindig meghatároz egy időtartamot és viszont: két szomszédos időtartamot mindig egy időpont választ el egymástól) térpontok és tértartamok esetében is gyönyörűen érvényesül. Az állítás első fele, vagyis hogy az időpont fogalma az időtartam fogalma nélkül (és fordítva) nem létezik, közismert dolog. Hogy állításunk második felét könnyebben beláthassuk, előbb a tértartam absztrakt fogalmát meg kell szabadítani attól a sokféle nyelvi konkrétságtól, ami a kultúrtörténelem hosszú folyamatában reá rakódott. A hosszúság, a terület, a térfogat vagy például a szög egy-egy megszokott konkrét nyelvi kifejezés az egydimenziós, a kétdimenziós és a háromdimenziós absztrakt tértartamra, annak ellenére, hogy a neveik egyáltalán nem utalnak erre. A fent említett összefüggést is kissé módosítanunk kell, megállapítva, hogy egydimenzióban elég ugyan két térpont (vagy időpont) egy-egy tértartam (vagy időtartam) lehatárolásához, de kétdimenzióban ehhez a feladathoz már legalább három, háromdimenzióban pedig már legalább négy térpont (és így tovább) szükséges.

Még egy gyakorlati szempont az új mértékegységhez. Amikor az a priori helyzeti bizonytalanság jellemzésére a tértartam gyanánt használt területet (pontosabban: a belső pontok számát) pl. négyzetcentiméterben adjuk meg, akkor arra a kérdésre felelünk, hogy a szóban forgó pont helyére hány lehetőség kínálkozik (a válasz pl. így szólhat: 43219 cm^2). Amikor viszont egy pont konkrét helyére mutatunk rá, akkor a ki nem mondott, de gondolt kérdés az, hogy hányadik cm^2 (a felelet lehet pl.: 8702-dik cm^2). Mint a példából láthatjuk, a tértartamot is és a térpontot is cm^2 -ben fejeztük ki, de míg az előbb-

bit tőszámnév, az utóbbit sorszámnév formájában. Formálisan ezt a sorszám-képző tizedesponnttal juttattuk kifejezésre.

A sorszám-azonosító a matematikában nem új dolog. Ha egydimenziós tömbökről, illetve vektorokról van szó, akkor ennek elemeit ugyan indexekkel különböztetjük meg egymástól, noha lényegében ezek is sorszámok. A kombinatorikában is előfordul a sorszám-azonosító, például a permutációs családok elemeinek megkülönböztetésénél, itt azonban ranknak nevezik őket. Amikor azonosításra sorszámokat használunk, akkor tulajdonképpen a résztartomány (subrange) adattípust alkalmazzuk Ennek általános formája a PASCAL nyelvben: $\text{ponthelyek} = [a..b]$; alak, ahol a és b – a kezdő és a végző sorszám. A mindennapi gyakorlatban $a=1$ a megszokott, de számítógép belsejében többnyire az $a=0$ induló érték a célszerűbb. Az $a>1$ választásra akkor kényszerülünk, amikor egymásba skatulyázott (nested in one another) értelmezési tartományok leképzésére van szükség.

Egy "informatikailag megalapozott" helymeghatározó rendszer

A helymeghatározó rendszerek – mint minden információs rendszer – bizonytalanságot oszlatnak el, éspedig mindig valamilyen helyzeti bizonytalanságot. Egy helymeghatározó adatban lévő információtartalom mennyisége sem nem több, sem nem kevesebb, mint amennyi helyzeti bizonytalanságot el tud oszlatni. Alapvető dolog tehát olyan mértékegységet találni, amellyel a helyzeti bizonytalanságot és annak változását mérni lehet. Szerencsére ilyen mértékegység már régóta létezik, csak éppen más célra használjuk őket. Ilyenek a fentebb felsorolt hagyományos tértartamokhoz (távolság, terület, térfogat stb.) használt mértékegységek is (méter, négyzetméter, köbméter), de ilyenek az utóbbi időkben kidolgozott finomításainál (merület, berület, herület) alkalmazott helyszámok méter-rendszerű mértékegységei is. Ahhoz, hogy térpontok helyzetének rögzítéséhez is ezeket használhassuk, a szokásos tőszámneveiket (pl. 645 m^2) sorszámneveikkel kell (pl. 396-ik m^2) csak helyettesíteni, mint ahogy azt már korábban említettük.

Helymeghatározó adat és információ az egydimenziós gyakorlatból

Amikor településnevekkel szándékozunk keresni – például területet –, akkor az általános gyakorlattól eltérően nem szükséges magukat a településneveket is tárolni, mivel a kereséshez ezeknél sokkal, de sokkal kevesebb adat tárolása is elégséges. Úgy is mondhatjuk, hogy elegendő a nevek információtartalmát tárolni, ami pontosabban azt jelenti, hogy mindig elégséges annak az egyetlen információs bitnek a helyét megadni, amely a szóban forgó településnevet a helységnévtárban előtte álló településnévtől megkülönbözteti. Mivel a magyar településnevek 32 betűnél mindig rövidebbek, ezért az említett helykód mindig kisebb lesz 256-nál, vagyis mindig bele fog egyetlen bájtba férni. Ezt az egyetlen helykód-bájtot kell csak – a településnevek helyett – tárolni. Sőt, az első településnév esetében még ezt sem szükséges tárolni.

Maga az ember, aki a keresést végzi, természetesen nem kell, hogy ismerje sem az információs bitek helyeit, sem a számítógépben lezajló keresési folyamatot, ezért ő mindig a teljes településnevet fogja begépelni. Ennek ellenére a gép most sem fogja felhasználni az összes betűt: számunkra ugyanis úgy tűnik, hogy csak ímmel-ámmal, hol innen, hol onnan csipeget belőlük, még annak a betűnek is „kiköpi” a nagyobbik felét, amelyet képletesen mondva a „szájába fog venni”. Természetesen ez csak a látszat, a gép – illetve az azt vezérlő program – mindig megfontoltan és tudatosan cselekszik. Az alábbiakban bemutatott táblázatok ezt kívánják világosan szemléltetni.

A példa elsősorban annak illusztrálására készült, hogy milyen nagy különbség – mondhatni: szakadék – van az emberi és a gépi azonosítók között. Ami viszont nem fog a példából kitűnni, az az, hogy végül is mit keresünk: területet, népességszámot vagy valami mást? Ez azonban a keresés alapelvét illetően nem is lényeges. A lényeg, hogy mindenképpen szükséges valahogy áthidalni a gép és az ember közötti előbb már említett szakadékot. Ennek egyik oka, hogy az ember nem előre megfontolt szándékkal választja meg olyan szerencsétlenül az „indexeit”, hanem még nagyapáink nagyapáitól örökölte. A másik – legalább ennyire fontos – ok, hogy sem a gépek, sem a szoftverek tervezői nem hajlandók lemondani azon távlati terveikről, melyek szerint nem csak az emberi elmaradottságot, de az embernek szinte minden pozitív képességét is túl kell és túl lehet számítógép segítségével szárnyalni.

Az a két korábbi elképzelés ugyanis, hogy meg kell tanítani az embert a géphez hasonlóan gondolkodni, illetve hogy a gépet kell megtanítani az emberhez hasonlóan gondolkodni, már külön-külön is, és együttesen is kudarcot vallott a gyakorlatban. Nincs tehát más megoldás, mint tudomásul venni: a gép és ember közötti szakadék egyre jobban mélyül és ezt nem eltüntetni, hanem áthidalni szükséges. Ha ugyanis nem ezt tenénk, hasonlóak lennénk ahhoz az aranymosóhoz, aki aranyrudak helyett kamionszámra szállítana vizes folyóiszapot a bankok trezorjaiba, arra hivatkozva, hogy az igen sok aranyzemcsét is tartalmaz.

A bináris keresés informatikája

ABA	-	000001	000011	000001				
ADONY	9	000001	000101	010010	010001	100010		
ALAP	8	000001	001111	000001	010110			
ALCSÚTDOBOZ	15	000001	001111	000100	011001	011100	011010	000101...
ALSÓSZENTIVÁN	13	000001	001111	011001	010011	011001	100011	000110...
BAKONYCSERNYE	4	000011	000001	001110	010010	010001	100010	000100...
BAKONYKÚTI	38	000011	000001	001110	010010	010001	100010	001110...
BALIKA	17	000011	000001	001111	001011	010001	001110	000001
BARACS	13	000011	000001	011000	000001	000100	011001	
BARACSKA	38	000011	000001	011000	000001	000100	011001	001110...

a keresés ezek a memóriában ezeket a településnevek lokális ASCII-kódjai,
 beírásával történik a helykódokat kell ahol az **1**-esek az ún. információs bitek,
 (*emberi* azonosítók) csak tárolni (*gépi* azonosítók)

Amint az a fenti példából kitűnik, az információs bit mindig az az első eltérő bit, amikor a vizsgált bitsorozatot az előző bitsorozattal balról jobb felé haladva összehasonlítjuk. A helykód pedig ennek a bitnek a helye. Ebből következik, hogy egyetlen keresett adat (pl. terület, népesség stb.) azonosítójának memóriaigénye nem a hagyományos azonosítók (településnevek, helyrajzi-számok, KSH-kódok, geokódok vagy egyéb sorszámok) listájának hosszától függ (mint pl. minden sorszám-azonosító esetében), hanem - épp ellenkezőleg - a lista szélességétől. Mint látjuk, ugyanaz a helykód többször is előfordulhat (mint a 13 és a 38), sőt az első településnévénél egyáltalán nincs is szükség helykódra.

Az itt bemutatott modell igen széleskörűen általánosítható. Ha például településnevek helyett koordinátákkal kívánunk keresni, akkor is hasonló helykódok állíthatók elő, de magukat a koordinátákat egyáltalán nem szükséges tárolni.

Egy angol-magyar szótárt ezzel a módszerrel úgy lehet számítógép segítségével használni, hogy a szavak angol megfelelőit nem is tároljuk, hanem csakis a magyar szavakat. A bináris kereséshez most is elegendő az előző angol szóhoz viszonyított információs bit helyének tárolása. Ez legfeljebb 1 bájt helyet, azaz egyetlen karaktert igényel. Természetesen ezt a helykódot a felhasználónak most sem kell ismernie, mivel ezt is számítógép-program állítja elő.

Utolsó példaként a telefonkönyvet lehetne megemlíteni, melyet ez a módszer teljesen feleslegessé tenne. Ha ugyanis nem ismernénk valakinek a telefonszámát, akkor a tárcsázás (természetesen valamilyen alfanumerikus billentyűzetet feltételezve) ilyenkor az előfizető nevével vagy címével is történhetne anélkül, hogy ezeket a kereső rendszerben betűk szerint is tárolni kellene.

Az olyan rendszerekben, ahol a kereső kulcs meghaladhatja a 32 karaktert, helykódként (egy helyett) két bájtot lenne szükséges használni.

A keresőprogram működésének alapelve

Ha a településnevek lokális ASCII-kódjaiban a megvastagított információs biteket balról jobbra haladva összekötjük egy általános bináris fát kapunk eredményül. Igaz, hogy ez a fa itt 90 fokkal el van forgatva, de a karácsonyfát is fel lehet még akkor is ismerni, ha a földön fekszik. Ez a keresőfa a lelke minden hatékony keresésnek, mivel a program ennek a fának a "bejárását" végzi el egy következetesen meghatározott sorrendben.

	Az eredeti (emberi) azonosítók	Az információs betűk	A természetes betűkódok	A (gépi) kódok
0.	ABA	A B *	AB	000
1.	ADONY	A D * * *	AD	001
2.	ALAP	A L A *	ALA	0100
3.	ALCSÚTDOBOZ	A L C * * * * * * * *	ALC	0101
4.	ALSÓSZENTIVÁN	A L S * * * * * * * *	ALS	011
5.	BAKONYCSERYE	B * K * * * C * * * * * *	BKC	1000
6.	BAKONYKÚTI	B * K * * * K * * *	BKK	1001
7.	BALINKA	B * L * * * *	BL	101
8.	BARACS	B * R * * *	BR	110
9.	BARACSKA	B * R * * * K *	BRK	111

A vizsgált bitek és a tárolt bitek összehasonlítása

	Az információs betűk	A természetes betűkódok	A vizsgált bitek	A vizsgált bitek helyei	A tárolt helyek
0.	AB*	AB	000001 000011	4, 8, 9	-
1.	AD***	AD	000001 000101	4, 8, 9	9
2.	ALA*	ALA	000001 001111 000001	4, 8, 13, 15	8
3.	ALC*****	ALC	000001 001111 000100	4, 8, 13, 15	15
4.	ALS*****	ALS	000001 001111 011001	4, 8, 13	13
5.	B***C****	BKC	000011 001110 000100	4, 13, 17, 38	4

6. B*K***K***	BKK	000011	001110	001110	4, 13, 17, 38	38
7. B*L***	BL	000011	001111		4, 13, 17	17
8. B*R***	BR	000011	011000	000000	4, 13 , 38	13
9. B*R***K*	BRK	000011	011000	001110	4, 13, 38	38

A fa egyes elágazásaihoz érve, a számítógép rendre megvizsgálja, hogy a bebillentyűzött településnévben milyen bit található azon a helyen, amely a szóban forgó elágazáshoz tartozik. Ha ez a bit 0, akkor a bejárás a fenti, ellenkező esetben a lenti faágon halad tovább és akkor fejeződik be, ha ágvégehez érkezik. Ilyenkor az ágvég helyekéjének indexe (sorszám) már majdnem a végeredményt adja. Ahhoz, hogy a keresett (területi, népességi stb.) adathoz ténylegesen is eljussunk, a településnevek sorrendjébe rendezett listából a kapott index felhasználásával ezeket egyszerűen csak ki kell indexelni.

A fenti tapasztalati példa azt kívánja szemléltetni, hogy amikor keresőkulcsként az egyes településneveket használjuk, ténylegesen mely betűket (mely betűkben lévő biteket) vizsgált meg a program. Mivel a csillaggal helyettesített betűk (a keresés szempontjából) egyetlen bit információt sem tartalmaznak, ezért ezek helyére, készkarva vagy tévedésből, akármilyen karakter írható, a keresés mégis hibamentes lesz. De még az információt tartalmazó betűk is helyettesíthetők lennének olyan más betűkkel, melyek ugyanazon információ biteket tartalmazzák, mint az eredeti betűk. Mindezek a tulajdonságok azt mutatják, hogy a keresőprogram hibátűrősége (robosztussága) igen nagy.

A PTA zsebszámítógépre készült első kísérleti program mindössze 3 KB helyet igényelt az összes településnévnek keresőkulcsként való felhasználásához.

Ponthalmazok tárolásának integrálása

A jelenlegi adatkezelési technikák körül tapasztalható kusza összevisszaság fő oka talán abban keresendő, hogy tudatosan vagy tudat alatt összekevernek két lényegesen különböző dolgot, nevezetesen az adatbázist (data base) és az adatáruházat (data warehouse). Pedig az előbbiben – per definitionem – az adatok redundancia mentes formában, azaz maximálisan tömörített, sűrített állapotban, képiesen szólva: becsomagolt, raktári formában található, míg utóbbiban már kicsomagolt állapotban, erősen felhívítva, vagyis fogyasztásra előkészítve állnak rendelkezésre, hogy a felhasználó számára minimális hozzáférési és elérési időt biztosítsanak.

Vegyük példaként az egyik legegyszerűbb térbeli testet, a kockát és tételezzük fel, hogy ez egy egyszerű térrácsban van elhelyezve. A kocka pontos helyzetét meg lehetne adni egy nyolcsoros koordináta-jegyzékkel is, mely a csúcspontokhoz tartozó mind a 24 koordinátát egyaránt tartalmazná. Ez a hígított, adatáruházi állapot, a felhasználó teljes kényelmére. Egy magára valamit is adó adatbázist azonban mélyszégyenérzet töltene el, ha megelégedne ilyen silány, felszínes megoldással. Euler óta tudjuk ugyanis, hogy koordinátaival elég a kockának csupán egyetlen csúcát megadni, mivel a megtakarított 21 koordináta teljes információtartalmát 4 egész szám megadásával pótolni lehet. Ezek a számok csak annyiban hasonlítanak az ún. Euler-szögekre, amennyiben a kocka térbeli tájékozását rögzítik, de nem azonosak velük.

Egy másik példa a poligonhálózat lehetne, melynél a felhasználó szempontjából természetesen dolog, hogy minden poligonhoz (pl. földrészlethez vagy ingatlanhoz) egy-egy önmagába záródó határvonal tartozik. Ennek ellenére mégsem lenne helyes az adatbázis szervezésnél is ezt az elvet követni. Hiszen pl. egy sakktáblának mint poligonhálózatnak mind a 64 mezéjét is tökéletesen rögzíteni lehet, ha csak minden második mezőnek (pl. csak a fekete négyzeteknek) rajzoljuk meg a határvonalait. Ez akkor is

igaz, ha a sakktábla mezői nem szabályos négyzetek, hanem tetszőleges, szabálytalan síkbeli alakzatok.

Mindkét példa arra figyelmeztet bennünket, hogy bizonyos esetekben – hogy mikor, arról később lesz szó – a pontokat már nem szabad önálló egységekként kezelni, hanem célszerűbb (hatékonyabb) megoldást kínálni, ha két vagy több pontot önálló objektumnak, ún. ponthalmaznak tekintünk.

Tárgyaknak rekeszekbe való szétosztásával összefüggő problémák fontos szerepet játszanak a statisztikus mechanikában. A fizikának ez az ága fizikai részecskéknél bizonyos tulajdonságok szerinti eloszlásával foglalkozik. E feladatoknál az összes lehetséges állapotot k csoportra osztják (ezek a fázisállapotok) úgy, hogy az n részecske mindegyike beleessen valamelyik csoportba. A részecskék típusától függ, hogy az egyes fázisállapotok között milyen statisztika szerint oszlanak meg. Ezek a típusok annyira általánosak, hogy az alábbiakban ismertetésre kerülő három alapstatisztika más szakterületekhez tartozó ponthalmazokra, többek között a geodéziai, sőt bármilyen térképi ponthalmazra is értelmezhető. Persze ilyenkor részecskék alatt absztrakt pontokat, rekeszek alatt pedig lehetséges ponthelyeket kell érteni.

Alapstatisztikák

Maxwell–Boltzman-féle (MB)-statisztika

Ebben a klasszikus statisztikus mechanikában, az egyes részecskéket páronként különbözőeknek tekintjük. Így írható le például a gázmolekulák viselkedése. Tudjuk, hogy n különböző részecskét k^n -féleképpen lehet k "rekeszbe" szétosztani. Ha egy adott energiaszinten mind a k^n elosztás egyenlően valószínű, akkor Maxwell–Boltzmann-statisztikáról beszélünk.

Bose–Einstein-féle (BE)-statisztika

Ebben a statisztikában a részecskéket nem tekintik különbözőeknek. Ilyen részecskék pl. a fotonok és az atommagok. Csak az számít, hogy hány részecske van az egyes fázisállapotokban, az viszont nem, hogy melyek ezek a részecskék. Minden lehetőség egyformán valószínű, a lehetőségek száma $\binom{n+k-1}{n}$.

Fermi–Dirac-féle (FD)-statisztika

Vannak olyan részecskék, pl. az elektronok, protonok, neutronok, amelyek viselkedését a korábbi két statisztikával nem lehet leírni. Ez az eset áll fenn, ha valamilyen okból minden "rekeszbe" legfeljebb egy részecske kerülhet, és minden ilyen eloszlás egyenlően valószínű. A lehetséges eloszlások száma itt $\binom{k}{n}$.

Geometriai ponthalmazok statisztikái

I. ponthalmaz-típus: MB-statisztikán alapuló sorszámozott független pontokból (egy ponthelyre egynél több pont is kerülhet)

Az MB-statisztika teljesen független és korrelálatlan, egymástól sorszámozással megkülönböztetett n pontot és k ponthelyet tételez fel, ezért minden pontjának információtartalma egyformán $\log k$ -val egyenlő. Mivel feltételezzük, hogy a ponthelyek az eredeti két- vagy több-dimenziós térből a linearizálás műveletével már a számegegyenesre (vagyis a juliáni térbe) vannak vetítve, ezért a H helyszámok is azon (illetve abban) képezendők el. Ez a statisztika kombinatorikailag az ismétléssel képezhető variációval modellezhető. Például $k=5$ és $n=2$ esetben $k^n=25$ -féle lehetséges ponthalmazt kaphatunk:

00, 01, 02, 03, 04, 10, 11, 12, 13, 14, 20, 21, 22, 23, 24,
30, 31, 32, 33, 34, 40, 41, 42, 43, 44

ahol a kétjegyű számok: *HP helyszám-párok*.

A PH ponthalmaz-hely fogalmat bevezetve, az alábbi 16 elemű sorozatot kapjuk PH értékeire:

0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14,
15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24.

Ezeket a sorszámokat, amelyek egy-egy lehetséges ponthalmazt egy kombinatorikai objektumon (pl. permutáción, kombináción, variáción, partíción stb.) mint rendezett domen-halmazon belül azonosítanak, ranknak fogjuk nevezni. Azt az eljárást (képletet, függvényt, algoritmust) pedig, amellyel egy adott elem rankját meg lehet határozni beszámozásnak (angolul: ranking), míg a fordított (inverz) eljárást kiszámozásnak (un-ranking) fogjuk nevezni. Végül azt a módszert, amellyel egy kombinatorikai objektum domenjének számosságát tudjuk megállapítani, megszámlálásnak (enumeration) fogjuk hívni.

Jelen esetben a ranking eljárás roppant egyszerű, elég ehhez csupán a HP-értékeket egy-egy $k=5$ alapú számrendszerben értelmezett $n=2$ jegyű számnak felfogni és tízes számrendszerbe konvertálni. Az unranking ennek fordítottja: tízesből kell k -alapúba visszaszámítani. Az enumeráció k^n képletét korábban már megadtuk.

Ha a fenti két számsorozatot kettes számrendszerbe átirnánk, láthatnánk, hogy pl. a $HP=43$ bináris megfelelője a $HP=100\ 011$, hosszabb, mint a hozzátartozó $PH=23$ bináris megfelelője a $PH=10111$. Ez a megállapítás mindegyik HP-PH párra igaz. A rövidebb sorszám tárolása általában kevesebb helyet igényel, ezért a magános pontok ponthalmaz-zá történő integrálásának általában memória-megtakarítás az eredménye. Előfordulhat persze az is, hogy nem kapunk sorszám-rövidülést (pl. amikor k értéke kettő valamilyen hatványával egyenlő), azonban az a kellemetlen eset, hogy az integráció során nem helymegtakarítást, hanem pazarlást kapnánk eredményül, sohasem fordulhat elő.

II. ponthalmaz-típus: BE-statisztikán alapuló sorszámozatlan független pontokból (egy ponthelyre egynél több pont is kerülhet)

Az BE-statisztika teljesen független és korrelálatlan, azonban egymástól meg nem különböztethető, vagyis sorszámozatlan n pontot és k ponthelyet tételez fel, ezért minden pontjának információtartalma egyformán $\log \binom{n+k-1}{n} / n$ -nel egyenlő. Ez a statisztika az ismétléssel képezhető kombinációval modellezhető. Az enumeráció az $\binom{n+k-1}{n}$ binomiális együttható kiszámításából áll. Például $k=5$ és $n=2$ esetben 15-féle lehetséges ponthalmazt kaphatunk:

00, 01, 02, 03, 04, 11, 12, 13, 14, 22, 23, 24, 33, 34, 44

ahol a kétjegyű számok: HP helyszám-párok. PH értékei a következők lesznek:

0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15.

A ranking-unranking eljárás most is a tízes számrendszerbe való konverzió, ehhez azonban a HP helyszám-párokat (vagy általános esetben a helyszám n -eseket) (angolul: n -tuples) olyan számrendszer alakú értékeinek kell tekinteni, melynek helyi értékei az enumeráció képletében szereplő binomiális együtthatók. Az ilyen binomiális számrendszerre részletes példát a V. ponttípus ismertetésénél fogunk bemutatni.

A most következő III.-VI. ponthalmaz-típusnál, mint minden FD-statisztikán alapuló típusnál egy ponthelyre legfeljebb egy pont kerülhet. Azokat a ponthelyeket, amelyekbe egy adott ponthalmaz tárolása után sem kerül pont, vagy 0 sorszámú pontoknak tekintetjük, vagy ha magát a ponthalmazt színes pontokból állónak képzeljük, akkor az üres ponthelyekbe valamilyen háttérszín gondolhatunk. Utóbbi esetben természetesen a különböző sorszámú pontokat különböző, az azonos sorszámúakat pedig azonos színűeknek képzelhetjük. Akármelyik vizualizálási módot választjuk is, a cél ugyanaz: mind a szín, mind a sorszám, egy-egy konkrét attribútum(csoport) absztrakt azonosítója akar lenni, amint azt az enumerate adattípus korábbi ismertetésekor a hét napjaival kapcsolatos példán már szemléltettük.

III. ponthalmaz-típus: FD-statisztikán alapuló sorszámozott pontokból (háttérszín nincs – minden pont különböző színű)

Ez a statisztika n pontot és ugyanennyi, vagyis k=n ponthelyet tételez fel, ezért minden pontjának információtartalma egyformán $\log n! / n$ értékével egyenlő. Kombinatorikailag az ismétlés nélküli permutációval modellezhető. Például $n = k = 4$ esetben $n! = 24$ -féle lehetséges ponthalmazt kaphatunk:

0123, 0132, 0213, 0231, 0312, 0321, 1023, 1032, 1203, 1230, 1302, 1320, 2013, 2031, 2103, 2130, 2301, 2310, 3012, 3021, 3102, 3120, 3201, 3210

ahol a négyjegyű számok: H4 helyszám-négyesek (quadruples).

A PH ponthalmaz-hely fogalmat bevezetve, az alábbi 16 elemű sorozatot kapjuk PH értékeire:

0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11,
12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23

A ranking-unranking eljárás most is számrendszer-konverzió lesz, de most egy ún. faktoriális-alapú számrendszerhez tartozó alaki értéknek kell a H4 helyszám-négyesek valamennyi számjegyet tekinteni. Előbb azonban az itt látható ún. statikus számjegyeket az azok információtartalmát jobban tükröző ún. dinamikus számjegyekkel kell felcserélni. Ez azt jelenti, hogy az első ponthely tartalmának megadásakor meglévő négy lehetőség kifejezésére tényleg szükség van mind a négy 0, 1, 2, 3 pontsorszámra, a második ponthelynél azonban már három, sőt a harmadiknál kettő is elég, tekintettel arra, hogy a lehetőségek száma is mindig eggyel csökken. Az utolsó, negyedik ponthelynél pedig már sorszámra sincs szükség, mivel egyetlen lehetőség közül már nem szükséges, de nem is lehet választani: ha nincs bizonytalanság, akkor bizonytalanság-csökkenés, azaz információ se keletkezhet sohasem! Így végül is, a statikus 0123 helyszám-négyesből a dinamikus 000 helyszám-hármas keletkezik. A végbemenő dinamikus folyamat során, tehát a még ismeretlen helyzetű pontok az alábbiak szerint újra sorszámozódnak:

az első második harmadik negyedik
pont dinamikus sorszámái

az 1. ponthely tartalmának ismerete előtt	0	1	2	3
a 2. ponthely tartalmának ismerete előtt		0	1	2
a 3. ponthely tartalmának ismerete előtt			0	1
a 4. ponthely tartalmának ismerete előtt				-

Ha mind a 24 statikus számnégyest dinamikussá alakítjuk át, az alábbi "igazi" alaki értékeket az alábbi számhármások formájában kapjuk:

000, 001, 010, 011, 020, 021, 100, 101, 110, 111, 120, 121,

200, 201, 210, 211, 220, 221, 300, 301, 310, 311, 320, 321.

Ami a helyi értékeket illeti, azok – mint említettük – faktoriálisok, és pedig

$$3! = 6, 2! = 2, 1! = 1.$$

Az alaki értékeket a megfelelő helyi értékekkel szorozva, majd a szorzatokat összeadva, a lehetséges PH ponthalmaz-helyek keresett sorszámaikat már könnyen megkaphatjuk.

IV. ponthalmaz-típus: FD-statisztikán alapuló sorszámozott pontokból (háttérszín van – minden pont különböző színű)

Ez a statisztika csak annyiban különbözik az előző típustól, hogy k-n ponthely azonos színnel, ún. háttérszínnel (pl. 0 sorszámu ponttal) van kitöltve, ezért minden pontjának információtartalma egyformán ($\log(k!) - \log((k-n)!)$) / n értékével egyenlő. Kombinatorikailag a k-n egyenlő elemet is tartalmazó ismétlés nélküli permutációval modellezhető. Például n=2 és k=4 esetben a $k!/(k-n)! = 12$ -féle lehetséges ponthalmaz:

0012, 0021, 0102, 0120, 0201, 0210, 1002, 1020, 1200, 2001, 2010, 2100,

melyek átalakítása lokális számnégyesekké, majd sorszámokká, az előző halmaztípusnál leírtakhoz hasonlóan történik.

V. ponthalmaz-típus: FD-statisztikán alapuló sorszámozatlan pontokból (háttérszín fehér – ponthelyeken fekete pontok)

Ez a statisztika az izolált pontokból álló ún. egyszerű ponthalmazok esete, melyekben minden pont egyszerű pont, azaz nincs semmilyen attribútuma. Az enumerációs képlet a $k!/(n!(k-n)!)$ vagy a $C(k,n)$ alakban írható binomiális együttható, ezért az egy pont helyzetének leírásához szükséges információ ennek valamilyen alapú logaritmus: $\log C(k,n)$, ahol, mint eddig mindig, k a ponthelyek, míg n a pontok teljes számát jelöli.

Ilyen esetben mind a ranking, mind az unranking eljárás nagyon egyszerűen megfogalmazható.

A helyszámuk növekvő sorrendjében beolvasott pontokhoz külön-külön számítani kell a $HP=C(H,P)$ binomiális együtthatókat (olvasd: H a P felett) – ahol H nem más, mint a P pontszámú pont helyszáma – majd az így kapott HP halmazpont-sorszámokat összegezve, eredményül a PH ponthalmaz-sorszámot mint rankot kapjuk meg:

$$\text{rank} = PH = \text{summa}(HP).$$

Érdeemes külön kihangsúlyozni a ranking folyamat szekvenciális jellegét, ami azt jelenti, hogy a számítást bármely pont bevitele után abba lehet hagyni és az addigi rész-eredményt végeredménynek is el lehet fogadni.

Az unranking eljárás ennek a számításnak az értelemszerűen történő megfordítása.

1. Mint minden unranking eljárásnál, úgy itt is feltételezzük, hogy a doment ismerjük. Ez az ismeret jelen esetben k értékének ismerete.
2. Igaz, hogy sem a faktoriálisnak, sem a binomiális együtthatónak nincs közvetlen inverz-függvénye, de a *f-függvénynek* van, márpedig a faktoriális ennek egész számokra értelmezett speciális esete.
3. Azt is tudjuk, hogy a ranking-eljárás során összegezett HP-értékek olyan természetűek, hogy egy később beolvasott pont HP-je mindig nagyobb az összes korábban beolvasott pont HP értékeinek összegénél, ezért ha az utoljára beolvasott pont HP-jét meghatározzuk, rekurzióval az összes többi ponté hasonlóan határozható meg.

Ebből a három tényből következik, hogy a fent megadott enumerációs képletben ismeretlenként csak n értéke marad, mely invertáló függvényel vagy ha ilyen nem áll rendelkezésünkre, bináris kereséssel, könnyen meghatározható

VI. ponthalmaz-típus: FD-statisztikán alapuló sorszámozott típusú pontokból (tesztölleges eloszlású színes pontok)

Ez a statisztika a legáltalánosabb, n színes pontot és ugyanennyi $k=n$ ponthelyet tartalmazó ún. színes-ponthalmazok esete, amelyekben akár van, akár nincs háttérszín – a matematikai modell ugyanaz: az ismétléssel képezhető permutáció. A színek számát m -el jelölve igaz, hogy $n = n_1+n_2+...+n_m$, és egy színben belül akárhány pont lehetséges. Továbbá feltételezzük, hogy az azonos színű (azonos típusú) pontok, a színektől eltérően, már nincsenek sorszámozva vagy más módon megkülönböztetve egymástól.

A lehetséges ponthalmazok számát a binomiális együttható általánosításából keletkező ún. multinomiális (vagy polinomiális) együttható értéke mutatja. Ennek képlete, az enumerációs képlet, a következő alakban írható: $n! / (n_1!n_2!...n_m!)$. Ezért egy-egy pont helyzetének ismerete egyformán

$$(\log n! - \log (n_1!n_2!...n_m!)) / n \text{ információt tartalmaz.}$$

Ha például az $n_1=4, n_2=1, n_3=1$ és $n_4=4$ értékeket ($n=4+1+1+4=k=10$) választjuk, összesen $10!/(4!1!1!4!)=6300$ lehetőséget kapunk a pontok permutálására a ponthalmazban. Ezek közül az egyik számtízest pl. a következő: $H_{10} = 3020130330$.

Most is az első lépés: átírni a statikus sorszámokat dinamikusokra. Példánk esetében eredményül a $H_9 = 302011011$ számkilencest kapjuk.

Mind a ranking, mind az unranking eljárásához most olyan számrendszerben értelmezett alaki értékeknek kell tekinteni ezeknek a H_9 -eknek a számjegyeit, amelyben a helyi értékek multinomiális együtthatók. Az összetartozó alaki és helyi értékeket azonban most nem szorzással, hanem összegezéssel kell egyesíteni a következő minta szerint:

Mivel az első alaki érték: 3, ezért az ehhez csak 3 multinomiális együtthatót kell kiszámolni és összegezni. Ezekkel az együtthatókkal azt kell kifejezni, hogy a 6300 növekvő számsorrendbe rendezett számkilencés közül hány kezdődik 0-val, hány 1-gyel és hány 2-vel:

$$9!/(3!1!1!4!)=2520, \quad 9!/(4!0!1!4!)=630, \quad 9!/(4!1!0!4!)=630,$$

melyek összege a rank változóba kerül: $\text{rank}=2520+630+630=3780$.

Ezután elhagyva a már figyelembevett első számjegyet, most a következő számjegyekkel kapcsolatosan is el kell végezni a fenti számítást és összegezést. A 0 számjegyeket természetesen figyelmen kívül lehet hagyni.

$$\begin{aligned} 7!/(2!1!1!3!)=420, \quad 7!/(3!0!1!3!)=140, \quad \text{rank}=\text{rank}+420+140=3780+560=4340 \\ 5!/(1!1!0!3!)=20, \quad \text{rank}=\text{rank}+20=4340+20=4360 \\ 4!/(0!0!0!3!)=4, \quad \text{rank}=\text{rank}+4=4360+4=4364 \\ 2!/(0!0!0!2!)=1, \quad \text{rank}=\text{rank}+1=4364+1=4365 \\ 1!/(0!0!0!1!)=1, \quad \text{rank}=\text{rank}+1=4365+1=4366. \end{aligned}$$

Az unranking eljárás ennek a számításnak az értelemszerűen történő megfordítása. Mint látjuk, a számítás rekurzív, vagyis egy-egy feldolgozott alaki érték után n_1, n_2, n_3 és n_4 megváltozott értékeivel az előző számítást újra meg újra meg kell ismétlni.

A ponthalmazok rankja mint a helyzeti információ "cseppfolyós" állapota

Nem szóltunk még eddig arról, hogy miként történhet a rank alapján a hozzátartozó ponthalmaz eredeti, hagyományos koordináta-jegyzékének rekonstruálása. Az unranking folyamat ugyanis csak a lineáris tértengelyre vetíti vissza a ponthalmazt és jeleníti meg pontjait izolált pontok formájában. Feltételezésünk szerint azonban ismerjük annak az eredeti síkbeli vagy térbeli domennek a határait, amelyből a helyszámokat linearizálással előállítottuk, tehát ennek inverze – a vissza-linearizálás vagy dimenzionálás – is megvalósítható és az eredeti koordináta-jegyzéket minden torzulás nélkül vissza fogjuk kapni.

Az érdekes és figyelmet érdemlő dolog éppen az, hogy a domen-határokat csupán kíséreltezképpen változtatgatva és a dimenzionálást ugyanabból a rankból ismételtelen elvégezve, mindig más és más alakban kapjuk vissza a dimenzionált ponthalmazt, azaz a koordináta-jegyzéke is más és más lesz. Vagyis a rank olyan tulajdonságot mutat, mint a folyadék: mindig annak az edénynek (domennek) az alakját veszi fel, amelyikbe betöltjük (dimenzionáljuk). A PH ponthalmazhely tehát domen-alak- és domen-dimenzió-független megjelenési formája a helyzeti információnak.

Hivatkozások

- Ágfalvi M, Busics Gy, Kádár I, Papp E** (1998): Informatics of points and point sets. XXI. FIG Congress, Commission 5, ISBN 0-85406-901-1. Brighton,
- Egenhofer M J, Mark D M** (1995): Naive Geography. in Frank, A.U. - Kuhn, W.(eds.): Spatial Information Theory: A Theoretical Basis for GIS. Proceedings COSIT 95, Semmering 1-16. Springer-Verlag, LNCS, 988 1-15.
- Hayes P** (1978): The Naive Physics Manifesto. in Michie, D. (ed.): Expert Systems in the Microelectronic Age. Edinburgh University Press 242-270.
- Hayes P** (1985): The Second Naive Physics Manifesto, in Hobbs, J. - Moore, R. (eds.): Formal Theories of the Commonsense World. Norwood, NJ: Ablex 1-36.
- Hilbert D** (1891): Über die stetige Abbildung einer Linie auf ein Flächenstück. Math. Ann. 38.
- Körmendi L** (1998): A spanyolviasz – avagy próbálkozások helyett. Geomatika, 8.
- Shannon C E** (1948): A Mathematical Theory of Communication. Bell System Tech. J. 27, 379-423, 623-656.
- Varberg D E** (1985): Pick's Theorem Revisited. Amer. Math. Monthly 92, 584-587.

MESTERSÉGES NEURÁLIS HÁLÓZATOK MINT GIS FÜGGVÉNYEK¹

*Sárközy Ferenc**

Bevezetés

A GIS függvényekkel foglalkozó OTKA kutatásom keretében a GIS és az interpolálási módszerek kapcsolatát vizsgáltam (Sárközy 1999). E munkám irodalom gyűjtése során találkoztam másodszer szakterületi témakörben a mesterséges neurális hálózatokkal. Az első találkozásom talán azért is érdekes, mivel magyar nyelvű cikk volt, mely a mesterséges neurális hálózatok osztályozási felhasználását mutatta be (Barsi 1997). Nem túl bonyolult megfontolások alapján arra jöttem rá, hogy tulajdonképpen olyan univerzális eszközzel van dolgunk, mely mind a folyamatos, mind a diszkrét interpoláció elvégzésére alkalmas, bizonyos feltételek mellett jobban, mint a már ismert módszerek. Ha ehhez még hozzátesszük, hogy a GIS további fejlődése szorosan kapcsolódik az intelligens feladatok megoldásához, azaz a modellező képesség növeléséhez, úgy érthető, hogy egy jó félévre elmerültem a téma megismerésében és az alkalmazási lehetőségek feltárásában. Úgy gondoltam, hogy a sok helyről összegyűjtött ismeretek GIS szempontokat is figyelembe vevő magyar nyelvű összefoglalása hasznos lehet a hazai geomatikai szakmának még akkor is, ha kiváló magyar nyelvű tankönyv készült a témából a BME Villamosmérnöki és Informatikai kar hallgatói számára (Horváth 1995).

