ÉVFOLYAM **VII** 2004
Volume

GEOMATIKAI KÖZLEMÉNYEK

Publications in Geomatics

SZERKESZTŐ **ZÁVOTI J, BARSI Á, BÁNYAI L, PAPP G**
Editor

A BME Fotogrammetria és Térinformatika Tanszék 50. Jubileuma
Budapest, 2003. november 20.

HU ISSN 1419-6492

BME FOTOGRAMMETRIA ÉS TÉRINFORMATIKA TANSZÉK, BUDAPEST

Geomatikai Közlemények

Publications in Geomatics

kiadja az

MTA FKK GEODÉZIAI ÉS GEOFIZIKAI KUTATÓ INTÉZET

9400 Sopron, Csatkai E. u. 6-8. Pf. 5.
tel.: 99 - 508-340 fax.: 99 - 508-355
E-mail: geomatika@ggki.hu

felelős kiadó:

Závoti József
igazgató

szerkesztő:

Závoti József, Barsi Árpád, Bányai László és Papp Gábor

technikai szerkesztő:

AnKa

készült a
LŐVÉR PRINT Kft. nyomdájában
9400 Sopron, Ady Endre u. 5.
tel.: 99 - 329-977

megjelent 150 példányban
Sopron, 2004

HU ISSN 1419-6492

A FOTOGRAMMETRIA ÉS TÉRINFORMATIKA TANSZÉK 50. JUBILEUMA

Budapest, 2003. november 20.

szervezte:
BME Fotogrammetria és Térinformatika Tanszék

Szervező bizottság:

Závoti József	zavoti@ggki.hu
Barsi Árpád	barsi@eik.bme.hu
Papp Gábor	papp@ggki.hu
Bányai László	banyai@ggki.hu

TARTALOMJEGYZÉK

Fotogrammetria és Térinformatika

Detrekői Ákos 5
A Fotogrammetria és Térinformatika Tanszék története
History of the Department of Photogrammetry and Geoinformatics

Bácsatyai László 11
Sopron öröksége és jelene
The Heritage and Present of Sopron

Mélykúti Gábor 21
A Fotogrammetria és Térinformatika Tanszék oktatási tevékenysége 1952-2003 között
Educational activities of the Department of Photogrammetry and Geoinformatics between 1952 and 2003

Klinghammer István 31
A Kárpát-medence földtudományi térképezésének kezdetei
The beginnings of geo-scientific mapping of the Carpathian Basin

Mélykúti Gábor 39
Digitális szintvonalak
Digital contours

Fekete Károly 45
A közelfotogrammetria és néhány fogászati alkalmazása
Close-range photogrammetry and some of its applications in dentistry

Alhusain Othman 51
Hőérzékelők nem-lineáris torzításának javítása orvosi felvételeken
Correction of Non-Linear Distortion in Photomultiplier-Generated Medical Images

Paláncz Béla 59
Waveletek és alkalmazásuk a képfeldolgozásban
Wavelets and their Application to Digital Image Processing

Tóvári Dániel – Thomas Vögtle 69
Objektum osztályozás légi lézerszkenneres adatokból
Object classification method in laserscanning data

Charles K Toth 75
Technológiaváltás a térinformatikában: Modern szenzorok
Changing technology in GIS: Modern sensors

Lovas Tamás – Barsi Árpád – Charles K Toth 83
Lidar a közlekedésben
LiDAR in Transportation

Barsi Árpád – Lovas Tamás 91
Térinformatika a közlekedésben
Geoinformatics in the transportation

Tóth Zoltán 99
Képalapú autónavigációs rendszer
Image-based driver's guidance system

Márkus Béla 105
Gondolatok a térinformatikáról
Thinking about geoinformatics

Ládai András 111
Történelmi események elemzése térinformatikai módszerekkel – Szepes vármegye
Historical analysis with geoinformatical methods – Szepes county

Selinger Sándor – Winkler Gusztáv – Juhász Attila 119
Kolozsvár – Belváros térinformatika alapú építészettörténeti adatbázisa
A GIS-based Architectural History Database of Downtown Cluj-Kolozsvár

Winkler Gusztáv 127
Erődítés- és környezetrekonstrukció térinformatikai eszközökkel
Fort- and environmental-reconstruction with GIS

Juhász Attila 133
II. Világháborús országerődítések vizsgálata térinformatikával
Reconstruction of the Hungarian defence lines (WW II.) using GIS

Kugler Zsófia 139
A 2001. évi mozambiki árvízkatasztrófa felmérése és koordinálása a távérzékelés és térinformatika segítségével
Near-real time flood disaster management with GIS and remote sensing in Mozambique

Tóth Szabolcs 149
Térinformatika a kábeltelevíziós hálozatok szolgálatában
Geoinformatics in service of the cabletelevision systems

Rakusz Ádám 155
Mesterséges? Intelligencia?
Artificiall? Itelligencie?

Almási Levente 161
Vonalas létesítmények (autópályák) kísérő poligonja tervezésének és meghatározásának gyakorlati szempontjai
Practical Points of Designing and Location of Collateral Poligons of Motorways

Biri Salah – Holnapy Dezső 171
Reológiai modellek és a konvolutórikus simítás kapcsolata
The Relationship of Rheological Models and Convolutoric smoothing

Geomatika

Jancsó Tamás 181
Durva hibaszűrés a fotogrammetriai hátrametszés kiegyenlítése előtt kezdő értékek megadása nélkül
Gross error detection before the adjustment of photogrammetric space resection and without giving approximate values

Polgár Rudolf 195
Általánosított spline approximáció
Generalized spline approximation

Feuer Gábor 211
Egy új adaptív algoritmus alkalmazása interpolációs problémák megoldására
Application of a new adaptive algorithm for solving interpolation problems

A FOTOGRAMMETRIA ÉS TÉRINFORMATIKA TANSZÉK TÖRTÉNETE

*Detrekői Ákos**

History of the Department of Photogrammetry and Geoinformatics *– This paper reviews the history of the Department of Photogrammetry and Geoinformatics spanning a half-century long period. The author presents the department's structural changes took place during these times (to what era the department belonged…, how and why the changes on the department name has happened…, etc.).*

The study reflects a picture of the effects of the new developments in informatics and of the evolution of space technology exerted on the scientific specialty conducted by the department (topography, photogrammetry, geoinformatics, etc.).

The author evaluates the scientific activities of the department staff members. Finally, he encloses his paper with his views and expectations on the department's future developments.

A dolgozat a félévszázados Fotogrammetria és Térinformatika Tanszék történetét tekinti át. A szerző bemutatja a tanszéki szervezet változásait (milyen karhoz tartozott a tanszék, hogyan változott a tanszék neve). A dolgozat képet ad az informatika fejlődésének és az űrtechnika kialakulásának hatásáról a tanszék által művelt szakterületekre (topográfia, fotogrammetria, térinformatika). A szerző értékeli a tanszéki munkatársak szakmai tevékenységét. A dolgozatot a tanszéki jövőkép vázolása zárja.

Kulcsszavak: tanszéktörténet, fotogrammetria, topográfia, térinformatika

Bevezetés

Egy tanszék alapítási évfordulójának megünneplése alkalmat ad az illető tanszék történetének áttekintésére. Nekem jutott az a megtisztelő feladat, hogy összefoglaljam tanszékünk félévszázados történetének legfontosabb jellemzőit.
A tanszékek történetének három alapvető összetevője:

- a szervezet története,
- a szakterület története,
- a tanszéken dolgozó szakemberek.

A tanszéki szervezet története

Tanszékünknek, mint ***szervezetnek története*** meglehetősen mozgalmas. A tanszék létrehozásának ötlete összefonódott az önálló magyar földmérőmérnök képzés történetével. A képzés kezdeményezői Sébor János és Tárczy-Hornoch Antal professzorok a földmérő-mérnök képzés 1949-ben történő megindításakor – a Műegyetem keretében működő Földmérőmérnöki Kar létrehozásakor – már javasolták egy önálló, topográfiával és fotogrammetriával foglalkozó tanszék létrehozását. Ez a javaslat – ismerve a kezdeményezők szakmai múltját – egyáltalában nem meglepő.

A javaslat realizálására 1952-ben, más források szerint 1953-ban került sor. Létrejött, s 1959-ig Sopronban működött a

**BME, Fotogrammetria és Térinformatika Tanszék*
1111 Budapest, Műegyetem rkp. 3. K.I.19.
E-mail: adetrekoi@mail.bme.hu

Tereptan és Fotogrammetria tanszék.

A tanszékre megalakulásakor nem neveztek ki egyetemi tanárt, s a tanszék vezetését egészen 1961-ig nem a tanszék állományában lévő professzorok látták el. Ennek a szokatlan állapotnak az oka a későbbiek – a szakemberek történetével foglalkozó rész – alapján megérthető lesz.

A földmérőmérnök képzés 1959-ben átkerült az Építőipari és Közlekedési Műszaki Egyetem Mérnöki karára. Átkerült a tanszék is, azonban már megváltozott névvel. Létrejött a:

Topográfia és Fotogrammetria tanszék.

A tanszék vezetését megbízottként Dr. Hazay István egyetemi tanár, a Felsőgeodézia tanszék vezetője, majd egyidejűleg a Mérnök Kar dékánja látta el. 1961-ben került a tanszékre Dr. Homoródi Lajos professzor Úr, aki 1978-ig vezette a tanszéket. Közben a tanszék újabb névváltozáson esett át. A tanszék új neve:

Fotogrammetria tanszék

lett.

Az 1970-es évek elején az egyetemen lezajlott „intézetesítési" hullám során létrehozták a Geodéziai Intézetet, ennek egyik intézeti tanszéke volt a

Geodézia Intézet

Fotogrammetria tanszék.

A Geodézia Intézet igazgatói Dr. Homoródi Lajos (1971 – 1978), Dr. Sárközy Ferenc (1978-1987), Dr. Biró Péter (1978-1991) professzor urak voltak. Dr. Homoródi Lajos professzor Úrtól 1978-ban vettem át a tanszék vezetését.

A Geodézia Intézet megszűnése után a tanszék ismét önálló tanszékként működött:

Fotogrammetria tanszék

néven. A szakmai változások indokolták a tanszék 1998-ban bekövetkezett névváltozását, a

Fotogrammetria és térinformatika tanszék

Létrejöttét. A névváltozással is összefüggésben a tanszék egyesült az Építőmérnöki Kar *Informatikai Csoport*jával.

Az elmúlt években a tanszéken működik az *MTA Geoinformatikai kutató csoport*ja is.

Az elmúlt fél évszázadban két formában (önálló és intézeti tanszékként) és összesen öt különböző elnevezéssel működött tanszékünk. Az az érzésem, hogy a tényleg nagyon gyors technológiai fejlődés mellett a szervezeti módosulások, mint tengerben a vízcsepp tükrözik a magyar felsőoktatás elmúlt évtizedeit.

Abban, hogy a tanszék a változások közepette is talpon maradt, s az általa képviselt szakterületek oktatásában és kutatásában fontos szerepet játszott meghatározó jelentősége volt

Dr. Homoródi Lajos

professzor Úrnak, a tanszék első igaz vezetőjének, aki széleskörű szakmai műveltségével a tanszék szakmai profilját, kiváló vezetői tulajdonságaival pedig a tanszék személyi állományát kialakította.

A tanszék által művelt szakterület

A tanszék történetének második vetülete ***a szakterület története.*** Az elmúlt ötven év során két olyan alapvető technológiai és ahhoz kapcsolódó társadalmi változás zajlott le, amely meghatározó módon befolyásolta a tanszék szakmai tevékenységét is. Ez a két változás :

- **az informatika elterjedése,**
- **az űrtechnika kialakulása.**

Mindkét változás kihatott a tanszék által művelt szakterületekre. Általánosságban is elmondható, hogy az elmúlt évtizedek a tanszéken is – mint annyi más területen – az analóg korszakból a digitális korszakba történő áttérést jelentették.

A tanszék által művelt szakterület – vagy inkább szakterületek – jellegét jól tükröződik a tanszék elnevezéseiben. A három meghatározó elnevezés a következő:

- **topográfia (és tereptan),**
- **fotogrammetria (és távérzékelés),**
- **térinformatika.**

Az elmúlt két évezredben a térképeket két alapvető cél érdekében állították elő. Az egyik cél a tulajdon rögzítéséhez és az adózáshoz, a másik cél pedig a katonai tevékenységhez kapcsolódott. Az első célt a kataszteri, a másodikat a topográfiai térképek szolgálják. A két térképfajta közötti különbségek közül igen fontos, hogy a kataszteri térképek csupán vízszintes (2D) információkat, a topográfiai térképek viszont vízszintes és magassági (azaz 3D) információkat hordozzák.

A tanszék a *topográfia* művelésével a 3D – a térbeli – világ képviselője. Kezdetben ez a világ a szinte művészetnek számító mérőasztal topográfiát jelentette. Ennek a technológiának volt kiváló ismerője Blahó Imre, Kunovszky Emil, Sántha Szilárd. Később a topográfiai tevékenység bővült a különböző fotogrammetriai technológiákkal támogatott topográfiai eljárásokkal, majd a 90-es évektől a különböző digitális topográfiai adatállományok létrehozásával. A topográfiával kapcsolatos kutató-fejlesztő tevékenység hosszú időn keresztül titkos jellegű katonai tevékenységnek számított. Ezekhez a tanszék a fotogrammetriai eljárások kidolgozásával kapcsolódott. A digitális korszak jelentős eredménye volt Magyarországnak a 90-es években – a hírközlési szakhatósággal és a katonai térképészettel együtt létrehozott – digitális magassági és felületborítási modellje. Ebben a munkában Mélykúti Gábor és Szabó György játszott meghatározó szerepet. Tevékenyen részt vettünk a Nemzeti Topográfiai Program kialakításában is.

A tanszék nevében mindig szereplő *fotogrammetria* célja képekből – elsősorban centrális vetítésekkel előállított fényképekből - geometriai (és esetenként tartalmi) információk előállítása. A fotogrammetria műveléséhez képek előállítása és a képek alapján információk létrehozása szükséges. A felhasznált képek előállítási helyük szerint készülhetnek a föld felszínéről, a levegőből és az 1960-as évek óta az űrből. Az információk létrehozásának klasszikus módját az un. analóg fotogrammetria jelenti, az 1970-es években terjedt el a számítógép támogatott analitikus fotogrammetria, majd az 1980-as évek második felében a digitális fotogrammetria.

A tanszék megalakulásának időszakában Magyarországon polgári célra nem állítottak elő légi fényképet. Később is számos nehézséggel járt a légi fényképek felhasználása. Ennek következtében a tanszék elsősorban az un. földi fotogrammetriával foglakozott. A földi fotogrammetria különböző alkalmazási területein többen is értékes eredményeket értek el. Építészeti fotogrammetriában Kis Papp László és Ugrin Nándor, mérnöki fotogrammetriában Hankó Géza, Ladányi Jenőné, Mélykúti Gábor, orvosi fotogrammetriában Domokos Györgyné és Fekete Károly.

A technológiák közül hosszú időn keresztül az analóg technológia volt az uralkodó. Az analitikus fotogrammetriai módszerek elterjedését a számítógépekkel kapcsolatos embargó akadályozta. Az 1980-as évek elején került az Egyetemre – a Paksi Atomerőmű építésével összefüggésben – az első korszerű analitikus plotter. Az analitikus fotogrammetria jelentőségét Homoródi Professzor úr ismerte fel. Az analitikus fotogrammetriai jellegű fejlesztésekben Mélykúti Gábor játszott meghatározó szerepet. Az első digitális munkaállomáshoz az 1990-es években jutottunk. Ezen a területen Szabó György volt a meghatározó személyiség.

Az űrtechnika elterjedésével alakult ki a *távérzékelés.* Távérzékelési célra különböző eljárásokkal hoznak létre képeket. A feldolgozás elsődleges célja tartalmi információk nyerése.

Magyarországon a távérzékelés elterjedésében meghatározó szerepe volt Domokos Györgyné docens asszonynak. A katonai térképészettel együttműködve létrehozta Magyarország első űrfelvételekből előállított térképét. Sokat tett a távérzékelés környezetvédelmi felhasználásának segítésében is. Ez utóbbi területen hasznos segítője volt Winkler Gusztáv. A távérzékelés közlekedési célú felhasználásában az elmúlt években jelentős eredményeket ért el Barsi Árpád és Lovass Tamás. A távérzékeléshez felhasznált digitális képfeldolgozási és matematikai módszerek területén folytat eredményes kutató munkát Alhusszein Othman és Paláncz Béla.

A tanszéken folyó távérzékelési tevékenység érdekes eseménye volt, hogy itt készítette diplomamunkáját, majd itt folytatta szakmai munkáját az első magyar űrhajós Farkas Bertalan.

A tanszék nevében szereplő utolsó szakterület a *térinformatika.* A térinformatika célja a helyhez kapcsolódó információk gyűjtése, kezelése, elemzése és megjelenítése. A tanszék lényegében az adatok gyűjtésének oldaláról jutott el a térinformatikáig. Tevékenységünk fokozatosan terjedt ki az elemzés és a megjelenítés területére.

A tanszék oktatói részt vettek számos konkrét térinformációs rendszer elveinek kialakításában és a rendszerek létrehozásában. Időrendben elsőként a Paksi Atomerőműben létrehozott rendszert említem. Itt Kis Papp László, Mélykúti Gábor, Szabó György és Potapenko Olga játszotta a legfontosabb szerepet. Jelentősnek érzem a már említett magyarországi digitális magassági modellt, amelynek egyik legfontosabb felhasználási területe a telekommunikáció. Ezzel kapcsolatban már említettem Mélykúti Gábor, Szabó György nevét. A közlekedési célú térinformációs rendszerek létrehozásában 1994 óta játszunk szerepet. Kezdetben Szabó György, az utóbbi időkben Barsi Árpád, Lovass Tamás ér el eredményeket ezen a fontos szakmai területeken.

A térinformatika sajátos ága humán térinformatika. Régészeti, hadtörténeti célú rendszerek létrehozásában Winkler Gusztáv és Juhász Attila ér el érdekes eredményeket.

A tanszék oktatói részt vettek a Nemzeti Térinformatikai Stratégia kidolgozásában és a magyar térinformatikai szabványok létrehozásában is.

A tanszék oktatási területe az elmúlt években az *informatikával* bővült. Az ezen a területen dolgozó kollégák fokozatosan bekapcsolódnak a tanszék felsorolt szakmai területein folyó munkába.

A tanszék szakemberei

A hosszú szakmai múlttal rendelkező tanszékek oktatói általában a saját tanszékükön vagy más hasonló jellegű tanszéken szerzik meg szakmai ismereteiket, s így válnak szakterületük művelőivé. A Tereptan és Fotogrammetria tanszék az első ilyen jellegű tanszék volt Magyarországon, így a szokásos út nem volt követhető.

A tanszék oktatóinak első csoportja a gyakorlatban – konkrétan a Honvéd Térképészeti Intézetben – sajátította el szakmai ismereteit. A fotogrammetriát Dr. Hankó Géza, a tereptant Kunovszky Emil és Sántha Szilárd, a kartográfiát Róbert Ottó oktatta. A Térképészeti Intézeti múlt okozta, hogy egy részük nem oktatói, hanem kutatói besorolásban dolgozott.

Budapestre kerülés után az akkor már működő polgári térképészet néhány szakembere választotta hivatásának az oktatói pályát. Blahó Imre, Domokos Györgyné, Ladányi Jenőné, Sárközy Ferencné tartoznak ebbe a csoportba.

A későbbiekben a tanszék személyi állományának bővülése – Homoródi Professzor Úr irányításával- már az itt végzett fiatal szakemberek meghívásával zajlott.

A tanszék szakmai munkájában is előrelépést jelentett a doktori képzés beindulása, s a doktoranduszok bekapcsolódása az oktató-kutató munkába.

Az elmúlt fél évszázadban 43 mérnök dolgozott különböző beosztásokban a tanszéken. A legalább 10 évet itt töltő kollégák a következők:

- Dr. Alhussein Othman (12),
- Blahó Imre (29),
- Dr. Detrekői Ákos (25),
- + Domokos Gyögyné dr. (32),
- Dr. Fekete Károly (23),
- Hámori István (16),
- + Dr. Hankó Géza (14),
- Dr. Homoródi Lajos (34),
- Dr. Kis Papp László (32),
- + Kunovszky Emil (10)
- + Ladányi Jenőné dr. (15),
- Dr. Mélykúti Gábor (27),
- Minda János (26),
- Potapenko Olga (17),
- Szabó György (20),
- Dr. Ugrin Nándor (30),
- Dr. Winkler Gusztáv (26),

Ugyancsak legalább 10 évet töltöttek a tanszéki adminisztráció vezetőjeként:

- Fülöp Gáborné,
- Dr. Wolf Margit.

A tanszéken az elmúlt fél évszázadban egyetemi tanári beosztást kapott:

- Dr. Detrekői Ákos,
- Dr. Homoródi Lajos,
- Dr. Kis Papp László,

A felsoroltak mellett a tanszék docensei a következők:

- Dr. Alhussein Othman,
- Dr. Barsi Árpád,
- Domokos Gyögyné dr
- Dr. Mélykúti Gábor,
- Dr. Paláncz Béla.

A tanszék jelenlegi oktatói közül többen töltöttek hosszabb időt külföldön. A tanszéken három egykori Humboldt ösztöndíjas és egy Korányi ösztöndíjas dolgozik.

A tanszék oktatói mind a szűkebben vett szakmai közéletben, mind az egyetem, illetve a Kar vezetésében nem elhanyagolható szerepet töltöttek be.

Az elmúlt évtizedekben a tanszék oktatói 7 magyar nyelvű szakkönyvet és számos jegyzetet tettek közzé.

A tanszék vezetői – mint az MTA tagjai - több perióduson keresztül vezették az MTA Geodéziai Tudományos bizottságát. Mélykúti Gábor a bizottság titkára volt. A tanszék több oktatóját különböző periódusokban a bizottság tagjává, illetve albizottságok vezetőivé választották.

A hazai szakmai egyesületnek (Geodéziai és Kartográfiai Egyesület, majd Magyar Földmérési, Távérzékelési és Térképészeti Társaság) elnöke volt Dr. Homoródi Lajos és Dr. Detrekői Ákos, főtitkára Dr. Detrekői Ákos és Dr. Mélykúti Gábor. Több kolléga töltött be vezető szerepet a különböző szakosztályokban.

A nemzetközi szakmai szervezetek közül a Földmérők Nemzetközi Szövetségében (FIG) bizottsági elnök volt Dr. Homoródi Lajos és Dr. Detrekői Ákos, a Nemzetközi Fotogrammetriai és Távérzékelési Társaságban munkabizottságot vezetett Dr. Mélykúti Gábor.

A tanszék oktatói közül egyetemi vezetői (rektor helyettesi rektori,) feladatot látott, illetve lát el Dr. Homoródi Lajos és Dr. Detrekői Ákos. A Mérnöki Kar dékánja volt Dr. Homoródi Lajos, az Építőmérnöki Kar dékánja Dr. Detrekői Ákos. A karon dékán helyettesi megbízatást vállalt Dr. Mélykúti Gábor, a Dékáni Hivatalt vezette Dr. Kis Papp László és Dr. Ugrin Nándor. A tanszék oktatói számos kari bizottság munkájában, illetve vezetésében vettek, illetve vesznek részt.

Mit hoz a jövő?

A tanszék – informatikával is kibővült – szakterülete világ szerte gyorsan fejlődik. Magyarországon is egyre többen felismerik a fotogrammetria, a távérzékelés és a térinformatika jelentőségét. Így szakmai kihívásokban nincs hiány.

A tanszék személyi állománya jól képzett, megfelelő hazai és nemzetközi kapcsolatokkal rendelkezik.

A szakmai kihívások, a felkészült szakemberek és kitartó munka esetén optimistán nézhetünk a következő évtizedek elé.

SOPRON ÖRÖKSÉGE ÉS JELENE

Bácsatyai László[*]

The Heritage and Present of Sopron *- The article contains a comprehensive review of the photogrammetric education and research at the Dept. of Surveying and Remote Sensing, Univ. of West Hungary and its predecessors from the mid XIX-th century (1854) to present, from Selmecbánya (Banska Stiavnica, Slovakia) to Sopron. It points the important role of Sopron in the Hungarian cultivation of photogrammetry out.*

A cikk átfogóan ismerteti a Nyugat-Magyarországi Egyetem Földmérési és Távérzékelési Tanszékén, ill. a tanszék jogelődjein folyó fotogrammetriai oktatás és kutatás történetét, a 19. század közepétől (1854) napjainkig, Selmecbányától a mai Sopronig. Rámutat arra, hogy a fotogrammetria magyarországi művelésében Sopron mindig fontos szerepet játszott.

Kulcsszavak: fotogrammetria, szakmatörténelem

Bevezetés

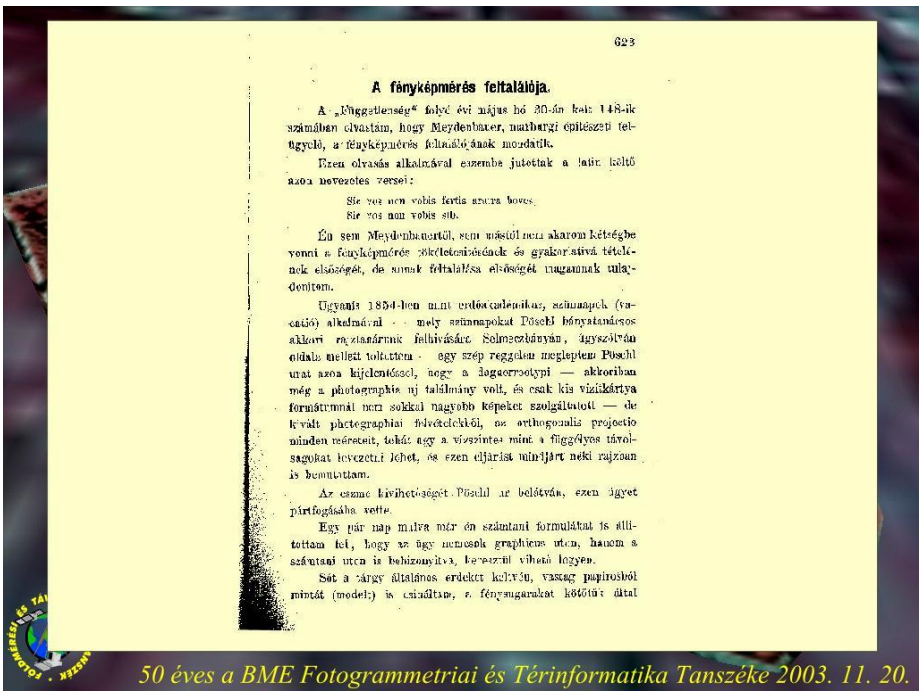
Ez az összeállítás a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Fotogrammetriai és Térinformatikai Tanszéke működésének 50. évfordulójára készült. A BME jogelődjének fennhatóságával, de soproni székhellyel ui. 1949-ben indult el a magyarországi földmérő-mérnök-képzés, ill. ezen belül a fotogrammetria földmérő-mérnöki szintű oktatása, ill. kutatása. A földmérési tevékenységet addig más mérnöki szakmák képviselői, így az építő-, erdő-, bányamérnökök végezték, akik fotogrammetriai ismereteiket is saját felsőoktatásukban szerezték. A fotogrammetria magyarországi művelésének tehát közös soproni-budapesti gyökerei vannak. Jelen cikk e gyökerek soproni vonatkozásait foglalja össze, különös tekintettel az Erdészeti Földméréstani (mai nevén Földmérési és Távérzékelési Tanszék), valamint az MTA Geodéziai Kutató Laboratórium (mai nevén Geodéziai és Geofizikai Kutató Intézet – MTA GGKI) tevékenységére.

Selmecbánya (1854 - 1919)

Ujsághy Zsigmond magyar kir. kataszt. erdőbecslési felügyelő „A fényképmérés feltalálója” c. tanulmányában (*Erdészeti Lapok, 21. Évf. Bp. 1882,* 1., 2. ábra*)* az alábbiakat írja:
„… 1854-ben mint erdőakadémikus … megleptem Pöschl tanár urat (*bányatanácsos, rajztanár Selmecbányán*) azzal a kijelentéssel, hogy … a daguerretypiai …., de kivált photographiai felvételekből, az orthogonális projectio minden méreteit, tehát úgy a vízszintes mint a függélyes távolságokat levezetni lehet, ….. ”. „Később, …. már egy lábnyi nagyságú photographiai képek is készülvén, mellyel egész tájékok felvehetők, Bécsben … gyakorlati kísérlet tétetett ily fényképi felméréssel, de az csak vázlatnak nevezhető sikert aratott, mert a felvételi képek mosásnak lévén kitéve, a képek széthúzódnak, a mérési pontosság kárára.” „Tehát az elv helyessége bebizonyosodott, csak az alap torzulása miatt nem kaptak pontos eredményt.”

Ezek után csak sejtjük, de írásos bizonyítékunk nincs rá, hogy a fotogrammetria oktatási célból Selmecbányán már a XIX. század második felében jelen volt.

**NYME, SEK, Földmérési és Távérzékelési Tanszék*
9400 Sopron, Ady E. u. 5.
E-mail: bacsaty@emk.nyme.hu


623

A fényképmérés feltalálója.

A „Függetlenség" folyó évi május hó 30-án kelt 148-ik számában olvastam, hogy Meydenbauer, marburgi épitészeti felügyelő, a fényképmérés feltalálójának mondatik.

Ezen olvasás alkalmával eszembe jutottak a latin költő azon nevezetes versei:

Sic vos non vobis ferlis aratra boves.
Sic vos non vobis stb.

Én sem Meydenbauertől, sem mástól nem akarom kétségbe vonni a fényképmérés rektetesitésének és gyakorlativá tételének elsőségét, de annak feltalálása elsőségét magamnak tulajdonitom.

Ugyanis 1858-ban mint erdőtanácsnok, szünnapok (vacatió) alkalmával — mely szünnapokat Pöschl bányatanácsos akkori rajztanárunk felhivására Selmeczbányán, ügyszólván oldala mellett töltettem — egy szép reggelen megleptem Pöschl urat azon kijelentéssel, hogy a daguerreotypi — akkoriban még a photographia uj találmány volt, és csak kis vizikártya formátumnál nem sokkal nagyobb képeket szolgáltatott — de kivált photographiai felvételeiből, az orthogonalis projectio minden tételeit, tehát egy a vizszintes mint a függőleges távolságokat levezetni lehet, és ezen eljárást mindjárt neki rajzoan is bemutattam.

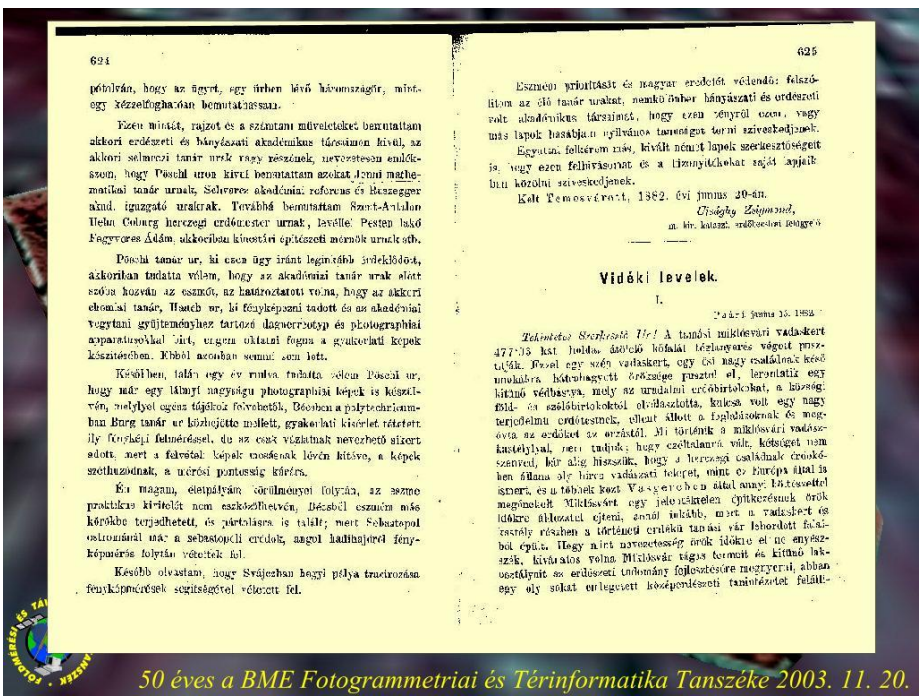
Az ezzel kivihetőségét Pöschl ur belátván, ezen ügyet pártfogásába vette.

Egy pár nap multva már én számtani formulákat is állitottam fel, hogy az ügy nemcsak graphicus uton, hanem a számtani uton is behizonyitva, keresztül vihető legyen.

Sőt a tárgy általános erdekü kelvén, vastag papirosból mintát (modelt) is csináltam, a fénysugarakat kötőtü által

50 éves a BME Fotogrammetriai és Térinformatika Tanszéke 2003. 11. 20.

1. ábra: Újsághy Zsigmond tanulmánya: Erdészeti Lapok, 21. Évf. Bp. 1882


624

pótolván, hogy az ügyet, egy úrhen lévő hávumszögür, mintegy kézzelfoghatóan bemutathassam.

Ezen mintát, rajzot és a számtani müveleteket bemutattam akkori erdészeti és bányászati akadémikus társaimon kivül, az akkori selmeczi tanár urak nagy részének, nevezetesen emlékszem, hogy Pöschl uron kivül bemutattam azokat Jenni mathematikai tanár urnak, Selmecz akadémia reformátor és Rauscher akad. igazgató uraknak. Továbbá bemutattam Szent-Antalon Ilelen Coburg herczegi erdőmester urnak, levélle Pesten lakó Nagyvárosi Ádám akkoriban kincstári épitészeti mérnök urnak stb.

Pöschl tanár ur, ki csak ügy iránt leginkább érdeklődött, akkoriban tudatta velem, hogy az akadémiai tanár urak előtt szóra hozván az eszmét, az határoztatott volna, hogy az akkori chemiai tanár, Hatch ur, ki fényképezni tudott és az akadémiai vegytani gyüjteményhez tartozó daguerrotyp és photographiai apparatusokkal birt, ezentul oktatni fogna a gyakorlati képek készitésében. Ebből azonban semmi sem lett.

Később hallottam, talán egy év multva tudatta velem Pöschl ur, hogy már egy lámyi nagyságu photographiai képek is készitvén, melyhez ugyan tájékoz fölvehetők, bécsben a polytechnicumban Burg tanár ur közbejötte mellett, gyakorlati kisérlet tétetett ily fényképi felmérésnek, de az csak vázlatnak nevezhető sikert adott, mert a felvétel képek rosszának lévén kitéve, a képek szélhuzódnak, a mérési pontosság kárára.

Én magam, életpályám körülményei folytán, az eszme praktikus kivitelét nem eszközölhettem, később ezután más körökbe terjedhetett, és pártolásra is talált; mert Sebastopol ostrománál ma: a sebastopoli erődök, angol hadihajóról fényképmérés folytán vétettek fel.

Később olvastam, hogy Svájczban hegyi pálya tracirozásan fényképmérések szükségével véletett fel.

625

Eszmém priorilását és magyar eredetét védendő: felszólitom az élő tanár uraket, nemkülönben bányászati és erdészeti volt akadémikus társaimat, hogy ezen tényről ozon, vagy más lapok hasábjain nyilvános tanuságot tenni sziveskedjenek.

Egyuttal felkérem más, kivált nemet lapok szerkesztőségeit is, hogy ezen felhivásomat és a tiszinyilvánitokat saját lapjaikban közölni sziveskedjenek.

Kelt Temesvárott, 1882. évi junius 20-án.

Újsághy Zsigmond,
m. kir. kataszt. erdőtechnikai felügyető

Vidéki levelek.

I.

Pankota, junius 15. 1882.

Tekintetes Szerkesztő Ur! A tanácsi miklóvári **vadaskert** 477·15 kat. holdas ároló kőfalai téglanyárs végett pusztulnak. Ennek egy szép vadaskert, egy ősi nagy családnak kedvenczhelye, kőrülhagyott őrözsége pusztul el, leromlatik egy hatalmas védbástya, mely az urudalmi erdőbirtokokat, a községi föld- és szőlőbirtokoktól elválasztotta, kulcsa volt egy nagy terjedelmü erdőtestnek, ellent állott a foglalásoknak és megóvta az erdőket az orvától. Mi történik a miklósvári vadászkastélylyal, nem tudjuk; hogy czéltalanná vált, kétséget nem szenved, kár alig hiszszük, hogy a herczegi családnak örökében fúlana oly büros vadászati telepet, mint ez Európa által is ismert, és a többek közt Vasgyerekben által arany: Erzsébettel megörökelt Miklósvárt egy jelentéktelen épitkezésnek örök időkre áldozatul ejteni, annál inkább, mert a vadaskert és rasrály részben a történeti erdőkü tanási vár lehordott falaiból épült. Hogy mért nevezetesség örök időkre el ne enyészszék, kivánatos volna Miklósvár tágas termeit és kitünő lakosztályait az erdészeti tudomány fejlesztésére nagyurnai, abban egy oly sokat érdemelt középerdészeti tanintézetet felállí-

50 éves a BME Fotogrammetriai és Térinformatika Tanszéke 2003. 11. 20.

2. ábra: Újsághy Zsigmond tanulmánya: Erdészeti Lapok, 21. Évf. Bp. 1882.

3. ábra: Jankó Sándor Fotogrammetria könyve Pozsony, 1917.

Az bizonyos, hogy Jankó Sándor, a selmecbányai magyar királyi Bányászati és Erdészeti Főiskola rendes tanára, 1906-tól 1923-ban bekövetkezett haláláig az Erdészeti földméréstani tanszék vezetője 1917-ben a „Pázmány" Irodalmi és Nyomda Részvénytársaság könyvnyomdájában, Pozsonyban „Fotogrammetria" címmel megjelentette a témában első magyar nyelvű összefoglaló alkotást (3. ábra). Ez időben a fotogrammetria földi fotogrammetria volt, még nem szakadt el bölcsőjétől, a földtől, amely természetesen analóg volt és még nem digitális. A viszonylag rövid, mintegy B3 méretű könyvecske röviden, egyszerű és könnyen megérthető alakban mutatja be a fotogrammetria gyakorlati, mindennapi alkalmazásának módjait. Bár a könyv tartalmát az idő már jócskán meghaladta, gondolatmenete kristálytiszta, és mint ilyen ma is megbecsülésnek örvend az erdőmérnöki gyakorlaton kívül is.

„1918 őszén a pénzügyminisztérium rendeletére a főiskola megkezdte költözését Selmecbányáról … A Főiskola teljes tanári karával és hallgatóságával, valamint oktatási felszerelésével, berendezésével, könyvtárával 1919 tavaszán Sopronban települt le …" (Selmectől Miskolcig 17835-1985" c. kiadvány, Miskolc, NME, 1985)

Sopron (1919 - 1965)

Jankó Sándor halála (1923) után asszisztense, Sébor János lett az Erdészeti Földméréstani tanszék vezetője. Az ő nevéhez fűződik a fotogrammetria önálló tantárgyként történő oktatásának bevezetése 1930-tól. Sébor János és munkatársai egészen 1965-ig az erdészeti fotogrammetria gyakorlati kérdéseivel foglalkoztak, e tárgyban az első tanulmány 1930-ban jelent meg:

Sébor János: Fotogrammetria az erdőgazdaság szolgálatában. Erdőgazdasági szemle, 1. évf. Sopron, 1930.

Hosszabb szünetet követően, 1952-1956 között terelődött a figyelem ismét a fotogrammetria erdészeti gyakorlati célú oktatására és kutatására, valószínűleg a földmérő-mérnökök oktatását szolgáló „Fotogrammetria" tanszék megalakulásával párhuzamosan. A Fotogrammetria tanszék megalakulása pontos körülményeinek vizsgálata még hátra van, mi itt és a továbbiakban csak az Erdészeti Földméréstani tanszéken folyó munkára térünk ki: mivel a tanszék keretein belül földi fotogrammetriai munka végzésére nyílott csak alkalom, a gyakorlati tevékenység is csak erre korlátozódott. A tanszék munkatársai több tanulmányban számoltak be azokról az eredményekről, amelyek kiterjedtek mindazokra az erdőgazdasági tevékenységekre, tervezésekre, amelyeknél a földi fotogrammetriát sikerrel lehet alkalmazni. Ezen időszak első lépéseként Sébor János egyetemi tanár 1952-ben megjelentette fotogrammetriai előadásainak anyagát jegyzet alakban.

Az alább felsorolt tanulmányok jól jellemzik ezen időszak kutatási irányait:

- Sébor János: Fotogrammetriai előadásainak jegyzete Fotogrammetria 1. rész. Agrártudományi Egyetem Erdőmérnöki Karának kiadása, Sopron. 1952.
- Farkas Tibor-Sárkány Jenő: A földi fotogrammetria felhasználása feltáró vonalak tervezéséhez. Soproni Erdőmérnöki Főiskola évkönyve, Bp. 1951/52. 1952.
- Teszárs Géza-Sárkány Jenő: Földi fényképmérés az erdőgazdaság szolgálatában. Az Erdő, 1. évf. Bp. 1952.
- Sébor János: Fotogrammetria az erdőgazdaság szolgálatában. Az Erdő, 3. évf. Bp. 1954.
- Sébor János-Farkas Tibor-Sárkány Jenő- Teszárs Géza - Veress Sándor: A fényképmérés erdőgazdasági felhasználása. Kézirat, Erdészeti Földméréstani Tanszék. Sopron. 1954.
- Sébor János: Vizsgálatok a fotogrammetria köréből. Soproni Erdőmérnöki Főiskola közleményei, 2. kötet. 1957.
- 1957. Sébor János: Untersuchungen über Photogrammetrie. Acta technica Acad. Scient. Hung. 23. évf. Bp. 1957.
- Teszárs Géza: A légifénykép, mint térképezési alapanyag. Az Erdő. 9. évf. Bp. 1960.
- Teszárs Géza: Fotogrametriai úton készült erdőgazdasági alaptérképek méretaránya. Az Erdő. 9. évf. Bp. 1960.
- Teszárs Géza: Az erdészeti fényképmérés módszerei és műszerei. Az Erdő. 10. évf. Bp. 1961.
- Kocsis József-Teszárs Géza: A fotogrammetria alkalmazásának lehetőségei az erdőrendezési munkában. Erdészettudományi közlemények. Bp. 1962.
- Dékány Sándor - Gerencsér Miklós: Fotogrammetriai negatívok denzitásterjedelmének mérése. Geodézia és Kartográfia, 1963/3.

Ez utóbbi tanulmány már jelezte a tanszék fotogrammetriai irányú kutatásainak változását, amely Dr. Bezzegh László professzor tanszékvezetésének (1965 – 1979) idején teljesedett ki.

Sopron (1965 - 1979)

Dr. Bezzegh László Kossuth díjas műszerkonstruktőr, 1965 és 1979 között a Földméréstani Tanszék vezetője, az 1970-es években alkotta meg sztereofotogrammetriai műszerének, a StereoMOM-nak a prototípusát, amely, sajnos, nem került sorozatgyártásra és néhány év után helyhiány miatt szét kellett szedni. Sok-sok darabban most is ott található valahol az

Egyetem raktárépületében. Ugyancsak nem kísérte siker az elvében részletesen kidolgozott radiálortoszkópia elnevezésű egyedülálló ortofotó készítési eljárását, amelyet akadémiai doktori értekezésként is benyújtott, de végül nem védte meg. A Dr. Bezzegh László nevével fémjelzett időszak fotogrammetriai tárgyú kutatási témáit mutatják az alábbi tanulmányok:

- Gerencsér Miklós: Műszeres és automatikus irányzatok a fotointerpretációban. Geodézia és Kartográfia, 1967, 185-192 old.
- Gerencsér Miklós: Hazai légifelvételek kontrasztátviteli függvényeinek mérése és számítása. Geodézia és Kartográfia, 1972, 161-177 old.
- Szabó Gyula: Kötélpályák geometriájának és erőjátékának fotogrammetriai vizsgálata. EFE Tud. Közl., 1973, 137-151 old.
- Szabó Gyula: Bakdaru fotogrammetriai behajlás- és mozgásvizsgálata. EFE Tud. Közl., 1973, 157-170 old.
- Kovács Gyula: Légifényképezés rádióval irányított repülőgép modellről. EFE Tud. Közl., 1974, 105-121 old.
- Dékány Sándor - Gerencsér Miklós: A holográfia fejlődésének hatása a fotogrammetriai kiértékelés és az adatbank fejlődésére. Geodézia és Kartográfia, 1975, 288-302., 374-378., 441-450. old.
- Bezzegh László: Automatizálás a fotogrammetriában. Geodézia és Kartográfia, 1973, 192-196. old.
- Bezzegh László: Sztereoszkopikus kiértékelő-műszer két síkbafejtett térkoordinátarendszerrel. EFE Tud. Közl., 1975, 81-89 old.
- Tvordy György: Földi, légi fényképek és szatellita felvételek az erdő jellemzőinek meghatározásában. EFE Tud. Közl., 1976, 157-170 old.
- Kovács Gyula: Fénymetszéses eljárás alkalmazása kis keresztmetszetű földalatti járatok felmérésénél. EFE Tud. Közl., 1980, 131-137. old.

Kovács Gyula tanulmánya tematikailag még Bezzegh professzor úr tevékenységéhez tartozik.

A Főiskoláról 1957-ben Tárczy-Hornoch Antal akadémikus vezetésével az MTA Geodéziai Kutató Laboratóriuma (MTA GKL, 1973-tól Geodéziai és Geofizikai Kutató Intézet, MTA GGKI) néven kivált intézmény fotogrammetriai irányú kutatásait Dr. Alpár Gyula és Dr. Somogyi József neve fémjelzi. Mindketten - felhasználva elsősorban az időközben a geodéziában is polgárjogot nyert mátrix-algebra lehetőségeit - az analitikus fotogrammetria területén folytattak mind magyar, mind nemzetközi kitekintésben jelentős kutatásokat.

Alpár Gyula és Somogyi József kutatásaikat elsősorban az alábbi tanulmányokban foglalták össze:

- Somogyi József: Az analitikus légiháromszögelés elmélete és gyakorlata. Kandidátusi értekezés. Sopron, 1966.
- Alpár Gyula: A symplified system for analytical aerotriangulation. Acta Geod., Geoph. et Mont., Acad. Scient. Hung., Bp:, 7, 1972, 207-215. old.
- Alpár Gyula: Über den Vergleich von Netzverdichtungen nach geodätischen und photogrammetrischen Methoden. Acta Geod., Geoph. et Mont., Acad. Scient. Hung., Bp:, 7, 1972, 473-476. old.
- Alpár Gyula: A légiháromszögelés geodéziai analógiája. Geodézia és Kartográfia, 1973, 417-420. old.
- Alpár Gyula: Légiháromszögelési tömbök kiegyenlítési eljárásainak összehasonlítása. Geodézia és Kartográfia, 1974, 28-31. old.
- Somogyi József: Gondolatok a tömbkiegyenlítéshez. Geodézia és Kartográfia. 1974.

- Somogyi József: Kísérletek független modellekkel való tömbkiegyenlítés hazai alkalmazására. Geodézia és Kartográfia. 1974.
- 1974. Somogyi József: Térbeli légiháromszögelés független modellekkel. Geodézia és Kartográfia. 1974.
- Alpár Gyula: Légiháromszögelési hálózatok matematikai modelljének vizsgálata. Akadémiai doktori értekezés. 1975.
- Somogyi József: Tömbkiegyenlítések hazai alkalmazása gazdaságosság és pontosság figyelembevételével. Akadémiai doktori értekezés. 1976.

Sopron (1979 - 1989)

Bezzegh professzor úr utóda, Bácsatyai László – elődjével ellentétben – nem műszerkonstruktőrként, de még csak nem is fotogramméterként került az – időközben nevet változtatott Földméréstani tanszék élére (még Bezzegh professzor alatt a tanszék neve elől elmaradt az „Erdészeti" jelző). A fotogrammetriai kutatások ettől kezdve a pontosságvizsgálat és a világszerte „divatos" témák, így az ortofotó, később a távérzékelés és a digitális fotogrammetria körül alakultak ki. A fotogrammetriai tárgyú tanulmányok száma csökkent:

- Bácsatyai László - Kovács Gyula: Nagy térbeli felületek felmérésének és pontosságvizsgálatának néhány kérdése. EFE Tud. Közl., 1982/1.
- Bánky József: Ortofotók hasznosítása gazdálkodási, erdészeti céltérképek készítésében. Egyetemi doktori értekezés. 1987.

Ezen időszakban – a megelőző évekhez hasonlóan – számos fotogrammetriai tárgyú diplomaterv is született, első sorban a földi fotogrammetria, tájbaillesztés és az ortofotó területén. Néhányat ezek közül az alábbiakban sorolunk fel:

- Bácsi B: Illesztőpontok meghatározása ortofotó készítés céljára, 1986.
- Katona G: Színes infravörös légifelvételek felhasználása az erdőmérnöki gyakorlatban, 1987.
- Pintér Z: Kisfilmes, amatőr kamerás, infraszínes légifelvételek erdészeti alkalmazásának vizsgálata, 1987.
- Szedlák T: Faállományjellemzők mérési lehetőségeinek vizsgálata amatőrkamerás földi sztereofotogrammetriai módszerrel, 1987.
- Kardos J: A fotogrammetria, a fotointerpretáció és a távérzékelés erdészeti alkalmazása, 1988.
- Ruff J: A digitalizált 1818 Zeiss sztereokomparátor üzemi próbája és pontosságának vizsgálata, 1988.

Ugyanezen időszak GGKI-beli kutatásai az alábbi tanulmány-, ill. értekezéscímek köré csoportosíthatók:

- Halmai Endre: Ponthálózat a közelfotogrammetriában használt fényképezőgépek hitelesítésére. Geodézia és Kartográfia, 1981, 92-95. old.
- Halmai Endre: Fejtésközeli vágatok konvergenciájának meghatározása sztereokamarával. Bányászati és Kohászati Lapok, 1984, 99-106. old.
- Halmai Endre: Fotogrammetriai mérőkamarák paraméterei, hitelesítésük és felhasználásuk mélyművelésű bányatérségekben. Kandidátusi értekezés. 1984.
- Závoti József: A digitális terepmodell matematikai alapjai és geodéziai alkalmazásai. Kandidátusi értekezés. 1985.
- Kalmár János: Fotogrammetriai nyalábkiegyenlítő programrendszer kisszámítógépre. Geodézia és Kartográfia, 1985, 365-367. old.

- Kalmár János - Somogyi József: Verschiedene robuste Schätzungsverfahren für die Helmert-transformation. Allgemeine Vermessungs-Nachrichten, 1988, 141-146. old.
- Kalmár János - Somogyi József: Robusztus becslési eljárások a Helmert-transzformációhoz. 1989, Geodézia és Kartográfia, 6-10. old.

Sopron (1989 -)

A jelen fotogrammetriájának kezdetét a Földmérési és Távérzékelési Tanszéken a Stereo-Cord G3 számítógéppel segített fotogrammetriai műszer jelentette. Ez még nem volt ugyan digitális műszer, de az eddig megszokott analóg módszerekkel szemben a számítógéphez sokkal közelebb álló ideológiája egy új időszak kezdetét jelentette számunkra. Hasonló szerepet játszott az 1991-95-ös években „A Fertő-tó digitális felületmodellje" c. OTKA-kutatás, amely, természetesen, nem kapcsolódott közvetlenül a digitális fotogrammetriához, de felsorolásunkból kihagyni nem lehet, hiszen sok tapasztalatot szereztünk a későbbi digitális ortofotó előállításhoz nélkülözhetetlen digitális felületmodellekről.

Az 1994-ben diplomatervét tanszékünkön készítő és védő Czimber Kornél erdőmérnök hallgató, későbbi tanszéki kollégánk elsődleges szerepet játszott abban, hogy tanszékünkön a digitális fotogrammetria művelése elkezdődhetett. „Digitális felületi modellek az erdészeti tervezésben" c. diplomatervének mintegy melléktermékeként készített egy digitális felületmodellező szoftvert "DIGITERRA" címmel. Ez a program volt az a mag, amely köré kiépült az a geoinformatikai rendszer, amelyen belül alapvető szerepet játszanak a részben addig számítógépes célra még nem alkalmazott algoritmusokkal dolgozó digitális fotogrammetriai modulok.

Elsősorban a digitális képek nagy mérete miatt a digitális fotogrammetriai fejlesztés tanszékünkön a megfelelő képességű hardver beszerzése után kezdődhetett el. A rendkívül drága, a térmodell közvetlen szemlélését is lehetővé tevő fotogrammetriai munkaállomás beszerzése nagymértékben meghaladta tanszékünk anyagi lehetőségeit, így a fejlesztés PC-s környezetben történt. Olyan program született, amely egyszerű személyi számítógépeken fut, nem biztosít térbeli szemlélést, de minden tekintetben támogatja a kiértékelést.

A digitális fotogrammetriai fejlesztés részben a tanszék, részben az 1996-ban alapított DigiTerra Bt. (ma DigiTerra Geoinformatikai Rendszerház Kft.) közreműködésével az alábbi főbb lépésekben foglalható össze:

1996. Stereo - Sztereo kiértékelés, a DigiTerra Bt. megalakulása
1997. Image - Digitális képfeldolgozás - digitális ortofotó
2000. Tömbkiegyenlítés
2001. Automatikus felületmodell kinyerés

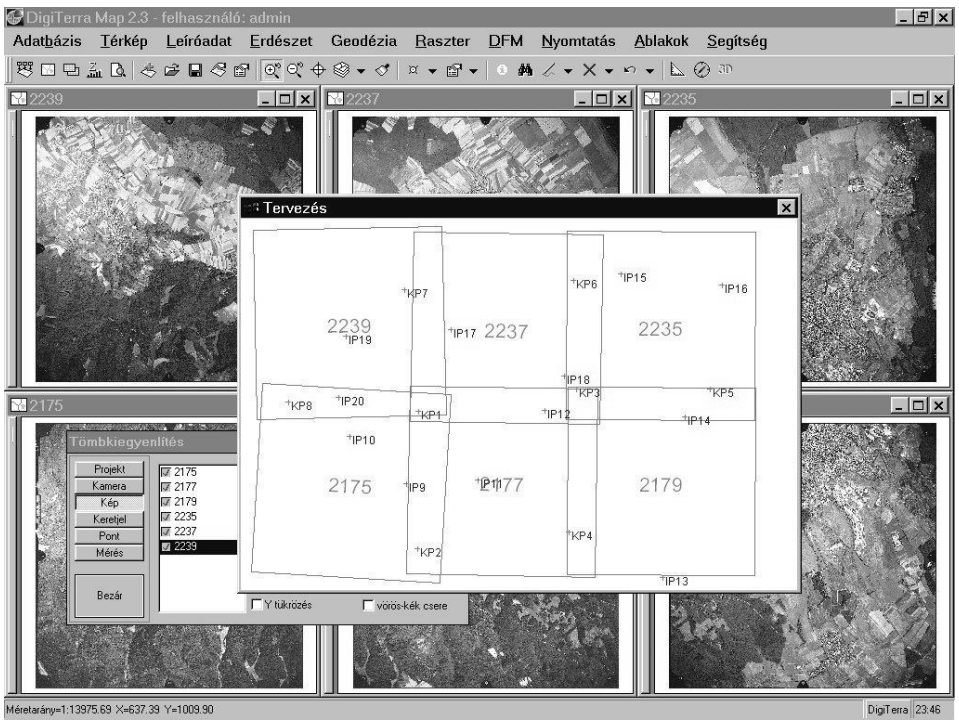
A DigiTerra cég legújabb térinformatikai és digitális fotogrammetriai fejlesztéseivel a mai napig nemcsak az erdészeti ágazatban, hanem a geodézia területén is komoly tekintélyt vívott ki magának. Tanszékünk teszteli a DigiTerra cég programjait, cserébe azokat oktatási és kutatási célra térítésmentesen használhatja. A 4. ábrán a STEREO program munkafelületét mutatjuk be.

Az 1996-ban íródott STEREO program még saját grafikus felülettel készült, a tájékozáshoz számos interaktív eszközt kínál: hibavektorok, mintavételi rács, pontfelkeresés, pontok rendezése a képi hiba nagysága szerint stb. A későbbiekben a sugárnyaláb kiegyenlítés is a kollinearitási egyenleteken és a Newton-féle linearizáláson alapul.

Az IMAGE digitális képfeldolgozó program az első magyar fejlesztésű szoftver, mely digitális ortofotót állított elő. Az IMAGE modul általános képfeldolgozó szoftver. Segítségével tetszőleges távérzékelt digitális kép feldolgozható. A szoftver számos funkciót rejt magában: vizuális interpretáció, kép statisztikák, kontraszt széthúzás, szűrés, képalgebra,

képjavítás, tanuló- és teszterületek megjelölése, képek osztályozása. Digitális képeken kívül a program raszteres digitális terepmodellek előállításához nyújt eszközöket. Funkciói között megtalálható a képek radiometriai- és geometriai korrekciója, darabolása, összedolgozása. A geometriai javítás polinomiális és projektív tájékozáson alapulhat. A fentiekből látható, hogy az ortofotó készítéshez szükséges minden egyes elem megtalálható a programban. 1999-ben a képfeldolgozó és ortofotó készítő modul beépült a DigiTerra Map programba is, és ott került továbbfejlesztésre.

A tömbkiegyenlítésre alkalmas DigiTerra modul 2000-ben készült el. A szakirodalom számos tömbkiegyenlítési lehetőséget említ. A DigiTerra szoftverkörnyezet talán a legrugalmasabb sugárnyaláb kiegyenlítést támogatja. Ha a Newton-féle linearizálást kiterjesztjük több képre és a pontok valós koordinátáira, akkor eljutunk a sugárnyaláb kiegyenlítéshez. A 4. ábrán a tömbkiegyenlítő modul munkafelületét látjuk.



4. ábra: A tömbkiegyenlítő modul munkafelülete a tervezési munkaszakaszban

Az automatikus felületmodell kinyerés a tájékozott légifelvételek átfedő részein történik. A módszer a sztereoszkópikus elven és a képrészletek vagy képobjektumok egyeztetésén alapul. Különleges előnye van a digitális ortofotó létrehozásában azokon a területeken, ahol nincs domborzatmodell vagy az nem megfelelő pontosságú. Segítségével lehetővé válik a valós ortofotó elkészítése, vagyis az ortorektifikáció nem a domborzat, hanem a borított felszín alapján készülhet el, így az épületek, fák függőlegesek lesznek, és több kép bevonása esetén nem lesz kitakart rész. A DigiTerra környezetben az automatikus felületmodell kinyerés 2001-ben vált lehetővé.

Fentiekről részletesebb információkat Bácsatyai L.-Czimber K.-Király G. „A digitális fotogrammetria újabb eredményei a NYME Földmérési és Távérzékelési Tanszékén”, Geomatikai Közlemények IV. Sopron, 2001, 83-102 p. c. tanulmányban olvashatunk.

Néhány diplomaterv ezen időszakból:

- Fekete Z - Milasovszky Z: Fertő-parti táj- és műemléképületek környezetének és homlokzatának felmérése földi és földi fotogrammetriai úton, 1992.
- Roska L - Szabó K: Színes digitális ortofotó alapú erdõtérképezés, 1997.
- Király G: Nagyterületi erdőleltározás digitális űrfelvételek felhasználásával, 1997.
- Tajnai R: Illesztőpontok meghatározása a Fertő-Hanság Nemzeti Park területén GPS-szel, 2000.

2003 december 22-én a Nyugat-magyarországi Egyetem Erdőmérnöki Karán Czimber Kornél sikeresen megvédte a fotogrammetriai-távérzékelési modulok fejlesztésének tudományos eredményeit is tartalmazó, „Korszerű geoinformatikai módszerek az erdészetben" című PhD. dolgozatát.

Fontosabb irodalom

Németh F (1998): A magyarországi erdőfelmérés története: a kezdetektől 1990-ig. Kiad. Állami Erdészeti Szolgálat, -111.

Ujsághy Zs (1882): A fényképmérés feltalálója. *Erdészeti Lapok*, 21. Évf. Bp.

Selmectől Miskolcig 1854-1985" c. kiadvány, Miskolc, NME.

Bácsatyai L, Czimber K, Király G (2001): A digitális fotogrammetria újabb eredményei a NYME Földmérési és Távérzékelési Tanszékén. (társszerzők: Czimber K, Király G). *Geomatikai Közlemények* IV. Sopron, 83-102.

A FOTOGRAMMETRIA ÉS TÉRINFORMATIKA TANSZÉK OKTATÁSI TEVÉKENYSÉGE 1952 – 2003 KÖZÖTT

*Mélykúti Gábor**

Educational activities of the Department of Photogrammetry and Geoinformatics between 1952 and 2003 *– The paper presents the educational activities of the Department of Photogrammetry and Geoinformatics in the past fifty years. It covers the changes of the circumstances determining the educational activities, mainly the organizational frames, the lecturers, colleagues, disciplines and the relations to the students. The presentation is realized in form of tables with only narrating texts.*

A cikk bemutatja a Fotogrammetria és térinformatika tanszék oktatási tevékenységét az elmúlt ötven évben. Áttekinti az oktatási tevékenység végzését meghatározó körülmények változásait, elsősorban a szervezeti keretek, az oktatók, a munkatársak, a tantárgyak és a hallgatók kapcsolatait. A bemutatás elsősorban táblázatok segítségével történik, a szöveg csak a táblázatok megértését segíti.

Kulcsszavak: oktatás, oktatók, tantárgyak

Bevezetés

A tanszék megalakulása szorosan kapcsolódik a Földmérőmérnöki szak létrehozásához. Az 1950-es évek elején a felsőoktatásban és ezen belül a mérnökképzésben bekövetkezett rendkívül összetett változásokat jelen cikk keretében azonban nem áll módunkban feldolgozni, kizárólag a tanszék által oktatott tantárgyak, oktatási formák és az oktatás szereplőinek leltár szerű összefoglalására vállalkozunk. Ezt elsősorban táblázatok segítségével tesszük, a rövid szöveg csak a táblázatok jobb megértését segíti.

Az oktatás kereteinek változásai

A tanszék 1952 őszén alakult meg a Budapesti Műszaki Egyetem Sopronba kihelyezett Földmérőmérnöki karán, majd 1959-ben Budapestre költözött. Időközben azonban nem csak a város, hanem az egyetem, a kar, a szak, a tanszék elnevezése, a tanszékvezető és az oktatás rendszerét meghatározó tanterv is többször változott. Erről ad áttekintést az I. táblázat. Kinevezett tanszékvezető Sopronban nem volt, a költözés után két évig Dr. Hazai István a kar akkori dékánja volt a megbízott tanszékvezető. 1961-től Dr. Homoródi Lajos, 1978-tól Dr. Detrekői Ákos a kinevezett tanszékvezető. A tanszék által oktatott földmérőmérnök hallgatók a költözés során még egy kitérőt is tettek a miskolci Nehézipari Egyetemre, és csak utána kerültek Budapestre.

A tanszék oktatói és munkatársai

A tanszéken az elmúlt 50 évben összesen 25 kinevezett oktató dolgozott egyetemi tanár, ~ docens, ~ adjunktus, vagy ~ tanársegéd minőségben. A II. táblázat vastag vonallal csak az oktatói minőségben, ezen a tanszéken eltöltött évek számát jelöli. Többen dolgoztak ezt

**BME Fotogrammetria és Térinformatika Tanszék, 1011 Budapest, Műegyetem rkp. 3.*
E-mail: gmelykuti@eik.bme.hu

megelőzően, vagy dolgoznak ezt követően más tanszéken, vagy más minőségben. A nevek mögötti szám az ebben a minőségben eltöltött évek számát jelöli. A III. táblázat a tanszék munkájában részt vett valamennyi főállású, egyetemi vagy főiskolai diplomával rendelkező munkatárs szerepel, akik oktatói, kutatói, vagy mérnöki beosztásban dolgoztak.

A tanszék oktatási tevékenysége

A tanszék jelenleg különböző oktatási formákban vesz részt:

- Földmérő és térinformatika szakon, nappali és levelező tagozaton, informatikát és szaktárgyakat,
- Építőmérnöki szakon, nappali és levelező tagozaton, informatikát és térinformatikát,
- Műszaki manager szakon, nappali tagozaton térinformatikát,
- Idegen nyelvű képzésben, angol és német nyelven informatikát és szaktárgyakat oktat.

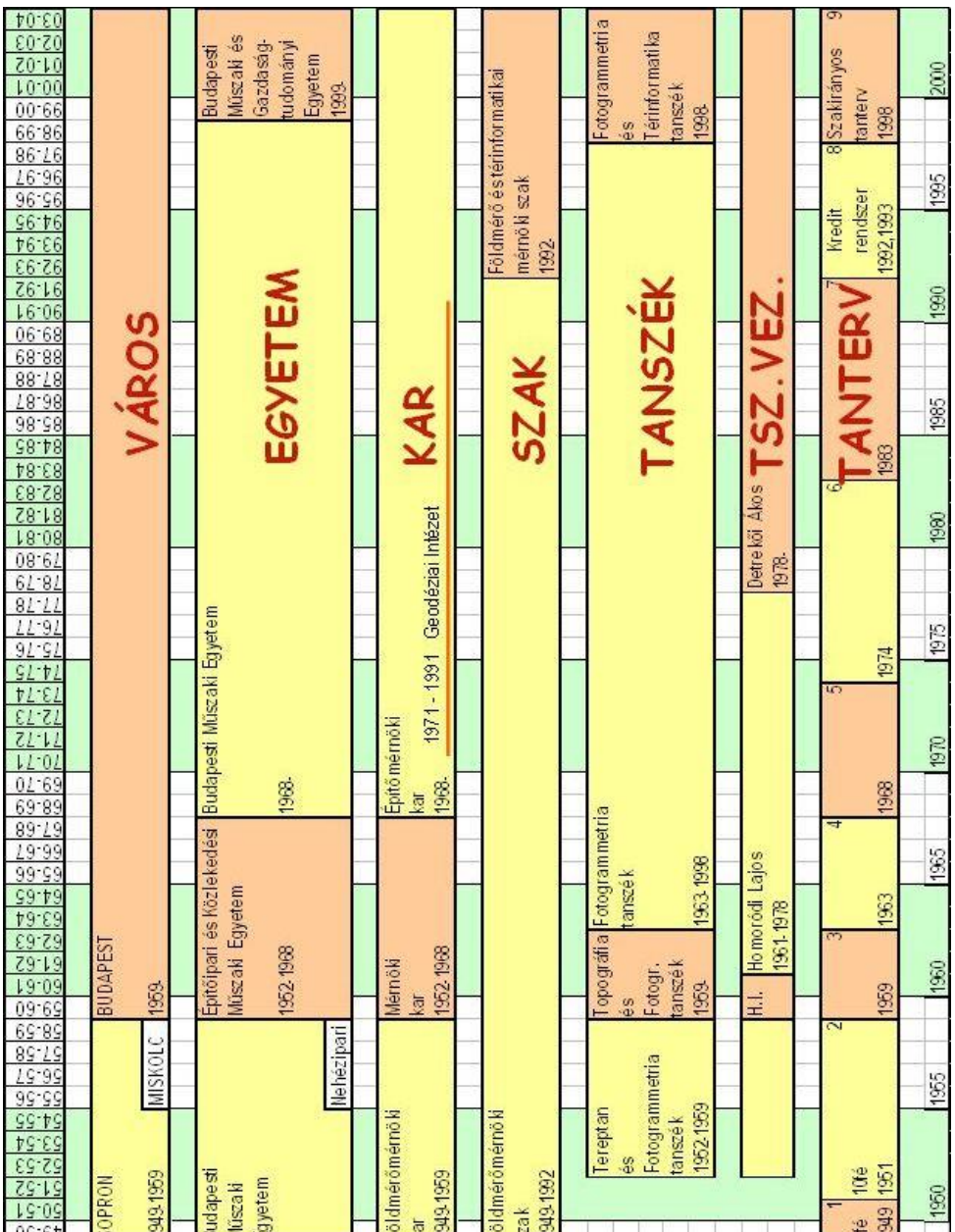
Ezeken kívül a tanszék részt vesz a szakmérnöki képzésben. 1978-tól a Természeti erőforráskutatás szakon Dr. Domokos Györgyné, 1992-től a Humán térinformatika, majd az Alkalmazott térinformatika szakon Dr. Winkler Gusztáv vezetésével indultak évfolyamok. A doktori képzés keretében 1991-től eddig 24 ösztöndíjasa volt/van a tanszéknek, közülük hárman már meg is szerezték a doktori címüket.

A tanszék által oktatott tantárgyakat 1992, a kredit rendszer bevezetése óta négy fő csoportra lehet osztani. Az egyik a törzstárgyak csoportja, melyet valamennyi, a szakot választó hallgatónak fel kell vennie. Az ezt megelőző tantervekben gyakorlatilag minden tantárgy ilyen (kötelező) volt. A másik csoportot azok a tantárgyak képezik, melyek közül egy adott szakirányt választó hallgatóknak egy megadott mennyiséget választaniunk kell. A harmadik a szabadon választható, de műszaki tartalommal rendelkező tantárgyak, a negyedik pedig a szabadon választható nem műszaki (pl. hadmérnök történeti ismeretek) tantárgyak. A IV. táblázat a tanszék által az 50 év alatt oktatott törzs (kötelező) tantárgyakat tartalmazza. Látható a tantárgyak számának növekedése, és ehhez még hozzá kell venni a nem kötelező tantárgyakat is. Az V. táblázat a tanszék három legrégebben és leghuzamosabb ideig oktatott tantárgyainak előadóit és óraszám változásait mutatja be. A VI. táblázat pedig a törzstantárgyak szerkezeti változásait szemlélteti. Látható, hogy a „klasszikus" tantárgyak kimérete erősen csökken, az űrt az új tantárgyak és a választható tantárgyak töltik ki. A VII. táblázat a tanszék mindenkori oktatóinak, az összes diplomás munkatársainak (beleértve az oktatókat is) és a földmérő szakos hallgatók létszámának változásait szemlélteti. 1995 óta a tanszék nem csak a földmérőmérnök hallgatók, hanem a műszaki manager és az építőmérnök szakos hallgatók oktatásába is bekapcsolódott. Ezeket a létszámváltozásokat szemlélteti a VIII. táblázat.

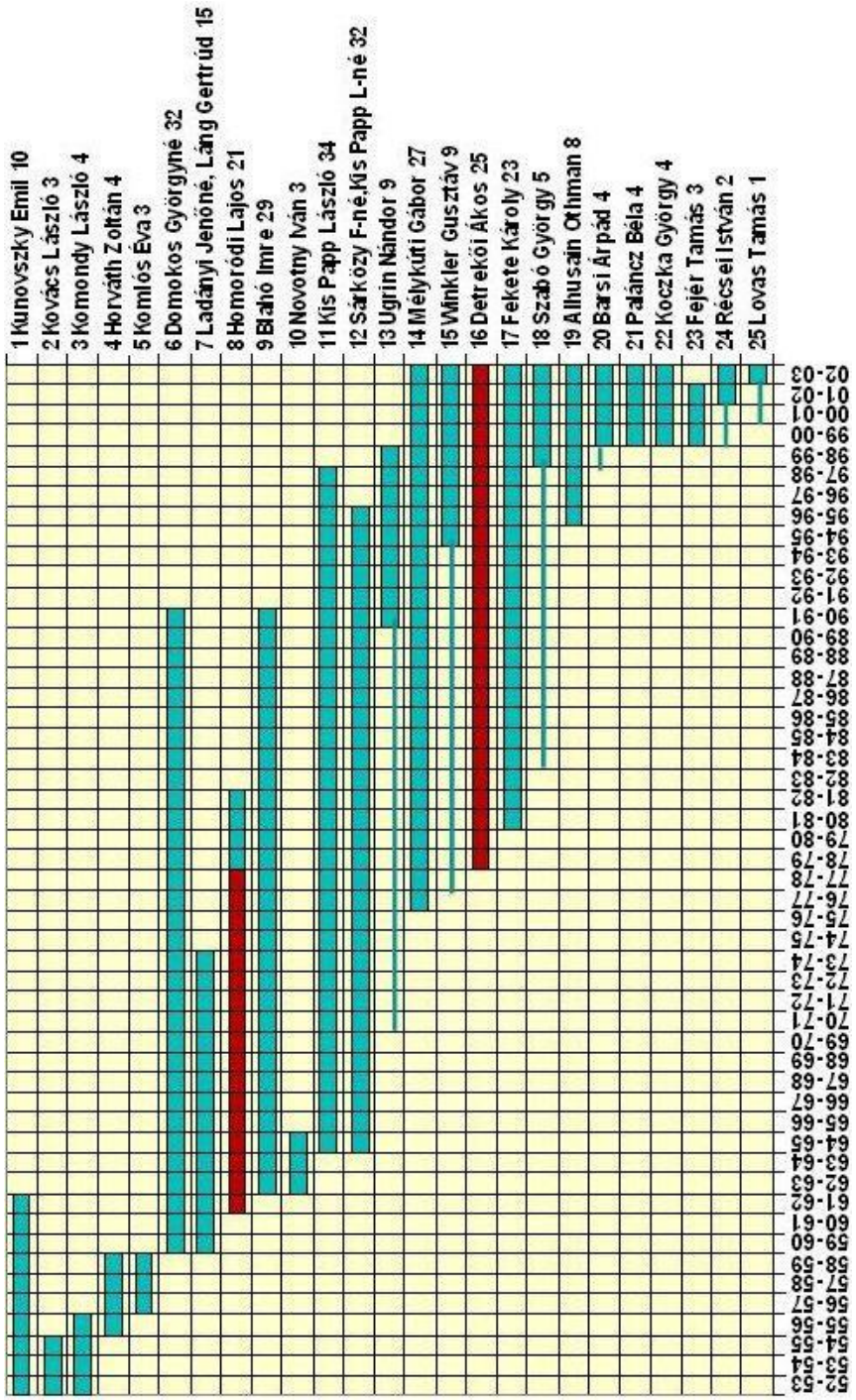
Hivatkozások

Homoródi L (1960): A földmérőmérnök képzés átszervezése. *Geodézia és Kartográfia* 1960/3, Budapest.
Homoródi L (1963): A földmérőmérnök képzés reformja. *Geodézia és Kartográfia* 1963/3, Budapest.
Homoródi L (1967): A mérnökképzés feladatai és problémái a reformtanterv tükrében. *Geodézia és Kartográfia*, Budapest.
Joó I, Raum F (1993) főszerkesztők: Magyar földmérés és térképészet története. Budapest, 5.525 fejezet: Dr. Szádeczky-Kardoss Gyula, 5.591. fejezet: Domokos Györgyné Dr., 5.592. fejezet: Dr. Horváth Kálmán.
Budapest Műszaki Egyetem: Évkönyvek 1952 – 2002.
Építőipari és Közlekedési Műszaki Egyetem (1964): A Mérnöki kar tantervei és programjai.
BME Építőmérnöki kar(1977): Tájékoztató a kar tanterveiről és tantárgyprogramjairól.
BME Építőmérnöki kar: Tantervek.

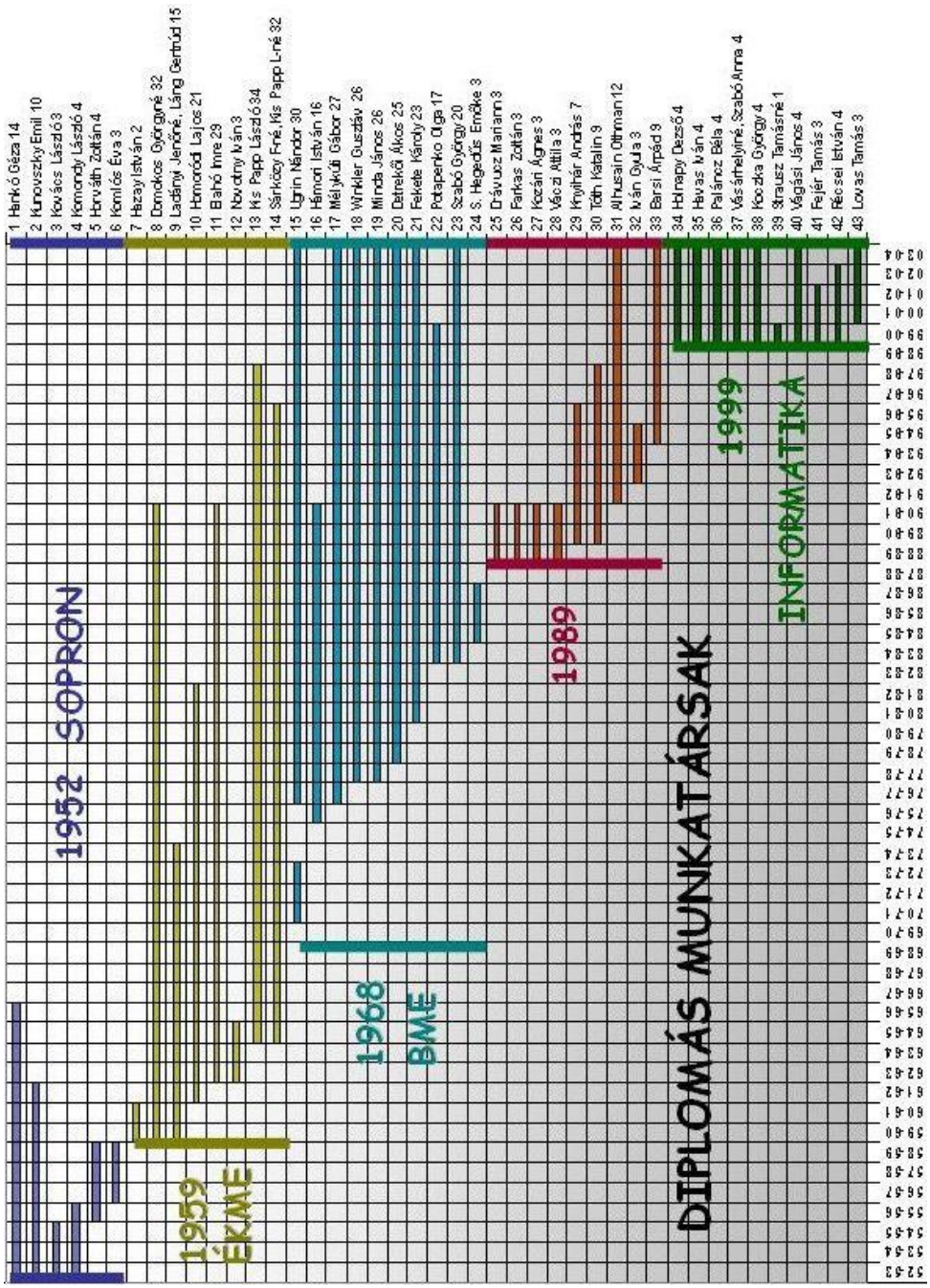
I. táblázat. A tanszék szervezeti kereteinek változásai.



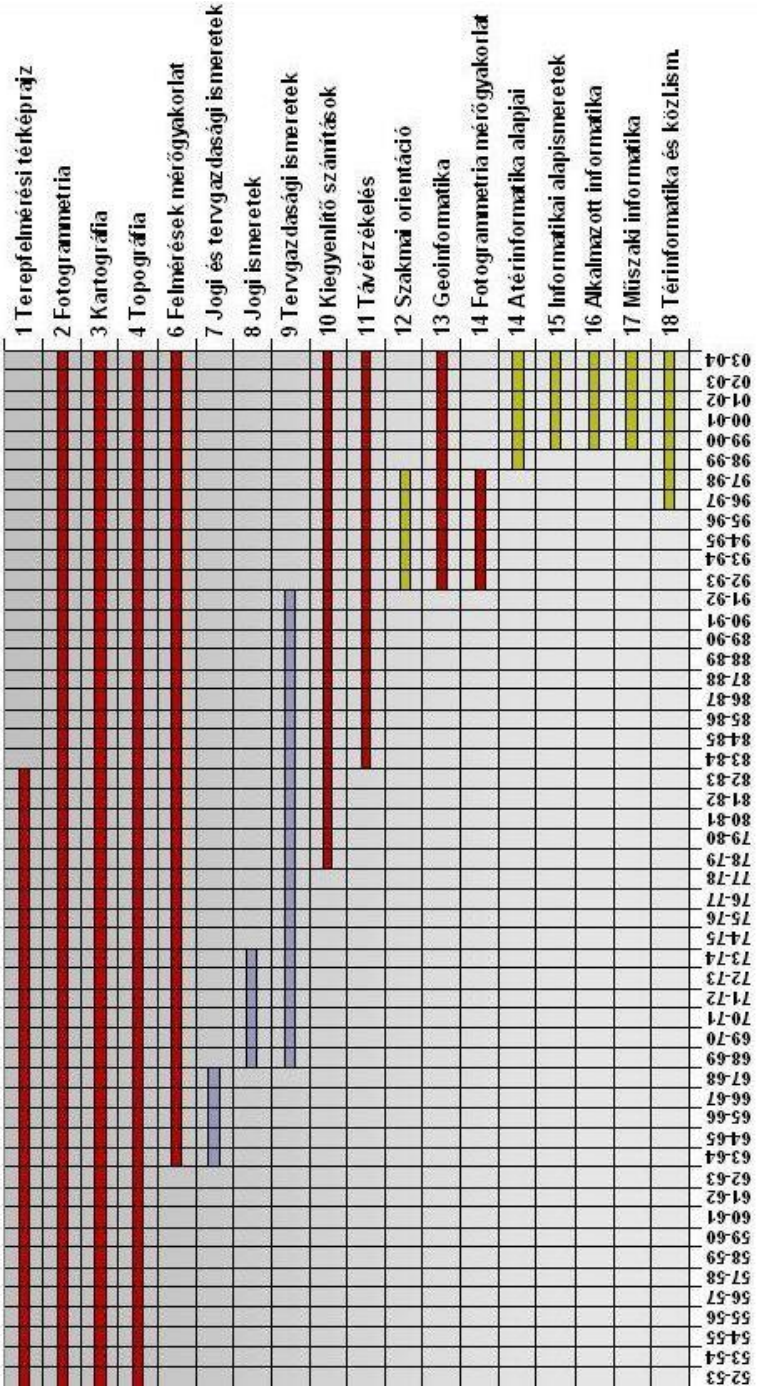
II. táblázat. A tanszék oktatói.



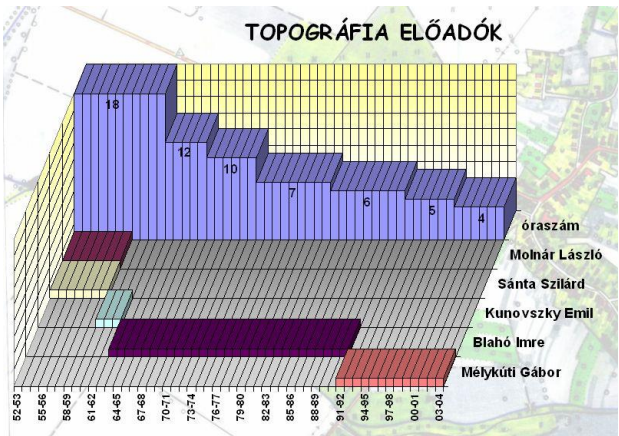
III. táblázat. A tanszék diplomás munkatársai.

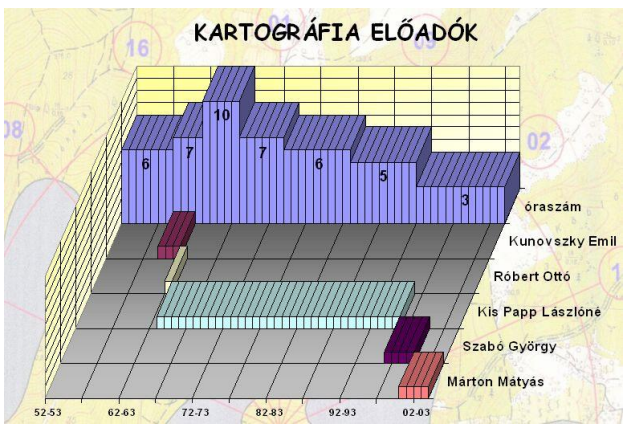


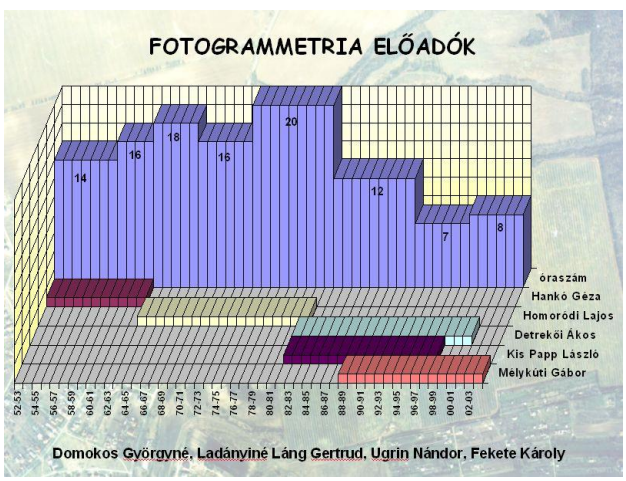
IV. táblázat. A tanszék által oktatott kötelező (törzs) tantárgyak.



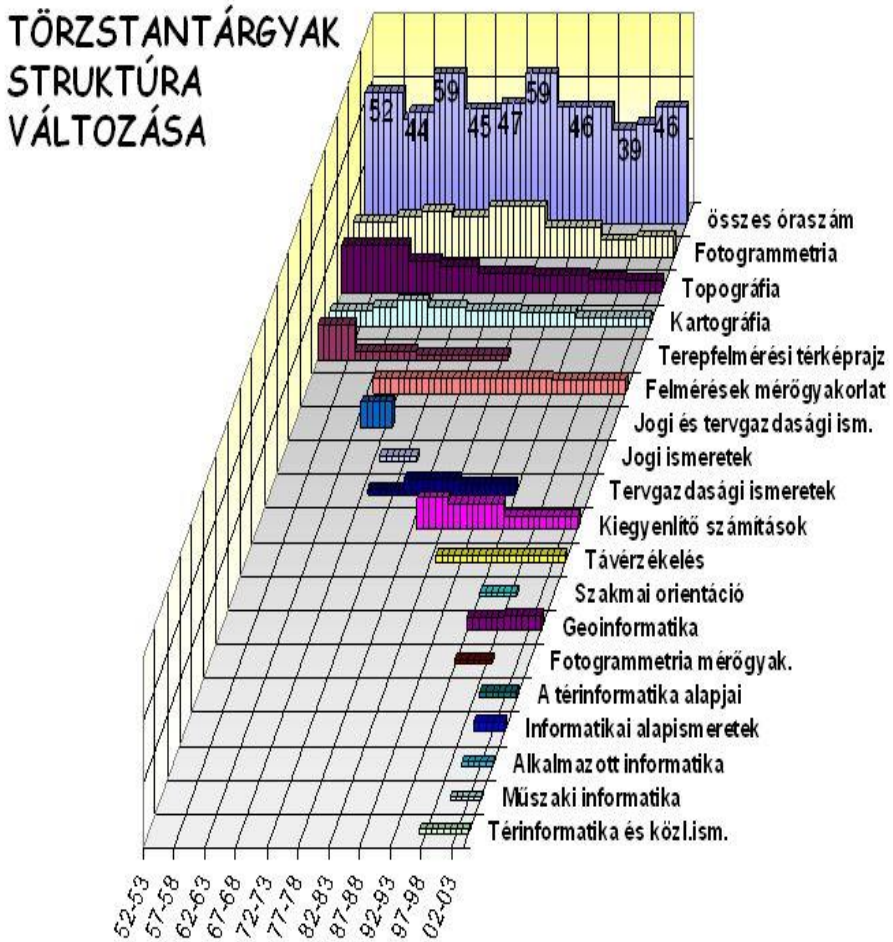
V. táblázat. A három legrégebben oktatott törzstárgy előadói.



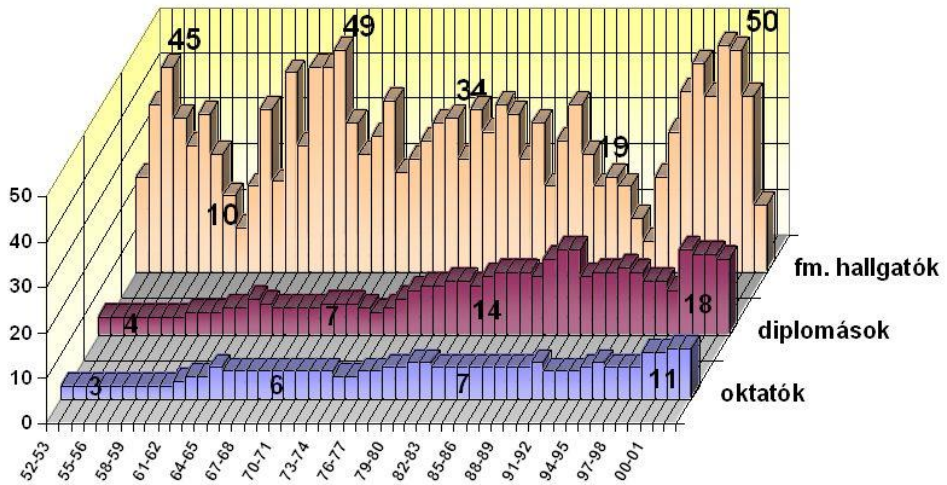




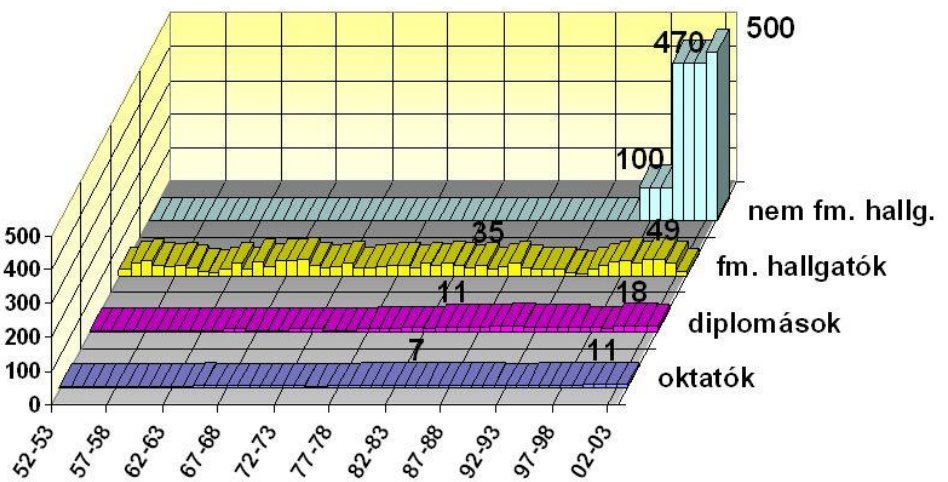
VI. táblázat. A törzstantárgyak szerkezetének változása.



VII. táblázat. A földmérő szakos hallgatói létszám változásai.



VIII. táblázat. Az földmérő és építőmérnök szakos hallgatói létszám változásai.



A KÁRPÁT-MEDENCE FÖLDTUDOMÁNYI TÉRKÉPEZÉSÉNEK KEZDETEI

*Klinghammer István**

The beginnings of geo-scientific mapping of the Carpathian Basin *- The maps are typical documents of the history of culture. They very well reflect the scientific knowledge, the technical level, the economic structure and political system of the age and the people.*

Although the first thematic maps were made quite a long time ago, the actual birth of thematic cartography is put to the 19th century. In the 19th century, the Hungarian state governed the territory of the Carpathian Basin, and the state and its organisations intensively started to prepare thematic maps to help the modern administration.

The scientific mapping of Hungary was started in the Reform Age (after the 1820s) and was actually completed between the Great Compromise (1867) and World War I. The cartographers made several map-works, which gave a comprehensive assessment of the Carpathian Basin.

It can be stated that the Hungarian mapping organisations carried out such a scientific mapping programme both in quantity and quality by the end of World War I (1920) that Hungary was surely in the European front line of this profession.

A térképek a kultúrtörténet jellemző dokumentumai. Nagyon jól tükrözik a kor és az emberek tudományos ismereteit, a technika szintjét, a gazdaság szerkezetét és a politikai rendszert. Noha az első tematikus térképeket már elég régen készítettek, a tematikus térképészet aktuális születését a 19. századra teszik. A 19. században a magyar állam kormányozta a Kárpát-medence térségét, az állam és annak szervei intenzív tematikus térképezéseket kezdtek a modern államigazgatás támogatása érdekében. Magyarország tudományos térképezése a reformkorban (az 1820-as évek után) kezdődött és a Kiegyezés valamint az I. Világháború között fejeződött be. A térképészek olyan térképműveket hoztak létre, amelyek a Kárpát-medence átfogó leírását adták. Megállapítható, hogy a magyar térképészeti szervezetek olyan minőségű és mennyiségű tudományos térképezési programot hajtottak végre az I. Világháború (1920) végéig, amelyben Magyarország a szakma európai élmezőnyéhez tartozott.

Kulcsszavak: tematikus térképezés: regionális leltár, geológiai térképek, vízrajzi térképek, geofizikai térképek

Bevezetés

A Kárpát-medence és környéke nemcsak mértani középhelyet foglal el Európa kontinensén, hanem földrajzilag is olyan egyéni, olyan különleges tájegyüttes, amely Európa tipikus érintkezési vonalában fekszik. Távol minden határos tengertől itt van a kontinenst felépítő három nagy szerkezeti táj találkozója: a kelet-európai ősi pajzs, a nyugat-európai idős hegységrendszerek maradványai és a fiatal lánchegységek itt fonódnak össze. A nyugat-európai óceáni, a kelet-európai száraz sztyepp és a déli mediterrán klíma határterületei itt ütköznek egymással. Mint ahogy a kontinensen megtelepedett három nagy nyelvcsalád is itt szomszédol a közbeszorult kisebbekkel.

*ELTE, Térképtudományi és Geoinformatikai Tanszék
1117, Budapest, Pázmány Péter sétány 1/A
E-mail: klinghammer@ludens.elte.hu

A geopolitikai szerep

Az újabb földrajzi és politikai irodalom erre a területre mégsem Közép-Európa elnevezést, hanem a Kelet-Közép Európa nevet használja. A Közép-Európa nevet a német irodalom a német nyelvterületnek adja, holott ennek jelentős része Európa nyugati és északi peremvidékein terül el, bár egy másik elég jelentős része belenyúlik a közép-európai térbe.

Ennek a – véleményem szerint – hibás elnevezésnek elsősorban történelmi okai vannak. A XVI. és XVII. században ugyanis Belső-Európa politikai határa az Ázsiából és Afrikából benyomuló oszmán birodalom terjeszkedésének következtében a Kárpát-medencére tolódott el, úgyhogy ez a terület és a környező részek is Európának politikailag a szélére kerültek.

A középkorban azonban politikailag is központi helyzetet foglalt el a Kárpát-medence és környéke az európai államterületek között, és az újabb fejlődés szemmel láthatóan visszaadja e területnek központi jellegét. Tizenegy évszázad távlatában a Kárpát-medence magyar állama jelenti a határait, területét legjobban tartó szolid, szilárd magot.[1] Körülötte máig változnak államok és a megmaradóknak is állandóan és jelentősen változnak területeik, vándorolnak határaik.

Ez a földrajzi és történelmi helyzet, amely ellentéte a szomszéd államokénak, nyomta rá bélyegét Magyarország belső fejlődésére is.

A Kárpát-medence térképészetének története azt bizonyítja, hogy az ismeretek nemzetközi áramlása mellett a térképezés nemzeti céljainak alapvető jelentősége volt abban, hogy a térkép a gazdaság és a tértudományok hatóerejévé válhasson.

A tematikus térkép: területi szakleltár

A térképek, mint a környezeti valóság specifikus modelljei, bizonyos térbeli szerkezeteket, területi eloszlásokat és kapcsolatok nagy hűséggel képeznek le, fontos szerepet töltenek be mind a gyakorlati tevékenységben, mind a tudományos megismerési folyamatokban.[2]

A térképek jellegzetes kultúrtörténeti dokumentumok, amelyek a lehető legszorosabban összefüggnek az egyes korszakok és népek tudományos ismereteivel, technikai színvonalával, gazdasági berendezkedésével és politikai szerkezetével.

Bár tematikus térképek nagyon régóta készülnek, a tematikus kartográfia megszületésének időszaka a XIX. század. A XIX. század Kárpát-medencéjét kitöltő magyar állam és szervezetei is nagy lendülettel fogtak hozzá a korszerű állam vezetéséhez nélkülözhetetlen tematikus térképezéshez.

A reformkortól kezdve, zömmel a kiegyezés és az első világháború között, elvégezték a történelmi Magyarország tudományos feltérképezését, elkészítették a Kárpát-medence értékelő térképműveit.

---

[1] A Kárpátok láncait huzamosabb időre a magyar királyság területe nem lépte át, bár befolyását néha messze azon túl is érvényesítette észak, kelet és dél felé.
Idegen hatalom csak egy ízben tartotta hosszabb ideig birtokában a Kárpát-medence egy részét. A török birodalom volt ez a XVI-XVII. században. A török visszaszorítása után Magyarország újra visszanyerte régi alakját.
1919-1920-ban teljesen szétdarabolták Európának ezt a legtartósabb államterületét.

[2] Szükség van rájuk a műszaki létesítmények tervezésénél és megvalósításánál, a természeti erőforrások feltárásánál, a környezetvédelemben, az államigazgatásban, a honvédelemnél, és még hosszan sorolhatnánk az egyéb felhasználási területeket.

Bátran állíthatjuk, hogy a magyar állam szervezetei Trianon előtt olyan méretű és minőségű tudományos térképezést végeztek a Kárpát-medencében, ami elérte és több területen túlhaladta az európai országok hasonló tevékenységét.

A földtani térképek

A XIX. század közepén Európában[3] és nálunk is megindult a rendszeres földtani térképezés.[4] Az 1849-ben alapított bécsi földtani intézet Magyarország szervezett földtani térképezését 1858-ban kezdte el, ezt a munkát 1869-től a Magyar Királyi Geológiai (ma Földtani) Intézet vette át.[5]

A magyar geológusok a XIX. század közepétől a század végéig, rendszeres munkával elkészítették a Kárpát-medence részletes földtani felvételezését.[6] A térképező geológusok népes csapatának legkiválóbbjai: Pettkó János, a selmecbányai akadémia tanára, Hantken Miksa és Böckh János, a földtani intézet igazgatói, és a budapesti egyetem két professzora, Szabó József és Koch Antal.

A sok felvételi részlettérkép révén ismertté vált a Kárpát-medence földtana, és mód nyílt a Kárpát-medence megfelelő részletességű földtani szintézisének elkészítésére.[7]

A Magyarhoni Geológiai Társlat és a Magyar Királyi Geológiai Intézet szakembereinek közreműködésével 1896-ban jelent meg Magyarország 1:1 milliós méretarányú geológiai térképe.[8]

Ezt a térképet, a magyar földtani térképezés egyik büszkeségét, Lóczy Lajos az 1900-as párizsi világkiállításra 1:360 ezres méretarányban újraszerkesztette. A kéziratos térképet a világkiállítás aranyérmével tüntették ki.[9] A földtani tudományok legfrissebb hajtásának, a tájgeológiának egyik úttörője volt Treitz Péter, aki 1901-ben „Magyarország talajainak beosztása klímazónák szerint" c. munkájával indította a Kárpát-medence talajtérképeinek sorozatát.

---

[3] Angliában az Ordnance Surveyről leváló Geological Survey 1839-ban alakult meg, és Európában elsőként szervezett térképezésbe.

[4] Bányaföldtani és lelőhelytérképek már korábban is, és meglehetős tudományossággal készültek.
A sóvár környéki bányákról 1740-ben Ferdinand Tringl, a magyar sóbányákról Kempelen Farkas „Mappa Regni Hungariae Salis Officina Designans" címmel 1760-ban készített térképet. Ferdinand Marsigli 1744-es Duna-térképe a vizaknai kősóbányákat is ábrázolja.
Magyarország első, ha nem is a mai értelemben vett földtani térképeit a lengyel szabadsághős államférfi és tudós Stanislav Staszič 1815-ben, a francia geológus François Sulpice Beudant 1822-ben, valamint Erdély földtani térképét Ami Boué 1834-ben készítették.

[5] Már jóval előbb, 1848-ban Videfalván lelkes szakemberek megalakították a mai Magyarhoni Földtani Társulatot (elődje a Magyarhoni Geológiai Társulat).

[6] Stegena Lajos 1998-ban összeállította az Országos Széchényi Könyvtár és az ELTE gyűjteményeiben található, 1850-1920 között készült fontosabb földtani résztérképek listáját. A korántsem teljes jegyzék ötven térképet sorol fel.

[7] Az 1881-ben Bolognában tartott II. Nemzetközi Geológiai Kongresszuson dolgozták ki a földtani térképek részben még ma is használatos szín- és jelkulcsát. A munkában Hantken Miksa és Szabó József jelentős szerepet játszott.

[8] Az első földtani „országtérképet" Ausztria-Magyarországról 1867-ben a bécsi földtani intézet igazgatója, Franz Hauer készítette 1:2 milliós méretarányban.

[9] Az ELTE gyűjteményében található térkép a történelmi Magyarország és Horvát-Szlavónia területén 26 üledékes, 7 tömeges kőzet és négyféle tufa előfordulását ábrázolja. A térképnek több kiadása és változata készült.

A vízrajzi térképek

A magyar vízügyi térképezés a Kárpát-medence tudományos térképezésének egyik legragyogóbb fejezete. Tematikus térképeink sorában éppen a vízrajziak azok, amelyek „legbőségesebben jöttek napvilágra a régebbi magyar térképírásban, és talán kéziratos térképeink között is éppen a vízrajziak a legszebbek."[10]

A térképezés a hidrográfia térképek készítésével kezdődött[11], a hidrológiai térképek a XX. századtól készültek.

A török hódoltság másfél évszázada után, a XVI-XVII. században elnéptelenedett, óriási mocsaras, vízjárta, árvízi területek borították az ország jelentős részét. A vadvizekkel borított országból kellett vízi mérnöki munkákkal, vízszabályozásokkal a Kárpát-medence mai képét létrehozni. Külföldi, elsősorban német és olasz mérnökök munkájával kezdődött a térképezés.

Az olasz származású császári tábornok és tudós, Luigi Fernando Marsigli vezetésével, nem sokkal Buda 1686-os visszafoglalása után megkezdték a Duna felmérését. A hatkötetes „Danubius pannonico-mysicus" c. munka első kötetében található Marsigli nagyszerű Duna-térképe, a 18 szelvényes, közel 1:100 ezres méretarányú „Carte des Donau Strohm v. Wien bis unter Widdin".[12] Marsigli munkatársának, a matematikus Johann Christoph Müllernek 1709-ben megjelent térképe először ad helyes képet a Duna folyásának irányáról.[13] Ezek a császári-katonai munkák jelentették a kezdetét a XVIII. század első harmadában megindult vízmérnöki térképezésnek és a lecsapolásoknak-szabályozásoknak, amelyek a XIX. század első harmadáig csaknem akkora termőföldet szereztek vissza, mint egész Hollandia. Hajózhatóvá tették a Dunát Dévénytől Orsováig, a Tiszát Vásárosnaménytől a torkolatáig, és megoldották minden nagyobb folyó árvízvédelmét a Kárpát-medencében.

A munkát kiválóan képzett mérnökök sora végezte. Az alapozásban Mikoviny Sámuelnek volt jelentős szerepe. A selmecbányai bányatisztképző iskola tanárának[14] földrajzi térképei mellett jelentősek vízügyi-lecsapolási térképei: Nagykanizsa környéke, Tata-

---

[10] Fodor Ferenc jeles térképtörténész értékelő szavai 1954-ből, „A magyar térképírás" c. műve 3. kötetének 419. oldaláról

[11] A Kárpát-medence első térképei már tartalmaznak tematikus vízrajzi elemeket. Lázár deák 1528-as kiadású térképe a részletes hidrográfia rajzolattal, 16 folyónévvel jelent meg.
Wolfgang Lazius 1556-os „Hungariae Descriptio"-jának" jelkulcsában érdekes vízrajzi elem a „Thermae – Wildbad – Wadfürdő" jele.
Hevenesi Gábor 1689-es „Parvus Atlas Hungariae"-jében háromféle vonallal különbözteti meg a kisebb-nagyobb folyókat, sok mocsarat ábrázol, és 119 víznevet sorol fel.

[12] Az 1726-ban kiadott mű 31. lapja a térkép.
E nagy művén kívül neki köszönhetjük a Kárpát-medence első 1:2,4 millió méretarányú átnézeti hidrográfiai térképét.
Marsigli Duna-művéhez tartozik egy folyómelléki földrajzi ismertetés is, a szigetek, mellékfolyók, valamint 200 helység leírásával.

[13] A térkép végre feloldja a Duna észak-nyugati, dél-keleti folyásirányát a medencében, ami csaknem két évszázadik kísértett Cusanus, Lázár, Lazius és mások térképein.

[14] Az altdorfi és jénai egyetemen tanult Mikoviny Sámuel működése mérföldkő a Kárpát-medence kartográfiájában. Úttörője a csillagászati helymeghatározásoknak, a háromszögelési munkák alkalmazásának, a földmérés akkor legjobb szintű oktatásának. A híres francia Enciklopédia, mely a felvilágosodás szimbólumává vált, a neves térképészek között említi nevét. 1730-1742 között több mint húsz megyetérképet szerkesztett Bél Mátyás megyei monográfiáihoz.

Dunaalmás-Szőny vidéke, a Duna térképe Pest és Solt között, az Ecsedi láp, a Vág folyó térképei.