Mielőtt a részletekre rátérnénk érdemes számba vennünk, hogy a módszer alkalmazási területei elvileg korlátlanok, térbeli interpoláción kívül jó eredménnyel használják a beszéd és alakfelismerésben, robottechnikában, kódolásban és kódok megfejtésében, gépi fordításban, különböző osztályozási feladatokban, optimalizálásokban illetve piaci előrejelzésekben, sőt egyesek szerint a jövő számítógép hardverét is ezen az elven alapulva kell megkonstruálni. Ebből két dolog is következik: egyrészt a szakirodalom általában valamelyik konkrét alkalmazásból indul ki és ezt kell transzformálnunk (ha lehetséges) a saját céljainkra, másfelől a számtalan alkalmazási terület és alkalmazási transzformáció egyre újabb GIS alkalmazásokat hozhat létre, melyekre természetesen nem térhetünk ki, de reméljük, hogy az új alkalmazások feltárásához jelen cikkünk is hozzájárul.

A mesterséges neurális hálózatok alap gondolata

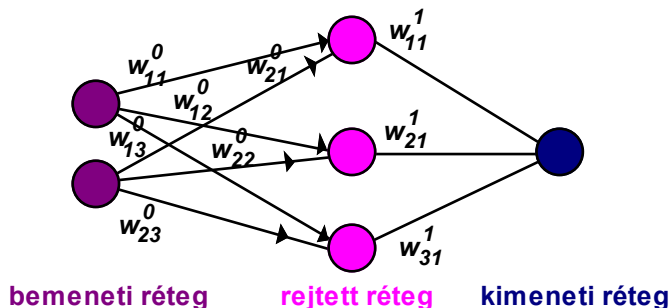
Az emberi gondolkodás fiziológiájának kutatása során jutottak a kutatók arra a felismerésre, hogy a külvilág ingereit az érzékforrásokból az idegsejtek egy olyan bonyolult hálózaton továbbítják, melyek kereszteződéseiben lévő csomópontok a különböző összeköttetésekből érkező információt feldolgozzák és a feldolgozott értékeket számtalan további idegszálon keresztül újabb csomópontok felé továbbítják, míg el nem érik a kérdéses ingerre adandó válaszért felelős agyi egységeket. Az aktív csomópontokat a kutatók **perceptronnak** nevezték el.

Hogy a számtalan részfeldolgozáson átesett inger milyen választ vált ki az részben örökletes tényezőktől függ, részben pedig az egyén tapasztalatától illetve a tanulástól. Ez más szóval azt jelenti, hogy bizonyos bemeneti hatásokra a rendszer 'behuzalozottan'

¹ A kutatás az OTKA T 016487 számú témája keretében készült

(előre programozottan) működik, míg más bemeneti adatok esetén a válasz függ az egyén tapasztalataitól, korától iskolai végzettségétől, stb. A nem orvosi kutatások szempontjából az a lényeges, hogy ez a struktúra **adaptív** azaz válaszával képes a bemeneti adatokhoz tanulással alkalmazkodni.

Az 1. ábrán felvázoltunk egy egyszerű **MLP** típusú mesterséges neurális hálózatot. Az **MLP** (Multi Layer Perceptron) típust a mesterséges neurális hálózatok alapértelmezésének tekinthetjük. Különösen osztályozási feladatokra más hálózatok is ismertek, pld. a *Kohonen féle* SOM (Önszerveződő Térképek) típusú, ezekre majd a 2.3 pontban utalunk.



1. ábra. Egyszerű MLP hálózat.

Az **MLP** hálózatban három réteg típussal találkozunk. A **bemenő réteg** annyi elem-ből (neuronból) áll ahány bemenő változónk van (az ábrán látható példában két bemenő változó szerepel). **Rejtett rétegből**, elvileg tetszőleges számú lehet, és minden rejtett réteg elvileg tetszés szerinti számú neuront tartalmazhat (rajzunkon egy rejtett réteg szerepel három neuronnal). **Kimeneti rétegből** mindig egy van, annyi neuronnal ahány kimeneti változónk van (példánkban egy).

Alapértelmezésben egy adott réteg minden csomópontja össze van kötve a következő, tehát tőle jobbra eső réteg minden csomópontjával.

Ez alól a szabály alól két kivétel fordulhat elő:

- az idősorok elemzésére alkalmazott hálózatokban különböző típusú visszacsatolásokat alkalmaznak. Ezek közül az a legegyszerűbb ha a t időponthoz tartozó kimenetet azonosnak tekintik a $t+1$ időponthoz tartozó bemenettel;
- a szabályos **MLP** hálózatokban tanításuk után nem feltétlenül minden összeköttetés vesz aktívan részt a kimenet létrehozásában, s azért hogy a felesleges számításokat elkerüljék kidolgoztak olyan ‘nyíró’ algoritmusokat, melyek segítségével adott adatrendszerhez csökkenteni lehet az összeköttetések számát.

Ahhoz hogy megértsük a hálózat működését először azt kell felvázolnunk, hogy mit is várunk el a hálózattól. Tétélezzük fel, hogy megmérjük egy tó szennyezettségét arányosan elosztva több pontban. Ismerjük a mérési pontok x, y koordinátáit valamint a víz felszínétől számított mélységüket. Ugyanezekben a pontokban ismerjük a tó teljes mélységét is. Arra vagyunk kíváncsiak, hogy olyan pontokban ahol nem mértünk szennyezettséget de (szintvonalas térképről) ismerjük a tó mélységét, tehát adott x, y , felszíntől mért távolság és teljes mélység esetén mennyi lesz a szennyezettség értéke?

Ahhoz hogy ilyen vagy hasonló feladatokra választ kaphassunk először a hálózatot tanítani (train) kell. A tréning abból áll, hogy ismert bemenő adatokból a hálózat műkö-

dési eredményét (kimenetét) ismert adatokhoz (úgynevezett **cél adatokhoz**) hasonlítjuk, és ha a mennyiségek eltérnek, úgy igazítjuk a hálózat működését, hogy az eltérés minél gyorsabban eltűnjön.

Az előző bekezdés több kérdést is felvet, mindenek előtt azt, hogy mit értünk a hálózat működésén.

A hálózat minden összeköttetéséhez rendeltünk egy w_{ij}^r alakú súlyt, ahol r a réteg sorszáma, i és j pedig az irány kezdő és végpontját jelölő neuronok sorszáma rétegükön belül (a rajzon a zsúfoltság elkerülése érdekében a rétegekre és neuronokra a számokat nem írtuk ki).

A bemenő jel megszorozódik a kérdéses irányhoz tartozó súllyal majd belép az irány végén lévő neuronba. A neuronba belépő értékek **összegződnek** majd az összeget egy **transzformáló függvény átalakítja** és a következő összeköttetésekre adja, ahol megszorozódnak az irányokhoz tartozó súlyokkal. A folyamat mindaddig folytatódik míg el nem érik a kimeneti neuron(oka)t.

Mit lehet változtatni ezen a hálózaton a célból, hogy a kimenet közeledjen az ismert értékekhez az úgynevezett cél adatokhoz? Természetesen a w_{ij}^r súlyokat. Erre szolgál a **backpropagation** (visszaterjesztés) nevű algoritmus számtalan változata.

Nem szóltunk még arról, hogy milyen transzformáló függvényeket alkalmaznak. Jobbra dőlt S betűre hasonlít a **szigmoid** (néha logisztikusnak is hívják), képlete:

$$y = \frac{1}{1 + e^{-Ds}} \quad ; D > 1. \text{ A függvény értékei } 0 \text{ és } 1 \text{ közt változnak, ha } s=0, y=0.5.$$

A másik gyakran használt függvény a tangens hiperbolicus, képlete

$$y = \frac{1 - e^{-Ds}}{1 + e^{-Ds}} \quad ; D > 1. \text{ Kimeneti értékei } -1 \text{ és } +1 \text{ között változnak, ha } s=0, y=0.$$

Újabban egyre népszerűbb a Gauss féle aktiváló függvény: $y = e^{-D^2 s^2}$. Ennek a kimenetei is 0 és 1 között változnak, ha $s=0, y=1$. A függvények MATHCAD-ban készült rajzait $D=1$ és $D=1.5$ esetére 2. ábrán tüntettük fel. Figyeljük meg, hogy a 'hasznos' bemeneti értékek, azaz amelyek más bemenethez más kimenetet rendelnek a D értékétől függően kb. 4 és 2.7 között helyezkednek el.

A fenti függvényeket, esetenként keverten is, a rejtett rétegek neuronjaiban alkalmazzák, a bemenő neuronokban nincs transzformáló elem, a kimenő neuronok pedig rendszerint **lineáris** transzformációt alkalmaznak.

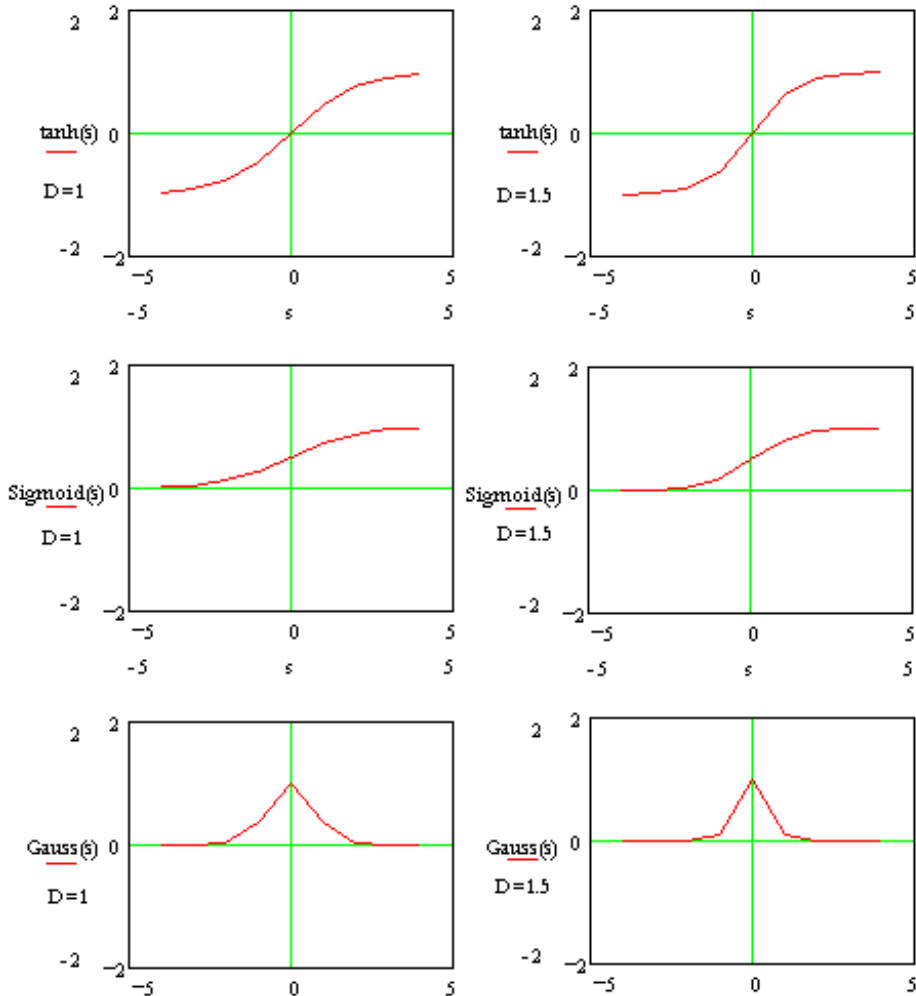
Amint látjuk az aktiváló függvények kimenetei $-1, +1$, illetve $0, +1$ tartományokban működnek, mely értékeket a D -tól függően $\pm 2.7-4$ körüli bemeneti értéknél érik el, ami azt jelenti, hogy ha a bemenetre abszolút értékre nagyobb számokat adunk (pld 5-öt és 6-ot) a rendszer kimenete lényegében azonos lesz, más szavakkal a bemenet változására a rendszer érzéketlen lesz és a tanulási folyamat lassú lesz és nem fog konvergálni.

Ezt elkerülendő a bemenő adatokat normálni szokták. Ez azt jelenti, hogy minden bemenő adat vektorra (vagy egyszerűen adatoszlopra) elvégzik a következő műveletet: kivonják minden adatból az oszlop középértékét, majd az így kapott számokat elosztják

az oszlop szórásával σ -val ($\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\text{közép} - l_i)^2}{n}}$). A szórás helyett más számmal is oszthat-

nak a lényeg, hogy a normált bemenő adatok az aktiváló függvény hatásos szakaszára essenek.

Ha a **kimeneti** neuronok lineáris aktiváló függvényűek úgy a kimenetet nem kell skálázni, bár ha a kimeneti értékek túl nagyok numerikus megfontolások ezt is indokolhatják.



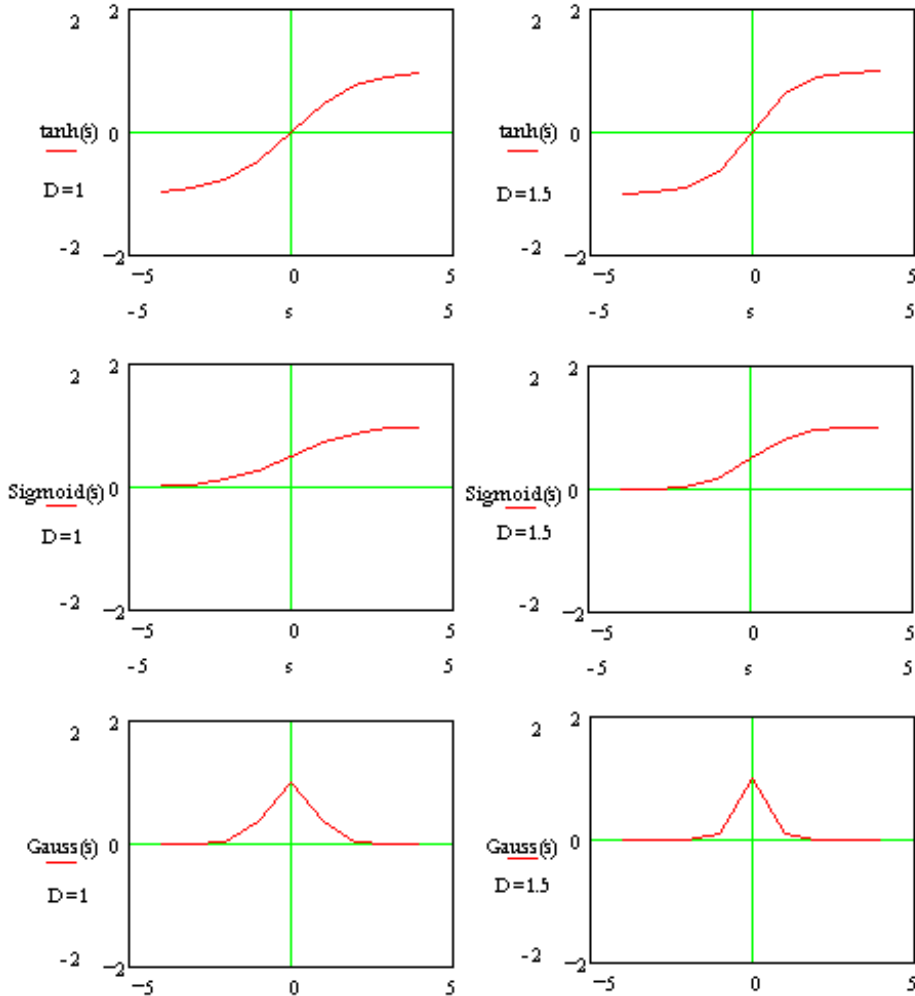
2. ábra. Aktiváló függvények.

Függetlenül attól, hogy milyen szoftvert használunk (lásd a 3 pontot) a feladat megoldás a következő fő lépésekből áll:

1. a tanuló adatok összeállítása: kiválasztjuk a rendelkezésünkre álló ismert bemenő adat - eredmény (céladat) rekordokat (sorokat) és rendszerint valamilyen vesszővel, tabulátorral vagy space-szel elválasztott formátumú ASCII file-t szerkesztünk belőlük valamilyen text editorban. A fájlok fejrészében (az első sorban), a szoftvertől függő mó-

don, meg kell adni, hogy mely oszlopok bemenő adatok és mely oszlopok kimenő adatok.

2. a teszt adatok összeállítása: ha maradtak ismert bemenő adat - kimenő adat rekordok, melyeket nem használtunk a tréning fájlban, úgy ezekből a tréning adat fájlhoz hasonló formátumú teszt adatfájlt hozhatunk létre. *A teszt adatok nem javítják a súlyokat, 'csak' tájékoztatják a felhasználót arról, hogy mennyire jól tervezte meg a hálózatát - elfogadhatók-e az eredmények vagy új tréningre (más módszerrel, más induló értékekkel) esetleg új hálózatra van szükség.*



2. ábra. Aktiváló függvények.

Függetlenül attól, hogy milyen szoftvert használunk (lásd a 3 pontot) a feladat megoldás a következő fő lépésekből áll:

1. a tanuló adatok összeállítása: kiválasztjuk a rendelkezésünkre álló ismert bemenő adat - eredmény (céladat) rekordokat (sorokat) és rendszerint valamilyen vesszővel,

tabulátorral vagy space-szel elválasztott formátumú ASCII file-t szerkesztünk belőlük valamilyen text editorban. A fájlok fejezetében (az első sorban), a szoftvertől függő módon, meg kell adni, hogy mely oszlopok bemenő adatok és mely oszlopok kimenő adatok.

2. a teszt adatok összeállítása: ha maradtak ismert bemenő adat - kimenő adat rekordok, melyeket nem használtunk a tréning fájlban, úgy ezekből a tréning adat fájlhoz hasonló formátumú teszt adatfájlhoz hozhatunk létre. *A teszt adatok nem javítják a súlyokat, 'csak' tájékoztatják a felhasználót arról, hogy mennyire jól tervezte meg a hálózatát - elfogadhatók-e az eredmények vagy új tréningre (más módszerrel, más induló értékekkel) esetleg új hálózatra van szükség.*

3. a hálózat megtervezése: a tréning fájl létrehozásával már megterveztük a bemenő és kimenő rétegben található neuronok számát. ezután már 'csak' azt kell megterveznünk, hogy hány rejtett rétegünk lesz, hány neuron lesz az egyes rétegekben és milyen aktiváló függvényeket alkalmazunk a rejtett rétegek neuronjaiban (feltételeztük, hogy a kimenő réteg neuronjai lineáris aktiváló függvényekkel rendelkeznek).

Sajnos a hálózati elemek számának megbecsülésére eléggé ellentmondásos irodalmi adatokkal találkozunk. Közismert az az állítás, hogy *legalább annyi sornak (összetartozó ismert be és kimenő adatnak) kell lenni a tréning adatfájlban ahány súly van a hálózatban.* Ezt a tételt azonban egyesek explicit, mások implicit módon cáfolják. Az explicit cáfolat tapasztalati alapon bizonyítja, hogy bizonyos esetekben olyan hálózatok is kiválóan működnek, melyeknek sokkal több súlya van mint ahány tréning sora. Az implicit cáfolat azokban a tételekben és javaslatokban fogalmazódik meg, melyek azt mondják, hogy a legtöbb folytonos függvény közelíthető olyan hálózattal, mely kimenő neuronjai lineárisak, *egy rejtett rétege pedig $N-1$ neuront tartalmaz* ahol N a tréning adatok száma. Nem nehéz kimutatni az ellentmondást az előző dőlt betűs állítás és e között, hisz például egy 1 bemenettel, 1 kimenettel és 6 rejtett rétegbeli neuronnal rendelkező hálózatnak 12 súlya van. *Egy harmadik állítás szerint a két rejtett rétegű hálózatban $N/2+3$ rejtett neuron elég a folytonos függvények approximálására.* Ez pedig 1 bemenet 1 kimenet és két rétegben elhelyezett 4-4 neuron esetén 24 súlyt jelent míg $N=10$.

Hogy mégis adjunk valamilyen fogódzkodót azt javasoljuk, hogy minél több tréning adatot használjunk, első kísérletben próbáljuk ki a két réteges megoldást az $N/2+3$ számú neuronnal, nem kellő konvergencia esetén növeljük a rétegek számát a nélkül, hogy a rejtett neuronok számát növelnénk.

Az igazi megoldást azok az algoritmusok szolgáltatják, melyek a célfüggvény optimális kielégítését vagy az egy rétegen belüli neuronok számának automatikus növelésével érik el mint a *Scott Fahlman* féle **cascaad correláció**, vagy a rétegeket is meg az elemeket is automatikusan növelik mint a **flexnet** algoritmus. Ez utóbbi esetében arra is van lehetőség, hogy a létrehozott topológiát tovább tanítsuk valamely backpropagation tanító eljárással.

A hálózat megtervezéséhez tartozik az aktiváló függvények megválasztása is. Bár itt sem lehet általános szabályokat megfogalmazni, az irodalom szerint nem túl zajos adatoknál előnyös a tanh, míg zajos adatoknál a Gauss függvény alkalmazása.

A hálózat tanítása: mielőtt a tanítási folyamatot elindítjuk, gondoskodni kell arról, hogy a bemenő adatok és esetleg a kimenő adatok skálázása is megtörténjen. Erre rendszerint egy előfeldolgozási szakaszban kerül sor.

Ezután meg kell választanunk a tanítási módszert, a tanulási sebesség és nyomaték értékét, a kezdeti súlyinicializálás módszerét és a megállási kritériumot (csak a legfonto-

sabb vezérlő beállításokat soroltuk fel, a programok más dolgokat is kérhetnek). Számítlan backpropagation tanulási módszer létezik, ezek közül, sebessége alapján, a quickpropagation használatát javaslhatom. A korszerű algoritmusok lehetővé teszik, hogy a tanulási sebesség és nyomaték a szükségletnek megfelelően automatikusan változzon a tanulási folyamatban. A súlyinicializálást a jobb szoftverek automatikusan végzik, ha nem, be kell adni nekik egy véletlen számot. Igen lényeges, hogy a megállási kritériumra szigorú feltételeket szabjunk, ugyanis a megengedett középhiba értékénél figyelembe kell vennünk a skálázást is.

Fel kell készülnünk arra, hogy egy bonyolultabb hálózat tanítása gyors számítógépen is több órát sőt napot is igénybe vehet. Nem véletlenül futnak az igazán professzionális programcsomagok még ma is csak a UNIX platformokon.

Az eredmények meghatározása: bár az egész munkát ezért csináljuk, sajnos erről se az irodalom se a szoftverek kézikönyvei sem igazán írnak. *A tanított hálózat végső súlyait elmentjük és ezekkel a súlyokkal a korábbi hálózati topológia alapján kiszámítjuk az ismeretlen bemeneti értékekhez tartozó kimeneteket.* Ez a számítás gyakorlatilag pillanatok alatt kész van. Következésképpen, ha a jelenség, amit modelleztünk állandó (pld egy kód vagy nyelv) és korlátos is úgy a súlyokat bármikor újabb tanítás nélkül felhasználhatjuk az eredmények meghatározására. Ha a jelenség állandó de igen bonyolult (pld. a terepfelszín), úgy újabb mérési adatok előfordulása esetén újra taníthatjuk a hálózatot, de kiinduló adatként a már korábban meghatározott súlyokat alkalmazva jelentősen lerövidített idő alatt tudjuk a tanítást végrehajtani.

A legproblematisabb a folyamatosan változó jelenségek modellezése, ezeknél gyakran kell a hálózatokat újra tanítani.

Példa hálózatunkban a t -ik tanuló adat record az x_j^t , ($j=1,2$) bemenő vektorból és az y^t kívánt outputból áll. Az input *balról jobbra* terjedve a következő kimenetet eredményezi:

$$o_{21}^t = f_1^{(2)} [w_{11}^{1(t-1)} f_1^{(1)} (x_1^t w_{11}^{0(t-1)} + x_2^t w_{21}^{0(t-1)}) + w_{21}^{1(t-1)} f_2^{(1)} (x_1^t w_{12}^{0(t-1)} + x_2^t w_{22}^{0(t-1)}) + w_{31}^{1(t-1)} f_3^{(1)} (x_1^t w_{13}^{0(t-1)} + x_2^t w_{23}^{0(t-1)})]$$

vagy

$$o_{21}^t = f_1^{(2)} \left[\sum_{i=1}^3 w_{i1}^{1(t-1)} f_i^{(1)} \left(\sum_{j=1}^2 x_j^t w_{ji}^{0(t-1)} \right) \right] \quad (1)$$

(Az $f_i^{(l)}$ aktiváló függvény az l . ($l=0,1,2$) réteg i . csomópontjára vonatkozik főről lefelé értelemben.)

Az o_{21}^t kimenő érték általában nem egyezik a megkívánt y^t -vel. Hogy közelítsünk az egyenlőséghez **egy vissza menetben** korrigáljuk a hálózati hibákat. Innét kapta a módszer a **backpropagation** (visszaterjedés) nevet.

A kimeneten minimalizálandó hiba függvény a következő:

$$E(w) = \frac{1}{2} \sum_{j=1}^k (y_j^t - o_j^t)^2 \quad (2)$$

ahol k a kimenő csomópontok száma, esetünkben $k=1$.

Egy nemlineáris függvény minimalizálására használhatjuk a gradiens menti csökkenés módszerét. A $-\frac{\partial E(w)}{\partial w}$ negatív gradiens mutatja a csökkenés pillanatnyi irányát. Ha

kis lépésekben az így számított irányok mentén haladunk, úgy remélhetjük, hogy elérjük a globális minimumot. Az irány mentén haladni gyakorlatilag azt jelenti, hogy a súlyokat (a hibafüggvény szempontjából független változókat) a negatív gradiens komponenseivel arányosan változtatjuk. Az η lépésközt az algoritmus **tanulási sebességnek** hívja.

$$\mathbf{w}^{t+1} = \mathbf{w}^t + \Delta \mathbf{w} \quad (3)$$

és

$$\Delta \mathbf{w} = -\eta \frac{\partial \mathcal{E}(\mathbf{w})}{\partial \mathbf{w}} \quad (4)$$

Az összetett függvény parciális deriváltját a w_{ij} -k szerint a lánc szabály alkalmazásával kapjuk. Az utolsó, kimenő réteg vonatkozásában, azaz $w_{11}^1, w_{21}^1, w_{31}^1$ szerint deriválva az eredmény a következő:

$$\frac{\partial \mathcal{E}}{\partial w_{ij}} = \frac{\partial \mathcal{E}}{\partial o_j} \frac{\partial o_j}{\partial p_j} \frac{\partial p_j}{\partial w_{ij}} \quad (5)$$

ahol a kimenő réteg j -ik csomópontjának a bemenete $p_j = \sum_i w_{ij} o_i$. A deriváltak az (5)-ben az alábbiak:

$$\begin{aligned} \frac{\partial \mathcal{E}}{\partial o_j} &= \frac{\partial \left(\frac{1}{2} (y_j - o_j)^2 \right)}{\partial o_j} = -(y_j - o_j), \\ \frac{\partial o_j}{\partial p_j} &= \frac{df(p_j)}{dp_j} = f'(p_j), \\ \frac{\partial p_j}{\partial w_{ij}} &= \frac{\partial \left(\sum_i w_{ij} o_i \right)}{\partial w_{ij}} = o_i. \end{aligned}$$

A deriváltak (5)-be történő behelyettesítése után a következő kifejezést kapjuk:

$$\frac{\partial \mathcal{E}}{\partial w_{ij}} = -(y_j - o_j) f'(p_j) o_i \quad (6)$$

azaz az utolsó rejtett réteg és a kimenő réteg között a súlyokat az alábbi szabály szerint kell változtatni:

$$\Delta w_{ij} = \eta (y_j - o_j) f'(p_j) o_i = \eta \delta_j o_i \quad (7)$$

A $\delta_j = (y_j - o_j) f'(p_j)$ kifejezést a (7)-ben **helyi hibának**, magát az egyenletet pedig gyakran **delta szabálynak** hívják. A kifejezésben szereplő tagok részben a tréning mintából, részben az előző ciklus előreterjedéséből számíthatók. Például az 1. ábrán látható hálózat setében o_j -t az egész (1) képlet eredményeként kapjuk, p_j -t a szögletes záró-

jelben lévő kifejezés adja ugyanebben a képletben, míg $o_i = f_i^{(1)} \left(\sum_{j=1}^2 x_j^t w_{ji}^{0(t-1)} \right)$.

Mivel a kapott kifejezés csak a kimenő réteg előtti súlyok javítására használható a rejtett rétegekre mutató súlyok javításának meghatározásához 'vissza kell terjeszteni' a hibát.

Legyen n rejtett rétegünk, az $(n-1)$, n rétegek közötti w_{ij} kiszámításához ki kell fejeznünk a helyi hibát az n . réteg j . csomópontján. De e célból már felhasználhatjuk a kimenő réteg csomópontjaira levezetett helyi hibát, hisz a fordított irányú hibaterjedés arányos a követő réteg helyi hibáival. Ha ezeket a csomópontokat k indexszel látjuk el úgy a **rejtett réteg helyi hibáira** azt kapjuk, hogy

$$\delta_j^{rejtett} = f'(p_j) \sum_k \delta_k w_{jk} \quad (8)$$

A fentiek alapján, a súly változásokat ebben az esetben is a (7) szerinti delta szabállyal számíthatjuk, ha a helyi hibákat a (8) szerinti értékükkel vesszük figyelembe.

A backpropagation nagyon érzékeny η értékére, melyet több kísérlet alapján választanak a 0.05, 0.5 tartományból. Egyes algoritmusok képesek dinamikusan változtatni értékét a tanulási folyamatban.

Megkülönböztetünk **on-line** backpropagation-t, mely minden minta mondat feldolgozása után változtat és lassabb **batch** változatot, mely az összes minta vizsgálata után csak egyszer változtatja a súlyokat.

Az alábbiakban bemutatunk néhány módosított változatot:

A **nyomatékos backpropagation**-ban a hibafelület lapos részein való elakadás elkerülésére az aktuális súlyjavítás az újonnan számolt értéken kívül tartalmazza az előző súlyjavítás bizonyos hányadát is:

$$w_{ij}^{(t+1)} = w_{ij}^{(t)} + \Delta w_{ij}^{(t)} + \mu \Delta w_{ij}^{(t-1)} \quad (9)$$

ahol μ értéke a 0, 1 intervallumban vehető fel.

A **súlycsökkentő módszer** megakadályozza, hogy néhány súly túl nagyra nőjön, erre a γ 0, 1 közötti értékei alkalmasak az alábbi (10) egyenletben:

$$w_{ij}^{(t+1)} = w_{ij}^{(t)} + \Delta w_{ij}^{(t)} - \gamma \Delta w_{ij}^{(t-1)} \quad (10)$$

A **rugalmas backpropagation** tulajdonképpen csak hasonlít a grádiens módszerre. Batch tanulást használ, de csak a grádiens előjelét veszi igénybe az alábbiak szerint:

$$\Delta w_{ij}^{(t)} = \begin{cases} -\Delta_{ij}^{(t)}, & \text{ha } \frac{\partial E^{(t)}}{\partial w_{ij}} > 0 \\ +\Delta_{ij}^{(t)}, & \text{ha } \frac{\partial E^{(t)}}{\partial w_{ij}} < 0 \\ 0, & \text{egyébként} \end{cases} \quad (11) \quad \Delta_{ij}^t = \begin{cases} 1.2 \Delta_{ij}^{(t-1)}, & \text{ha } \frac{\partial E^{(t-1)}}{\partial w_{ij}} \frac{\partial E^{(t)}}{\partial w_{ij}} > 0 \\ 0.5 \Delta_{ij}^{(t-1)}, & \text{ha } \frac{\partial E^{(t-1)}}{\partial w_{ij}} \frac{\partial E^{(t)}}{\partial w_{ij}} < 0 \\ \Delta_{ij}^{(t-1)}, & \text{egyébként} \end{cases} \quad (12)$$

Különleges MLP hálózattípus a **Radiális Bázisfüggvényes Hálózat**.

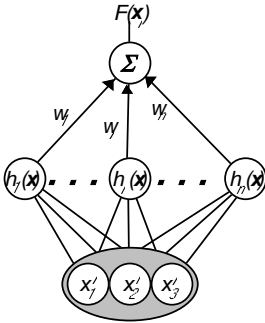
Ennek a hálózattípusnak rögzített az architektúrája: a hálózatnak csak egy rejtett, egy bemeneti és egy kimeneti rétege van. A 3. ábrán vázolt hálózat bemenő vektorának három komponense van, azaz a bemeneti csomópontok száma 3, egy összegző kimeneti csomópontja és n tanuló mintája.

A rejtett réteg aktiválása valamilyen radiális bázisfüggvénnyel történik, rendszerint a Gauss függvényt alkalmazzák az alábbi képlet szerint:

$$h(\mathbf{x}) = e^{-\frac{(\mathbf{x}-\mathbf{c})^T(\mathbf{x}-\mathbf{c})}{r^2}} \quad (13)$$

ahol \mathbf{c} jelöli a függvény középpontját, r pedig a sugarát, ha az x input egy dimenziós, akkor c is skalár eltolássá válik:

$y_1 \dots y_i \dots y_n$



$x_1 \dots x_i \dots x_n$ 3.
3. ábra. RBF hálózat vázlata

$$h(x) = e^{-\left(\frac{x-c}{r}\right)^2} \quad (14)$$

A kimeneti csomópont vagy egyszerű összegző, vagy sygmoid típusú aktiváló függvény, ismeretlen b eltolással, mely a kimenő neuron bemenetéhez adódik hozzá.

Csak összegző kimenet esetén a hálózat a következőképpen működik:

Felvezünk ugyanannyi csomópontot a rejtett rétegben ahány tanuló példánk van.

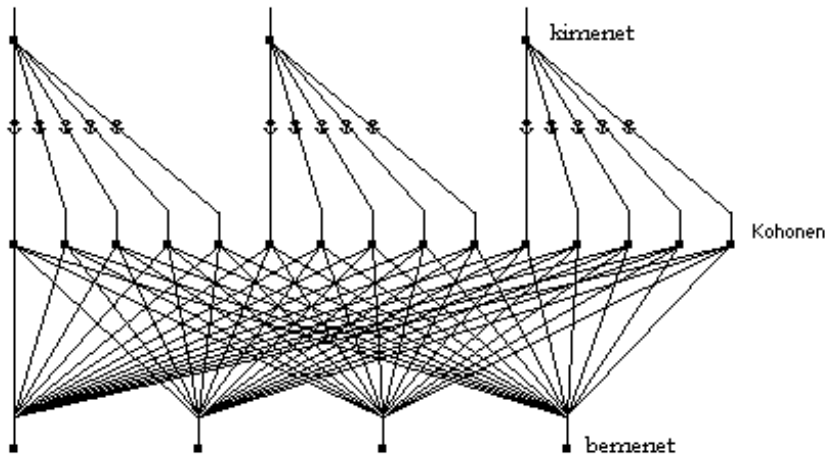
A központokat egyenlővé tesszük a bemenő skalárok vagy vektorok értékével

A sugarak értéke a bemenő változók távolságától függ. Normalizált bemenet esetén egyenlővé tehető az egységgel.

Mivel a kimeneten nincs nemlineáris változás és mivel ugyanannyi tanuló mintánk van ahány súlyunk, az ismeretleneket direkt meghatározhatjuk a lineáris egyenletrendszer együttható mátrixának invertálásával.

Ha a kimeneti csomópont nemlineáris és az ismeretlen b eltolás is jelen van, akkor az előbbi megoldás már nem használható, de a megoldás mégis egyszerűbb mint a többréteges hálózatoknál, mivel a *delta szabály* egyszerű formájában használható. Ebben az esetben a rejtett réteg kevesebb csomóponttal rendelkezik, mint a tanuló minták száma, ezért a *középpontok meghatározása nem triviális*.

Teljesen más elveken működik a **Tanuló Vektor Kvantálás (LVQ)** módszert realizáló hálózatípus (4. ábra).



4. ábra. LVQ hálózatípus.

A hálózat három rétegből áll: a normalizált paraméterek bevitelére szolgáló bemenő-rétegből, az úgy nevezett **Kohonen rétegből** és az osztályokat képviselő kimenő-rétegből.

A bemenő rétegnek csak akkor van külön funkciója, ha a paraméter vektorok nem egyforma és egységnyi hosszúak, ebben az esetben ugyanis ennek a rétegnek kell elvégezni az egységre normalálás feladatát is.

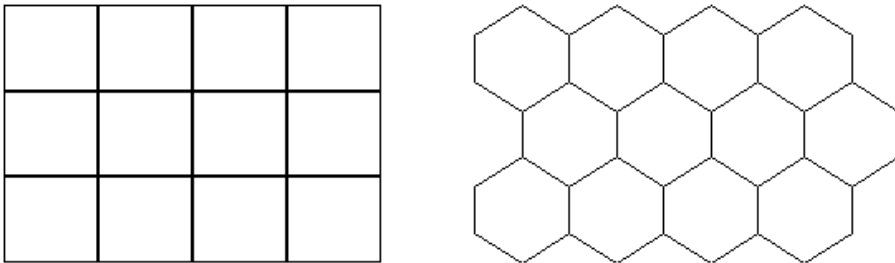
Külön érdeklődésre tarthat számot az ún. Kohonen réteg. A réteg nevét feltalálójáról **Teuvo Kohonen** finn professzorról nyerte. Kohonen 1982-ben dolgozta ki ezt a rétegtípust felügyelet *nélküli* klaszterező módszere számára (Self Organizing Maps=SOM), majd a 80-as évek végén ugyanerre a rétegtípusra támaszkodva alkotta meg az LVQ algoritmusokat (négy is van belőlük, C nyelvű forráskódjuk az internetről szabadon le-tölthető).

A kimeneti réteg egyszerű összegző funkciót lát el. Részben, hogy a Kohonen réteget jobban megismerjük, részben hogy megismerjünk egy felügyelet nélküli eljárást és végül, hogy előkészítsük az LVQ algoritmust foglaljuk össze röviden a SOM eljárást.

Az önszerveződő térképek (SOM) eljárás

A SOM eljárás lényege hogy az n dimenziós bemenő adatokat szabályos kétdimenziós tömbökre képezi le, és a leképezés eredményét grafikusan és numerikusan ábrázolja.

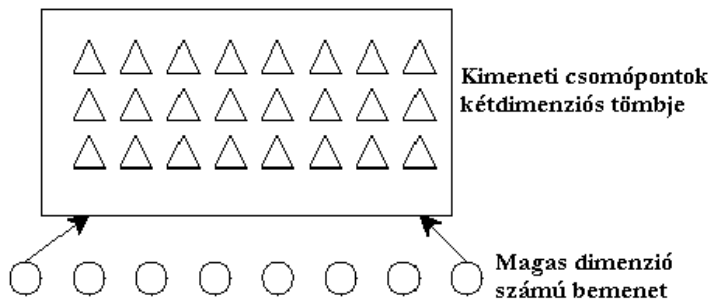
A 5. ábrán azt a két területfelosztási variációt látjuk, amelyet a korszerű SOM szoftverek (például a NENET nevű win95 alatt működő) használnak.



5. ábra. SOM területfelosztási minták.

Minden egyes cellához tartozik egy referencia vektor, mely analóg az MLP hálózatoknál megismert súlyokkal. Mivel ezek a súlyok összekapcsolják a kérdéses cellát az összes bemenettel ezért az egyes összeköttetések úgy tekinthetők, mint a kérdéses cella súlyvektorának komponensei. Kézenfekvő tehát, hogy a súlyvektor dimenziója megegyezik a bemenő paraméter vektor dimenziójával.

A 6. ábra a kimenő csomópontok kétdimenziós tömbjét állítja szembe a többdimenziós bemenő vektorral.



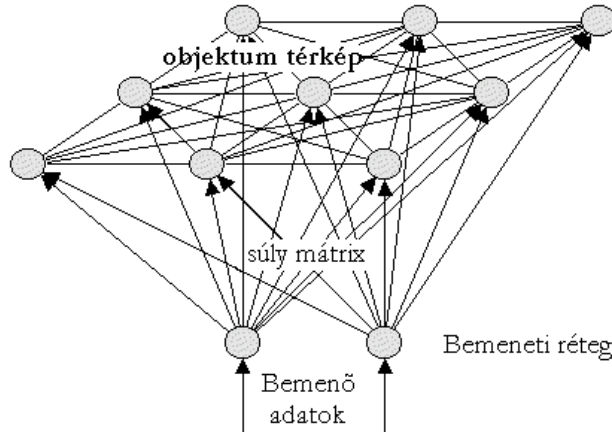
6. ábra. n dimenziós bemenet leképezése a síkra.

Hogy a konstrukció még érthetőbb legyen a 7. ábrán bemutattuk magukat az összeköttetéseket is, igaz hogy csak kétdimenziós bemenő adatok esetére.

Minden bemenő vektorhoz keresünk egy olyan súlyvektort, mely legközelebb van hozzá, azaz melytől számított (euklideszi) távolsága a legkisebb. Képlettel kifejezve:

$$\|\mathbf{x} - \mathbf{w}_c\| = \min_i \{\|\mathbf{x} - \mathbf{w}_i\|\} \quad (15)$$

ahol c jelenti az \mathbf{x} vektort leképező cella indexét.



7. ábra. A Kohonen réteg súlyvektorai kétdimenziós bemenet esetén.

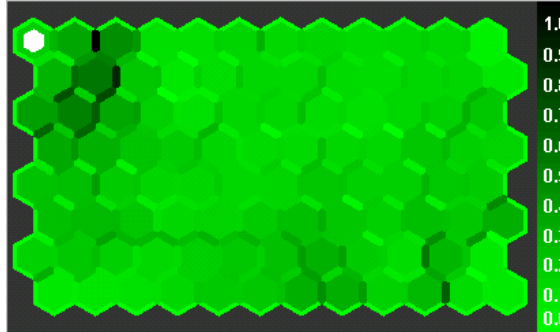
A tanítási folyamat során mindazok a cellák aktiválódnak a kérdéses \mathbf{x} vektortól, melyek bizonyos távolságon belül helyezkednek el a kiválasztott c cellától. A hasznos \mathbf{w}_i súlyokat a kezdetben tetszőlegesen megválasztott $\mathbf{w}_i(0)$ értékekből kiindulva a következő tanítási folyamat konvergencia határáként nyerjük:

$$\mathbf{w}_i(t+1) = \mathbf{w}_i(t) + h_{ci}[\mathbf{x}(t) - \mathbf{w}_i(t)] \quad (16)$$

ahol h_{ci} a szomszédsági függvény. A c cella figyelembe vett szomszédságát (cella számát) $N_c(t)$ -vel jelöljük, ami azt is jelenti, hogy ez a sugár nem állandó, hanem a tanulási folyamat során változik (t növekedésével csökken). Ha az i indexű cella benne van az $N_c(t)$ -vel jellemzett cellatartományban úgy $h_{ci} = \alpha(t)$, ahol ($0 < \alpha(t) < 1$) és a függvény monoton csökken.

A tanítás befejezése után a "térkép" a 8. ábrán bemutatott képre lesz hasonló. Ahhoz hogy a tanult hálózatot vizuális interpretálásra fel tudjuk használni manuálisan ki kell választanunk olyan adatokat, melyeket a kérdéses feladat kapcsán ismerünk és segítségükkel a tanult térképet fel kell címkéznünk. Ezután a bevitt teljesen ismeretlen adatokat interpolációval illetve extrapolációval értékelni tudjuk a címkézett klaszterekkel fennálló kapcsolatuk alapján.

Hogy egy példát is lássunk, a már hivatkozott NENET program mintapéldája egy technológiai együttesen végrehajtott 5 mérőhely 3480 mérését használta a hálózat tanítására. A tanítás eredményeképpen létrejönnek a cellákhoz rendelt végleges súlyvektorok, melyek egy .map végződésű fájlban kerülnek tárolásra. Ugyanakkor a rendszer kiszámítja az úgy nevezett U mátrixot, mely elemei tartalmazzák a cellákhoz tartozó súlyvektorok egységre normált, átlagos távolságát a 6 (négyzetraszter esetén 4) szomszédos súlyvektortól. Az élék színezése a kérdéses él mentén fekvő szomszéd cella súlyától

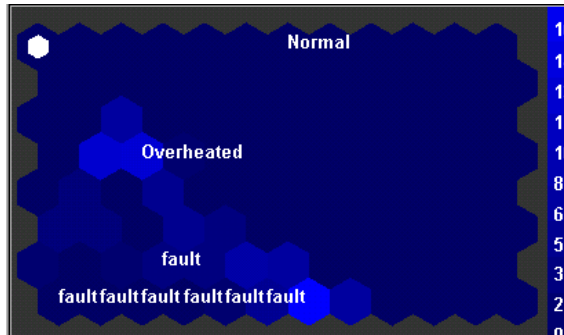


8. ábra. Példa az önszerveződő térképre a NENET programban

mért távolságot reprezentálja. A példánkra érvényes súlytávolság térkép a 8. ábrán látható. Kis gondolkodás után rájöhethetünk arra, hogy tulajdonképpen a jól ismert *Voronoi* cellák egy speciális ábrázolási formájával állunk szemben. Ha ugyanis a szomszédos cellák középpontját eltolnánk egymástól az élekben kódolt távolságokra és meghúznánk a középpontokat összekötő oldalak felező merőlegeseit, akkor azok kimetszenék a klaszterikus Voronoi cellákat. Arról van tehát szó, hogy az algoritmus egy *felvett maximális topológiához* hozzárendelte a bemenő adatokat legjobban leképező Voronoi cellákat, azaz azokat a súlyvektorokat, melyekhez egy-egy csoport bemenő vektor közelebb van mint bármely más súlyvektorhoz.

A következő tesztelési fázisban manuális elemzéssel kiválogattak 96 vektort, mely mérések a rendszer normálisan üzemelt, 246 hibás működéskor felvett rekordot és 96 olyan rekordot mely mérések a rendszer túlmelegedett.

A 9. ábrán azt láthatjuk, hogy hol helyezkednek el és milyen gyakorisággal a normális, hibás és túlmelegedett üzemmódnak megfelelő paramétervektorok.



9. ábra. Normális, túlhevített és hibás üzemeléskor mért paramétervektorok sűrűsödései.

Amint látható, a túlhevített állapot a normális és a hibás működés között helyezkedik el, és interpretálható, hogy átmenetet képez a meghibásodás felé.

Számunkra azonban a SOM azért volt érdekes, mivel elvileg is (a Kohonen réteg bemutatásával) és gyakorlatilag is (a kezdeti súlyok kialakításával) átvezet minket Kohonen ellenőrzött osztályozási eljárása a *Tanuló Vektor Kvantálás (Learning Vector Quantization = LVQ)* tárgyalásába.

Tanuló Vektor Kvantálás (Learning Vector Quantization = LVQ)

A 4. ábrán vázoltuk fel az LVQ osztályozásnál használt hálózatot.

A Kohonen réteg *azonos számú cellája* reprezentál egy osztályt. Minél több cella tartozik egy osztályhoz annál finomabb az osztályozás. A cella szám növelésének azonban határt szabnak a számítási erőforrások.

Az inicializálási lépésben minden cellához hozzá kell rendelni egy reprezentatív \mathbf{w}_i súlyvektort az úgy nevezett *kódkönyv vektort*. Ezeknek a vektoroknak a végleges értékét határozzuk meg a tanítási folyamatban.

A végleges súlyvektorok ismeretében bármely ismeretlen bemeneti vektort ahhoz az osztályhoz rendel az algoritmus, amelyhez tartozó *valamelyik* súlyvektortól számított távolsága minimális.

A súlyok inicializálását elvégezhetjük az előzőekben ismertetett SOM algoritmussal, vagy egyszerűen, biztosan osztályozott bemenő vektorokkal. Hogy ezek a vektorok biztosan mentesek legyenek az osztályozási hibáktól, célszerű előzetesen valamilyen hagyományos osztályozási eljárással (Kohonen javaslata szerint a **legközelebbi szomszédság** módszerével) minden kiválasztott vektort a többi tanító vektorhoz képest újra osztályozni.

A tanítási folyamatra több alternatív illetve szekvenciálisan alkalmazható algoritmust is kidolgoztak.

Az LVQ1 algoritmus a tanítási folyamatot a következő kifejezésekkel írja le. Jelöljük a kérdéses bemeneti paraméter vektort a t -ik tanulási ciklusban $\mathbf{x}(t)$ -vel, a hozzá legközelebbi súlyvektort (kódkönyvvektort) $\mathbf{w}_c(t)$ -vel, a monoton csökkenő tanulási sebesség függvényt $\alpha(t)$ -vel, ahol $(0 < \alpha(t) < 1)$. A tanulási (súlymódosítási) szabály

ha \mathbf{x} és \mathbf{w}_c ugyanahhoz az osztályhoz tartozik

$$\mathbf{w}_c(t+1) = \mathbf{w}_c(t) + \alpha(t)[\mathbf{x}(t) - \mathbf{w}_c(t)] \quad (17)$$

ha \mathbf{x} és \mathbf{w}_c különböző osztályhoz tartozik

$$\mathbf{w}_c(t+1) = \mathbf{w}_c(t) - \alpha(t)[\mathbf{x}(t) - \mathbf{w}_c(t)] \quad (18)$$

az összes többi, nem legközelebbi súlyvektor a ciklusban változatlan marad, azaz

$$\mathbf{w}_i(t+1) = \mathbf{w}_i(t) \quad \text{ha } i \neq c \quad (19)$$

Az LVQ2.1 algoritmus abban különbözik az LVQ1-től, hogy két legközelebbi súlyvektort módosít egyidejűleg, mégpedig a \mathbf{w}_j -t, mely az \mathbf{x} -el *azonos* osztályú legközelebbi súly és a \mathbf{w}_i -t, mely az \mathbf{x} -hez legközelebbi *különböző* osztályú súly. A módosításhoz még az is szükséges, hogy az \mathbf{x} "beleessen" az a szélességű ablakba. Ha az \mathbf{x} távolságát a \mathbf{w}_j -től d_j -vel, a \mathbf{w}_i -től pedig d_i -vel jelöljük akkor a beelésés feltétele, hogy

$$\min\left(\frac{d_i}{d_j}, \frac{d_j}{d_i}\right) > s, \quad \text{ahol } s = \frac{1-a}{1+a}, \quad a = (0.2 \text{ vagy } 0.3).$$

A módosított súlyok a következő képletekből számolhatók:

$$\mathbf{w}_i(t+1) = \mathbf{w}_i(t) - \alpha(t)[\mathbf{x}(t) - \mathbf{w}_i(t)] \quad (20)$$

$$\mathbf{w}_j(t+1) = \mathbf{w}_j(t) + \alpha(t)[\mathbf{x}(t) - \mathbf{w}_j(t)] \quad (21)$$

Az LVQ3 algoritmus továbbra is a (20) és (21) képleteket használja a javításra, ha a két legközelebbi súlyvektor közül az egyik az \mathbf{x} osztályához tartozik a másik nem és az \mathbf{x} beelésik az ablakba. Arra az esetre vonatkozóan azonban, ha mind a két közeli súlyvektor \mathbf{x} osztályához tartozik és \mathbf{x} beelésik az ablakba az LVQ2.1 algoritmus nem rendelkezett, értelemszerűen ebben az esetben csak az egyik, a legközelebbi súlyvektor változta-

tására került sor. Mivel ez az eset a tanítási folyamat fejlődésével gyakran előfordul, az LVQ3 gondoskodik arról, hogy mindkét közeli súly változtatására sor kerüljön.

Abban az esetben tehát, ha mind az \mathbf{x} , mind a \mathbf{w}_i , mind a \mathbf{w}_j azonos osztályba tartozik

$$\mathbf{w}_k(t+1) = \mathbf{w}_k(t) + \varepsilon\alpha(t)[\mathbf{x}(t) - \mathbf{w}_k(t)], \quad k \in \{i, j\} \quad (22)$$

Az ε értékére a kísérleti futtatások alapján 0.1 és 0.5 értékeket javasolnak az algoritmus kidolgozói.

Mesterséges neurális hálózati szoftverek

Az előző paragrafusban már említett felügyelet nélküli osztályozó program a NENET win95/NT verziója a <http://www.mbnet.fi/~phodju/nenet/nenet.html> honlapról szabadon letölthető (újabbán bővített változatát kereskedelmi szoftverként árulják).

A tanuló vektor kvantálás (LVQ) legújabb 3.1 verziója az LVQ_PAK programcsomagban tölthető le a <http://www.cis.hut.fi/nrc/nrc-programs.html> címről. A c nyelven írt program néhány függvénye UNIX-os környezetet igényel.

Az általános szoftverek több hálózat típus különféle módszerrel történő tanítására és tesztelésére alkalmasak.

A legtöbb szoftver munkaállomásokon fut UNIX operációs rendszer alatt. A szoftverek jelentős része kereskedelmi és igen drága, de szerencsére még elég sok egyetemi kutatóhely ingyen bocsátja a felhasználók rendelkezésére szoftverét.

A szabad szoftverek többsége szintén csak UNIX alatt fut de több letölthető forrásnyelven is (rendszerint C++-ban, de újabbán néhány JAVA forrás is megjelent), illetve néhány MS DOS és WINDOWS 95-ös verzióval is találkozunk. Sajnos a DOS exe fájlok kompillálása nem mindig sikeres pld. a NevProp3 nevű program DOS exeje minden eddig kipróbált adatállománnyal 'elszállt', a következő bekezdésben javasolt FAST programnak pedig a case2 modulja hoz létre rendszer hibát.

A szabad szoftverek közül kettőre hívjuk fel az olvasó figyelmét, megadva azokat az INTERNET címeket, ahonnan letölthetőek

Először a már idézett FAST 2.2 szoftvert egyetemi verzióját említem, mely különböző platformokra letölthető a <http://www.forwiss.uni-erlangen.de/aknn/Projecte/FAST/ACADEMIC/> könyvtárból. Aki a teljes verzió iránt érdeklődik az intézménye megnevezésével és tevékenységi köre leírásával írjon a következő címre: kindermann@forwiss.uni-erlangen.de. Mivel én csak a szabad 'akadémiai' verziót ismerem az a két hiba a teljes verzióban valószínűleg nem fordul elő, különösen akkor, ha a fordítást C-ből magunk végezzük a saját gépünkre installált kompájlerrel.

Az első hibát már említettük a cascade 2 modullal kapcsolatban. A következő hiba vagy inkább korlátozás, hogy a hibahatárok alapértelmezett értékeit nem lehet megváltoztatni. Sajnos ez a korlátozás lehetetlenné teheti sok interpolálási feladat megoldását. A szoftver számos előnye közül számomra talán az a legfontosabb, hogy a flex modul automatikusan megtervezi a többrétegű hálózatot, a cascor modul pedig egy rejtett réteget tervezve oldja meg a feladatot (sajnos ez a nagyon gyors modul szinte rögtön leáll az alapértelmezésként megadott igen nagy, 0.1 értékű hibaküszöb miatt).

A második szabad program a Stuttgarter Neurális Hálózat Szimulátor vagy eredeti nevén SNNS 4.1 verziója, melynek 1998 elejére készült el windows95/NT-variánsa, mely letölthető a következő ftp címről: <ftp://ftp.informatik.uni-stuttgart.de/pub/SNNS/SNNSV4.1-win32/>. A windowsos változat problémája, hogy az MS Windows-hoz készült X-Server programot igényel. Ezek a programok általában nem ingyenesek, a mellékelt

Startnet Micro X-Win32 X-Server Demo szabad formájában bizonyos korlátozásokkal használható csak, egy másik szabad X-Server az alábbi címről tölthető le: <http://tnt.microimages.com/www/html/freestuf/>.

Az SNNS windows-os változata elég nehezen kezelhető (valószínűleg a X-Server-ek tökéletlensége, valamint az én járatlanságom miatt ezen a felületen). Az azonban már nem az én hibám, hogy nagyon nehéz a paraméterek beállítása, a hálózati jellemzők (pld. aktiváló függvények) bevitele, és hogy szabályos kilépéskor mindig hibajelzést kapunk.

Az Interneten nagyon sok shareware illetve freeware software található, a sharewarek szinte minden esetben annyira korlátozottak, hogy csak demónak használhatók, a szabad szoftverek pedig rendszerint UNIX-ra íródtak, vagy csak forrásnyelven tölthetők le. Hogy a kompilálási problémák ne zavarják a neurális hálózatok tanulmányozását, úgy gondolom, hogy az első próbálkozásokhoz ez a két szoftver elég lesz, utána pedig mindenki szabadon kereshet vagy írhat magának megfelelőbbet.

Neurális hálózatok felhasználása térbeli feladatok megoldására

A neurális hálózatok különleges képessége abban rejlik, hogy képesek mind a folyamatos mind a diszkrét interpolációra és, kisebb megbízhatósággal, extrapolációra. A folyamatos függvények interpolációjáról, már viszonylag részletesen szóltunk, a diszkrét interpolációt - az osztályozást pedig a Kohonen réteget használó hálózatok kapcsán vázoltuk fel. Arról azonban nem szóltunk még, hogy az MLP és RBF hálózatok is használhatók osztályozásra, ha annyi kimeneti csomópontjuk van, ahány osztályt akarunk különválasztani. Ebben az esetben a tanuló adatok egyest tartalmaznak azon a kimeneten, mely osztályhoz a kérdéses, ismert osztályú bemeneti vektor tartozik és zérust az összes többi kimeneten.

A neurális hálózatok számtalan térbeli probléma megoldására alkalmasak. Az alkalmazások azt használják ki, hogy a neurális hálózat a megadott minták alapján feltárja a bemenő adatok és a kimenő értékek közötti kapcsolatot akkor is, ha ez képlettel nem írható le, vagy leírható, de a képlet nem ismert.

Gyakorlatilag tehát arról van szó, hogy a neurális hálózat adott minták alapján elkészíti a kérdéses jelenség modelljét. A modell kimenetén vagy valamely érték szerepelhet, ez az interpoláció illetve függvény megközelítés, vagy valamely osztály, ha a hálózatot osztályozásra használjuk.

Az osztályozásnak azonban nem csak távérzékeléssel készült multisprektális felvételek esetén van jelentősége hanem akkor is, ha a számunkra érdekes jelenséget befolyásoló tényezők (attribútumok) térbeli eloszlása GIS rétegeken van tárolva és arra vagyunk kíváncsiak hogy ezek együttes hatása létrehoz e valamilyen kritikus, beavatkozást igénylő eseményt vagy sem, illetve egyáltalán milyen osztályokba sorolható a közösen fellépő tényezők eredménye.

Az irodalom nem bővelkedik közleményekben a mesterséges neurális hálózatok térbeli interpolációra történő felhasználásáról. Az ismertető kutatás (Xingong, 1997) az 1997 októberi GIS/LIS '97 konferencián hangzott el az OHIO állambeli Cincinnati-ban.

A kutatás célja Délkarolina állam havi csapadékadatainak interpolálása volt. A training adatokat 50 csapadékmérő állomás adatai szolgáltatták, míg az interpolációt 18 tulajdonképpen szintén ismert teszttállomásra végezték. Ebből is látszik, hogy kutatásról van szó, ezért kellett oda interpolálni, ahol már ismert adatok álltak rendelkezésre.

Az interpolációt még négy másik módszerrel is elvégezték, a kontrol módszerek a következők voltak: voronoi cellák, inverz távolság, polynomos interpoláció (trend felület) és krigelés.

A létrehozott neurális hálózat három rétegből állt: a bemenő rétegnek kilenc neuronja volt, az egyetlen rejtett réteget tíz neuron alkotta, a kimenő rétegben egy neuron helyezkedett el.

Igen érdekes a bemenő adatok megválasztása. Az interpolációt *három*, a vizsgált helyhez *legközelebb fekvő* esőmérő állomás adataira támaszkodva végezték oly módon, hogy bemenő adatként nem csak az állomások havi csapadék adatait, hanem a vizsgálati helytől mért távolságukat illetve tengerszint feletti magasságukat is szerepeltették.

Számomra nem teljesen világos, hogy miért nem szerepelt a bemenő adatok között magának a keresett helynek a magassága, esetleg vízszintes koordinátái.

A magasság és távolság értékeket a 0, 1 tartományba transzformálták. A tréninget a konjugált gradiens módszerrel végezték, a megállás feltétele az volt, hogy a tréning adatok négyzetes középhibája csökkenjen le **0.01** értékre.

A vizsgálat végeredményeképpen megállapították, hogy a neurális hálózatokkal végzett interpoláció minden hónapra megbízható értéket szolgáltatott, míg a többi módszer egy-egy hónapban ugyan jobb eredményt nyújtott, de átlagos teljesítményük elmaradt a neurális hálózati interpoláció mögött.

A példa igen jól illusztrálja, hogy a korábban megadott szabályok a tréning adatok és a hálózati súlyok illetve rejtett neuronok száma között nem feltétlenül érvényesülnek a valós hálózatokban. Esetünkben 100 súly van, azaz az első szabály szerint 100 tréning adatra volna szükségünk, szemben a ténylegesen meglévő 50-el. A második szabály szerint viszont az egyetlen rejtett rétegben 49 neuronnak kéne lenni ahhoz, hogy a legtöbb folytonos függvényt le tudja képezni 50 tréning adat esetére a hálózat. Persze ez nem zárja ki, hogy a példában szereplő függvény kevesebb neuronnal is leképezhető.

A legtöbb szerző nyomatékosan javasolja a bemenő adatok számának csökkentését. Esetünkben például elképzelhetőnek tartom, hogy a bemenő adatokként x , y , z koordinátákat válasszunk (x , y esetében természetesen súlyponti koordinátákra gondolok), s ugyanakkor növeljük a tréning adatok számát. Ezzel olyan általános szabályt dolgozunk ki, mely nem csak Délkarolinára lesz igaz, hanem arra az egész területre, melyet a tréning adatok behálózhatnak.

Az egyik legérdekesebb példát (Foley et al. 1998) vállalati internet publikációjában (white paper) találhatjuk, mely az amerikai hadsereg jelenlegi és korábbi gyakorló területeinek fel nem robbant lőszerektől való mentesítésére kidolgozott, GIS és tudásbázis lét-rehozásáról és működéséről szól. A tudásbázisban azokat a geofizikai (mágneses és vezetőképesség) méréseket helyezték, melyek a már feltárt lövedékekhez tartoztak. Ugyancsak a tudásbázisban kapott helyet a feltárt lövedékek típusa, mélysége és tömege, valamint számos más a kérdéses helyre vonatkozó geológiai, talajtani, geofizikai jellemző.

A neurális hálózat feladata az volt, hogy a még fel nem tárt, de mérésekkel valószínűsített lövedékek esetén megbecsülje azok tömegét és mélységét. Mivel a GIS tartalmazza a geofizikai méréseket, a talajtani, geológiai jellemzőket, stb. ezzel megteremt a közös helyen alapuló kapcsolatot a már tanított neurális hálózat bemenő adatai között.

A neurális hálózat segítségével végrehajtott osztályozó modellezés feladatát mutatja be (Deadman és Gimblett 1997) tanulmánya. A feladat egy Dayton-i park rekonstrukciós tervezéséhez kívánta osztályozni a park területét a lonc (agresszív gyomnövény) elterje-

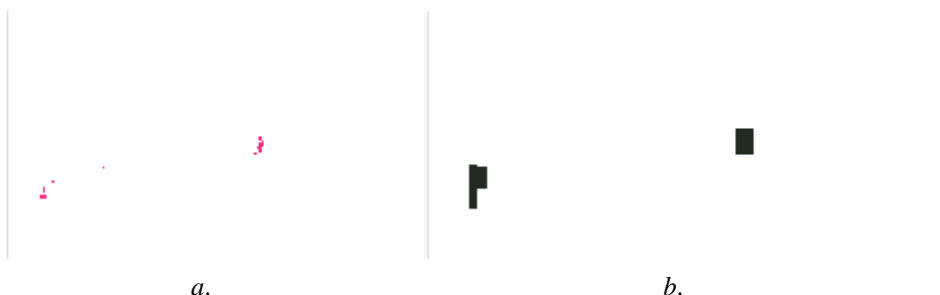
désére való alkalmasság szempontjából. Tizenkét helyen végeztek részletes vizsgálatokat mind az aljnövényzet, mind a meghatározó fizikai jellemzők (lejtés, lejtőirány, talajtípus) vonatkozásában. Egy - egy vizsgálati helyvel egy raszter cellát töltöttek fel a megfelelő rétegeken.

Három osztályba sorolták a lonccal való fertőzöttséget: kevesebb, mint 30 növény, 30-tól 75 növény, több mint 75 növény jut a vizsgálati cellára. Az MLP hálózat három rétegből állt: bemenő réteg eredetileg 5 csomóponttal, egy rejtett réteg 9 szigmoid aktíváló függvényt tartalmazó csomóponttal és a kimeneti réteg 3 csomóponttal. A 12 mérési helyre támaszkodva 13 tréning adat mondatot vezettek le.

A tréning ellenőrzésére azt a módszert alkalmazták, hogy minden tréning ciklusból kihagytak egy mintamondatot (azaz 13 szor végezték el a tanítást). Azt tapasztalták, hogy az ellenőrzés eredményei csak négy mondat vonatkozásában voltak megnyugtatóak. Mivel ezt az eredményt nem tartották kielégítőnek megváltoztatták a bemenő adatokat: elhagyták a vizsgált területen jelentéktelennek tűnő lejtést és helyette bevezették az erdő háborítotttság fogalmát (erdő széle, utak, ösvények épületek, stb.), mivel szakmailag bizonyítható, hogy a háborítotttság elősegíti a gyom terjedését. Az új bemenő adatokkal a tesztelés mind a 13 esetre teljes hibátlanságot mutatott.

A tanulmány fő érdekessége számomra abban rejlik, hogy szemléletesen mutat be egy olyan térbeli modellt, mely eredményül osztályokat szolgáltat. Hátránya a tanulmánynak, hogy nem tér ki a neurális hálózati szoftver és a térinformatikai szoftver összekapcsolására.

Lássunk egy másik konkrét példát a GIS osztályozásra. Arra vagyunk kíváncsiak, hogy mely mezőgazdasági táblák igényelnek különleges erózióvédelmet. Erre akkor kerül sor, ha az erózió által lehordott talajmennyiség meghalad egy bizonyos tolerancia értéket. Az erózió mértékét befolyásoló tényezőket különböző szerzők különbözőképpen veszik figyelembe. Az általunk ismertetett tanulmányban (Muttiah et al. 1996) az USA Mezőgazdasági Minisztériumának képlete szerint az R eső és lefolyási tényező, a K talaj erózió hajlam tényező, az LS lejtőhosszúsági tényező, a C művelési tényező (vetésforgó), és a P talajkonzerválási tényező rétegei álltak bemenő adatként a hálózat rendelkezésére. Az ugyanezekből a tényezőkből képlet alapján kiszámolt akciót igénylő területekre eső pixelek a 10 ábra a részén, míg a neurális hálózat predikciója (azaz bináris pixelek a kimeneten, 1=szükség van beavatkozásra, 0= nem kell beavatkozni) a 10 ábra b részén láthatók.

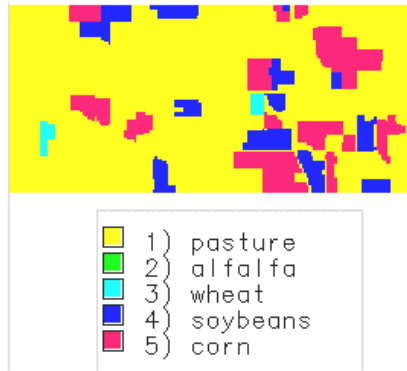


10. ábra. Kritikus erózió képletből (a) és neurális hálózati predikcióból (b).

A tanuló értékeket az a ábra bal alsó sarkában található clusterből nyerték. A két ábra foltjai ugyan jól illeszkednek egymásra, de egyelőre nem értjük, hogy miért lettek a neu-

rális hálózat által osztályozott területek nagyobbak és szabályosabbak, mint az eredetileg ismertek.

Ha azonban megnézzük a 11. ábrán látható C réteget, amely tartalmazza a tényleges táblákat, akkor rögtön szembetűnik, hogy a *neurális hálózat osztályozása a táblán belül talált kritikus értékeket kiterjesztette az egész táblára*, esetünkben, a jelkulcs szerint, búzatáblára.



11. ábra. A C művelési tényező (vetésforgó) réteg.

Következtetések

Amint az olvasó látja, a példák között nem foglalkoztunk a neurális hálózatok távérzékelési hasznosításának kérdéseivel, amit a területi korlátokon kívül elsősorban az indokolhat, hogy ezen a területen bőven található éretten alkalmazásokat ismertető cikkeket még magyarul is, pld. (Barsi 1997, 1998).

A záró gondolatok között azonban mégis utalni szeretnénk rá, hogy a neurális hálózatok *távérzékelési hasznosításánál* külön előny, hogy az osztályozásba be tudják vonni a spektrális sávok és azok kombinációin kívül a *rendelkezésre álló földhasználati, domborzati, stb rétegeket is* ily módon jelentősen növelhető az osztályozás megbízhatósága.

Az előzőekben felvázolt feladatok csak akkor végezhetőek egyszerűen, ha a GIS-t összekapcsolják a neurális hálózati szoftverrel. Erre került sor a már hivatkozott (Mutiah et al. 1996) tanulmány szerint a GRASS GIS és egy MLP hálózat között. A GRASS-ra többek között azért esett a választás mivel ingyenes szoftver és C nyelven írt programokkal szabadon elérhető. Ezen kívül nem árt hozzátennünk, hogy a pixelekből tárolt adatokat a hálózat sokkal egyszerűbben érheti el, mint a vektoros fedvényeket.

Hogy a szoftver fejlesztők törekednek komplex térbeli rendszerek létrehozására azt meggyőzően bizonyítja például az is, hogy a NASA John F. Kennedy Űrközpontja saját létesítményei elhelyezési tervezésére kidolgozta Térképelemző és Tervező Rendszerét (MAPS), mely egy központi GIS-t kapcsol össze adatbázisokkal, környezeti modellekkel, neurális hálózati és szakértői rendszer szoftverrel. Ezt a saját célú menüvezérelt szoftvert a jövőben kereskedelmi forgalomba kívánják bocsátani, ami nem csak azt jelenti, hogy meg lehet tőlük venni, de azt is valószínűsíti, hogy a jövőben valamely szoftver gyártó új felhasználói interfésszel kistaffirozva különböző operációs rendszerekre is forgalmazni fogja.

Talán érdemes megemlítenünk, hogy a Microimages cég TNTMIPS nevű GIS programja is tartalmaz neurális hálózaton alapuló osztályozó modult, igaz csak a felügyelet nélküli kategóriában (KOHONEN térkép).

A hálózatok tanulmányozása kapcsán az a gondolat fogant meg bennem, hogy a tanított hálózatot, azaz a hálózatot és a súlyokat térbeli adatmodellként is használhatnánk. Azt, hogy ez milyen esetben lehet hasznos további vizsgálatok hivatottak kideríteni.

Csak futólag utaltunk rá a parkfelújítási példa kapcsán, hogy a neurális hálózatok jelentősen megjavíthatják a GIS többkritériumos döntési módszereit, kiküszöbölve az alkalmassági térképek létrehozásakor alkalmazott, gyakran szubjektív súlyozási módszereket.

Igen perspektívnek tekinthető a neurális hálózatok alkalmazása a mobil térképező rendszerek feldolgozó szoftvereiben. Az objektum-felismerés automatizálásával ugyanis jelentősen növelhető a feldolgozás hatékonysága és sebessége.

Végső konklúzióként megállapíthatjuk, hogy még csak az elején vagyunk a neurális hálózatok térinformatikai hasznosításának, és még sok kutatást kell végezni ahhoz, hogy ezt az eszközt is beilleszthessük a szétterjedt térinformatikai függvények tárházába.

Hivatkozások

- Barsi Árpád** (1997): Landsat-felvétel tematikus osztályozása neurális hálózattal. Geodézia és Kartográfia, 4, 21-28.
- Barsi Árpád** (1998): Felszínborítottság térképezése neuro-fuzzy módszerrel GIS környezetben. Geodézia és Kartográfia, 6, 10-15.
- Deadman P, Gimblett R** (1997): Application of neural net based techniques to vegetation management plan development. AI Applications. Fall, Megtalálható az interneten a '<http://nexus.srn.arizona.edu/~gimblett/aidead97.html>' címen.
- Foley J, Gifford M, Millhouse S, Helms L** (1998): Ordnance and Explosives (OE) program Geographic Information System (GIS) and Knowledge Base (KB). Elektronikus publikáció a '<http://www.scainc.com/oegiskb.htm>' címen.
- Horváth G** (1995)(szerk.): Neurális hálózatok és műszaki alkalmazásaik. BME Villamosmérnöki és Informatikai Kar, Műszer és Méréstechnika Tanszék. Műegyetemi Kiadó.
- Muttiah R, Srinivasan R, Engel B** (1996): Development and Application of Neural Network Interface for GRASS GIS. Third International Conference/Workshop on Integrating GIS and Environmental Modeling. Santa Fe, New Mexico, January 21-25, Proceedings CD rom.
- Sárközy Ferenc** (1999): GIS functions - interpolation. Periodica Polytechnica ser. Civil Engineering. 43, 1.(nyomdában). A cikk elektronikus verziója megtalálható a 'http://www.agt.bme.hu/public_e/funcint/funcint.html' internet címen.
- Xingong Li** (1997): Development of a neural network spatial interpolator for precipitation estimation. GIS/LIS '97 Annual Conference October 28-30, Cincinnati, Ohio. Proceedings CD rom. 667-676.

Megjegyzések a vonatkozási rendszer és GIS témához

1. A GIS legnagyobb előnye az analóg térinformatikai adatbázisokhoz, azaz a hard-copy térképekhez képest, hogy elvileg tetszőleges vonatkozási rendszert tetszőleges vonatkozási rendszerbe át tud alakítani, tehát elvileg semleges a vonatkozási rendszerek szempontjából.
2. Gyakorlati szempontból természetesen előnyös, ha az országban található alapponthoz koordináták, digitális térbeli adatok és analóg térképek azonos dátumon nyugvó azonos vetületi rendszerben állnak rendelkezésre.
3. Mivel a GPS adatnyerés egyre nagyobb szerepet játszik a GIS adatfeltöltésében, a GPS dátuma (WGS 84) és az azon alapuló nemzetközileg ismert síkvetületek bizonyos fokig meghatározó szerepet játszhatnak a feldolgozási referencia rendszer felvételében.
4. Annak is komoly jelentősége van, hogy a kereskedelmi GIS szoftverek milyen beépített dátumtranszformációkkal rendelkeznek, illetve hogy milyen paraméterek és milyen algoritmusok alapján biztosítják a felhasználó által definiált dátumtranszformáció végrehajtását.

A fenti alapelveket az alábbi hazai helyzettel kell illeszteni:

1. Három hivatalos vagy kvázi hivatalos dátum létezik: Pulkovói, HD.72, WGS 84, mindegyikhez egy-egy vetületi rendszer: Gauss-Krüger, EOVS, UTM.
2. A Pulkovói és WGS 84 valamint vetületeik többé kevésbé rendelkeznek megfelelő nemzetközileg kidolgozott átszámítási algoritmusokkal, a HD-72 EOVS átszámításaira hazai algoritmusok készülnek.
3. Egyéb kihaló vetületek (sztereografikus, ferdetengelyű henger) EOVS átszámításaira megfelelő módszerek és együtthatók rendelkezésre állnak.

Mindezek alapján a következő következtetések vonhatók le:

1. Normális, ha egy országban a különböző célok figyelembe vételével különböző vetületi rendszereket is alkalmaznak. Nem annyira normális, ha ezek különböző dátumokhoz tartoznak.
2. Távolilag célszerű volna, ha két vetület, az UTM és EOVS közös WGS 84 dátummal kerülne hivatalos bevezetésre.
3. A gyakorlati feladatokhoz arra volna szükség, hogy a szaktárca hivatalos átszámítási eljárásokat (a megfelelő együtthatókkal együtt) bocsátana a szoftver és GPS kereskedők, illetve közvetlenül a felhasználók rendelkezésére. Az átszámításokra elsősorban a GPS-szel nyert UTM és EOVS koordináták között volna szükség, de gondolni lehet esetleg a régebbi rendszerekre való átszámításra is.
4. Az, hogy az átszámítás egyszerűen menjen alapvetően szoftver kérdés, ezért valamilyen módon preferálni kellene azokat a szállítókat, akik a magyarországi rendszerek közötti átszámításokat beépítik a GPS illetve GIS programjaikba.

A DIGITÁLIS FOTOGRAMMETRIA SZEREPE AZ AUTOMATIKUS GEOINFORMATIKAI ADATNYERÉSBEN

*Barsi Árpád**

Bevezetés

Napjainkra a térinformatikai rendszerek egyre inkább előtérbe kerülnek, s válnak a hétköznapi emberek számára is eszközzé. A politikusok, döntéshozók, önkormányzati szakemberek, kutatók s még sorolhatnánk hosszan, ki mindenki használja e rendszereket. E sokszínűség természetesen sokféle adatot, adatforrást és adatgyűjtési módot jelent. A felhasználókat feladatuk ellátásában az adatgyűjtéssel foglalkozó szakembereknek kell hathatósan támogatniuk.

A mindinkább jelentőssé váló geoinformatikai rendszereket tehát megfelelő minőségű és mennyiségű adattal kell feltölteni. A rendszerek ezen „adatéhségét” az elsődleges és másodlagos adatnyerési módok felhasználásával lehet csillapítani. Az előbbi kategória alatt a geodéziát, fotogrammetriát, GPS technikákat, valamint a távérzékelést értik, míg a második csoportba a térképdigitalizálást, szkennelést és a különféle adatbázisok átvételét sorolják. A digitális fotogrammetria a hagyományos fotogrammetriából és a digitális képfeldolgozásból származik, következésképp az elsődleges adatnyerés igen hatékony – számítógépes – eszköze.

A hagyományos fotogrammetriai technológia

A fotogrammetriai szakirodalom az adatnyerés szempontjából általában a következő előnyöket sorolja fel:

- gyors adatszolgáltatási képesség: a vizsgált területről légifényképeket rövid idő alatt lehet készíteni, az interpretáció jellegű feldolgozás rendkívül kevés időt vesz igénybe. A hasonló fajtájú feldolgozásnak hosszú hagyományai vannak a II. világháborús felderítéstől napjaink árvíz hullámainak monitorozásáig.
- homogén pontosság: a fotogrammetriai pontmeghatározás pontossági mérőszámainak meghatározása hosszú kutatói munka eredménye volt. A vizsgálatok bizonyították, hogy a pontkapcsolási és pontmeghatározási eljárások segítségével az egész térképezett területen a pontok pontossága és megbízhatósága közel azonos. A meghatározás tehát homogén minőségű adatokat képes szolgáltatni.
- tónusos termék előállítható: a fotogrammetria eszköztárában megtalálhatók a különböző képátalakítási módszerek, melyek segítségével képtranszformátumok, ortofotók és fototérképek készíthetők. Több terepi adatgyűjtési feladat egyszerűsíthető a már említett tónusos termékek felhasználásával. Az ortofotó és ortofotótérképek jelentősége egyre növekszik, néhány (nyugat-európai) nagyváros térképe is már ilyen módon készült.
- olcsóbb: a térképezési eljárások között a nagyobb területre végzett felméréseknél a fotogrammetria a gazdaságos módok közé tartozik. A légifényképek elkészülte után több kiértékelési szinten lehet a képeket feldolgozni, pl. áttekintő térképezés, részletes átfogó térképezés, célirányos tematikus térképezés.