Alapvető jelentőségűnek bizonyult a szakemberképzés kiszélesítése. A földmérőket 1763-tól Szencen képezték ki. Itt 1776-ig működött műszaki főiskola, amely leégése után Tatára, majd 1782-ben a budai egyetemre települt, és a bölcsészeti kar Institutum Geometricumjaként szolgálta a mérnökképzést.[15] Az Institutum Geometricumnak a kor szakemberképzésben betöltött helyét és rangját jelöli, hogy a híres párizsi École Politechnique-t, melyet a francia Konvent határozata alapított, csak az 1790-es évek derekán szervezték. Tehát az a 49 oklevél, amelyeket az Institutum a párizsi politechnikum előtt kiadott, a világ első mérnöki oklevelei.[16]

A 68 évig működő intézmény legjelesebb térképező tanítványai: Vedres István, „Szeged városának esküdt földmérője", a környék térképezője és vízszabályozója, aki már 1805-ben kidolgozta egy Duna–Tisza-csatorna tervét. Huszár Mátyás, aki a Körösök vidékén végzett hasonló munkát, majd 1822-től a Duna térképezését vezette. Beszédes József és Vásárhelyi Pál, akik Széchenyi István reformjainak legfőbb műszaki segítői voltak. Beszédes a Kapos és Sárvíz szabályozója, és több más csatornatársulatnál is dolgozott. Később a Magyar Tudományos Akadémia első mérnök tagja lett. Vásárhelyi Pál, Beszédeshez hasonlóan szintén az Akadémia tagja, előbb Huszár Mátyás mellett a Duna-mappáción dolgozott, majd 1829-től annak igazgatója, és 1832-től Széchenyi megbízásából az Al-Duna szabályozások vezetője. Dolgozott a Fertőn, a Száván és a Maroson is. Legjelentősebb munkája 1845-től a Tisza szabályozása volt.

A XIX-XX. század fordulójára megérett a helyzet, hogy a kiváló – több ezret kitevő, zömében kéziratban maradt – részmunkák felhasználásával nagy, összefoglaló vízügyi térképeket szerkesszenek.[17]

Mind a Tisza-völgy, mind a Duna-völgy összefoglaló térképének szerkesztési munkálatait nagyszerű vízimérnökeink méltó utódja, Vályi Béla végezte el. Mindkét térképmű 1:125 ezres méretarányban készült, az összes vízrajzi, hajózási, folyamszabályozási, ármentesítési, magassági és vízmérce adatokkal.[18] E két térképpel vízimérnökeink méltó koronát tettek vízrajzi kartográfiánkra. (Mindkét térképet jutalmazták a párizsi világkiállításon.)

---

[15] II. József királyi leirata 1782. január 18-án így határozza meg az intézmény célját: olyan mérnökök képzése, akik folyókat szabályoznak, csatornákat, gátakat, malmokat építenek, mocsarakat csapolnak le, utakat, hidakat terveznek, épületeket emelnek, felmérnek, térképeznek.

[16] Egy 1850. október 15-i rendelet az Institutumot megszüntette és beolvasztotta az 1846. november 1-jén megnyílt József Ipartanodába, a Műegyetem elődjébe. Az Institutum fennállása alatt 1275 mérnöki diplomát adott ki. Az itt végzett szakemberek irányításával alakult ki a kiegyezés korának rendezett, iparosodó, többé-kevésbé modern Magyarországa.

[17] A századfordulóig nagyjából befejeződött folyóvizeink térképezése, és csak a részletesebb felmérések voltak még hátra. A Tiszán például az 1830-40 között végzett első felmérése után 1890-92, majd 1929-31 között voltak újabb mérések.

[18] A „Tisza-völgy" c. óriási térkép 1896-ban jelent meg. Valóságos enciklopédiája mindazoknak a munkálatoknak, amelyek a legmagyarabb folyón végbementek. 1902-ben 1:400 ezresre kicsinyített változata is megjelent „A Tiszavölgy vízszabályozási átnézeti térképe" címen.

A „Duna-völgy átnézetes térképe" 24 szelvényen jelent meg, mérete 360x270 cm. A térkép felöleli a Duna csaknem teljes magyarországi vízgyűjtő területét; az osztrák Tullntól a Vaskapu alatti Cladovoig mutatja be a Dunát.

Az 1900-ban megjelent térképet 1903-ban, szintén 1:400 ezresre kicsinyítve „A Duna-völgy vízszabályozási átnézeti térképe" címen újra kiadták.

A Kárpát-medencében a vízzel folyamatosan – a nagy szabályozások után is – meg kell küzdeni.[19] Elődeink a vízszabályozás mellett a belvízi hajózás céljaira számos nagyobb csatornát is terveztek és építettek. A nevezetesebbek: a Ferenc- és a Ferenc József-csatorna Bácskában, és a Sió a Dunántúlon. Több, reális vagy kevéssé reális csatornaterv nem valósult meg. Így a Tiszát a Dunával összekapcsoló csatorna - Vedres István szép terve, vagy Nagy Sándor gondolata 1843-44-ből, az Eszék-Bród-i (vagy Dráva-Száva) „hajókázható csatornáról".

Vízügyi térképeinkhez később a vízvezetékek, csatornázások, artézi és fúrt kutak térképei csatlakoztak.[20] Ez nagy jelentőségű kérdés volt a sík területek lakosságának jó ivóvízzel történő ellátása szempontjából.[21]

A XX. század fordulóján megjelennek a hidrológiai és hozzá csatlakozva a meteorológia tudományos térképei. Térképek készülnek Magyarország vízierőiről és a vízmérce-állásokról, a vízgyűjtő területekről, a víz- és csapadékmérő állomásokról.[22]

A geofizikai térképek

Edmund Halley 1702-es deklinációs világtérképének magyar vonatkozású, valószínűleg Marsigli nevéhez kötődő érdekessége, hogy a szárazföldi területen áthaladó egyetlen vonal a Kárpát-medence területén, a Duna vonalával párhuzamosan látható.[23]

Rendszeres deklinációmérések a Kárpát-medencében, Európa más részeihez hasonlóan, a XIX. század utolsó évtizedeiben kezdődtek: 1870-től működött a Buda-pesti Meteorológiai és Földdelejességi Intézetben földmágneses obszervatórium. A gyorsan fejlődő nagyváros közelsége zavarta az észleléseket, ezért Konkoly-Thege Miklós Ógyallán (ma Hurbanovo, Szlovákia) hozott létre – ma is működő – obszervatóriumot. Az ország mágneses felmérése 1890-ben erre támaszkodott.

Eötvös Loránd vizsgálatai a gravitációs tér finom szerkezetére vonatkozólag nemcsak a Kárpát-medencére, hanem az egész világra kiterjedő, nagyméretű tudományos térképezési munkálatot alapoztak meg.[24] Elméleti vizsgálatai alapján egy műszert dolgozott ki, a torziós ingát, amelynek segítségével meg lehet mérni a tömegvonzási gyorsulás földfelszíni,

[19] Az 1919-i békeelőkészítési munkálatok kapcsán jelent meg 1:1,5 milliós méretarányban „Az új határokkal átvágott ármentesítő és lecsapoló társulatok területének térképe". Ez 140 vízmentesítési-vízhasználati társulás térképezési munkálatokon alapuló működését regisztrálta.

[20] Zsigmondy Vilmos neves fúrómérnökünk az 1860-as években meghatározó munkát végzett.

[21] A Magyar Királyi Országos Vízépítési Igazgatóság 1901-ben 1:1,8 milliós méretarányú átnézeti térképet adott ki. „Vízvezeték, csatornázás, ártézi-fúrt kutak" címmel.
Szontágh Tamás 1908-as azonos tárgykörű térképe 1:900 ezres méretarányban, nagyobb részletességgel jelent meg.

[22] Magyarország vízierői. 1903. c. térkép
Gabrovitz Camillo: A Magyar Állam vízmérce és csapadékmérő állomásai, vízgyűjtő területei. 1900.

[23] A méréseket Buda-Baja-Eszék és Eger-Szolnok-Szeged-Titel mellett, az akkor éppen ott térképező Marsigli végezhette 1690-ben, aki eredményeiről tudósította a Royal Societyt.
Az első földmágneses mérések Magyarországon azonban jóval korábban történtek: Hans Dorn 1467 körül Budán mért földmágneses deklinációt.

[24] Eötvös, L.: Untersuchangen über Gravitation und Erdmagnetismus.
Ann. d. Phys. u. Chemie, Neue Folge, 59. 354-400 o. 1896.

igen kis változásait.[25] Felismerte, hogy e változásokat, – a földfelszíni topográfia eltéréseiből adódó, korrekcióba vehető változások mellett – a föld alatti tömegek változó sűrűsége hozza létre. Ezáltal Eötvös műszere alkalmas a föld alatti földtani szerkezetek feltérképezésére.[26]

Böckh Hugó kiváló geológustól származik az a gondolat, hogy Eötvös ingája alkalmas lehet föld alatti kőolajtelepek felkutatására, mivel ezek gyakran antiklinális szerkezetekhez kapcsolódnak. Az első ilyen mérések 1916-ban, Egbell környékén (Gbely, a mai Szlovákia) történtek. E mérések alapján eredményes olajfúrásokat végeztek, és Eötvös ingája elindult világhódító útjára.[27]

A földrengés kutatásnak két olyan – globális jelentőségű – magyar eredménye van, ami lényegesen hozzájárult (és hozzájárul) a földrengések térképezéséhez. Az egyik: Kitaibel Pál és Tomtsányi Ádám, a pesti egyetem professzorai, szerkesztették az első izoszeiszta-térképet az 1810. január 14-én Mór mellett (Fejér megye) kipattant rengésről. Ez a térkép az előfutára annak a sok ezer izoszeiszta-térképnek, amelyet az elmúlt csaknem két évszázad alatt szerte a világon szerkesztettek.

A másik tudományos eredmény Kövesligethy Radó nevéhez fűződik, aki szintén a budapesti egyetem professzora volt, és a nemzetközi földrengéskutató társaság első főtitkára. Kövesligethy megadta a földrengéshullámok terjedésére a máig érvényes, helyes megoldást: a Newton által fényhullámokra levezetett törési törvény a földrengési hullámokra is érvényes. A koncentrikus, homogén gömbi övekből felépített Földben az övek sűrűsége a mélységgel növekszik. Így a törésmutató is növekszik a mélységgel, és a földbe behatoló földrengéshullámok pályája kúpszelet formájú, azok visszatérnek a felszínre.[28] Kövesligethy elveivel szeizmográf-észlelések alapján meg lehet határozni a rengésfészkek földrajzi koordinátáit. Az első ilyen telemetrikus epicentrum meghatározásokat 1906-ban publikálta távoli, cerami földrengésekről.[29] Azóta Kövesligethy módszerével sok ezer földrengés epicentrumát térképezték fel.

A Kárpát-medence területén 455-1918 között kipattant földrengéseket Réthly Antal gyűjtötte össze1952-ben. A rengések epicentrumait ábrázoló térképe mai napig is, a medence szeizmológiai kutatásának, – például az atomerőművek biztonsága céljából – egyik fontos alapja.

Összefoglalva elmondható, hogy a magyar geofizika nemcsak kiváló térképeket készített, hanem kidolgozott módszereivel és műszereivel irányt adott a Föld gravitációs terének és földrengéseinek a felmérésére.

---

[25] Műszerével 1890-től végzett kísérleti méréseket Budapesten és a Balatonnál. 1902-1904 között a mai Jugoszlávia északi részén, 1903-1906 között Arad környékén mért a Fruska Gora hegység, illetve a Bihar hegység föld alatti szerkezetének vizsgálatára, elméletének kísérleti igazolására.
Eötvös, R.: Bestimmunk der Gradienten der Schwerkraft und ihrer Niveauflächen mit Hilfe der Drehwaage.
Verhandl. d. XV. allg. Konferenz der Internat. Erdmessung in Budapest, I., 337-395 o., 1906.

[26] 1912-1913-ban méréseket végeztetett Erdélyben, elsősorban a föld alatti sótömzsök kimutatására.

[27] Kiválóak Eötvös földmágneses mérései és térképei is. 1919-ig a Kárpát-medencében 1600 ponton végeztek abszolút jellegű és 3600 állomáson relatív földmágneses észleléseket, elsősorban Erdélyben.

[28] Teóriája előtt azt gondolták, hogy a földrengési hullámok egyenes vonal mentén terjednek a földrengés fészkétől a szeizmográfig, vagy pedig a Föld felszíne mentén. Ezek Milne angol és Nagaoka japán szeizmológusok nézetei voltak.

[29] Kövesligethy, R.: Determinatio elementorum seismicorum exemplo prima terrae motus Ceramensis phaseos exhibita.
Abrégé du Bulletin de la Societé Hongroise de Geographie, XXXII., 25-31 o. 1906.

DIGITÁLIS SZINTVONALAK

*Mélykúti Gábor**

Digital contours *– The contour lines of the topographic maps have importance also in the design of digital topographic and cartographic models. Their location and role has been changed depending on the digital storage technique and the different type of visualisation and application modes. These changes require to revise and redefine some basic terms.*

A topográfiai térképek szintvonalai a digitális topográfiai és kartográfiai modellek kialakítása során is jelentőséggel bírnak. Helyük és szerepük azonban a digitális tárolási technika és a különböző típusú megjelenítési és felhasználási módoktól függően változik. E változások néhány alapfogalom újra gondolását és újra fogalmazását igénylik.

Kulcsszavak: szintvonal, digitális topográfiai modell, digitális kartográfiai modell

Bevezetés

A terep domborzati viszonyainak ábrázolására a szintvonalas ábrázolási mód a XX. században egyeduralkodóvá vált a topográfiai térképeken. A szintvonalas domborzatábrázolás geometriai elvekre épül, segítségével meg lehet határozni a terep domborzati viszonyainak egy választott alapszintfelülethez viszonyított abszolút magasságát, valamint az egyes terepi objektumok relatív magasság különbségét, valamint a terep lejtősségét, a lejtők irányát és meredekségét.

Szemlélteti a lejtősség mértékét, hiszen ahol nagyobb a lejtőszög, ott a szintvonalak sűrűbben, ahol kisebb a lejtőszög, ott távolabb haladnak egymástól. Szemlélteti továbbá a domborzat jellemző alakulatait, a vízválasztó és vízgyűjtő idomokat, hiszen a szintvonalak legnagyobb görbületi pontjait összekötő képzeletbeli vonalak – az ún. idomvonalak – ezeket képzeletben kirajzolják. Hiányossága azonban, hogy nem mutatja meg szemléletesen – csak geometriailag tartalmazza – a pozitív és negatív domborzati formákat. Ezen különböző kiegészítő ábrázolási formákkal lehet segíteni (árnyékolás, színfokozatos ábrázolás, stb.). Tehát ezeket az információkat indirekt módon tartalmazza a szintvonalas rajz, értő olvasó kell ezek értelmezéséhez. *(Blahó 1965)*

Kérdés, mi történik akkor, ha a szintvonalakat digitális formában tároljuk, hozzáférhetünk-e ezekhez az információkhoz, szükséges-e egyáltalán a szintvonalakat digitális formában tárolni, és ha tároljuk, milyen további problémákkal találjuk magunkat szembe? Ezekre a kérdésekre keressük a választ a következőkben.

A topográfiai térképek sajátosságai

A topográfiai térképek a földfelszín egy meghatározott részét kicsinyítve, felülnézetben ábrázolják. A kicsinyítés mértékét a méretarány mutatja. A méretarány azt fejezi ki, hogy a földfelszínnek egy előre meghatározott vetületi síkon, a vetítés törvényszerűségeinek figyelembe vétele mellett létrejött képét milyen mértékű kicsinyítéssel ábrázoljuk a térkép síkján.

A térképi ábrázolás során kiemeljük a lényeges, fontosnak ítélt terepfelszíni elemeket és eltekintünk a kevésbé fontosnak, lényegtelennek ítélt részletektől. A kicsinyítés és a kiemelés több olyan következménnyel jár, melyet mind a térkép készítése mind a használata során figyelembe kell vennünk. Ezek:

**BME Fotogrammetria és Térinformatika Tanszék*
1011 budapest, műegyetem rkp. 3.
E-mail: gmelykuti@eik.bme.hu

- a méreten felüli ábrázolás,
- egyes tereptárgyak elmozdítása a térképi ábrázolás során,
- a tereptárgyak kontúrjának egyszerűsítése, összevonása.

A méreten felüli ábrázolás két okra vezethető vissza. Az egyik az, hogy van olyan tereptárgy, mely a méretarány szerinti kicsinyítéssel kirajzolva, olvashatatlanul kis méretű lenne és ezzel a jelentése nem kerülne kifejezésre. A másik ok az, hogy az egyes tereptárgyak jelentősége között is van különbség, és ennek a különbségnek a hangsúlyozását rajzban szintén a méret növelésével tudjuk a legkönnyebben megtenni.

A méreten felüli ábrázolás azzal a következménnyel jár, hogy az alaprajzi méreténél nagyobb méretben ábrázolt tereptárggyal szomszédos tereptárgyak nem ábrázolhatók az alaprajzi helyükön, mert akkor az egyes rajzi elemek egymáshoz érnének, vagy fednék egymást. Ezért valamelyik elemet el kell mozdítani az eredeti helyéről.

A kicsinyítésnek a következménye az is, hogy az összetettebb kontúrvonallal rendelkező tereptárgyakat, vagy tereptárgyaknak egy csoportját összevontan, egyszerűsítve ábrázolunk. Az eredeti összetettségükben, bonyolultságukban ezek a tereptárgyak az adott méretarányban, az eredeti formájukban nem lennének ábrázolhatók. Ez a folyamat a kartográfiában használatos generalizálásnak tulajdonképpen az első lépése. Amíg a kartográfiai generalizálás során két különböző térkép méretarány közötti váltás miatt kell az összevonásokat és egyszerűsítéseket elvégezni, addig a topográfiai felmérésnél és ábrázolásnál az eredeti terep és a felmérési méretarány adta lehetőségek között kell ezeket az ellentmondásokat feloldani. Ezt a terepfelmérő, vagy a fotogrammetriai terméket (fototérképet, sztereo mérési lapot) minősítő topográfus hajtja végre szaktudása, terepi és térképezési tapasztalata felhasználásával.

A grafikus térképek olvashatóságát biztosítja még az ún. rajztérköz is, mely szerint két rajzi vonal nem kerülhet közelebb egymáshoz, mint az ábrázoláskor alkalmazott legkisebb vonalvastagság kétszerese. Ez a gyakorlatban a 0.1 mm legkisebb vonalvastagságot feltételezve, 0.2 mm-t jelent. A rajztérköz betartása természetesen az egyes térképi jelek további elmozdítását eredményezi. *(Blahó 1965)*

A jelkulcsos ábrázolás törvényszerűségei és szabályai, melyek az egyes tereptárgyak helyzetének a megváltoztatását jelentik a természetbeni állapotukhoz képest és ezzel a térkép geometriai pontosságát csökkentik, egyúttal a térképek olvashatóságát és használatát segítik. Ezt az ellentmondást minden grafikus termék esetében figyelembe és egyúttal tudomásul kell venni. Különösen gondolni kell erre az ellentmondásra, ha a grafikus térképet majd használni szeretnénk, és arról geometriai adatokat, méreteket szeretnénk levenni, vagy koordinátákat kívánunk meghatározni (pl. digitalizálás). Végeredményben tehát a terepi objektumokat ábrázoló rajzi jelek jelentős része nem az objektum természetben elfoglalt helyének megfelelően kerülnek a térképre. Digitális tárolásnál ez azt jelenti, hogy a rajzi jel beszúrási pontjának koordinátája különbözik az objektum terepen mért koordinátájától.

Amíg az analóg térképek az adatok megjelenítésével egyben az adatok tárolását is biztosították, addig a digitális térképeken az adattároló és az adatmegjelenítő funkció szétválik egymástól. Digitális térképek esetén a (geometriai, topológiai, tematikus) adatok tárolása független a grafikus megjelenítéstől. Az esetenkénti és különböző szempontok szerint történő megjelenítésekhez mindig meg kell határozni egy grafikus leíró adatrendszert, amelyen keresztül a numerikus adatok az adott megjelenítő eszközön, a kívánt méretarányban és tematika szerint leképződnek. *(Mélykúti, 1993)*

A topográfiai térképeket tartalom szempontjából három fő csoportba sorolhatjuk: a síkrajz, a domborzat és a névrajz. A térképi megjelenítés mindig kétdimenziós (2D), a síkrajzi adatok xy koordinátával rendelkeznek. A domborzat ábrázolás is a szintvonalak xy síkra vetített képével történik. E két különböző tartalmú vetületi kép együttese alkotja a topográfiai térkép geometriai tartalmát. Ezt a fajta ábrázolást nevezzük 2+1 dimenziós ábrázolásnak,

hiszen a harmadik dimenzió a magasság is csak vízszintes vetületi képben, függetlenül a síkrajzi tartalomtól jelenik meg. Közös a két rendszer között az azonos xy koordináta rendszer, ez biztosítja a koincidenciát a két adatrendszer között.

Kétszintű adatbázis modell

A terep felszínének digitális modellezésekor e kettősség feloldására kétszintű adatbázis modellt alakítottak ki *(Borchert R., Mahr H. 1994),* melyben az első szintet a terepi objektumok olyan modellje alkotja, melyben az objektumok helyzeti információi (a geometriája és topológiája) a valóságnak megfelelő adatokat tartalmazza, ezt nevezik topográfiai modellnek, a második szintet pedig egy adott méretaránynak és tematikának megfelelő megjelenítés érdekében levezetett, a jelkulcsos ábrázolás szabályait is figyelembe vevő adatmodell képezi. Ezt kartográfiai modellnek nevezik. A két modellben azonosak az objektumok, az objektum kódok és attribútum adatok, a topológia, de a szükséges mértékben különböznek az objektumok geometriai adatai az olvasható, jól használható térképi megjelenítés miatt.

E két szintű adatmodell mindkét eleme megőrizte a topográfia térképek dimenzióját, azaz a 2+1 dimenziót. A síkrajzi objektumok csak xy koordinátával rendelkeznek, és a magassági adatok, egy fedvényhez hasonlóan, a közös koordináta rendszer segítségével kapcsolódnak hozzá.

Szintvonalas magasságábrázolás sajátosságai

A szintvonal a domborzat jó minőségű vizuális megjelenítésére szolgál. Szintvonalat az érintetlen, természetes terepfelszín azon részén alkalmazunk, ahol a terep lejtése kisebb mint 45 fok. Ahol ez a feltétel nem teljesül, (pl. kőbánya vagy egyéb külszíni fejtés, feltúrt helyek, horpadás, karsztlyuk (töbör), vízmosás és horhos, suvadás, homok-, föld-, kavics- és kőomladék, sziklafal, sziklák, halom, domb, gödör, rézsű, szakadó part, partvédőmű, stb.) ott a térképen a jelkulcsos ábrázolást hívjuk segítségül. Hiszen ezek a felszíni sérülések, jelenségek alaprajzban nem mindig fejezhetők ki egyértelműen, de mindig helyhez kötöttek.

A jelkulcsos ábrázolás azonban alapvetően a síkrajz jellemzője, és egyik legfontosabb tulajdonsága, hogy méretarány függő.

A magassági adatok digitális formában történő tárolásakor – történjen az akár szintvonalak segítségével - azonban nem elsősorban a térképi megjelenés, hanem a terep domborzatának minél hitelesebb rögzítése a cél. A tárolt szintvonalak azonban különböző méretarányú térképeken is megjelenhetnek, a méretarány függvényében pedig különböző mértékű generalizálást, kifedéseket kell alkalmazni, hiszen változik a síkrajzi elemekhez való viszonyuk is.

A szintvonalaknak és a domborzati formákat kifejező síkrajzi jeleknek a kapcsolata tehát szintén kettős természetű. A terepen, a valóságban meglévő "eredeti" kapcsolatuk addig tart, amíg nem próbáljuk meg őket egy adott méretarányban – legyen ez akár a felmérési méretarány – rögzíteni.

Magassági adatok előállítása

A magyar földmérés és térképészet jelentős eseménye volt, hogy 1999-ben elkészült az 1:10000 méretarányú állami topográfiai térképek felújítása az Egységes Országos Térképrendszerben. Ezzel a polgári topográfiai térképezés második ciklusa zárult le. Ez a második ciklus egy felújítási ciklus volt, mely 1976-ban kezdődött, és az utolsó munkaterület topográfiai munkáinak befejezése 1999-ben ért véget. A felújítási ciklus negyed százada kezdődött, így érthető, hogy a szakma figyelme már egy idő óta egy újabb ciklus tervezésére irányul.

Ennek tervezésekor azonban figyelembe kell venni, hogy a térképkészítési technológia alapvetően megváltozott. Ez vonatkozik mind az elsődleges adatnyerésre, a terepi adatok gyűjtésére, mind az adatfeldolgozásra, a térképek szerkesztésére, készítésére.

Az új technológia alapvető jellemzője a digitális technikák alkalmazása. A topográfiai térképezés területén ez elsősorban azt jelenti, hogy az adatgyűjtés során a terep digitális változata, egy digitális modell áll elő, és ebből lehet levezetni a különböző méretarányú topográfiai térképeket szintén digitális formában.

A digitális modell előállításának a terepi adatgyűjtés mellett egy gazdaságosabb módja az ún. másodlagos adatnyerés, amikor a már meglévő analóg térképek tartalmát alakítjuk át digitális formára. Ennek alkalmazásakor azonban megfontolandó, hogy az analóg térképek digitális átalakításának módszerei közül melyiket választjuk, és hogy a digitális átalakítás során milyen mértékben tudunk eleget tenni a digitális topográfiai modellel szemben támasztott követelményeknek? *(Detrekői, Szabó 2002)*

Csak a szintvonalak digitális formában történő előállítását szem előtt tartva három megoldás kínálkozik:

- új felmérés térfotogrammetriai kiértékeléssel,
- a meglévő 1:10000 topográfiai térképek szintvonalainak digitális átalakítása,
- meglévő digitális domborzatmodellből (DDM) automatikus szintvonal előállítás.

Szintvonalak modellezése

A terep magassági viszonyait az abszolút magassági adatok segítségével többféleképpen lehet leírni. Az egyes módszerek kiegészítik egymást, egyik a másikat teljes mértékben nem tudja helyettesíteni. A digitális topográfiai modellhez kapcsolódóan három különböző típusú magassági adatrendszerről beszélhetünk:

- **DDM**: Digitális Domborzat Modell, mely a terep (a talaj) fizikai felszínét határozza meg.
- **DFM**: Digitális Felszín Modell, mely a terep és tereptárgyak felülről látható felszínét határozza meg, tehát figyelembe veszi a felszínborítottsági adatokat is.
- **DSZM**: Digitális Szintvonal Modell, mely a terep fizikai felszínét szintvonalak segítségével írja le.

A DSZM, a szintvonal fogalmából adódóan is, szoros fizikai kapcsolatban van a tereppel, a szintvonalak a terep metszetvonalai. Igaz, közvetlenül nem láthatóak, de térfotogrammetriai módszerrel közvetlenül kiértékelhetők, meghatározhatók. A terep térmodelljén a kiértékelő műszer mérőjele végigvezethető egy adott szintvonal mentén, és pontjainak helyzete tetszőleges sűrűséggel rögzíthető.

Tekintettel azonban arra, hogy a terep domborzatának leírásához olyan alakzatokra is szükség van, melyeknek nemcsak magassági, hanem síkrajzi vonatkozása is van (pl. rézsű, horhos, stb.), a szintvonalak és ezen alakzatok között szoros, logikailag egyértelmű (topológiai) kapcsolatot kell kialakítani. Ezért a szintvonalak nemcsak mint egy fedvény „kapcsolódnak" a digitális topográfiai modellhez, hanem annak szerves részét is képezik, hiszen a szintvonalak is a terepen beazonosítható „síkrajzi" tulajdonsággal rendelkező és más síkrajzi elemekkel szoros kapcsolatban álló vonalak. Tehát a terep szintvonalait a síkrajzi objektumokkal egy kategóriába sorolhatjuk a topográfiai modell kialakítása során, hiszen csak egy konzisztens adatrendszeren belül biztosíthatjuk e különböző jellegű objektumok között a valóságban is meglévő egyértelmű topológiai kapcsolatokat. A szintvonalak ilyen értelmezése után már nem mondhatjuk azt, hogy a szintvonalak csupán a domborzati viszonyok ábrá-

zolásának az eszközei, hanem kijelenthetjük, hogy a szintvonalak a topográfiai modell részei, és ugyanúgy, mint a síkrajzi objektumok, önálló - a térképi megjelenítéstől független - geometriával rendelkeznek. Ez a geometria képezi a különböző méretarányú és tematikájú megjelenítések alapját. Ehhez kapcsolódhatnak különböző vonalvastagságok, színek, ezt lehet simítani, szűrni, generalizálni az igényeknek megfelelően.

Láthattuk, hogy a szintvonalaknak a topográfiai modellezés elvének megfelelő geometriája térfotogrammetriai módszerrel előállítható. Tudjuk, hogy a jelenleg forgalomban lévő 1:10000 méretarányú EOTR topográfiai térképeink szintvonalrajza döntő mértékben ezzel a módszerrel készült, kérdés, hogy akkor az ezekről a térképekről digitalizált szintvonalak kielégítik-e a topográfiai modellezés fent ismertetett elveit? Azt kell mondanunk, hogy nem, mert már a kiértékelés grafikus formában 1:10000 méretarányban készült és ez eleve fizikai korlátokat állít az elvileg helyes geometriai modell kialakításának. Numerikus (digitális) kiértékelés esetén, amikor a szintvonalak és az egyéb objektumok geometriájának rögzítése közvetlenül számítógépben történik, akkor lehetséges a topográfiai modell geometriájának közvetlen előállítása. A nyers kiértékelés szerkesztése, jelkulccsal való ellátása, a tisztázati rajz előállítása során ez a valóságnak megfelelő geometria a korábban említett rajzi korlátok miatt törvényszerűen elveszik. A kinyomtatott térképről, vagy annak kivonatairól levett szintvonalak és magassági információk már „csak" a térkép méretarányának megfelelő kartográfiai modell geometriai modelljének előállítására alkalmasak. Ebből a kartográfiai modellből a topográfiai modell geometriája nem állítható elő, hiszen utólag már nem lehet megállapítani, hogy a rajzi megjelenítés szabályai miatt hol kellett az eredeti geometriát megváltoztatni.

Nagy méretarány (topográfiai értelemben ez 1:10000 vagy 1:25000 is lehet) és érintetlen terepfelszín esetén gyakorlatilag e két modell geometria azonosnak tekinthető. Eltérés a domborzatot kifejező síkrajzi elemek és a szintvonalak csatlakozásainál lép fel. Pl. egy sziklás talajba vágott rézsű jele a térképen nagyobb helyet foglal el, mint a rézsű vízszintes vetülete, de fordított helyzet is adódik, pl. egy tiszai árvédelmi töltés rézsűjének jelét nem rajzoljuk olyan nagyra, mint annak az alaprajzi képe lenne. A különbséget mindkét esetben a szintvonalak rajza hidalja át, hiszen azt a rajzban is ki kell fejezni, hogy a terep felszíne a rézsű széléig tart.

Adatminőség – esztétika – gazdaságosság

A térképi tartalom függvényében megfontolandó, mely információk digitális átalakítása jelenthet hasznot, illetve előnyt pl. egy új felméréssel szemben. Geometriai értelemben két fő csoportra oszthatjuk a térképi tartalmat, a síkrajzra és a domborzatra. Az aktualitás, a változás mértéke szempontjából lényeges különbség van e két különböző típusú információ között. Amíg a síkrajz - akár a természetes, pl. növényzethatárok, vagy a mesterséges, pl. épületek, utak, stb. - változása az idők folyamán igen jelentős mértékű lehet, addig a domborzat változása az ország egész területére kivetítve jelentéktelen mértékű.

A magassági adatok esetében különösen figyelemre méltó lehet a további hasznosítás lehetősége, hiszen a gazdaságos síkrajzi adatgyűjtés alapjának, az ortofotónak az előállításához szükséges a terep domborzatának digitális formában történő ismerete, és a terep domborzati viszonyainak újfelméréssel történő előállítása igen hosszadalmas és költséges feladat lenne. A kis és közepes méretarányú ortofotók előállításához az 1:10000 méretarányú térképről digitalizált szintvonalak biztosíthatják a leggazdaságosabb megoldást. A kartográfiai ábrázolásból adódó anomáliák százalékosan kifejezve a térkép (vagy az ország) területének csak igen kis százalékát érintik.

Nagyméretarányú ortofotó előállításakor azonban már geometriai, de még jelentősebb esztétikai hibákat okoz a magassági adatok kartográfiai pontosságú geometriája, illetve hiányos-

ságai. Ekkor a topográfiai modellből kell ezeket az adatokat kivenni, ha létezik ilyen modell, vagy elő kell állítani.

A domborzat szintvonalas ábrázolására a digitális környezetben azonban azért is szükség lesz, mert ennél jobb magasság ábrázolási mód még nem létezik. A jelenlegi analóg térképeink domborzat ábrázolása megfelelő minőségű, ennek digitális átalakításával lehet a leggazdaságosabb módon a kartográfiai modell szintvonalait előállítani. *(Engler, Mélykúti 2000)* A digitális domborzatmodellekből automatikusan levezetett szintvonalak még nem érik el a klasszikus térképeinken megszokott szintvonal ábrázolás esztétikai minőségét. Az újfelmérés igen költséges lenne, nem biztosítana lényegesen nagyobb pontosságú eredményt, hiszen a kiértékelési technológia ebből a szempontból alapvetően nem változott, bár ezáltal a topográfiai modellnek megfelelő szintvonal geometria állhatna elő. Kérdés ez a minőségi különbség arányban áll-e a ráfordítással?

Összefoglalás

A digitális topográfiai modellek, a digitális domborzat modellek, a digitális kartográfiai modellek korszakában újra kell gondolni a hagyományos térképeink előállítása és használata során alkalmazott, berögződött néhány alapfogalmat. Tudomásul kell venni, hogy

- az adatok tárolása már nem grafikus formában a térképen, hanem a megjelenítéstől függetlenül, digitális (numerikus) formában, adatbázisban történik;
- a tárolt adatok megjelenítése mindig egy adott méretarány függvényében történhet csak meg a geometria (a térképelemek koordinátáinak) olyan mértékű módosításával, amely ennek a méretaránynak megfelel, illetve olyan pontossággal és adatsűrűséggel, melyet ez a méretarány még megenged;
- mindezeket figyelembe véve egy terület topográfiai modelljének és kartográfiai modelljének geometriája nem lehet azonos, szükségszerű, hogy eltérjen egymástól; e két típusú adatállomány két adatbázisban írható csak le, ez két különböző termék; egy adatrendszer e két szempontot egyidejűleg nem tudja kielégíteni;
- a terepen lévő „láthatatlan" szintvonalak a topográfiai modell részei, a térképeken megjelenő szintvonalak pedig minden esetben egy kartográfiai modell részét képezik.

Hivatkozások

Mélykúti G (1993): Geoinformatika és a digitális felületmodell kapcsolata. *Kandidátusi értekezés,* Budapest.

Engler P, Mélykúti G (2000): Az 1:10000 méretarányú topográfiai térképek domborzatának ellenőrzése új mérési eredmények felhasználásával, *X. Országos Térinformatikai Konferencia*, Szolnok.

Blahó I (1965): Topográfia I-II. *Egyetemi jegyzet,* Budapest.

Detrekői Á, Szabó Gy (2002): Térinformatika, *Nemzeti Tankönyvkiadó Rt.,* Budapest.

Borchert R, Mahr H (1994): ATKIS Geogrunddatenbank für den Informationsdienstmarkt, UTECH'94 Seminar, Berlin.

A KÖZELFOTOGRAMMETRIA ÉS NÉHÁNY FOGÁSZATI ALKALMAZÁSA

Fekete Károly *

Close-range photogrammetry and some of its applications in dentistry *– The aim of this paper is to modify the definition of close-range photogrammetry. According to our judgement this discipline was separated from standard photogrammetry in character, so the main difference is not the lenght of object distance. We have given a summary of most important differences of two disciplines and demonstrated them on some dentistry examples.*

Publikációnkban a fotogrammetria csoportosításának egy új szempontjára teszünk javaslatot. Megítélésünk szerint napjainkra a légi fotogrammetria és a közelfotogrammetria jellegében különült el egymástól, az elsődleges különbség nem a tárgytávolság nagysága. Az általunk leglényegesebbnek tartott eltéréseket fogorvosi példákon keresztül mutatjuk be.

Kulcsszavak: DLT, közelfotogrammetria, orvosi fotogrammetria

Bevezetés

Napjainkra a közelfotogrammetria alkalmazási területe rendkívüli módon kiszélesedett. Felhasználása a molekuláris méretektől (pl. rákszövet növekedésének a vizsgálata) a nagy ipari létesítmények (pl. egy tengeri olajfúró torony) fotogrammetriai felméréséig terjed. A feladatkör kiteljesedésével a közelfotogrammetria jellegében különült el a klasszikus fotogrammetriától, így megítélésünk szerint az a meghatározás, amely a közelfotogrammetriát a fotogrammetriától a tárgytávolság bizonyos nagysága szerint sorolja, mára elavult.

A közelfotogrammetria jellemzői

Állításunk igazolására összefoglaljuk azokat a legfontosabb különbségeket, amelyekkel a két szakterülettel foglalkozók találkoznak:

A közelfotogrammetriában a képek jelentősen eltérő helyzetűek lehetnek, akár két kép egymással szemben is lehet, miközben a légi fotogrammetriában szigorú előírások vannak a képek elrendezésére vonatkozóan.

A közelfotogrammetriai feladatoknál a tárgyak mélysége akár meg is haladhatja a fényképezési távolságot, a léginél ez az arány többnyire kicsi.

A légi fotogrammetriában általában metrikus kamerákat használnak, míg a közelfotogrammetriai feladatok túlnyomó többségében nem. Sőt itt kerül alkalmazásra sok egyéb kategóriába sorolható felvevő berendezés, mint például elektronmikroszkóp, mikroszkóp, ultrahang, röntgen, endoszkóp stb.

Míg a légi fotogrammetriában a pontok vízszintes és magassági koordinátái és ezek meghatározása többnyire elkülönül, addig a közelfotogrammetriában nincs is értelme a koordináta irányok ilyen értelmű megkülönböztetésének.

A közelfotogrammetriában gyakran a legpontosabban meghatározható hely, ill. a más mérések színhelyéül használható legjobb hely maga a felvételi álláspont. A légi fotogrammetriában -a GPS mérések kivételével- általában ez nem valósítható meg.

A légi fotogrammetriai felmérések szabályos, hasonló körülmények között végrehajtott feladatok. A közelfotogrammetriai munkák nagy többségére az egyediség a jellemző.

**BME Fotogrammetria és Térinformatika Tanszék*
1521. Bp. Műegyetem rkt.3.
E-mail: feketekaroly@mailbox.hu

A közelfotogrammetria felhasználási területe igen széles. A mérnöki gyakorlaton kívül használják a régészetben, az orvostudományban, a víz alatti kutatásokban, igazságügyi feladatok megoldásánál stb. Jelen publikációnkban fenti, a közelfotogrammetriáról szóló állításaink igazolására az orvosi fotogrammetria egy részterületéről, a fogászati és szájsebészeti alkalmazásokból mutatunk be példákat.

Néhány feladat a fogászat témaköréből

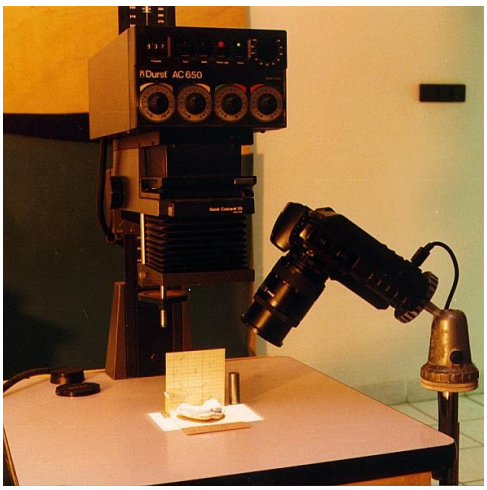
A Fogászati tömőanyagok minőségének a jellemzésére szolgál az ún. széli záródás, ami a tömés és a fogzománc közötti átmenet milyenségét jelenti, azaz azt, hogy a tömőanyag és a fogzománc között marad-e szabad felület és ha igen, akkor ez mekkora *(Detrekői és társai, 1994)*. Tökéletes széli záródásnál ugyanis megelőzhető a másodlagos szuvasodás kialakulása. Vizsgálatainkat három különböző tömőanyagra terjesztettük ki. A felvételi körülmények sajátosak. A fogorvosi székben ülő alany fogazatáról kell készítenünk fotogrammetriai feldolgozásra alkalmas felvételeket. A körülmények miatt csak nem-metrikus kamera felhasználása jöhetett szóba, amit az igen kis tárgytávolság miatt külön körgyűrűvel kellett kiegészíteni. Összefoglalva a feladatot, a fotogrammetriai feldolgozást tetszőleges elrendezésű amatőr felvételekből kellett megoldani, illesztőpontok felhasználása nélkül és ahol még a képek belső- és külső tájékozási adatai is ismeretlenek.

Orvosi megítélés szerint bizonyos betegségek összefüggnek az arcüreg alakjával, méretével *(Detrekői és társai, 1994)*. Mivel élő személyekről van szó, a mérés közvetlen elvégzése helyett egyetlen kézenfekvő megoldásnak adódik a mérést a tárgyról készült képeken végezni, tehát fotogrammetriai megoldását adni a feladatnak. A fényképezést endoszkóp és fényképezőgép adapterrel kiegészített együttese segítségével oldható meg. Az endoszkóp az arcüregbe az arccsont áttörésével egy 4 mm átmérőjű behatolási lyukon jut be, így a behatolási tengely mentén előre és hátra mozogva, és a tengely körül forgatva a különböző dőlésszögű optikákat, az arcüreg teljes belső felületének a képpárokkal való lefedése megoldható. A megoldandó feladat, tehát fotogrammetriai háromszögelés tetszőleges irányból és különböző optikákkal készített amatőr felvételek felhasználásával, illesztőpontok nélkül.

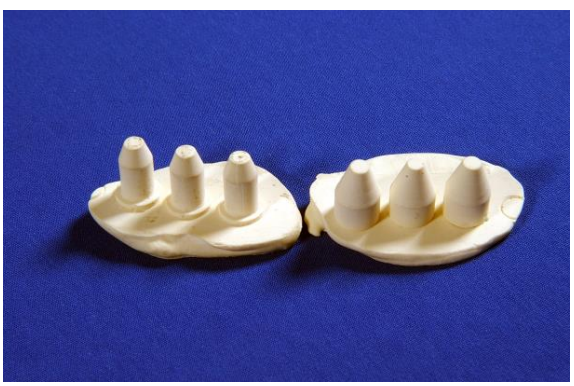
Fogsorok készítésénél felvetődik, hogy azok tervezésénél bizonyos mechanikai szempontokat is érdemes figyelembe venni ezek tartósságának és jobb minőségének a biztosítása érdekében *(Fekete, 1996)*. Ugyanis a fellépő erők ismeretében a fogsorokat úgy lehet kialakítani, hogy azok a legerősebbek a legnagyobb igénybevételi helyeknél legyenek. A véges elemek módszerével történő tervezéshez a statikusnak szüksége van a szájüreg felületmodelljére, ráadásul egy előre megadott hibahatáron belül. Mivel a szájüreg az élő embernél igen nehezen elképzelhetően mérhető, vagy fényképezhető, ezért a fogászatban szokásos eljárással nem a szájüregről, hanem az arról készített gipszmintáról – amely a fogsor készítésénél amúgy is elkészül - készül a fotogrammetriai felmérés. Egy ilyen gipszmintát mutat felvételezés közben az 1. kép.

Fogászati korona, vagy koronák erősségét és tartósságát, azaz a minőségét alapvetően meghatározza a vett minta geometriai pontossága, amely pontosság alatt azt értjük, hogy az elkészített minta geometriailag mennyire jól illeszkedik a fogcsonkra *(Kaán és társai, 2003)*. A különböző, a fogászati gyakorlatban létező mintavételezési megoldások geometriai minősítése segítséget nyújt a fogorvosnak a megfelelő mintavételezési technológia kialakításában. Kísérleteink során négy különböző mintavételezési technikát vizsgáltunk meg és mindegyiket külön egyedi és többes kivitelben, valamint vállas és váll nélküli csiszolási eljárással (2. kép). Vizsgálatainkat in vitro körülmények között végeztük, amely egy segédberendezés felhasználásával a lenyomatkészítés folyamatának in vivo viszonyokhoz közel álló standardizálását oldotta meg. Ennek a készüléknek a tárgyasztalkája alkalmas egy-három a lecsiszolt fogcsonkot utánzó rozsdamentes acélcsonk befogására és a lenyomatok azonos körül-

mények közötti elkészítésére. Az összesen 16 féle mintát elkészítve és ezeket keménygipsszel - szintén standardizált körülményeket biztosítva - kiöntve az eredeti acélcsonkokhoz hasonló mintákat kapunk. A fotogrammméter feladatát ezek alapján úgy fogalmazhatjuk meg, hogy a különböző mintavételezési technológiákat minősítse a szerint, hogy geometriailag melyik hasonlít leginkább az eredeti csonkokhoz.



1. ábra. Gipszminta felvételezés közben.



2. ábra. Vállas és váll nélküli minták.

A feladatok megoldása fotogrammetriai módszerrel

Az előzőekben bemutatott feladatok rámutatnak a közelfotogrammetria sokszínűségére és arra, hogy az egyes megoldásokat nagyon nehéz tipizálni. Ami a feladatok túlnyomó többségére igaz – talán csak az építészeti és ipari fotogrammetria a kivétel - hogy nem gyakran találkozunk metrikus felvételekkel, amiből viszont az következik, hogy a tárgyoldali rekonstrukció megoldására csak olyan megoldás alkalmazható, amely nem követeli meg a képkoordináta-rendszer létezését.

A feladatok bizonyos részénél még bonyolultabb a helyzet. Olyan kihívásokkal találkozunk, amelyek csupán fotogrammetriai ismeretekkel nem oldhatók meg. Külön meg-

gondolásokat és segédmegoldásokat kell ahhoz végrehajtanunk, hogy eljussunk abba a helyzetbe, hogy már elégséges adatunk legyen a fotogrammetriai alkalmazáshoz. Mivel ezek a „trükkök" még kevésbé tipizálhatók jól láthatjuk ezáltal is a közelfotogrammetriai feladatok egyediségét. Fentiekben bemutatott példákban sem csupán fotogrammetriai feladatról van szó. Különösen az első két feladat esetében közbenső lépéseket kellett beiktatni a hagyományos fotogrammetriai eljárások menetébe.

A tömőanyagok vizsgálatánál megállapíthatjuk, hogy feladatunk a feltett formában nem oldható meg, hiszen tájékozási adatok és illesztőpontok nélkül a tárgyoldali rekonstrukció nem oldható meg, valamilyen közbenső adatnyerésre van szükség. Ebben az esetben a feladatot segédfelvételek feldolgozásával lehetett megoldani. A kérdéses fogakról gipszmintát készítve és ezt egy közelfotogrammetriai teszt-mezőbe helyezve számíthatók a kamera faktorai a szájban történő fényképezéshez hasonló geometriai elrendezés mellett. Ezek ismeretében néhány a fogon és a gipszmintán is jól azonosítható pontnak 3D-s koordináták adhatók. Ezeket pedig az eredeti felvételeinken illesztőpontként használhatjuk. Feladatunkat ezáltal visszavezettük egy megoldható közelfotogrammetriai esetre.

Még érdekesebb a helyzet az arcüreg vizsgálatának esetében. Feladatunkat csak úgy tudjuk megoldani, hogy hálózatunkat szabad hálózatként kezelve lemondunk az arcüreg térbeli irányának abszolút értelemben való, orvosilag nem is fontos meghatározásáról és a méretét a mért külső tájékozási adatokból határozzuk meg utólagosan.

Előzetes munkafolyamat jelentkezhet a közelfotogrammetriában tervezési kérdésként is. Erre mutat példát a szájpadlás felületmodelljéről szóló *(Fekete, 1996)*. Ebben az esetben a statikus tervező írt elő a fotogramméter számára előzetesen pontossági követelményeket. Ez az igény a közelfotogrammetriában nem túlságosan elterjedt hálózattervezési kérdéseket vet fel. A méretezéses hálózattervezéshez szükséges ismernünk a képkoordináták pontosságát jellemző mérőszámokat. Az értékek ismeretében és feltételezve az illesztőpontok hibátlanságát, valamint a képek függetlenségét becsülhető a paraméterek pontossága. Ezen adatok ismeretében szükség esetén módosítható az eljárás paraméterrendszere a szükséges eredmények eléréséig.

A fotogrammetriában a képkoordináták, vagy koordinátapárok mérésével valósul meg az információgyűjtés. A közelfotogrammetriában ma általánosan alkalmazott többállás-pontú felvételezésnél gyakorlatilag csak a képkoordináták mérése alkalmazott. Analóg képek felhasználásakor ismerjük a kiértékelő műszerünket, annak pontosságát, tehát méréseinket különösebb nehézség nélkül elvégezhetjük. Digitális feldolgozás esetén különböző szoftverek állnak rendelkezésünkre (pl. AUTOCAD), amelyek felhasználásával mérhetők a képkoordináták.

Közelfotogrammetriai, ill. orvosi fotogrammetriai méréseknél sokszor a legnagyobb nehézséget a pontok azonosítása okozza, ezért legtöbb esetben a pontok jelölése a végeredmény megbízhatóságára jótékony hatással van. Ezt a jelölést olykor optikai úton végezzük, amire példát mutat az 1. kép.

Fenti példákon is látszik, hogy az adatgyűjtés rendkívül különböző struktúrájú kamerákon keresztül történik, amiből pedig az következik, hogy a tárgyoldali rekonstrukció megoldására olyan matematikai modell jöhet szóba, amely a változó paraméterű felvételi berendezések széles körében alkalmazható. A közelfotogrammetriai feladatoknak többnyire a direkt lineáris transzformáció (DLT) felel meg, mert itt a transzformációs állandók nem közvetlenül a kamerák faktoraitól függnek *(Abdel Aziz and Karara, 1971)*. A módszer számunkra legfontosabb tulajdonsága, hogy a képpontokat a kiértékelő berendezés koordináta-rendszeréből közvetlenül a tárgyoldali koordináta-rendszerbe transzformálja, ami megadja a lehetőségét a nem metrikus kamerákkal készült felvételek fotogrammetriai feldolgozásának. Ugyanakkor a DLT paraméterek és az esetlegesen jól ismert kamera paraméterek közötti összefüggéseket felhasználva *(Bopp and Krauss, 1978)* lehetőségünk van a metrikus kamerák pontos fizikai paramétereinek a felhasználására is.

A közelfotogrammetria eredményeinek megjelenítésére a hagyományos ábrázolási módokon (pl. szintvonalas kiértékelés) kívül különböző számítógépes megoldások is lehetségesek *(Alhusain és társai, 2003)*, amelyeket elsősorban a digitális megoldásoknál alkalmaznak.

Összefoglalás

Publikációnkban néhány orvosi példán keresztül igyekeztünk rávilágítani a közelfotogrammetria sajátosságaira, azokra a jellegbeli különbségekre, amelyek a klasszikus fotogrammetriától megkülönböztetik. Megítélésünk szerint ennek a tudományterületnek nem a tárgytávolság nagysága a legfontosabb jellemzője, ezért javaslatot teszünk arra, hogy ne is e szerint csoportosítsuk ezt a szakterületet. Javaslatunk szerint a fotogrammetriát a jellege (és nem a tárgytávolság nagysága) alapján csoportosítsuk űr-, légi és közelfotogrammetriának.

Hivatkozások

Abdel Aziz Y, Karara HM (1971): Direct linear transformation from comparator coordinates into object space coordinates in close-range photogrammetry. Papers from the American Society of Photogrammetry Symposion on Close-Range Photogrammetry, Urbana, Illions, 1-18.

Alhusain O, Detrekői Á, Fekete K, Juhász A, Rakusz Á, Stuber I, Tóth Z (2003): Egy közelfotogrammetriai 3D rendszer és felhasználása emberi érhálózat ábrázolására. *Geodézia és Kartográfia* 3.sz., Budapest, 11-15.

Bopp H, Krauss H (1978): An orientation and calibration method for non-topographic applications. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 44; 9, 1191-1196.

Detrekői Á, Fekete K, Simon G, Tóth Zs, Winkler G (1994): Photogrammetry in diagnosis. III. Semmelweis Tudományos Fórum, Budapest, 53-54.

Fekete K (1996): Developing the surface model of human gums. *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*, Vienna XXXI; B5, 160-166.

Kaán Borbála, Fekete Károly, Somogyi Endre, Fejérdy Pál (2003): A precíziós szilikon lenyomatvételi eljárásoknál alkalmazott helyfenntartók mintázóképességének méréses vizsgálata e célra készített műszerrel tangenciális és vállas előkészítés esetén. *Kongresszusi kiadvány*, Magyar Fogpótlástani Társaság XV., Magyar Fogorvosok Implantológiai Társasága V., Magyar Parodontológiai Társaság XIII. Kongresszusa, Budapest, pa. 19.

HŐÉRZÉKELŐK NEM-LINEÁRIS TORZÍTÁSÁNAK JAVÍTÁSA ORVOSI FELVÉTELEKEN

Alhusain Othman[*]

Correction of Non-Linear Distortion in Photomultiplier-Generated Medical Images *- In this paper, image formation will be investigated in detail. Data captured is a representation of data collected by a kind of sensor which is increasingly being used in remotely sensed image processing applications. This sensor is one type of electro-optical sensors used in medical imaging applications. The investigation shows that non-linear distortion is materialized in two aspects related to data measured by the sensor system. These are the intensity of the signal measured at a given pixel and the location (coordinates) of that measured signal. The existence of such distortion is strange enough, taking into consideration that the algorithms implemented in image formation are all well designed and based on sound mathematical foundations.*

The algorithm proposed to correct these non-linear discrepancies is a phase that follows data capture and image formation, it functions as a correction stage for non-linear distortion before the image is rendered into its final form. The principal idea of the algorithm is to perform a normalization process on either the coordinates of the measured data, the value (intensity) of the measured data, or on both. Performing the normalization algorithm has resulted in significant reduction of non-linear distortion in the generated images. In many cases it has resulted in total elimination of the distortion.

Jelen tanulmány tárgyát az orvosi képalkotás részletes tanulmányozása képezi. A feldolgozott adatok olyan adatokat képviselnek, amelyek egyfajta, a távolról érzékelt képfeldolgozás alkalmazásban egyre szélesebb körben használatos szenzort gyűjtött össze. Ez a szenzor az orvosi képfeldolgozásban használt elektro-optikai szenzorok egyik fajtája. A kutatás azt mutatja, hogy a nem-lineáris torzulás kettő, a szenzorrendszer által mért adatokhoz kapcsolódó aspektusból valósul meg. Az egyik a jelnek egy adott pixelen mért intenzitása, a másik a mért jel helye (koordinátái). Az ilyen torzulás jelenléte meglehetősen különös, figyelembe véve, hogy a képalkotás során használt algoritmusok valamennyien jól megtervezettek és megalapozott matematikai alapokon nyugszanak.

A nem-lineáris torzulások korrekciójára javasolt algoritmus az adatnyerést, valamint a képalkotást követő fázisban kiválóan alkalmazható. A nem-lineáris torzuláshoz illeszkedő korrekció az előtt a szakasz előtt áll, amelynek során a kép elnyeri végső formáját. Az algoritmus fő gondolata az, hogy egy normalizációs folyamatot alkalmazzon a mért adatok koordinátáján vagy a mért adatok (intenzitás) értékein, esetleg mindkettőn. Ennek folyamán minden pixelnél a mért adatokhoz hozzárendelt (koordináták, intenzitás) értékeket összevetjük referencia és/vagy szomszédos pixelek értékeivel, és ennek megfelelően módosítjuk azokat. A normalizációs algoritmusok alkalmazásával a generált képekben a korrekció jelentős csökkenést eredményezett. Számos esetben a torzulás teljes megszűnésével is számolhatunk.

Kulcsszavak: algoritmusok, korrekciók, szenzorok

Bevezetés

A nem-lineáris torzulás ellensúlyozása a legjobban a képrendszer különböző –az adatnyerésben és a képalkotásban résztvevő– elemek (hardver) áramkörének optimális megtervezésével

[*]*BME, Fotogrammetria és Térinformatika Tanszék*
1111 Budapest, Műegyetem rkp. 3.
E-mail: alhusain@eik.bme.hu

érhető el. Sajnos ezt a célt kizárólag a hardveren keresztül lehetetlen elérni, egyrészt a hardver karakterisztikájához kötődő faktoroknak, másrészt a fogadott adatok karakterisztikájához kötődő faktoroknak betudhatóan. A nem-lineáris probléma megoldására ennél kivitelezhetőbb megoldás az algoritmusok végrehajtásával érhető el, amelyek korrigálják a képek nemlinearitását, amelyet a képalkotási rendszer különböző elemei okoznak. Az algoritmikus korrekciók a hardver-megoldásoknál sokkal járhatóbb útnak bizonyulnak, mert végrehajtásukhoz a már meglévő hardver semminemű megváltoztatása nem szükséges. Az algoritmusok ezen kívül könnyen módosíthatók, amikor ez a további lépésekben igényként jelentkezik, és használatuk ezen felül minden esetben kevesebb költséggel jár.

A képalkotó rendszerekben bekövetkező nem-lineáris torzulás két fő okra vezethető vissza. Az első a szenzorrendszerben az „érzékelő" elemek nem-lineáris és változó reagálása a különböző intenzitású jelekre. Ez a fajta torzulás az „érzékelő" elemek fizikai tulajdonságától függ, megfelelő pontossággal modellezhető, és elfogadható pontossággal kiegyenlíthető. A második –és egyben fontosabb ok– a képalkotó rendszerben használt szenzorok, legyenek bár távoli (űr), vagy közeli (szárazföldi, orvosi) jellegűek, általában a következő módon tervezettek. Valamennyi szenzor individuális szenzorelemek sorából vagy elrendezéséből áll, több tízig bezáróan, biztosítva a szkennelt terület teljes lefedettségét.

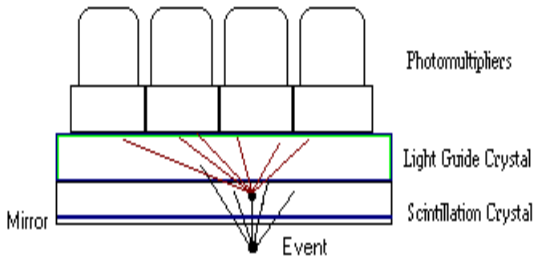
Elméletileg az egyetlen szenzorba integrált szenzorelemeknek azonosaknak kell lenniük, amikor azonos funkciót kell betölteniük, azonos output-ot kell adniuk ugyanolyan vagy hasonló terület szkennelése közben. Gyakorlatilag ez a cél nehezen érhető el, főképpen a szenzor elöregedésével. Ez az „érzékelő" elemek közötti összeegyeztetlenségi variációkat idéz elő az egyedi szenzorelemek fizikai és elektronikus karaktereiben. Ez azokban a körülményekben idéz elő változásokat, amelyekben a jeleket megmérik. Következésképpen szignifikáns fluktuációhoz vezethet minden egyes „érzékelő" elem válaszában (értékében) ugyanazon jel mérése közben. Eközben - ideális esetben - minden egyes „érzékelő" elem válasza és a jel mérési eredménye meg kell, hogy egyezzen. A nem-lineáris térbeli torzulások jelentős egyenetlenségeket okoznak a kapott képeken. Számos, a térbeli egyenetlenséget korrigáló módszer alkalmazza a mért jelsűrűség és/vagy jelintenzitás növelésének vagy csökkentésének elvét a kép bizonyos területein, ahol a torzulás erőteljesebben jelen van. *(Graham et al. 1987, Morrison et al. 1971)*. Habár a nem-lineáris térbeli torzulásból adódó egyenetlenségek a legjobban úgy korrigálhatók, ha a korrekció véghezviteléhez alkalmazott eljárás biztosítani tudja a torzulás eltávolítását, valamint hozzákapcsolását annak helyéhez *(Spector et al. 1972)*.

Képalkotás

A jelen tanulmány képeit eredetileg két különböző szenzor által generált adat feldolgozása hozta létre. Ezek a képek a elektronsokszorozó csövön alapuló orvosi képalkotó kamerák felvételei. Mivel a jelen szenzor képeinél jelenlévő nem-lineáris torzulás karakterisztikái azonosak az ajánlott algoritmus alkalmazhatóságának tekintetében, a részletezett tanulmány és a bemutatott képek főképpen e szenzorokra, és azok adatainak korrekciójára alapuló elektronsokszorozó csőhöz kapcsolódnak. Másrészt a tanulmányt könnyű általánosítani a multispektrális és más szenzorokhoz, figyelembe véve a szenzorok tulajdonságait.

Az elektronsokszorozón alapuló szenzorok

Az elektronsokszorozó detektorok legáltalánosabb megvalósulása a szcintillációs kamerák, melyek az orvoslásban használatos képeknél széles körben elterjedtek. Ezeknek a kameráknak az általános konstrukciója nagyon egyszerű és az évek során nem sok változáson esett át *(NEMA 1979, Stover 1990)*.

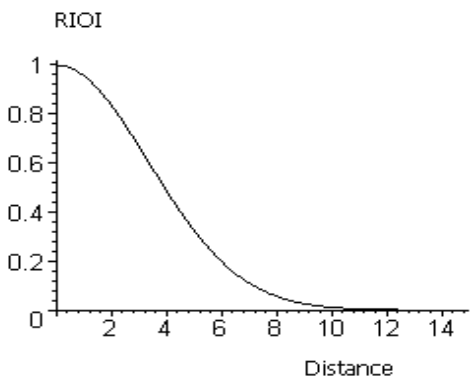


1. ábra. Elektronsokszorozón alapuló szcintillációs szenzor.

Három fő alkotórészből áll: szcintillációs kristály tükörrel, a fényvezető üveg, valamint egy bizonyos számú elektronsokszorozó cső, amelyeket elektromos áramkör köt össze, és amelyek fényvezető üvegre vannak erősítve. Az 1. ábra mutatja az elektronsokszorozón alapuló szenzor egyszerű szerkezetét. Minden egyes elektronsokszorozó output jelet ad, az inputjában jelenlévő, látható fény mennyiségével arányosan. Az input és output közötti kapcsolatot egy adott elektronsokszorozónál a Lambert-féle görbe szemlélteti (2. ábra). Ezen a görbén, amennyiben az abszcissza maga a távolság az elektronsokszorozó közepétől, és a koordináták az input és output jelek közötti relatív intenzitás, a görbét az alábbi képlet írja le:

$$f(x) = e^{-\delta x^2} \tag{1}$$

Itt δ konstans érték, és x elvi folyamatos értéke 0 és ∞ között mozog. Ebből a képletből nyilvánvalóan látszik, hogy ha az esemény az elektronsokszorozó centrumában zajlik (0 cm távolság), akkor a relatív intenzitás értéke 1, így az output jel egyenértékű az input jellel.



2. ábra. Az elektronsokszorozó relatív intenzitásválasza.

Minthogy az esemény helye elmozdul az elektronsokszorozó centrumától, a relatív intenzitás addig csökken, míg el nem éri a nulla körüli értéket, közel 12 cm-es távolságon, ahol már nem ad választ az elektronsokszorozó outputjára, attól függetlenül, hogy milyen a jel intenzitása az inputnál. Az elektronsokszorozókat hozzávetőlegesen 7.62 cm-es átmérővel tervezik. A hasznos látómező (UFOV) átmérője kicsivel kevesebb, mint ez az érték. Amikor az elektronsokszorozó a detektor fényvezető üvegére van erősítve, rés van a szomszédos csövek között, amely nincs lefedve.

Egyszóval bármilyen két szomszédos fotósokszorosító UFOV-ja között rés van, te-

hát a detektornak nem fedett (inaktív) területe van. Ez a fedés folyamatában előadódó hiány a torzulás fő forrása és a hiba hozzáadása az ilyen detektorok által generált képekhez. Ezt kell ellensúlyozni képkorrekciós algoritmusokkal. Az érzékelésért és az adott jel (esemény) pozicionálásáért felelős algoritmusok feltételezhetően mérik a specifikus eseménynek az intenzitását és helyezkedését, és feljegyzik ezt a két értéket az output képen. Amint fentebb említettük, az output képekben jelenlévő torzulás miatt a képalkotás folyamatában szükséges a folyamatos korrekció. Ezt el lehet érni egy ésszerű nem-lineáris korrekció megvalósításával, amelynek feladata a torzulás megszüntetése.

Nem-lineáris korrekció algoritmus

A nem-lineáris korrekció algoritmus szerepe az output képben az események (pixelek) torzult koordinátáinak korrekciója. Ezek a torzult koordináták hozzák létre az input adatokat, amelyek a korrekciós algoritmust táplálják, míg az algoritmus megalkotja a korrigált koordinátákat. A korrekció-algoritmus alkalmaz egy korrekciós mátrixot, ezen a mátrixon az x, y irányok jelzőszámai a nem korrigált koordinátákat képviselik és a mátrix elemei a korrigált helyeket (koordinátákat).

Az input pozíciót kulcsként használjuk a mátrix négy legközelebbi eleménél. A négy elem magába foglalja a pozíciókat egy négyzeten belül, amelynek csúcspontjai a mátrixnak négy eleme. Egy interpolációs eljárást alkalmazunk, hogy a korrigált pozíciókat (koordinátákat) kiszámítsuk. Az interpolációs eljárás választásának ki kell elégítenie mind a pontosság, mind a gyorsaság követelményeit. Ezeket a körülményeket kielégíti a bilineáris interpoláció, amely az egyik legegyenesebb és legjobban követhető interpoláció erre a célra. Az interpolációs eljárás alkalmazásával, az algoritmusnak végre kellene hajtania egy átlagoló és/vagy összehasonlító eljárást, főképpen, ha az egyedi pixelek intenzitásának javítása a követelmény. Az átlagolás és összehasonlítási eljárás a legjobban végrehajtható, amikor van elég alárendelt információ minden pixelről és annak szomszédjairól. Ilyen részletezett információ az egész képről a legjobban megoldható kis adatbázis formában, amely tartalmaz különböző ancelláris adatokat is a képről *(Alhusain and Minda 1995)*.

Az interpoláló mátrix a pixelek korrekt, egységes előre megadott helyének input képeiből épül fel. Az előre megadott helyek azonosítása után egy mátrix írható fel, amely összeköti a pixelek igazi pozícióit azzal a torzult pozícióval, amelyet a képgeneráló algoritmus kalkulál. Az igazi pozíciók egységes mintát követnek, legyen az négyszögletes vagy hatszögletes, míg kalkulált pozícióik kis mértékű eltérést mutatnak az egységes és szabályos mintától. Így ha a távolság az igazi pozíciók között az egységes mintát (mint egy rácsozat) követ, akkor a kalkulált pozícióra nézve szabálytalan, ha nem egységes mintával rendelkezik.

Bilineáris interpoláció

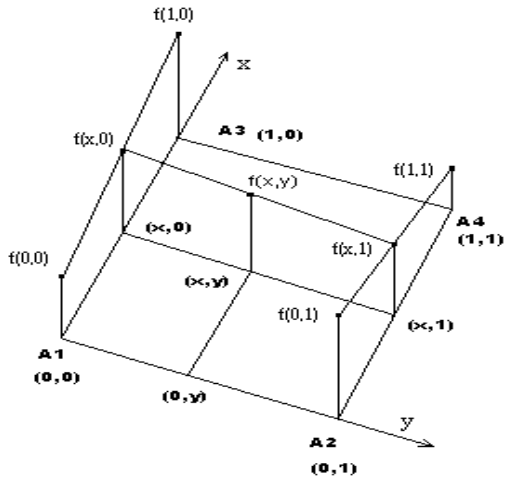
A kétdimenziós interpolációs eljárás matematikai tárgyalását és alkalmazási lehetőségét számos szövegben és referenciában megtalálhatjuk, legjobban *Castleman (1979)* mutatta be a következők szerint:

A 2-D interpoláció három 1-D interpolációra bontható fel:

- Két *1-D* interpoláció az interpoláló négyzet két szélén zajlik le.
- Az interpoláló négyzet két szélén a két interpolált pont egy a végső interpolációs ponttal, egy egyenes vonalon nyugszik, így egy *1-D* interpoláció ennek a végső interpoláló pontot megadó vonalnak a mentén történik (3. ábra).

A bilineáris interpolációs algoritmus célratörő eljárás, melyet könnyű végrehajtani programkóddal és előre meghatározható eredményeket hoz. Hadd magyarázzuk meg az ajánlott bilineáris interpolációs algoritmust részletesebben. Először is az interpolációs egyenleteket al-

kalmazzuk hagyományos koordináta rendszerben, majd általánosítjuk ezeket egy mátrix rendszerre.



3. ábra. 2D bilineáris interpoláció.

Ha veszünk egy négy pontból álló cellát $A_1(0,0)$, $A_2(0,1)$, $A_3(1,0)$, *és* $A_4(1,1)$ koordinátákkal, amely a cella sarkaiban helyezkedik el, és az *x*,*y* tengely koordinátarendszerén helyezkedik el, 3. ábra. A pontok mindegyikén vegyük figyelembe az *f*(*x*,*y*) függvényt, amelynek értékei *f(0,0), f(0,1), f(1,0) és f(1,1)* minden pontban. Tegyük fel, hogy meg akarjuk határozni az *f* (*x*, *y*) függvény értékét egy önkényesen kijelölt pontban.

Először alkalmazzunk egy *1-D* interpolációt az *x* tengelyen, ahol *y* értéke= 0:

$$f(x,0) = f(0,0) + x[f(1,0) - f(0,0)] \tag{2}$$

Második lépésben alkalmazzunk egy másik *1-D* interpolációt az *x* tengelyen, ahol *y* értéke= 1:

$$f(x,1) = f(0,1) + x[f(1,1) - f(0,1)] \tag{3}$$

Harmadik lépésben alkalmazzunk egy *1-D* interpolációt az *y* tengelyen, ahol *x*:

$$f(x,y) = f(x,0) + y[f(x,1) - f(x,0)] \tag{4}$$

A behelyettesítéssel és az egyszerűsítéssel megkapjuk a 2-*D* interpolációs egyenletet:

$$\begin{aligned} f(x,y) = {} & [f(1,0) - f(0,0)]x + [f(0,1) - f(0,0)]y + \\ & [f(1,1) + f(0,0) - f(0,1) - f(1,0)]xy + f(0,0) \end{aligned} \tag{5}$$

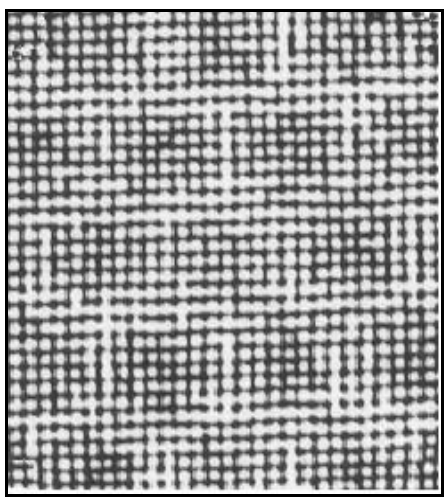
Ez az egyenlet modellezhető a következő általános egyenlet szerint:

$$f(x, y) = ax + by + cxy + d \tag{6}$$

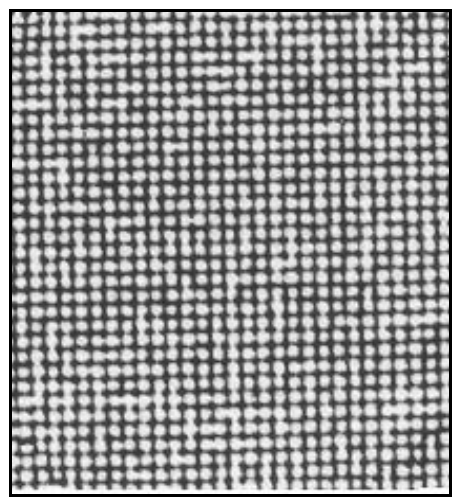
Ahol:

$$\begin{aligned} a &= f(1,0) - f(0,0) \\ b &= f(0,1) - f(0,0) \\ c &= f(1,1) + f(0,0) - f(0,1) - f(1,0) \\ d &= f(0,0) \end{aligned} \tag{7}$$

Azért, hogy képesek legyünk az interpoláció végrehajtására szoftvereszközökkel, szükséges a matematikai egyenlet mátrixokra történő behelyettesítése. Ha definiálunk egy *2*-dimenziós mátrixot: *xx*[i][k], ahol i[1, ..., m], és k[1, ..., n], és az *xx*[i][k] mátrix első eleme helyezkedik el az A_1 ponton vagy a *(0, 0)* koordinátáknál. Akkor általánosíthatjuk az (5) egyenletet, az alábbi mátrix együttes formára a következők alapján:



4. ábra. Hibás kép.



5. ábra. Javított kép.

$$\begin{aligned} xx[i][k] = (xx[i+1][k] - xx[i][k])x + (xx[i][k] - xx[i][k])y + \\ (xx[i+1][k+1] + xx[i][k] - xx[i][k+1] - xx[i+1][k]xy + xx[i][k] \end{aligned} \tag{8}$$

A mátrix rendszerrel kapcsolatban az együtthatókat a következők szerint lehet kifejezni:

$$
\begin{aligned}
a &= xx[i+1][k] - xx[i][k] \\
b &= xx[i][k+1] - xx[i][k] \\
c &= xx[i+1][k+1] + xx[i][k] - xx[i][k+1] - xx[i+1][k] \\
d &= xx[i][k]
\end{aligned}
\tag{9}
$$

Nyilvánvaló, hogy a bilineáris általános formula (8) interpolált értékeket ad, amelyek folyamatosak bármelyik interpoláló cella szélén. Az interpolált pozíció derivációi nem folyamatosak, de a határokon két szomszédos cella között kiugrást mutatnak. A 4. ábra torzított képet mutat, ahol a torzulás evidens a sötétebb területek formájában, amely mindenhová szétárad a képen. Az algoritmus alkalmazása a torzulás eltávolítására a képen jelentős javulást eredményez, 5. ábra. Ez a javulás világosan megjelenik a pixelek normalizált felosztásában, azért, hogy egységesen lefedjék az egész képterületet, egységes sűrűségű eloszlással.

Összefoglalás

A digitális képeken a nem-linearitás probléma a képrendszerek megtervezéséből származik. Habár ez a fajta torzulás a képalkotó eljárás bármelyik lépésénél bekövetkezhet, főképpen az elektro-optikai szenzoroknál fordul elő a jelfogás folyamán és/vagy a képalkotási eljárásban jelennek meg, ahol a fogott jelek képpé alakulnak át. A tanulmányban bemutatott algoritmus egy jól felépített matematikai modellre támaszkodik. Könnyen kivitelezhető szoftver formájában és legszignifikánsabban gondoskodik egy hatékony és hajlékony módszerről a képgenerálás és a korrekciós eljárások tekintetében. Bár néhány esetben az algoritmus alkalmazása az adatok hitelességének bizonyos elvesztésével vagy elnyomásával jár, az adathitelesség elvesztése főképpen akkor következik be, ha az algoritmus túlzó mértékben kerül végrehajtásra. Ez akkor következhet be, ha az algoritmus többször kerül végrehajtásra, ugyanazoknak az adatoknak a korrekciója során. Ezért rendkívül fontos az egyensúly tartása a torzulás csökkentése és az adatok hitelessége között. Ebben a tekintetben az adatok karakterisztikájának ismerete, valamint az algoritmus körültekintő alkalmazása szintén rendkívül fontos úgy, hogy éppen megfeleljen a kívánt célnak.

Hivatkozások

Alhusain O, Minda J (1995): Referential Classification – A New Intelligence Based Classification Algorithm, Periodica Polytechnica Ser. Civil Engineering, 39 (2), 85-90.

Castleman KR (1996): Digital Image Processing, Prentice-Hal Inc., NJ, USA, 429.

Graham LS, et al. (1987): Automatic Field Uniformity Corrections in Scintillation Cameras. SPIE, 152, 127-31.

Morrison LM, Bruno FP, Maurelli W (1971): Journal of Nuclear Medicine, 12, 785-791.

Spector SS, et al. (1972): Analysis and Correction of Spatial Distortion Produced by the Gamma Camera, Journal Nuclear Medicine, 13, 307-312.

Stover JC (1990): Optical Scattering Measurements and Analysis. McGraw Hill, New York, USA.

NEMA (1979): Standards Publication for Performance Measurements of Scintillation Cameras. National Electrical Manufacturers Association, Washington DC., USA.

WAVELETEK ÉS ALKALMAZÁSUK A KÉPFELDOLGOZÁSBAN

Paláncz Béla[*]

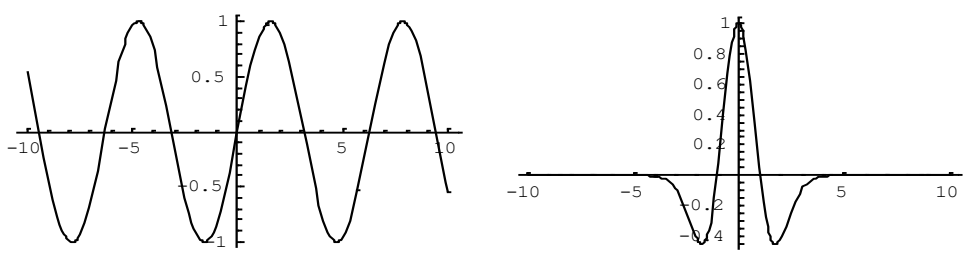
Wavelets and their Application to Digital Image Processing *- After a brief introduction into the wavelets and wavelet analysis, the application of wavelets are illustrated to image compression, image noise reduction (smoothing) and pattern recognition. For pattern recognition a new method based on multiresolution analyisis and classification with neural network is suggested and demonstrated. The computations were carried out with Mathematica 5. and its Wavelet Explorer and Neural Networks applications. The extended form of this publication is available in Mathematica notebook form on the Web, http://www.fmt.bme.hu/~palancz/research.html.*

A waveletekről és a wavelet analízisről adott rövid bevezetés után, a waveletek alkalmazását mutatjuk be a képfeldolgozás különböző területein, mint képek tömörítése, képek zajmentesítése, simítása és az alakfelismerés területén. Az ún. többskálás analízis valamint neurális hálózat, mint osztályozó eljárás felhasználásával, új alakfelismerési módszert javaslunk és alkalmazását egy példával illusztráljuk. A számításokat a Mathematica 5. verziójával végeztük, felhasználva annak Wavelet Explorer és Neural Networks alkalmazói csomagjait. A jelen cikk további példákkal és számításokkal bővített változata Mathematica notebook formában megtalálható a interneten http://www.fmt.bme.hu/~palancz/research.html.

Kulcsszavak: wavelet analízis, digitális képfeldolgozás, képtömörítés, simítás, alakfelismerés, többskálás analízis, osztályozás neurális hálózattal

Bevezetés

A jelfeldolgozásban gyakorta alkalmazott Fourier transzformációnak hátrányos tulajdonsága, hogy globális jellegű, azaz ha a jel egy helyen megváltozik, akkor annak transzformáltja mindenütt megváltozik. Ennek oka, hogy a transzformáció bázisfüggvényeit alkotó trigonometrikus függvények, amelyek végtelenségig állandó periódusúak, síkhullámoknak felelnek meg, azaz nincs olyan összefüggő tartomány ahol értékük zérus lenne. A waveletek ezzel szemben koncentrált, lokalizált hullámocskák, amelyek értéke gyakorlatilag csak véges tartományon különbözik zérustól, lásd *1.ábra*.



1. ábra. Síkhullám és egy hullámocska.

[*]*BME, 1111 Budapest, Műegyetem rkp.3.K.I.19*
E-mail: palancz@epito.bme.hu

Annak ellenére, hogy már 1910-ben *Haar* azon törte a fejét vajon előállítható-e olyan ortonormált bázis, amelynek tagjai ilyen függvényekből egyszerű transzformációkkal származtathatók, hasonlóan a trigonometrikus függvényekhez, a waveletek elméletének fejlődése és ezzel párhuzamosan alkalmazása csak az 1980-as években indult meg igazán. A waveletek széleskörű elterjedésében, a lokális tulajdonságon kívül jelentős szerepet játszottak további előnyei, amelyek a függvények közelítésénél, adatok simításának és tömörítésének területén mutatkoztak meg. Napjainkban waveleteket alkalmaznak a jelfeldolgozásban, a képfeldolgozásban, az orvosi diagnosztikában, a statisztikai analízisben, mintafelismerésben, differenciálegyenletek peremértékfeladatainak megoldásánál, hogy csak néhány területet említsünk *(Goswami és Chan, 1999)*.

Miután a témakör magyarnyelvű irodalma egy-két kivételtől eltekintve *(*pl. *Závoti 1999, Bronstejn és társai 2002)* igen szerény, a jelen dolgozatban rövid, bevezető jellegű áttekintést kívánunk adni a waveletekről és a képfeldolgozásban való felhasználásukról, valamint ismertetünk egy általunk javasolt mintafelismerési módszert, amely az ún. többskálás analízis alkalmazásán alapul.

Waveletek tulajdonságai

Waveletként általában mindazok a ψ(x)függvények szóbajöhetnek amelyek négyzetesen integrálhatók és amelyek Ψ(ω) Fourier - transzformáltjukkal képzett integrál véges:

$$C_g = \int_{-\infty}^{\infty} \frac{|\Psi\omega|^2}{|\omega|} d\omega < \infty$$

A feltétel kielégítéséből következnek a waveletekre vonatkozó alábbi tulajdonságok illetve definíciók:

1.A ψ(x) integrálja zérus:

$$\int_{-\infty}^{\infty} \psi(\omega) d\omega = 0$$

2. A ψ(x) wavelet *k*-adik momentumának a

$$\int_{-\infty}^{\infty} \omega^k \psi(\omega) d\omega$$

integrált nevezzük. Azt a legkisebb *n* természetes számot, amelyre ez az integrál nem nulla a *wavelet rend*jének hívjuk.

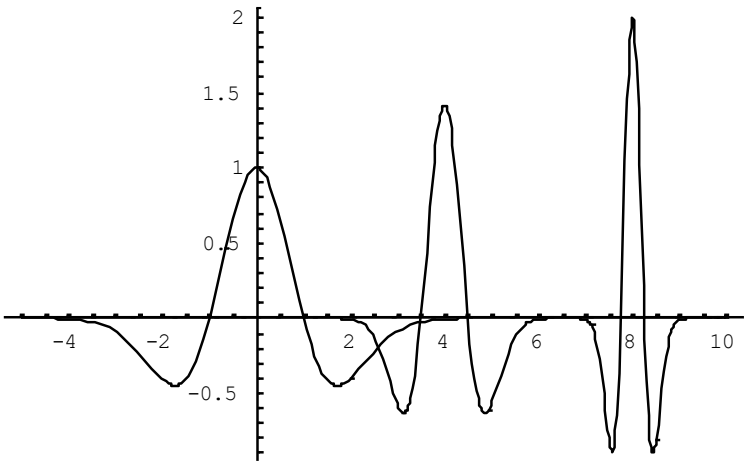
3. Bármely *n*-ed rendű wavelet bármely legfeljebb *n-1*–ed fokú polinomra ortogonális.

4. A ψ(x) waveletből egy egész függvénysereg képezhető két paraméter segítségével.

$$\psi_{a,b}(\omega) = \frac{\psi\left(\frac{\omega - b}{a}\right)}{\sqrt{|a|}}$$

ahol *a* a frekvencia - paraméter, amely a függvény kiterjedését adja , a *b* eltolási - paraméter pedig a helyet jellemzi. Ezt a függvényt a *wavelet alapfüggvény*ének, a függvénysereg függ-

vényeit pedig a *wavelet bázis*ának nevezzük. Például a *Maar wavelet* alapfüggvényét és két bázisfüggvényét a *2. ábrán* láthatjuk:

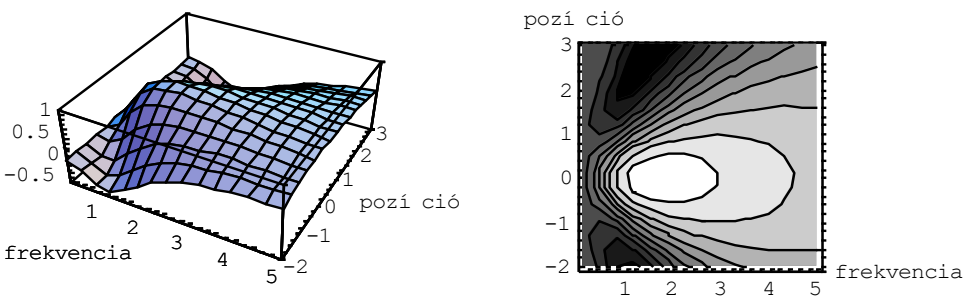


2.ábra. A Maar wavelet alapfüggvénye és két bázisfüggvénye.

Egy *f(x)* függvény folytonos wavelet-transzformációja (FWT):

$$W(a,b)=\int_{-\infty}^{\infty} f(x)\psi_{a,b}(x)\,dx$$

Példaként tekintsük az *exp(-x²)* függvény folytonos wavelet transzformációját az *a* és *b* paraméterek függvényeként:



3.ábra. Az *exp(-x2)* függvény FWT-ja a *Maar*- wavelet alapfüggvénye szerinti bázisban

A transzformáció inverze pedig:

$$f(x)=\frac{1}{C_g}\int_{-\infty}^{\infty}\frac{1}{a^2}\left(\int_{-\infty}^{\infty}W(a,b)\psi_{a,b}(x)\,db\right)da$$

Diszkrét waveletek

A jelfeldolgozásban időben vagy térben diszkrét értékekkel dolgozunk, ezért kiemelt fontossággal bír a wavelet transzformáció diszkrét alakja. A diszkrét transzformáció bázisfüggvényei az ún. *skálázó függvénnyel* adhatók meg:

$$\phi(x) = \sum_{k=0}^{N-1} c_k \phi(2x-k)$$

ahol a *k* egy eltolást, a kettes szorzó pedig egy összehúzást jelent. A végesszámú c_k együtthatót a normalizáció és az ortogonalitás feltételeiből határozhatjuk meg *(Abbott, 2003)*. Például *N* = 2 esetén $c_0 = c_1 = 1$, azaz

$$\phi(x) = \phi(2x) + \phi(2x-1)$$

amely az *Haar*-wavelet *apa waveletje*. Az apa wavelet segítségével a bázis (wavelet család) további tagjai is előállíthatók. Az *anya wavelet*:

$$\lambda(x) = \phi(2x) - \phi(2x-1)$$

A fiú-waveletek j-edik generációja:

$$\phi_{j,k}(x) = \phi\left(2^j x - k\right)$$

valamint a leány-waveletek j-edik generációja:

$$\lambda_{j,k}(x) = \lambda\left(2^j x - k\right)$$

A wavelet transzformáció hatékonyságát annak köszönheti, hogy egy bázisban szereplő függvények a *többskálás analízis*nek megfelelő zárt alterek sorozatának bázisaihoz tartoznak *(Aboufadel és Schlicker, 1999)*. Ennek megvilágításához tekintsünk egy négyelemű diszkrét jelet, R^4-beli vektort:

$$u = \{a_1, a_2, a_3, a_4\}$$

Definiáljunk egy $v(x) \in V_2$ függvényt a második generációs fiúkkal és az *u* diszkrét jel értékeivel, mint együtthatókkal:

$$v(x) = a_1\phi_{2,0}(x) + a_2\phi_{2,1}(x) + a_3\phi_{2,2}(x) + a_4\phi_{2,3}(x)$$

azaz

$$u = \left\{v(0), v\left(\frac{1}{4}\right), v\left(\frac{2}{4}\right), v\left(\frac{3}{4}\right)\right\}$$

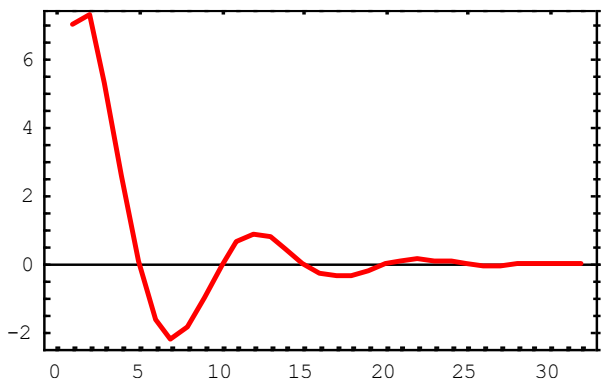
Nézzük ennek az v(x) függvénynek a wavelet transzformációját, egy olyan bázisban,amelyet az apa és anya waveletek, $\phi(x)$, $\lambda(x)$, valamint az első generációs lányok $\lambda_{1,0}(x)$ és $\lambda_{1,1}(x)$ képeznek. A v(x) függvény a V_2 négydimenziós altérben lesz. De V_2 előállítható, mint a V_1 kétdimenziós altér és ortogonális komplementer terének, V_1* a direkt szorzata. Az ortogonális dekompozíció alapján *(Popper, 2000)*, v(x) függvényt levetítjük a V_1 térbe, ahol a bázist az apa és anya wavelet alkotja. Legyen a vetület $v_1(x)$. A maradék a $v_1^*(x) = v_2(x) - v_1(x)$ kife-

jezhető a V_1^* komplementer tér bázisával, ahol a első generációs lányok alkotják a bázist. A $v_1(x)$ függvényt tovább vetítjük a V_0 altérbe, ahol a bázis az apa wavelet. Igy kapjuk a $v_0(x)$ függvényt. A maradék a $v_0^*(x) = v_1(x) - v_0(x)$ pedig kifejezhető a V_0^* ortogonális komplementer tér bázisával, amely az anya wavelet. A v(x) függvény ebben az új bázisban:

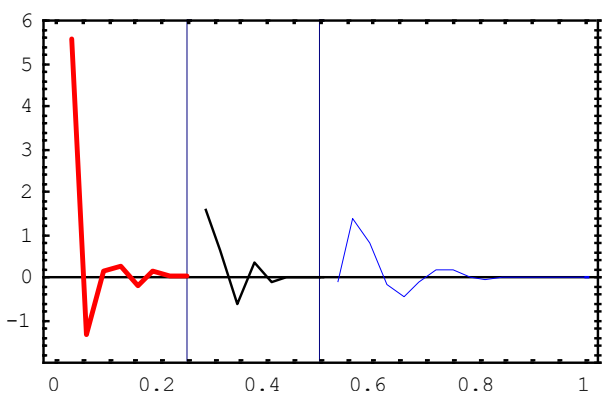
$$v(x) = \frac{1}{4}(a_1 + a_2 + a_3 + a_4)\phi(x) + \frac{1}{4}(a_1 + a_2 - a_3 - a_4)\lambda(x)$$
$$+ \frac{1}{2}(a_1 + a_2)\lambda_{1,0}(x) + \frac{1}{2}(a_3 + a_4)\lambda_{1,1}(x)$$

ahol tehát a , $\phi(x)$, $\lambda(x)$, $\lambda_{1,0}(x)$ és $\lambda_{1,1}(x)$ báziselemek a V_0, V_0^* és V_1^* ortogonális komplementer alterekhez tartoznak. Az új bázisban az együtthatók éppen az eredeti u jelnek a Haar wavelet családnak megfelelő diszkrét wavelet transzformáltját adják.

A jelkeret (image box) segítségével ábrázolhatjuk az eredeti jelet és annak közelítéseit,valamint az egyes alterekbe eső maradékait (rezidiumait). Ennek szemléltetésére tekintsünk egy 32 elemű, R^{32} -beli diszkrét jelet, amelyet egy V_5-beli függvénynek a [0,1] intervallumon való diszkretizációjával kaptunk.



4/a .ábra. Az eredeti V5 -beli függvény.

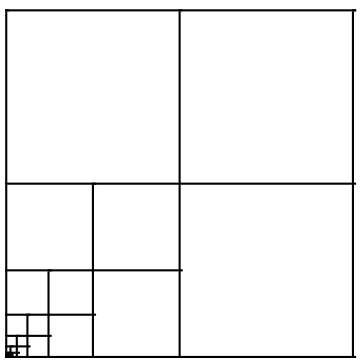


4/b .ábra. A jelkeret a V3, V3* és a V4* beli vetítéseket tartalmazza.

Ez a függvényközelítési (veszteséges jeltömörítési) technika terjeszthető ki kétdimenziós esetre is.

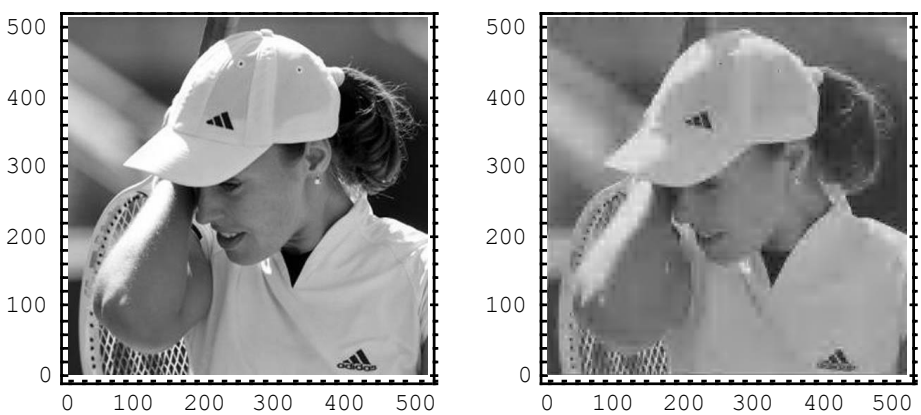
Képek tömörítése

Az előzőek alapján jól látszik, hogy a waveletek egyik legfontosabb alkalmazási területe a jeltömörítés, így képfeldolgozásban a képek tömörítése *(Saha, 2002)*. Tekintsük a *6. ábra* baloldalán látható képet. Alkalmazzunk ún. *Daubechies-féle* waveletet 4 együtthatóval. A kép mérete 512 × 512 pixel, azaz a vetítés a $V_9 * V_9$ térből a $V_1 * V_1$ térbe történik.



5.ábra. A kétdimenziós-jelkeretek a V9* V9 térből a V1* V1 térbe történik vetítés során.

A kétdimenziós- jelkeretek méretei: {{2, 2},{3 ,2, 2},{3, 4, 4},{3, 8, 8},{3, 16, 16},{3, 32, 32},{3, 64, 64},{3, 128, 128},{3, 256, 256}}. Ez összesen 262144 wavelet együtthatót jelent. Ebből tartsunk meg 2048 együtthatót, ez 128-szoros tömörítésnek felel meg. Az ezeknél kisebbeket nullázzuk ki, majd végezzük el az inverz transzformációt. Ábrázoljuk az eredeti és a tömörített képet:

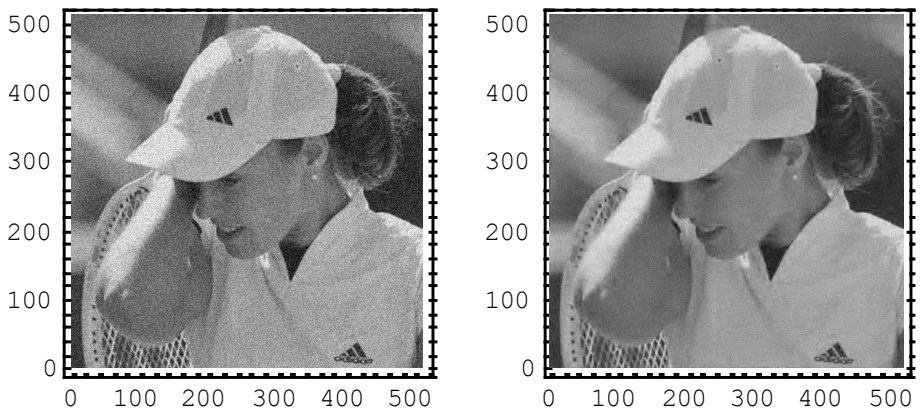


6. ábra. Az eredeti kép és annak 128-szoros tömörített változata.

A geografikus képek tömörítésére leghatékonyabbnak a wavelet transzformáción alapuló eljárások bizonyultak *(Triglav 2000, Barsi és társai 2003)*.

Zajszűrés

A waveletekkel történő zajszűrés is a valamilyen küszöb alatti transzformált komponensek elhagyásán alapszik. Figyelembe kell azonban venni, hogy a zaj a nagyobb abszolútértékű komponenseket is terheli. A zajszűrés, tehát mindig egy kompromisszumot jelent, hiszen a zaj szűrésével képi információt is vesztünk. Ennek a problémának a kezelése lehetséges az ún. *soft thresholding* alkalmazásával *(Vidakovic and Müller, 1991)*. Ez azt jelenti, hogy a küszöbérték feletti intenzitásokat is módosítjuk, azaz. Az eredeti képhez egyenletes eloszlású $\delta \in [0,100]$ zajt adunk, majd wavelet transzformáljuk. Küszöbértékként, $\tau = 28.85$ értékkel elvégezve a *soft thresholding*-ot, a visszatranszformálás után a zajos kép javítását kapjuk:



7. ábra. A zajos és a szűrés utáni kép.

Ez a szűrési eljárás gyakorlatban jobbnak bizonyult, mint az átlagoló (averaging) és a median szűrési technikán alapuló módszerek *(Mathsoft, 2000)*.

Mintafelismerés

A mintafelismerés általában valamilyen osztályozási algoritmuson alapszik, amely az osztályozást egy megadott tulajdonságtérben végzi. Egy ilyen tulajdonságtér lehet egy n×n pixelméret kép esetén az n×n hosszúságú vektorok tere, ahol a vektorok elemei a képpixelek intenzitásának értékei. Egy 128×128 méretű kép esetén ez 16384 elemet jelent. Ez az elemszám azonban a wavelet transzformáció segítségével drasztikusan lecsökkenthető anélkül, hogy az osztályozás sikeressége csorbát szenvedne. Egydimenziós esetben erre az ún. *feature extraction* eljárást *(Wang and Chan, 1998)* alkalmazzák. Itt most ennek eljárásnak egy módosított változatát mutatjuk be kétdimenziós esetre. Ez lényegében a többskálás analízis során létrejött alterekhez tartozó wavelet együtthatók energiatartalmának átlagolásán alapszik. Javaslatunk szerint a tulajdoságteret nem a pixelvektorok, hanem a wavelet transzformáció által generált alterekbe eső wavelet együtthatók átlagos energiatartalma jellemzi majd, azaz az n×n méretű vektorok helyett *k* méretű vektorokat kapunk ($n = 2^k$). Ez például azt jelenti, hogy egy 128×128 méretű kép esetén a hét elemű vektort kapunk a 16384 elemű helyett.

8. ábra. Hóemberek és dobókockák.

Válasszunk ki tíz - tíz hóembert illetve hatost mutató dobókockát, mindegyiket 128×128 pixelméretben.

9. ábra. A tíz kiválasztott hóember.

10. ábra. A tíz kiválasztott hatosértékű kocka.

Javaslatunk szerint a fenti képméret esetén (128 ×128) a wavelet transzformációval a képeket az eredeti a V_7*V_7 térből a V_1*V_1 térbe vetítjük. Az egyes alterek dimenziójának méretei a wavelet transzformáció kédimenziós- jelkeretében:

W = {{2, 2}, {3, 2, 2}, {3, 4, 4},{3, 8 ,8},{3, 16, 16},{3, 32, 32},{3, 64, 64}}

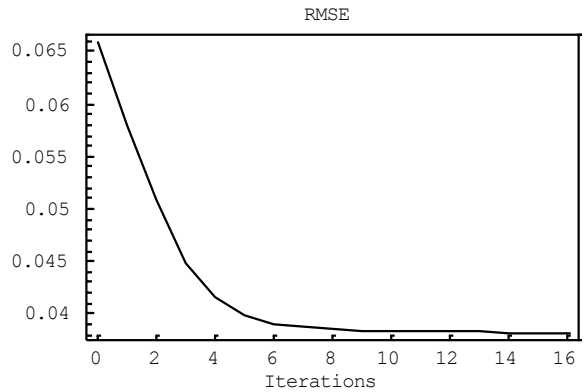
Az egyes alterekbe eső együtthatók energiai tartalmát, az altérbe tartozó waveletegyütthatók négyzetösszeg átlagának logaritmusa adja, azaz pl. az energia a V_m* V_m altérben:

$$\sigma_m = \log\left(\frac{1}{3\cdot 2^m}\sum_{i,j,k=1}^{\{3,2^m,2^m\}} W_{i,j,k}^2\right)$$

m = 2, 3,..., 6 esetén. Az m =1 esetre:

$$\sigma_1 = \log\left(\frac{1}{2}\sum_{j,k=1}^{\{2,2\}} W_{j,k}^2\right)$$

Ezek a skalár értékek adják a hételemű *feature vektorok* koordinátáit, amelyek alapján az osztályozás történhet, pl. egy neurális hálózattal felügyelt tanulás mellett. Emeljük ki balról a második hóember és balról a harmadik kocka vektorát és a többit, tanulóhalmazként felhasználva tanítsunk be egy RBF típusú neurális hálózatot egy rejtettrétegbeli csomóponttal úgy, hogy az a hóember esetén zérust és a kocka esetén egyet adjon kimenetként. A tanításra standard backpropagation módszert alkalmazva gyors konvergenciát kapunk:



11. ábra. A tanítás konvergenciája.

A kapott eredmények a tanulóhalmazbeli elemekre (hóemberek és kockák):

{{0.0425982},{0.0256432},{0.105469},{0.0302352},{0.00768577},{0.00108321},{0.0008
95952},{0.00226548},{0.015894},{1.05182},{0.912672},{1.00199},{1.02889},{0.989945}
,{1.00355},{0.987013},{1.00489}}

A második hóember és harmadik kocka esetén, amelyek nem voltak benne a tanulóhalmazban:

{{0.0800954},{0.770818}}

amelyek jól megközelítik az optimális {0, 1} értékeket. Nagyobb tanulóhalmazbeli mintaszám esetén több rejtettrétegbeli csomópont vehető fel és így még jobb felismerés várható.

Összefoglalás

A dolgozatban egy rövid áttekintést adtunk a waveletekről és a wavelet analízisről, majd bemutattuk alkalmazásukat a digitális képek tömörítésére, simítására és felismerésére. Egy új képfelismerési módszert javasoltunk, amellyel a tulajdonságtér dimenziója és így a felismerést osztályozással végző neurális hálózat mérete jelentősen csökkenthető a felismerés minőségének csorbítása nélkül. A módszer a többskálás analízis során létrejött ortogonális altereknek megfelelő wavelet együtthatók átlagolásán alapszik és az egydimenziós jelfeldolgozás *feature extraction* eljárásával rokonítható. A módszert példával illusztráltuk. A számításokat a *Mathematica* 5. verziójával végeztük, felhasználva annak *Wavelet Explorer* és *Neural Networks* alkalmazói csomagjait.

Hivatkozások

Abbott P (2003): Wavelets. An Introduction. *Department of Physics, University of Western Australia*, Nedlands WA 6907.

Aboufadel E and Schlicker S (1999): Discovering Wavelets, *John Wiley*, New York.

Barsi Á, Detrekői Á, Mélykúti G, Paláncz B, Winkler G (2003): Digitális ortofotók készítése és alkalmazási lehetőségei, *Geodézia és Kartográfia*, Vol.55. 2.szám. 3.old.

Goswami JC and Chan AK (1999): Fundamentals of Wavelets, Theory, Algorithms and Applications, *John* Wiley, New York.

Mathsoft (2000): Image Processing Extention Pack, *www.mathsoft.com.*

Popper Gy (2000): A funkcionálanalízis néhány fogalma Mathematica használatával, *Műegyetemi Kiadó*, Budapest.

Saha S (2002): Image Compression - from DCT to Wavelets. A Review. http://my.engr.ucdavis.edu/~ssaha/sahaimgcoding.html

Triglav J (2000): ECW: Wavelet Compression Beyond Limits?, *Geoinformatics*, Vol.3. Jan./Feb. pp.34 - 41.

Vidakovic B and Müller P (1991): Wavelets for Kids, *Durham, N.C.:Institute of Statistics and Decision Sciences*, Duke University.

Wang M and Chan AK (1998): Wavelet packet based time-frequency distribution and its application to radar imaging, *Int.J.Numer.Model.:Electron. Networks Devices Fields*, 11. pp. 21-40.

Závoti J (1999): A geodézia korszerű matematikai módszerei, *Geomatikai közlemények II.* 129-135. Bernstejn és társai (2002): Matematikai zsebkönyv, *TypoTEX Kiadó*, Budapest.

OBJEKTUM OSZTÁLYOZÁS LÉGI LÉZERSZKENNERES ADATOKBÓL

Tóvári Dániel, Thomas Vögtle***

Object classification method in laserscanning data *- The object classification can play a very important role in a lot of applications of airborne laserscanning data. The filtering process and the subsequent DTM generation using airborne laserscanning data can be significantly improved by classification of non-terrain objects (e.g. vegetation, buildings etc.). On the other hand classification can be also the first step of object modeling, like vegetation or building reconstruction for 3D city models, design of telecommunication networks, urban planning, or disaster management.*

A pixel-wise classification – especially when using laserscannning data - is limited in terms of reliability of its results. Therefore, the first step of this approach will be a segmentation of 3D objects. For each segment object-specific features (e.g. height texture or shape) are extracted and used for subsequent classification process. In this phase the presented method is based on raster data.

In a first step, a normalized DSM (nDSM) is generated by a pre-filtering process of the original laser data (DSM) by extracting only the ground points. This pre-filter is based on our convex concave hull approach. A nDSM is than generated by subtracting the filtered DTM from the original DSM. Now 3D objects (vegetation, buildings, some terrain points) can be segmented by means of specific a region growing algorithm on this nDSM.

Different kind of object oriented features are calculated for each segment, like height texture, border gradients, first/last pulse height differences, shape parameters or laser intensities. For the classification, fuzzy logic approach has been used. This method is presented in this paper.