A fotogrammetria hátrányként meg kell említeni, hogy alaposabb előkészítést igényel (pl. repülési terv készítése) és a légifényképező repülés évszak ill. időjárásfüggő.

A fotogrammetriai technológia vázlatában a következő lépéseket tartalmazza:

1. Előkészítés: alappontok összegyűjtése, repülési terv készítése, terepi pontjelölés
2. Légifényképező repülés
3. Légiháromszögelés mérése, számítása a megfelelő pontossági mérőszámok meghatározásával
4. Térkiértékelés, vonalas és tónusos termékek előállítása (terepi ellenőrzés és kiegészítés is)
5. Térképezés (kartográfia)

A fenti technológiai sorból kiemelném a légiháromszögelést, hiszen a digitális fotogrammetria elsőként ennek a lépésnek a megoldására törekedett. A hagyományos úton végzett légiháromszögelés a következő menetet követi:

1. Az illesztő-, kapcsoló- és új pontok kiválasztása, sorszámozása
2. A pontok műszerkoordinátáinak mérése (térkiértékelő műszeren, komparátoron vagy analitikus plotteren)
3. A tájékozások számítása, sorrendben a belső, a relatív és az abszolút tájékozás
4. Az új pontok koordinátáinak meghatározása
5. Az egész számításban résztvevő ponthalmazra vonatkozó kiegyenlítés

A hagyományos fotogrammetriában természetesen vannak eljárások, amelyek a tájékozásokat nem számítással, hanem a kiértékelő műszerek beállításával oldják meg. Ezekkel az eljárásokkal nem foglalkozom.

A tájékozó, pontmeghatározó és kiegyenlítő lépés a mai számítási eszköztárral összehasonlítható, a sugárnyaláb-kiegyenlítés segítségével egyetlen lépésben elvégezhető. A sugárnyaláb-kiegyenlítés nem veszítette el jelentőségét a digitális módszerek használatával sem.

A digitális fotogrammetria

A digitális fotogrammetria alapelvei, a digitális képek tulajdonságai

A digitális fotogrammetria az analitikus fotogrammetriához képest már nem csupán a számítási eljárásokat, pontmeghatározásokat oldja meg számítógéppel, vezérli a műszert számítógéppel, hanem a tulajdonképpeni mérőműszer maga a számítógép lett. A teljes fotogrammetriai technológia a légifényképezés kivételével a számítógépen végigvihető. Ennek első feltétele, hogy a képek digitális formában álljanak rendelkezésre. Kétféleképpen lehet megoldani ezt: közvetlenül digitálisan készülnek a képek digitális kamerák, letapogató eszközök használatával, vagy a már elkészült hagyományos filmet kell szkenneléssel digitális formára alakítani. A digitális adatnyerési eszközöket az 1. ábra szemlélteti.

A digitális fotogrammetria műveletei a digitális képfeldolgozás technikáin alapulnak, a már kidolgozott eljárások felhasználhatók, kiegészíthetők a fotogrammetria igényei szerint. A képek a számítógép számára hatalmas méretű mátrixok, ez a kiértékelő és felhasználó embertől új gondolkozásmódot követel meg.

A kiértékelés és feldolgozás műszere a számítógép, amelynek megfelelő számítási teljesítménnyel és megjelenítő valamint tároló perifériákkal kell rendelkeznie. Ezekről a következő fejezetben még lesz szó. Az alkalmazott új technika ugyanolyan pontossági feltételekkel rendelkezik, mint a hagyományos fotogrammetriai technológia, néhány számítógépes megoldás ráadásul esztétikusabb, jobb minőségű terméket produkál, mint a



1. ábra. Digitális adatnyerési eszközök.

korábbi módok. Erre kitűnő példa a képmozaikokból készült fototérképek, hiszen az analóg mozaikolás a képek közötti tónuskülönbségeket csak elfogadható mértékűre tudta csökkenteni, a zavaró eltéréseket csak tompítani volt képes, míg a digitális képműveletek segítségével észrevehetetlen illesztések készíthetők.

A digitális fotogrammetria a számítógépek egyre nagyobb mértékű használatával szinte legfontosabb törekvésének a teljes automatizálást tekinti; ez manapság már elfogadható szinten áll, noha az ember teljes „kiiktatása” még nem lehetséges.

A digitális képek jellemzői között elsőként említsük meg azok felbontását. A korszerű letapogató eszközök segítségével ma már megközelítőleg 7 μm -es pixelmérettel dolgozunk, ez a számítógépes felbontáságban 3630 dpi-nek felel meg. Ez a felbontás természetesen színes képekre is vonatkozik.

Ebből a felbontásból adódóan a képek mérete pixelben megközelíti a 32900×32900 pixeles méretet; ez több mint 1 milliárd képelemet jelent! Ekkora méretű képek tárolókapacitás-igénye tömörítés nélkül fekete-fehér képek esetén 1032 MB-ot, színes képek esetén 3096 MB-ot jelentenének. A számok a fekete-fehér tónusos képek 8 bit/pixeles, a színes képek 24 bit/pixeles radiometriai felbontásával jönnek ki. Ettől eltérő radiometriai felbontású eszközök is már a piacon vannak. A fotogrammetriai gyakorlatban azonban nem egyetlen képet dolgozunk fel, hanem képek sorát. Emiatt hatékony tárolási és kezelési technikákat, eszközöket kell alkalmazni. Ide tartoznak a tömörítési és tárolási technikák, a képpiramisok használata és a nagykapacitású tárolóelemek.

A digitális fotogrammetria eszközei

Ahogy már korábban említettem, a digitális fotogrammetria kiértékelő műszere a számítógép. A számítógéppel szemben azonban néhány követelmény megfogalmazható. Az első a számítási teljesítményére vonatkozik. A képek jellemzésekor elhangzott, hogy mekkora méretű mátrixokat kell kezelni, ez a számítógép lelkéül szolgáló processzortól nagy teljesítményt kíván. A feladatra a mai személyi számítógépekben alkalmazott gyors processzorok már alkalmasak, a 2. ábrán látható Intergraph munkaállomásban Intel Pentium II-es processzorok vannak. Természetesen a UNIX-munkaállomások számítási teljesítménye is elegendő a fotogrammetria céljaira, így készítették például az Intergraph ImageStation-t, mellyel tanszékünk is rendelkezik.

A számítási teljesítményen kívül a számítógépnek rendelkeznie kell alkalmas megjelenítési képességgel, ami megfelelő monitorméretet (27"-es), monitorfelbontást (1664 × 1248 pixel), képernyőfrissítési frekvenciát (120 Hz) és monitor színelbontást (24 bit) jelent. A nagyméretű monitor a képek megjelenítésén túl lehetővé teszi a kezelő szoftver menüinek, paraméterablakainak egyidejű megjelenítését. A geometriai és színelbontás a realisztikus megjelenítés mi-



2. ábra. Az újabb generációs ImageStation.

att rendkívül fontos, jelentőségüket nem kell külön kiemelni. A képernyőfrissítés frekvenciájának fontossága a fotogrammetriai megjelenítésnél jelentkezik, hiszen a térkiértékeléshez a bal és a jobb szem számára kell tudni a képeket megjeleníteni. A 120 Hz-es frissítés így megengedi, hogy másodpercenként 60-szor kerüljön frissítésre a bal és 60-szor a jobb kép. A hosszú kiértékelésnél ez a monitor vibrálásmentességét eredményezi, tehát nem lesz annyira fárasztó és zavaró a képernyő.

Az effektív megjelenítés érdekében a számítógépet egy grafikus gyorsítókártyával (Edge-II) is ellátták, ez a rasztermátrixok gyors kezelésében játszik fontos szerepet.

A megjelenítésen túl a következő igen fontos követelmény a megfelelő háttértároló kapacitás. A digitális képek igen nagyméretűek, ezért a számítástechnikában használt nagykapacitású eszközökre van szükség. Elsőként a whinchestereket lehet megemlíteni, melyek manapság 3 és 18 GB kapacitással rendelkeznek, azonban össze lehet rakni őket akár tornyokba is, így lényegesen nagyobb gyors írható/olvasható tárolóeszközünk van (RAID-diszkek). A CD-k 650 MB-os tárkapacitása szintén nagyon jól jön a fotogrammetriának, különösen, ha van jukebox is. Ez utóbbi eszközökből ma már 4.5 TB (nem tévedés 4500 GB!) kapacitású termék a piacon van. A CD technikájára épülő, ahhoz nagyon hasonló magneto-optikai diszkek (MO-disc) 1.3 GB-os kapacitása szintén kítűnő tárolóeszközt jelent. Az írható és olvasható lemez sebessége csak kismértékben marad el a whinchesterek sebességétől. Az archiválásnál megszokott szalagok mai 2-24 GB-os kapacitással kítűnő tárolóeszköznek bizonyulnak. Az új tárolóeszközöknél a digitális videoszalagok (DVD) jöhetnek szóba, melyek 17 GB tárkapacitással rendelkeznek. Az új lemezes tárolóeszközök, a ZIP, a JAZ és a DITTO diszkek 100 MB és 10 GB közötti kapacitással rendelkeznek.

A hardvereken kívül a tárolásnak a szoftverfeltételeit is szemügyre kell venni. Ide tartoznak a tárolási formátumok, melyek közül a JPEG bizonyult a legjobbnak; legjobban ez a formátum terjedt el a szakmában. A JPEG-mód a veszteséges tömörítési módszerek közé tartozik, azonban a paraméterek megfelelő beállításával a kiértékelő nem vesz észre adatvesztést, a tárolás viszont nagyon effektívvé válik. Igen jól megvalósítható a JPEG-algoritmus hardveresen is, így a képek tömörített formában kerülnek tárolásra,

majd a JPEG-kártyán keresztül a kibontott (kicsomagolt) kép vagy annak részlete kerül megjelenítésre. Az ImageStation rendelkezik ilyen bővítéssel.

A számítógép perifériái közül még a pontkijelölő eszközt kell megsejtelnünk. A térkiértékelésnél nem pusztán két, hanem három dimenzióban kell mozogni. Ez különleges követelményt jelent a pontkijelölő eszköztől. Igen ergonomikusra sikerült az Intergraph egere, amelynek segítségével könnyen lehet a kurzort a térben pozícionálni, sőt néhány funkciógomb számára is volt hely (2. ábra).

Munkavégzés digitális fotogrammetriai környezetben

A fotogrammetriai projekt kezdésekor elsőként a projekt tárolási paramétereit kell megadni: könyvtárnevek, fájlnevek. Logikai azonosítóval kell ellátni minden képet, képsort, és meg kell adni, hogy a képek fizikailag milyen néven kerültek tárolásra. Be kell állítani, hogy a munkavégzés során a számítógép a háttérben milyen dokumentációt készítessen – természetesen automatikusan. Ez a lehetőség a munka dokumentációjának elkészítését könnyíti meg rendkívüli módon. A riportgenerálás beállítása után a pontjelölés paramétereit követhetjük: egyezményes jeleket, azok színét kell beállítani pl. a mért pontokra, átazonosított pontokra, keretjelekre stb. A számítás szempontjából igen fontos, hogy a pontossági és konvergencia-paraméterek helyesek legyenek. Mivel a fotogrammetriai összefüggések nemlineárisak, ezért a fenti beállítások segítségével tudjuk az iterációt vezérelni. Ide tartoznak a belső és külső tájékozás számításánál a megengedett maximális változások, a lehetséges iterációs számok, a vetítési centrum koordinátáinak és a forgatási szögek megengedett toleranciái, valamint az illesztőpontok toleranciái.

A paraméterek beállításához tartozik a mérőkamarák kalibrációs adatainak bevitele is. A digitális környezetben nemcsak a keretjelek kalibrált koordinátáit kell megadni, nem csupán a főpont adható meg és korrigálható így az összes mérés, hanem a számítógép kezelni tudja az elrajzolásfüggvényeket is. Az elrajzolás kezelésére több mód is kínálkozik: lehet a radiális szimmetrikus elrajzolást, de akár képnegyedenkénti elrajzolást is figyelembe venni.

A projektkezdés lépései után következhetnek a tájékozási lépések. A digitális tájékozásoknak kétféle megoldása lehetséges: egy ill. több modell meghatározása. Az első, ritkán előforduló esetben belső, relatív, abszolút és epipoláris tájékozási lépések követik egymást. A második – gyakori – esetben a belső tájékozást követi a képkoordináták mérése, majd sugárnyalábkiegyenlítővel célszerű a külső tájékozási elemeket és az új pontok koordinátáit meghatározni. Végül ennél a módnál is az epipoláris tájékozás zárja a sort.

A tájékozások végrehajtása után a geometriai és tematikus adatgyűjtés lépései, legvégül pedig a kartografálás történik.

Nézzük végig tehát részletesebben a technológiai lépéseket!

Tájékozások digitálisan

A belső tájékozás

A belső tájékozás jelentése a digitális világban megváltozott. Az elkészült képek saját „mátrix-koordináta rendszerrel” rendelkeznek. A mátrixoknál szokásos módon egy képelem pozíciójának megadása sorának és oszlopának megadásával történik. A fotogrammetria összefüggései azonban mindig képkoordinátákra vonatkoznak, ezért a belső tájékozás során kell megteremteni a kapcsolatot a tárolási (mátrix) koordináta rendszer

és a képp koordináta rendszer között. Ez a kapcsolat egy síkbeli transzformációval megoldható: egybevágósági (rigid body), Helmert, affín vagy projektív transzformáció együtthatóit kell meghatározni a műszergyár által megadott kalibrált keretjel koordináták segítségével. A mérésnél a keretjelekre kell csak ráállni, majd leolvasni azok tárolási koordinátáit. Itt kell kihangsúlyozni, hogy a digitális fotogrammetriában a mérés gyakorlatilag a képpontok azonosítását jelenti!

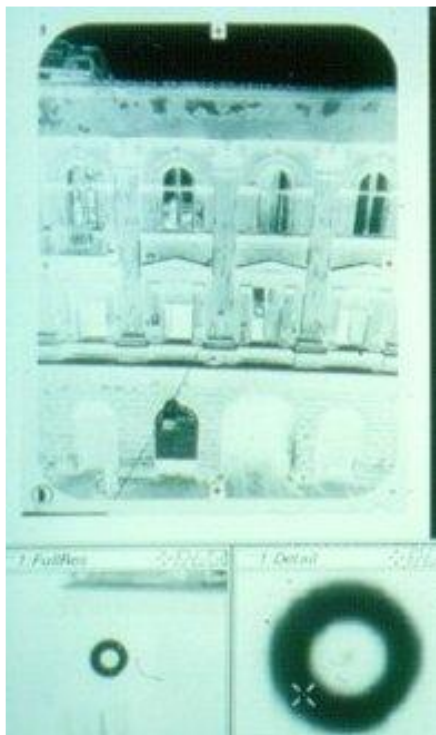
A belső tájékozás a digitális környezetben egy különleges tulajdonsággal is rendelkezik, nevezetesen minden projekt során csak egyszer kell elvégezni. Ez ellentétben a szokásos fotogrammetriai gyakorlattal, ott minden képcsere után legalább a belső tájékozást meg kellett ismételni. A digitális fotogrammetriában a képek tárolási koordináta rendszere nem változik meg, az azonosítás is ugyanúgy történik, tehát nincs szükség megismételt belső tájékozásra.

A tájékozás gyorsítása érdekében ki lehet használni a tárolásnál már említett képpiramisokat. A képpiramisok az eredeti kép rétegéből levezetett „áttekintő” rétegek (overview), melyek újramintavételezéssel állnak elő. Csökkentett felbontásuk révén kisebb helyen elférnek. Használatuk során a piramis magasabb rétegén szereplő rétegen beazonosított pixelnek a környezete jelenik meg a lejjebb található nagyobb felbontású rétegen. Ezt iteratíván végrehajtva jutunk el az eredeti felbontású képhez. Ezzel a megoldással gyorsan lehet bármely keretjel helyét megtalálni (3. ábra).

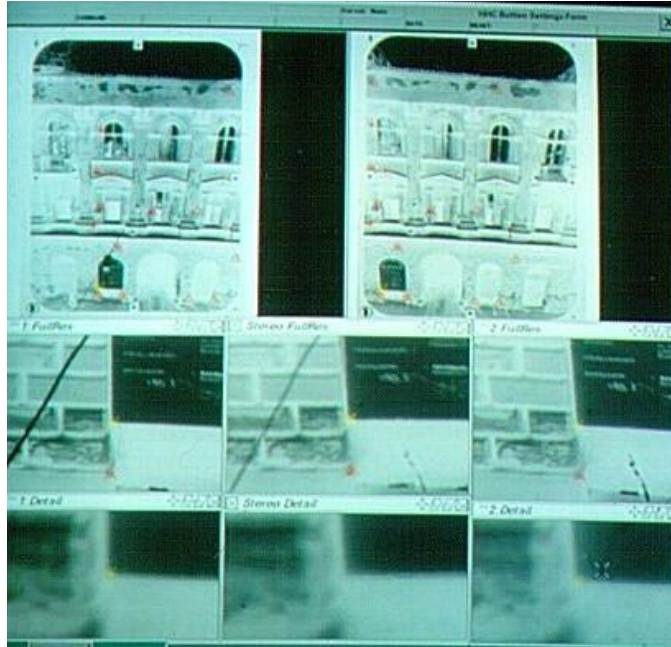
Az automatizálásra is a képpiramisok teszik a rendszert alkalmassá, mert a képillesztési (matching) technikák segítségével a piramis rétegein történt beazonosítás után eljutunk az eredeti képen látható keretjelek pontos pozíciójához.

A képp koordináták mérése digitálisan, a relatív tájékozás

A képp koordináták mérése a tájékozó modulban (4. ábra) van lehetőség. A mérés a pontok azonosításából áll. A számítógép biztosít lehetőséget az automatizálásra a már említett matching-gel. Az eljárás lényege, hogy a bal képen azonosított pont megfelelőjét próbálja megkeresni az algoritmus úgy, hogy a jobb képen a pont várható helyzetének sávjában a bal és jobb képrészlet (paraméterezhető nagyságú ablak) közötti illeszkedés mértékét maximalizálja. A felhasznált matematikai eljárások a korreláció és a legkisebb négyzetek módszere. Ezt az eljárást alkalmazzák az abszolút tájékozás számításánál is és az automatikus DDM (digitális domborzatmodell) mérésnél is.



3. ábra. Belső tájékozás a tájékozó modulban.



4. ábra. A relatív tájékozás és a pontmérés felülete.

A relatív tájékozás számításához a szükséges 6 Gruber-pont helyett többet is mérhetünk, ekkor a fölös méréseket kiegyenlítéssel vesszük majd figyelembe. A tájékozás mérésekor a minimális számú pont elérése után a rendszer kiszámítja a tájékozási elemeket, s innentől valós időben zajlik a számítás. A számításba tetszőlegesen lehet újabb pontokat felvenni illetve abból kihagyni. Az eredményesen elvégzett relatív tájékozás eredményét egy csökkentett felbontású térmodellen ellenőrizhetjük (5. ábra). Ennek részlete a tájékozó modul középső ablakaiban is látható (4. ábra).

A relatív tájékozásban az egyes modellekben meghatározott pontok átvihetők a következő, csatlakozó modellekbe is. Ezzel a lehetőséggel az egyértelmű mérés válik egyszerűbbé, s lényegesen gyorsabban végigvihető a teljes légiháromszögelés. A mért koordináták a gyakorlatban bevált sugárnyaláb-kiegyenlítő programcsomagok formátumára alakítható és ott a további számítás végrehajtható. A támogatott szoftverek között a következő ismertebbeket említem meg: BLUH, BINGO, PAT.

Az automatikus relatív tájékozásnál nagyon sok pontot választanak ki a bal képen („pontokat szórnak a bal képre”) és azok partnerét keresik meg a jobb képen. Az így meghatározott relatív tájékozás megbízható és ami a legfontosabb, emberi mérés nélkül alkalmazható.



5. ábra. A relatív tájékozás után kapott térmodell.

A digitális abszolút tájékozás és sugárnyalábkiegyenlítés

Az abszolút tájékozásnál ismételtelen azonosítani kell a pontokat, itt azonban az illesztőpontokat. A mérés történhet komparátor-üzemmódban vagy térmodellben. A főlős méréseket kiegyenlítéssel lehet figyelembe venni. A számítás összefüggései megegyeznek az analitikus fotogrammetriában szereplőkkel. Az abszolút tájékozásnál is megvan a pontátazonosítás lehetősége.

Az automatizálás érdekes módon történik: az illesztőpontokról a tónusos pontleírásokhoz hasonló képkivágatok készülnek. Ezeket a kivágatokat adatbázisban tárolják. A következő felhasználáskor az adatbázisból könnyen elő lehet venni ezeket a képdarabokat, „képmorzskákat” (image chips), majd a matching felhasználásával automatikusan fel lehet keresni ezeket a pontokat a képen és meghatározhatók azok képkoordinátái. Ilyen gyakorlatot folytat Németország, ahol körülbelül két évente lerepülnek az országot.

A sugárnyalábkiegyenlítés célja az ismeretlen külső tájékozási elemek (vetítési centrum koordinátái, forgatási szögek) meghatározása minden résztvevő légifényképre. Ezen kívül ide tartozik az új pontok koordinátáinak meghatározása is. Sok profi kiegyenlítési programcsomagban lehetőség van a kamara belső kalibrációs adatainak pontosítására, járulékos paraméterek figyelembe vételére is. Ezt nevezik szimultán kalibrációnak.

A kiegyenlítés módszerei lehetnek a legkisebb négyzetek módszere, vagy bármely robusztus kiegyenlítési mód. A különböző durvahibasűrési eljárásokkal a mérés (azonosítás) során óhatatlanul elkövetett hibát lehet kimutatni és korrigálni. A szokott és ismert data-snooping-szerű eljárások gyakran kerülnek felhasználásra ezekben a rendszerekben.

Egy különleges tájékozási lépés: az epipoláris tájékozás

A digitális fotogrammetria rendelkezik egy különleges tájékozással, nevezetesen az epipoláris tájékozással. Ennek alapja a következő megfontolás. A digitális képek, mint már többször elhangzott, óriási méretű állományok. Ezeket a képeket kell a térkiértékeléskor megjeleníteni és mozgatni. A képek mozgatásánál a leggyakoribb mozgatási irány a bázis mentén történő eltolás. Ilyen művelet szükséges például a magassági pozicionálásakor. Annak érdekében, hogy ezeket a megjelenítéskor elvégzendő mozgatásokat minél hatékonyabban lehessen elvégezni, kell az epipoláris tájékozást végrehajtani. A tájékozás alapja a projektív geometriára vezethető vissza. Lényege, hogy a már ismert külső tájékozású, általános térbeli helyzetű képet át lehet transzformálni pontosan nadír tengelyű felvétellé. A modellben szereplő mindkét képre elvégzett epipoláris tájékozás kvázi-normálsztereogrammot eredményez, így a képek mozgatása és a kiértékelés összefüggései leegyszerűsödnek. A számítás a képfeldolgozásban jól ismert újramintavétele-zéssel és a projektív geometria összefüggéseivel zajlik. A transzformáció (a tájékozás) időigényes eljárás, ezért a rendszer a batch-feldolgozás lehetőségét ajánlja fel. Így módon a tájékozás a kevésbé kihasznált éjszakai órákra is időzíthető, majd munkakezdésre rendelkezésre állnak az átalakított képek.

Adatgyűjtés a geoinformatikai rendszerek számára Geometriai adatgyűjtés

A geometriai adatok alatt elsősorban a képen megtalálható határvonalakat, épületkontúrokat, folyótengelyeket stb. tehát olyan éleket értem, melyek a térkép geometriai tartalmát képezik. Ezeket a szokásos fotogrammetriai kiértékeléssel lehet meghatározni. Ezek az adatok a mai rendszerekben már többféle módon támogatva gyűjthetők.

Az első lehetséges támogatást a számítógépes rajzoló- és CAD rendszerek jelentik. A számítógépes tervező rendszerekre épülő kiértékelő környezet rendelkezik azok funkcionálisával, rugalmasságával és a nagypontosságú, ma még szokatlan geometriai elemek (ívek, spline-ok, felületek stb.) kiértékelését is nyújtják. A geoinformatikai rendszerek között van olyan, amely szintén CAD-re épül, így logikus, hogy a fotogrammetriai technológiában szereplő térinformatikai adatgyűjtés ugyanazt a platformot használja. A két rendszer kombinációja révén a direkt adatgyűjtés is megvalósítható: a geometriai adatok kiértékelése során a GIS-ben szükséges egyéb attribútumadatok mezői is feltölthetők. Nyilvánvalóan azok az információk gyűjthetők ilyen módon, amelyek a képen közvetlenül látszanak (pl. utak sávjainak száma, burkolat típusa).

Az adatgyűjtési lépés eredménye a vektoros állomány és ugyanakkor az adatbázistáblák is fel vannak töltve.

A különféle határvonalak megkeresését, felismerését a digitális képfeldolgozás különféle technikai segítik. Ide sorolhatók a konvolúciós és nem-konvolúciós szűrők (élkiemelő szűrők, pl. Sobel), textúraoperátorok és bizonyos éldetektáló transzformációk (pl. radon-transzformáció). Ezeknek a technikáknak az alkalmazásával megkönnyíthető a kiértékelés folyamata. Emellett egyre nagyobb jelentősége van a mesterséges intelligenciának, hiszen a szakértői rendszerek, szemantikus hálózatok felhasználásával a terepi objektumok közötti kapcsolat felderíthető, ezek az információk a térképezésnél kapóra jönnek. Noha ezek az eljárások ma még csak a kísérlet stádiumában vannak, a jövőben egészen biztosnak látszik, hogy ezeknek az eljárásoknak a teljes kidolgozásával a még nagyobb fokú automatizáltság realizálható.

A geometriai adatgyűjtés, kiértékelés eszközei igen jól használhatók a térkép- és adatbázis-felújításnál is. Az elavult, felújítandó térkép és a friss légifénykép egymásra vetítésével a különbség könnyen megjeleníthető és kiértékelhető. Hasonló módon ellenőrizhető az adatbázis tartalmának aktualitása.

A geometriai adatgyűjtésnél kell megemlíteni a tónusos termékek előállítását. A képtálcaképzéssel, differenciális képtálcaképzéssel (ortofotótechnika) készített termékek raszteres formátumban, képként ábrázolják a területet (6. ábra). Ezek a raszteres térinformatikai rendszerekben bemenő réteg lehet. A hibrid rendszerek egyaránt képesek kezelni és feldolgozni a raszteres és vektoros állományokat.



6. ábra. Digitális ortofotó (részlet).

Tematikus adatgyűjtés

A tematikus adatgyűjtés legegyszerűbb, hagyományos módja a fotointerpretáció. A fotointerpretáció kivitelezhető a digitális fotogrammetriai környezetben is, azonban nem ez a ma leghatékonyabb eljárási mód.

A digitális képfeldolgozásban alaposan kidolgozott és bejáratott képosztályozási módszerek vannak. A következő csoportokat lehet megkülönböztetni:

- a matematikai statisztikán alapuló osztályozási módszerek: ide tartoznak a legkisebb távolságon alapuló osztályozás (minimum distance), a tematikus osztályok egyszerű leírásával operáló box-módszer, a valószínűségi sűrűségfüggvény segítségével döntő maximum likelihood (legnagyobb valószínűség) módszer, az erre épülő Bayes-döntés. Számos további megoldási módot lehetne még megemlíteni; ezeknek a módszereknek is több alfaja alakult ki. A legismertebb és legjobban bevált módszer a legnagyobb valószínűség módszere.
- a mesterséges intelligencián alapuló osztályozási módszerek: az ide tartozó eljárások közül a mesterséges neurális hálózatokkal operáló osztályozók, a fuzzy logikára épülő osztályozók és ezek kombinációjából születő neuro-fuzzy döntéshozók sorolhatók fel. Az ebbe a kategóriába tartozó szakértői rendszereket szívesen használják más típusú osztályozókkal együttműködésben.
- a digitális képfeldolgozás technikáira épülő eljárások: ezek közül a képszegmentálási technikákat és a különböző címkézési (region labelling) módokat lehet kiemelni.



7. ábra. Felszínborítottsági térképezés (részlet).

A tematikus adatgyűjtési módszerek egyik igen gyakori alkalmazása a felszínborítottsági térképezés. Ennél a feladatnál kiindulási képként légifényképeket és űrfelvételeket lehet felhasználni. A már felsorolt képosztályozási módszerek segítségével (majdnem) automatikusan lehetséges az adatállományt előállítani. Némi terepi utómunka, ellenőrzés után elkészül a végtermék, aminek részlete a 7. ábrán látható.

Összefoglalás

A korszerű számítástechnikai eszközöknek – gyors processzorok, nagyobb operatív memória, alkalmas háttértárak és megfelelő megjelenítő elemeknek – köszönhetően a fotogrammetria történetének új fejezete köszöntött be. A digitális fotogrammetria a teljes képkéértékelési és térképezési folyamatot digitális formában valósítja meg. Ugyanakkor a közös, általában CAD-platform alatt futó fotogrammetriai és térinformatikai alkalmazások közötti átjárás, „kölcsonös segítségnyújtás” is új lehetőségeket jelent az adatgyűjtő szakemberek, közvetve pedig minden térinformatikát használó ember számára.

A kidolgozott tájékozási eljárások nagymértékben automatikusak, jórészt operatíván is használható módszerek. A mindennapi gyakorlatban már bizonyítottak, ezek óriási könnyebbséget és munkaidő rövidülést eredményeznek.

Az automatikus kiértékelés, automatikus képfeldolgozás intenzív fejlesztés alatt áll, a közeljövőben bizonyosan elkészülnek ezen eljárások is. Az automatikus osztályozási módszerek végső kifejllesztése után az alak- és objektumfelismerés, a közöttük fennálló kapcsolatok számítógépes felderítésével a fáradtságos emberi kiértékelés a múlté lesz.

TÉRINFORMATIKAI FELADATOK ÉS A GYAKORLAT OBJEKTUM-ORIENTÁLT KÖRNYEZETBEN

*Németh András**

Bevezetés

Egy nagyvállalat megfelelő működése csak a vállalatot alkotó számos szervezeti egység összehangolt és egymáshoz kapcsolódó tevékenységével biztosítható, melyek egységes egészként működnek együtt. A vállalat szervezeti egységei által végrehajtandó feladatok összetettségük, sokrétűségük és bonyolultságuk, illetve néha a változó irányítási folyamatok következtében, igen nagy és körültekintő munkát igényelnek. A vállalat, illetve szervezetei megfelelő működéséhez nagy mennyiségű és sokrétű információ szükséges. A jelentős térbeli kiterjedéssel bíró vállalatoknál, iparterületeknél ezen információkon belül - az alfanumerikus adatok mellett - nagyon lényeges a térbeli elhelyezkedés, a térbeli kapcsolatrendszer is. A vállalat szervezeteinek önálló működésükből következően nagy szükségük van megbízható és gyors információkra, melyek mennyisége és fajtái csak korszerű számítógépes rendszerekkel kezelhetők megfelelő módon. Az alfanumerikus és a térbeli referenciával rendelkező adatok egységes információs rendszerbe történő integrálására napjainkban a térinformatika kínálja a legkorszerűbb eszközöket.

A térinformatika az információs rendszerek azon körének gyűjtőfogalma, melyek felvannak készítve földrajzi (térbeli) adatok kezelésére (bevitelére, tárolására, karbantartására, lekérdezésére és megjelenítésére) is. A térbeli és az alfanumerikus adatok ötvözése, lehetővé teszi az adatok térbeli összefüggéseinek tárolását, a közöttük lévő kapcsolatrendszerek feltárását, elemzését, modellezését és tervezését is. A legfejlettebb térinformatikai rendszerek lehetővé teszik, hogy az adatok és térképi objektumok ne csak önmagukban legyenek tárolva, hanem a köztük fennálló, bennük gyökerező törvényszerűségek, „szabályok” is velük együtt az adatbázisba kerülhessenek. Ezen rendszerek a felhasználó számára nagy segítséget jelentenek, mivel kiküszöbölik a helytelen használatot és az adatállományt állandóan konzisztensen tartják.

A térinformatika alkalmazása lehetővé teszi, hogy a különböző méretarányú térképeket egységes rendszerbe foglaljuk, ezáltal egy meghatározott méretarányban elvégzett karbantartás során a megváltozott információ automatikusan kerül át más méretarányokba is.

A térinformatikai rendszerben az adatok attribútumok és grafikus (térbeli) adatok. A grafikus adatok tereptárgyakat reprezentálnak pont (jel), vonal, sokszög képében. Egységes adatbázisba szervezve a grafikus adatok és az attribútumok együttesen képviselik az egyes terepi objektumokat. Az attribútumok nemcsak karaktersorozatokat vagy numerikus értékeket, hanem képeket, légifotókat, műszaki rajzokat, dokumentációkat, videofelvételeket is lehetnek.

A térinformatikai információs rendszerek a valós világ térbeli viszonyait geometriailag izomorf modellekkel képezik le. (Egyszerűbben szólva a térinformatika olyan adatok számítógépes kezelését jelenti, amelyek térbeli objektumokat, eseményeket vagy jelenségeket írnak le.) Az objektumok és viszonyaik vizsgálata, különféle megjelenítése, valamint azonosítási és vetítési módszerek kezelése a térinformatika feladata. Különösen

**Paksi Atomerőmű Rt. Általános Műszaki Igazgatóság
Építészeti Főmérnökség Építészeti Műszaki Osztály
nemeth-a@npp.hu*

alkalmas eszköz emiatt a térbeli keresések, analízisek végrehajtását igénylő elemzések, illetve térbeli nyilvántartási jellegű feladatok megoldására.

A grafikus adatok kezelése kiegészülhet hálózatkezelési és elemzési funkciókkal, így a térinformatika a számítástechnika legújabb eredményeit magába ötvözve olyan eszközöt kínálhat a felhasználónak, mely a térbeli helyzeten túl a hálózat belső törvényszerűségeit is tartalmazza, lényegesen megkönnyítve a rendszer használatát, biztosítva az adatkonzisztenciát, valamint jelentősen lecsökkentve a hibalehetőségeket az adatbevitel és a karbantartás során.

A térbeliség kezelése a folyamatok jobb modellezését az operatív döntések alátámasztását szolgálja. A térinformatikai adatokat más adatbázisokkal összekapcsolva komplex elemzéseket végezhetünk, döntés-előkészítő rendszereket hozhatunk létre, észlelőrendszerrel összekapcsolva pedig monitoring rendszer előállítására nyílik lehetőség.

Azzal, hogy az adatok nagy részét helyhez köti és kezeli a közöttük fennálló térbeli kapcsolatokat a térinformatika döntő elemévé vált egy iparterületi informatikai struktúra megvalósításának, távlatokban pedig kiválthatja a hagyományos térképi és szöveges nyilvántartások jelentős részét.

Térinformatikát érintő adatok és információk köre, az adatszolgáltatás módja

Ipari nagyüzemek részére mint más térinformatikát felhasználó esetében is fontos, talán a legfontosabb igény a hiteles adatszolgáltatások biztosítása különböző tartalmi és formai szempontok szerint. Ezért a szükséges műszaki adatok és információk körére a legfontosabb tulajdonságjelző fogalom a hitelesség. A meghatározás a térinformatikai adatbázist felépítő adatok műszaki minőségéből következő jogi kategória, amely azt fejezi ki, hogy az adatok és információk keletkezése, bővülése, annak karbantartással történő változása ellenőrzött dokumentált adat. Vagyis szükséges az adott objektumot reprezentáló adatok "életének" dokumentálással történő minősítése a műszaki felhasználás biztonsága érdekében. Csak az a térinformatikai adatbázis tekinthető hitelesnek, amely biztosítani tudja az üzembehelyezés kezdetétől az egyes objektumok szintjéig azok tervezői, megvalósulási, karbantartási, pénzügyi, bemérési, tulajdonosi, üzemeltetői-műszaki, stb. dokumentációkkal, adatbázisokkal való folyamatos összhangot, vagy kapcsolatot. Ebben az értelemben a hitelesség az a jogi kategória, amely minősített adatok ISO-9000 minőségbiztosítási szabványok szerinti létének a térinformatikai adatbázisban való megjelenítését jelenti, és nem azonos a hitelesítés fogalmával.

Ipari üzem működéséhez milyen adatok és információk szükségesek, amelyek érintik a térinformatikát ?

Hiteles, minősített adatok:

- ① Üzemi térkép, Közmű- és szakági térkép, Áttekintő tematikus térkép (egyedi igények alapján)
- ② Tervezési térkép, vezérterv vagy general plan (genplan), Tervezett létesítmények (épületek, építmények), Tervezett közmű rendszerek
- ③ Műszaki adatok, anyag, átmérő, szélesség, hosszúság, magasság, stb.
- ④ Technológiai rendszer és egyed azonosító, Alfánnumerika (betű és szám azonosító)

Ezen adatok milyen módon és milyen esetekben szükségesek az ipari üzem számára?

Az adatszolgáltatásnak a napi feladatokat és a nem tervezett események műszaki adategényeit kell ellátnia mégpedig gyorsan, és hatékonyan. Lehetőséget kell biztosítani arra, hogy a megtervezhető adatszolgáltatási fajtákhoz sémákat lehessen a felhasználónak

előre definiálható feltételekkel megadnia az összes előforduló formátumban, digitális, nyomtatott vagy képernyőre küldve.

- ❶ Napi feladatok ellátása, Üzemeltetés, karbantartás, Tervezés
- ❷ Havarria vagy baleseti helyzet

A térinformatika feladatai a Paksi Atomerőműben

Az egyes pont alatt ismertetett adatigények meghatározzák a térinformatikai feladatokat.

- ❶ Hiteles adatok létrehozása, karbantartása
 - Digitális üzemi és szakági térképi karbantartása
 - egyedek v. objektumok meghatározása (rendszerterv)
 - geometriai helyzet numerikus felméréssel
 - meghatározott struktúrájú digitális térképek készítése
 - Objektum szintű attribútum (tulajdonság) adatok összegyűjtése
 - helyszíni felmérés adatai és információi (műszaki adatok, bemérő és bemérési jzk. adatok)
 - megvalósulási tervdokumentáció azonosító (tervező, tervfázis és tervdokumentáció)
 - jogi működtető adatai (tulajdonos, üzemeltető, karbantartó)
 - beruházási jelleg azonosító (kapcsolat a pénzügyi rendszer felé)
- ❷ Adatszolgáltatás biztosítása
 - Társ szervezetek igényei
 - papíron térképi formában (kiegészítő adatlisták)
 - on-line adatbázis elérés (hozzáférési jogosultság szerint)
 - Külső tervezői igények
 - digitális térkép szabvány szerinti formátumban
 - objektum adatok digitális formában
- ❸ Adatbázis kapcsolat más műszaki rendszerekkel
 - MAAB az IRP keretében

Előzmények

A Paksi Atomerőmű Rt. területén a részvénytársaság feladatainak ellátásában a térinformatikai alkalmazás kifejlődése és annak folyamatos bevezetése már az 1-4 blokki nagyberuházás befejezése előtt, 1982-ben elkezdődött. Ez a tevékenység először szinte kizárólagosan csak az üzemi terület térképi adatainak digitális formában történő tárolását jelentette azzal a céllal, hogy megbízható tervezési alaptérképet biztosítson a beruházás generáltervezői feladatainak ellátásához. A beruházás befejezése után ez az igény visszaszorult és egyre nagyobb szükség lett a már működő udvartéri közműrendszerek és létesítmények hiteles, a változásokat folyamatosan követő digitális nyilvántartására. A feladat végrehajtása az 1-4 blokki nagyberuházás befejezésétől folyamatosan az építészeti szakterület keretén belül folyik a geodéziai feladatok egységes ellátását biztosító Geodéziai Csoport tevékenységei között.

A térinformatika gyakorlati bevezetésére rendszertervek készültek, amelyek mindig részletesebben kidolgozott tartalommal adtak támpontot az előrelépés technikai és gazdasági követelményeinek biztosításához.

Az alábbi fejlesztési dokumentációk születtek meg:

A Paksi Atomerőmű geo-alapadataira épülő egységes geodéziai információs rendszer kiépítési lehetőségei az Intergraph Microstation rendszerben.

(Megvalósíthatósági tanulmány, Műegyetem Technikai Egyesület 1990.)

- A Paksi Atomerőmű geodéziai adatbázis alapú térinformatikai rendszerének kialakítási lehetőségei. (Rendszerterv, GEOMATIK Kft. 1993-1994.)
- Paksi Atomerőmű Rt. térinformatikai rendszer. (Rendszerterv, FTV Rt. 1995.)
- A PA Rt. udvartéri térinformatikai információs rendszere (1. ütem - Rendszerterv, Geoview Systems Kft. 1996.)
- A PA Rt. udvartéri térinformatikai információs rendszere (2. ütem - Rendszerterv, Geoview Systems Kft. 1997.)

Az alkalmazásra került programokat minden esetben a gazdasági és a külső környezet által nyújtott lehetőségek határozták meg. Ennek megfelelően a kezdeti időkben a Contraves cég GRADIS-2000 rendszerén indult meg az üzemi térképek első digitalizálása. Az ekkor elkészült 1-4 blokki üzemterületi digitális térképek felhasználhatósága csak a méretarányosan kirajzoltatott üzemi térképekre és koordináta listákra korlátozódott. A munkaállomások Budapesten az ERŐTERV és BME Geodéziai Intézetében kerültek elhelyezésre, ezért ez csak „off-line” felhasználás volt az Atomerőmű Rt. részéről. A digitális térképi adatok helyszíni igénye kikényszerítette a már elkészült digitális térképi adatállománynak az erőmű területére történő átvételét és annak a helyszínen való folyamatos karbantartását, illetve bővítését. Az akkor még érvényes COCOM szigorítások miatt 1988-tól a hazai fejlesztésű és PC-s környezetben futtatható ITR (Interaktív Térképszerkesztő Rendszer) program 1.0 és később 2.* verziói segítségével történt a konverzió és az adatkarbantartás. Az ITR szoftverkörnyezet korlátai és szolgáltatási hiányosságai az erőmű közműrendszereinek nyilvántartásában már a kezdetektől fogva jelentkeztek. A program azonban mindenképpen alkalmas volt arra hogy a digitális térképi állomány helyszíni kiegészítő mérésekkel folyamatosan javítható és bővíthető legyen. A továbblépésre a lehetőséget az 1990-ben beszerzett Intergraph MicroStation PC szoftver 3.3 és 1992-ben upgrade-elt 4.* és 5.0 verziói jelentették, már a COCOM tilalom eltörlését követően. Az idők folyamán az alkalmazott operációs rendszer a DOS 3.2 verziótól a 6.22 verzióig keresztül a Windows Worksgroup 3.11 és NT 3.5 verzióig fejlődött, négy grafikus munkahely hálózatban való alkalmazásával. A digitális térképi feldolgozás 1996-ra már elérte azt a szintet, hogy elkezdődhetett a részletes szakági térképek elkészítése és a legfontosabb azonosító és műszaki adatok összegyűjtése után, a grafikus és alfanumerikus információk térinformatikai rendszerbe illesztése. A feladatot pályázat után a megvalósításra a PA Rt. 1996 augusztusában kötött szerződéssel a Geoview Systems Kft nyerte el, melynek megfelelően a rendszer adatfeltöltésére 1997-98-ban is újabb alrendszerek fejlesztésével folytatódott a két cég közötti együttműködés.

A rendszer első ütemének átadása óta eltelt idő 1998-ban számos olyan változást hozott, mely a felhasználók üzemeltetési tapasztalataival együtt szükségessé és lehetővé tették az udvartéri térinformatikai rendszer újabb változatának elkészítését:

1. A fejlesztésre és futtatásra használt alapszoftver új verziója került piacra (GreenLine 5.0), melynek fő újdonságait az alábbiak jelentik:
 - Windows NT-s változat
 - jogosultságkezelés
 - új felhasználói felület
 - több adatbázis egyidejű kezelése

- adatintegráció szabványos felületeken keresztül (OLE, DDE, ODBC)
 - gazdagabb CAD-es funkciók
 - több formátumot támogató export-import varázsló
2. Elkészült az atomerőmű Műszaki Alapadatbázisának terve. (MAAB)
 3. Kiadták a földhivatallal való adatcserére vonatkozó szabványt. (DAT1)
 4. Az adatfeltöltés során pontosodott a rendelkezésre álló adatok köre.
 5. Változott a hardware-software környezet.

A térinformatikai adatbázis létrehozásában résztvevők áttekintése:

Telephely területét érintő üzemi térképek digitalizálása.

- ① Generáltervező ERŐTERV ⇒ ETV-ERŐTER Rt. megbízására
 - ★ BME GI, ★ FTV, ★ PGTV ➤ 1982-1988 GRADIS 2000
- ② Üzemeltető Paksi Atomerőmű Vállalat (PAV ⇒ Paksi Atomerőmű Részvénytársaság) PA Rt megbízása alapján
 - 1986 -1989 ITR 1.0 FÖMI DOS 3.3, ★ PGTV, ★ FÖMI
 - 1993 ★DIGICART Kft ITR 2.0, 2.2, 2.3 DOS 4.0, 5.0, 6.22
 - 1998 ★DIGICART Kft ITR 2.5 + Raszter modul NT 4.0
 - 1987 - 1995 INTERGRAH MicroStation 3.3
 - 1990 - 1998 MS 4.0, MS 5.0
 - 1997 - BENTLEY MicroStation 95, ★GEOMATIK Kft. ★PGTV⇒PGT Kft.
 - ★ FTV ⇒FTV Rt., ★ Geodézia Rt., ★ Geodézia Kft.

Az alkalmazott térinformatikai rendszer céljai és meghatározása

A térinformatikai rendszer legfontosabb célja az Atomerőmű üzemi és telephelyi területének hiteles térkép alapú nyilvántartásai digitális formában történő kezelésének biztosítása úgy, hogy kapcsolódni tudjon az erőműben jelenleg alkalmazott digitális térképkészítési technológiához, valamint a rendszer kezelésében lévő adatbázis szabványos felületeken keresztül alkalmas legyen a Részvénytársaság informatikai struktúrájába való integrálódásra. A térinformatikai rendszer többfelhasználós üzemmódban, az objektumorientált adatbázis-kezelés mellett biztosítsa a különböző jogosultságú felhasználók egyszerű, gyors és szelektív adatlekérdező és adatkarbantartó feladatainak végrehajtási lehetőségét. Az adatkarbantartás és adatszolgáltatás során a térinformatikai rendszer támogassa az alábbi tevékenységeket:

- szakági közműrendszerek nyilvántartása és folyamatos karbantartása hiteles adatdokumentálással
- tervezési alaptérkép biztosítása hagyományos térképi és digitális formában
- különböző tervezési fázishoz tartozó tervek hagyományos és digitális adathordozón történő fogadása, valamint a dokumentáció azonosítók tárolása
- szakági-, egyesített közmű-, valamint egyedi céltérképek készítése hagyományos és digitális formában.

A rendszer definíciója

Az udvartéri térinformatikai nyilvántartó rendszer a Paksi Atomerőmű Rt. üzemi területén található közművek, cső- és kábelhálózatok adatainak nyilvántartását, illetve kezelését végző többfelhasználós, térképalapú, hálózati műszaki nyilvántartási rendszer, mely főként a részvénytársaság Általános Műszaki Igazgatóság, Építészeti Főmérnökség,

Építészeti Műszaki Osztály Geodéziai Csoportjának a telephely és az udvartér területét érintő tervezést és koordinálást biztosító adatszolgáltató munkáját támogatja.

Távolabbi cél az adatbázis feltöltését követően a szakértői rendszerként történő hálózatos hozzáférésű üzemeltetés megvalósítása.

Objektum-orientált technológia koncepciója

Objektum-orientáció = absztrakt adattípus + öröklődés + objektum azonosság
(Khoshafian és Abnous 1992, Nikl 1995)

1. Absztrakt adattípus és enkapszuláció (beágyazottság):

Olyan halmaz írja le, amelyek ugyan úgy vannak ábrázolva és ugyan azok a tulajdonságai. Az objektum-orientált nyelveken, amelyek támogatják az absztrakt adattípusokat a domináns komponensek az objektumok, vagy az adatok. Világos különbség tehető az absztrakt adattípusok külső illesztési felülete (interface) és annak belső megvalósítása (implementation) között. Az absztrakt adattípus belső megvalósítása rejtett, ezért az adattípus különféle változatai az alkalmazott felhasználói felület változtatását nem igénylik.

Az o-o programnyelvek az absztrakt adattípust osztályokon keresztül valósítják meg. Az osztály olyan mint egy gyár, amely olyan adatmegjelenéseket készít, amelyeknek azonos a struktúrája és a "viselkedése". Az osztálynak neve van, amelyhez egy művelet együttes tartozik az egyedek manipulálására és ábrázolására. Azokat a műveleteket, amelyek az osztály egyedeit manipulálják módszereknek nevezzük. Az egyed állapotát, vagy képviselőjét az egyedváltozóban őrzik. A módszerek üzeneteket küldenek segítségül az egyedek számára. Az objektumoknak (egyedeknek) küldött üzenetek hasonlóan a hagyományos programnyelvek eljárás meghívásához, de itt az üzenetküldés sokkal dinamikusabb.

Bizonyos rendszerekben lehetőség van paraméteres osztályok létrehozására. A paraméteres polimorfizmus absztrakt osztályok létrehozása típus paraméterekkel: pl. Set[T] paraméteres osztály képviseli a Set[integer], vagy Set[Person] osztályokat. A létrehozott Set[T] osztály megosztva használja a paraméteres osztály programkódjait. A paraméteres polimorfizmusnak a megosztott programkód-használat a legfontosabb előnye.

Az absztrakt adattípusizálás lehetővé teszi összetett, bonyolult programrendszerek alkotórészeinek a létrehozását: az osztályokat. A programozás modularizálható és kiterjeszthető. Egy sokkal természetesebb bemutatása lehet a valós világ problémáinak; a meghatározó elemek az objektumok és nem az eljárások.

2. Öröklődés (inheritance):

A második meghatározó alapja az objektum-orientációnak. Az öröklődés lehetővé teszi az osztály viselkedésének (művelet, eljárás stb.) és megjelenítésének (egyedváltozó, tulajdonság stb.) átvitelét az osztályoktól.

Öröklés programkód-megosztására a programmodulok között, objektum adatstruktúrára megosztásra a megjelenítésben, az archiválás specializálására.

3. Azonosság (identity) és polimorfizmus:

A harmadik meghatározó alapja az objektum-orientációnak. A hierarchikus szerkezet objektum-orientált kódjainak öröklése és támogatás kiterjesztése újbóli kódfelhasználásra. Egy tetszőleges gráf-struktúrájú objektumtérben az azonosság funkció biztosítja az alkalmazás objektumainak vagy egyedeinek megkülönböztetését. Az azonosságot a programnyelv memória címekkel valósítják meg. Az adatbázisban az azonosságot egyedi azonosító kulcs biztosítja. A használt felhasználó-specifikus nevek a nyelvben és az

adatbázisban egyenlők az objektumok nevével. Ezek az un. sémák kompromisszumot kötnek az azonossággal, állandóan kapcsolódnak az objektumhoz függetlenül annak változásától, helyétől és címétől.

Összefoglalva mi az objektum-orientáció ?

Olyan szoftvermodell, amely lehetővé teszi, hogy összetett egyedi rendszereket komponensekből gyártsunk.

Az objektum-orientáltság új technika, mely a szoftveripar összes potenciális előnyét magában hordozza. Az ily módon fejlesztett rendszerek kisebbek, több funkciót tartalmaznak és könnyebb őket karbantartani. Ez a fejlesztés és a komplex rendszer karbantartásának költségeit csökkenti.

Az objektumorientált megközelítés fő jellemzői: beágyazottság, öröklődés, polimorfizmus.

Beágyazottság: Egy adatszerkezetnek, teljes viselkedésével együtt való “fekete doboz”-ba rejtése. Ez magába foglalja az adathozzáférést és biztosítja az alkalmazás látásmódjától függetlenül az adatokon ugyanazokat az adatbeviteli, - megjelenítési és frissítési eljárásokat.

Öröklődés: a rendszerépítés alapvető módja az alapelemekből és azok viselkedéséből kiindulva. A származtatott objektumok öröklik a viselkedést és beolvasztják ezeket egy komplex öröklött viselkedésbe.

Polimorfizmus: az üzenet értelmezésének módja az aktuális üzenetküldési környezetben. Ez analóg az emberi kommunikáció természetével. Az objektumnak nem kell ismernie, hogy kinek küldi az üzenetet, elég ha annyit tud, hogy van több különböző objektum, amely képes reagálni az adott üzenetre.

Az objektumorientált megközelítés első két jellemzője a kompakt és természetes gondolkodást modellező GIS alkalmazás megvalósítását és karbantartását segíti, a harmadik (polimorfizmus) leegyszerűsíti a bonyolult problémák megfogalmazását (Kumert 1997).

Az MSZ 7772-1 szabvány szerinti fogalom meghatározások:

objektum (object)

A valós világ konkrét tárgyának, dolgának vagy jelenségének adatbázisban leképzett és ismeretekkel leírt reprezentációja. Szinonimái: egyed, elem.

objektumféleség (object sort)

Az ismeretekkel leírandó tárgyak, dolgok vagy jelenségek absztrakt megjelölése. Szinonimája: egyedtípus.

objektumok azonosítása (object identification)

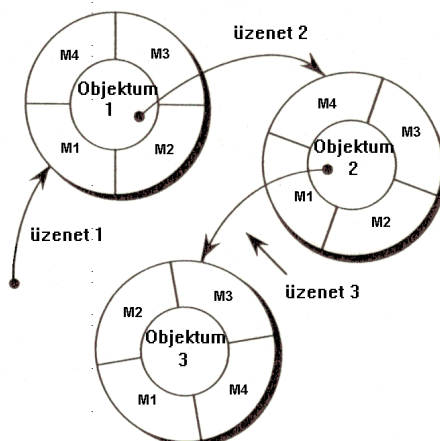
Annak biztosítása, hogy a pontszerű objektumoknak, a vonalszerű objektumok töréspontjainak és a felületszerű objektumok határpontjainak (általában: a részletpontoknak) természetbeni helye a részletpont tőrési osztályának és rendűségének megfelelő pontossággal megismételhetően fellelhető legyen. (A helyszínen való beazonosíthatóságra utaló definíció).

objektumok kiterjedése (object extension)

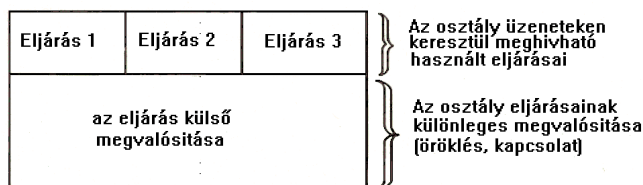
Az objektumok egy lehetséges tipizálása. Eszerint vannak pontszerű, vonalszerű és felületszerű objektumok.

objektumosztály (object class) és objektumcsoport (object group)

Az objektumok eljárásokkal kommunikálnak, vagy üzeneteket küldenek egymásnak (1.a ábra). Az objektumosztály az összes eljárást tartalmazza az objektumegyedek előfordulási eseteire és azok létrehozásának körülményeire (1.b ábra).



(a) az objektumok üzeneteket küldenek egymásnak



(b) Osztályok

1. ábra. Objektumok kommunikációja és objektum osztályok.

Valamely adatbázisba tartozó objektumok (közös tulajdonságok alapján) történő csoportosításának különböző szintjei. Az objektumosztály az általánosabb szintet képviseli, benne kevesebb az objektumok meghatározó közös tulajdonságainak száma, mint az objektumcsoportban.

modell (model)

A valóság leegyszerűsített és absztrakt mása, amely a valóság egy részének a vizsgált szempontok szerinti tulajdonságait, törvényszerűségeit mutatja be, annak érdekében, hogy azokat következtetések levonására alkalmassá tegye.

modellezés (modelling)

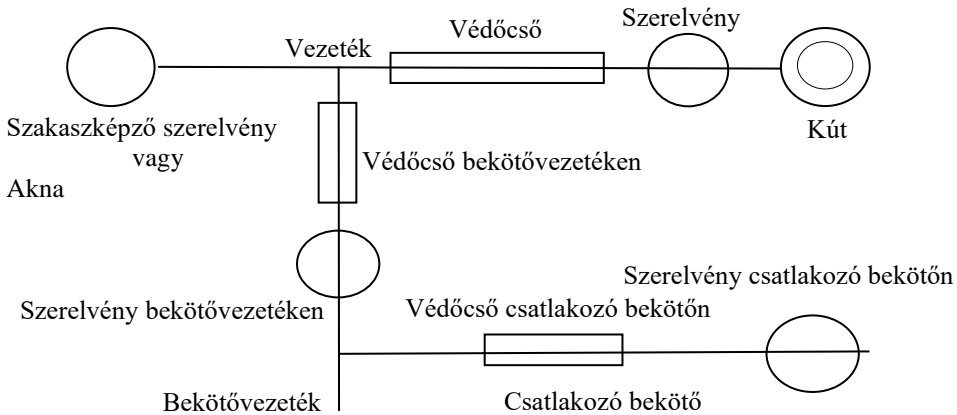
A valós világ adatainak absztrakcióval történő leírási folyamata.

Egy általános szakág bemutatása (víválózat)

A térinformatikai alkalmazás fejlesztőeszköze, a GreenLine ADS, saját adatbáziskezelővel rendelkezik. Az alkalmazás adatbázisa a szöveges és a grafikus adatokat együtt, integráltan tartalmazza. Az objektumorientált, előre megtervezett szabályrendszer is magába foglaló alkalmazás jellemzője, hogy az adatok módosítása csak bizonyos

szabályok által meghatározott folyamatok szerint történhet, így a rendszer mindig csak ennek a szabályrendszernek megfelelő információkat tartalmaz. Maga a rendszer kétféle szabályt tartalmaz. Ezek a rendszerben előforduló elemek közötti kapcsolatokra, illetve az elemek attribútumaira vonatkoznak. A rendszerben előforduló elemek hierarchikusan, meghatározott topológia szerint épülnek fel. Az elemek egymáshoz kapcsolhatóságának a feltételeit az elemek közötti kapcsolatokra érvényes szabályok határozzák meg (2. ábra).

Pl. új vezeték felvitelénél először a szerelvény, ahova a vezeték be fog csatlakozni, utána maga a vezeték nyomvonala. Karbantartásnál automatikusan megkeresi a kapcsolatban lévő objektumokat és átvezeti a szükséges változásokat, pl. szakasképző szerelvény mozgatása a hozzá kapcsolódó gerincvezeték, szerelvények, védőcsövek és bekötési pontok együttes mozgatását eredményezi. Grafikus adatbevitelnél automatikusan megkeresi a kapcsolható objektumot az adatbázisban.



2. ábra. Vízhálózat alrendszer objektumai.

Az Erőmű térinformatikai rendszerének adathalmaza különböző információkból állhat össze. Az információk nagy részét a GreenLine-os adatbázis(ok) tartalmazzák, de a rendszer objektumaihoz szabványos felületeken keresztül más adatok is hozzárendelhetők.

Az alkalmazás adatbázisa a következő adatokat tartalmazza:

1. grafikus primitívek

Olyan grafikus információk, melyekhez nem tartoznak szöveges attribútumok. Ilyen adatokból áll össze például az alkalmazás alaptérképi része, de a közmű-alrendszerek is tartalmaznak olyan rétegeket (pl. feliratok), melyek grafikus primitíveket hordoznak. A vízhálózatot képező elemek azonosítói, felirataik, műszaki és magassági adatai, ezek mutatóvonalai, valamint az alrendszer esetleg még hozzátartozó egyéb adatai.

2. grafikus objektumok

Olyan objektumok melyeknek szöveges és grafikus attribútumai is vannak. Ilyenek például a közműhálózatok elemeinek objektumai. A vízhálózatot képező elemek (akna, kutak, szerelvények, vezetékek, és védőcsövek)

3. nem grafikus objektumok

Csak szöveges attribútumokkal rendelkező objektumok, például az ingatlan-nyilvántartás objektumai és a kódszótárak. Az alrendszer által használt kódtáblák.

4. műszaki rajzok

A közműhálózatok egyes elemeihez kapcsolt rajzok, melyek a térinformatikai rendszerben külön térképekként vektoros formában kerülnek tárolásra, s lényegében grafikus primitívekből épülnek fel. A vízhálózatról készült különböző műszaki rajzok.

A térinformatikai alkalmazás alrendszerei

A térinformatikai rendszer felöleli az összes olyan szakterületet és alrendszereket, amelyek a telephely és az udvartér területét érintik. Kialakításuk igazodik az üzemeltetői feladatok megosztásához, valamint a nyílt és minősített hozzáférésű rendszerek adatbázis kezelési elvéhez:

Térrészek

Alépitmények

Csapadékvíz hálózat

Dozimetriai hálózat

Elektromos hálózat

Földelő hálózat

Gázhálózat (hidrogén, nitrogén, sűrített levegő)

Hűtővíz hálózat (kondenzátor, technológiai)

Alaptérkép (DAT szerint)

Informatikai hálózatok (telefon és tűzjelző, számítógép, ÜRIK, UQ, stb.)

Kerítés hálózat

Szennyvíz hálózat

Távhő hálózat

Vízhálózat (ívó-, tűzoltó-, locsolóvíz)

Vegyészeti rendszer

Ingyatlan-nyilvántartás

Ezen alrendszerek zöme megegyezik a közmű vállalatokéval, ami máshol nem jelentkezik az a térrész. A térrész alrendszer a legkisebb bonyolultságú alrendszer, mindössze egy objektumosztályból áll. A térrészek az atomerómű teljes területét lefedik, ezért a térinformatikai rendszer objektumai minimum egy térrészbe beleesnek. Pontosabban: a pontoszerű grafikával rendelkező objektumok egy, a polyline és a polygon típusú grafikával rendelkező objektumok pedig több térrészbe esnek, illetve eshetnek bele. Maguk a térrészek egymáshoz hézagmentesen illeszkedő polygonok, amelyek határoló vonalait a földrészletek jogi határvonala, valamint azon belül a kerítések és utak, vasutak vagy más elven meghatározott vonalak alkotják. A térrész kapcsolatot biztosít az erómű alfanumerikus Műszaki Alapadatbázisában (MAAB) lévő olyan objektumokkal, amelyek fellelési helye az épületen kívüli udvartéri terület.

A térinformatika jelenlegi gyakorlati feladatai az Atomeróműben

A térinformatikai adatbázis létrehozásában elérkeztünk arra a pontra, amikor a meglévő digitális térképeinket az objektum-orientált adatbázis igényeire javítsuk a célkitűzéseknek megfelelően.

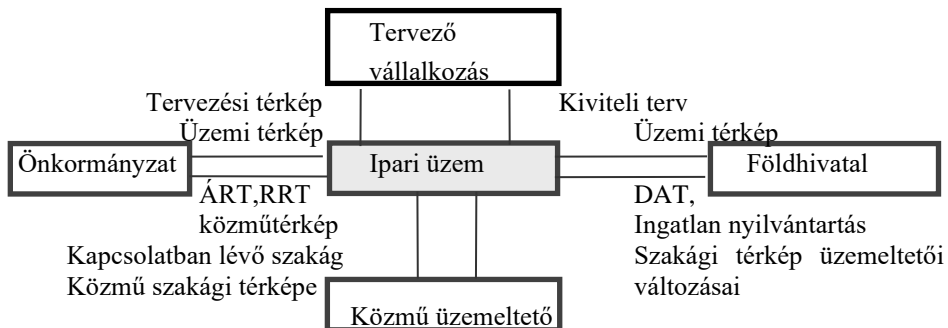
Mit jelent ez részleteiben?

Nagymennyiségű adatellenőrzést, átszerkesztést, adatgyűjtést, tartalmi és adatszerkezeti minőségvizsgálatot, valamint adatkonverziót.

❶ Digitális térképeink objektum szintű topológiai átalakítása.

- Üzemi alaptérkép DAT szerinti átalakítása és bővítése a szükséges további objektumok meghatározásával az üzemi alaptérképi szinthez. (Az átalakítás és javítás MicroStation 95 programmal történik.)
 - Szakági térképek vezeték és kábelszintű topológiai átalakítása, javítása és bővítése.
 - Hiteles adatforrások és adatgazdák felkutatása, attribútum adatok összegyűjtése és rögzítése d'BASE adattáblákon. (d'BASE olcsón hozzáférhető és könnyen kezelhető adatgyűjtő felület)
 - Adatellenőrzések és tartalmi minőség vizsgálatok a GL Kolibri Datacontroll programmal (Kummert 1997) az adatfeltöltések előtt. (Réteg és grafikus elem szintű ellenőrzés a MicroStation *.dgn file tartalmára ellenőrző *.fdc file használatával automatikus ellenőrzési jegyzőkönyv generálásával és nyomtatásával.)
 - Adatfeldolgozást végzők: ★ FTV Rt ★ Geodézia Kft. ★ Geoteam Gmk
- ② Nagymennyiségű adatkonverzió GL GIS-Tools 5 környezetbe.
- Az ellenőrzött és minősített *.dgn és d'BASE file-k beolvasása meghatározott objektumosztály sorrend szerint az automatikus objektum beazonosulás érdekében.
- ③ Jogosultság szerinti adathozzáférés megvalósítása.
- Rendszergazda, adatfeltöltő, adatkarbantartó és lekérdező jogosultságú felhasználói csoportok alrendszerenkénti bontásban való kialakítása.
 - Minősített hozzáférésű adatbázisok felhasználói jogosultságának kialakítása.
 - Adatkarbantartás a hitelesség megőrzésével 'FORM-okon' keresztül, illetve nagytömegű új adat, vagy külső adat esetében adatkonverzióval.
- ④ Szabványos nyitott adatsere felület kialakítása.
- A különböző térinformatikai és CAD programok közötti adatátjárás biztosítása a térinformatikai adatsere szabvány(ok) szerint.

Az adatkapcsolatok széles körét és annak tartalmát mutatja a 3. ábra egy ipari üzem szempontjából vizsgálva.



3. ábra. Külső kapcsolatok térinformatikai tartalma (Németh 1997).

Feladat: az objektum adatok szabványos, rendszer-független adatforgalmának biztosítása.

Közeli jövő lehetőségei, továbbfejlesztés szakértői rendszer felé

A térinformatikai rendszerek célja a térbeli döntés-előkészítés feladatainak a támogatása. A célt egy többlépcsős fejlesztési folyamaton keresztül lehet elérni.

1. Tudásbázis kialakítása.
2. Szakértői rendszer kidolgozása.
3. Térbeli döntéstámogató rendszer kifejlesztése.

A tudásalapú eljárások minden elérhető tudás hasznosítását megcélazzák, azzal hogy követni lehessen a szakértő gondolatmenetét. A szakértő szerepét a rendszer veszi át és a "mesterséges intelligenciával" az emberi gondolkodási képességet utánozza.

A tudásbázis felépítése történhet:

1. Szakértők felkérésével, hogy ismereteiket bontsák le egyedi tényekre, szabályokra.
2. Szakértők viselkedéséből következtetni a szabályokra.

A közműnyilvántartó rendszer esetében a tudásbázis elemei a következők lehetnének:

- az objektumok egymáshoz való kapcsolódásának vizsgálata.
(vezeték-szerelvény, kábel-szerelvény, szerelvény-szerelvény, közös objektum stb.)
- objektum védőtávolsága
- közmű objektumok elhelyezési feltételei (minta keresztiszelvény szerinti megvalósítás biztosítása és elemzése)
- objektumok ütközésvizsgálata
- megszüntetés esetén (objektum működési feltételeinek megváltozása) milyen intézkedést kell az objektumnak indítania a topológiai és környezeti objektumok felé

A megszerzett tudás az objektumhoz közvetlenül kapcsolódó eljárás-ként kerül tárolásra az objektum-orientált adatbázisban. Ezzel a módszerrel nem jelent külön problémát a tudásnak adatbázisból való gyors megkeresése és elérési ideje.

A szakértői rendszer alapja a tudásbázis, amelyben logikai műveletekkel összekapcsolt műveleteket lehet végezni.

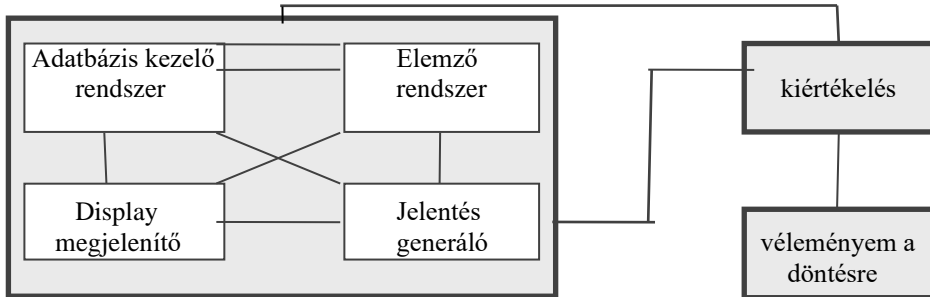
A döntés támogatás mindig különleges feladatot jelent, mert nem lehet minden kérdésre ugyan azt az esetet használni. A térbeli döntéstámogató rendszerek (SDSS) feladata, hogy segítsék a döntéshozókat a komplex térbeli problémák megoldásában. Többnyire a GIS rendszerek nem elégségesek az SDSS céljaira, mert:

- analitikus modellezés gyakran nem része a GIS-nek
- sok GIS csak az eredmények térképi megjelenítését szolgálja
- az SDSS célkitűzései miatt nagy rugalmasság szükséges az információnak a felhasználóhoz való eljuttatásában
- előfordulhat, hogy az adatbázisban lévő változók, vagy a rétegek száma a komplex modellezéshez nem elegendő
- az adatok méretaránya vagy felbontása sem mindig kielégítő
- a GIS szerkezete nem eléggé rugalmas a térbeli döntéshozatal folyamatának a követségéhez.

Az SDSS keretében a következők integrálódnak:

1. analitikus modellező képességek
2. adatbázis-kezelő rendszerek
3. grafikus megjelenítési lehetőségek
4. listakészítés
5. a döntéshozó szakértői tudása

Ezek közül a GIS rendszerek a 2, 3, 4, lehetőségeket biztosítják. Feladat az 1 és 5 hozzáadásával az SDSS létrehozása (4. ábra).



4. ábra. SDSS program - a szakértői rendszer döntés-előkészítési feladatainak logikai kapcsolatai.

Ennek eléréséhez:

1. a megfelelően szervezett adatbázisú nyilvántartó rendszert elemző funkciókkal kell ellátni,
2. az objektumoknak a rájuk jellemző tudással kell rendelkezniük,
3. szakértők bevonásával elemző algoritmusokat kell kidolgozni,
4. elemző és jelentést generáló rendszert kell kialakítani.

Egy példa: Csőtörés lokalizálása térinformatikai módszerrel (Németh 1997).

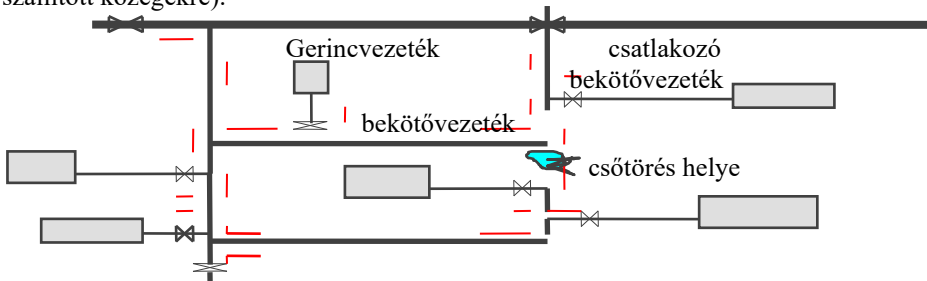
A feladat megoldása tudás-adatbázisú térinformatikai rendszert igényel. Alapja a szakág objektumainak szerelvény és csővezeték szintű topológiai beazonosítotttsága olyan attribútum értékekkel kiegészítve, amelyek a csőtörés elemzéséhez szükséges műszaki adatokat biztosítják.

A topológia a hálózat gráfját írja le, amely az elemző algoritmusnak a csőtörés helyétől való haladási irányait és az objektumok felkeresési sorrendjét határozza meg.

A térinformatikai rendszertől az a kérdés, hogy ha ismerjük a csőtörés helyét, akkor annak lokalizálásához jelölje ki azokat a szerelvényeket, amelyek a legrövidebb szállítási hossz kiesése mellett biztonságosan kizárják a sérült csőszakaszt a javítás idejére.

Az ilyen típusú térinformatikai kérdéseknek olyan helyeken van igazán létjogosultsága, ahol a hálózatok objektumainak száma és az azt üzemeltető szakemberek száma fordított arányban változik, valamint az ilyen esetekben a gyors intézkedést nem csak az üzemeltető kezdeményezi.

Az 5. ábra egy nagyon leegyszerűsített esetet ábrázol vízhálózatra, de természetesen a feladat minden csővezetékes hálózatra érvényes (folyékony és gáz halmazállapotú szállított közegekre).



5. ábra. Csőtörés lokalizálása térinformatikai módszerrel.

A feladat megoldásának lépései:

- ❶ A csőtörés térbeli helyének bevitele (helyszíni bemérés alapján koordinátáson, pal-lérméretekkkel vagy monitoron történő beazonosítással "egérrel".)
- ❷ Az elemző szelekciós modul elindítása.
 - a kezdő objektum a , - meghibásodott cső -, eljárásokat indít a topológiailag vele kapcsolatban lévő objektumok felé.
 - a következő objektumok veszik az üzenetet és saját eljárásukkal vizsgálják saját topológiai helyzetüket, szakaszképző-e igen, vagy nem. Igen esetén az objektum az intézkedő lista felé, nem esetén a topológiailag kapcsolódó objektumok felé küld további vizsgálathoz üzenetet.
 - a vizsgálat a gráfon a kezdő objektumtól minden irányba egyszerre indul el.
- ❸ A szelektált objektumok monitoron való megjelentése.
- ❹ Intézkedési lista és vázlat generálása a helyszíni operatív javítás végrehajtásához.
 - elzárandó szerelvények listája (azonosító, fellelési helye, aknarajz vagy szerelvény fotó)
 - az üzemeltető és karbantartó személy.
- ❺ A hiba eseménynaplóba való rögzítése.

Objektum-orientált módszerrel a feladat folyamatosan tovább bővíthető és finomítható. Az egyszerű feladattól folyamatosan lehet haladni az összetett több objektumot és több rendszert érintő kérdések és megoldásaik felé.

Összefoglalás

Tanulmányomban összefoglaltam egy ipari nagyüzem működéséhez milyen adatok, információk és azok milyen módon szükségesek a térinformatika területéről. Mit jelent sen egy minősített térinformatikai adatbázisból való adatszolgáltatás hitelessége. Összefoglaltam az igényelt adatok és információk biztosításához szükséges térinformatikai feladatokat. Ismertettem a térinformatikai rendszer kialakulásának előzményeit, céljait és a Paksi Atomerőműben alkalmazott rendszer meghatározását. Röviden összefoglaltam az objektum-orientáció lényegét és bemutattam alkalmazását egy általános szakágon keresztül. Áttekintő módon ismertettem a térinformatikai rendszer alrendszerét, a jelenlegi gyakorlati feladatokat, a külső adatkapcsolatok körét és annak tartalmát az ipari üzem szempontjából vizsgálva.

Foglalkoztam az objektum-orientált nyilvántartási rendszer döntéselőkészítésre való felhasználhatóságával, a tudás-adatbázisú és szakértői rendszerek feltételeivel. Bemutattam egy mintafeladaton keresztül a tudás-adatbázisú objektum-orientált nyilvántartási rendszer döntéselőkészítésre való felhasználását szakértői rendszer felé történő továbbfejlesztés lehetőségével és céljával.

Az objektum-orientált programozás a jövő útja annak érdekében, hogy a keletkező és egyre nagyobb objektum tartalmú adatbázisaink ne kerüljenek zsákutcába. Az intelligens adatbázisok létrehozásának egyik feltétele az objektum-orientált adatbázisok létrehozása. A relációs adatbázis-kezelő rendszerek is kezdik magukba bedolgozni az objektum-orientált tulajdonságokat. Az adatbázisok esetén pedig szélesebb spektrumot kell nézni, mert ezek jövője az intelligens adatbázis. Ezek szorosan magukba fogják zárni az infor-matika területeit, az objektum-orientált és multimédia technológiákat, a tradicionális adatbázisokkal.

Hivatkozások

- Khoshafian S, Abnous R** (1992): Object Orientation - Concepts, Languages, Databases, User interfaces
- Kummert Ágnes** (1997): A térinformatika iránti elvárások és megoldások - Green-Line a Geoview terméke
- Németh András** (1997): Objektum-orientált programozás alkalmazása nagy ipartelepkek közműszereinek nyilvántartására. Diplomaterv, BME Építőmérnöki Kar Geodéziai Szakm. Szak
- Nikl István** (1995): Térhátter I., II., III. számok - A Geoview Systems Hírlevele január, május, október

GONDOLATOK A TÉRINFORMATIKA OKTATÁSRÓL

Márkus Béla*

Bevezetés

Hazánkban a térinformatikai alkalmazások gyorsabb elterjedésének egyik alapvető akadálya a digitális adatok hiánya. Az informatikai társadalomban a közcélú digitális adatbázisok az informatikai autópályák *benzinkútjait* jelentik. Másik nagy akadály a térinformatikai ismeretek hiánya a potenciális felhasználók körében. Az előadás az oktatási igények taglalásán túl az erre válaszoló rugalmas oktatási formákkal, oktatásfejlesztési törekvésekkel foglalkozik.

Oktatási igények

Az oktatási igények felvázolását a *Miért? Kinek? Mit? Ki? Hogyan?* alapkérdések megválaszolásán keresztül végezzük.

Miért?

Miért fontos a térinformatika oktatás? Fontosnak tartjuk megemlíteni a térinformatikai vonatkozások mellett az információtechnológiai változások keltette igényeket. A térinformatika az informatikai piac alig 2 %-át fedi le. A szakma az utóbbi időben felismerte az ebből adódó kényszert, ami technológiai, termékbeli és szervezési *konvergenciát* eredményezett.

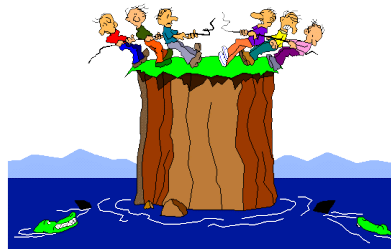
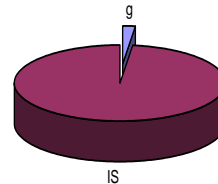
A térinformatikai termékek korábbi "butik" jellege egyre inkább az áruházláncok termékeihez közelít. A sikertelen projekteket elemezve megállapítható, hogy az alapvetően nem műszaki, hanem *szervezési* okokra vezethető vissza. Az elmúlt időszakban a térinformatikai rendszerek nagy része központ jelleggel, *szigetszerű* képződményként illeszkedett az adott szervezetbe.

Kinek?

A Nemzeti Kataszteri Program keretében létrejövő többcélú rendszerek *széleskörű* használata érdekében az oktatásnak az egész intézményre, sőt a kapcsolódó *környezetre* is kiterjedőnek kell lennie. Nagyon fontos a kritikus tömeg elérése a potenciális felhasználók körében. Ne feledkezünk meg a motiváció fontosságáról!

Mit?