A lézerszkenneres adatok feldolgozásának fejlődésével egyre nagyobb igény jelentkezik attribútumadatok kinyerésére is. Ebben a cikkben egy olyan módszer kerül bemutatásra, amely 3 osztályba (fa, épület, terep) sorolja a detektált objektumokat. Először egy normalizált felületmodellt hozunk létre úgy, hogy a digitális felületmodellből kivonjuk a terepi magasságokat. A létrejött 3D objektumok különböző jellemzőit számítjuk ki (alakjellemzők, első- utolsó impulzus differencia, határgradiens, intenzitás). A jellemzők alapján a fuzzy-logika segítségével döntjük el, hogy melyik osztályba tartoznak az egyes objektumok.

Kulcsszavak: Lidar, osztályozás, fuzzy-logika, növényzet, épületek, szűrés, intenzitás

Bevezetés

Az 1990-es években az olcsóbb szenzoroknak és a navigációs eszközök pontosságának nagymértékű javulásának köszönhetően óriási fejlődésnek indult a szakirodalomban ALS-nek (Airborne Laser Scanning), ALM-nek (Airborne Laser Mapping) vagy Lidar-nak (Light Detecting and Ranging) nevezett légi lézerszkenneres adatgyűjtés. A termékek minőségének javítása, a feldolgozási idő csökkentése mellett az egyre szélesebb körű felhasználhatóság, új alkalmazások kifejlesztése a mai kutatások legfőbb célja. A lézerszkenner adatokból nem csak geometriai adatokat nyerhetünk, hanem bizonyos attribútum adatokhoz is hozzájuthatunk.

**Institute of Photogrammetry and Remote Sensing, University of Karlsruhe*
76128 Karlsruhe, Englerstr. 7. Germany
E-mail: tovari@ipf.uni-karlsruhe.hu

Ebben a cikkben a karlsruhei egyetem Fotogrammetria és Távérzékelés Tanszékén fejlesztés alatt álló raszter struktúrán alapuló objektum osztályozási módszere kerül bemutatásra. A módszer egyelőre 3 osztályba sorolja a pontokat (fa, épület, terep), amit később további osztályokra szeretnénk kiterjeszteni.

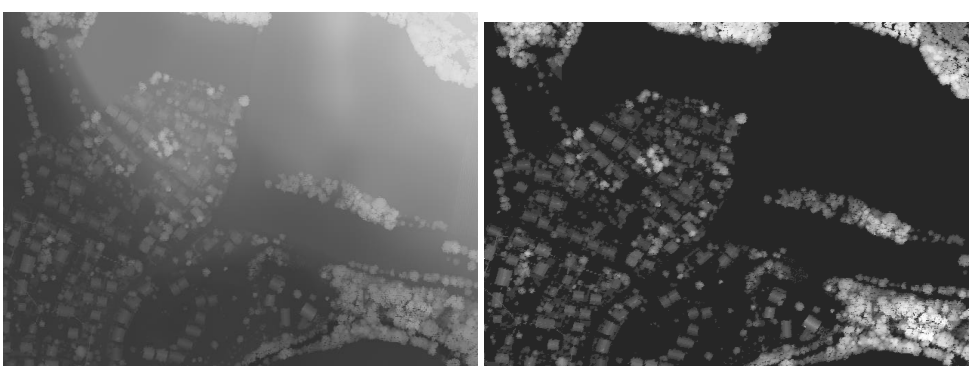
A lézeradatok osztályozása számos alkalmazás nagyon fontos része lehet. Egyfelől ez lehet az alapja az objektummodellezésnek, mint például a növényzet- vagy épületmodellezés, digitális városmodell készítése, katasztrófa menedzsment. Másfelől a digitális terepmodell előállításához szükséges szűrés minősége is javítható. Pusztán a pontok koordinátáiból nem lehet minden terepviszony mellett tökéletes eredménnyel elvégezni ezt a feladatot (Sithole, Vosselmann, 2003), a különböző szűrők mindegyike hibázik bizonyos körülmények között. Amennyiben meg tudjuk állapítani egy pixelről azt, hogy milyen osztályba tartozik, akkor ez alapján már az is könnyen eldönthető, hogy a terephez tartozik, vagy nem. A pixel alapú osztályozás azonban nem tud megfelelő eredményt produkálni, így az egy objektumhoz tartozó pixeleket egy egységként kezeljük. Ezeket az objektumokat már nagyobb biztonsággal lehet osztályozni.

Objektum detektálás

Az objektumok kiválogatása érdekében előszűréssel létesítünk egy normalizált felületmodellt (nDFM). Ez a modell a felületen lévő objektumokat redukálja a nulla szintre:

$$nDFM = DTM - DFM \tag{1}$$

Az karlsruhei egyetem Fotogrammetria és Távérzékelés Tanszékén egy speciális algoritmust fejlesztettek ki a digitális terepmodell generálására, lézerszkenner adatokból. A módszer egy burokkal borítja az adathalmazt úgy, hogy először a lokálisan (TIN-struktúrában) alacsonyan fekvő pontokkal közelíti a terepet. Ezután további pontokat ad a modellhez, amennyiben ezek a pontok megfelelnek bizonyos távolság és hajlás kritériumoknak (pl.: távolsága a jelenlegi háromszögekhez kisebb egy bizonyos távolságnál). Egy új pont, 3 újra osztja a háromszöget a TIN struktúrában. Az eljárás addig ismétlődik minden háromszögben, amíg található elfogadható pont. Az eredmény egy háromszöghálózat, mely jól közelíti a terepfelszínt (Hansen, Vögtle, 1999).



1. ábra. Digitális felszín modell (DFM) és a normalizált digitális felszín modell (nDFM).

Az előszűrőtől nem várunk el tökéletes eredményt. A cél az, hogy minden osztályozandó objektumot (növényzet, épületek) tartalmazzon az nDFM. Ekkor még előfordulhatnak a modellben tereppontok, extrém törések, tereplépcsők mentén (I. típusú hiba). Ezeket a részeket az osztályozás során visszasoroljuk a terep kategóriába. Ennél szűrésnél a legfontosabb

az, hogy ne maradjanak a terepmodellben nem odatartozó objektumok (II. típusú hiba), hiszen ebbe a modellbe még kerülhetnek vissza pontok, de kivételre már nem kerülhet sor a későbbiekben.

A következőkben a növényzet kiválogatása történik az eredeti adathalmazokból, majd az osztályozott növényzetet az nDFM-ből is eltávolítjuk. A növényzet felismerésére az első- és második impulzus közötti magasságkülönbségeket használjuk.

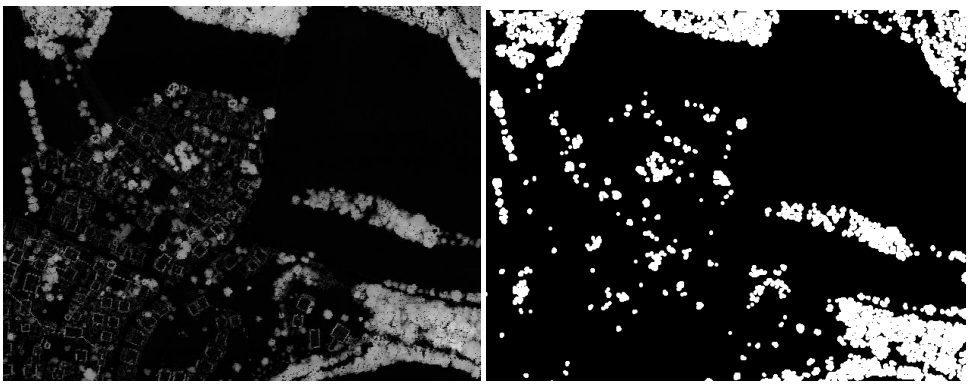
Első- utolsó visszaverődés differencia

A lézer divergenciájának következtében a földre érkező impulzus átmérője a 20-40 cm-t is eléri, így a kibocsátott impulzus nem csak egy bizonyos helyről és magasságból verődhet vissza. Ezért lehetséges például, hogy az impulzus első darabja falevélről, faágról vagy egy épület éles sarkáról visszaverődik, míg a többi része folyatatja útját a talaj felé és esetleg még további tárgyak is visszaverik az impulzus egy-egy részét, majd a maradékot a talaj irányítja vissza. A létező rendszerek többsége az első- és utolsó visszaverődést képes mérni, amennyiben a két visszaverődési pont magasságkülönbsége nagyobb a lézerimpulzus hosszának felénél (pl.: 5ns-os impulzushossznál ez 75 cm). Ebből következően az ennél kisebb magasságkülönbségek nem mérhetőek, a két visszaverődési hely azonos magasságban lesz az adathalmazban. Alacsony teraszok, bokrok így nem jelennek meg az ebből az adathalmazból képzett képen.

Növényzet detektálás

Az első és utolsó visszaverődés közötti magasságkülönbség tehát fák, távvezetékek, oszlopok és építmények mentén fordul elő. Míg az épületeknél csak az élek mentén jelentkezik magasság különbség, addig a növények egész területén differencia van a két impulzus között. A 2. ábrán jól látható, hogy míg az épületek élei vonalakként jelennek meg, a növényzet pixelei csoportokat alkotnak. Ezeket a csoportokat morfológiai szűrő segítségével lehet a legegyszerűbben eltávolítani. A nyitás nevű eljárással először csökkentjük a magasságkülönbséggel rendelkező területek méretét. Az erózió méretének helyes megválasztásával eltűnnek az épületek élei és a távvezetékek, a növényzetnek nem tűnik el számottevő része. A megmaradt területek dilatációjával a növényzet eredeti mérete helyreállítható. Természetesen nem lehet teljesen veszteségmentesen kiválogatni minden növényzetdarabot, a nyitás méreténél kisebb sugarú fák eltűnnek. Az első- utolsó visszaverődés differenciáról szóló részben leírtak alapján az alacsony növényzet sem osztályozható evvel a módszerrel.

A fák eltávolítása után az objektumok szegmentálása következik. Az nDFM-ben a nagy valószínűséggel egy objektumhoz tartozó pontokat összekapcsoljuk, így az azonos objektumhoz tartozó pontok együtt kezelhetőek, és az osztályozás könnyebben végrehajtható, eredménye tökéletesebb lesz. Egy speciális region growing eljárással hajtjuk végre a szegmentálást. A kiinduló pixelhez kapcsoljuk szomszédjait, ha a pontok magassága nagyobb egy meghatározott értéknél, valamint a szomszédos pontok magasságkülönbsége is teljesít egy kritériumot. Ez a két határérték a terep pontjainak kiszűrését segíti elő. Az objektum, vagy egy szegmensének széléig tart a szomszédos pontok összekapcsolása. Az eredmény egy különálló objektumokból álló halmaz, ahol a több darabból állók szegmensekre vannak osztva.



2. ábra. Első-utolsó impulzus differencia és a detektált növényzet.

Osztályozás

Az eljárás két részre osztható. Az elsőben az objektumok osztályozásához szükséges jellemzőiket állapítjuk meg, majd ezek alapján a fuzzy-logika segítségével osztályokba soroljuk őket.

Objektum jellemzők megállapítása

Az egyes szegmensek speciális jellemzőinek megállapításával kezdődik a folyamat.
A megbízható osztályozás érdekében a következő paraméterek kerülnek felhasználásra:

- a szegmensek határainak gradiense
- alakjellemzők
- magassági struktúra: magassági szórás
- intenzitás

A szegmenshatárok gradiense alkalmas arra, hogy megkülönböztessük a talajt az épületektől és a maradék növényzettől.

A legtöbb épület egyenes vonalakkal határolható körül, ami viszont nem mondható el a terep objektumairól vagy a növényzetről. A hagyományosan alkalmazott forma jellemzők (pl.: a „kompaktság") nem vezetnek megfelelő eredményre, ezért újakat kellett kidolgozni. Az épületek éleire általában viszonylag hosszú és párhuzamos vonalakat lehet illeszteni, összehasonlítva például a terepi objektumokkal vagy a növényzettel. Az alak jellemzésére ezért a 4-5 leghosszabb vonal párhuzamosságát használjuk. A magassági szórás értékek alkalmasak a növényzet (nem csak a fák) megkülönböztetésére.

Intenzitás értékek

A modern rendszerek manapság már képesek a visszaverődés ideje mellett a visszaverődés energiáját is mérni. Ez lehetővé teszi, hogy ne csak geometriai adatokhoz jussunk a mérésekből. A visszaérkező energia függ a visszaverődés helyének anyagminőségétől és a geometriájától. Így például az intenzitás képen az útburkolati jelek is felismerhetőek. A lézerimpulzus általában nem egy teljesen homogén felületről érkezik vissza és ezért az egy objektumról érkező intenzitásértékek is meglehetősen inhomogének. Emellett az egyes objektumtípusok nehezen osztályozhatóak ezen értékek alapján, hiszen gyakran egy osztályon belül is igen távoli értéktartományokban találhatunk objektumokat, valamint különböző objektumtípusok egyedei azonos értéktartományon belül is előfordulhatnak. Ezt az adatforrást egyelőre csupán ellenőrzésre használjuk az osztályozás során.

3. ábra. Intenzitás kép.

Fuzzy osztályozás

Az objektumok osztályozására a fuzzy-logika módszerét választottuk. Az eljárás 2 fő részből áll. Az elsőben az előbbiekben bemutatott objektum jellemzők fuzzyfikálása történik meg, vagyis az egyes jellemzők lefordítása fuzzy halmazokra. Minden jellemzőnél minden osztályhoz egy-egy függvényt rendelünk a tanulási fázisban. Ezeket a függvényeket tapasztalati úton határozzuk meg.

A második lépésben a fuzzy következtetés levonása történik, vagyis ezeket a halmazokat kombinálva meghatározzuk a végső következtetést. A tanszéki kutatások azt mutatják, hogy a legmegfelelőbb erre a feladatra a súlyozott összeg módszere. Ez azt jelenti, hogy minden osztály végértéke az egyes fuzzy halmazok súlyozott összegével lesz egyenlő. A magassági struktúra és alakjellemzőknél ez a súly az objektum méretétől függ. A kisebb objektumok alakjellemzője nem ad megbízható eredményt az osztályra vonatkozóan. Kis épületek magassági struktúra értékei például hasonlóak lehetnek a bokrok értékeivel.

A végső döntést tehát a szerint hozzuk meg, hogy az adott objektumnál melyik osztálynak van a legnagyobb értéke.

Az eredmények azt mutatják, hogy a nagyobb épületek és az erdős területek nagy biztonsággal osztályozhatók, míg a nagyon apró építmények méretük miatt néha rossz osztályba kerülnek.

Az adatgyűjtést TopoSys Falcon rendszerrel végezték. A durva hibáktól megszűrt adathalmazt raszteres struktúrába konvertáltuk. Az egy raszterre jutó mérések nagy száma miatt lehetőség nyílt a céloknak megfelelő pontot kiválasztani és ennek a magassági értékét adni a raszternek. A lehető legnagyobb magassági differenciák elérése érdekében az első visszaverődéseknél a maximum értéket, míg az utolsó visszaverődéseknél a legkisebb értéket vettük figyelembe, így az első impulzusból nyert raszter a látható felszínt közelíti, míg az utolsó impulzus rasztere a talajhoz legközelebb álló mérésekből áll. A szórásértékek meghatározásánál természetesen az összes pontot figyelembe vettük.

Összefoglalás

Ahogy azt már korábban említettük, ez a módszer fejlesztés alatt áll, hosszú út áll még a teljesen megbízható eredmények elérése és a folyamat nagymértékű automatizálása előtt. A tanszéken elvégzett 'Friedingen' próbaadathalmazon végrehajtott osztályozás (Steinle, Vögtle, 2003) több mint 90%-os pontossággal válogatta ki az épületeket, fákat és terepet, ami nagyon bíztató a további munka szempontjából. Mivel nem elég csupán 3 osztályba sorolni az objektumokat, ezért szeretnénk további osztályokat felvenni az objektumtípusok közé.

Köszönetnyilvánítás. Köszönjük a TopoSys GmbH-nak a rendelkezésünkre bocsátott adatokat és a „Graduiertenkolleg Naturkatastrophen" (www.gknk.uni-karlsruhe.de) támogatását.

Hivatkozások

References

Baltsavias EP (1999): Airborne laser scanning: basic relations and formulas, *ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing*, 54, 199–214.

Grauel A (1995): Fuzzy-Logik. Einführung in die Grundlagen mit Anwendungen. *Wissehschaftsverlag.*.

Hansen von W, Vögtle T (1999): Extraktion der Geländeoberfläche aus flugzeuggetragenen Laserscanner-Aufnahmen. *PFG*, 4, 229-236.

Sithole G, Vosselmann G (2003): Comparison of filtering algorithms. *Proceedings of the ISPRS working group III/3 workshop*. Dresden, Germany, 8-10 October.

Steinle E, Vögtle T (2000): Automated extraction and reconstruction of buildings in laserscanning data for disaster management. *Automatic Extraction of Man-Made Objectsfrom Aerial and Space Images (III), E. Baltsavias et. al. (eds.)*, Sweets & Zeitlinger, Lisse, The Nederlands, 927-934.

Steinle E, Vögtle T (2003): On the quality of object classification and automated building modelling based on laserscanning data. *Proceedings of the ISPRS working group III/3 workshop*. Dresden, Germany, 8-10 October.

Tóvári D (2002): Analysis of airborne laser scanner data, *Diplomamunka, BME.*

Wehr A, Lohr U (1999): Airborne laser scanning- an introduction and overview, *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 54,* 68-82.

TECHNOLÓGIAVÁLTÁS A TÉRINFORMATIKÁBAN: MODERN SZENZOROK

Charles K. Toth[*]

Technological changes in geoinformatics: Modern sensors *- Recent sensor and technological developments have led to radical changes in the geoinformation discipline. These include substantial changes in airborne surveying and photogrammetric data processing, the arrival of sub-meter accuracy satellite imagery, and the completion of the process of moving away from analog systems to totally digital geoinformation systems. The availability of digital data at the sensor level, combined with an almost unlimited computing power, enables the use of new algorithms of unprecedented complexity. The new mapping technologies are replacing the conventional techniques and increasing the applicability of geospatial data. This paper gives a short review of the main processes demonstrating the ongoing paradigm shift in geoinformation sciences and practice.*

Az elmúlt 4-5 év nagymértékű technológiai fejlődése radikális változásokat eredményezett a térinformatika tudományterületén, beleértve nagy jelentőségű változásokat a légi felmérésben és fotogrammetriai adatfeldolgozásban, a méter alatti pontosságot biztosító űrfelvételek megjelenését és a digitális eljárások teljes térnyerését a térinformatikában. A szenzor szinten megjelenő digitális adatok és a gyakorlatilag korlátlan számítástechnikai kapacitás eddig még példa nélkül álló algoritmusok alkalmazását teszik lehetővé. Az új térképészeti technológiák nemcsak felváltják a hagyományos módszereket, de megnövelik a térbeli adatok alkalmazhatóságát. A cikk rövid áttekintést ad a térinformatika tudomány és gyakorlat területén folyó paradigmaváltás főbb folyamatairól.

Bevezetés

Az utóbbi években a számítástechnika és szenzorok fejlődésének következtében a fotogrammetriában, távérzékelésben és térinformatikában radikális változások történtek. A fejlődést tovább gyorsítja, hogy az egyre összetettebb, számításigényesebb adatfeldolgozáshoz közel kimeríthetetlen számítási és tárolókapacitás áll rendelkezésre. Az új és fejlődő technológiák újabb alkalmazási területekre törnek be, kiegészítve vagy teljesen felváltva a már korábban alkalmazott mérési és feldolgozási módszereket.

Paradigmaváltás

Az említett tudományterületeken végbement paradigmaváltást az alábbi főbb változásokkal írhatjuk le:

- Statikus vs. kinematikus módszerek: A pontosabb mérési módszereknek, a fejlettebb számítástechnikai kapacitásnak köszönhetően már nemcsak a statikus mérések biztosíthatják a kívánt pontosságot, megbízhatóságot. A navigációs rendszereknek és direkt tájékozási módszereknek köszönhetően ma már kinematikus mérésekkel is nagy pontosság érhető el a legtöbb felmérő szenzor esetén. A hatékonyság jelentős növekedése pedig egyre bővülő alkalmazásokhoz vezet.

Center for Mapping, Ohio State University, 1216 Kinnear Road, Columbus, OH 43212-1154, USA
E-mail: toth@cfm.ohio-state.edu

- Pont vs. képi érzékelés: A modern képalkotó és képfeldolgozó berendezések segítségével egyre több ponton válthatja fel a földi/légi képi érzékelés a hagyományos, földi geodéziai felmérési módszereket. Ebben az esetben természetesen nincs szó teljes technológia-váltásról, inkább csak jelentős mértékű súlypont-áthelyezésről beszélhetünk. Eddig a légi felmérésnél dominált a képi érzékelés, mára a földi méréseknek is integrált része lett.
- Indirekt vs. direkt tájékozás: A nagypontosságú navigációs szenzorok megjelenésével először nyílt lehetőség a külső tájékozási elemek közvetlen fizikai mérésekkel történő meghatározására a légi fényképezés és más fejlődő távérzékelési eljárások esetén. LiDAR vagy IfSAR szenzorok esetén ez az egyetlen megoldás a tájékozási paraméterek meghatározására. A közvetett képi szenzortájékozás megjelenése jelentős megtakarítással jár egyrészt a terepi előkészítés jelentős csökkenése miatt, másrészt a tájékozási lépések elhagyása meggyorsítja feldolgozást.
- Passzív vs. aktív szenzorok: Korábban a légi és űrfelvételek adták a távérzékelt termékek zömét a térképészeti alkalmazásokban. A képi szenzorok csak megvilágított objektumok mérésére voltak alkalmasak, ami jelentős alkalmazási korlátozást jelentett. Légi felvételek csak világos nappal készíthetők, míg a műholdas szenzorok felhőmentes időjárást követeltek. A 90-es években azonban az IfSAR (radar) és LiDAR (lézeres aktív) felmérési technológiák olyan mértékben fejlődtek, hogy az aktív szenzorok is bevezetésre kerültek a távérzékelésben. Érdekes megemlíteni hogy bizonyos területeken, mint például felszín-modell készítésében az aktív szenzorok szinte teljesen kiszorították a hagyományos módszereket.
- Egyedi szenzor vs. szenzorcsoport: Több szenzor együttes alkalmazásával a felmérés eredményeként kapott információk megsokszorozhatók. Azonos vagy hasonló szenzorok esetében jelentősen növelhető a mérési redundancia, míg eltérő, kiegészítő szenzorok esetén a komplemens adat jelenti az információtartalom növekedését. Jó példa erre a 2001-es WTC katasztrófa felmérésekor alkalmazott szenzoregyüttes, ahol LiDAR, légifénykép, hőkamera és videokamera gyűjtötte az adatokat (1. Ábra). Több szenzor együttes alkalmazása a szenzorok adatainak, termékeinek tájékozását is megkönnyíti.
- Fizikai vs. nem fizikai modellezés.: Az újabb légi érzékelő szenzorok bevezetése több esetben a modellek jelentős komplexitás növekedéséhez vezetett. Például, a három érzékelősoros (3-line) digitális szkennerek tájékozásának leírása lényegesen összetettebb modellt igényel, mint egy hagyományos légi kamera kollinearitási egyenletei. Hasonlóképp a nagyfelbontású műholdakkal nyert képek tájékozási adatokkal való ellátása is a szokásostól eltérő modell alkalmazásához vezetett. A fenti folyamatok eredményeképp kerültek előtérbe a nem fizikai paramétereken alapuló leírások, mint a képi és tárgyi koordináták összekapcsolására leggyakrabban alkalmazott racionális függvények modellje.
- Egyedi- vs. együttes szenzor kalibráció: A légi felmérést végző szenzor platformpozíciójának, tulajdonképpen a teljes repülési trajektória meghatározására, a navigációt biztosító GPS/INS egység közvetlen fizikai méréseivel nyílt lehetőség. A navigációs és képi szenzorok kapcsolatát előzetesen kell nagy pontossággal meghatározni. Az adatfeldolgozás pontosságát, ami a számított földi koordináták pontosságában mérendő, együttesen határozza meg a képi szenzorok egyedi kalibrálása (belső tájékozás), a navigációs rendszer pontossága és a két szenzor kapcsolata (együttes külső tájékozás). Mivel a fenti modell egyirányú vezérlés, mind az egyedi mind az együttes szenzorkalibrálás rendkívül fontos az optimális pontosság eléréséhez.

- Kézi vs. automatikus feldolgozás: Az egyre növekvő mennyiségű mérési adat hatékony feldolgozása kézi módszerekkel nem gazdaságos. A hagyományos eljárásokban is erősödik az automatizálás szintje (pl. digitális fotogrammetria), míg az új rendszerek már eleve igyekeznek kihasználni az adott technológiai színvonalat és ennek megfelelően egyre kevesebb emberi beavatkozást követelnek.
- Lineáris vs. nemlineáris szenzor modell: Az analóg szenzorok és feldolgozási eljárások csak mérsékelten voltak alkalmasak nem-lineáris modellek alkalmazására. A digitális technika térnyerésével a helyzet gyökeresen megváltozott és lehetőség nyílt lényegében tetszőleges szenzor karakterisztika modellezésére. A hangsúly a lineáris modellről áthelyeződött a szenzor stabilitásra, s mivel a nemlineáris szenzor karakterisztika megbízhatóan kalibrálható, a kérdés csupán a kalibráció időbeli tartóssága.
- Utó- vs. valósidejű feldolgozás: Szintén a technológiai fejlődésnek köszönhető, hogy a digitális jelek formájában tárolt adatok még a felmérés idején bizonyos szintű feldolgozásra kerülhetnek. Valósidejű navigációs megoldással a szenzor tájékozás a képi adatszerzéssel egyidőben megoldható és az automatikus feldolgozásnak csak a számítási kapacitás szabhat határt. Például légi lézeres felmérés esetén akár már a repülő leszállásakor adott geodéziai rendszerbe tájékozott adatokat, digitális felszínmodellt kaphatunk.

A továbbiakban rövid áttekintést adunk a fenti folyamatok illusztrálására.

A múlt

A korábbi légitérképészeti, légifényképezési eljárásokat az analóg, metrikus kamerák használata jellemezte. Ezek a kamerák nagyon magas szintű technológiai kiforrottságot képviseltek és érthető módon az analóg technika utolsó képviselői maradtak. A lineáris CCD érzékelőkre épülő háromsoros kamerák és a különböző CCD-tömb érzékelőkre épülő kamerák mára azonban elérték és több területen túlszárnyalták az analóg kamerák minőségét. A legnehezebb feladat a megfelelő lefedés biztosítása volt – a CCD szenzorok mérete még mindig nem közelítette meg az analóg kamera 230 x 230 mm-es érzékelő felületét. Radiometriai felbontása azonban sokkal nagyobb az analóg filmhez viszonyítva. Fontos megemlíteni, hogy az emberi szem számára kellemesebb vizuális érzet mellett a lényegesen jobb radiometriai felbontás hatékonyabb automatikus adatfeldolgozást tesz lehetővé. A hely hiánya miatt mellőzzük a digitális kamerák bemutatását, helyette a légifelvételek felbontásának növekedésénél sokkal látványosabb űrfelvétel-felbontás javulását illusztráljuk (2. Ábra). A modern nagyfelbontású műholdképek terepi felbontása már 0.5 méter körüli, ami teljesen új alkalmazások felé nyithat új utakat az űrfelvételek számára.

2. Ábra. Űrfelvételek felbontásának javulása 60 m - 6 m - 0.6 m (Budapest, Műegyetem és környéke) DigitalGlobe Inc.

A jelen: modern szenzorok

Mobil térképészet

A térinformatikai adatok irányában megnőtt igények következtében a mobil térképezés a 90-es években indult fejlődésnek. Ennek legfőbb oka az első digitális kamerák (videó-formátum) megjelenése és a GPS elterjedése, fejlődése, melynek segítségével a képek tájékozásának feladata leegyszerűsödött. Emellett természetesen ma már a modern, nagyfelbontású kamerák jelentik a rendszer alapját (3. Ábra).

3. Ábra. Mobil térképező jármű, TransMap, Inc.

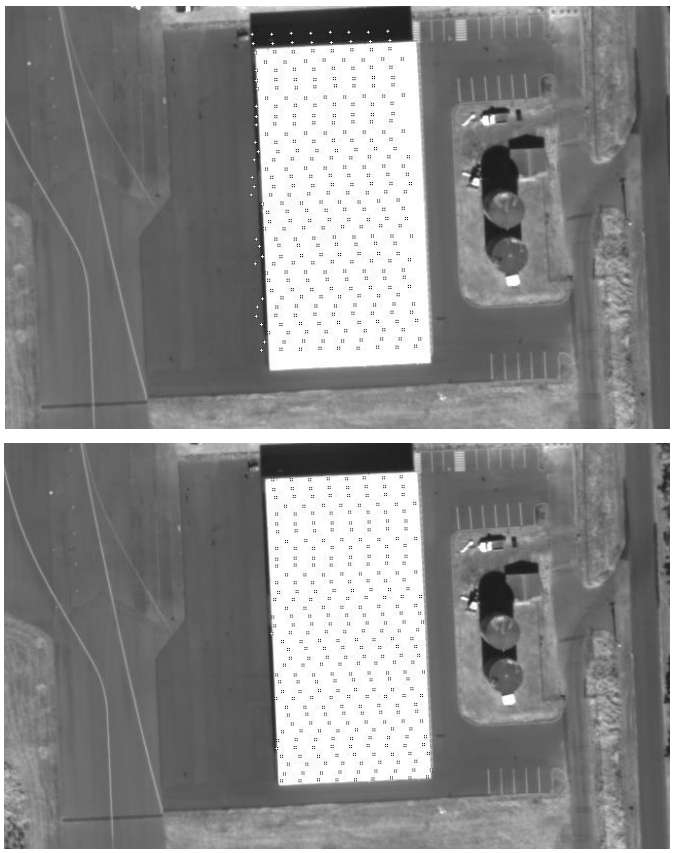
A mobil térképező rendszerek alkalmazása érdekes tapasztalatokkal szolgált. Hiába a nagy adatmennyiség, a sok kép, a lényeg az információ, amit a képekből kell kinyerni. A sok kép tájékozása sem történhet hagyományos módon, direkt tájékozásra van szükség, mint ahogy az adatfeldolgozásban is az automatikus térinformatikai módszereket kell előtérbe helyezni a nagy mennyiségű adathalmaz miatt.

Navigációs szenzorok

A navigációs szenzorok közvetlenül fizikai mérésekkel határozzák meg pozíciójukat és helyzetüket. A légi felmérésben navigációs szenzorként INS-szel (inerciális navigációs rendszer) támogatott GPS-t használnak (GPS kalibrált INS-t). Ezen rendszerek előnye, hogy közvetlen tájékozást tesznek lehetővé, mely egyes szenzorok esetén (pl. LiDAR, IfSAR) nélkülözhetetlen, továbbá nincs szükség terepi illesztőpontokra, így nehezen megközelíthető, vagy távoli területeken is lehetővé teszik a mérést. Ugyanakkor a kétféle navigációs szenzor hibaterjedése különböző, a GPS egy alacsony frekvenciájú abszolút pozícionáló szenzor, míg az INS egy nagy frekvenciájú relatív pozíció- és irányvektor-érzékelő.

A navigációs szenzorok további fejlesztésére ad lehetőséget a 3. GPS frekvencia használata, később a Galileo, az európai globális helymeghatározó rendszer elindítása. A differenciális GPS-mérések alkalmazását segítik a rohamosan terjedő földi bázisállomások, pl. Ohio államban már 60 km-en belül mindenhol található egy bázisállomás és a valós-idejű virtuális bázis állomás vezeték nélküli elérése a közeljövőben kerül bevezetésre.

A korszerű navigációs szenzorok lehetővé teszik a direkt tájékozás széleskörű alkalmazását, ahol a külső tájékozási elemeket közvetlenül a GPS/INS mérésekből határozzuk meg. A navigáció és a kamera (vagy egyéb szenzor) kapcsolatát (boresight miaslignment) háromszögeléssel vagy próbálkozással kell meghatározni (4. ábra).

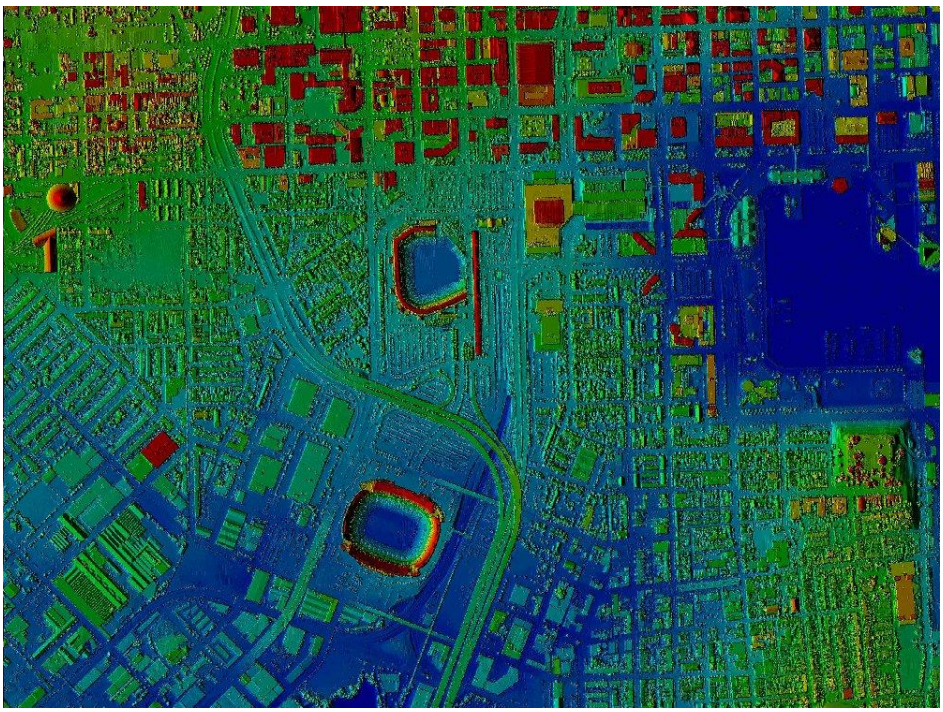


4. Ábra. LiDAR és digitális kamera boresight kalibrációja, kalibráció előtt, b, kalibráció után.

A direkt tájékozás hátrányaként említhető a földi pontokra eső nagyobb hibaténye zők megléte és a belső tájékozási elemek kompenzálásának a hiánya. Ugyanakkor direkt tájékozás esetén nincs szükség terepi illesztőpontokra, mely nagyban leegyszerűsíti a teljes mérést.

LiDAR – Light Detection and Ranging

A LiDAR a múlt évtizedben rohamos fejlődésnek indult aktív távérzékelési eszköz, mely saját kibocsátású energiát használ. A mérés nincs napszakhoz kötve, éjszaka is lehetséges. A tradícionális fotogrammetriával szemben közvetlen mérési módszer, a távolságmérés a szenzor és a térképezendő objektum fényterjedési idő mérésével történik. A LiDAR nem időjárásfüggetlen mérési módszer, kis pára ugyan nem zavarja a mérést, de ködben már szétszóródik a lézersugár. A légifotót számos előnye ellenére sem helyettesítheti, a tipikus felhasználó számára a LiDAR intenzitásképek nem elegendőek a kívánt vizuális információ kinyerésére (5-6. Ábra).



5. Ábra. LiDAR magasság kép, Optech, Inc.

6. Ábra. LiDAR intenzitás kép, Optech, Inc.

Az egyik legnagyobb feladat a LiDAR mérések előkészítésénél az GPS/INS és a lézerszenzor kalibrációja, a boresight misalignment. Ennek hibája, illetve a korrekció utáni állapot látható a következő ábrákon.

Összefoglalás

A leírtakból is látszik, hogy a fotogrammetria, a távérzékelés és a térinformatika területén az utóbbi években nagy változások történtek. Általános tendenciaként figyelhető meg a digitális technológiák teljes körű térnyerése, az automatikus adatfeldolgozás és -elemzés, melyet a nagy térinformatikai adatigény és a modern szenzorok gyűjtötte óriási adatmennyiségek tesznek szükségessé.

Irodalomjegyzék

Cramer M (2001): Performance of GPS/Inertial Solutions in Photogrammetry. 'Photogrammetric Week 2001' /Eds. Fritsch/Spiller), Herbert Wichmann Verlag, Heidelberg, 49-62.

Di K, Ma R and Li R (2003): Rational Functions and Potential for Rigorous Sensor Model Recovery. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 69; 1, 33-41.

Grejner-Brzezinska D (2001): Mobile Mapping Technology: Ten Years Later, Part I & II. *Surveying and Land Information Systems*, 61; 2-3, 79-94, 83-100.

Maas HG (2002): Methods for measuring height and planimetry discrepancies in airborne laserscanner data. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 68; 9, 933-940.

Toth KCh (2002): Sensor Integration in Airborne Mapping. *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, 51; 6, 1367—1373.

LIDAR A KÖZLEKEDÉSBEN

Lovas Tamás, Barsi Árpád*, Charles K. Toth***

LiDAR in Transportation *– Due to the increasing demand in transportation management, acquiring and processing accurate traffic flow data is essential. Besides the traditional methods, the transportation field needs to use new data collection technologies, such as remote sensing. Because of the availability of the high accuracy of navigation systems and the affordable price of the sensors, the LiDAR (Light Detecting and Ranging) technology established itself as a dominant remote sensing method in the last decade. LiDAR is conventionally used for topographic mapping, generating DSM/DEM data in a rather automated manner, but it also applicable to new areas, such as transportation monitoring and management. This paper deals with vehicle recognition and classification. Vehicles extracted from the accurate LiDAR point cloud are grouped into main categories based on their geometric parameters using three classification techniques (minimum distance method, rule-based classifier, neural networks). The results of the used recognition techniques are briefly compared*

A növekvő igények miatt közlekedésirányításban egyre több és több információ gyűjtésére, pontosabb és gyorsabb feldolgozására van szükség. A hagyományos technológiák mellett a közlekedési ágazat új adatgyűjtési módszerek alkalmazására kényszerül, köztük a modern távérzékelési technológiák felé is nyitott. Az elmúlt évtizedben a navigációs rendszerek pontosságának növekedése és a hardver költségek csökkenése nagy lendületet adott a lézeres felmérési technológia (angol terminológiában LiDAR – Light Detection and Ranging, azaz a légi lézeres távmérésen alapuló felmérés) elterjedésének. A hagyományosan topográfiai térképezésre, digitális felszínmodell előállítására alkalmazott lézeres felmérésnek is egyre szélesebb körű alkalmazása ismert, így számos kutatás foglalkozik a közlekedési alkalmazásokkal.

Jelen dolgozat az automatikus járműfelismeréssel, osztályba sorolással foglalkozik; a nagy pontosságú LiDAR pontfelhőből a leválogatott járművek geometriai paramétereik szerint egymástól elkülöníthetők, különböző osztályozási technológiákat alkalmazva (legkisebb távolság, szabály-alapú osztályozás, neurális hálózatok) automatikusan kategorizálhatók. Az eredmények értékelésénél az egyes módszerek is összehasonlításra kerülnek.

Kulcsszavak: Légi lézeres felmérés, közlekedési adatok, jármű-leválogatás

Bevezetés

Az elmúlt évtizedekben a motorizáció növekedése olyan mértéket öltött, hogy a közlekedésirányításban újabb és újabb adatnyerési technológiákat vetnek be a hatékonyabb forgalomszervezési, -irányítási feladatok megoldására. A közlekedési torlódások és vészhelyzetek okozta gazdasági, környezetvédelmi és baleseti károkat ugyanis egy határon túl már nem lehet az úthálózat bővítésével enyhíteni, az adott hálózaton belül kell megoldani a forgalom minél biztonságosabb elvezetését; ebben segítenek az intelligens közlekedési rendszerek (ITS – Intelligent Transportation System). Az ITS különböző szinteken működhet, a változtatható jelzésképű táblákkal vagy akár individuális navigációs rendszer segítségével kaphat információkat a járművezető a forgalomról, utak állapotáról *(Séber 2003)*.

Bármilyen formában is közlik az információkat, pontos, nagy mennyiségű, esetenként valós idejű adatokra van szükség. Hagyományosan statisztikai adatokat forgalomszám-

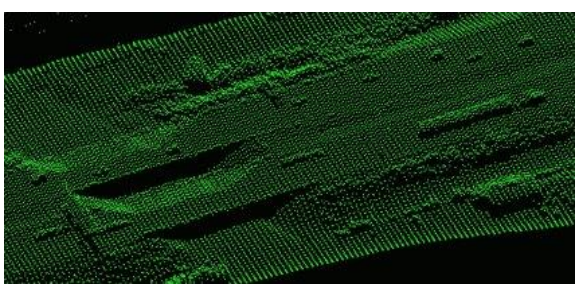
**BME, Fotogrammetria és Térinformatika Tanszék, 1111 Budapest, Műegyetem rkp. 3.*
***OSU, Center for Mapping, 1216 Kinnear Road, Columbus, OH 43212, USA*
E-mail: tlovas@mail.bmei.hu

lálási módszerekkel nyerhetünk, ennek automatikus módja a hazánkban is sok helyen alkalmazott hurokdetektor alkalmazása. Könnyen belátható azonban, hogy nagy területen (pl. egy autópálya teljes hosszán) történő forgalmi állapot elemzésére ezek a módszerek csak korlátozottan alkalmazhatóak. Kézenfekvőnek tűnik tehát a távérzékelési technológiák alkalmazása, hiszen ezen adatgyűjtési módszerek első helyen említett pozitív tulajdonságai közé sorolhatjuk a nagy mennyiségű, nagy területen végzett, gyors adatnyerést. Elsősorban természetesen a fényképeket és mozgóképeket használják közlekedési célokra, de ezeknek is vannak hátrányai, pl. sötétben nem használhatóak, másodlagos információk levezetése (pl. forgalomszámlálás) hosszú időt vesz igénybe.

A távérzékelési technológiák közt újnak számító lézeres felmérési technika nagy pontosságú, viszonylag sűrű, térbeli adatot nyújt, melyet közlekedési folyosók térképezésénél akár a forgalom detektálására is használhatunk *(Flood, 1999)*.

LiDAR adatok jellemzői

A légi lézerszkenner rendszer hardverösszetevői a lézerszenzor, a navigációs rendszer (GPS és inerciális navigációs rendszer – INS) és a hordozó (pl. repülőgép, helikopter). A mérés alapelve a következő: a szenzor lézersugarat bocsát ki a földfelszín felé és méri a visszaverődés idejét, amiből távolságot számol (lézertávmérő). Amennyiben a szenzor helyét és helyzetét pontosan ismerjük, a mért távolság alapján a visszaverődési pont koordinátája meghatározható. A gyakorlatban ez úgy néz ki, hogy a repülési irányra merőlegesen lézernyaláb pásztázza a tájat, miközben a repülőgép meghatározott sebességgel halad. Így ha mozgó tárgyakat (pl. járművek) térképezünk, azok a saját és a szenzor sebességének arányában rövidülnek, ill. hosszabbodnak, ami a későbbiekben a sebességbecsléshez adhat kiindulási alapot. A mért LiDAR adathalmaz tehát egy 3 dimenziós pontfelhő, melynek a sűrűsége kvázi homogén (a felmérési sáv szélein a szkenner tükör visszafordulásánál a pontok kis területen sűrűsödnek), a mozgó objektumok a sebességkülönbségek és a mozgásuk iránya függvényében torzulnak (1. ábra). *(Barsi et al. 2003)*



1. ábra. LiDAR pontfelhő.

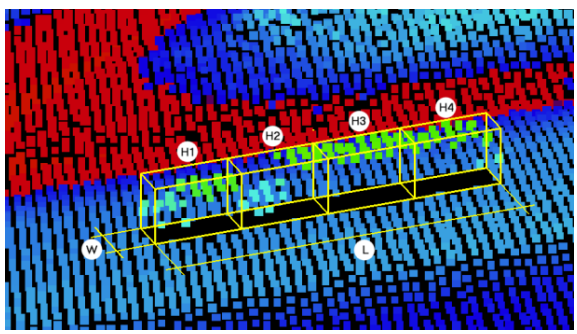
A LiDAR adatokból a következő közlekedési adatok levezetésének lehetőségeit kutatjuk: járművek száma, típusa, sebessége, utazási idő becslése, forgalom sűrűség (járművek száma adott szakaszon, adott sávban), útszakaszra be- és kilépő forgalom megfigyelése, kereszteződésben az egyes ágakon haladó forgalom mennyisége, valós idejű vészhelyzet vagy torlódás megfigyelése a közlekedésirányítás támogatására, forgalom eloszlásának/torlódásának vizsgálata adott szakaszon *(Toth et al. 2003)*. Jelen kutatás a LiDAR adatokra épülő félautomatikus jármű-kategorizálási módszereket elemzi. Vizsgálataink bizonyítják, hogy a megfelelő pontosságú és sűrűségű LiDAR pontfelhőből a járművek leválogathatóak, osztályozhatóak. Az egyes járműkategóriák közti megkülönböztetésre három osztályozó módszert (szabály-alapú, legkisebb távolsági, neurális hálózatot használó osztályozó) hasonlítottunk össze.

A munkához az amerikai Woolpert cég LiDAR adatai szolgáltak forrásul, melyet Ohio államban, a 35-ös út Dayton-i bevezető szakaszáról gyűjtöttek. Az 1.5 pont/m^2 pontsűrűség megfelelőnek bizonyult jelen vizsgálatinkhoz, de érdemes megjegyezni, hogy a modern légi lézeres felmérő szenzorok akár 5 pont/m^2-es sűrűségben is gyűjthetnek adatot. Az adott adathalmazból 72 jármű került leválogatásra, ezek képezték az osztályozási vizsgálatok alapját.

Járművek modellezése

Az osztályozáshoz szükség van a LiDAR pontfelhőből leválogatott járművekre. A leválogatás manuálisan mindig elvégezhető, a pontfelhő térbeli ábrázolásával a járművek könnyedén körülrajzolhatóak. Automatikus módszerre példa a képfeldolgozásból jól ismert küszöbölési technológia, amely bemenő adatai jelen esetben az intenzitás értékek helyett magassági adatok *(Pitas 2000)*. A lejtős utak okozta osztályozási hibák csökkentésére adaptív küszöbölési technológiát alkalmazhatunk; kellően kis távolságon futtatva a küszöbölést a különböző magasságú pontok egyértelműen különválaszthatóak.

A kategóriák megkülönböztetéséhez jellemző paramétereket kell alkalmaznunk, jelen esetben 4 ill. 6 paraméter került kiválasztásra, ezek a jármű hossztengelyén 4 egyenlő részre osztva a pontok átlagmagassága ill. a jármű hossza, szélessége (2. ábra).



2. ábra. A járműparaméterek (átlagmagasságok, hosszúság, szélesség).

Az adathalmazból leválogatott 72 autót ennek megfelelően paramétereztük és térbeli megjelenítésük alapján vizuálisan három fő csoportba kategorizáltuk. Az amerikai adathalmaz miatt az USA-ban jellemző járműeloszlást kellett figyelembe venni, így az osztályok a következőképp alakultak: személyautók, többcélú járművek (kis áruszállítók, terepjárók, mini buszok) és teherautók.

A paraméter-tér dimenziójának csökkentése érdekében főkomponens analízist (PCA – Principal Component Analysis) hajtottunk végre. Osztályozásnál a főkomponens analízis gyakran használt módszer, amikor az objektumok formáját, mintáját leíró paraméterek közt korreláció van. Az elemzés kimutatta, hogy az információtartalom nagy része két paraméterben koncentrálódik, az ezekhez tartozó sajátvektorokkal végrehajtott főkomponens-transzformációval a 72 járművet 2 dimenziós paraméter-síkba lehet transzformálni, ahol az egyes kategóriák jól láthatóan elkülönülnek.

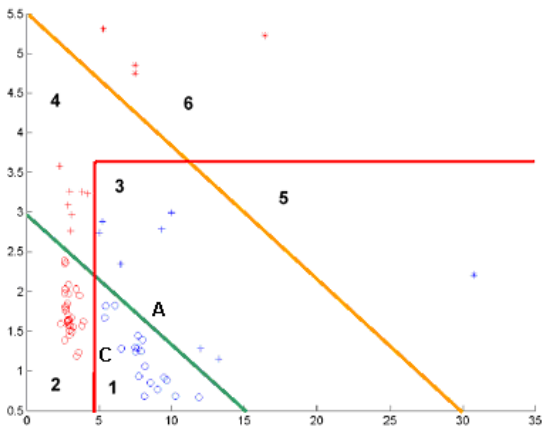
Járművek felismerése

Az osztályozáshoz három módszert alkalmaztunk ugyanazzal a közös céllal, hogy a járműveket három olyan kategóriába soroljuk, ahol alosztályként a haladási irányuk közt is különbséget tudunk tenni. Ezek alapján a hat csoport (ábrákon a jeleik): 1 – személyautók repü-

lés irányában (kék o), 2 – személyautók ellenkező irányban (piros o), 3 – többcélú járművek rep. ir. (kék +), 4 – többcélú járművek ell. ir. (piros +), 5 – teherautók rep. ir. (kék *) 6 – teherautók ell. ir. (piros *). A felismerési eljárás alapját az ohio-i adathalmaz autói adták, a tesztelésekhez azonban két független forrásból, Michigan-ből és Ontario-ból származó LiDAR pontfelhőt használtunk.

Szabály-alapú osztályozó

A szabály-alapú osztályozó a 6-paraméteres adatsoron végrehajtott főkomponens analízis eredményeként kapott 2 dimenzióba transzformált jellemzők eloszlása alapján levezetett döntési szabályokra épül (3. ábra).



3. ábra. Járművek szegmentálása

Az ábrán jól látható az egyes kategóriák éles elkülönülése, így az egyes objektumok automatikusan is osztályba sorolhatók egyszerű szabályok segítségével, pl. az 1. kategória (személyautók) objektumai az *A* és *C vonal,* továbbá az *x tengely* által határolt területen találhatóak. Az *A vonal* definíciója:

$$y = a_A x + b_A = \frac{0.5-3}{15} x + 3 \tag{1}$$

ahol x és y a két használt főkomponens. A *C vonal*:

$$x = 4.5 \tag{2}$$

A kategória szabálya ezután:

$$(y < -\frac{2.5}{15} x + 3)\ AND\ (x > 4.5)\ AND\ (y > 0) \tag{3}$$

A 3. kategória (többcélú járművek a repülés irányában haladva) klasztere már bonyolultabb határvonallal rendelkezik, ennek szabálya:

$$\begin{aligned}&(y > a_A x + b_A) AND (y < a_B x + b_B) AND \\ &(x > x_C) AND (y > c_D) AND (y > 0)\end{aligned} \tag{4}$$

Látható, hogy bármelyik kategóriára egyértelműen szabályt lehet felállítani. Bármely új elem (jármű) megjelenésekor azonban a szabályok újradefiniálására lehet szükség.

Legrövidebb távolság módszere

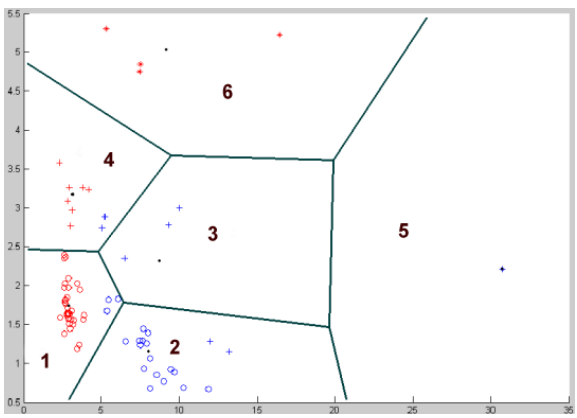
A következő alkalmazott osztályozási technológia egy alapvető statisztikai módszer volt: a legrövidebb távolság módszere. Az osztályozó az osztályok középpontjának meghatározásán alapult, melyet a komponensek átlagolásával kapunk meg. Az osztályozó a mintaelemet a legközelebb lévő középponthoz tartozó csoportba sorolja az euklédeszi távolság kiszámításával, 2 dimenziós esetben (Duda, 2001):

$$D_j = \sqrt{(x - \bar{x}_j)^2 + (y - \bar{y}_j)^2} \tag{5}$$

Ahol a *j* osztály középpontjának koordinátái $\bar{x}_j$ és $\bar{y}_j$. Az osztályozás a (6)-os egyenlet kiértékelésén alapszik:

$$C = \arg\min_j (D_j) \quad j = 1, 2, \ldots 6 \tag{6}$$

Ez a módszer egyszerű és gyors. Az új elemeknél minden esetben az osztályok középpontjainak (vagy súlypontjainak) újraszámolására van szükség. A Voronoi tesszelációként megjelenített osztályok és középpontjaik láthatóak a következő ábrán (4. ábra).