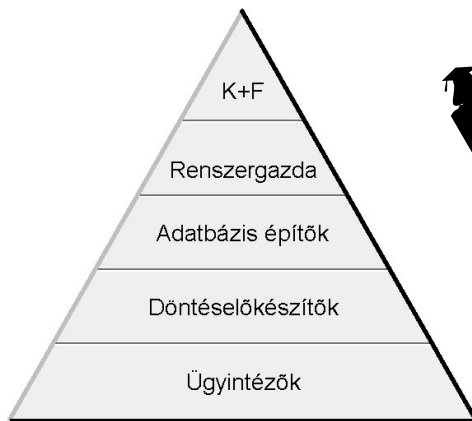
Az, hogy mit oktassunk, nagyon szorosan összefügg azzal, hogy kinek. Természetesen a térinformatikai rendszer személyzete a *munkakörétől függő*, részletes ismeretekkel rendelkezik. De, ha az informatikai autópályák hasonlatból kiindulva, a térinformatikai rendszert (GIS) egy gépjárműhöz hasonlítjuk, akkor az autóvezetőnek (a GIS rendszert használónak) is rendelkeznie kell valamilyen szintű gépjármű vezetői jogosítvánnyal. A



(tér)informatikai technológiai ismeretek mellett szükség van műszaki, módszertani, szervezési, jogi ismeretekre.

Ki?

Ki oktasson? A térinformatikai *cégek* betanítják a rendszer használatát. De a fentebb említett mélyebb ismeretekre célszerű *oktatási intézményekhez* fordulni. Fontos a képzést, továbbképzést támogató *belső* rendszer megszervezése. A GIS fejlesztések egyik fő iránya az egyre könnyebben használható egyszerű rendszerek kialakítása. Évente újabb és újabb változatok jelennek meg a piacon. Az élethosszig tanulás tehát elengedhetetlen. Kellő ismeretek birtokában az *önképzés* igen hatékony.



Hogyan?

A tantermi (ún. kontakt) oktatás gyors, *intenzív* előrehaladást tesz lehetővé. Hátránya az, hogy a résztvevők kiesnek a munkából, a családjuktól napokig távol kell legyenek. A *távoktatás* ezeket a hátrányokat igyekszik csökkenteni. Természetesen itt is szerveznek intenzív foglalkozásokat, de ezek a speciális oktatócsomagok használata révén jóval rövidebb ideig vonják el a résztvevőket a munkától és a családtól. Egyre nagyobb szerep jut a számítógéppel segített oktatásnak. Sok szoftver mellett *oktatóprogram* (tutorial) is található. A hálózatok elterjedése, a böngészők egyszerű használata megnyitja a kapukat a világban fellelhető hasonló alkalmazások tanulmányozására. A *virtuális* egyetemek rohamosan terjednek.



Rugalmas oktatási formák

A Soproni Egyetem Földmérési és Földrendezői Főiskolai Kara évek óta módszeresen dolgozik térinformatikai távoktató anyagok kifejlesztésén. Az elmúlt három évben 21 távoktatócsomagot dolgoztunk ki EU (TEMPUS, PHARE) támogatással. Az NKP által támasztott oktatási igényekre a Főiskola rugalmasan reagált. Ennek volt köszönhető, hogy elnyerte az NKP Kht. megbízását mintegy 200 fő földhivatali dolgozó, földmérési vállalkozó és egyéb szakember kiképzésére. A TAKAROS és az OLLO (Open Learning for Land Offices - Nyitott földhivatali képzés) projektekben szerzett tapasztalatokra alapozva *OLLONK* néven kidolgoztunk egy oktatási programot, amely az NKP által megkívánt ismereteket tartalmazza. Ez az önkormányzati dolgozók számára is nyitott, és mintegy féléves távtanulást igényel.

Az *OLLO alapképzés* középfokú végzettségű földhivatali dolgozók számára ad ismereteket, és egyben megnyitja a lehetőséget a Főiskola mérnöki diplomájának megszerzé-

séhez. Tekintettel arra, hogy a TAKARNET használata várhatóan széleskörűen elterjed az önkormányzatokban, az OLLO alapképzésben szerzett ismeretek hasznosak lehetnek az ingatlan-adatokkal foglalkozó önkormányzati ügyintézők számára.

A DLG (Distance Learning in GIS) *térinformatikai szakmérnöki* képzés másfél éves. A DLG képzés célcsoportját a földmérő, térinformatikai vállalkozók, adatbázis építők jelentik. A képzésben részt vesz az Eötvös Loránd Tudományegyetem.

A kétéves *UNIGIS* szakmérnöki képzésben a Főiskola a világszerte 18 egyetemet számláló UNIGIS virtuális térinformatikai egyetem magyar képviselőjét látja el. A végzetek számára a Manchester Metropolitan University nemzetközi ekvivalenciát tanúsít. Az oktatásban részt vesz a Debreceni Agrártudományi Egyetem (DATE) is.

Ezekről a rugalmas képzési formákról lesz szó röviden a következőkben.

OLLO NK

Az NKP önkormányzati partnereinek kell rendelkezniük megfelelő menedzsment, DAT (digitális alaptérkép) szabvány és térinformatikai alkalmazási ismeretekkel, ezért a számukra ajánlott féléves képzés tantárgyai a következők:

- ✧ Adat- és projekt menedzsment
- ✧ DAT ismeretek
- ✧ GIS/LIS alkalmazások

A képzés távoktatásos formában zajlik, melynek keretében két alkalommal kerül sor 2-4 napos konzultációra. A konzultációkat bentlakásos formában Bodajkon szervezzük. Az egyes témaköröket a beküldendő feladatok mellett írásbeli vizsgával zárjuk. A tanfolyam záróvizsgával ér véget. A tanfolyam résztvevői a sikeres vizsgával lezárt tantárgyak beszámítását kérhetik a Főiskola által szervezett térinformatika szakmérnöki képzésekben (OLLO, DLG, Ingatlan-kataszteri).

OLLO alapképzés

Az egyéves távoktatás során az OLLO alapképzésben megszerzett ismeretek hasznosak lehetnek az ingatlan-adatokkal foglalkozó - középfokú végzettségű - önkormányzati ügyintézők számára. A képzést levelező szakon folytatva - az elvégzett tárgyak beszámításával - felsőfokú képesítés szerezhető a Főiskolán. Az oktatott tárgyak: Információtechnológia, Menedzsment, Iroda automatizálás és Térinformatikai alkalmazások.

DLG - térinformatikai szakmérnöki

A távoktatási tananyagokat a holland ITC, a BME, az ELTE és a Geometria Térinformatikai Rendszerház bevonásával dolgoztuk ki. A másfél éves képzésben a hallgatók a következő tárgyakat tanulják:

- ✧ Információtechnológia
- ✧ Digitális adatgyűjtés
- ✧ Számítógépes térképészet
- ✧ A térinformatika elemei
- ✧ Adatintegráció
- ✧ Rendszertervezés és implementálás
- ✧ Térinformatikai menedzsment

Az ismeretek nagyobb önkormányzatok térinformatikai részlegében nagy segítséget adnak a térinformatikai projektek szervezésében, az adatbázis építésében.

UNIGIS

A képzés időtartama 2 év. Az oktatási anyag megegyezik az angol eredetivel, de kiegészül magyar fejlesztésű modulokkal. Az oktatási program alkalmassá teszi végzett hallgatóinkat a térinformatika elméletében és gyakorlatában való eligazodásra. A képzés célja általános térinformatikai ismeretek oktatása. Az elsajátított ismeretek birtokában hallgatóink olyan műszaki és szervezési tudásnak lesznek birtokában, mellyel sikeres térinformatikai projektmenedzserekké válhatnak. Végzettségtől függetlenül a hallgatóknak nemzetközi egyenértékűséget igazoló okmányt szolgáltat a Manchester Metropolitan University. Master of Science fokozat szerezhető az angol társegyetemeken egy angol nyelvű diplomaterv elkészítésével. Az MSc kiegészítő képzés időtartama 1 év, tandíja 600 GBP. A fokozat megszerzése nem igényli feltétlenül az Angliába való kiutazást.

<i>KÖTELEZŐ MODULOK MAGYAR illetve</i>	<i>ANGOL NYELVEN</i>
<i>A térinformatika elemei</i>	<i>GIS an Overview</i>
<i>Digitális adatgyűjtés</i>	<i>Data Acquisition</i>
<i>Számítógépes térképészet</i>	<i>Visualisation</i>
<i>Adatintegráció és adatmegosztás</i>	
<i>Minősbiztosítás</i>	<i>Data Quality</i>
<i>GIS rendszertervezés és megvalósítás</i>	
<i>Térinformatikai menedzsment</i>	<i>GIS and Organisations</i>
<i>VÁLASZTHATÓ MODULOK MAGYAR ill.</i>	<i>ANGOL NYELVEN</i>
<i>Információ technológia</i>	
<i>Térbeli gondolkodás</i>	<i>Concepts of Spatial Thinking</i>
	<i>Spatial Data</i>
	<i>Attribute Data</i>
	<i>Spatial Operators</i>
<i>Projekt menedzsment</i>	<i>Project Management</i>
<i>GIS/LIS alkalmazások</i>	
<i>Nagyméretarányú digitális térképezés</i>	
<i>Földhasználati menedzsment</i>	
<i>Többcélú kataszter</i>	
<i>Földügyi jogi ismeretek</i>	
<i>MŰHELYMUNKA (WORKSHOP)</i>	
<i>Raszteres GIS rendszerek (Idrisi for Windows)</i>	
<i>Vektoros GIS rendszerek (Mapinfo/MapBasic)</i>	
<i>Adatintegráció és megjelenítés (MicroStation/MGE)</i>	
<i>GIS projekt (ArcInfo/ArcView)</i>	

Végezetül megemlítünk két EU által támogatott, jelenleg folyó oktatásfejlesztési projektet.

Az *UNIPHORM* projekt célja a nyitott térinformatikába (OpenGIS) való bevezetés. Az elosztott rendszerek közös használata nagy kihívás a fejlesztőknek és egyben új megközelítést kíván a felhasználóktól. A projekt angol, magyar, olasz, osztrák és román egyetemek és intézmények bevonásával folyik. A tananyag elméleti része sok Web kapcsolattal rendelkezik, az alkalmazást esettanulmányon keresztül mutatjuk be. A magyar esettanulmányt a DATE készítette. A képzés jövő év elején a PHARE Oktató Központokon keresztül angol, magyar és román nyelven indul, időtartama két hónap.



A *PRONET* projektben egy Internetes multimédia oktatási anyag készül, mely kívül-állók számára egy nap tanulási idő alatt ad ismereteket a térinformatika lényegéről és problémáiról. Mindkét esetben a tartalom mellett fontos szerepet kap a hallgatók hálózaton keresztüli támogatása. Egy tipikus képernyő tartalmat mutat be az 1. ábra.



1. ábra. PRONET Internetes multimedia oktatás.

Az utóbbi két projektben az Internet nyújtotta lehetőségek kiaknázására törekedve kísérleteket teszünk térinformatikai tudásbázis (knowledge base) kialakítására. Ennek hasonló jelentősége és szerepe van, mint a GIS történetében a fájlrendszerekről az adatbázisra való áttérés jelentett. Ennek hatására csökken a tananyagfejlesztési idő és költség, valamint a felesleges duplikáció.

Összefoglalás

Az előadás első része a felnőttoktatásban jelentkező oktatási igényeket vázolta fel. Ezután az előadó bemutatta a Soproni Egyetem Földmérési és Földrendezői Főiskolai Karán folyó - az önkormányzati igényeket különböző szinteken kielégítő - képzési formákat és oktatási fejlesztéseket. Az előadó összefoglalásában megállapította, hogy

- ✧ a térinformatika asszimilálódik,
- ✧ a piac szélesedik,
- ✧ az oktatási igények komplexebbek és divergálnak,
- ✧ a technológiai ismeretek felezési ideje egyre rövidebb (18 hónap?!),
- ✧ a távoktatás globális csapatmunka,
- ✧ a tudásbázis kialakítása csökkenti a duplikációt, a költségeket és a válaszdőt,
- ✧ a tartalmi fejlesztések mellett nagyon fontos a hallgatói támogatás, a képzések nyitottsága és rugalmassága.

ÁTSZÁMÍTÁSOK VONATKOZÁSI RENDSZEREK KÖZÖTT

*Bácsatyai László**

Bevezetés

Jelen tanulmányban az átszámítási lehetőségek közül azokkal foglalkozom, amelyeket a számítógépes programozás szintjén magam is kipróbáltam és amelyeket DEMO változatban az INTERNET-en publikáltam, s a tanulmány végén ismertetett programban is alkalmaztam.

Közelebbi ismeretségbe a problémakörrel egy, a Fertő tó szilárd tófenék és iszapfelszín Ausztriára is kiterjedő digitális felületmodelljének előállítására irányuló OTKA pályázat kapcsán kerültem (1991-94). Szükség volt az osztrák Gauss-Krüger és a magyar sztereografikus vetületi rendszerekben adott két tórész egységes rendszerbe kapcsolására, valamint az osztrák Adria feletti és a magyar nadapi magasságok összehangolására. A vetületi rendszerek összekapcsolására vonatkozó átszámítási módszert hazai és osztrák folyóiratban publikáltam (Bácsatyai 1993, 1995), a magasságok összehangolásában Dr. Joó István volt segítségemre.

A Fertő tóval kapcsolatos munka inspirált egy, a Magyarországon előforduló vetületeket újszerű módon tárgyaló, helyenként új levezetéseket tartalmazó tankönyv megírására is, amely a Mezőgazdasági Szaktudás Kiadó jóvoltából jelent meg (1993).

A témával Magyarországon is többen foglalkoztak, ill. foglalkoznak. A teljesség igénye nélkül: Völgyesi et al. (1992), Mihály (1995) és Busics (1996).

A GPS vevők terjedésével egyre nőtt az átszámításokra vonatkozó igény (elsősorban a WGS84 és a HD-72 vonatkozási rendszerek között). A megfelelő sűrűségű, 1154 pontból álló országos GPS hálózat (OGPSH) "magassági értelemben is precíz transzformációt" tesz lehetővé (Borza et al. 1998, Mihály 1998), ami a jövőben vélhetően csökkenteni fogja a kezdetben felmerült igényeket.

Jelen tanulmány e meglehetősen szétágazó témakör összefoglalásának igényével íródott, illetve röviden saját átszámítási programomat, s ezzel kapcsolatos néhány tapasztalatot szeretném bemutatni. A tanulmányt kevésbé a témakörben elmélyült ismeretekkel rendelkező, sokkal inkább a földmérési gyakorlatban dolgozó kollégáknak szánom.

Alapfogalmak

Idézzük fel az alábbi fogalmakat:

Alapfelület: a Föld fizikai alakját, felszínét helyettesítő, a *geodéziai számítások* végrehajthatóságát biztosító, matematikai függvényvel leírható *elméleti alak*, ill. *geometriai idom*.

Alapfelületek:

- geoid: a Föld nehézségi erőtere potenciáljának (speciális) szintfelülete;
- ellipszoid (fél nagytengely, lapultság);
- gömb (sugár).

A Föld alakjának gömbbel, mint alapfelülettel történő közelítése a földrajzban szokásos, a geodéziában a kettős vetítésnél, Gauss-gömb megnevezéssel találkozunk vele.

Vonatkozási rendszer: olyan alapfelület, amelynek földfelszíni kezdőpontja és tájékozása van, valamint ismert a geoidunduláció a kezdőpontban. Az alapfelületek közül

geodéziai értelemben vonatkozási rendszer a forgási ellipszoid (vonatkozási ellipszoid). A Föld fizikai alakjához, felszínéhez képest az ellipszoid helyzetét a vonatkozási rendszer definiálja.

Képfelület (vetület): az alapfelületet érintő, vagy metsző, a *térképi ábrázolás céljából* az alapfelületnél legalább eggyel alacsonyabb rendű felület, geometriai idom. Geodéziai értelemben képfelület (vetület) a Gauss-gömb és a sík, vagy a síkbafejthető felület (henger, kúp).

Koordinátarendszer: tetszőleges térbeli pont helyzetét rögzíti az *alapfelületen* (az *alapfelülethez képest*), ill. a *képfelületen*.

Magyarországon használatos vonatkozási rendszerek és a kapcsolódó alap- és képfelületek:

- B - 1952, 1841. évi Bessel-ellipszoid, sztereografikus és ferdetengelyű hengervetületek (HÉR, HKR, HDR);

(A régi magyarországi hálózatok elhelyezésének és tájékozásának kérdését számos tanulmány érintette (pl. Fasching 1909, Ledersteger 1947, Homoródi 1952, 1953). A fenti jelölést Homoródi (1952) tanulmányának megjelenési éve indokolta.)

- S - 42, Kraszovszkij-ellipszoid, Gauss-Krüger vetület;

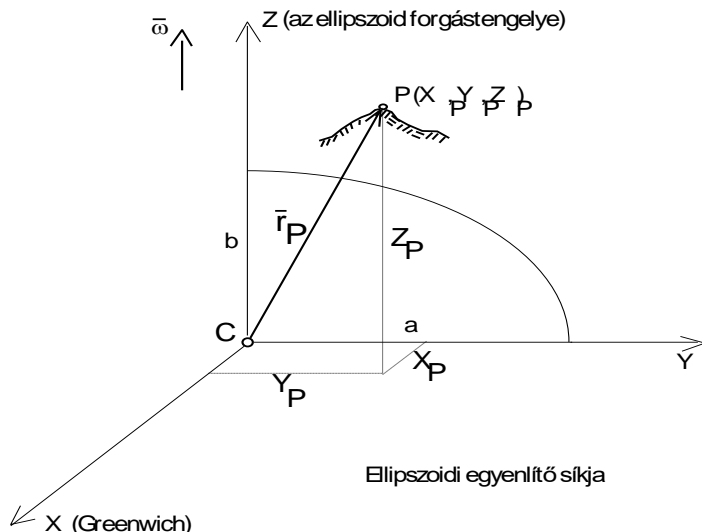
(A jelöléseket a (Mihály 1995) irodalomból vettem át.)

- HD - 72, IUGG GRS 1967 ellipszoid, Egységes Országos Vetület (EOV);

- EUREF-89, WGS-84 ellipszoid, UTM vetület.

Koordinátarendszerek

Ellipszoidi térbeli derékszögű koordinátarendszer



Origó: a vonatkozási ellipszoid középpontja.

Koordináták: X, Y, Z

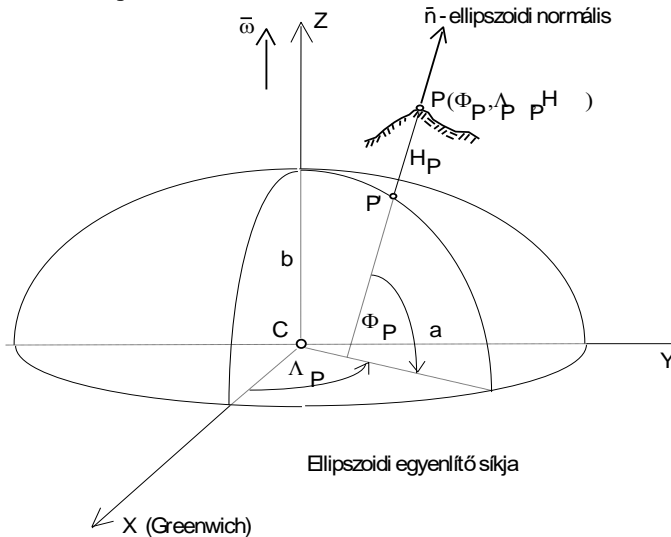
További jelölések:

a - fél nagytengely,

b - fél kistengely.

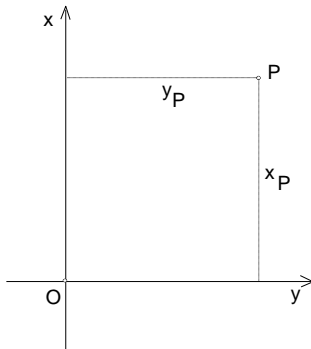
Az X tengely a greenwich-i kezdőmeridiánra illeszkedik.

Ellipszoidi felületi koordinátarendszer



Origó: a vonatkozási ellipszoid középpontja
 Koordináták:
 Φ - ellipszoidi földrajzi szélesség,
 Λ - ellipszoidi földrajzi hosszúság,
 H - ellipszoid feletti magasság.
 További fogalmak:
 m - tengerszint (geoid) feletti magasság,
 $N = H - m$ geoidunduláció,
 α - ellipszoidi azimut.

Vetületi koordinátarendszer



Origó: a vetület kezdőpontja
 Koordináták: x, y
 További fogalmak:
 irányszög,
 vetületi torzulások,
 vetületi redukciók.

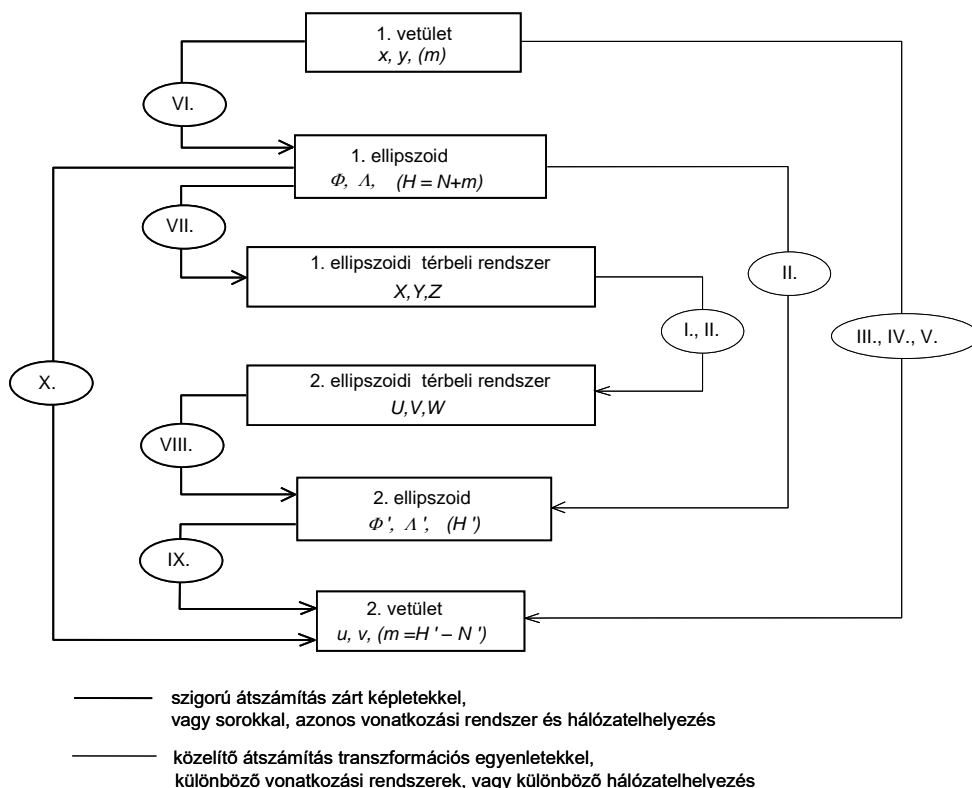
Átszámítások

Az egyes vonatkozási rendszereket geometriai-matematikai szempontból a hozzájuk rendelt alapfelületek (ellipszoidok), ill. a csatlakozó képfelületek (vetületek) és koordinátarendszerek határozzák meg; így a vonatkozási rendszerek közötti átszámítások az utóbbiak közötti átszámításokat jelentik.

A számítástechnika és elektronika, valamint a fejlődésükkel szoros kapcsolatban lévő korszerű geodéziai helymeghatározási módszerek (különösen a GPS) az átszámítási lehetőségeket nagymértékben kiszélesítették, ill. szükségessé tették. Így globalizálódó világunkban a hagyományos kétdimenziós átszámítások (affin, síkfelületi hasonlósági - Helmert - transzformáció, grafikus eljárások) mellett megjelentek az addig matematikailag ugyan ismert, de abban az időben számítástechnikailag nem, vagy csak nehezen kivitelezhető háromdimenziós átszámítások, amelyek napjainkra jelentős mértékben megnö-

vették az eljárások alkalmazhatóságának területi kiterjedését, ill. lehetővé tették, hogy az addig egymástól függetlenül kezelt két- és egydimenziós feladatokat egységes rendszerben, összefüggően oldjuk meg (3D geodézia). A területi kiterjedés mégis korlátozott, mert a különböző vonatkozási rendszerekhez tartozó geodéziai alaphálózatok létrehozásakor eltérő, különböző mérési pontosságú mérési technológiákat alkalmaztak. Ezért nem létezik olyan geodéziai pontosságú átszámítási módszer, amely az egész országra érvényes transzformációs állandókkal dolgozhatna (Busics 1996, Borza et al. 1998). A területi kiterjedés korlátozása az alkalmazott módszerektől függően különböző mértékű lehet, ill. felmerül a kérdés, melyik a "legjobb" átszámítási módszer. Utóbbi kérdésben - tudomásom szerint - nincs egységes, ill. egyértelmű álláspont, én sem vállalkozom arra, hogy perdöntően állást foglaljak.

Az ismertett koordináta-rendszerek közötti, alkalmazásra ajánlható *közvetlen* átszámítási kapcsolatokat, ill. a *közvetett átszámítási utakat* az 1. ábrán foglaljuk össze.



- I. Térbeli hasonlósági (Helmert) transzformáció
- II. Térbeli (háromváltozós) polinomos transzformáció
- III. Síkbeli (kétváltozós) polinomos transzformáció
- IV. Affin transzformáció
- V. Síkfelületi hasonlósági (Helmert) transzformáció

- VI. "Inverz" vetületi egyenletek
- VII. Zárt képletek
- VIII. Zárt képletek
- IX. Vetületi egyenletek
- X. Vetületi egyenletek

1. ábra: A koordináta rendszerek közötti átszámítások összefoglalása.

Vastag vonallal a szigorú, zárt képletekkel, vagy sorokkal kifejezhető átszámításokat, vékony vonallal a közelítő, transzformációs egyenletekkel leírható átszámításokat szimbolizáljuk. Az ábra jól szemlélteti az ismert tényt, hogy szigorú képletekkel csak úgy térhetünk át az egyik vetületi rendszerről a másikra, ha mindkettőnek közös a vonatkozási rendszere (1. ellipszoid: a VI. - X. átszámítási út). Magyarországon ezen átszámítás-típusnak csak a történelmi vetületi rendszerek (sztereografikus, ferdetengelyű hengerve-tületek), valamint a Gauss-Krüger, esetleg az UTM vetületi sávok között van jelentősége. Minden más esetben közelítő módszert kell használnunk, sőt, a III., IV. és V. típusú átszámítások kivételével, a közelítő mellett szigorú módszert is.

Területi kiterjedésükben leginkább korlátozottak a IV. és V. típusú átszámítások. A síkfelületi Helmert - transzformáció nyilvánvalóan alulmarad a kétváltozós polinomos transzformációval szemben. Az I. és II. típusú átszámításoknál a geodéziai pontosság eléréséhez szükséges területi kiterjedésre, ill. a két eljárás összehasonlítására nincs elegendő információ, s jelenleg nem látok okot arra, hogy - ugyanazon ponthalmaz és közel egyenletes pont-eloszlás esetén - bármelyiket a másik rovására előnyben részesít-sük. A VI., VII., VIII. és IX. (X.) típusú szigorú átszámítások szélső pontosságúak, ame-lyet csak a számítógépes szóhossz befolyásolhat. A II. és III. típusú átszámításoknál a 4. ábrán bemutatott kapcsolatok mellett nem kizártak más közvetlen kapcsolatok sem.

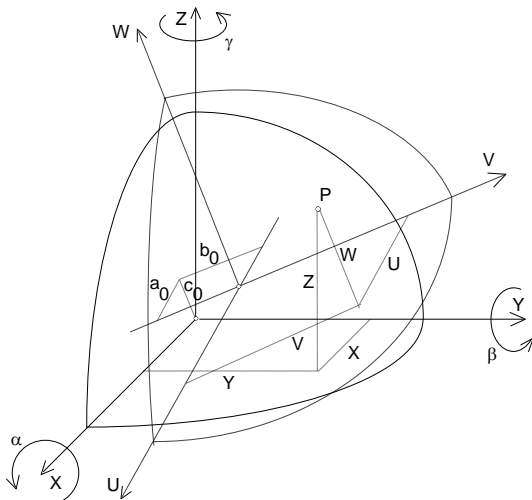
A közelítő megoldásoknál mindig azonos pontokat használunk, a transzformáció végrehajtásának lépései az alábbiak:

- azonos pontok koordinátáinak gyűjtése;
- állandók (együtthatók, paraméterek) meghatározása;
- koordináták átszámítása.

Az m és H magasságok bevonása a számításokba opcionális, elhagyásukkor a 3 di-menziós feladat 2 dimenzióssá válik. Ekkor az ellipszoidi térbeli rendszerek közötti $(X, Y, Z \longrightarrow U, V, W)$ átszámítás a kiinduló ellipszoid felületén lévő pontokra vonat-kozik.

Közelítő átszámítási eljárások (kiegyenlítő függvények)

I. Térbeli hasonlósági (Helmert) transzformáció $(X, Y, Z \longrightarrow U, V, W)$.



Az átalakító függvények:

$$\begin{pmatrix} U \\ V \\ W \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} a_0 \\ b_0 \\ c_0 \end{pmatrix} + (1 + \kappa) \cdot \begin{pmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} \\ r_{21} & r_{22} & r_{23} \\ r_{31} & r_{32} & r_{33} \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \end{pmatrix}$$

vagy, mátrixos formában:

$$\mathbf{U} = \mathbf{a}_0 + (1 + \kappa) \cdot \mathbf{R} \cdot \mathbf{X}$$

$\begin{pmatrix} 3 \\ 3 \end{pmatrix} \quad \begin{pmatrix} 3 \\ 3 \end{pmatrix} \quad \begin{pmatrix} 3,3 \\ 3 \end{pmatrix} \quad \begin{pmatrix} 3 \\ 3 \end{pmatrix}$

$$\begin{aligned} r_{11} &= \cos\beta \cdot \cos\gamma, \\ r_{12} &= \cos\beta \cdot \sin\gamma, \\ r_{13} &= -\sin\beta, \\ r_{21} &= -\cos\alpha \cdot \sin\gamma + \sin\alpha \cdot \sin\beta \cdot \cos\gamma, \\ r_{22} &= \cos\alpha \cdot \cos\gamma + \sin\alpha \cdot \sin\beta \cdot \sin\gamma, \\ r_{23} &= \sin\alpha \cdot \cos\beta, \\ r_{31} &= \sin\alpha \cdot \sin\gamma + \cos\alpha \cdot \sin\beta \cdot \cos\gamma, \\ r_{32} &= -\sin\alpha \cdot \cos\gamma + \cos\alpha \cdot \sin\beta \cdot \sin\gamma, \\ r_{33} &= \cos\alpha \cdot \cos\beta, \end{aligned}$$

α, β, γ - forgatások az X, Y és Z tengelyek körül (a forgatások sorrendben: γ, β, α);
 X, Y, Z - térbeli koordináták az 1. rendszerben;
 U, V, W - térbeli koordináták a 2. rendszerben;
 a_0, b_0, c_0 - az 1. rendszer origójának koordinátái a 2. rendszerben;
 κ - méretaránykülönbség a két rendszer között; $\upsilon = 1 + \kappa$ - a méretaránytényező.

A $\kappa, \alpha, \beta, \gamma$ állandók az átalakító függvényben nem lineáris formában vannak jelen. A keresett állandókat iteratív úton (a kis - szögmásodperc nagyságrendű - forgatási szög miatt általában egyetlen iteráció elegendő) határozzuk meg az

$$\mathbf{e}_{(7)} = \left(\begin{matrix} \mathbf{A}^T & \cdot & \mathbf{A} \\ (7,3-p) & & (3-p,7) \end{matrix} \right)^{-1} \cdot \left(\begin{matrix} \mathbf{A}^T & \cdot & \mathbf{1} \\ (7,3-p) & & (3-p) \end{matrix} \right)$$

egyenletrendszerből, ahol

$$\mathbf{e}_{(i,7)}^T = (a_0 \quad b_0 \quad c_0 \quad \kappa \quad \alpha \quad \beta \quad \gamma), \quad (i=1,2,\dots,p),$$

$$\mathbf{B}_i^T = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & X_i & 0 & -Z_i & Y_i \\ 0 & 1 & 0 & Y_i & Z_i & 0 & -X_i \\ 0 & 0 & 1 & Z_i & -Y_i & X_i & 0 \end{pmatrix}$$

$$\mathbf{A}^T_{(7,3-p)} = \left(\begin{matrix} \mathbf{B}_1 & \mathbf{B}_2 & \mathbf{B}_3 & \dots & \mathbf{B}_p \\ (7,3) & (7,3) & (7,3) & & (7,3) \end{matrix} \right),$$

$$\mathbf{1}^T_{(i,3-p)} = (U_1 - X_1 \quad V_1 - Y_1 \quad W_1 - Z_1 \quad U_2 - X_2 \quad V_2 - Y_2 \quad W_2 - Z_2 \dots U_p - X_p \quad V_p - Y_p \quad W_p - Z_p)$$

Az átalakító függvények elemei az iterációk elvégzése után az alábbiak:

$$\mathbf{R} = \mathbf{R}_n \cdot \mathbf{R}_{n-1} \cdots \mathbf{R}_j \cdots \mathbf{R}_2 \cdot \mathbf{R}_1$$

$$\upsilon = \upsilon_n \cdot \upsilon_{n-1} \cdots \upsilon_j \cdots \upsilon_2 \cdot \upsilon_1$$

$$j = 1, 2, \dots, n$$

$$a_0 = \frac{\sum_{k=1}^p a_0^{(k)}}{p}, \quad b_0 = \frac{\sum_{k=1}^p b_0^{(k)}}{p}, \quad c_0 = \frac{\sum_{k=1}^p c_0^{(k)}}{p}$$

$a_0^{(k)}, b_0^{(k)}, c_0^{(k)}$ - a k. azonos pontra vonatkozó állandók
 n - az iterációk száma
 p - az azonos pontok száma

II. Térbeli (háromváltozós) polinomos transzformáció (x, y, z → u, v, w).

Az átalakító függvények:

$$u = F(x, y, z) = \sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^{n-i} \sum_{k=0}^{n-i-j} a_s \cdot x^i \cdot y^j \cdot z^k,$$

$$v = G(x, y, z) = \sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^{n-i} \sum_{k=0}^{n-i-j} b_s \cdot x^i \cdot y^j \cdot z^k,$$

$$w = H(x, y, z) = \sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^{n-i} \sum_{k=0}^{n-i-j} c_s \cdot x^i \cdot y^j \cdot z^k,$$

x, y, z - koordináták az 1. (ellipszoidi térbeli, vagy ellipszoidi felületi) rendszerben,
 u, v, w - koordináták a 2. (ellipszoidi térbeli, vagy ellipszoidi felületi) rendszerben,
 a_s, b_s, c_s - az átalakító függvények együtthatói ($s = 1, 2, \dots, t$),
 n - a polinomok fokszáma.

$$t = \frac{(n+1) \cdot (n^2 + 5 \cdot n + 6)}{6} - \text{a polinomok tagjainak száma.}$$

Együtthatók meghatározása:

$$\mathbf{A}_{(t)} = \begin{pmatrix} \mathbf{M}^T & \mathbf{M} \\ (t,p) & (p,t) \end{pmatrix}^{-1} \cdot \begin{pmatrix} \mathbf{M}^T \cdot \mathbf{U} \\ (t,p) & (p) \end{pmatrix}, \quad \mathbf{B}_{(t)} = \begin{pmatrix} \mathbf{M}^T & \mathbf{M} \\ (t,p) & (p,t) \end{pmatrix}^{-1} \cdot \begin{pmatrix} \mathbf{M}^T \cdot \mathbf{V} \\ (t,p) & (p) \end{pmatrix},$$

$$\mathbf{C}_{(t)} = \begin{pmatrix} \mathbf{M}^T & \mathbf{M} \\ (t,p) & (p,t) \end{pmatrix}^{-1} \cdot \begin{pmatrix} \mathbf{M}^T \cdot \mathbf{W} \\ (t,p) & (p) \end{pmatrix}.$$

p - az azonos pontok száma;

$$M(l,s) = x_l^i \cdot y_l^j \cdot z_l^k;$$

$$U(l) = u_l, \quad V(l) = v_l, \quad W(l) = w_l \quad (l=1,2,\dots,p, \quad s=1,2,\dots,t);$$

$$A(s) = a_s, \quad B(s) = b_s, \quad C(s) = c_s.$$

III. Sík (kétváltozós) polinomos transzformáció (x, y → u, v).

Az átalakító függvények:

$$u = F(x, y) = \sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^{n-i} a_k \cdot x^i \cdot y^j,$$

$$v = G(x, y) = \sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^{n-i} b_k \cdot x^i \cdot y^j$$

x, y - koordináták az 1. vetületi rendszerben;

u, v - koordináták a 2. vetületi rendszerben;

a_k, b_k - az átalakító függvények együtthatói (k = 1, 2, ..., t);

n - a polinomok fokszáma;

$$t = \frac{(n+1) \cdot (n+2)}{2} - \text{a polinomok tagjainak száma.}$$

Együtthatók meghatározása:

$$\mathbf{A}_{(t)} = \begin{pmatrix} \mathbf{M}^T & \mathbf{M} \\ (t,p) & (p,t) \end{pmatrix}^{-1} \cdot \begin{pmatrix} \mathbf{M}^T \cdot \mathbf{U} \\ (t,p) & (p) \end{pmatrix}, \quad \mathbf{B}_{(t)} = \begin{pmatrix} \mathbf{M}^T & \mathbf{M} \\ (t,p) & (p,t) \end{pmatrix}^{-1} \cdot \begin{pmatrix} \mathbf{M}^T \cdot \mathbf{V} \\ (t,p) & (p) \end{pmatrix}.$$

p - az azonos pontok száma;

$$M(l,k) = x_l^i \cdot y_l^j;$$

$$U(l) = u_l, \quad V(l) = v_l \quad (l=1,2,\dots,p, \quad k=1,2,\dots,t);$$

$$A(k) = a_k, \quad B(k) = b_k.$$

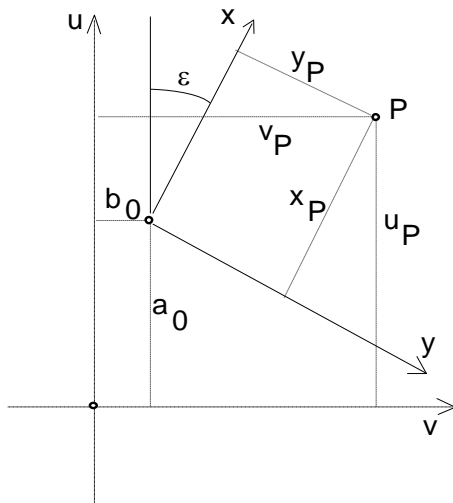
IV. Affin transzformáció (x, y → u, v).

A sík polinomos transzformáció speciális esete, amikor a polinomokban a magasabb rendű tagokat elhagyjuk. Az átalakító függvények:

$$u = F(x, y) = \sum_{i=0}^1 \sum_{j=0}^{1-i} a_k \cdot x^i \cdot y^j = a_0 + a_1 \cdot x + a_2 \cdot y,$$

$$v = G(x, y) = \sum_{i=0}^1 \sum_{j=0}^{1-i} b_k \cdot x^i \cdot y^j = b_0 + b_1 \cdot x + b_2 \cdot y.$$

V. Síkfelületi hasonlósági (Helmert) transzformáció ($x, y \longrightarrow u, v$).



Az átalakító függvények:

$$\begin{aligned} u &= a_0 + a \cdot x - b \cdot y, \\ v &= b_0 + b \cdot x + a \cdot y \end{aligned}$$

ahol

$$\begin{aligned} a &= v \cdot \cos \varepsilon \\ b &= v \cdot \sin \varepsilon \end{aligned}$$

$$v = \frac{t_{u,v}}{t_{x,y}} - a \text{ méretaránytényező};$$

$t_{u,v}$, $t_{x,y}$ - egymásnak megfelelő távolságok az u, v , ill. az x, y koordináta-rendszerben.