4. ábra. Járművek szegmentálása a legkisebb távolság módszerével (Voronoi tesszeláció)

Mesterséges neurális hálózatot használó osztályozó

A *back-propagation* (visszaterjesztés) algoritmussal operáló neurális hálózatok tulajdonságok alapján taníthatóak. A gyakorlati feladatok megoldása általában 3 rétegű hálózatot kíván, ilyen struktúrát alkalmaztunk a tesztünkben is. A legegyszerűbb hálózati struktúra megtalálásához a következő stratégiát követtük: létrehoztunk egy kevés neuronból álló hálózatot és ezt tanítottuk. Ha a felismerési pontosság elérte a kívánt szintet, akkor a tervezési szakasz lezárult, ellenkező esetben egy újabb neuron hozzáadására került sor. Az új neuronokat először a második réteghez adjuk hozzá, aztán az elsőhöz. Ez az iteráló módszer a legkiegyensúlyozottabb elfogadható neurális hálóstruktúrát eredményezi. A hálózatok első és második rétegének transzferfüggvényei szigmoid függvények, a harmadik rétegét lináris függvények alkotják, így téve lehetővé az osztályok azonosítóinak direkt meghatározását. A tanítás Levenberg-Marquard algoritmussal történt (Demuth, 1998), a tanítási lépések maximális száma 70 és a várt hálózati hibaérték 0.1 volt. A hálózat hibája a négyzetes középhiba (mean square error – MSE) módszerével került meghatározásra, a végén az eredmény a legközelebbi egész számhoz lett kerekítve.

Vizsgálatainkban a fenti módszert alkalmazva 2-2-1-es szerkezetű volt a kiinduló hálózat. A hálózatok hozzáadása a 6-6-1-es struktúránál ért véget, 8 hálózatnak volt 10-nél kisebb felismerési hibája (13.8 %). Ebből a hálózat-halmazból a legegyszerűbbet választottuk ki, aminek a felépítése: 3-4-1-es.

Eredmények

A kifejlesztett három osztályozót az ohioi tanuló adathalmazon, az ohioi és michigani halmazon és végül egy Ontario-ból származó adatsorral kiegészített kombinált halmazon teszteltük. Az első teszt (mintán belüli teszt) a tanulóterületként alkalmazott ohioi állományon csak az algoritmusok működését ellenőrző vizsgálat volt. A I. táblázat mutatja a három eljárás eredményeit.

I. táblázat. A 3 osztályozási módszer összehasonlítása.

adathalmazok (járművek száma)	*Szabály-alapú*	*Legrövidebb távolság*	*Neurális hálózat*
Ohio (72 jármű)	0 (0%)	8 (11.1%)	2 (2.8%)
Ohio + Michigan (87)	2 (2.3%)	12 (13.8%)	8 (9.2%)
Ohio + Michigan + Ontario (102)	2 (2.3%)	17 (16.7%)	16 (15.7%)

A szabály-alapú osztályozó tökéletesen azonosította a tulajdonságokat, míg a másik két módszer relatíve alacsony hibával hajtotta végre a felismerést. Az összes módszerben a legtöbbször előforduló téves azonosítás a repülés irányában haladó személyautók és a többcélú járművek között történt, hiszen ezek hossza hasonló és sok személyautónak van a többcélú járművekhez hasonló alakja (pl. kombik). A II. táblázatban a haladási irány figyelmen kívül hagyásával nyert eredmények láthatók.

II. táblázat. Az osztályozási hibák a haladási irány figyelmen kívül hagyásával.

Adathalmazok (járművek száma)	*Szabály-alapú*	*Legrövidebb távolság*	*Neurális hálózat*
Ohio (72 jármű)	0 (0%)	4 (5.6%)	2 (2.8%)
Ohio + Michigan (87)	2 (2.3%)	8 (9.2%)	8 (9.2%)
Ohio + Michigan + Ontario (102)	2 (2.3%)	10 (9.8%)	14 (13.7%)

Az Ohio-Michigan-Ontario kombinált állományon végzett teszt igazolja a módszerek hatékonyságát, természetesen más állományokon, más paraméterekkel gyűjtött LiDAR adatokon végzett tesztek elvégzésére is szükség van.

Egyéb közlekedési alkalmazások

Osztályozás: A fenti példa a járművek kategorizálását mutatta be. Ez alapvető közlekedési elemzéseken kívül, ahol egyszerűen egy útszakasz forgalmi terhelését kívánjuk modellezni (egy kamion útpálya-terhelése a személyautókhoz képest ezerszeres!) alkalmas lehet még környezeti terhelések vizsgálatára (általánosságban a nagyobb autók kevésbé környezetkímélők) vagy a mostanában megfigyelhető tendencia szerint a jövőben elterjedt útdíj-ellenőrző rendszerek számára nyújthat hasznos adatokat.

Forgalomszámlálás: A kategorizáláson kívül a leválogatott járművek egyszerű forgalomszámlálásra is alkalmasak, persze a hagyományos számlálási módszertől eltérően itt

nem egy keresztmetszet terhelését adja meg egy adott időintervallumban, hanem egy szakasz terhelését gyakorlatilag egy adott időpontban. Ez annyival ad több információt, hogy az adott útszakaszon a forgalom eltérő sűrűsége (pl. lehajtók körül, kereszteződések tájékán) is kimutatható.

Forgalmi irányok terhelése: A kereszteződéseket és a kereszteződésekbe futó utakat térképezve megállapítható az egyes irányok terhelése. A városi és országúti környezetben a kanyarodósávok terhelésének meghatározásával a forgalomirányításnak nyújthat hasznos segítséget, különböző időpontokban gyűjtött adatsorral a közlekedési lámpák kalibrálhatók, adott esetben a kanyarodósávok létesítése vagy megszüntetése is a LiDAR adatokból levezetett terhelési információkra támaszkodhat. Autópályákon a lehajtók és felhajtók forgalma (és annak összetétele!) határozható meg, így megkönnyítve ezzel a torlódásos, balesetveszélyes helyek kiszűrését, a forgalomirányítás számára lehetővé teszi a sebességkorlátozások, lehajtó sávok felülvizsgálatát.

Sebességbecslés: A már leválogatott és osztályba sorolt járművek további elemzésekre adnak lehetőséget. Ahogy már korábban említettük a mért jármű alakzatok a repülő és saját sebességük függvényében torzulnak, mert a LiDAR szenzor egy repülőgépen az út felett halad és mozgó járműveket térképez; szerencsés esetben (amikor a repülő és a jármű haladási iránya párhuzamos) csak hossztorzulás lép fel. A járművek tényleges hossza, a járművek torzult hossza és a repülő sebességének ismeretében a járművek sebessége meghatározható. Kellő pontosságú (3-5 pont/m^2) pontfelhő esetén az állományban szereplő hossz pontosan meghatározható (1-2 dm-es középhibával), a repülő sebessége a navigációs rendszereknek köszönhetően szintén ismert, az egyetlen bizonytalan tényező a járművek tényleges hossza, melyre csak becslést végezhetünk. Ha ismerjük a jármű kategóriáját, akkor egy bizonyos megbízhatósággal meghatározhatjuk a hosszának várható értékét, majd hasonló megbízhatósággal megbecsülhetjük annak sebességét. A tanulmányban említett kategóriák közül a teherautók esetén meglehetősen pontos sebességbecslést adhatunk, hiszen az USA-ban elterjedt 18 kerekű kamionok hossza a vontatótól függően (aminek típusa az adatokból szintén meghatározható) 19-21m (Ramprakash 2003). A gondot a többi kategória okozza, ugyanis a többcélú járművek bár formájukban jelentősen különböznek a személyautóktól, de hosszukban már kevésbé, különösen az USA-ban, ahol a személyautók között is nagyobb a hosszabb járművek aránya. Itt is lehet azonban a becslést finomítani, hiszen pl. a nyílt rakterű kis áruszállítók (pickup-ok) hosszainak kisebb a szórása, mint az egyterűeknek (van-ek). Sajnos a vizsgálatokhoz az amerikai útfelméréshez hasonló európai állomány nem állt rendelkezésre.

Vészhelyzet ill. torlódás monitoring: Alkalomszerűen, nagy baleset esetén vagy előre ismert torlódásnál készített lézeres felmérés adataival a torlódás kialakulásának ill. feloszlásának lefolyását, menetét, az elkerülés lehetőségeit lehet megfigyelni.

Összefoglalás

Az eredmények igazolják, hogy a LiDAR adatok alkalmasak további közlekedési adatok levezetésére. Az összes felismerési módszer 80%-nál jobb eredménnyel azonosította az egyes járműveket, melyeket egy megfelelő tanuló állománnyal paramétereztünk és két független adathalmazzal kiegészítve teszteltünk. Az eredmények a vizsgálatokhoz használt LiDAR állományok mérsékelt pontsűrűsége (1.5 pont/m^2) fényében kifejezetten biztatóak. Reméljük hogy a jelen kutatás folytatásaként lehetőség nyílik pontosabb, nagy sűrűségű állományokon történő vizsgálatokra is. Az így leválogatott és osztályozott járművek további közlekedési elemzésekre adnak lehetőséget, melyek remélhetőleg a technológia elterjedésével hasznos segítséget nyújthatnak a jövőben a forgalomirányításban, forgalomszervezésben, vészhelyzetek felderítésében.

Köszönetnyilvánítás

A munka egy része az amerikai NCRST-F projekt keretében történt. Ezúton fejezzük ki köszönetünket a Woolpert LCC és Optech International cégeknek a LiDAR adatokért.

Hivatkozások

Barsi Á, Detrekői Á, Lovas T, Tóvári D (2003): Adatgyűjtés légi lézerszletapogatással, *Geodézia és Kartográfia*, Budapest, LV; 7, 10-17.

Demuth H, Beale M (1998): Neural Network Toolbox, Matlab User's Guide, The MathWorks, Natick Flood, M (1999): www.airbornelasermapping.com.

Pitas, I (2000): Digital Image Algorithms and Applications, *John Wiley & Sons, Inc.* Ramprakash V (2003): Traffic flow estaimation from Lidar data, *Thesis work.*

Séber Cs (2003): Dinamikus közlekedési információk megjelenítése az interneten, *Diplomamunka*, p 78.

Toth C, Barsi Á, Lovas T (2003): Vehicle Recognition from LiDAR Data, *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*, XXXIV; Part 3/WG13, 162-166.

Toth C, Grejner-Brzezinska D, Lovas T (2003): Traffic Flow Estimates from LiDAR Data, *Proc. ASPRS Annual Conference*, May 5-9, 203-212, CD ROM.

TÉRINFORMATIKA A KÖZLEKEDÉSBEN

Barsi Árpád, Lovas Tamás**

Geoinformatics in the transportation *– The paper illustrates the executed research tasks of the last years focusing on road transportation. The achieved results have been proved, that the application of the geomatical data collection has the potential to derive excellent information from digital aerial and satellite imagery, thus the transportation can be supported by effective analyses. Various methodologies are also noticeable proving the integrity role of geoinformatics.*

A cikkben az utóbbi időben elvégzett közlekedési témájú kutatásokat mutatom be. Az eredmények igazolják, hogy a térinformatika részeként tekintett adatnyerési módszerek alkalmazásával kiválóan használható információ vezethető le digitális légi és űrfelvételekből, majd hatékony adatelemző technikákkal a közúti közlekedés támogatható. A kutatásokon keresztül változatos módszertant is meg lehet figyelni, ami szintén a térinformatika integráló szerepét bizonyítja.

Kulcsszavak: térinformatika, digitális fotogrammetria, adatelemzés, közlekedés

Bevezetés

Napjaink közúti közlekedése jelentős változáson ment és megy folyamatosan keresztül. A járművek egyre gyorsabbak, egyre gazdaságosabbak és (ha olcsóbbak nem is mindig, de) egyre elérhetőbbek lesznek. Ennek következtében számuk fokozatosan emelkedik. A megnövekedett mennyiségű forgalmat egyre jobban növekvő úthálózattal és hatékony forgalmi menedzsmenttel lehet kezelni. Ehhez azonban jó minőségű, helyhez, térhez köthető adatokkal kell rendelkeznünk, illetve a tervezéshez, fejlesztéshez pontosabb, naprakészebb és jobb minőségű információra van szükség. Ennek kielégítésében a különféle térinformatikai módszerek jutnak mind növekvő szerephez.

Tanulmányomban megkísérlem néhány példával bemutatni, hogy mekkora jelentősége van a korszerű térinformatikai eszközöknek, mind az adatnyerés, mind pedig az elemzés terén.

Adatnyerés térinformatikai módszerekkel

Elsőként tekintsük át a térinformatikai rendszerekben megtalálható, vagy legalábbis azokhoz kapcsolható hatékony adatnyerési módszereket. A térinformációs rendszerekben (GIS rendszerekben) az alapelemnek tekintett objektumok egyidejűleg rendelkeznek geometriai és attribútum (azaz szakadat) információval.

Ha a geometriai adatok beszerzésével kezdjük, meg kell vizsgálnunk, hogy milyen szenzorok jöhetnek számításba. A közlekedési feladatok támogatásához részletes információkra van szükség, emiatt a részletgazdag felmérési-adatnyerési módszereket alkalmazzák. Az egyik ilyen eljáráscsoport a képeken, képi technológiákon alapuló digitális fotogrammetria, valamint ehhez szorosan kapcsoló távérzékelés. Ezeknek a kép alapú technológiáknak a fő célpontját, vagyis a használt képállományt a nagyobb méretarányú légifényképek és/vagy a nagyfelbontású űrfelvételek jelentik.

**BME Fotogrammetria és Térinformatika Tanszék*
1111Budapest, Műegyetem rkp. 3.K.I.19.
E-mail: barsi@eik.bme.hu

Mindkét iménti technika kiválóan képes az utak s a rajtuk mozgó közlekedési objektumok beazonosítására és mozgásuk leírására. A fenti diszciplínák bevetésével készülnek a navigációhoz szükséges adattárházak, adatbázisok. A légifényképekből levezetett ortofotók síkrajzi értelemben helyükön ábrázolják a tereptárgyakat, így az utakat, tereket, hidakat, stb. Ezeknek az ortofotóknak a segítségével kiválóan lehet úthálózati térképezést végezni. A munkához eleinte kizárólag manuális módszereket alkalmaztak, azonban a hatalmas adatmennyiség hatékony kezelésére, valamint az élő emberi munka lehetőség szerinti csökkentésére fokozott érdeklődés irányul az automatikus eljárások felé.

A különféle útfelismerési megoldások alapos teszteken mentek keresztül, napjainkra néhány módszer a gyakorlatban is eredményesen használhatónak bizonyult. Az automatizálás végrehajtásához igen szerteágazó módszereket valósítottak meg a kutatók: a különféle képfeldolgozási módszereket ötvözték a mesterséges intelligencia eszközeivel (fuzzy logika, szakértői rendszerek, neurális hálózatok, ágensek stb.). Speciális operátorokat dolgoztak ki *(*például *Steger 1998),* amelyek a képekből megjelölik az utakat (1. ábra), majd a kapott útkészlet elemeit elemző eljárásokkal (például legrövidebb összeköttetés keresése) verifikálják *(Wiedemann 2002)*.

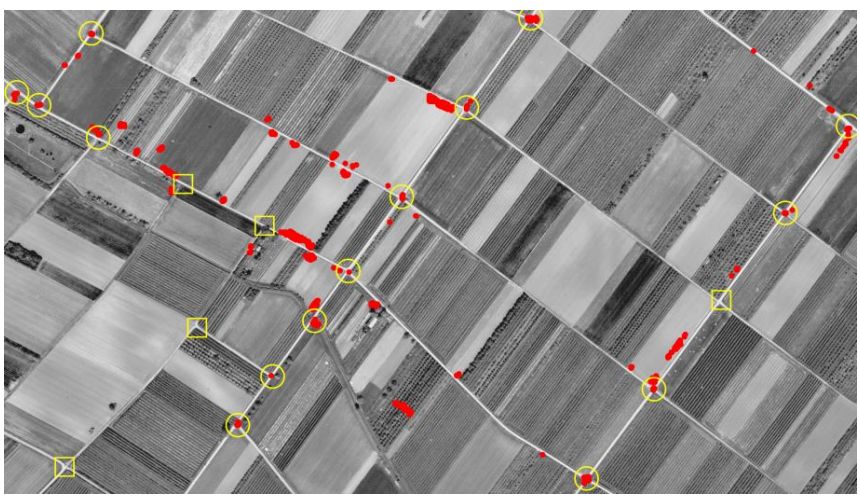
1. ábra. Úthálózati geometria felismerése Steger-operátorral.

Az úthálózat geometriai jellemzői mellett egyre komolyabb jelentősége van az attribútumoknak (2. ábra). A korszerű navigációs rendszerek adatbázisaiban néhány százra is tehető a tárolt szakadatok száma. Ezek gyors és hatékony begyűjtéséhez szintén érdemes a modern módszerekre támaszkodni. A tapasztalatok alapján a képekből a navigációhoz szükséges szakadatok kisebb hányada nyerhető ki, azok azonban az egyre jobban automatizálódó módszerekkel mind jobban kezelhetők *(Bakos 2001, Barsi et al. 2003a)*.

A geometriai adatnyerés során nem csupán az utakat lehet közvetlen módszerekkel felismerni, detektálni. Független adatnyerési módszernek tekinthetők azok a törekvések, amelyek az utak kereszteződéseit, találkozási pontjait nyomozzák (3. ábra). Ez utóbbi technikák igen jó szolgálatot tehetnek függetlenül elvégzett adatminőségi vizsgálatban is. *(Barsi et al. 2003b)*

Az adatnyerés további fontos eleme az utakon tapasztalható forgalom meghatározása. Ebben a kérdéskörben gyakorlatilag két kérdés merülhet fel: (1) milyen járművek, járműosztályok, típusok alkotják a forgalmat, és (2) mekkora követési idővel vagy sűrűséggel haladnak az úton.

2. ábra. Attribútum-gyűjtés közvetlenül légifényképről: sávszám-térkép.



3. ábra. Közúti csomópontok (kereszteződések) detektálása neurális hálózatokkal. A hálózat a pontokkal jelzett helyeken azonosított csomópontot, a körök a helyes felismerést, a négyzetek a hiányos felismerést jelzik.

A járműtípusok azonosításához kiválóan lehet használni a repülőgép fedélzetére szerelt lézerszkenner rendszert. A lézerszkenner a szenzor alatt elhaladó terep felszínének letapogatását végzi, s állít elő egy pontfelhőt. Ennek feldolgozása során az úton közlekedő járművek elkülöníthetők a burkolattól, sőt járműosztályuk is megállapítható. A végrehajtott osztályozás megbízhatósága eléri a 85-90 %-ot. *(Lovas et al. 2003, Toth et al. 2003a)*

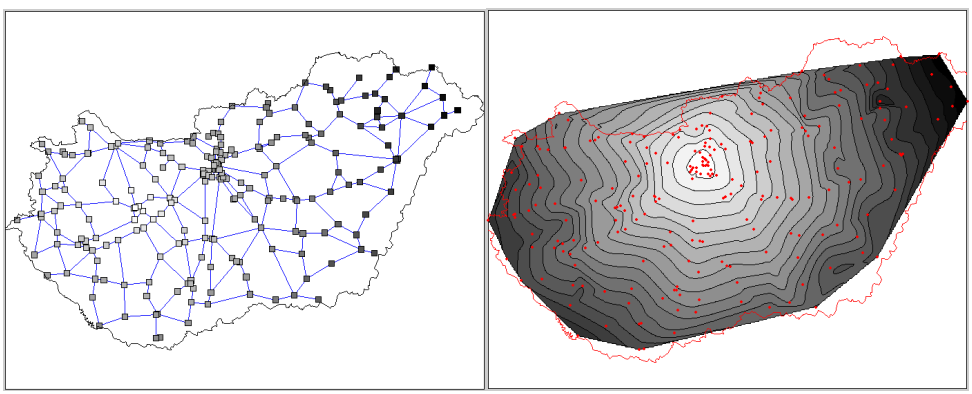
A járművek képelemző eljárásokkal kiválóan azonosíthatók légifényképeken is. Amennyiben a nem egyetlen képet, hanem képsorozatot készítünk a vizsgált területről, az egymás utáni képeken azonosított járművek felismerésével és azonosításával lehetőség nyílik arra, hogy a forgalom sebességét illetve a járműfolyam eloszlását meghatározzuk *(Toth 2003b)*. A képsorozatot repülőgépről, helikopterről vagy ballonról egyaránt készíthetjük.

Úthálózati elemzések

A térinformatika módszerei kitűnő elemzési lehetőségeket jelentenek hálózatok tanulmányozásához. A következő fejezetben Magyarország főútvonalhálózatán elvégzett különféle vizsgálatokat mutatom be, majd Veszprém megye úthálózata alapján elvégzett elemzéseimet ismertetem.

Az úthálózat az ország autópályáinak és főútvonalainak digitalizálásával készült. A digitalizálás 1:100 000-es topográfiai térképről történt, majd az elágazásokat csomópontoknak definiáltuk. A csomópontok között egyeneseket húztunk, amelyek az úthálózati gráf logikai összeköttetéseit, az éleket képezték. A digitalizáláskor meghatározott úthosszokat pedig attribútumként rendeltük az élekhez.

Az elemzések során elsőként meghatároztuk minden csomópont legrövidebb távolságát minden csomóponttól. E számítás elvégzéséhez a Warshall-algoritmust választottuk, mivel ez a módszer ekkora méretű gráf esetében viszonylag gyorsan képes a teljes összekötöttség kezelésére és a legrövidebb távolságmátrix (***Dn***) előállítására. A továbbiakban ennek a mátrixnak a felhasználásával kaptuk az eredményeket. A távolságmátrix négyzetes mátrix, amelynek soraiban az egyes csomópontokból az összes csomópontba vezető legrövidebb út értékei szerepelnek. Ha egy kiválasztott sort veszünk, majd a számértékekhez sötétedő színskálát rendelünk, amellyel a gráf csomópontjait megjeleníthetjük, a 4. ábra bal oldalán látható elérhetőségi képet készíthetjük el. Az ábrán Veszprémre vonatkozóan az ország többi közúti csomópontjának távolsága látható. A diszkréten elhelyezkedő pontok alapján szabályos rács interpolálható, amelyből izovonalakat vezethetünk le. Az ábra jobb oldalán Budapest Kosztolányi Dezső téri csomópontra vonatkozó elérhetőségek látszanak. A harmadfokú polinomos interpolációt a gráfot körülvevő konvex burok területén végeztük el, majd a távolság növekedésével fokozatosan sötétedően kiszíneztük az izovonalak közét. Megfigyelhetjük, hogy a sokat emlegetett Budapest központúság jól látszik az interpolált ábrán.

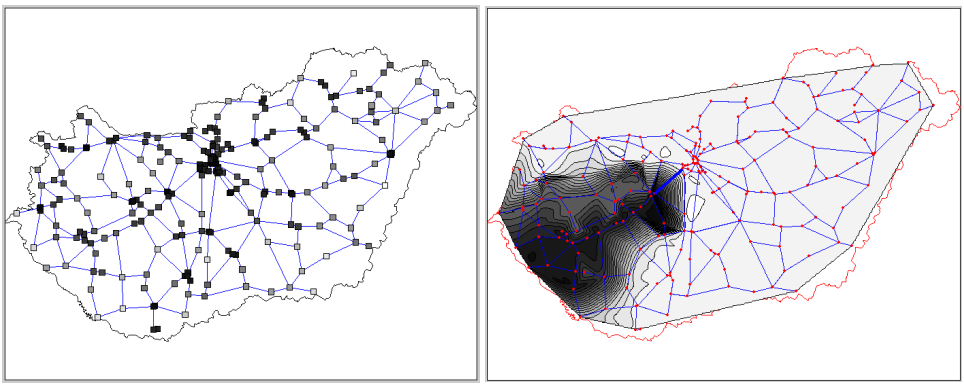


4. ábra. Az úthálózati gráf elérhetőség szerinti színezése Veszprémre vonatkozóan (bal ábra) és az interpolált térkép Budapestre (jobb ábra). Az ábrán pontok jelzik a csomópont helyét.

Az úthálózati legrövedebb távolságok kiszámításával meghatározhatjuk minden csomópontra a hozzá legközelebbi csomópont távolságát. E számérték jól mutatja a gráf lokális sűrűsödési helyeit, ahol a járművezetőnek nagyobb figyelemre van szüksége ahhoz, hogy megtalálja a számára követendő utat. Az 5. ábra bal oldalán így kiszámított navigációs hálózati bonyolultsági térkép látható, amin a sötétebb csomópontok találhatók az úthálózat sűrűbb részein.

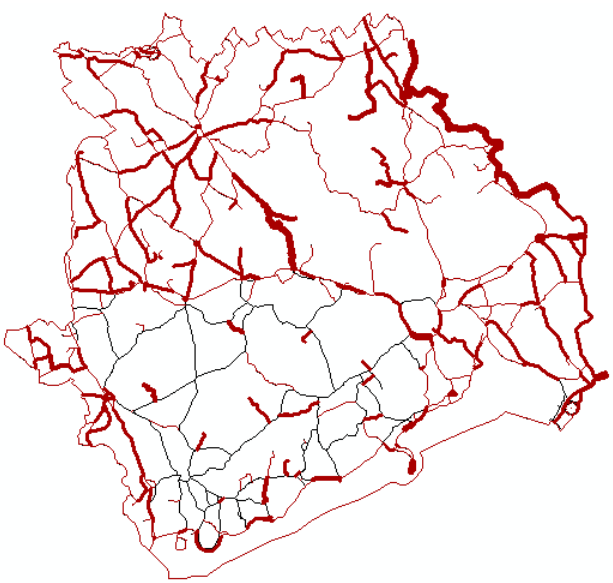
A gráf segítségével szintén kiválóan lehet megállapítani, hogy az egyes utak, azok szakaszai milyen fontosak az ország közlekedése szempontjából. Az 5. ábra jobb oldalán

olyan térképet készítettünk, amelyen az M7-es autópálya hatása látható. A szimuláció során kiszámítottuk a gráf ***Dn*** mátrixát úgy is, hogy kihagytuk a vizsgált útszakaszt. A kétféleképp számított mátrix különbségeként megkaphatjuk minden csomópontra a szakasz kiesése miatti útnövekedést.



5. ábra. Navigációs bonyolultsági térkép a csomópontok legközelebbi szomszédai szerint (bal ábra), illetve az útnövekedés alakulása az M7-es autópálya kiesésével (jobb ábra)

Az úthálózati elemzések között kiemelkedő fontosságú lehet a balesetek szerinti analízisek. Veszprém megye közúthálózatára elvégzett adatgyűjtés után meghatározhatjuk, hogy mely utakon, illetve azok mely szakaszain következtek be halálos kimenetelű, súlyos vagy könnyű sérülés, mely szakaszon gyakoriak a nyári ráfutásos balesetek és hol fordulnak elő a hajnali kerékpáros balesetek. *Marosi 1999*-es adatgyűjtése alapján készült a 6. ábrán látható baleseti térkép, amely a könnyű sérüléssel járó balesetek abszolút száma szerint ábrázolja eltérő vastagsággal a megye útjait.



6. ábra. Veszprém megye könnyű sérüléseket mutató baleseti térképe.

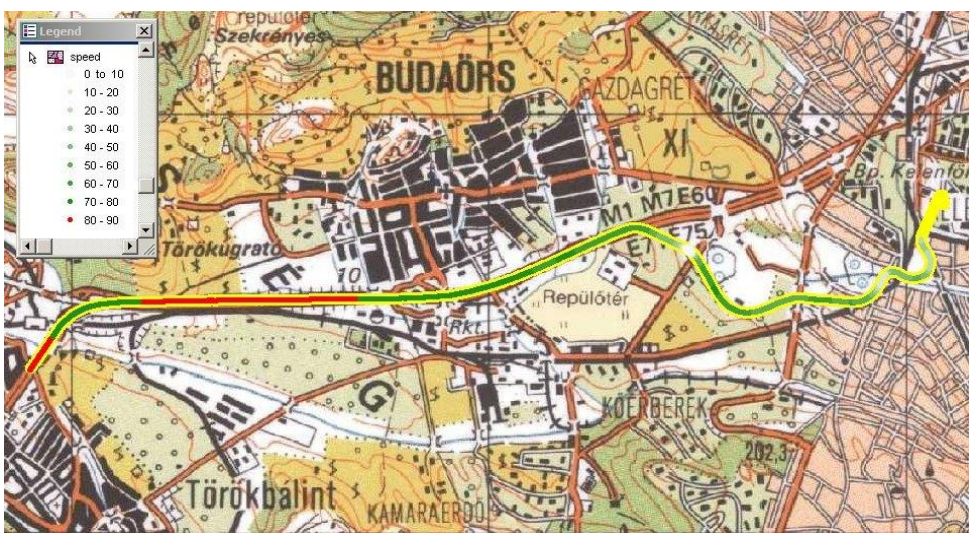
Járműdinamikai mérések elemzése

Jelen fejezetben a Nemzeti Kutatás-Fejlesztési Program keretében elvégzett kísérletek eredményeit mutatom be. A „Haszonjármű forgalom irányítása fedélzeti és távinformáció felhasználásával" című projekt kutatásában egy 13.5 tonnás 3-tengelyes MAN F2000 típusú kamion fedélzetén elhelyezett többféle szenzor valamint egy GPS-vevő adatait dolgoztuk fel, majd integráltuk térinformatikai környezetbe.

A fedélzeti egységbe a motorról, a sebességváltóról, a tengelykapcsolóról, a fékrendszerről, valamint a jármű kormánykerekéről és pedáljairól érkeztek adatok több mint 10 Hz-es frekvenciával. A GPS-vevő másodpercenként végzett koordináta-meghatározását szintén rögzítettük. Mindkét típusú mérést elláttuk egy közös órán leolvasott „időbélyeggel", amelynek segítségével a kétféle rendszer szinkronizálható volt. A GPS-mérésből egy a tanszéken korábban kifejlesztett mesterséges neurális hálózat alkalmazásával számítottuk közvetlenül a térképezésben és a térinformatikai rendszerben használt EOV-koordinátákat. A szinkronizálással minden szenzorméréshez is helyet (azaz koordinátát) rendelhettünk, majd a GIS rendszerbe töltöttük azokat. A számított helyhez attribútumként rendeltük a szenzoradatokat.

A kamion tesztmérése 2002 novemberében történt Kiskunlacháza és Budapest között. A jármű útvonala az 51-es út, M0-ás elkerülő, M7-es autópálya, majd az ún. Egérút mentén vezetett. Az M1-M7-es autópályák közös budaörsi szakaszán mutatom be a kidolgozott elemzési technikákat.

A 7. ábra a kamion sebességét mutatja olyan jelkulccsal, amelyben a zöld egyre sötétedő árnyalataival jeleztük a sebesség növekedését a szabályos tartományon belül és piros mutatja azt a helyet a jármű a megengedett sebességnél gyorsabban haladt.

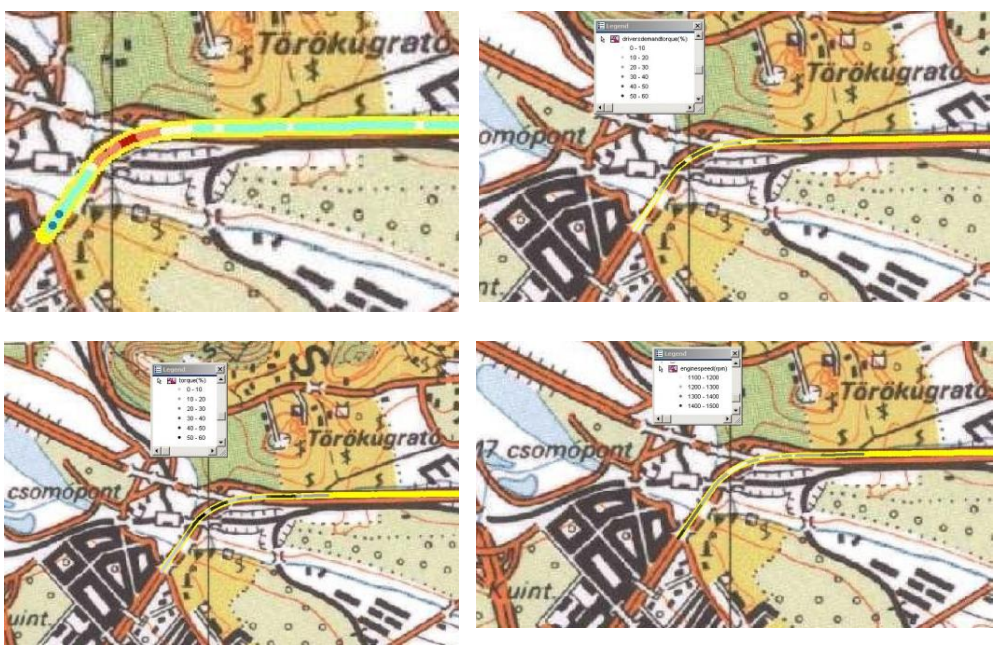


7. ábra. A kamion sebességének alakulása Budaörs térségében

Megfigyelhető, hogy az autópálya elhagyása után a keresztútnál a forgalomirányító jelzőlámpa pirosat mutatott, emiatt a kamion megállni kényszerült. A jármű mozgásának pontosabb alakulását mutatja a gyorsulás-térkép (8. ábra), amelyen eleinte többszöri szakaszos fékezés, majd fokozatos gyorsítás látható a kereszteződés környékén.

8. ábra. Gyorsulás-térkép az „Egérút" kezdeti szakaszára. A szakaszos fékezést intenzív gyorsítás követette.

A térinformatikai elemzés talán legtöbb információval szolgáló eredménye a járművezető viselkedésére utal. A 9. ábrán bemutatom, hogy az ún. érdi lejtő alján hogyan adott fokozatosan gázt a vezető a lejtés megváltozásának függvényében. Ennek a beavatkozásnak a hatására a motor által leadott nyomaték alakulása és a fordulatszám megváltozása jól látható és összevethető.



9. ábra. Az érdi lejtő lejtéstérképe (bal felső ábra), a gázpedál állásának tematikus térképe (jobb felső ábra), a motor leadott nyomatékának (bal alsó) és fordulatszámának (jobb alsó) térképe.

Összefoglalás

Cikkemben kísérletet tettem arra, hogy néhány kísérleti példán keresztül bemutassam a térinformatika eszköztárának alkalmazását a közúti közlekedés szolgálatában.

Megállapítható, hogy a modern képalkotó berendezések és módszerek, valamint az azokra épülő egyre nagyobb automatizáltságot elérő feldolgozási eljárások nagy mértékben támogatják a közlekedési feladatok megoldásához szükséges adatgyűjtést. A különböző megoldások ötvözete biztosíthatja azt a homogén alapot, amelyre GIS adatbázist lehet építeni, s amelyet terepi, felszíni mérésekkel kiválóan lehet kiegészíteni.

Az úthálózat kiértékelésével képezhető egy gráfstruktúra, amely hatékony algoritmusoknak köszönhetően további információ előállítására alkalmas (navigációs támogatás). A gráf segítségével nemcsak a kézenfekvő „melyik a legrövidebb út A-ból B-be" típusú kérdés válaszolható meg, hanem képet kaphatunk a hálózat szerkezetéről, a benne megtalálható utak fontosságáról is. Amennyiben az útobjektumokhoz közlekedési balesetek adatait is hozzá tudjuk kapcsolni, alapos forgalombiztonsági elemzéseket tudunk végrehajtani.

A hatékony adatelemző metódusoknak köszönhetően lehetőség nyílik arra is, hogy korábban nem vizsgált összefüggéseket tudjunk feltárni, mint tettük azt a járművezetői viselkedés elemzésével.

Bízom benne, hogy a tanulmányban ismertetett eredmények kellőképpen bemutatták azt is, hogy a korszerű térinformatika eszköztárában, az egyes konkrét rendszerekben mekkora jövőbeli lehetőség rejlik.

Köszönetnyilvánítás

A szerző ezúton fejezi ki köszönetét a Humboldt Alapítványnak, ami lehetővé tette, hogy egy éven keresztül Németországban digitális fotogrammetriai kutatásokat végezzen. E kutatásokban használt képállományért köszönet a Bundesamt für Kartographie und Geodäsie (BKG) WIPKA projektjének. A járműdinamikai fejezetben leírt kamionmérések elvégzéséért köszönettel tartozom a Knorr Bremse Kft-nek és az MTA SZTAKI-nak.

Hivatkozások

Bakos G (2001): Járműnavigációs rendszer létrehozása térinformatikai környezetben, *Diplomaterv*, Budapest.

Barsi Á, Lovas T, Bakos G (2003a): Mapping of city traffic network from digital aerial images, *in: Benes, T. (Ed.): Geoinformation for European-wide Integration,* Millpress, Rotterdam, 659-664.

Barsi Á, Heipke C (2003b): Artificial neural networks for the detection of road junctions in aerial images, *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing,* XXXIV, Part 3/W8, 113-118.

Marosi G (1999): Közlekedésbiztonsági adatbázis kialakítása térinformatikai eszközökkel, *Diplomaterv,* Budapest.

Lovas T, Barsi Á (2003): Lézeres felmérési technológiák alkalmazása közlekedési adatnyerésre, *Geomatikai Közlemények,* Sopron, 5, 327-334.

Steger C (1998): Unbiased Extraction of Curvilinear Structures from 2D and 3D Images, *Dissertation, Herbert Utz Verlag*, München.

Toth CK, Barsi Á, Lovas T (2003a): Vehicle Recognition from LiDAR Data, *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing,* XXXIV, Part 3/W13, 162-166.

Toth CK, G-Brzezinska D, Merry C (2003b): Supporting Traffic Flow Management with High-Definition Imagery, *ISPRS-Earsel Joint Workshop High Resolution Mapping from Space,* Hannover, p. 6.

Wiedemann C (2002): Extraktion von Straßennetzen aus optischen Satellitenbilddaten, *Dissertation, DGK*, München.

KÉPALAPÚ AUTÓNAVIGÁCIÓS RENDSZER

*Tóth Zoltán**

Image-based driver's guidance system *- The paper present a low-cost navigation system, which is based on digital terrestial images. The database of the test area is filled by digital images about road junctions, which guarantees better guiding instructions for the drivers. The paper gives an overview about the field works, the network modelling, and the required software developing. Finally the use of developed system is shown on an example executed in Budapest.*

A cikk bemutat egy alacsony költségű autó navigációs rendszert, melynek adatbázisát kiegészítettük az útkereszteződésekről készített fényképekkel, mely megoldás könnyebb tájékozódási lehetőséget biztosít a hagyományos rendszerekhez képest. Áttekintést ad a terepi adatgyűjtés, a hálózatépítés, valamint a szükséges szoftverfejlesztés lépéseiről, végül bemutatja a fejlesztett rendszer működését egy budapesti tesztterületen.

Kulcsszavak: Navigáció, Információs rendszerek, Adatstruktúra

Bevezetés

Napjainkban az ún. alacsony költségű (low-cost) autó navigációs rendszerek megjelenésével egyre nagyobb teret nyer ez az eddig csak egy szűk vásárlói réteg által elérhető technológia. Elterjedését elsősorban az utóbbi években megjelent PDA alapú Off-BOARD rendszerek kedvező árfekvése, valamint a rendszer gépjárműtől való függetlensége segítette elő. Ezen hagyományos rendszerek vizuális navigációs megjelenítési formái három fő csoportba oszthatóak *Lovas (1999)*: egyszerűbb esetben egy –általában kisméretű- kijelzőn csupán egyszerű jelek, valamint számok és rövid szöveges információk jeleníthetők meg (pl.:a következő irányváltás helye, és iránya). Ilyen megjelenítésű a PHILIPS gyár CARIN rendszere (1.a ábra). Előnyeként elsősorban az árfekvését és egyszerűségét lehet megemlíteni. Ennél bővebb navigációs utasításokat biztosít a nagyobb kijelzőn, vagy a DVD lejátszó képernyőjén megjelenített térkép, kiegészítve különféle navigációs utasításokkal (1.b ábra). Egy új, érdekes fejlődési irány a navigációs térkép madártávlatból történő „térhatású" megjelenítése. Az ilyen ún. BIRDVIEW rendszerek lényege, hogy a gépjármű aktuális pozíciója mögül madártávlatból megjelenítve az útvonalat, a jellegzetes tájékozódási pontok(műemlékek, tornyok) fontos plusz információtartammal bírnak a vezető számára. (1.c ábra)

1. a,b ábra. Hagyományos gépjármű navigációs rendszerek megjelenítési lehetőségei.

**BME Fotogrammetria és Térinformatika TSZ*
1111 Budapest, Műegyetem rkp.3.
E-mail: toth.zoltan@fmt.bme.hu

1.c ábra. Hagyományos gépjármű navigációs rendszerek megjelenítési lehetőségei.

A navigációs rendszerek fejlesztései tehát egyértelműen abba az irányba mutatnak, hogy miképp lehetne minél bővebb és egyértelműbb navigációs utasításokkal ellátni az autóvezetőt. Egy ilyen lehetséges megoldás lehetne a városokon belül, a lekérdezett legrövidebb útvonalon található kritikus kereszteződések képi megjelenítése a grafikus felhasználói felületen, kiegészítve a hagyományos szöveges és piktogram formájú utasításokkal. A PDA-k megjelenése ezen a területen megoldja a megfelelő minőségű képi megjelenítést és nagyobb szabadságot nyújtanak a fejlesztések terén. Egy ilyen rendszer „fejlesztését" vázoljunk fel a következőkben. A fejlesztési szakasz 3 lépésből állt:

- Teszt-úthálózat készítése olyan környezetben, ami támogat alapvető lekérdezéseket pl.: legrövidebb útvonal-keresés.
- A navigációt segítő fényképek elkészítése, elhelyezése az alaptérképen
- Alkalmazás fejlesztése, amely egy legrövidebb útvonal mentén sorban lekérdezi és megjeleníti a csomópontokhoz rendelt képeket.

A fejlesztési környezet megválasztása

A fejlesztési fázis többrétű, hiszen egyrészt geometriailag létre kell hozni a vektoros úthálózatot a meglévő analóg térképi anyagból, ki kell egészíteni a fent említett képi többlettartalommal, emellett természetesen erre a kész vektoros állományra létre kell hozni egy hálózati topológiát, amin az alapvető térinformatikai lekérdezések (pl.: legrövidebb útvonal keresés) értelmezhetőek, illetve végrehajthatóak. Az első kívánalomnak megfelel egy CAD rendszer képessége, míg a topológia létrehozása illetve egy adatbázis csatolása már egy térinformatikai rendszer használatát követeli meg.

Mivel a rendszer megvalósítása fejlesztést igényel ezért kívánatos, hogy a választott rendszer rendelkezzen valamifajta belső programozási nyelvvel, vagy még szerencsésebb, ha rendelkezik programozói interface-el.

Ezen megfontolások alapján a hozzáférhető programcsomagok közül a választásunk az **Autodesk** cég **AutoCAD Map** programjára esett, mivel alkalmazása minden fenti feltételnek megfelel.

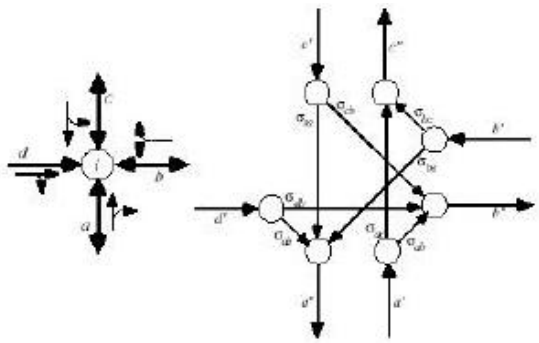
Topológia létrehozása AutoCAD Map környezetben

Az úthálózat topológiájának létrehozásakor első lépésként a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetemet, valamint annak környezetét ábrázoló 65-411-es szelvényszámú, M:=1: 10000 topográfiai szelvény színes, szkennelt digitális állományát szereztük be.

Első lépésként beillesztettük az állományt az EOV rendszerbe. Mivel az állomány nem tartalmazta a szelvény kereten kívüli területét, így a szelvényszámból vezettük le a kép beillesztési pontját. A beillesztés méretarányát úgy választottuk meg, hogy a modelltérben értelmezett egy rajzi egység a valóságban ~1 méternek feleljen meg. A digitális állománynak

az eredeti papíranyag méretváltozásából adódó torzulását az Autodesk cég CAD Overlay nevű raszterkezelő programjával szüntettük meg az őrkeresztekre, valamint azok nominális koordinátáira végzett polinomos transzformációval.

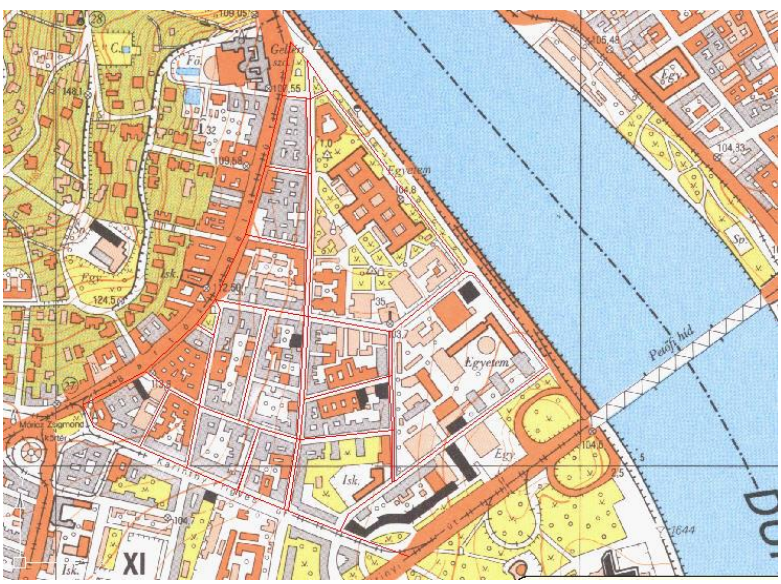
A geometriai alapul szolgáló topográfiai térkép beillesztése, transzformációját követően egyszerű képernyő-digitalizálással létrehoztuk a hálózatot felépítő gráf adatstruktúrát. Az utcák digitalizálásánál minden forgalmi sávot külön gráféllel reprezentáltuk. Ennél összetettebb problémát jelent a csomópontok topológiájának létrehozása. Egy lehetséges megoldás jelenti, ha az összes lehetséges csomóponton belüli mozgást egy éllel reprezentáljuk, egy külön hálózatot hozva létre minden kereszteződésben (2. ábra) *Kirby és Potts (1969)*.



2. ábra. Csomópont modellezése a hálózat „kiterjesztésével" Kirby, Potts (1969.)

A kereszteződések modellezésének ilyen megoldásának hátrányaként a nagyobb tárigényt, valamint a számításokhoz szükséges gépidő megnövekedését lehet említeni. Mivel ezek a hátrányok jelen feladat méretei között nem jelentkeznek, valamint a topológiát csupán szerkesztéssel létre lehet hozni, így ezen modell alkalmazása mellett döntöttünk.

A kész úthálózatot mutatja be a következő ábra:



3. ábra. Az úthálózat modellje.

A következő lépést a hálózati topológia létrehozása jelentette. Háromfajta topológia-típust különböztet meg az AutoCAD Map: a csomóponti, a hálózat, valamint a poligon topológiát. Ezek három geometriai primitívből: csomópontokból, élekből és poligonokból épülnek fel. Jelen feladat megvalósításához a hálózati topológia alkalmazása szükséges, ami a csomópont-él topológiai kapcsolaton alapszik. A digitalizált sávok jelentik a hálózatban az éleket, a csomópontok –legyenek akár szabad, vagy álcsomópontok is-, az élek közötti kapcsolatot biztosítják.

Általában a topológia létrehozásának első lépését a geometriai adatok letisztázása (kettőzött objektumok eltávolítása, rövid objektumok törlése, vonalas objektumok egyszerűsítése stb.) jelenti, erre nem került sor, az alaptérkép készítése során figyelemmel voltunk a topológiailag helyes szerkesztésre.

A hálózati topológiára vonatkozó információkat az azt felépítő objektumokhoz (élekhez, csomópontokhoz) csatolt relációs adatbázisban ún. objektumadatként tárolja a program, melynek felépítését élek esetén az I. táblázat, míg csomópontok alkalmazásakor a II. táblázat mutatja be.

I. táblázat.. Objektumadat élek esetén.

ID	Kezdő csomópont	Vég csomópont	Irány	Direkt ellenállás	Fordított ellenállás

II. táblázat.. Objektumadat csomópontok alkalmazásakor.

ID	Ellenállás

Az élek irányítottságára utaló mező három értéket vehet fel: 0-kétirányú, 1-a vonal irányítottságával megegyező, illetve –1 azzal ellentétes irány esetén. A második megoldást alkalmaztuk a forgalmi irányoknak megfelelő sávonkénti szerkesztés mellett. A forgalmi irányok szerkesztésének helyességét a terepi bejárással ellenőriztünk.

A költségek meghatározásához szükséges súlyok alapértékének ívek esetén választhatjuk azok hosszát, a valóságnak azonban jobban megfelel az a megoldás, amikor az ívekhez rendelt elérhető átlagsebességből –melyet pl. egy objektumadat tábla tartalmaz- és az ív hosszából számított menetidőt rendeljük az adott ívhez mint ellenállást. Ez az ellenállásérték ívenként automatikusan generálható az elérhető maximális sebességet tartalmazó objektumadat táblákból pl.: egy egyszerű Lisp kifejezéssel.

Jelzőlámpával vezérelt csomópontok esetén ellenállásnak fázisonként a periódusidőt *Fi (1999)* célszerű felvenni.

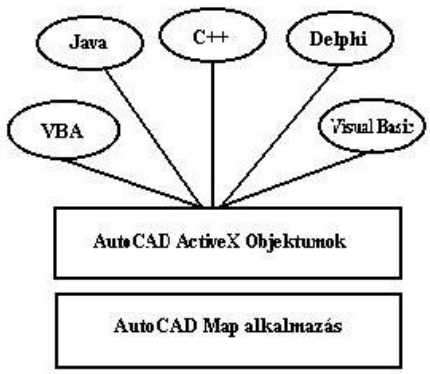
Következő lépés a kereszteződésekről képek készítése. A felvételek helyét, ahol lehetséges volt egyedi pontmeghatározás pontossággal GPS-es méréssel is meghatároztuk. Az állományokban a képek helyét egy blokk jelzi, amelynek egyetlen attribútuma utal a hozzá tartozó raszterkép állománynevére.

A kész hálózati topológián az AutoCAD Map lehetőséget biztosít két pont közötti legrövidebb útvonal meghatározására. Lehetőség van az útvonal megjelenítésére, valamint az útvonalat alkotó objektumokból létre lehet hozni egy új topológiát is. Könnyen hozzáférhetünk tehát a legrövidebb útvonalat alkotó objektumokhoz, ellenben a képek csomópontok szerinti lekérdezése és megjelenítése külön fejlesztést igényel.

ActiveX fejlesztés AutoCAD környezetben

A 90-es években a szoftverfejlesztők felismerték, hogy programjaik funkcionalitása jelentősen megnő, ha azok megosztanák egymást közt az általuk használt objektumokat, függvényeket. Az ActiveX terminológiát eleinte a word wide webbel kapcsolatos hasonló elvű fejlesztésekkel kapcsolatban használták, mára magába foglalja a teljes COM (komponens

objektum modell) technológiát. Úgy kell tehát elképzelni az ActiveX-t, mint több COM technológiát használó program együttműködését a funkcionalitás fokozása és a fejlesztés időigényének csökkentése érdekében. Bár az AutoCAD és az erre épülő alkalmazások rendelkeznek saját VBA makró fejlesztési környezettel, célszerű futtatható állományt létrehozni az adott feladat megoldására. A 4.ábra mutatja be az AutoCAD ActiveX-re épülő fejlesztési környezeteit.



4. ábra. Az AutoCAD fejlesztési környezete.

Jelen feladat megoldásához a Visual Basic nyelvet választottuk, és egy futtatható állományt hoztunk létre, ami a Map által az előzőekben meghatározott legrövidebb út mentén a minden csomópont környékén –a felhasználó által megadott területen belül- megkeresi az előzőekben említett kép-blokkot -feltéve, hogy készült felvétel-, annak attribútumát kiolvasva megjeleníti a csomópontot adott irányból ábrázoló képet. Az egyes szakaszok irányszöge alapján csomópontonként megjeleníti a kanyarodás irányát. A programot futás közben az 5. ábra jeleníti meg.

5. ábra. A fejlesztett program párbeszédablaka.

Összefoglalás

A cikkben bemutattunk az AutoCAD Map hálózati topológiájának felépítését, valamint a fejlesztési lehetőségeket egy útvonaltervező rendszer keretein belül. További fejlesztést jelent a rendszer valósidejűvé fejlesztése, valamint a rendszernek a GDF (Geographical Data File) ISO szabvány alá történő továbbfejlesztése.

Hivatkozások

Fi István (1997): Forgalmi tervezés, technika, menedzsment.

Kirby RF, Potts RB (1969):The minimum route problem for networks with turn penalties and prohibitions. Trasport Res. 3, 397-408.

Lovas T (1999): Intelligens közlekedési rendszerek térinformatikai háttere. *Diplomamunka*, Budapest.

Lovas T (2000): Járműnavigációs térképek az ezredfordulón. Erasmus jelentés, Budapest.