Az a_0 , b_0 , a és b együtthatók meghatározása a

$$\begin{aligned} p \cdot a_0 &+ \left(\sum_{i=1}^p x_i \right) \cdot a - \left(\sum_{i=1}^p y_i \right) \cdot b = \sum_{i=1}^p u_i \\ + p \cdot b_0 &+ \left(\sum_{i=1}^p y_i \right) \cdot a + \left(\sum_{i=1}^p x_i \right) \cdot b = \sum_{i=1}^p v_i \\ \left(\sum_{i=1}^p x_i \right) \cdot a_0 &+ \left(\sum_{i=1}^p y_i \right) \cdot b_0 + \left(\sum_{i=1}^p (x_i^2 + y_i^2) \right) \cdot a = \sum_{i=1}^p x_i \cdot u_i + \sum_{i=1}^p y_i \cdot v_i \\ - \left(\sum_{i=1}^p y_i \right) \cdot a_0 &+ \left(\sum_{i=1}^p x_i \right) \cdot b_0 + \left(\sum_{i=1}^p (x_i^2 + y_i^2) \right) \cdot b = - \sum_{i=1}^p x_i \cdot v_i + \sum_{i=1}^p y_i \cdot u_i \end{aligned}$$

normálegyenlet-rendszerből történik (az eddigi jelöléseken túl p - az azonos pontok száma).

Pontossági mérőszámok

Wolf (1968) ma már klasszikusnak számító könyvében a "kiegyenlítő függvényekkel" közelíthető ponthalmazokat "hibát mutató" (fehlerzeigende) jelzővel látta el. Az I., II., III., IV. és V. közelítő eljárások is hibákkal terheltek, pontosságukat a hibaterjedés törvényének a bemutatott függvényekre vonatkozó szigorú és következetes alkalmazásával becsülhetjük meg. Ehhez - többek között - szükség van az állandók meghatározására felírható egyenletrendszerek együtthatómátrixának inverzére. Ha ezt nem határozzuk meg, az egyes eljárások pontosságának becsülésére csak közelítő információk állnak rendelkezésre. Ilyen információk nyerhetők pl. az azonos pontok alapján számított együttha-

tóknak az azonos pontokra vonatkozó átalakító függvényekbe helyettesítése útján, az alábbi utólagos középhibák alapján:

I. Térbeli hasonlósági (Helmert) transzformáció:

$$\mu = \pm \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^p \left(\begin{smallmatrix} \text{er.} \\ \text{tr.} \end{smallmatrix} \right) \left(\begin{smallmatrix} U_i - \bar{U}_i \\ V_i - \bar{V}_i \\ W_i - \bar{W}_i \end{smallmatrix} \right)^2}{3 \cdot p - 7}},$$

p - az azonos pontok száma, 7 - a transzformációs állandók száma, "er."-rel az azonos pontok eredeti, "tr."-rel az azonos pontok átalakító függvényekből kapott koordinátáit jelöljük.

II. Térbeli (háromváltozós) polinomos transzformáció:

$$\mu_u = \pm \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^p \left(\begin{smallmatrix} \text{er.} \\ \text{tr.} \end{smallmatrix} \right) \left(u_i - \bar{u}_i \right)^2}{p - t}}, \quad \mu_v = \pm \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^p \left(\begin{smallmatrix} \text{er.} \\ \text{tr.} \end{smallmatrix} \right) \left(v_i - \bar{v}_i \right)^2}{p - t}}, \quad \mu_w = \pm \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^p \left(\begin{smallmatrix} \text{er.} \\ \text{tr.} \end{smallmatrix} \right) \left(w_i - \bar{w}_i \right)^2}{p - t}},$$

az eddigi jelöléseken túl t - a polinomok tagjainak száma. p = t esetén a kiegyenlítő felület minden ponton átmegy és végtelen nagy középhibákkal kell számolnunk.

III. Sík (kétfváltozós) polinomos transzformáció:

$$\mu_u = \pm \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^p \left(\begin{smallmatrix} \text{er.} \\ \text{tr.} \end{smallmatrix} \right) \left(u_i - \bar{u}_i \right)^2}{p - t}}, \quad \mu_v = \pm \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^p \left(\begin{smallmatrix} \text{er.} \\ \text{tr.} \end{smallmatrix} \right) \left(v_i - \bar{v}_i \right)^2}{p - t}}.$$

IV. Affin transzformáció:

$$\mu_u = \pm \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^p \left(\begin{smallmatrix} \text{er.} \\ \text{tr.} \end{smallmatrix} \right) \left(u_i - \bar{u}_i \right)^2}{p - 3}}, \quad \mu_v = \pm \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^p \left(\begin{smallmatrix} \text{er.} \\ \text{tr.} \end{smallmatrix} \right) \left(v_i - \bar{v}_i \right)^2}{p - 3}},$$

3 - a polinomok tagjainak száma.

V. Sík hasonlósági (Helmert) transzformáció:

$$\mu = \pm \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^p \left(\begin{smallmatrix} \text{er.} \\ \text{tr.} \end{smallmatrix} \right) \left(u_i - \bar{u}_i \right)^2 + \sum_{i=1}^p \left(\begin{smallmatrix} \text{er.} \\ \text{tr.} \end{smallmatrix} \right) \left(v_i - \bar{v}_i \right)^2}{2 \cdot p - 4}},$$

4 - a transzformációs állandók száma.

Hangsúlyoznunk kell, hogy - különösen viszonylag kevés azonos pont esetén - a fenti mérőszámoknak nem tulajdoníthatunk perdöntő jelentőséget. Ezért az egyes eljárásokat a transzformációs állandók számításában részt nem vevő ellenőrző (szintén azonos) pontok alapján célszerű összehasonlítani. Ha ellenőrző pontjaink nincsenek, csak az egyes eljárások közötti különbségek detektálhatók.

Összefoglalva, a vonatkozó rendszerek közötti átszámításoknál *evidensnek* mondhatóak az alábbiak:

- két vetület között az átszámítás csak akkor szigorú, ha vonatkozási rendszerük közös;
- az m (H) magasságok bevonása a számításokba opcionális ($3D \Rightarrow 2D$);
- a közelítő megoldásoknál minden esetben azonos pontokra van szükség;
- nem adható meg (egyetlen) olyan paraméter-készlet, amely Magyarország egész területére geodéziai pontosságú átszámítást biztosít;
- a pontossági mérőszámokat óvatosan kell kezelni.

Megítélésem szerint *nem tekinthető evidensnek*:

- melyik átszámítási módszer a "legjobb", ill. létezik-e ilyen egyáltalán;
- hogyan állapíthatjuk meg egy átszámítási módszer pontosságát: a transzformációs állandók meghatározásába bevont pontokon túl az ország területén egyenletesen elosztott "ellenőrző" pontokra van szükség.

Szigorú átszámítások

VI. Földrajzi koordináták számítása vetületi koordinátákból ("inverz" vetületi egyenletek)

$$\{x, y, (m) \longrightarrow \Phi, \Lambda, (H)\}$$

Vetületeként változó zárt képletekkel, vagy sorokkal, a vetületek sajátosságai szerint.

VII. Ellipszoidi térbeli koordináták számítása ellipszoidi felületi koordinátákból

$$(\Phi, \Lambda, H \longrightarrow X, Y, Z):$$

$$\begin{aligned} X &= (R_N + H) \cdot \cos\Phi \cdot \cos\Lambda, & R_N &= \frac{a}{\sqrt{1 - e^2 \cdot \sin^2 \Phi}} \\ Y &= (R_N + H) \cdot \cos\Phi \cdot \sin\Lambda, & e^2 &= \frac{a^2 - b^2}{a^2} \\ Z &= \left(\frac{b^2}{a^2} \cdot R_N + H\right) \cdot \sin\Phi, \end{aligned}$$

ahol: a , b az ellipszoid nagy és kis féltengelye, R_N a harántgörbületi sugár és e^2 az első numerikus excentricitás.

VIII. Ellipszoidi felületi koordináták számítása ellipszoidi térbeli koordinátákból

$$(U, V, W \longrightarrow \Phi', \Lambda', H'):$$

$$\begin{aligned} \Phi' &= \arctg \frac{W + e'^2 \cdot b \cdot \sin^3 \vartheta}{p - e^2 \cdot a \cdot \cos^3 \vartheta}, & e'^2 &= \frac{a^2 - b^2}{b^2}, \\ \Lambda' &= \arctg \frac{V}{U}, & p &= \sqrt{U^2 + V^2}, \\ H' &= \frac{p}{\cos\Phi'} - R'_N, & \vartheta &= \arctg \frac{W \cdot a}{p \cdot b}. \end{aligned}$$

IX. Vetületi koordináták számítása földrajzi koordinátákból (vetületi egyenletek)

$$\{\Phi', \Lambda', (H') \longrightarrow u, v, (m')\}$$

Vetületeként változó zárt képletekkel, vagy sorokkal, a vetületek sajátosságai szerint.

X. Vetületi koordináták számítása földrajzi koordinátákból (vetületi egyenletek)

$$\{\Phi, \Lambda, (H) \longrightarrow u, v, (m')\}$$

Vetületenként változó zárt képletekkel, vagy sorokkal, a vetületek sajátosságai szerint.

A HungaPro v3.16 átszámító program

A 2. ábrán a fenti megnevezésű, a különböző vonatkozási rendszerek közötti átszámítások céljából készült program manuális számításokra alkalmas munkafelületét mutatom be.

2. ábra: HungaPro v3.16 program átszámítási munkafelülete.

A program segítségével az alábbi koordináta rendszerek között végezhetünk átszámítást Magyarország egész területére kiterjedő érvényességgel:

- GPS (X, Y, Z),
- WGS-84 (Φ , Λ , H),
- UTM: 15, 18 és 21 fok középmeridiánú vetületi sávok (y, x, H),
- IUGG GRS 1967 (Φ , Λ , m),
- EOV (y, x, m),
- Sztereografikus (y, x),
- Ferdetengelyű hengervetületek: HÉR, HKR, HDR (y, x),

ahol

- X, Y, Z: WGS-84 ellipszoid középpontú térbeli koordináták,
- Φ , Λ : földrajzi szélesség és hosszúság a WGS-84, ill. az IUGG GRS 1967 vonatkozási rendszerben,
- H: WGS-84 ellipszoidi magasság,
- y, x: UTM, EOV, sztereografikus, ill. henger vetületi koordináták,
- m: balti tengerszint feletti magasság.

Az adatok beadását végezhetjük:

- a képernyőről manuálisan szöveglablakból,
- ASCII formátumú adatállományból.

Az utóbbi esetben az adatok előírt sorrendje az adatsorokban:

- GPS állomány: Pontszám X Y Z,
- WGS-84 állomány: Pontszám Φ Λ H,
- UTM állomány: Pontszám y x H,
- IUGG GRS 1967 állomány: Pontszám Φ Λ m,
- EOVS állomány: Pontszám y x m,
- Sztereografikus állomány: Pontszám y x m,
- Hengervetületi állomány: Pontszám y x m.

Az egyes adatokat tetszőleges számú üres hely (<Space>) választja el egymástól, a sor végén <Enter>. A fentitől eltérő adatformátumoknál a program az adott helyen hibaüzenetet küld. Az eredmény állomány is ASCII formátumú. A magasságok megadása nem kötelező, ez esetben a kimenő állományban a WGS-84 és a Bessel, vagy a WGS-84 és az IUGG GRS 1967 ellipszoidokhoz tartozó koordinátarendszerek közötti átszámításoknál a WGS84 ellipszoid feletti magasság és a tengerszint feletti magasság különbsége (geoid unduláció), egyéb esetben 0.00 jelenik meg.

A Φ és a Λ értékek bemeneti formátuma:

° - ' - ".0000, 4 tizedes élességig, az elválasztás kötőjeles. A kimeneti állományban a formátum ugyanez. Az X, Y, Z, y, x, H és m koordináták egysége: méter.

Az UTM-ről UTM-re való átszámítás a 15, 18 és 21 fok középmeridiónú UTM vetületi sávok közötti áttérést jelent, ill. átszámítás végezhető a 3 ferdetengelyű hengervetület között.

Az állományműveletek előtt munkakönyvtárt választhatunk (célszerűen azt, ahol az állományainkat tároljuk), az eredmény állományok is ebbe a könyvtárba kerülnek.

A program a *.gps, *.wgs, *.utm., *.iug, *.eov, *.stg, *.her, *.hkr, *.hdr állomány kiterjesztést ajánlja fel, amit mi, oda belépve, tetszés szerint módosíthatunk. Az eredmény állományoknak tetszőleges kiterjesztést adhatunk. A be- és kimenő koordinátarendszerek megválasztása a munkablak felső középső részén lehetséges.

A program kéri az eredmény állomány nevét. Ha nem adunk meg kiterjesztést, az állomány automatikusan *.nm kiterjesztésű lesz.

A programkezelési módok - pl. a szöveges (megtekinthető, ill. felülírható) ablakokban való mozgás, a billentyűkombinációk, kurzorvezérlés, az "Alt-Tab" alkalmazásváltás, stb. - a Windows-ban megszokott módon hajthatók végre, ezért a program használatához a Windows operációs rendszer alapfokú ismerete szükséges.

A képernyő jobboldalán lévő utasítógombok használata aktív állapotban:

- 'Számítás': a manuális adatbevitel, ill. az adatállományok betöltése után a számítások elvégzése,
- 'Rajz': adatállomány grafikus megjelenítése (Φ , Λ állományoknál előfordulhat, hogy nem ábrázolhatók!),
- 'Megnéz': Meghívja a Windows 'Write' szövegszerkesztőjét és megjeleníti ill. szerkeszthetővé teszi a kijelölt állományt. Egyidejűleg több állomány is megjeleníthető. A 'Write.exe' állománynak a WINDOWS könyvtárban kell lennie, ellenkező esetben hibajelzést kapunk.
- 'Színek': a képernyő színeinek beállítása,

- 'Info': a programtájékoztató aktiválása,
- 'Névjegy': információ a programról,
- '!': az ablak jobb felső részén látható kisméretű utasításgomb az ablak képernyőn elfoglalt eredeti helyzetét állítja vissza.

Pontosság, tapasztalatok

A bemutatott programmal történő átszámítások 0.01 m élességűek, s - a kerekítési hibáktól eltekintve - az azonos vonatkozási rendszerek esetében hibátlanok (EUREF-89: GPS - WGS-84 - UTM; HD-72: IUGG GRS 1967 - EOVS; B-1952: Szt. - HÉR -HKR - HDR).

A különböző alapfelületű rendszerek közötti átszámításokhoz a transzformációs alandókat a VisualBasic nyelv számítógépes szóhosszának dupla precízióban behatárolt korlátai miatt mindig súlyponti rendszerre redukált koordinátákkal számítottam. Ez számítási tapasztalataim szerint érzékelhető és elegendő pontosságnövekedést biztosított, s korlátozhatóvá vált a sokszámjegyű együtthatók értékesjegy-vesztése. A normálegyenletrendszerek megoldásánál a Gauss-féle eljárás részleges főelem-kiválasztással működő változatát alkalmaztam.

Az EUREF-89, valamint a HD-72 rendszerek közötti átszámításnál bármely variációban választani lehet a 7 paraméteres Helmert- és a - másodfokú háromváltozós (térbeli) - polinomos transzformáció között.

Mind a 7 paraméteres Helmert-transzformáció paramétereinek, mind a polinomok együtthatóinak számításához az ország területén közel egyenletes elhelyezkedésű 24 OGPSH pontot használtam fel. A választott polinomos transzformációnál a polinomok tagjainak száma $t = \frac{(2+1) \cdot (2^2 + 5 \cdot 2 + 6)}{6} = 10$. A polinomok fokszámának megállapí-

tása fontos feladat, kérdéses, hogy - az azonos pontok számától függően - létezik-e egy *optimális fokszám*, amely a legmegbízhatóbb polinomos átszámítási eredményeket adja.

A B-1952 és a HD-72 rendszerek közötti átszámítást a program harmadfokú kétváltozós (sík) polinomos transzformációval végzi. A transzformációhoz 20 db, az ország területén szintén közel egyenletesen megoszló, többségében IV. rendű pontot használtam fel.

A harmadfokú transzformációs polinomok tagjainak száma $t = \frac{(3+1) \cdot (3+2)}{2} = 10$.

A B-1952 és az EUREF-89 rendszerek közötti átszámításnál a program egyidejűleg mind a másodfokú három-, mind a harmadfokú kétváltozós polinomos transzformációt használja. Az átszámító program pontossági mérőszámait a "Pontossági mérőszámok" c. pontban ismertetett összefüggések szerint határoztam meg:

1.) Az EUREF-89 és a HD-72 rendszerek között:

	$\mu = \pm 0.38$ m,
- térbeli Helmert-transzformáció:	$\mu_u = \pm 0.23$ m,
- másodfokú háromváltozós polinomos transzformáció:	$\mu_v = \pm 0.09$ m,
	$\mu_w = \pm 0.22$ m.

1.) A B-1952 és a HD-72 rendszerek között:

	$\mu_u = \pm 0.22$ m,
- harmadfokú kétváltozós (sík) polinomos transzformáció:	$\mu_v = \pm 0.21$ m.

Fentiek - ha messzemenő tanulságok nem is vonhatók le belőlük - alátámasztják az "Átszámítások" pontban tett észrevételt az egész országra kiterjedő transzformációs ál-

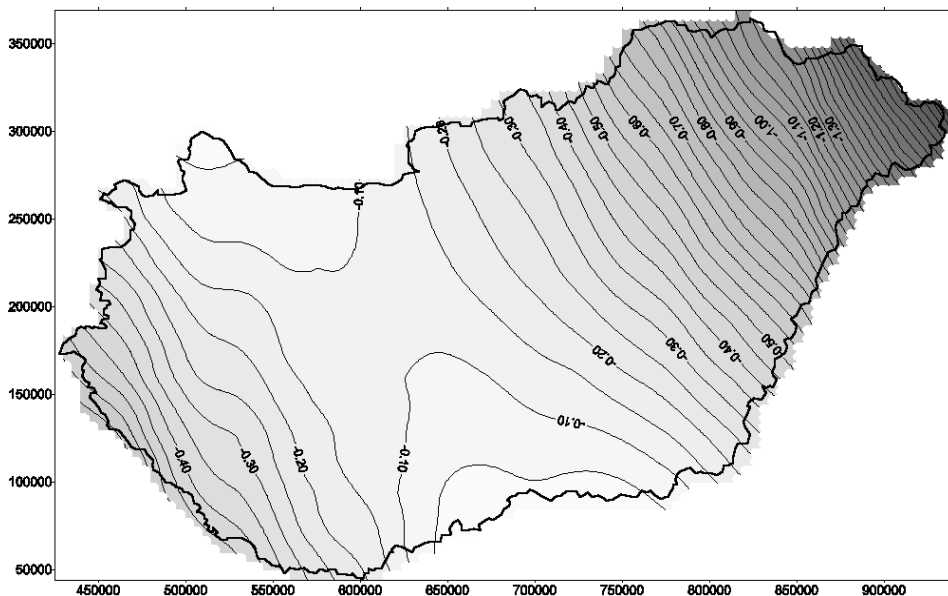
landók korlátairól. A becült "belső" pontosság szerint közel egyenértékű térbeli Helmert- és a háromváltozós polinomos eljárások Magyarország területén eltérő eredményekhez vezetnek. A szigorú tesztlésre - ellenőrző pontok hiányában - nem volt lehetőségem. A mérési technológiák különbözősége miatt pusztán az azonos pontok számának növelése nem jár arányos pontosságnövekedéssel, a nagyszámú ellenőrző pont bevonása viszont meggyőzővé tehetné a döntést az átszámítási módszer megválasztásában.

Az érdekesség kedvéért számítottam az ország területét egyenletesen lefedő, az ellipszoid felületén lévő ($H = 0$), 63 db 1:100.000 méretarányú EOVSzelvény sarokpontban a térbeli Helmert- és a háromváltozós polinomos eljárással kapott eredmények

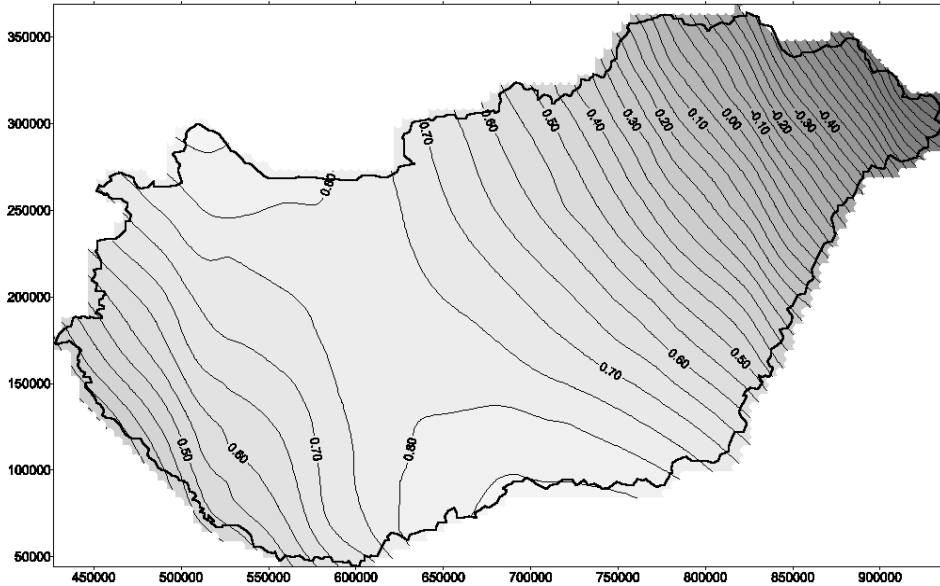
$$\Delta H' = H'_{\text{polinom}} - H'_{\text{Helmert}}$$

eltéréseit, az EOVS-ből az UTM vetület 18°-os sávjába való átszámítás esetére (ez a HD-72 és az EUREF-89 közötti átszámítások más eseteire is hasonló, a többi átszámítás ugyanis szigorú).

Az eltérésekből megszerkesztettem a $\Delta H'$ magassági eltérések izovonalas ábráját (3. ábra). Az eltérések mindenütt negatív előjelűek. A világosabb részekben, az ország közepén, ÉNy - DK irányban viszonylag széles sávban az eltérések abszolút értékben kisebbek, a sötétebb részekben, ÉK és DNy felé távolodva, az eltérések abszolút értékei nőnek és az ország észak-keleti részén elérik, majd jelentősen meghaladják az 1 m-t.



3. ábra: A térbeli Helmert- és a háromváltozós polinomos transzformációval számított magasságok eltérései ($\Delta H' = H'_{\text{polinom}} - H'_{\text{Helmert}}$, $H = 0$ m)



4. ábra: A térbeli Helmert- és a háromváltozós polinomos transzformációval számított magasságok eltérései ($\Delta H' = H'_{\text{polinom}} - H'_{\text{Helmert}}$, $H = 500$ m)

A 4. ábra szintén izovonalakat mutat be, az 1: 100.000 méretarányú EOVS szelvény sarokpontok itt a $H = 500$ m ellipszoidi magasságban helyezkednek el. Az eltérések előjelei különbözőek. A világosabb részekben az eltérések $+0.7$ m - $+0.8$ m körüliek, ÉK és Dny felé távolodva, a (pozitív) eltérések értékei csökkennek, míg az ország ÉK-i részén negatív előjelűvé és abszolút értékben növekvővé válnak. Az izovonalak futása hasonló, de előjelhelyes értékük mintegy 0.9 m - 1.0 m-rel nagyobb. Az eltérések értékei tehát függenek a pontok magasságától. Az ábrából ezért értékelhető következtetések nem vonhatók le, s elméleti tartalmuk vizsgálata is túlmutat jelen tanulmány keretein.

Kétségtelenül hasznosabb, meggyőzőbb tanulságokkal szolgálna, ha a transzformációban sokkal több pont szerepelt volna (ha lettek volna, ill. megvásároltam volna), ill. ellenőrző pontokkal tesztelhettem volna az egyes eljárásokat. A Földmérési és Távérzékelési Intézet részletes adatbázisai mindenestre lehetőséget adnának részletesebb vizsgálatokra. Ugyanezek az adatbázisok - ha igény lenne rá - az ország területének megfelelően kis kiterjedésű részekre, blokkokra bontásával, az egyes blokkokra számítható önálló transzformációs együtthatókkal a bemutatott programot geodéziai pontosságú átszámítások végrehajtására is alkalmassá tehetnék.

Hivatkozások

- Bácsatyai L** (1993): Átszámítások a budapesti sztereografikus és az osztrák Gauss-Krüger (M34) vetületi rendszer között. *Geodézia és Kartográfia* 5, 284-288.
- Bácsatyai L** (1994): Magyarországi vetületek. Tankönyv. Mezőgazdasági Szaktudás Kiadó, 196.

- Bácsatyai L** (1995): Umwandlung der Budapester stereographischen in österreichische Gauss-Krüger-Koordinaten. Österreichische Zeitschrift für Vermessung und Geoinformation, 4, 227-233.
- Borza T, Kenyeres A, Németh Zs, Virág G** (1998): Országos GPS hálózat. Földmérési és Távérzékelési Intézet, Budapest, Kézirat.
- Busics Gy** (1996): Közelítő transzformációk a GPS és az EOVS koordináták között. Geodézia és Kartográfia, 6, 20-25.
- Fasching A** (1909): A magyar országos háromszögelések és részletes felmérések új vetületi rendszere. Budapest, 57.
- Homoródi L** (1952): Vizsgálatok új háromszögelési hálózatunk elhelyezésére és tájékoztatására. Földméréstani közlemények, 61-71.
- Homoródi L** (1953): Régi háromszögelési hálózataink elhelyezése és tájékoztatása. Földméréstani közlemények, 1-18.
- Ledersteger K** (1947): Theoretische und numerische Studien zur genäherten Ableitung eines bestanschließenden Ellipsoides für Europa. Sitzungsberichte der mathem.-naturw. Abt. II. a, Bd. 9 u. 10.
- Mihály Sz** (1995): A magyarországi geodéziai vonatkozási és vetületi rendszerek átfogó katalógusa. OMFB-93-95-003 sz. OMFB-FM-FÖMI projekt, Budapest, június 10.
- Mihály Sz** (1998): A FÖMI adatbázisai, szabványosítási kérdések. Összeállítás a MTA Geodéziai Tudományos Bizottságának ülésére. Budapest, október 8.
- Völgyesi L, Tóth Gy, Varga J** (1992): Magyarországi vetületi rendszerek közötti átszámítások. Version 3.21. Budapest, november. Kézirat.
- Wolf H** (1968): Ausgleichsrechnung nach der Methode der kleinsten Quadrate. Ferd. Dummlers Verlag, Bonn, 415 - 449.

A MONTE-CARLO MÓDSZER

*Kalmár János**

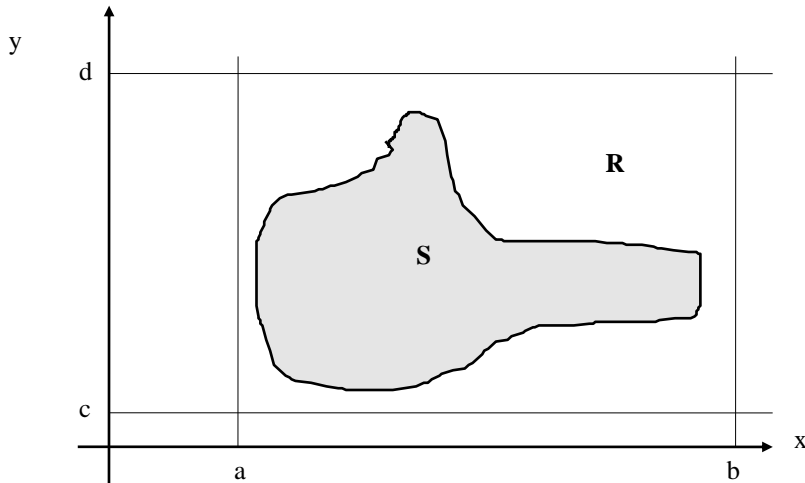
Bevezetés

A *Monte-Carlo* módszer numerikus feladatok megoldásának egy olyan csoportját jelöli, amikor az eredményt sztochasztikus szimuláció szolgáltatja, tehát nagyszámú kísérlet végrehajtása révén jutunk el a megoldáshoz. Napjainkban a szükséges kísérleteket természetesen nem fizikailag végezzük el, hanem számítógép segítségével modellezzük az eseményteret, ami gyakorlatilag véletlenszám generálást jelent (Srejjger 1965).

Példák a Monte-Carlo módszer alkalmazására

Az eljárás lényegét bemutatandó, két jól ismert numerikus feladat Monte-Carlo típusú megoldását ismertetem (Kalmár 1995):

Legyen az első feladat egy **S** síkidom (1. ábra) területének meghatározása.



1. ábra. Területszámítás.

Tegyük fel azt, hogy az idom belefoglalható egy $\mathbf{R}(a \leq x \leq b, c \leq y \leq d)$ téglalapba, és létezik egy olyan eljárás, mely tetszőleges (x, y) pontról képes eldönteni, hogy az a síkidomhoz tartozik-e. Rendelkezésünkre áll tehát az

$$f(x, y) = \begin{cases} 1, & \text{ha } (x, y) \in \mathbf{S} \\ 0, & \text{ha nem} \end{cases} \text{ függvény.}$$

Generáljunk \mathbf{R} -n egyenletes eloszlású $\mathbf{P}_i(x_i, y_i)$ pontsorozatot, akkor a

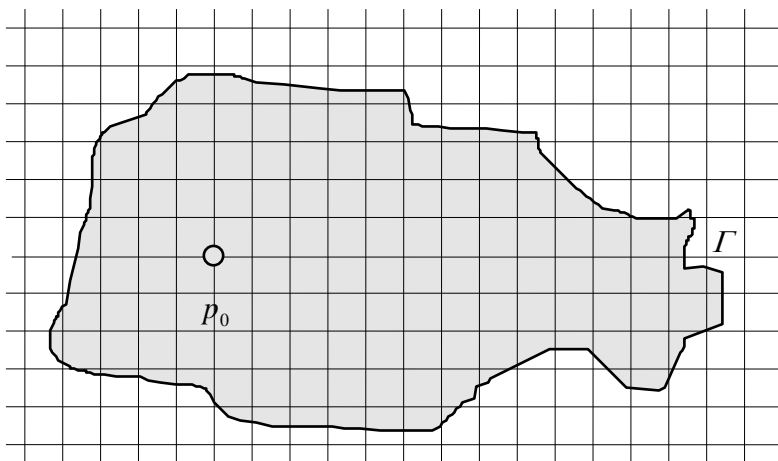
$$\mathbf{Q}_n = \sum_{i=1}^n f(x_i, y_i)$$

érték az \mathbf{S} -be eső generált pontok számát adja. Ekkor teljesülni fog

$$\frac{t_s}{t_R} = \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{Q_n}{n}$$

ahol t_s jelöli az \mathbf{S} síkidom, t_R pedig az \mathbf{R} téglalap területét, vagyis $t_R = (b - a) \cdot (d - c)$.

A bemutatandó másik probléma a *Dirichlet*-feladat lesz, vagyis keressük egy harmonikus $\mathbf{T}(x, y)$ függvény értékét a sík egy adott $\mathbf{P}_0(x_0, y_0)$ pontjában, ha ismerjük a függvény értékét a \mathbf{P}_0 -t tartalmazó Γ tartomány határán. Ez a feladat analitikusan csak egyszerű határoló vonal (kör vagy téglalap) esetén oldható meg, egyébként csak a *Monte-Carlo* eljárás használható. A végelem módszerből levezetett sztochasztikus szimulációt ez esetben a következőképpen kell felírni (Griego és Hersh 1973) (2. ábra):



2. ábra. *Dirichlet*- feladat.

Indítsunk el egy kétdimenziós *Brown* mozgást végző pontot \mathbf{P}_0 -ból. A *Brown* mozgást úgy modellezhetjük, hogy egy sűrű rácshálót fektetünk a Γ tartományra, és felteszünk, hogy a pont csak a rácsvonalakon mozoghat. Időegységenként egyet lép, egyforma valószínűséggel mind a négy lehetséges irányba. Belátható, hogy a pont 1 valószínűséggel eléri a tartomány határvonalát, és ekkor a pont vándorlását befejezi, azt az értéket pedig, amit az elért határpontban a függvény felvesz, feljegyezzük. A \mathbf{P}_0 -beli függvényértéket sok pont elindítása után a határon feljegyzett értékek átlagaként (várható értékeként) kapjuk.

Az eljárás általános jellemzői

Láthattuk, hogy az eljárások lényege az volt, hogy nagyszámú olyan kísérletet végzünk, ahol a események valószínűségi viszonyai ismertek, és a modellhez rendelt valószínűségi változó várható értéke adta az eredeti probléma megoldását. Tehát a módszer alkalmazásának fázisai:

- Meg kell keresni a probléma sztochasztikus modelljét,
- Elegendően nagyszámú kísérletet kell végezni (szimulálni),
- Kiértékeljük a kísérletek kimeneteit.

Elméletileg a legnehezebb feladat a sztochasztikus modell felállítása, mert a kapcsolat általában nem triviális, amint azt a *Dirichlet*-feladatnál is láttuk. Alkalmanként bizonyítandó az ekvivalencia, ami a konkrét feladat alapos ismeretét feltételezi, mert általános séma nem létezik, ezért ezt a kérdést a továbbiakban nem vizsgálom.

A kísérletek eredményeinek kiértékelése a modell ismeretében már nem okozhat gondot, hiszen többnyire átlagképzésről van szó. Kritikus pont viszont a kísérletek szükséges számának megállapítása. Az elvégzendő kísérletek szükséges száma pontossági igényünkkel függ össze, ami nyilvánvaló, hiszen a várható értéket annál pontosabban becsülhetjük, minél több kísérletet végeztünk. Általában jó stratégiának bizonyul az egymás utáni részeredmények összehasonlítása, és ha az eltérés tartósan az előírt pontossági szint alatt marad, akkor befejezhetjük a szimulációt.

A kísérletek kivitelezésével fogok a továbbiakban foglalkozni, mert ezen a téren már több, jól alkalmazható összefüggést ismerünk (Buszlenko 1972).

Egyenletes eloszlású véletlen számsorozatok előállítása

A kísérleteket a számítógépek korában természetesen már nem fizikai formájukban hajtjuk végre, hanem számítógéppel szimuláljuk az eredményt. Ennek feltétele az, hogy képesek legyünk adott eloszlású véletlen számokat generálni. A számítógépeknek ma már alapszolgáltatása a $[0,1]$ intervallumon egyenletes eloszlású véletlen számsorozatok előállítása. Ez történhet fizikai véletlenszám generátorral, vagy programmal előállított pszeudo-véletlen számokkal. Mindkét megoldás kivitelezésére mutatok egy-egy példát, hogy ráérezzünk a feladat ízére.

Binárisan egy 0 és 1 közötti szám $0, b_1 b_2 b_3 \dots b_k$ alakú, ahol b_i bitek értékei 0-k vagy 1-ek lehetnek. Ha van olyan fizikai véletlenszám generátor, amely $1/2$ valószínűséggel állít elő 0-át illetve 1-et, akkor ezt k példányban megvalósítva és kiolvastva kapunk k hosszú (ennyi bites a számítógép szóhossza) bináris jelsorozatot, amely egy standard véletlenszámot eredményez. Ilyen tulajdonságú fizikai véletlenszám generátort a következőképpen kaphatunk:

Kösszünk egy sztochasztikus zajforrást számítógépünkhöz, és folyamatosan vizsgáljuk a kimenetén megjelenő jel erősségét. Ha lekérdezéskor a jelerősség meghalad egy előre definiált értéket, inkrementáljuk (azaz 1-el növeljük) egy számlálót. Amikor szükségünk van a véletlen bitre, akkor ezen számláló utolsó bináris jegyét olvassuk ki, ami egyben a számlálóbeli érték párosságát is mutatja. A módszer megbízhatóságát javítja, ha a küszöbértéket az input jel várható értékének választjuk.

Egy egyszerű pszeudo-véletlenszám generátort mutatok be a továbbiakban:

Induljunk ki egy tetszőleges, k jegyű bináris számból. Emeljük ezt négyzetre (az eredmény ekkor $2k$ jegyű lesz), és a számsorozat következő elemét a szorzat középső k jegye szolgáltatassa. Sajnos a véges hosszú számábrázolás miatt nem küszöbölhető ki a ciklikusság (valahány lépés után a sorozat ismétli önmagát), sőt, elfajulás is felléphet (ha a sorozat egyik eleme 0, akkor az összes rákövetkező elem is 0 lesz).

A most bemutatottnál hatékonyabb (gyorsabb) eljárások is léteznek, de a keletkezett számsorozat egyenletes eloszlásának elvi bizonyítása jóval nehezebb. A gyakorlatban statisztikai próbákkal ellenőrizzük a generált véletlenszámok tulajdonságait, amit minden esetben célszerű végrehajtanunk, ha azokat általunk nem ismert algoritmus vagy jelenség szolgáltatja.

Ismert eloszlások előállítása az egyenletes eloszlásból

A beépített véletlenszámgeneráló ellenőrzése után a következő probléma a modellben megfogalmazott eloszlásnak megfelelő véletlen számok előállítása. Jelöljük a továbbiakban x_i -vel a $[0, 1]$ intervallumon egyenletes eloszlású véletlen számsorozatunk i -dik elemét, melyet ismertnek feltételezve határozzuk meg más, előírt eloszlású valószínűségi változó aktuális értékét.

Ha az A véletlen esemény p valószínűséggel következik be, akkor

$$x_i \leq p$$

feltétel teljesülése esetén tekintjük A -t bekövetkezettnek. Általánosítsunk! Legyen $\{A_j\}$ teljes eseményrendszer, azaz

$$\sum_{j=1}^n p_j = 1, \text{ és legyen } l_r = \sum_{j=1}^r p_j$$

Akkor tekintjük A_m eseményt bekövetkezettnek, ha teljesül

$$l_{m-1} < x_i \leq l_m$$

A szimulációnak ezt a fajtáját sorsolásnak is nevezik. Alkalmazzuk ezt a módszert az a paraméterű Poisson eloszlásra, ahol A_j esemény azt jelenti, hogy a valószínűségi változó a j értéket veszi fel:

$$p_j = a^j \frac{e^{-a}}{j!}$$

ezért

$$l_r = e^{-a} \sum_{j=1}^r \frac{a^j}{j!}$$

Egyszerűbb esetekben adott $f_\eta(y)$ sűrűségfüggvény ismeretében közvetlenül felírható x_i azon transzformációja, amely f_η sűrűségfüggvényű véletlen számsorozathoz vezet. Ezt az teszi lehetővé, hogy ξ valószínűségi változó egyenletes eloszlású a $[0, 1]$ intervallumon, ha a következőképpen definiáljuk:

$$\xi = \int_0^\eta f_\eta(y) dy$$

Ezért az f_η sűrűségfüggvényű y_i véletlen sorozatot x_i alapján a következőképpen számíthatjuk:

$$\int_{-\infty}^{x_i} f_\eta(y) dy = x_i$$

Ennek alapján például a λ paraméterű exponenciális eloszlású y_i számsorozat a következőképpen számítható:

$$f(y) = \lambda e^{-\lambda y}$$

ezért

$$y_i = -\frac{\ln x_i}{\lambda}$$

A 0 várható értékű, 1 szórású Laplace eloszlású z_i számsorozat legegyszerűbben a hasonló paraméterű exponenciális eloszlású y_i számsorozatból vezethető le:

$$z_i = \text{sign}(x_i - 0,5) \cdot \frac{(y_i + 1)}{\sqrt{2}}$$

Új módszerhez jutunk, ha figyelembe vesszük a központi határeloszlás tételét:

Ha ξ_i -k független és azonos \mathbf{a} várható értékű valószínűségi változók σ szórással, akkor a $\sum_{i=1}^n \xi_i$ valószínűségi változó aszimptotikusan ($n \rightarrow \infty$) normális eloszlású,

$n \cdot \mathbf{a}$ várható értékkel és $\sqrt{n}\sigma$ szórással. A gyakorlatban $n = 5, \dots, 10$ egyenletes eloszlású szám összege már jól közelíti a normális eloszlású véletlen számsorozatot.

A 0 várható értékű, 1 szórású lognormális eloszlású w_i számsorozatot legegyszerűbben a hasonló paraméterű normális eloszlású y_i számsorozatból származtathatjuk:

$$w_i = \frac{(\exp(y_i) - 1,65)}{2,16}$$

Az origóra szimmetrikus Cauchy eloszlású y_i számsorozatot a következőképpen kapjuk:

$$y_i = \text{tg}(\pi \cdot (x_i - 0,5))$$

Köszönetnyilvánítás

A dolgozat a T025318 és T030239 számú OTKA pályázatok támogatásával készült.

Hivatkozások

Kalmár János (1995): A terepmodell kutatások legújabb eredményei, kandidátusi disszertáció

Buszlenko N P (1972): Bonyolult rendszerek szimulációja, Műszaki Könyvkiadó

Srejgyer J A (1965): Monte-Carlo módszerek, Műszaki Kiadó, Budapest

Griego R J, Hersh R (1973): Brownian motion and potential theory, Scientific American, 67-74.

INTRODUCTION TO FRACTAL GEOMETRY

*R. Horváth** - *L. Németh** - *L. Szalay** - *J. Závoti***

Preface

Simply speaking, fractal geometry is a mathematical description of self-similar objects, and fractals are shapes which show similar features at different scales. Most people have probably seen complex and often beautiful images known as fractals. Many books (see e.g. Peitgen and Richter (1986), Peitgen and Saupe (1988), Peitgen et al. (1991) and Szabó (1997)) have been written on the subject, but they were written primarily for high-level studies in mathematics. The purpose of this text is to show how some fractals are generated, and how they can be applied to geosciences.

Koch Curve and Koch Snowflake

Koch curve is named after Helge von Koch, a Swedish mathematician, who invented it. There is a simple method to construct the Koch curve. Suppose that an arbitrary straight line segment is given as the initial object. The process of the construction consists of three steps.

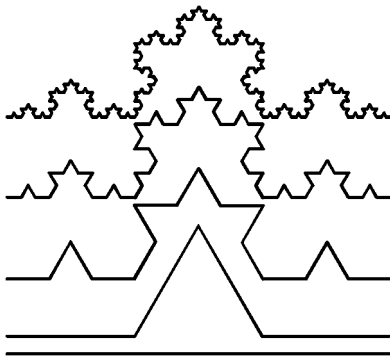


Fig. 1. Stages of the Koch curve.

Step 1. Divide the segment into three equal parts and remove the middle section.

Step 2. Replace the missing section with an equilateral triangle and take away its base.

Step 3. Take each of the getting line segments, and apply the Process to all of them.

Some first stages of this construction can be seen in Fig. 1. The Koch curve (or the Koch fractal) is the limit of the approximating stages, which has interesting features. For instance, it has no unique tangent, it has infinite length because the n th stage consists of 4^n segments with length $\frac{1}{3^n}$, so the total length $\left(\frac{4}{3}\right)^n$ tends to infinity (as n tends to infinity). Other feature is the self-similarity, i.e. we can partition the Koch curve into 4 equivalent parts and each part is similar to the whole curve. It is not too difficult to produce self-similar objects, a few examples are in the Fig. 2.

*University of Sopron, Institute of Mathematics
rhorvath@efe.hu, lnemeth@efe.hu, lszalay@efe.hu

**GGRI of HAS, Sopron
zavoti@ggki.hu

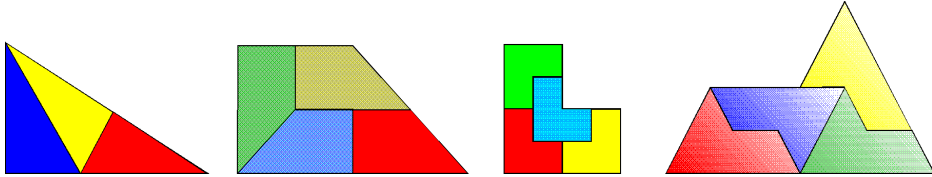


Fig. 2. Self-similar plane figures.

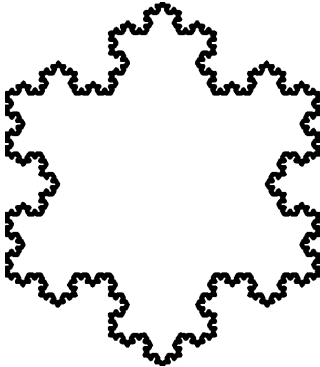


Fig. 3. The Koch snowflake.

Instead of a straight line segment, apply the steps of the process to an initial equilateral triangle. This infinite construction leads to a new object called Koch snowflake or Koch island (see Fig. 3.). Because the length of the Koch curve is infinite, the perimeter of the Koch snowflake is obviously infinite. But what about the area?

Let a be the side of the initial triangle,

then its area is $A_0 = \frac{\sqrt{3}}{4}a^2$. It is easy to see that the growth of the area is $A_n = A_0 \frac{1}{3} \left(\frac{4}{3}\right)^{n-1}$ if we step across from the $(n-1)$ th iteration to the n th one. Using the well-known formula for the sum of geometric series, the total area of the snowflake is $\sum_{k=0}^{\infty} A_k = \frac{2\sqrt{3}}{5}a^2$.

This result is very incredible! Why? Because infinite perimeter encloses finite area! This phenomenon cannot be described by classical geometry. We need something new to do it, and this new idea is fractal geometry.

At the end of this section, without completeness, we enumerate some famous and historical fractals as keywords of orientation: Cantor set (or Cantor Dust, see Fig. 4.), Sierpinski gasket (or Sierpinski triangle, see Fig. 5.), Sierpinski carpet, Sierpinski tetrahedron, Menger sponge, Peano-Hilbert curves (see Fig. 6.), Devil's staircase, Mandelbrot set, Julia set.

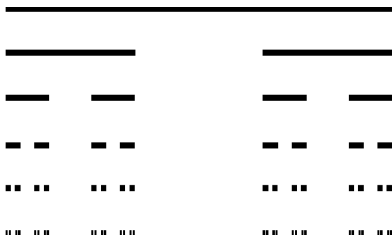


Fig. 4. Approximations of the Cantor set

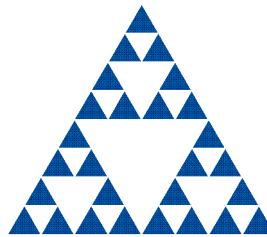


Fig. 5. A stage of the Sierpinski gasket

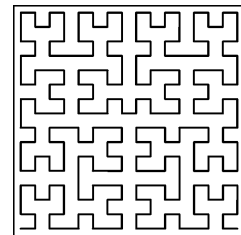


Fig. 6. Peano-Hilbert curves

Fractals and Scale, Self-Similarity Dimension

What shall we do if we want to measure the length of a coast line? Take a stick and put it down sometimes end-to-end, near the line. The result is coming soon, if we multiply the length of the stick L by the number of the sticks N (see Fig. 7.). The problem is that the length of the coast line depends on the length of stick.

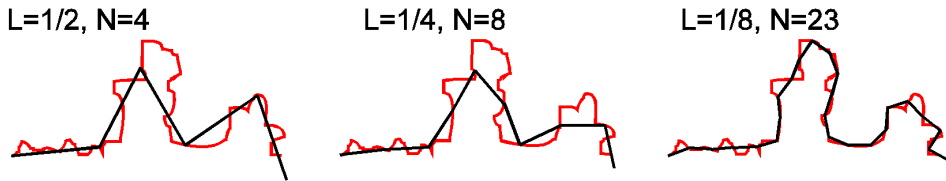


Fig. 7. Measurements of the coast line.

This problem has been studied by Mandelbrot (1967). Mandelbrot mentioned a story about the length of the common border between Portugal and Spain. The length of this border was found about 150 miles more in Portugal than in Spain, supposedly they used different sticks for measurement. Mandelbrot's famous paper – „How long is the coast of Britain?” – also deals with the above theme. To solve this problem Mandelbrot introduced the idea of an object which is independent of the scale. He called it fractal derived from the Latin word „fractus”. The property of the independence of the scale means self-similarity we have already written about. He also proposed the expression „fractal dimension”, based on the self-similarity feature. Before defining it, remember some simple facts. Lines are considered to have one dimension, surfaces have two dimensions, and solids have three dimensions. If we take a straight line segment, to double its length we need 2 copies of the original segment. Taking a square, we need $4 = 2^2$ copies to double its length and widths. In case of a cube, for doubling the sides, $8 = 2^3$ copies are necessary.

The dimension of the object is the exponent. Let us think this fact over concerning the Koch curve. To get a triple sized Koch fractal we need $4 = 3^{\log_3 4}$ copies, which means that the dimension is $\log_3 4$! It is very surprising, because the result is not a positive integer. The self-similarity dimension of self-similar fractals is defined the following manner:

$$D = \frac{\log n}{\log k},$$

where n is the number of the pieces to get k multiple enlargement of the object. The following table gives the self-similarity dimension of fractals mentioned earlier.

Fractal	Self-similarity dimension
Koch curve	$\log 4 / \log 3$
Sierpinski gasket (Fig. 8.)	$\log 3 / \log 2$
Cantor set	$\log 2 / \log 3$

Other notions of dimension – for example box-counting dimension, topological dimension, Hausdorff-Besitkovich dimension – are also introduced and used in science.

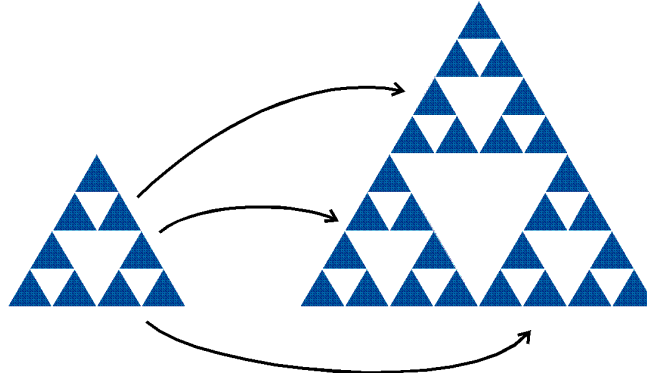


Fig. 8. The self-similarity dimension of the Sierpinski gasket is $\frac{\log 3}{\log 2}$.

What are Fractals?

Many mathematicians have given definitions of fractal, but all definitions were retracted or have not been found satisfactory. Falconer (1990) suggested, that without definition, recognise fractals by their properties, for instance self-similarity, fine structure, cannot be described by classical geometry, etc. Biologists do the same with the expression „life”. So there has not existed a good definition yet.

Fractals and Geoscience

In the end we would like to call the readers' attention that there exist books, articles, conferences concerning the application of fractals to geoscience. Turcotte's (1992) book deals with this topic. K. Musgrave's remarkable article on „Building Fractal Planets” can be reached on the following INTERNET World Wide Web address: <http://www.seas.gwu.edu/faculty/musgrave/article.html/>. The 3rd International Symposium on Fractals and Dynamic Systems in Geoscience was held in Slovakia in 1997. We have just mentioned a few examples to indicate the importance of fractals in geoscience, and hope that the above article aroused the reader's interest in studying fractals.

References

- Falconer K** (1990): Fractal Geometry, Mathematical Foundations and Applications, Wiley.
- Mandelbrot B B** (1967): How long is the coast of Britain? Statistical self-similarity and fractional dimension, Science 155, 636-638.
- Peitgen H O, Jürgens H, Saupe D** (1991): Fractals for the classroom. Springer Verlag.
- Peitgen H O, Saupe D** (1988): The science of fractal image. Springer Verlag.
- Peitgen H O, Richter P H** (1986): The beauty of fractals. Springer Verlag.
- Szabó L I** (1997): Ismerkedés a fraktálok matematikájával. Poligon.
- Turcotte D L** (1992): Fractals and Chaos in Geology and Geophysics, Cambridge University Press.

SCALE DEPENDENCY OF CARTOMETRIC AND FRACTAL LINE CHARACTERISTICS IN CARTOGRAPHIC LINE GENERALIZATION

Oleg R. Musin *

Outline

- characteristics of line: length, curvature, mean curvature, extreme of curvature;
- scale dependency of characteristics;
- fractal characteristics of line: fractal dimensions and fractal curvature index.
- segmentation (using mean curvature and curvature extreme);
- simplification (using Douglas-Peucker algorithm with width of corridor depending on fractal characteristic).

Curvature of polygonal lines

Let $L = (p_1, \dots, p_n)$ be a polygonal line (Fig. 1), where $p_i \rightarrow (x_i, y_i)$. Its curvature is defined as $C(p_i) = \pi - \alpha_i$.

For line L with constant side length the set $(C(p_1), \dots, C(p_n))$ defines L . Similar curves have the same set of curvatures.

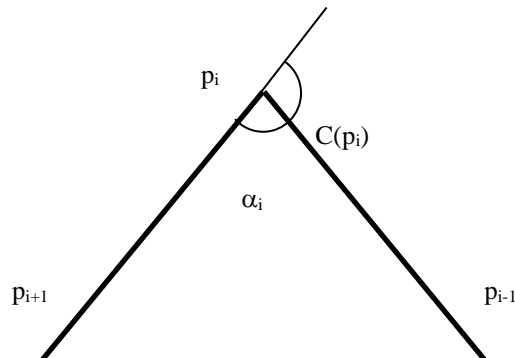


Fig. 1. Polygonal line.

Let us call the integral curvature of L : $C(L) = \sum_{i=1}^n |C(p_i)|$.

For closed convex n -gon L , $C(L) = 2\pi$, for straight line $C(L)=0$.

Like in smooth case $mc(L) = C(L)/|L|$, where $|L|$ - is the length of L .

The number of curvature extreme $EC(L)$ is well defined for constant side length L only. In this case p_i is extreme if and only if $\alpha_i > \alpha_{i-1}$ and $\alpha_i > \alpha_{i+1}$ or $\alpha_i < \alpha_{i-1}$ and $\alpha_i < \alpha_{i+1}$. In general case for definition a number of curvature extreme of polygonal line is necessary to consider special approach for it.

*Moscow State University, Dept. of Cartography & Geoinformatics
 *Moscow, Russia, 119899, e-mail: musin@gislab.geogr.msu.su

Fractal characteristics of lines

Fractal dimension

In Fractal Geometry it is well known that every natural line is fractal. Dependence of line L length from scale is described by the so called Richardson law:

$$|L_m| = \text{const}(L) \times m^{-a},$$

where m is the scale denominator and $D = 1 + a$ is the fractal dimension.

Fractal Index

By analogue with fractal dimension the fractal curvature index (or fractal index) can be defined as

$$C(L_m) = \text{const}(L) \times m^{-a}$$

where $C(L_m)$ is integral curvature of L in scale 1:m.

Fractal index (F.I.) of smooth curve equals 0. Fractal index of self-similar curve equals fractal dimension. For example, fractal index of Koch's curve is $\log_3 4$.

Checking of Richardson's law for F.I.

- Richardson's plot for F.I. (Fig.2)
- Math. statistical analysis

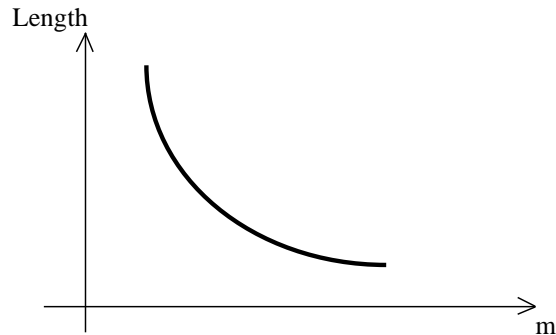


Fig. 2. "Ideal" Richardson plot for fractal curve.

Algorithm of Segmentation

Problem: Divide L to segments s_1, s_2, \dots, s_m (Fig.3).

$L = (s_1, s_2, \dots, s_m)$, where s_i :

- consist of homogenous parts;
- is not too small;
- is not too large.

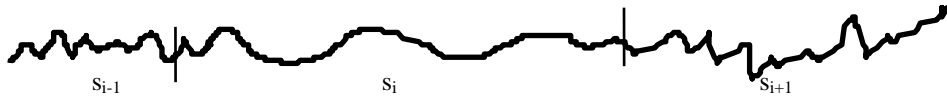


Fig. 3. Segmentation of L .

Let $s_i = (p_{i1}, \dots, p_{ik})$, a_i = number of s_i winds, b_i = number of curvature extreme of s_i , w - weight. For each segment define magnitude:

$$F(s_i) = a_i/k + w \times b_i/k.$$

Let
$$d_j = d(s_j, s_{j+1}) = |F(s_j) - F(s_{j+1})|$$

Algorithm

Step 0. Divide L to initial segments $s_1^{(0)}, s_2^{(0)}, \dots, s_m^{(0)}$;

....

Step i . $d_m^{(i)} = \min d_j^{(i)}$. If $d_m^{(i)} < \text{eps}$ and $k_m + k_{m+1} < N_{\max}$, then

jo in $s_m^{(i)}$ and $s_{m+1}^{(i)}$ i.e. $s_m^{(i+1)} = (s_m^{(i)}, s_{m+1}^{(i)})$

Stop if number of segments is more than N .

Simplified Algorithm

For simplification of what a most popular algorithm is the Douglas-Peucker algorithm. This algorithm has the only one parameter h - width of corridor. It is possible to prove that $h(m)$ changing with changing scale $1:m$ of line L by following formulae:

$$h(m) = \text{const}(L) m^{2-p},$$

where p = fractal index + 1 - fractal dimension.

For smooth curve $p=0$, and this formulae is well known in theory of approximation. For self-similar curve $p=1$ and formulae follows from fractal geometry.

This formulae shows corridor of segment of L depends on fractal properties of segment. Let s_k is segment of L .

Algorithm

1. Compute fractal dimension of s_k ;
2. Compute fractal index of s_k ;
3. Compute p ;
4. Compute $\text{const}(s_k)$;
5. Compute width $h(m)$ of corridor by formulae;
6. Use Douglas-Peucker algorithm for simplification s_k with width $h(m)$;
7. Go to the next segment s_{k+1} of L .

STEPS OF AUTOMATED LINE GENERALISATION

*Tanya Sobchuk**

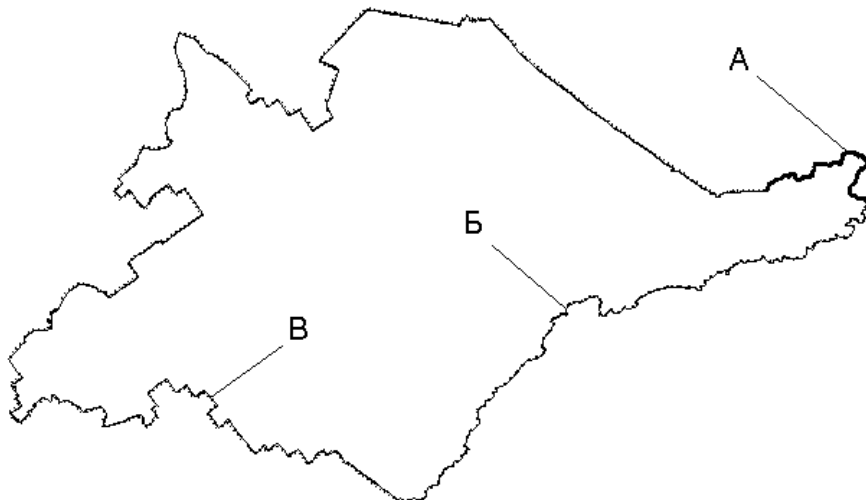
Segmentation

Estimating quantitatively and qualitatively the results of action of various algorithms of line generalisation, it is easy to see that the application of these algorithms for set of types of linear objects can not always satisfy the requirement of geographical conformity to real objects. If we want to keep natural forms of linear objects in reduced scale, after the generalisation process it is necessary, in our opinion, to divide linear object, into parts with different forms as a cartographer with geographical knowledge about the mapping a territory would do.

We call such a division **segmentation** and offer to carry out it just before the procedures of generalisation, listed which consists of: simplification, smoothing, displacement and exaggeration.

The necessity of segmentation of linear element on any geometrical parameters is marked by some cartographers too. Some authors offer to divide the line into elements, using a parameter of line curvature dimensions and its derivative.

The complex cartographic linear object - administrative boundary of Komi republic in scale 1:2 500 000 was chosen to illustrate the process of segmentation (Fig.1). This object is suitable for this research because of the heterogeneity: part of the boundary passes over Urals, so repeats the shape of the natural line; another part follows a shape of a hydrography element – river Ysa and a significant part of Komi border extends the over artificial landuse borders with rectangular stairs shape.



The original image A - Segment of border on the river Ysa;
Scale is 1: 2 500 000 B - Segment of border on watershed of Urals;
 B - Segment of border on landuse contours.

Fig. 1. Segmentation of Komi Republic boundary.

The state boundary of Komi Republic is expedient for carrying out segmentation according to change of parameters of specific curvature and fractal dimension for each of the specified parts listed in Table. 1.

Tab. 1. Line curvature dependence from fractal dimension and fractal index for segments of Komi Republic state border.

Segment	Curvature (in rad).	Fractal Dimension	Fractal Index
A	6,12	1,06	0,68
B	5,74	1,09	0,86
Б	2,07	1,03	0,28

The specific curvature for a border line segment of an anthropogeneous origin considerably differs from the specific curvatures of natural segments - on the river and on watershed. The same distinctions of parameters are observed for fractal dimension and fractal index.

Simplification

The most widely used method for simplification of linear data is the Douglas-Peucker algorithm.

From the mathematical point of view the Douglas-Peucker algorithm is rather straightforward and simple to realise. However, in our opinion, it has some shortcomings: it does not take into account the geographical importance of the points of a line, it is connected only with the point's position related to a line as aneogor-float. The shape (the figure of a linear object) of a line containing the point and its position to the nearest neighbours do not influence the importance of point. A higher degree of simplification results with a wealthier Douglas-Pecker algorithm, therefore it is convenient to use only at small changes of scale. Examine the quality from a mathematical point of wiew. They point out its suitability to remove erroneous information from the initial data; this so-called "weeding" precedes other steps of the generalisation.

The algorithm offered by Y. Sventek concerns, in our opinion, to same group of methods where the importance of points is estimated quantitatively and a given percent of points with the chosen importance value is left on the generalised line. For an illustration of the method we shall consider a fragment of a digital line.

We examine of the importance point with the help of median value \hat{I} , omitted from top K on a triangle basis, where the tops at the basis are points-neighbours to point \hat{E} . The reason of choice of median as a measure of the point importance is: if delete middle point from three consecutive points of a contour (in this case \hat{E}), and then try to restore it, most logical will be definition of its situation in middle of line connecting the points, next to it. In this case the rejection of true location of point from restored also is triangle median constructed on three initial points.

At manual generalisation of linear objects cartographer considers not separate points, but shape of line, means, it is interesting to investigate not only nearest neighbours of point, but also points of some vicinity or all contour.

Thus this method of simplification makes possible not only excluding the part of the cartographic information, but to do it in view of the importance of points of an initial

line. And the importance of points has quantitative expression - it is a length of median \bar{I} , described above. As our experiments have shown, the method gives results, quite accepted to practice, even at exception more than half of points of digital line.

Smoothing

After procedures of simplification of a linear object its smoothing will be carried out. Against simplification, the final result which of is the reduction of quantity of points, the smoothing results, from the geometrical point of view, in reduction of amount of angles of linear object, that reduces its curvature, and from the aesthetic point of view - improves perception and recognition of linear elements and readership of map. Moreover this process is useful for applying in zones of a contiguity of one simplified segment to another. In early researches it was offered to carry out smoothing by a method of sliding average, now it is applied both the more complex mathematical device - approximation function, which special case are the interpolation functions.

In McMaster's paper the conditional division of algorithms of smoothing into three groups is resulted: sliding average smoothing, epsilon-filtration, and mathematical approximation. The algorithms of the last group are submitted cubic splines, B-splines and Besier curves. The description of the mathematical device of approximation functions can be found in the publications devoted to the machine graphics, particularly in work of.

In our experiments smoothing of algorithms linear elements were used with the help of polynomial B-splines (Fig. 2).

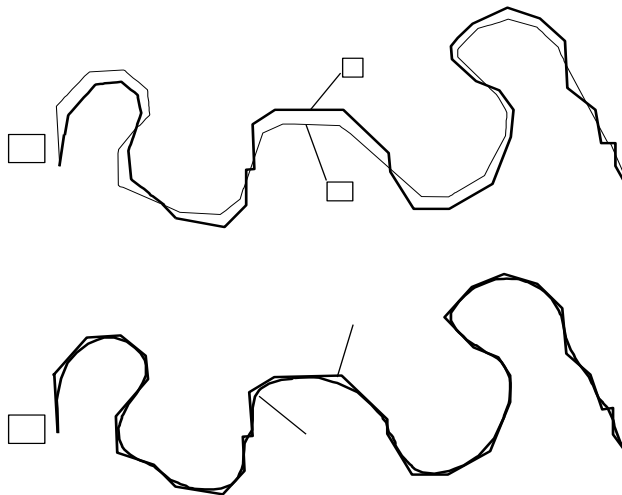


Fig. 2. Ways of smoothing: a) algorithm "sliding average"; b) B - spline (A - initial line, B - smoothed).

This method of smoothing of the data (smoothing filter) was known long before creation of the spline theory.

In practice usually cubic B - spline are used, that is when $m = 3$. In work we applied just this kind and in further under B - spline is meant just cubic B - spline.

Generalised image of coastal lines received with the help B - spline, was appreciated by the experts rather highly, therefore just this method of smoothing is applied in our technique of automated generalisation.

Displacement

After simplification and smoothing some parts of linear object merge or are crossed with each other, it is especial appreciably at of generalisation strongly of twisting coastal lines with numerous peninsulas and gulfs. For elimination of these geometrical conflicts there is a necessity for displacement of part of line or its some points. Here it is possible to see two such conflicts: collisions „point - to - point” and „point - to - line”. Some software allows to apply manual displacement, outputting intermediate variants on the display - such opportunities are, for example, in system DIGITMAP.

Besides there are methods permitting „the linear conflicts” automatically. One of them, given in work is based on displacement of line elements (crossings or pieces) in such a manner that neither point nor the line can not be closer to each other, than certain allowable distance T , specified by the user. Let's consider procedure of displacement in both cases: a „point - to - point” and a “point - to - line”.

Exaggeration

The exaggeration operation in many cases will be carried out interactively, as acceptance of the decision - to leave or to exclude the object which is not characteristic in reduced map scale - the man having a complex of geographical knowledge, should accept decision from purposes of created cartographic product.

However, when it is necessary to add linear model by details at lack of figures, neglecting the geometrical accuracy of outlines, but keeping its natural figure, it is possible to take advantage of Dutton fractalization algorithm. It is based on that, as was emphasised above, all natural linear objects have self-similarity and have fractal dimension which is not dependent on scale. Knowing it, it is possible to calculate and to construct a digital line, more detailed than initial. Doubtfully, fractal dimension is not suitable for exaggeration at exact topographical mapmaking, however, at thematic mapmaking, a contour can be complemented by new details without the special risk of occurrence of the false information. On such maps there is no exact arrangement of borders, but there is their form. Two from four parameters used in Dutton's algorithm are especially interesting to us: dimension of curvature and factor of the form.

The dimension of curvature (CD) supervises the fractal line and is an equivalent of size D at Mandelbrot theory. On a digital curve for calculation CD distinguish two such points: mobile points on a vertical line and motionless centres between two verticals (the centre of each segment of line concerns two verticals). A triangle, which top - point on a vertical, and top at the basis - two motionless centres (basis of a triangle) thus turns out. In fractalization algorithm the top moves from basis so long as the size of a corner at top will not become equal to volume CD, which was entered by user. The Dutton's algorithm supports local self-similarity of a line by means of preservation of existing proportions of two parties of a triangle after moving top. The algorithm which is carrying out successful fractalization, will move corners to the beforehand calculated centres. Factor of the form (FF) is a parameter reflecting a degree of moving of examined point of an initial line in process of approximation of top corner to CD. If $FF = 0.5$, it means that top will be displaced on half of distance necessary that a corner at top

was equal CD. If $FF = 1$, the corner at top is equal to CD, that renders the minimal geometrical effect on fractalization. In our opinion, the algorithms similar to described one, enable cartographers to simplify the initial data considerably, then to restore details of geographical objects.

It is useful especially at small-scale thematic mapmaking, when it is possible to offer geometrical accuracy of an arrangement of line for the sake of preservation of geographical similarity of linear object at change of scale.

Generalisation of linear elements of map

The proposed sequence of the automated generalisation of linear elements is offered to be used for small-scale maps, for scale 1:1 000 000 and smaller. A choice of types of objects and their subsequent segmentation and generalisation are applied for this scale range. For an illustration of stages of automated generalisation the following linear elements of a geographical basis were taken: administrative boundaries, coastal lines and rivers. The road network represents linear object of unnatural origin and has not fractal measurements, therefore to carry out its segmentation and subsequent generalisation on a basis of fractal parameters is inexpedient. It is possible to generalise roads, in our opinion, applying one of known methods of simplification, for example, on size of median, above mentioned.

In order to have an opportunity to consider generalisation for different types of objects, which exist in various geographical conditions were chosen the experimental sites for our research. So the segmentation and generalisation were carried out for the following linear cartographic objects: Komi Republic administrative boundary, coastal line of Kamchatka peninsula and channels of the Amur River. A scale of 1:2 500 000 was accepted as initial.

As the first step ensuring the geographical approach to realisation of automated generalisation, it is offered to consider segmentation of a linear object on size of specific curvature, fractal dimension and fractal index.

After segmentation each object was generalised in the following sequence:

- Simplification with the help of Douglas-Peucker algorithm or on threshold importance of curvature;
- Smoothing polynomial B-spline. Then the simplified and smoothed segments of linear objects were looked through and, if necessary, in an interactive mode was exaggerate most important sites and displacement of points of line in places of crossings of linear pieces or merges of crossings broken.

Komi republic boundary

Its segmentation was considered in section 3. Let's present additional measurements necessary for comparison of generalised images.

The site of borders which are taking place on the river Ysa, has length in initial scale 16.03 cm, total curvature is 98.07, specific curvature 6.12.

Site which is taking place on watershed of Urals: length 43.20 cm, total curvature is 247.96 rad., specific curvature 5.74.

The site which is taking place on landaus boundaries, has length 126.15 cm, total curvature is 261.25 rad., specific curvature 2.07.

The ambassador of a generalisation of segments with use of the offered technique the images of Komi boundary in scales have turned out: 1:8 000 000, 1:16 000 000 and 1:35 000 000 (Fig. 3).

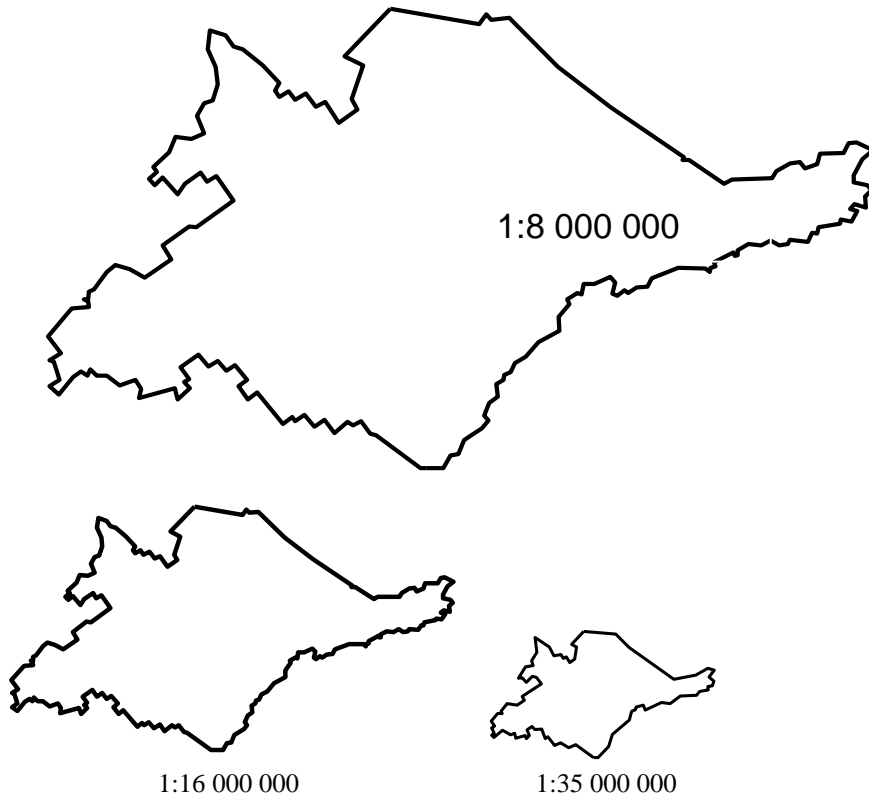
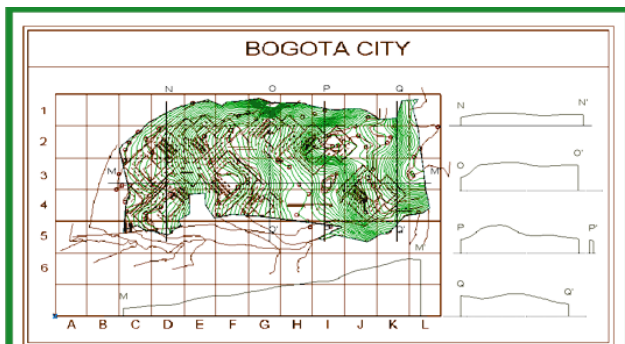


Fig. 3. Generalisation of administrative boundary of Komi republic.

ArchiSITE

Terepmodellező szoftver építészeti célokra
ArchiCAD mérnökprogrammal való tervezéshez



Adatbevitel:

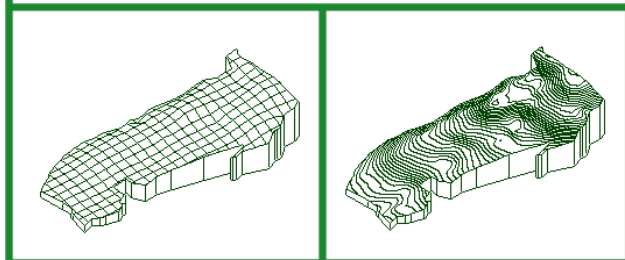
- manuális adatbevitel
- numerikus felmérési adatok feldolgozása,
- DXF állományok értelmezése.
- Szintvonalas térkép, helyszinrajz behelyezése

Terep megadás:

- felmérési pontokkal,
- szintvonalakkal,
- vízválasztó-, vízgyűjtővonalakkal.

Terepmódosítás:

- tereppont magasságmódosítása,
- szintvonalgörbe szerkesztése,
- terepobjektum terepbe konvertálása,



Tereptárgyak:

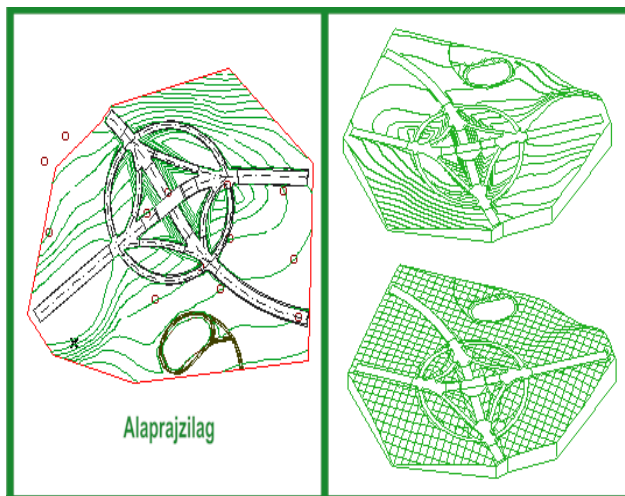
- megtámasztott vagy szabadrészsűs árok,
- utak támfallal vagy részsűcsatlakozással,
- ösvények.

Ábrázolási módok:

- alaprajzi megjelenítés,
- 3 dimenziós rácsháló megjelenítés,
- 3 dimenziós szintvonalas ábrázolás,

Viszonyítási rendszer:

- áttérés helyi koordináta-rendszerre,
- helyi magassági alappont megadás



Webcímünk: <http://www.pracsys.hu>

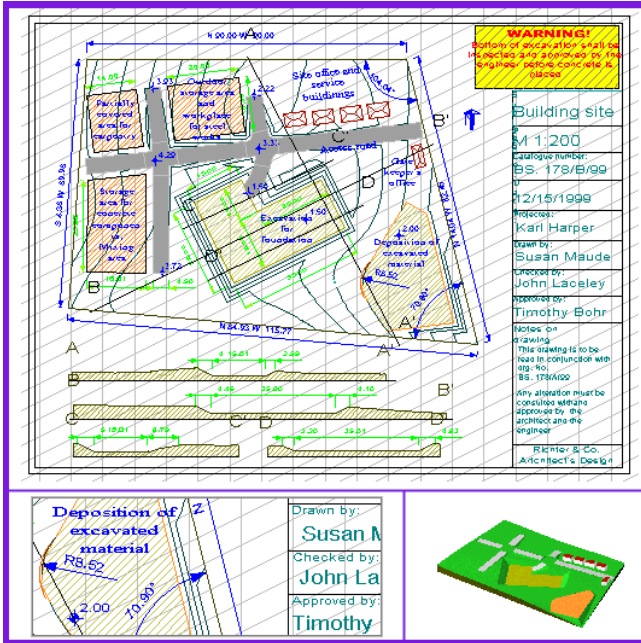
LÁTOGASSON BE ÉS TÖLTSE LE INGYENES TEREPMODELLEZŐ SZOFTVERÉT!

ProSITE



Kiterjedt funkcionalitású terepmodellező és telektervező szoftver
építészeti és városrendezési célokra.

Többlet szolgáltatások az ArchiSITE-hoz képest



Kompatibilitás:

- Az összes nagyobb CAD szoftverrel való együttműködés.

Adatbevitel:

- Könyvtári elem formátum,
- 2D és 3D DXF állományok és,
- DWG formátum értelmezése,
- Félautomatikus szintvonal felismerés szkennelt szintvonalas térképről

Szerkesztési segédletek:

- Grid funkció (Ortogonalis és ferde rácsszerkezet módosítható rácstáv, rácshoz tartás),
- Többablakos, párhuzamos projektmegnyitás,

Tervkészítési segédletek:

- Teljeskörű rajzoló és szerkesztő-készlet,
- Teljeskörű méretező-készlet egyenes-, távolság-, sugár-, szög-méretezés
- Magasságméretezés
- Terv feliratozó eszköz,
- Sraffozó eszköz (automatikus határvonal keresés),

Ábrázolási módok:

- Valóságghú árnyékolt térbeli megjelenítés

Webcímünk: <http://www.pracsys.hu>

LÁTOGASSON BE ÉS TÖLTSE LE INGYENES TEREPMODELLEZŐ SZOFTVERÉT!