Jiang J, Han H, Chen J (2002):Modelling turning restrictions in traffic network for vehicle navigation system. Ottawa, *Symposium on Geospatial Theoy, Processing and Application*.

Autodesk, Inc. (1999): ActiveX and VBA Developer's Guide.

Autodesk, Inc. (1999): AutoCAD Map 2000 User's Guide.

GONDOLATOK A TÉRINFORMATIKÁRÓL

Márkus Béla[*]

Thinking about geoinformatics *– The first chapter is opening a discussion on the most frequently used definitions in the Hungarian GIS terminology. The next two part is talking about the evolution of GIS, the changes in the last decades and the problems. Finally the paper provides an overview of the main trends in education.*

A tanulmány a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Fotogrammetria és Térinformatika Tanszék 50 éves jubileuma alkalmából rendezett ünnepség kapcsán négy fontos térinformatikai témakört taglal. A szerző foglalkozik a legfontosabb térinformatikai fogalmak elemzésével, áttekinti a térinformatikai rendszerek (GIS) fejlődését, majd elemzi az utóbbi évtizedek változásait és problémáit. A tanulmány befejező része oktatási kérdésekkel foglalkozik.

Kulcsszavak: térinformatika, geoinformatika

Bevezetés

Az adatok egyre nagyobb hányadát kezeljük számítógépekkel. Ezen adatok 80%-a helyhez köthető. Tehát ez az óriási adattömeg rövidesen megjelenik majd térinformatikai rendszerekben. A mindennapi (nem szakmai) felhasználók körében az elérhető árú technológia jelentős keresletet eredményez. Erre az időre fel kell készítenünk a széles szakmai közösséget. Fontos, hogy írásainkban közérthető és egységes nyelvezetet használjunk. Alapvető érdekünk, hogy megismerjük múltunkat, tanuljunk az elkövetett hibákból és használjuk mások tapasztalatait. A technológiai változások egyre gyorsabb fejlesztési reakciókat igényelnek. Célszerű elemeznünk a változások mozgató rugóit.

Definíciók

A térinformatika, a földrajzi információs rendszerek dinamikus fejlődése következtében, szinte naponta keletkeznek új kifejezések. Sajnos a szakirodalomban megjelenő kifejezések definíciója gyakran hiányos vagy pontatlan. A következőkben tekintsünk át és tisztázzunk néhány alapfogalmat.

A szakirodalomban gyakran szinonimaként használják a térinformatika és a földrajzi információs rendszer fogalmát, pedig fontos ezek között különbséget tenni! A **térinformatika** tudomány, az informatika egy speciális ága, olyan informatika, amelyben az információ alapjául szolgáló adatok földrajzi helyhez köthetők. Szakterületünkön egyre jobban terjed a **geoinformatika** illetve a geoinformációs rendszerek fogalom, abból az elvből kiindulva, hogy a **Föld** (görögül **geo**) az a hely, amelyhez az adatok illetve információk kapcsolódnak *(Detrekői et al, 2002)*.

Mit értünk földrajzi információs rendszer alatt? A **földrajzi információs rendszer** (az angol elnevezés Geographical Information System, röviden: **GIS**) egy olyan számítógépes rendszer, melyet földrajzi helyhez kapcsolódó adatok gyűjtésére, tárolására, kezelésére, elemzésére, a levezetett információk megjelenítésére, a földrajzi jelenségek megfigyelésére, modellezésére dolgoztak ki. A hálózatok terjedésével egyre nagyobb hangsúlyt kap az adatok elérését, az információk továbbítását szolgáló szerep.

[*]*Nyugat-Magyarországi Egyetem Geoinformatikai Főiskolai Kar*
8000 Székesfehérvár, Pirosalma u. 1-3
E-mail:mb@geo.info.hu

A GIS a térinformatika tudományának **eszköze**, melynek segítségével valamely földrajzi helyről kap információkat a felhasználó. Tegyünk tehát különbséget a térinformatika és a térinformatikai rendszer fogalmak között! Használhatjuk a GI rövidítést is, ha nem a rendszerről, hanem annak csupán szolgáltatásairól (földrajzi információról - Geographic Information) beszélünk.

Ugyancsak általános az adat és az információ fogalmának helytelen használata, ami félreértésekhez vezethet. Az **adat** tapasztalati ismeret, amely megfigyelés, kutatás, értelmezés, elképzelés, gondolkodás, számlálás vagy mérés útján, az eredmények rögzítésével keletkezik. Az objektumok, elképzelések, feltételek, helyzetek vagy más egyéb tényezők leírására szolgáló adatok lehetnek alfanumerikus (betű, szám), szimbolikus (jelkulcs), grafikus (rajz), képi (fénykép, szkennelt kép), vagy multimédia elemek (hang, videó stb.). Lényeges, hogy az adatokból interpretálással (értelmezéssel), manuális vagy automatizált feldolgozással információk nyerhetők.

Az **információ** adatok megértésén alapuló ismeret, amely hozzájárul a gondolatoknak valamely alkotó elv szerinti rendezéséhez, problémák megoldásához és csökkenti a döntések bizonytalanságát, kockázatának mértékét. Az információ befolyásolja, megváltoztatja, átalakítja a fogadó tudását, ismeretkészletét, ennek rendezettségét. Az információ előállítása az egyszerű visszakereséstől a rendezésen, csoportosításon keresztül az adatok integrálásáig, elemzéséig rendkívül sokféle lehet. Az információ megjelenése lehet képi vagy szöveges (pl. egy színes térkép vagy egy statisztikai táblázat).

Vannak olyan fogalmak, amelyek a tudományos, technológiai fejlődéssel párhuzamosan, maguk is átalakuláson mennek át. A digitális domborzatmodellezés gyökerei az ötvenes évek közepére nyúlnak vissza. Az első cikkekben a DTM (digital terrain model) kifejezést használták, majd évek múlva - ahogyan az adatmodell komplexitása kiteljesedett - jelent meg a DEM (digital elevation model) fogalom, melyet ma helyesen digitális domborzatmodellként használunk.

A **digitális domborzatmodell** (DDM) a terepfelszín célszerűen egyszerűsített mása, amely fizikailag számítógéppel olvasható adathordozón tárolt domborzati adatok rendezett halmazaként valósul meg. A DDM a modellezés folyamatában - digitális modellező rendszer segítségével - információkat szolgáltat a modellezett terep egészének vagy kiválasztott részletének lényeges sajátosságairól. Több szakcikkben találkozhatunk ezzel kapcsolatban a felszínmodell vagy felületmodell kifejezésekkel, melyek azért pontatlanok, mert nem fejezik ki a modellezett objektum lényegét. Egészen más technológiát és matematikai eszközöket használunk a domborzat, illetve például a talajvíz felszínének digitális modellezésére.

Változások

A térinformatika és az informatika elválaszthatatlanok. A GIS csak az informatikai környezettel összhangban működik hatékonyan. Megfelelő informatikai háttér nélkül a GIS szigetként áll a környezetben, az adatkommunikáció nehézkes, ezért az adatbázis csak nagy költségekkel tölthető fel és nehezen tartható „élőn". Az adatok földrajzi térbe illesztése, az informatika térbeli funkciókkal való kiegészítése viszont gyakran jelent kulcsot a feladat megoldásában. Felhívjuk tehát a figyelmet az informatikával való szoros kapcsolatra. Tágabb informatikai kapcsolatrendszer, informatikai kultúra, informatikai fogadókészség nélkül a földrajzi információs rendszer nem lehet sikeres.

Amikor az „adatbázis megközelítés" fejlődésnek indult, többen feltételezték, hogy a szervezet adatbázisa egy központi számítógépen marad, melynek felhasználói terminálokról érik el az adatbázist. Az Internet és a világháló (web) megszületésének tulajdonítható, hogy drámai eltolódás történt az osztott adatfeldolgozás irányába. Manapság az adatbázisokat úgy tervezik, hogy az adatelérés számos csomóponton keresztül valósul meg. Ez lehetővé teszi a

hálózatban dolgozó helyi felhasználó számára, hogy az adatokat összegyűjtse anélkül, hogy elveszítené a központosított adatbázis nyújtotta integritás és biztonság előnyeit. A GIS rendszerek gyorsan fejlődnek, hogy lépést tartsanak az osztott adatbázisok szabványával, és elfogadhatóvá váljanak a jövő információs rendszereinek részeként.

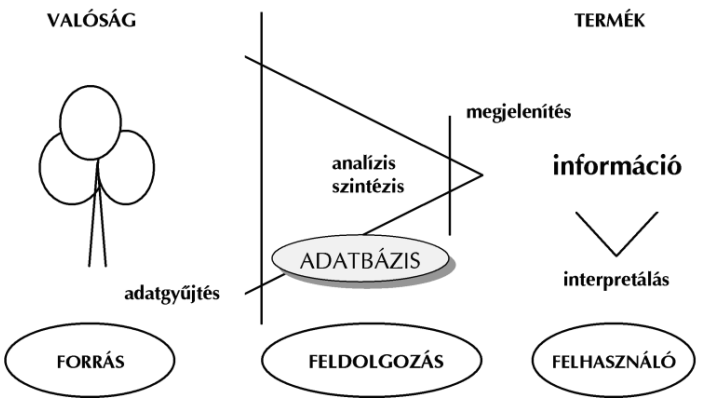
A gyártó cégek korábban a vásárlókat hosszú távon magukhoz láncolták azzal, hogy az általuk gyártott hardver és szoftver rendszerek nem voltak kompatibilisek más gyártó cégek termékeivel. A hálózatos munkát ez nagyon megnehezítette. Napjainkra a vásárlói igény kikényszerítette, hogy a fejlesztők kötelezzék el magukat a „nyílt" rendszerek építése mellett. Ez azt jelenti, hogy együttműködnek közös hardver- és szoftverszabványok kialakításában. A legfőbb piaci szereplők közös szabványokat dolgoznak ki. Ez nyilvánvalóan még nagyobb lökést ad majd a GI rendszerek hálózatos működését támogató irányvonalnak. A legközelebbi jövőben már nincs túl nagy piaca az olyan hardver- és szoftvertermékeknek, melyek nem integrálhatók könnyen egy heterogén hálózatba.

I. táblázat. A GIS fejlődése.

1960	*1970*	*1980*	*1990*	*2000*
Hardver	*Szoftver*	*Adatok*	*Alkalmazások*	*Hálózatok*

Alkalmazások

A tudomány és a gyakorlat számára a GIS megjelenésének hatása hasonló a távcső megjelenéséhez. A GIS segítségével olyan információk szerezhetők meg, melyekre korábban nem nyílt mód. Ezzel szemlélve a világot, kiválaszthtató a kívánt földrajzi környezet, megfelelő szűrők behelyezésével kiszűrhetjük a lényegtelen részleteket, így a felhasználót a felesleges részletek nem zavarják. A folyamatban fontos szerepet kap a levezetett információk célravezető, legalkalmasabb formában való megjelenítése.

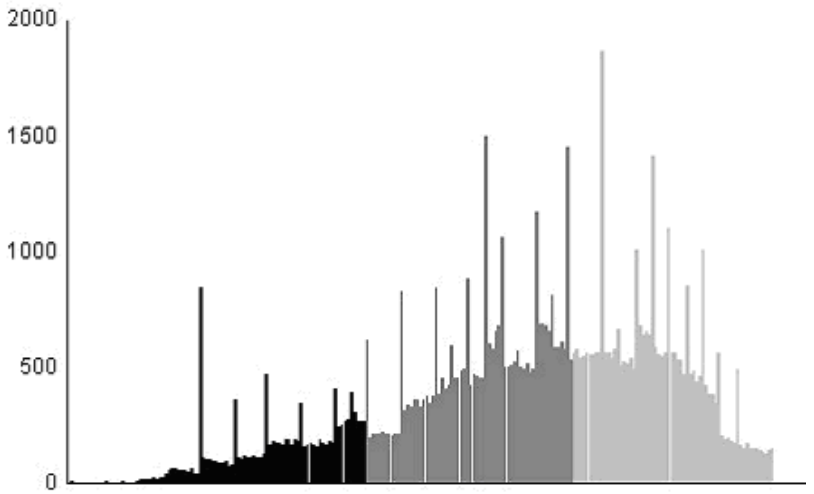


1. ábra. A GIS egy speciális távcső.

Amint az 1. ábrán látjuk, az adatok gyűjtésekor **forráshibák** keletkeznek. Ezek lehetnek pl. mérési hibák, vagy adódhatnak a pont hibás megjelöléséből stb. Ezért nagyon fontos ellenőrző, minőségbiztosító folyamatok kidolgozása. Az adatbázis szerepe az információ levezetésében meghatározó. A felhasználó az elemzés során a valóság helyett az adatbázist vizsgálja. Hibás vagy hiányos adatokból hibás eredmények születnek. De hibákat követhetünk el az adatok tárolásakor vagy **feldolgozásakor** is (pl. paraméterezési hiba).

A 2. ábra egy szintvonalas domborzatmodellből levezetett rácsháló pontjai magasságának gyakorisági eloszlását mutatja be. Jól látható, hogy a szintvonalak mentén jelentős teraszhatás érvényesül. Ezek a hibák nagyon veszélyesek, mert általában láthatatlanok maradnak az elkövetéskor. Természetesen az információ **értelmezésében** is követhetünk el hibákat. Ennek csökkentésére a levezetett információkat a felhasználó számára legmegfelelőbb, legkevésbé félreérthető formában kell megadni.

Az ábra felhívja a figyelmet arra is, hogy az adatbázis felépítésekor, információ levezetésekor szükségszerűen **adattömörítést** végzünk. Éppen ez a célunk! Viszont ez a folyamat szakértelem hiányában félrevezető torzításokat eredményezhet.



2. ábra. Levezetett DDM pontok gyakorisági ábrája.
A vízszintes tengelyen a magasságok, a függőleges tengelyen a gyakoriság szerepel

A GIS mint eszköz intézményi szinten (lokálisan) nem mindig olcsóbb, mint a hagyományos módszerek. **Gazdaságosság** gyakran csak globális szinten mutatható ki (pl. a döntéshozó vagy beruházó szintjén), mert a megalapozott döntés kockázata alacsony vagy, mert a számítógéppel optimalizált megoldás kivitelezési, működtetési költsége (mintegy 5 - 7 %-kal) kisebb. Az itt jelentkező megtakarítás nagyságrendekkel nagyobb, mint a GIS okozta extra kiadások.

A GIS alkalmazásának gazdaságossági vizsgálata rendkívül fontos, egyben rendkívül bonyolult dolog. Éppen ezért komolyabb elemzésekkel csak elvétve találkozunk a szakirodalomban. Általánosságban elmondható, hogy nem szabad direkt módon összevetni a manuális és a számítógépes rendszerek költségeit. Figyelembe kell venni a megteremtett új lehetőségek által adott előnyöket is, a számítógépes elemzések alapján megszülető optimális döntések gazdasági hasznát. A nyereség viszonylag kisebb, ha nyilvántartó rendszerről van szó és a rendszer információ tartalmát nem vagy csak alacsony áron értékesítik. A hatékony GIS alkalmazás alapfeltétele az adatgyűjtést rendszeresen elvégző, a hardvert és szoftvert működtető, az információkat szolgáltató szervezet kiépítése és az optimális GIS használat megszervezése.

Oktatás

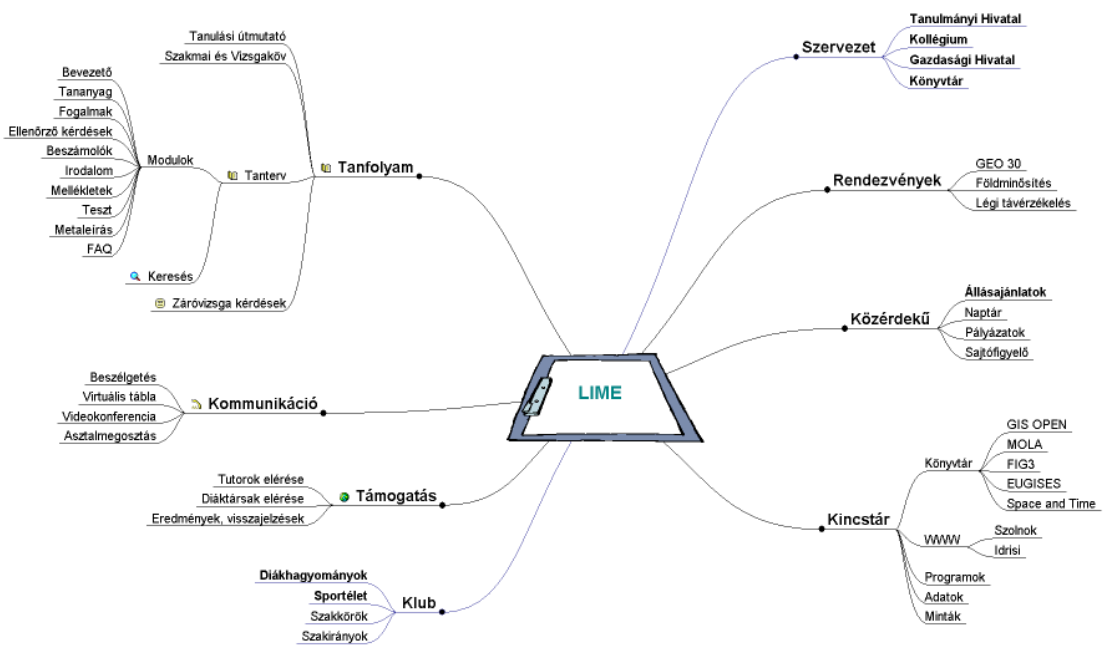
Az adatok digitalizálásában, feldolgozási sebességében, tárolásában és a kommunikációban történt előrelépések következtében a **hálózati forradalom** korszakát éljük. A felsőoktatásra

döntő szerep hárul a lehetőségek továbbfejlesztésében, valamint az új technológiát használók felkészítésében. A térbeli információk feldolgozása, rendszerezése és terjesztése sok új munkalehetőséget teremt. A hálózatba kapcsolt világ változik, ahogyan a piacon új és új termékek és szolgáltatások jelennek meg. Bármerre tekintünk, egyre több lesz a célzott marketing, a személyre szabott termék és szolgáltatás. A jobb minőség, az alacsonyabb ár, a bővülő szolgáltatások és a megfelelő hozzáférés, azaz a vevő igénye lesz a meghatározó erő, amely minden ágazatra kihat, beleértve a felsőoktatást is *(Oblinger – Verville, 1999)*.

A térbeli adatok infrastruktúrájának hatékony kezeléséhez, frissítéséhez és karbantartásához jól képzett emberekre van szükség. A tanulás és a munka egyre inkább összefonódik. A **tudásalapú szervezet** elvei, beleértve az *élethosszig tartó tanulást*, ma már a vállalati stratégiák kulcselemeivé válnak. Ez megszilárdítja a szervezeti identitást, a rendszerezett tevékenységeket és kötelezettségeket, a koordinációt és a jó tapasztalatok (*best practice*) terjesztését.

Az oktatási intézményeknek is át kell szervezniük az oktatás és képzés szolgálatában álló erőforrásaikat. Meglévő oktatási és képzési programjaink kibővítésekor főként a következő célokat kell szem előtt tartanunk:

- új képzési területek létrehozása, elismertetése;
- a képzések minőségének javítása és a tapasztalatok és információk cseréjével az oktatási innováció előmozdítása;
- az oktatás minden dimenziójának továbbfejlesztése;
- a virtuális mobilitás elősegítése az új kommunikációs technológiák segítségével;
- az igényeket figyelembe véve közös adatbázisok, tudásbázisok és oktatási erőforrások kifejlesztése;
- összehasonlító oktatás-módszertani kutatások szervezése;
- az oktatási rendszerek interoperatibilitásának fejlesztése és a szabványosítás szintjének növelése.



3. ábra. Oktatási portál felépítése.

A fentiekben alapvetően a technológiai rész hangsúlyoztuk, de mindemellett az elosztott oktatási környezet fontos eleme egy szociális (közösségi) rendszer is, amely a tudás és a jártasság folyamatos fejlesztését hordozza, akár alrendszerekben is, térben és időben elosztva, ahol az információs és kommunikációs technológia biztosítja az együttműködést. Az a lehetőség, hogy a tanulók kapcsolatba léphetnek országszerte az oktatókkal és a szakértőkkel, épp úgy, mint csoporttársaikkal, újfajta lehetőségeket teremt a tanulmányi és szakmai előmenetelhez. Ezek a lehetőségek a legtöbb résztvevőt ösztönzik és segítik.

Az oktatástechnológia rohamosan változik. Korábban az oktatási fejlesztésekben alapvetően a *tartalom-menedzsmentre* koncentráltunk: tananyagok tartalmi feltöltése, elektronikus publikáció, Internet-alapú kommunikáció és hallgatói támogatás, természetesen figyelembe véve az on-line oktatás speciális pedagógiai igényeit. Azonban mára egyre sürgetőbbé válik, hogy elmozduljunk a tudás-menedzselés felé; ez utóbbi alapvetően az üzleti elemekben különbözik, beleértve a stratégiát, a folyamatokat és a szervezést.

A metaadatoknak döntő szerep jut egy on-line rendszerek kivitelezésekor. A hálózatos környezet építőkockái az oktatási egységek (learning units) lesznek, és a metaadat lesz az, amely kölcsönösen összeköti őket. A metaadatban ki kell fejteni az oktatási egységek jelentőségét, és azt, hogyan lehet ezeket egymás után felfűzni, milyen javításokat, kiegészítéseket végeztek rajta, és a hálózatos környezetben milyen szolgáltatásokat, hogyan lehet elérni a szerverről. Szabványos megközelítéssel a rendszer elemei könnyebben lesznek módosíthatók a jövőben. Az IMS (IMS Global Consortium, az egykori Instructional Management Systems), IEEE és a Dublin Core olyan előírásokat alkalmaz, melynek eredményeképpen szabványos metaadat-formátumok jönnek létre, mellyel különféle gyártók, különféle rendszerei dolgozhatnak együtt (interoperatibilitás). Ahhoz, hogy akadálytalanul folyjék tovább a kutatás, az oktatási metaadatok előírásainak tekintetében világméretű megegyezésre van szükség a térinformatikai oktatásban is (Márkus, 2000).

Összefoglalás

Az információs és kommunikációs technológia, mint a hálózatos forradalom hajtóereje, óriási hatással lesz mindennapi életünkre, munkánkra és az oktatásra is. Az információ technológia mindenhol nélkülözhetetlenné válik. Az IT forradalom nagy ígéreteket tartogat, és nagy kihívást jelent. A térinformatikai szakirodalom és a felhasználók köre is rohamosan növekszik. Fontos lenne foglalkozni az alapfogalmak szabatos meghatározásával és következetes alkalmazásával.

Az informatikai környezet döntő hatással van a térinformatikai alkalmazások sikeres végrehajtására, ezért fontos a térbeli adatstruktúra megfelelő marketing tevékenységgel való támogatása, de sürgető a kritikus felhasználói tömeg megteremtése.

A hagyományos oktatási anyagainkat, struktúrákat és intézményeket át kell alakítanunk ahhoz, hogy hallgatóinkat a jövőre készíthessük fel, ne pedig a múltunkra. Napjainkban egyre sürgetőbbé válik, hogy elmozduljunk a tartalom-fejlesztéstől a tudás-menedzselés felé. Az alapvető szakmai jártasságon túl minden tanulónak el kell sajátítania a kommunikáció, az együttműködés és a kreatív problémamegoldás készségeit, az élethosszig tartó tanulás legfontosabb elemeit.

Hivatkozások

Detrekői Á, Szabó Gy (2002): Térinformatika. *Nemzeti Tankönyvkiadó*, Budapest.
Márkus B (2000): Educational metadata, *Proceedings of FIG Working Week*, Prague.
Márkus B (2003): Térinformatika. *NyME GEO jegyzet*, Székesfehérvár.
Oblinger DG, Verville AL (1999): Information Technology as a Change Agent. *Educom Review,* 34; 1.

TÖRTÉNELMI ESEMÉNYEK ELEMZÉSE TÉRINFORMATIKAI MÓDSZEREKKEL – SZEPES VÁRMEGYE

*Ládai András Dénes**

Historical analysis with geoinformatical methods – Szepes county *- This paper presents an example of historical analysis applying geoinformatical methods. The sophisticated GIS environments have the potential of analyzing the data from different sources as well as representing the results. In order to show the capabilities of the geoinformatical methods, the paper discusses the historical analysis of Szepes county.*

A dolgozat történelmi események és jelenségek térinformatikai módszerekkel való elemzésére ad egy példát. A modern geoinformatikai rendszerek különböző forrásokból származó adatok elemzésére és az eredmények megjelenítésére adnak lehetőséget. Miként lehet régmúlt idők sorsfordító eseményeit bájtok nyelvén megfogalmazni, GIS elemzésekkel értékelni s az eredményeket közzétenni? E Szepes vármegyéről készült kis munkán keresztül – mely emberi sorsokkal, települések rendszerének és etnikai összetételének változásaival foglalkozik – választ kaphatunk a felvetett kérdésre.

Kulcsszavak: GIS, történelmi elemzés, Szepesség

Bevezetés

Egy rövid történeti áttekintéssel kezdődik a dolgozat, mely rávilágít néhány elemzési szempontra, s kijelöli azok fő irányvonalát. Körvonalazza az elemzés területeit mind geometriai, mind fogalmi szinten. Az ezt követő fejezet geometriai adatgyűjtés módszerét, annak megválasztását és indoklását mutatja be. Milyen attribútum adatokkal lehet életre kelteni a nyers geometriai információkat, mikor már régen lezajlott, vagy éppen régóta tartó jelenségeket szeretnénk elemezni? S milyen minőségű a rendelkezésre álló, kiindulási adathalmaz? Hogyan viszonyul egymáshoz a *kell* és a *van*? A kettő közti különbségek áthidalásának módszerét mutatja be a leíró adatokkal foglalkozó fejezet, s a hatékonyság értékeléséről olvashatunk a befejezésben.

Történeti áttekintő

A Szepesség történelméről sok érdekes történeti írást találhatunk. *Legeza László és Szacsvay Péter (1994)* gazdag ismeretterjesztő munkáját felhasználva egy rövid ismertetőt nyújtok a kedves olvasónak.

A múlt század közepén a Szepességben még a **szászok** voltak többségben. Erdélyi rokonaikhoz hasonlóan egy germán népcsoporthoz tartoztak hajdan, és mindig kapcsolatban álltak egymással. Az első telepesek II. Géza idején érkeztek, és betelepülésük a XIII. század közepéig tartott. Királyaink a bányaműveléshez és kézművességhez kiválóan értő szászokat kiváltságokban részesítették. Legfontosabb kiváltságuk volt a bányanyitás, a vámmentesség, és az árumegállító jog. Papjaikat szabadon választhatták. II. Endre e kiváltságokat megerősítette, mivel sokan közülük részt vettek a keresztes hadjáratában.

Az itt letelepedett szászok szövetségbe tömörültek. A 24 szepesi város (Lőcse, Szepesváralja, Velbach vagy Ágostháza, Szepesolaszi, Igló, Csütörtökhely, Káposztafalva, Pop-

*BME FTT, 1111 Budapest, Műegyetem rkp.3.
E-mail: alada@freemail.hu

rád, Felka, Nagyszalók, Malompatak, Mateóc, Szepesszombat, Strázsa, Izsákfalva, Ménhárd, Szepesbéla, Késmárk, Leibic, Ruszkin, Duránd, Szepesedelény, Kiskerény, Illyésfalva) 1271-ben létrejött egyházi és politikai testvéri szövetsége a Provincia Saxorum volt. Élükön a szászok grófja állt.

A szepesi városok együtt és külön is önálló törvényhatóságot képeztek, ítéleteiket a magukkal hozott szász törvényeik szerint alkották. Külön szepesi jog, azaz Zipser Willkühr alakult ki. Saját bíráikon kívül ügyeikbe nem avatkozhatott sem nádor, sem országbíró, sem fő- vagy alispán. Ha nem tudtak dönteni, akkor a magyar király bíráskodott felettük. Bár saját törvényeik szerint éltek, azért az országgyűlésre küldtek képviselőt. Figyelemreméltó a demokráciának e korai, magas szintű megnyilvánulása a középkori Magyarországon! A kiváltságok mellett kötelességeik is voltak: évi 300 ezüst márkát fizettek, és kötelesek voltak 50 lándzsást kiállítani. Ez utóbbit azonban további súlyos márkák kifizetésével megválthatták.

A szepesi szász városok életében hatalmas változás történt Zsigmond király uralkodása idején. Rossz nyelvek szerint mélyen belenézett a szépséges Anna lengyel királyné tüzesfekete szemébe, s közben elzálogosította városait. Valójában a királynak velencei hadjárataihoz volt szüksége pénzre, ezért bontotta fel a 24 szepesi város szövetségét, s 1412-ben 13 várost „37 cseh garas hatvanasért" elzálogosított Ulászló lengyel királynak. Ezután e városokban német, lengyel s magyar erkölcsök keveredtek. S csak 1774-ben ért véget a Szepesség lengyel időszaka, mikor Mária Terézia császári csapatai megszállták e városokat.

Egy másik, figyelemreméltó vidék Szepes vármegyében a Hernád és Gölnicz partján fekvő **bányásztelepülések** kis csoportja. A kanyargós, nagy esésű folyók völgyében lévő bányásztelepülések – Szomolnok, Szepesremete, Gölniczbánya, Svedlér, Merény és Korompa – nem tartoznak a 24, illetve 16 szepesi koronavároshoz. Középkori alapítású mind, gótikus templomokkal, sajátos, megnyerő hangulattal. Szorgos lakói németek voltak, de a szepesi szászoktól eltérő nyelvjárásban beszéltek. Az ő életükben a kereskedelem nem játszott szerepet. S miért németek voltak gyakran Magyarország bányászai? A germánok hitvilága mindig is nagy teret engedett a föld alatti világnak. A nibelungok törpe népe a hősmonda szerint hatalmas kincset őrzött a föld mélyén, míg Siegfried el nem ragadta tőlük. Királyaink német bányászokat telepítettek az ország minden részébe, ahol a Kárpátok „kincset őrzött".

E történeti áttekintőnek nem csak ismeretterjesztő szerepe van. Ez alapján láthatjuk, milyen jellegű adattárakból kiindulva kell felépítenünk az adatbázist. Nos, ezek a kedves történetek adják meg az információgyűjtés fő irányait, melyek a Szepesség arculatát meghatározó települések vizsgálhatóságának alapját képezik. Anna királyné két szép szeme a települések zálogos/nem zálogos minőségét jelenti, Siegfried pedig a gazdaságban betöltött szerepre mutat rá. Ezeken túl fontos elemzési szempont még a lélekszám alakulása, a lakosság etnikai összetétele és a helységek közigazgatási szerepe az egyes korokban.

Geometriai adatok gyűjtése

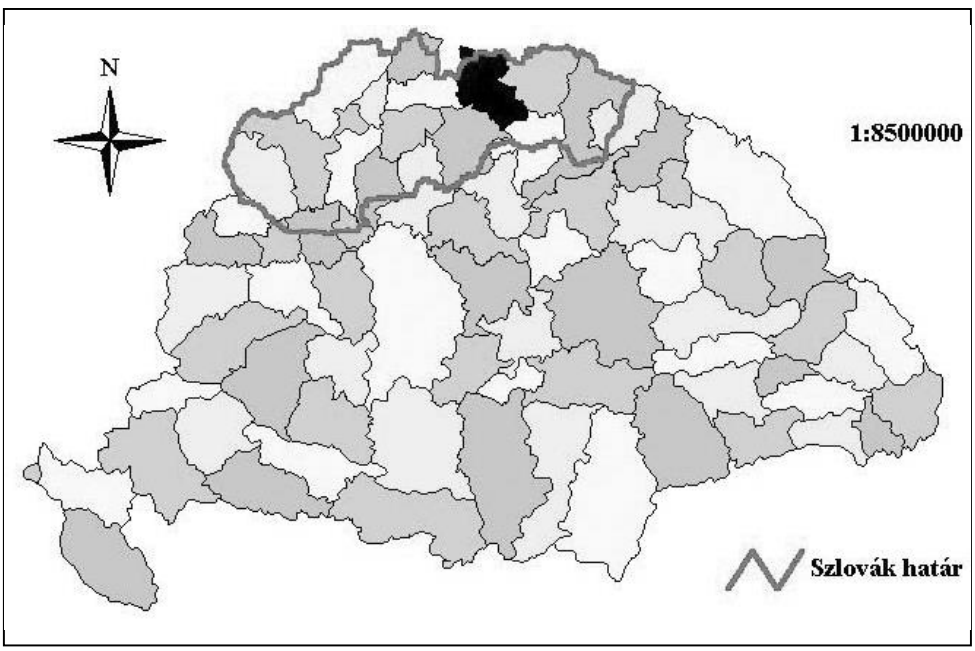
Az elemzés objektumai az egyes települések. Ahhoz, hogy jól áttekinthető módon történjék az elemzés, a szóban forgó helységek együttes megjelenítése elengedhetetlen. Ugyanakkor a jelenségek jobb megértésénél fontos az is, hogy a korabeli közigazgatási egységben vizsgáljuk azokat. Az egységes régió, mely magába foglalja e településeket: Szepes vármegye az, amely területen történik majd az elemzés. S nem csupán a települések pozíciójára vonatkozó adatokra van szükségünk, a könnyebben azonosíthatóság kedvéért a megfelelő környezetbe kell behelyeznünk őket, tehát a domborzati viszonyoknak és a vízrajznak is fontos, információhordozó szerepe van.

Mindezek figyelembe vétele mellett eldőlt: a geometriai adatbázis egy, ma már történelminek nevezhető vármegyetérkép vektorizálásával állítható elő. Erre a célra a legmegfelelőbb a

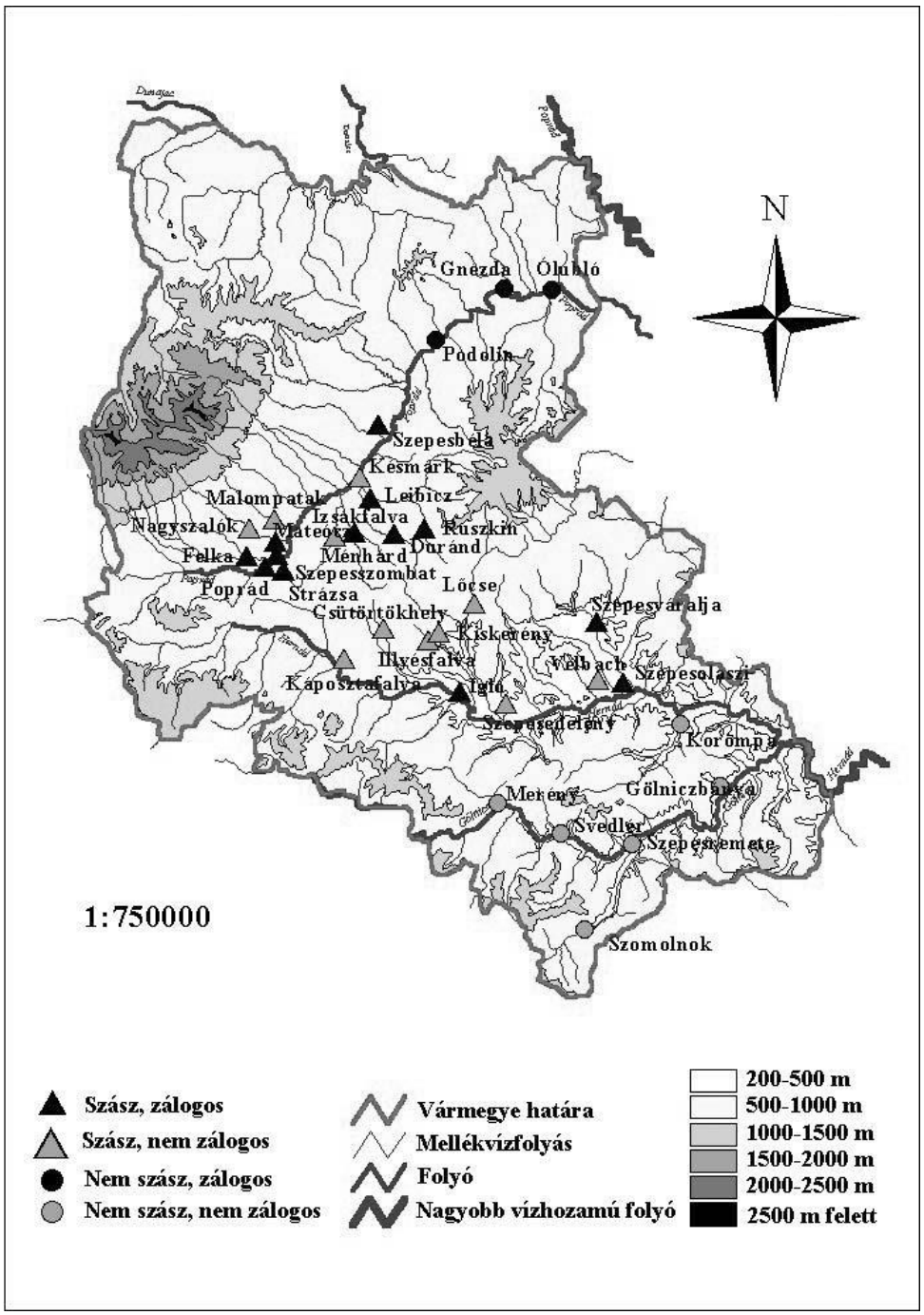
századfordulón készült, Kogutovicz Manó rajzolta Szepes vármegye térképe, melynek méretaránya M1:420000. Előnye a domborzat és a vízrajz ábrázolása mellett még, hogy azokat a helységeket is megtaláljuk rajta, melyek mára már az urbanizációs hatások következtében beolvadtak a közeli városokba.

A 200 dpi felbontással szkennelt szelvény tájékozása a helyszínen navigációs GPS-szel mért pontok segítségével történt. A legcélszerűbb megoldásnak az EOV rendszerbe való beillesztés mutatkozott. Az azonos pontok átszámítása magyarországi illesztőpontok segítségével történt, tehát extrapolációs eljárással. Első pillanatban ez meglehetősen „durvának" tűnhet, ha azonban figyelembe vesszük a térkép méretarányát, beláthatjuk, hogy a torzulások elhanyagolhatóak.

Nem haszontalan, ha a Szepességről készült állományt egy nagyobb, az egész történelmi Magyarország vármegyerendszerét ábrázoló adatbázishoz kapcsoljuk (1. ábra). Így bárki pontos képet kaphat a terület fekvéséről, főleg ha megjeleníthetjük a régiót érintő jelenlegi országhatárt (Szlovákia). S nem utolsó szempont az sem, hogy a rendszer bővíthetősége ezáltal megoldott: az egyes vármegyékhez hozzácsatolhatók újabb adatbázisok. Csak ráklikkelünk az egyikre, s megjelenik a csatolt rendszer.



1. ábra. A történelmi Magyarország a szlovák államhatárral és a kiemelt Szepes vármegyével.



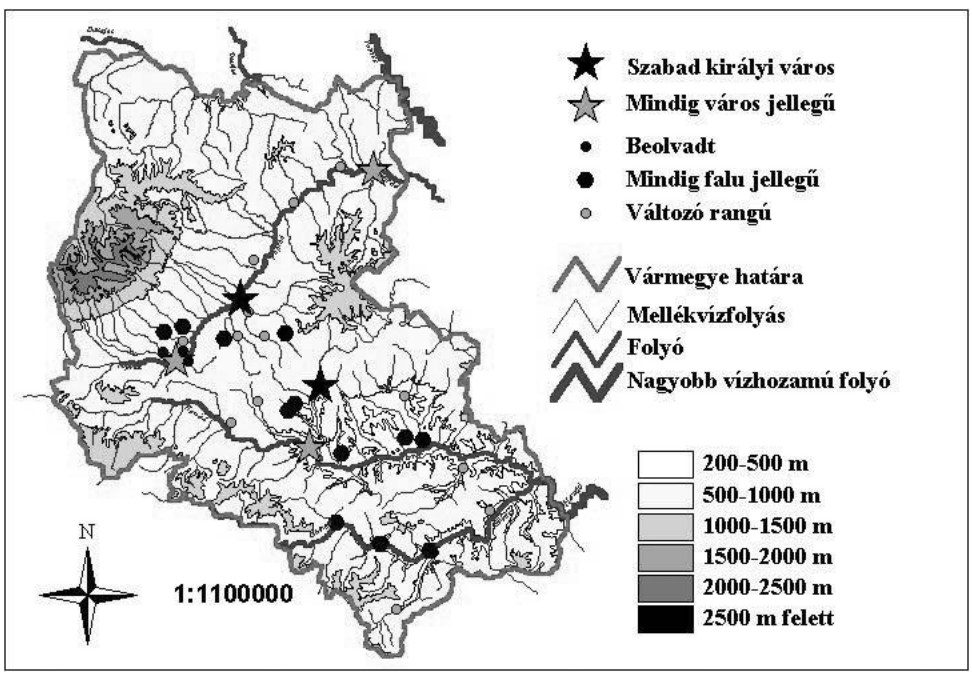
2. ábra. Szepességi települések elzálogosítása.

Leíró adatok gyűjtése

A leíró adatbázist úgy kell megszervezni, hogy annak segítségével a fontos történelmi fordulópont (elzálogosítás) kimutatható legyen, a települések gazdasági, közigazgatási szerepét elemzés alá vehessük, s a népesség alakulását végigkísérhessük. A cél tehát egy statisztikai elemzésre alkalmas térinformatikai rendszer megalkotása. Az ehhez szükséges adatok összegyűjtése meglehetősen hosszadalmas, ugyanakkor igen élvezetes feladat.

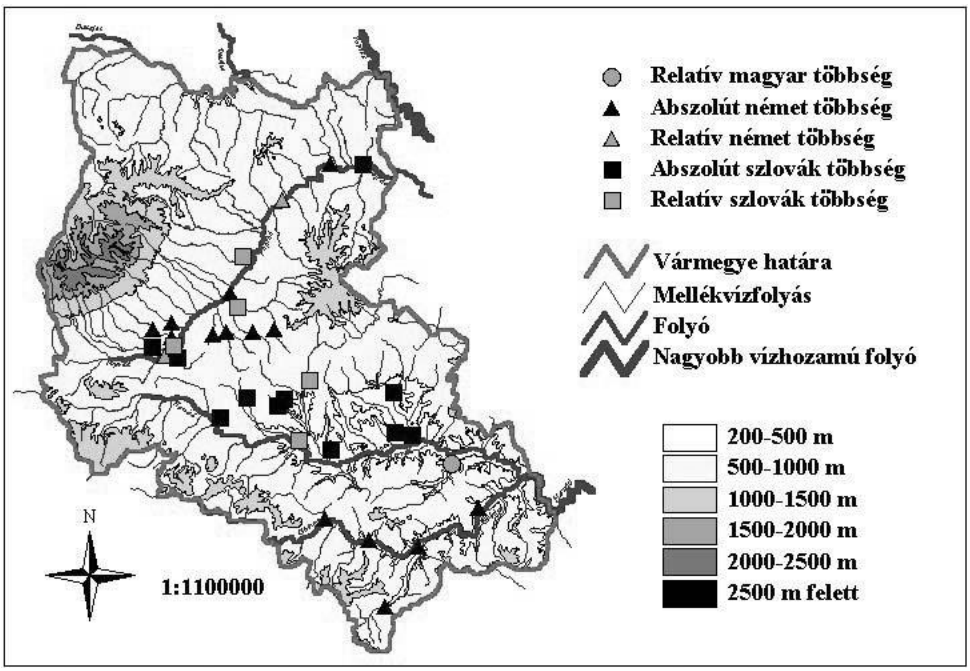
A történelmi háttér megismeréséhez és az adatok gyűjtéséhez több forrásmunkát is felhasználtam. Érdekes olvasmány volt *Fényes Elek (1851)* „útleírása" s jó adattárnak bizonyult A Pallas Nagy lexikona több kötete is (1884-1896). Az adatbázis feltöltése az SQL kérdések segítségével a 2. ábrán látható leválogatást tette lehetővé.

Ugyanezen források mellett felhasználtam a települések közigazgatásban betöltött szerepük megállapításához Dr. *Csánki Dezső (1890-)*, és *Fekete Nagy Antal (1941)* Hunyadiak korára vonatkozó történelmi adattárát. E címek lehetnek szabad királyi város (civitas), bányavárosi kiváltsággal rendelkező (felső-magyarországi bányaváros), mezőváros (oppidum), vagy falu (pagus) jellegű, stb. A különböző korok besorolásai alapján megállapítható, mely település gyakorolt mindig jelentős hatást e térség életére, fejlődésére. A 3. ábrán megtekinthetjük az eredményt. Emellett természetesen metszeteket is készíthetünk egyes korszakokra.

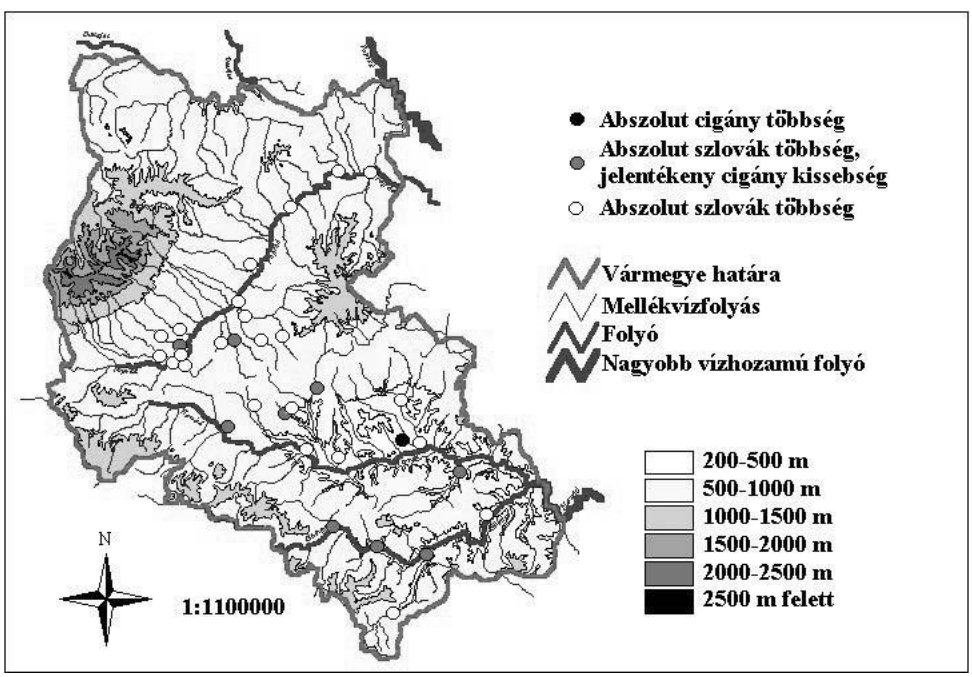


3. ábra. A települések rangsorolása

A népességre vonatkozó adatok népszámlálási eredményekből nyerhetőek. A történelmi népszámlálások eredményeinek felhasználásakor körültekintően kell eljárni, csak a végrehajtások körülményeinek megismerése után, megfelelően mérlegelve szabad felhasználni őket. Az *1910.* év eredményeit a *M. Kir. KSH* kötetéből vettem. A mai állapotokat ábrázolandó, felhasználhatóak az 1991-es év adatai. Könnyen fellelhető az ezt tartalmazó kötet a magyarországi könyvtárakban is. A kettőt akár össze is hasonlíthatjuk, a 4. és 5. ábra alapján.



4. ábra. Nemzetiségek megoszlása az 1910. évi népszámlálás alapján.



5. ábra. Nemzetiségek megoszlása az 1991. évi népszámlálás alapján.

Az 5. ábrán látható, hogy a térséget meghatározó német népesség (és a kevés magyar) eltűnt, s egy új, a korábbin ki nem mutatott etnikum jelent meg: a cigányság. Egy érdekes, jelentősnek mondható változásnak lehetünk tanúi. E jelenség olyan fiatal, hogy nem csak történészeink magyarázhatják meg az okait, élő tanúk is beszámolhatnak róla. Ugyanitt tisztázásra vár az ábrán olvasható, nem teljesen egzakt kifejezést: „jelentékeny cigány kisebbség". A cigány kisebbség kimutatása az 1991-es népszámlálás alapján semmiképp nem mondható eredményesnek. A „terepi adatgyűjtések" során tapasztaltak jóval nagyobb lélekszámról mesélnének, mint amiről a népszámlálás tanúskodik. Módot kell találnunk kimutatásukra! Például meghúzhatunk egy küszöböt, mely felett „jelentékeny" cigányságról beszélhetünk. E küszöb kijelölését természetesen minden kétséget kizáróan indokolnunk kell. Ez esetben a népszámlálás szerinti éles határnál (a helyi átlagnál jóval magasabbnál), öt százaléknál történt a kijelölés. Így talán valóbb képet kaphatunk a tényleges állapotról. Íme egy jó példa arra, hogy a hivatalosan elismert, ezért „készen kapott" alapadataink között is előfordulhatnak hibásak, melyek lényegesen módosíthatják eredményeinket. Ilyen esetekben megfelelő indoklással az általánosan bevett elemzési módszereken változtathatunk, a hatékonyabb kimutatás érdekében.

A helységek azonosításhoz elengedhetetlen információ a település neve. Ez esetben nincs könnyű dolgunk, megfontoltan kell eljárni. Ahány etnikum él a régióban, mind saját nyelvén nevezi meg környezetét. S ahány forrást veszünk elő, annyi név s annyi helyesírási változat. Érdemes az adatbázisba felvenni minden helyi nemzetiség által használt elnevezést, hogy a további adatgyűjtésekkor megkönnyítsük a beazonosítást. Ez esetben tehát magyar, szlovák és német rekordokat tartalmaz a rendszer. Nem feledkezhetünk meg a latinról sem, hiszen a középkori források többségében ez szerepel. A magyar helyesíráshoz az 1913-as helységnévtárat vettem alapul.

Összefoglalás

E GIS alapú lekérdezések és kimutatások kiválóan alkalmasak egy-egy történelmi korszak sorsfordító, az egyes emberek mindennapi életét is befolyásoló jelenségek ábrázolására. Egymás mellé téve őket, további érdekességeket is felfedezhetünk: szemlélet útján korrelációkat fedezhetünk fel, vagy éppen azok hiányát mutathatjuk ki. S e kimutatások és tanulságok további elemzésekre és adatgyűjtésre adhatnak motivációt.

Az itt bemutatott néhány lekérdezés természetesen csak a jéghegy csúcsát jelenti. Az elkészített rendszer lehetővé teszi például a települések gazdaságban betöltött szerepük szerinti szétválogatásukat, több korszakra vonatkoztatva. Vagy összehasonlíthatnánk a népszámlálási adatok alapján az egyes településeken élő etnikumok arányát a vidéken – mondjuk, az adott járásban – élőkével. És még számos lehetőség…

A történelmi adatok gyűjtése és feldolgozása közben több buktatóval találkozhat a kutató. E dolgozat esetében is, a különböző szakirodalmak, adattárak elolvasása után – melyek között előfordulnak néhány oldalasak, de akadnak vaskos könyvek is – a végeredmény egyetlen egy szó, mely bekerül az adatbázis megfelelő rubrikájába. Vagyis az izgalmas történetekből, anekdotákból, többszöri mérlegelés és nehéz szívvel hozott kompromisszumok után „lebutítva" szerkeszthetjük meg az adattárat. S éppen ez a *mérnök-szemléletű* „lebutítás" teszi elemzésre alkalmassá a rendszert!

Előfordulhat, hogy a fellelhető információk hiányosak, s csupán részterületeken állnak rendelkezésre. Ekkor tovább böngészhetünk újabb és újabb ötletekkel gazdagodva, vagy előfordulhat, hogy le kell lemondanunk tervezett elemzési szempontjainkról. A lekérdezés csak akkor ad kielégítő eredményt, ha az adatszerkezet homogén, s az egyes témák egységes módon kerültek feltöltésre. Történelmi adatok esetében ez nem mindig sikerül. Bár akad, hogy a „nincs adat" rekord is beszédessé válik.

Hivatkozások

Legeza L, Szacsvay P (1994): Felvidéki utakon. Első kötet. *Mikes kiadó*, Budapest.
Fényes E (1851): Magyarország geographiai szótára. Budapest.
Csánki D (1890-): Magyarország történelmi földrajza a Hunyadiak korában. I. és III. kötet. Budapest.
Fekete Nagy A (1941): Magyarország történelmi földrajza a Hunyadiak korában. IV. kötet. Budapest.
A Magyar kir. KSH (1912): A Magyar Szent Korona országainak 1910. évi népszámlálása. *A Magyar kir. KSH,* Budapest.
KSH (1996): A Szlovák Köztársaság településeinek nemzetiségi, vallási adatai 1991. *KSH,* Budapest.
A Magyar kir. KSH (1912): A Magyar Szent Korona országainak helységnévtára 1913. *A Magyar kir. KSH,* Budapest.

KOLOZSVÁR – BELVÁROS TÉRINFORMATIKA ALAPÚ ÉPÍTÉSZETTÖRTÉNETI ADATBÁZISA

Selinger Sándor, Winkler Gusztáv**, Juhász Attila***

A GIS-based Architectural History Database of Downtown Cluj-Kolozsvár *- It is a generally valid premise that the main street or the center is the reflection of a city, and thus its most typical view, since this area was created by the most powerful citizens and the most important functions of the city. The downtown area mirrors the changes of society, economy and taste over time. Our goal is to outline the values of Downtown Cluj-Kolozsvár, to shed light on the important events that shaped it, to analyze the spatial unfolding of its aesthetical values, and to create a GIS-based systematization and presentation of the city landscape.*

Általánosan árvényes városesztétikai tételnek fogadható el, hogy: Egy város Főtere vagy Főutcája mindig az egész város tükörképe és így annak, a leginkább jellemző városképlátványa, mivel azt a város legfontosabb funkciói és legmódosabb polgárai hozták létre, tükrözve a létrahozó korok társadalmi, gazdasági és ízlésbeli változásait. Célunk a Kolozsvár belváros értékeinek felvázolása, a kialakulást befolyásoló fontos események felvillantása, az esztétikai értékek térbeli kibontakozásának elemzése, valamint a város-tájképnek egy térinformatika alapú rendszerezése és bemutatása.

Kulcsszavak: adatbázis-modellek, térinformatika (GIS), műemléki kataszter

Bevezetés

A városirányítással, tervezéssel foglalkozó mérnöki tevékenység egyik legfőbb eleme a tervezési, környezeti felmérési térképek, vizsgálatok összegyűjtése, majd a kiértékelt, összegyűjtött adatok integrálása.

Napjainkban ez az integráció már általában térinformatikai adatbázisokban történik. Ez azért szükségszerű, mert az adatgyűjtés többek között speciális tématerületekre terjedhet ki, (pld. műemléki objektumokra) és ezek a területek igénylik a homogén területi fedettséget, az egységes értelmezési környezetet.

Általában elmondható ezekről az (nyilvántartási, környezeti, stb.) adatbázisokról, hogy feladatkörük és területi kiterjedésük alapján sokszor megkövetelik a gyors, megbízható, esetenként visszakereshető adatgyűjtési módszereket. Továbbá szükségessé teszik ezen alapanyagok információinak egységes rendszerben való kezelését mind geometriai, mind tartalmi értelemben.

Ezek miatt célként tűztük ki a műemléki objektumok nyilvántartási tevékenységi területén előforduló információk egységes rendszerbe való bevitelét, tárolását, és a közös elemzési lehetőségek megvalósítását. Ezen egységes rendszer szerinti kezelés és vizsgálat, mely jelenleg még teljesen hiányzó tevékenység, természetszerűleg egy erre a célra fejlesztett térinformatikai rendszerben valósulhat csak meg, ezért az első és egyik legfontosabb lépés több speciális, építészeti, rendeltetésbeli, környezeti, nyilvántartás jellegű adatbázisnak a kialakítása volt.

Minden munkafázis, a szükséges adatok, információk geometriai és tartalmi (fizikai) kiértékelése, beillesztése, valamint az adatok integrációja a megvalósítandó térinforma-

** Gábor Dénes Alapítvány, 3400 Cluj, Str. Donáth 117 Bl. O1, ap. 8, Romania*
*** BME Fotogrammetria és Térinformatika Tanszék, 1111 Budapest, Műegyetem rkp.3.*
E-mail: gwinkler@eik.bme.hu, attjuhasz@epito.bme.hu

tikai rendszernek az alárendeltje. Így a kialakított módszerek, adatfeldolgozási eljárások ezek függvényei.

Mivel úgy regionális mint országos szinten ezek a műemléki objektumokat nyilvántartó térinformatikai rendszerek teljességgel hiányoznak, a megvalósított projektbe döntő mértékben a kutatási illetve turisztikai igényekhez kapcsolódó információs adatbázisok felépíthetőségét tűztük ki célul.

Természetesen irodalmi, levéltári adatok alapján is áttekintettük az eddig hagyományos értelemben használatos országos műemléki nyilvántartási rendszerek ilyen irányú lehetőségeit és gyakorlati tapasztalatait.

A projekt ezért a fentiek alapján a műemléki objektumokra orientált térinformatikai rendszer kialakításával, az adatgyűjtés kérdéseivel, a feldolgozási módszerekkel, valamint a várható eredményekkel, és nem utolsó sorban a várható következményekkel foglalkozik.

Kolozsvár belvárosa építészetének térinformatikai megközelítése

Kolozsvár középkori erődített városa egy Romániában kiadott 5/2000-es Törvény alapján teljes egészében védett terület, ami azt jelenti, hogy nemcsak az egyénenként műemlékké nyilvánított épületek védettek, hanem az egész terület minden épülettel.

A védett területekre kidolgozandó beépítési szabályzatok a műemléki környezetet védik és így befolyásolják a nem műemlékeket is.

A törvényhez alkalmazkodva, logikus, hogy egy térinformatikai rendszer kidolgozása az egész védett terület teljeszámú épületállományára kell vonatkozzon, s a teljes együttes monitorizálását kell célul tűzze.

A teljes erődített város (617 telek és a ráépült objektumok) térinformatikai nyilvántartásba vétele hatalmas és igen nagy kiterjedésű munka, s ezért a fokozatos megközelítést láttuk célszerűnek.

A társadalmi érdeklődést, valamint a lehetséges felhasználást figyelembe véve három szintű megközelítésben és felépítésben gondolkodtunk.

I. megközelítés: A kultúrturizmus kritériumai (látványok) szerint.

II. megközelítés: A várostervezés igényei (tervek) szerint.

III. megközelítés: A város-rehabilitáció (építési engedélyek) kritériumai szerint.

A három megközelítési rendszer egymásra épül ugyan, de mindhárom esetben a kiindulási pont és az egyesítő elem ugyanaz az alaptérkép.

Az **I.** megközelítés a **kultúrturizmust** segíti, s kiemelendő lényege, hogy a pontos azonosíthatóság után elsősorban építészettörténeti leírásokat és kultúrtörténeti adatokat nyújt, megjelölve a műemlékeket és hangsúlyozva a látvány esztétikai értékét.

A **II.** megközelítés már a **várostervezést** kívánja szolgálni, magába foglalva az előzőeket, de pontosítva a tulajdonviszonyokat, megjelölve az épületek részleteinek állagát, valamint az általános urbanisztikai elvárásokat az illető épülettel szemben. Konkrétan kifejezést nyer a szükséges beavatkozások fokozata és módja. Ez a nyilvántartás már leírja, hogy milyen keretek közt módosulhat az épület, milyen alkalmazkodási feltételek (ereszmagasság, emeletszám, tetősík, utcavonal, funkcionális opciók, stb.) és helyi előírások léteznek. Ezen adatok már lehetővé teszik az urbanisztikai bizonylatok kibocsátását.

A **III.** megközelítési szint a teljességre törekszik és a **város-rehabilitáció** megvalósíthatóságát biztosítja. Az épületek állaga itt már nagy részletességgel (alapok, födémek, tetők, befejező munkák, anyagok) jelenik meg, s az urbanisztikai bizonylatok segédanyaga mellett az építési engedélyekhez szükséges új dokumentációkat is megjelenteti. Lehetőség adódik a régi és az újabb tervdokumentációk, valamint fotók és ábrázolások bemutatására. A

műemlékek nyilvántartási száma mellett ezek kategóriai besorolása is szerepel, együtt az előírt használati utasításokkal és védettségi fokozatokkal.

A kialakítandó térinformatikai rendszerről általában

A projekt fő kiinduló pontja egy olyan térinformatikai adatbázisnak a létrehozása volt, mely alkalmas a műemléki objektumok állapotának, környezetének, eredeti használati funkciójának stb. leltározására, az állagmegőrzési- ill. a restaurációs munkálatoknak a tervezésére és a műemléki gazdálkodás támogatására.

Kolozsvár-belváros örökségének térinformatikai nyilvántartásának kidolgozását, modern és szükséges célkitűzésnek tartjuk, mert végül is ez a módszer hatékony monitorizálását eredményezi a műemlék jellegű épületeknek, objektumoknak és a hozzájuk tartozó kultúrtörténeti leírásoknak, mely akár turisztikai kalauzként is szolgálhat.

Vizsgálatunk kiterjed annak a lehetőségnek a megteremtésére is, mely alapul szolgálhat műemléki túrák megtervezésének támogatására.

A rendszer meghatározott feladata szerint nyitott, és az alapkoncepció az alábbiakra terjed ki:

- lehetőség az adatfeltöltésre és adatmódosításra a feldolgozandó tematikák tekintetében.
- lehetőség a különféle képek és térképek geometriai beillesztésére.
- lehetőség a már valamilyen formában meglévő adatbázisok integrálására.
- a különféle tematikák szükséges felbontási és pontossági kérdéseinek vizsgálati lehetősége.
- Windows-alapú multimédiás rendszer, mely lehetővé teszi a könnyű kezelhetőséget.
- vektoros adatbázis, és ennek hibrid rendszerré való fejlesztési lehetősége.
- összehasonlító, elemző műveletek lehetősége, közvetlen tervezési célú felhasználás.

Mivel a feldolgozandó vizsgálati terület nagysága nem haladja meg a **3 km^2**-t, ezért a választott kiértékelési alapméretarány az **1:1000**. Ez nézeteink szerint általában megfelel a szükségleteknek, és adatfeltöltési szempontból is megfelelő (idő és pénzigény).

Az adatrendszer általános felépítése

Kiindulási feltételek:

- a projekt egységes rendszerben (GIS) történő megvalósítása,
- terjeszthető adatbázis létrehozása,
- az adatbázis fő feladata az információk szervezhetősége.

A geometriai (térképi) jellegű adatokat tekintve rétegszerkezet. A különböző (egymástól eltérő) geometriájú adatokat külön-külön rétegben (fedvényben) tároljuk.

Ezek kialakítása olyan, hogy önmagukban, együttesen, valamint belőlük részadatokat leválogatva vizsgálhatók, elemezhetők. Ez a geometriai alap biztosíthatja továbbá a különböző típusú vizsgálati alapanyagok zavarmentes beillesztését, illetve az egyéb információk bedolgozását. A geometriai alapokkal szoros összhangban határoztuk meg az alapadatok felbontóképességét, az adatgyűjtési méretarányokat.

A méretarányt tekintve egy többlépcsős szerkezet az ajánlott. Az alapméretarány után a kiemelt területek nagyobb méretarányú térképeit újabb lépcsőkben (újabb fedvényeken) tárolva azok megfelelő felbontással és relatív pontossággal, az alapméretarány abszolút rendszerébe illeszthetők. Emiatt a különféle méretarányban történő nézeteknél, elemzéseknél nem jelentkeznek bántó, az alapgeometriákból adódó torzulások, eltérések.

A szöveges adatokat tekintve táblázatos szerkezetet valósítottunk meg.

Az adatok alapvetően egy-egy térképi fedvényhez kapcsolódnak. Azonos fedvény-hez tetszőleges számú táblázat is kapcsolható. Szöveges információk (pl. leírások, tervek) bármely táblázathoz és térképhez is csatolhatók. Ezek kapcsolórendszerének a kialakítása a lekérdezés miatt nagy jelentőségű feladat.

A kialakított rendszer lehetővé teszi a képi információknak mind az adatbázisba történő integrálását, mind pedig csatolt hozzárendelését a térképi tartalomhoz.

A térinformatikai rendszer alapjául az ESRI cég ArcInfo/ArcView 3. típusú szoftverét választottuk.

A térinformatikai adatrendszer kialakítása

- EOV alapú egységes geometria
- minden objektum grafikusan is értelmezett
- elemi lekérdezések (név, hely stb.)
- kategória, építés ideje és stílus lekérdezhetően
- keresés az objektum neve és tulajdonságai alapján is
- összetett lekérdezési műveletek, elemzés lehetősége
- grafikus és attribútum adatok kiegészítése, javítása
- Alap-térinformatikai rendszer illetve geometriai rétegszerkezet kialakítása,

ezen művelet alatt munkaterületek (Workspace) és térképlapok (Shape) a különböző típusú geometriának megfelelő munkaterület ill. térképlap méretarány és terület szerint egymásba illesztését értjük.

- Kapcsolódó szöveges táblázatok létrehozása,

az egyes szövegkönyvtárak (Info) táblázat fájlok (DBF-fájl) minden területi elemhez, illetve ezek bármelyik csoportjához történő kapcsolódását jelenti.

- Képi alapú rétegek létrehozása,

a geometriailag feldolgozott fotók, illetve beillesztett felvételek (transzformátumok), rajzok beillesztése a feladat.

- Az egyes rétegekhez csatolt segédinformációk (ún. hot link -ek) kialakítása,

a képek, térképek, képszerű adat leírások, rajzok, minden területi elemhez, illetve ezek bármelyik csoportjához történő kapcsolódása.

Műemlék nyilvántartási kataszter térinformatika alapú rendszerének általános vizsgálata

Ezen vizsgálatnak és kutatásnak két alapvetően fontos szempontot kell érvényesítenie, a kor és a tudományos élet korszerű és időszerű igényei szerint, ma az informatikai forradalom hajnalán.

Egyrészt az évszázadok alatt felhalmozódott, és nehezen hozzáférhető levéltárak, könyvtárak, magánlevelezések, sajtó-gyűjtemények, népszerű irodalmi és magánkönyvtárak vagy éppen a szájhagyomány, mondjuk egy szóval, hogy szakirodalom, összegyűjtése és “uralása”,

Másrészt az informatikai forradalom reális lehetőségei és igényei szerint történő, könnyen kezelhető rendszer kialakítása a mai tudományos igények szerint.

Sajnos, hogy ma nem minden bölcsész van tudatában annak, hogy ez az informatikai lehetőség ma már létszükséglet, és olyan valós korparancs, ami a mulasztókat nagyfokú lemaradással és lehet, hogy végleges kieséssel bünteti. Ez az ugyan elodázható, de viszont elkerülhetetlen korigény a hagyományos „klasszikus” kutatási módszertanok ellenére is ér-

vényesül, s pont ezért nem mindegy, hogy milyen szellemi minőséghátterrel és végeredménnyel érvényesül ez az információ-technológia adta lehetőség.

A kutatás eléggé izgalmasnak mondható dologra vállalkozott, mert kultúrtörténeti és műemlék-történeti adatokat és leírásokat (lehet, hogy verseket is) rendszerez, kapcsolja a helyszínhez (Bölöni Farkas Sándor a kolozsvári Főtér 11 száma alatti Wass Ottilia féle neorokokó palotában írta amerikai útinaplóját, hogy példával is éljünk) kapcsol logikai rendbe, abban a reményben, hogy ez a következő nemzedékek hasznára lesz a kitágult térben, és a megrövidült időben.

Európai, magyarországi és romániai szinten sem sikerült még egy viszonylag egységes olyan informatikai rendszert kialakítani, ami az urbanisztikát, területfejlesztést, városrendezést, műemlék-nyilvántartást, kultúrturizmust vagy kultúrtörténetet hatékonyan szolgálja, holott az igény szintje szinte le sem írható.

A műemlék-nyilvántartási rendszerek igen különbözőek, mert maga a műemlékfogalom is országonkénti eltérést mutat. Olaszországban bőségesen találhatunk sziklatemplomokat, míg Romániában a legnagyobb becsben a román fatemplomok vannak, miközben a zarándokhelyként létező fehéregyházi Petőfi emlékmű nem is nyilvántartott műemlék.

Kinek kell ezt minőségi szinten korrigálnia? Nyilván a mai magyar tudomány, határon innen és túl.

Kérdés, hogy mi minden adódik még ebből az egy észrevételből?
Jelezzük, hogy az erdélyi magyar történeti és kultúrtörténeti helyszínek kutatása, honismereti mozgalom, ugyan van, de informatikai rendszerbe foglalása megjelenítése még csirájában sem létezik.

További kérdés az, hogy a műemlékvédelemben és a kultúr-történelemben mit is hozhat a jövő és az, hogyan integrálódhat később az elkészülő rendszerbe? A jövő kérdéseit is szükséges megfogalmazni, melyet az informatikai rendszerbe is be kell építeni biztosítva a kellő nyitottságot és az időtállóságot.

Például szolgálhat a kultúr-táj fogalma, ami Közép-Kelet-Európában még súlyos "meghatározási gondokkal" küzd, de biztos, hogy a jövő megbecsült értéke és az eljövendő kultúr-turizmus mozgatórugója lesz.

Végül nem elhanyagolható szempont az sem, s innen ered a kutatási téma várható eredményeinek elképzelése, hogy azt csak Kolozsvár belvárosára méreteztük.

Szakmai támpontként szolgálnak a nemzetközileg elismert (Atheni-, Velencei-, Washingtoni-, Szófiai- s a Mexikó-városi) Chartak, amelyek nemcsak a restaurálási elvekről, hanem az emlékek megértetésének igényéről is szólnak, még a bennük lakók irányába is. Mert kiderült, hogy az épített kulturális örökség és a műemléki értékek társadalmi ismeretlensége (iskolában még nem tanítják) nagyon hátrányosan érintik a műemlékeket, s minőségi tudatalakítás nélkül minimális a mentő és adakozó szándék.

A térinformatikai rendszer alapját képezik a Kolozsvár belvárosára alkalmazandó kultúrtörténeti-, műemléki- nyilvántartási lapok, valamint számjelzések, amelyek a kellő pontosításokkal és egyéb adatoknak a geokóddal történő összekapcsolása által az egész rendszert adják.

A számjelzés, segítségével a szakember gyorsan és pontosan tájékozódhat.
A „kulcsszavak", történelmi városaink esetében az építészeti stílusról (gótikus, eklektikus stb.), a betöltött funkcióról (templom, iskola, palota, stb.), valamint a kultúrtörténeti nevezetességről (ezt nevekkel jelöljük, például: Petőfi, Vörösmarty, Bolyai, Dávid Ferenc, stb.) szólnak népszerű eligazítást is tartalmazva, de nem feledkezve meg a bibliográfiáról és a sokrétű képi kapcsolatokról. Régi és új képek mellett tervrajzok és egyéb szaktanulmányok is kapcsolhatókká válnak, megteremtve ezáltal a rendszer folyamatos bővítésének lehetőségét is.

A kiegészítő geometriai kérdések közül a legfontosabb a különféle módszerekkel előállított információs rétegek tökéletes illesztése, mivel ez a közös elemzést és egyúttal a feldolgozás pontosságát is erősen befolyásolhatja.

Ugyancsak részletes vizsgálat tárgyát képezte a képi (fotók, rajzok) információk alkalmazhatósága, ezek együttes analízise és az ezek alapján történő geometriai adatgyűjtés különböző szempontjai. Ehhez kapcsolódik a folyamatos terepi adatgyűjtés.

Az egyik legfontosabb jellemzője egy térinformatikai adatbázisnak a tematikus információtartalma és annak strukturális felépítése.

Gyakorlatilag a műemléki nyilvántartásokban olyan sokféle információtípust használnak fel, hogy meglehet többféle adatbázist kell egyszerre létrehozni illetve megvizsgálni. Fontos megvizsgálni, hogy részben az eltérő információk, ezek adattípusai zavarják-e az együttes felhasználást, részben pedig milyen típusú adatokat célszerű egy-egy rendszerbe összevonni.

A tartalmi információkat, a lekérdezhető táblázatos információk szerinti műemléki objektum kategóriákat, az objektum építési idejét, stílusát, eredeti használati-, rendeltetési funkcióit, külön kiemelt csoportokba helyeztük.

A Zsigmond falakon belül minden épületet szerepeltetünk. A városmagból kifutó utakról csak a fontosabb épületek szerepelnek. Az óramutatóval egy irányba forogva, körkörösen kifelé haladva számoztunk.

A használt számjelzés: Kerületszám. KVÁR. Utcaszám. Házszám.

Végül, de nem utolsó sorban figyelembe vettük egyéb turisztikai és idegenforgalmi adatok felhasználásának a lehetőségeit is.

Zárómegjegyzések

A környezeti vizsgálatok köré csoportosuló várható feladatok határozzák esetleg majd meg a későbbiekben Kolozsvár belvárosának műemléki térinformatikai adatbázisának további fejlesztési irányait és felhasználhatósági lehetőségeit.

A megjelenő feladatok egy-egy környezeti réteget képeznek majd s ezen rétegek első nagy csoportjaként véleményünk szerint az épített környezeti viszonyokat fogja képezni ennek megvizsgálása remélhetőleg érdekes eredményekre vezethetnek majd.

Sajnos nem állnak a rendelkezésünkre szigorúan vett környezetvédelmi adatok.

Valószínű, hogy a későbbi munkálatok megkövetelik majd, hogy elkészítsük a terület régészeti lelőhelyeinek és a régi város erődítési vonalainak rétegeit is.

Mivel a belvárosi terület turisztikai szempontból is exponált, szükségesnek látszik a megfelelő turisztikai, idegenforgalmi adatcsomagok technikai, térinformatikai lehetőségeinek tanulmányozása és integrálása a projektbe.

Az adatok integrációja egy egységes rétegszerkezetbe, gyors információközlést és elemzést tesz lehetővé. Kiegészítésként létrehozhatók olyan adatcsoportok is, amelyek támogathatják a kulturális, társadalmi célú önkormányzati vagy civilszervezeti tervező munkát.

Műemléki objektumok rehabilitációjához korábbi adatok feldolgozása feltétlenül szükséges, ez azonban a környezeti információk figyelembe vétele nélkül egyszerűen lehetetlen.

Összefoglalás

A projekt várható eredményeit röviden az alábbiakban foglalhatjuk össze:

- Alapvető fontosságú egy műemléki kataszter megvalósításánál felhasználásra kerülő térinformatikai adatrendszer feltöltésénél a megoldandó feladatok ismeretében a szükséges térképészeti alapméretarány és az adatgyűjtés méretarányának kiválasztása. Az adatbázis összetettsége miatt mindenképpen lépcsős szerkezet javasolható.
- A tervezett rendszer felépítése, lehetőségei meghatározták a bedolgozandó anyagok integrációs körülményeit. Az adatgyűjtés lépései ezektől függenek, tehát a munka elején ezeket már el kellett dönteni. Alapvető fontosságú a cél, a bedolgozott alapinformációk és a rendszer egysége. Javasolható részben a tematikus információk térbeli azonosítása miatt a GPS technika, mint a fő terepi geometriai adatgyűjtő módszer.
- Fontos az integrációt geometriailag meghatározó alaptérképek tematikus jellegű elő feldolgozása, hogy könnyen megoldhatóvá váljon a legkülönfélébb alapanyagok illesztése, ezáltal elősegítve az alaptérképek együttműködését a tematikus adatokkal.
- Általában célszerű a tematikus információk egységes tartalmi rendszerben való kezelése (pl. relatív állapotjellemzők, azonos jellegű minősítés), mivel így könnyebbé válhat az adatcsoportok nemcsak speciális szakemberek által történő gyors hasznosíthatósága.
- Kiegészítésként megállapítható, hogy a különböző távérzékelt alapanyagok mind nyers formájukban, mind tematikus feldolgozás után beépíthetők nagyobb méretarányú térinformatikai rendszerekbe, és megfelelő adatfeldolgozás után, illetve az adatgyűjtés célszerű megválasztásával együttes további értelmezésük is megoldható.
- Végezetül azonban kijelenthető, hogy egységesen mindenre alkalmas települési műemléki térinformatikai rendszer nehezen képzelhető el. Ki kell választani a fő célokat, és a rendszer felépítését ehhez kell igazítani.

Hivatkozások

Balogh F, Selinger S, Winkler G (2001): Kolozsvár-belvárosa építészetének térinformatikai katasztere -Arany János Közalapítvány.

Határon Túli Magyar Tudományosságért (2001) Pályázat.

Balogh F, Selinger S, Winkler G (2001): Erdélyi műemlékek adatbázisa. XI. Országos Térinformatikai Konferencia, Szolnok.

Balogh F, Selinger S, Winkler G (2002): Kolozsvár-belváros térinformatika alapú építészettörténeti adatbázisa. XII. Országos Térinformatikai Konferencia, Szolnok.

… Kulcsok Kolozsvárhoz (2000): A föl nem adható város. Mozaik kiadó, Szeged.

… Kolozsvár 1000 éve (2001): A 2000. október 13-14-én rendezett konferencia előadásai, EME, EMKE, Kolozsvár.

Fodor A (2000): Kolozsvári Képeskönyv. Glória kiadó, Kolozsvár.

ERŐDÍTÉS- ÉS KÖRNYEZETREKONSTRUKCIÓ TÉRINFORMATIKAI ESZKÖZÖKKEL

Winkler Gusztáv[*]

Fort- and environmental-reconstruction with GIS *- This paper deals with the part of GIS wich supports the historical and archeological reconstruction, meanwhile is the subject of the examination itself, too. We deal intensivly with data sources and supplemental ground collection of data.*

A dolgozat bemutatja a térinformatika alkalmazását olyan esetekben, amikor a felépített rendszer maga is szerves részét képezi a kutatás folyamatának, tehát nem pusztán adatbázisként működik. Ezt a felhasználási módot a múlt objektumainak vizsgálatán keresztül tárgyalja.

Kulcsszavak: térinformatika, hadtörténet, régészet, objektum-rekonstrukció

Bevezetés

A dolgozat a térinformatikának azzal a területével foglalkozik, amely támogatva különböző speciális feladatok (esetünkben a környezeti és erődítési elemek rekonstrukciója) megoldását, maga is a vizsgálat részévé válik. Már ez utóbbi tény is felvet az adatgyűjtésnél a megszokottól eltérő eljárásokat, nem beszélve a humán szakterületek különleges igényeiről. Emiatt foglalkozunk kiemelten az adatforrások kérdésével és a műszaki területeken alkalmazott adatgyűjtési eljárások (geodézia, távérzékelés) felhasználhatóságával. A dolgozat második része magának a rekonstrukciónak a problémáival, megoldási módszereivel kapcsolatos. Remélhetően így áttekintést nyújt e kérdéskör kezeléséről, a megoldhatóság kritériumairól.

A régészeti és történeti adatok (mint elsőrendű forrás) feldolgozása

A rekonstrukciós adatbázisok feltöltésénél alapvető kérdés az, hogy az információszerzés nem csak terepi, távérzékelési információk begyűjtésén alapszik, hanem nagyon fontos a megfelelő szakterületek korábbi anyagainak bedolgozása is. Sok esetben ezek számítanak kiinduló adatoknak, vagy a rendszer csak belőlük épül fel. Ezek az adatforrások azonban különböző részletességűek, tartalmúak lehetnek, így térképi összehangolásuk általában szükséges és elengedhetetlen. Emiatt alapvetően szükséges az együttes adatfeldolgozás, ami általában térinformatika alkalmazását jelenti. Az egységesítésnek az esetleges ellentmondások kiküszöbölése mellett meg van az az előnye, hogy segítségével elképzelhető újszerű információk kinyerése is (pl. egyenként elenyésző jelek integrációja behatárolhat egy védművet). Ráadásul, a régészeti és történeti adatok eltérő struktúrája és irányultsága gyakran tartalmi ellentéteket takar. Ez főképpen a régebbi koroknál áll fenn (esetünkben XV-XVI. század), emiatt a kritikai hozzáállás (forráskritika) fontos eleme az adatgyűjtésnek. Természetesen csak a mérnöki szempontok szerinti forráskritika engedhető meg, a humán-szakmai felülvizsgálatot az e területen dolgozó szakembereknek kell elvégezni.

Általánosságban elmondható, hogy főként a geometriai jellegű adatgyűjtés esetében a mérnöki jellegű adatgyűjtésnek van elsőbbsége. Az ilyen források a mérnöki (katonai) felmérések, adatok, térképek, leírások. Ezek katonai vagy igazgatási célokból készültek, így készítőik mindig az objektivitásra törekedtek, a lehető legpontosabb szakmunkát végezték.

[*] *Fotogrammetria és Térinformatika Tanszék*
1111 Budapest, Műegyetem rkp. 3.
E-mail: gwinkler@eik.bme.hu

Különösen előnyös, hogy a török háborúk korában részletes erődítési térképek is születtek. A katonai felmérések fontos tartalmi adata a domborzat ábrázolása, mivel ez határozza meg a telepítés körülményeit, a vízviszonyokat, illetve egyes objektumok feltételezett helyét is. Természetesen, még ezeknél a forrásoknál is lehetséges értelmezési probléma.

Felmérések és térképek használata

Most tekintsük át röviden a rendelkezésre álló térképi alapinformációkat. A legjobb környezeti információkat az 1:10000 méretarányú topográfiai térképek szolgáltatják. A korábbi (sztereografikus, Gauss-Krüger) térképmű kiemelkedő előnye a mikrodomborzat pontos ábrázolása, annak rengeteg "rejtett" információjával. Ma is ezeknek a térképeknek alapján lehet legjobban lokalizálni (domborzat alapján) a régészeti objektumokat. Kiegészítésként meg kell jegyezni, hogy mivel a régészeti objektumok, lelőhelyek kiterjedése viszonylag kicsi (néhány hektár), ezért gyakran célszerű megelőző jellegű mikrodomborzati felmérést készíteni geodéziai eszközökkel nagy pontossággal.

A távérzékelés lehetőségei a felszíni objektumok, jelenségek felderítésénél

A következőkben tekintsük át, milyen természetes jellegű jelenségek utalhatnak az általunk keresett (XVI. századi) objektumokra, mi lehet a fotóinterpretáció segítségére. Egyik legfontosabb a felszíni vizek vizsgálata. A vízfolyások alakja sokáig megőrzi a korábbi mesterséges beavatkozások (elterelés, szabályozás) hatását. Ugyancsak fontos lehet (a felszín alatti vizsgálatokhoz is) a mocsaras területek elhelyezkedése, alakja. Ezek általában kizáró jellegűek, a korábbi elárasztások jeleit őrzik, ha kapcsolhatók mesterséges alakzatokhoz. Fel kell hívni a figyelmet arra is, hogy a felszíni jellegű objektumok kutatásánál azonos jelentősége van mind a fekete-fehér, mind a színes és színes infra felvételeknek. A felismerésnél általában a tapasztalat dönt, a különféle tónusok, színek csak másodlagos támogatást adnak. Amennyiben a kiértékelő nem ismeri az általa keresett objektum-típus geometriai jellemzőit, lehetséges térbeli összefüggéseit, még felszínen lévő elemeket sem ismer fel, az összefüggéseken pedig természetesen átsiklik.

Újabban nagy segítség lehet a napjainkban teret hódító lézer-szkennerek alkalmazása. Ez a módszer ugyanis alkalmas közvetlenül 3 dimenziós koordináták meghatározására, mégpedig nagy sűrűséggel. Ezekből az adatokból előállítható a felszín modellje, mégpedig úgy, hogy viszonylag kis magasságkülönbségek is jól elemezhetőkké válnak. A módszer további előnye, hogy szerencsés esetben a felszíni növényzet nem befolyásolja a terepmodell minőségét és részletességét.

A távérzékelés lehetőségei a felszín alatti objektumok felderítésénél

A felszín alatti objektumok felderítése már összetettebb probléma, mivel általában topográfiai jellemzőkhöz nem köthető észlelésük. Ezért a fotóinterpretációs felismerésük különböző állandó és tünékeny jelenségek vizsgálata alapján lehetséges. Állandó jelek például a talajváltás, parcellakiosztás, vízrajzi helyzet, a domborzat és növényzet kölcsönhatása, a tünékeny jelenségek csoportjába tartoznak a felszíni elszíneződések, idényjellegű növényzet, meteorológiai hatások, stb.

Alapvetően kimondható, hogy a különböző típusú távérzékelt felvételek használhatósága nem hierarchikus (egyre jobb és jobb lehetőségek), hanem módszereikben teljesen eltérő, más-más célból használható eredményeket produkálhatnak. Az alapvető kutatási esz-

köz az archív légifénykép-állomány, hiszen segítségével több időpontban (multitemporális módon) vizsgálhatók a fontos terepszakaszok, ezzel kiküszöbölve meteorológiai és földhasználati (melioráció) problémákat is. Nem beszélve arról, hogy a régi anyagok segítségével sok terület még beépítés előtti állapotban kutatható, ami az összefüggések szempontjából lehet meghatározó. Az új típusú légianyagok pedig kihasználva az infravörös tartomány és a növényzet reakciójának kapcsolatát a pillanatnyi növényzetállapot megfigyelésével közvetlen adatokat szolgáltathatnak a felszín alatti jelenségekről (pl. nedvességtartalom, növényzetvitalitás és fajtavizsgálat).

Speciális távérzékelési eljárásokkal további értékes információkhoz is juthatunk. A középső infravörös tartományban működő úgynevezett termális szkennerek, termovíziók az objektumok belső hőmérsékletének hatására kibocsátott infravörös sugárzást mérik. A földalatti falak, árkok, stb. sugárzása jelentősen eltérő, így, ha ezek hatása kijut a felszínre, képi formában közvetlenül rögzíthető, felismerhető, térképezhető. Hasonlóan speciális és fontos adatokat szolgáltathatnak például a térképező radarrendszerek. Ezek felvételei készülhetnek olyan módon, hogy a felszíni növényzet ne zavarjon a felszín kutatásánál (pl. víztartalom, felszíni érdesség), illetve szerencsés esetben a felszín alól visszajövő jelekkel közvetlen képet kaphatunk mélyebb rétegekről.

Környezetrekonstrukció

A régi katonai objektumok elhelyezkedésének kutatását támogató környezetrekonstrukcióról lesz szó a következőkben. Mivel általában erődkutatási feladatoknál önmagában is szükséges a korábbi környezet meghatározása, mindig felmerül a kérdés, hogy minden térképhez kapcsolódó feladat megoldása, így a rekonstrukció is, milyen geometriai környezetben oldandó meg. Ehhez kapcsolódóan megállapítható, hogy a helyi jellegű, néhány tucat négyzetkilométer területet felölelő munkák felbontása és alapméretaránya célszerűen az EOV 1:10000 méretarányú topográfiai alaptérkép, mivel a régi anyagok egyébként sem dolgozhatók fel eredményesen ennél nagyobb méretarányban. A rekonstrukció időbeli alapadatainak jelentős részét az archív térképek jelentik. Az utóbbi 250 év távlatából vagyunk képesek segítségükkel információkat gyűjteni. Az úgynevezett katonai felmérések adataikban pontos, részletes információit megfontolt geometriai feldolgozás után hasznosíthatjuk. Sok esetben ezek felhasználása önmagában elégséges a kívánt idősorok, vagy egy konkrét környezet meghatározásához.

A környezetrekonstrukció pontos meghatározását segítik még a nagy számban fellelhető és rendelkezésre álló geodéziai, nagyméretarányú felmérések, alaptérképek, amelyek főként az utóbbi száz év rekonstrukciós munkáinál játszanak szerepet.

A környezetrekonstrukció második nagy adatforrás-csoportja a különböző célból készült légifotó-sorozatok. Az archív légianyagok részben konkrét eredményeket szolgáltathatnak, a kisebb nehézség abban jelentkezik, hogy a fotóinterpretáció eredményét természetesen nem lehet terepbejárással ellenőrizni, és így néhány objektum, jelenség értelmezhetetlen marad. Nagy előnyük van azonban a korábbi időpontok kutatásánál azért, mert gyakran a tagosítások, meliorációk előtti állapotot ábrázolják. Így sokkal könnyebben juthatunk korábbi árkok, sáncok nyomaira, amelyeket azóta, mivel nem volt jelentős magasságkülönbségük, a mezőgazdaság már elpusztított.

Miután feldolgoztuk az alapanyagokat (itt már mindenképpen térinformatikai jellegű környezetben), a környezetrekonstrukció következő lépése az egységes tematikus térképrendszer létrehozása. Ez azt jelenti, hogy ugyanolyan jelkulccsal, egybevágó geometriával, ugyanolyan topológiával kell a jelen állapot, és a korábbi állapot térképeit elkészíteni. A geometriai nehézségek miatt a megoldás majdnem minden esetben az alaptérképből fokozatosan levezetve történő térképszerkesztés (a nagyon régi állapot és a mai állapot közötti ke-

vés geometriai kapcsolat miatt). Ehhez járul a magassági modell segítségével történő speciális szerkesztések, korrekciók megvalósítása, ami végén előáll a rekonstrukció fizikai modellje a GIS adatbázisban. Amennyiben a vizsgált időszakra vonatkozó leírások, egyéb információk is rendelkezésünkre állnak, ezek elemzése, bedolgozása után megkapjuk a teljes és végleges környezetrekonstrukciót.

Katonai objektumok (XV-XVI. század) felderítése és elméleti modellje

A katonai objektumok rekonstrukciója az általános környezetrekonstrukciónál lényegesen összetettebb feladat amiatt, mert magába foglalja az objektumok elvi felépítésének, funkciójának ismeretét, az esetleges régészeti elemel felderítését és a konkrét környezet-elemzést (rekonstrukciót) is. Ezért a korábban tárgyalt térképi (felmérési) és fotóanyag mellett nagy szerepe van a katonai, történeti és műszaki szakadatoknak is. Sőt sok esetben ezek az adatok a döntőek (az objektum részleges vagy teljes megsemmisülése miatt).

Az objektumrekonstrukció természetes kiinduló információi a történettudományokhoz kapcsolódó adatok. Hiszen a történeti - hadtörténeti források alapján kezdődik általában maga a vizsgálat is. Fontos azonban megjegyezni, hogy a történeti leírásokat szigorú forráskritika alá kell venni, mert ezek gyakran a politika és szubjektív megítélés hatókörébe kerülnek. Van azonban egy olyan szelete a hadtörténelemnek, amire biztosan hagyatkozhatunk. Ilyenek a helyszíni katonai jelentések (ostromokról, stb.), a hadmérnöki felmérések. Természetesen ezek is tartalmazhatnak hiányokat, de általában megbízható forrást jelentenek.

A műszaki irányba történő elmozdulást a régészeti adatok feldolgozása hozza magával. A régészeti feltárások, információk a maguk grafikai valóságukban jelentenek pontos kiindulási adatokat. Itt meg kell jegyezni, hogy a régészeti felmérésekről, adatrögzítésről van szó, nem ezek (sajnos gyakori) interpretációjáról.

A rekonstrukcióhoz szükséges műszaki segédtudományok közül legfontosabb az építőmérnöki ismeretanyag. Ez magába foglal bizonyos statikai, dinamikai kérdéseket (mi, hogyan épül és építészetileg miért), közlekedésépítési feladatok megoldását (szállítás, logisztika) valamint geodéziai kérdéseket (tűzvezetés, irányzás, fő védelmi irányok, stb.) is. Az ilyen jellegű alapadatok bevonása a feladat megoldásába kiküszöbölheti a funkciótlan, "művészi jellegű" elméleti rekonstrukciós elképzeléseket. Nagyon fontos a fegyvertani ismeretek alkalmazása. Amennyiben tudjuk, hogy melyik fegyver hogyan működik, alkalmazásának milyen kritériumai vannak (pl. mekkora tér szükséges egy ágyú kezeléséhez, mekkora a hatásos lőtávolsága), az objektumok "szükséges" méretei, felépítése is a valóságnak megfelelőbbek lesznek. Ehhez kapcsolhatók olyan hadművészeti ismeretek is, ami azt világítja meg, hogyan és miért úgy hajtottak végre bizonyos védelmi, támadó tevékenységeket. Mindezek az eddig bemutatott források határozzák meg a keresett objektum elméleti modelljét (milyen elemekből állt, ezek hogy nézhettek ki, hogyan funkcionáltak).

A katonai objektumok gyakorlati felépítését természetesen valamilyen egységes geometriai rendszerben célszerű megvalósítani. Az erődítmények környezetének kutatási alapja (mint korábban is leírtuk) az 1:10000 topográfiai térkép. Azonban, mivel az egyes várak, erődök, sáncok területe viszonylag kis kiterjedésű, és egyébként bonyolult felépítésűek, az erődrekonstrukció egy nagyobb nagyméretarányú alaptérképen történik. Ugyanez vonatkozik a magassági információkra is. A topográfiai térképek pontos magassági adatai itt általában csak az átfogó elemzésre alkalmasak. A kiegészítő helyszíni felmérésekre gyakorlatilag mindig szükség van. Ez nem csak a mikrodomborzat meghatározása miatt van így, hanem amennyiben nem ismerjük fel az egyes erődelemeket (nincs szakmai ismeretanyagunk), akkor felmérésünk nem célirányos, nem mindig biztosítja az erődelem felismerését.

A rendelkezésre álló archív térképek közül ez esetben a geodéziai jellegű hadmérnöki felmérések a mérvadóak (a katonai topográfiai felmérések túl kis méretarányúak). Eze-

ket mindig alapként lehet felhasználni, még akkor is, ha esetleg hiányosak. Az egyéb térképi anyagokat, földrajzi térképeket, látványképeket általában csak kiegészítőként szabad alkalmazni (forráskritika).

A légifényképek kettős szerepet játszhatnak a rekonstrukcióban. Részben, mint régészeti objektumokat vizsgálva, a föld alatti elemek, növényzeti anomáliák felismerésével, részben pedig a fotóinterpretáció segítségével, átfogó összefüggések felismerésével. Az elméleti modell ismeretanyagát alkalmazva, a terepfelmérés, térképelemzés és fotóinterpretáció együttes eredményét integrálva készül el az objektum fizikai modellje, ami már a teljes rekonstrukciót (esetenként 3D felépítést, funkciót) tartalmazza.

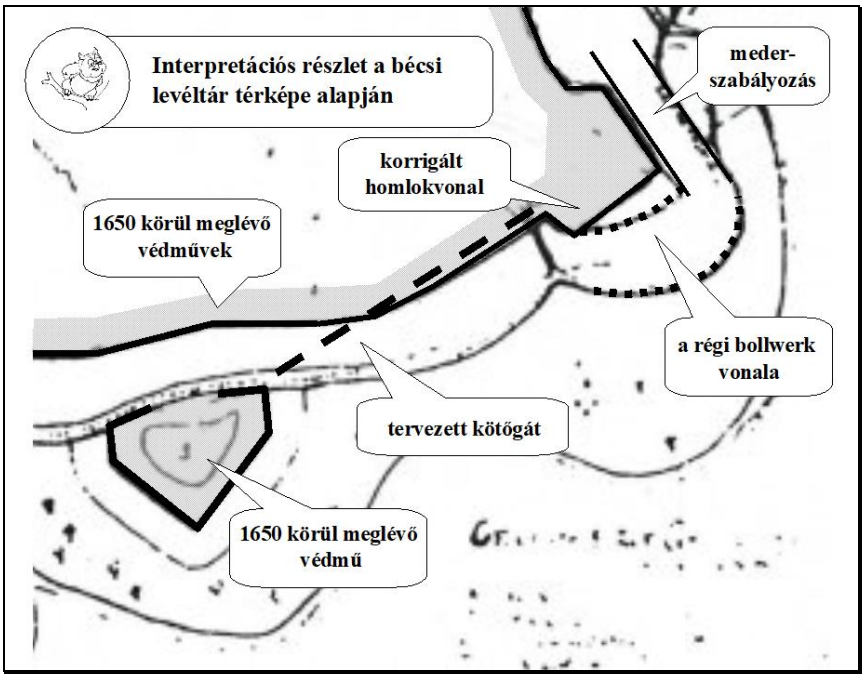
Az objektumrekonstrukció térinformatikai eszközökkel

Mint korábban említettük, a térinformatika jelentős alkalmazása az, amikor közvetlen célja nem nyilvántartási jellegű GIS, hanem a térinformatika eszközeivel konkrét kutatási feladatok megoldása. Tehát a térinformatika mint szükséges újszerű eljárás jelenik meg az erődítmények feltárásának, felépítésének tisztázásánál. Emiatt talán a térinformatika legmagasabb fokú alkalmazásának is tekinthetjük, hiszen új információkat hozunk létre segítségével.

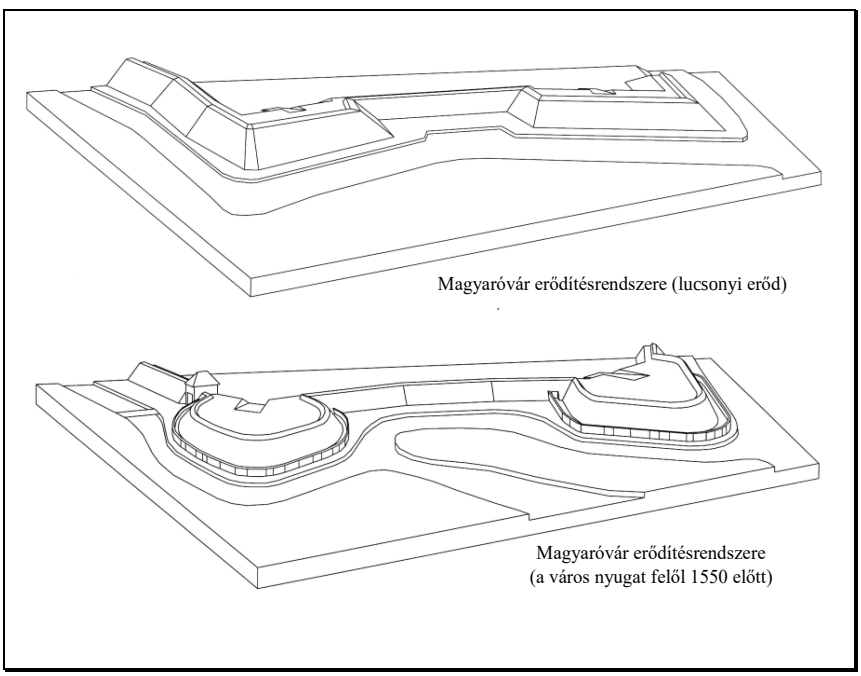
A módszer lényege a következő: A térinformatikában adott egységes rendszerbe kell integrálni minden rendelkezésre álló olyan alapinformációt, amelyik a kérdéses vizsgált erődítéssel kapcsolatos. Miután kiválasztottuk adatbázisunk alaprendszerét (ez minden esetben az EOV rendszer), ebbe illesztjük bele az összes adatunkat. A korábban tárgyalt alapanyag-feldolgozási eljárásokkal kapcsolatban meg kell jegyezni, hogy az általában használt nagyobb méretarányok (pontosság, felbontóképesség) miatt a különféle térképek, képek geometriai bedolgozása (integrálása) körültekintő munkát kíván. Alkalmazhatók a pontosság növelésére olyan megfontolások is, hogy az interpretáció eredményeként felismert azonosnak elismert részletek, objektumok transzformáció nélkül kerüljenek az egységes rendszerbe, illetve ezek az elemek illesztő-felületként funkcionálhatnak egy erősen megosztott, "töredezett", kis területeket érintő transzformáció-sorozatnál.

Az adatok térinformatikai összegzése jelenti a kutatási feladat kiindulási helyzetét. Az együttes értelmezés kijelölheti azokat a területeket, ahol további, terepi információgyűjtés szükséges, illetve konkrét részeredményeket is produkálhat. A terepbejárás kiemelten fontos része a munkának. Részben olyan felmérések céljából, amelyek nagyméretarányú adatgyűjtést kívánnak (mikrodomborzat, kis mértékű terepidom-változások). Sok esetben a terepbejárás önmagában is fontos eredményeket hozhat (erődelemek felismerése konkrét alapismeretek alapján), és kaphatunk olyan speciális terepi információkat is, amely további előrehaladást jelenthet (pl. lakosság elmondása alapján).

A terepi információkkal kiegészített térinformatikai rendszer végleges elemzéséhez ezután hozzávesszük háttér-információként pl. a speciális hadmérnöki ismereteket, és az összes adat birtokában nagy megbízhatósággal rekonstruálni tudjuk az egész létesítményt, a közvetlen környezetével együtt. Így a rendelkezésre álló adatok együttes interpretációjával, építési megfontolásokkal magában a térinformatikai rendszerben történik meg a végleges rekonstrukció. Belátható, hogy ez a módszer magába tudja integrálni az összes információt, ezek együttes vizsgálatára is alkalmas, a végleges térképezés pedig országos rendszerben történik (1. és 2. ábra). Így a lehető legpontosabb és leghasználhatóbb erőd-vizsgálatot lehet segítségével végrehajtani, egyben az adatok kapcsolhatók a többi országos adatbázishoz is (legalábbis az elhelyezkedést illetőleg).



1. ábra. Példa a térkép-interpretációra.



2. ábra. Példa a 3D rekonstrukcióra.

II. VILÁGHÁBORÚS ORSZÁGERŐDÍTÉSEK VIZSGÁLATA TÉRINFORMATIKÁVAL

*Juhász Attila**

Reconstruction of the Hungarian defence lines (WW II.) using GIS *– Using GIS in historical object and event reconstruction is a new possibility. The system summarize lots of various data and documents and besides backup them.*

A térinformatikai rendszer alkalmazása a történelmi jellegű környezeti, objektum és eseményrekonstrukciókban egy új lehetőség a kutatók és egyéb felhasználók számára. A nagy mennyiségű, sokféle információt egy egységes rendszerben foglalja össze, így lehetőség van az adatkeresésen túl összetett elemzések, vizsgálatok végrehajtására is. Emellett megoldja az információk digitális archiválását is.

Kulcsszavak: térinformatika, rekonstrukció, Attila-, Árpád-vonal

Bevezetés

A II. világháború magyarországi eseményeinek feldolgozása az utóbbi években felgyorsult. Egyre több, e témakörrel foglalkozó publikáció jelenik meg, amelyekből mind szélesebb körű információkhoz juthat az érdeklődő. Azonban, még jócskán akadnak lehetőségek és új megközelítések, amelyekkel érdemes foglalkozni. Kutatásunk során a térinformatika felhasználásának lehetőségeit vizsgáltuk meg a háborús események, objektumok rekonstruálásában. Célunk volt a kiválasztott Magyarország védelmi vonalak (Attila és Árpád-vonal) korabeli környezetének térképezése, majd a vizsgált területen fekvő erődítési elemek és az események megjelenítése egy egységes rendszerben. Emellett a lehető legtöbb attribútum adat és dokumentáció illesztése az adatbázisba. A térinformatikai rendszer, így azon túl, hogy segítheti a témakörben érdeklődőket, kutatókat, egyfajta információarchiválást is lehetővé tesz.

Az erődítések és alkalmazásuk Európában, illetve Magyarországon

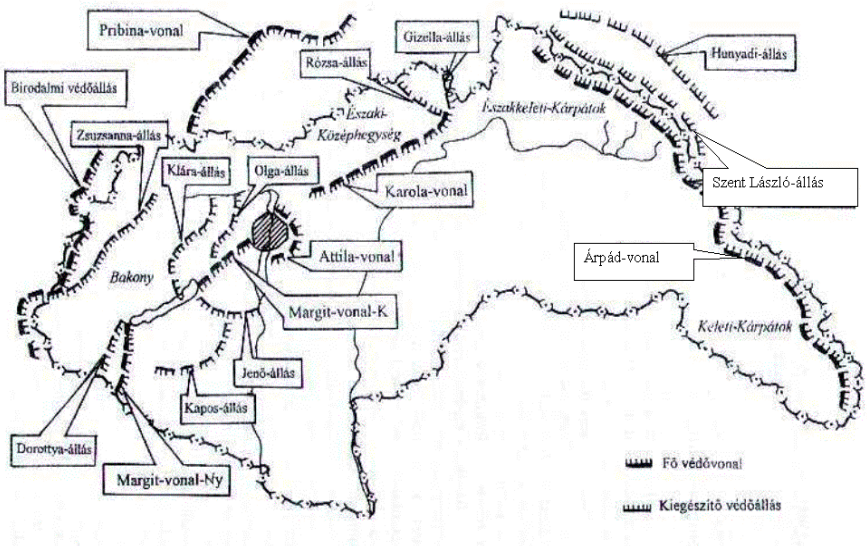
Az erődítések célja, hogy csapataink küzdőképességét növelje, míg az ellenségét csökkentse. Az erődítés a rejtőzködésnek, a terep megerősítésének és a hozzá való alkalmazkodásnak az egyidejű alkalmazása, melynek ellenálló képessége függ a létrehozására fordított időtől, anyagoktól, eszközöktől, munkaerőtől és a fellépő támadó hatás mértékétől. Ezek alapján két fő erődítési típust különböztethetünk meg: a tábori és az állandó erődítéseket.

A II. világháborúban használt erődítések kialakítását a legtöbb esetben az I. világháború tapasztalatai határozták meg. Különösen a nagyhatalmak kezdtek védelmi vonalak kiépítésébe, az általuk fontosnak vélt területeken. A legismertebb példa a francia Maginot-vonal a német határ mentén. Ezzel szemben épült a Siegfried-vonal. A szovjet Sztálin, a finn Mannerheim, a görög Metaxas vagy a kisantant magyar határra épített vonalai is nagy elvárásokkal épültek meg. Feladatukat azonban több oknál fogva nem tudták teljesíteni. A II. világháborúban alkalmazott új fegyvernemekre nem voltak felkészülve, vagy a határmódosítások miatt vesztették el a jelentőségüket.

A korabeli magyar erődítési rendszerek tervezői és kivitelezői tanulmányozták a már megépült rendszereket, és a tapasztalatokat felhasználva, valamint új elméleti és gyakor-

*MTA BME Geoinformatika Kutató C
1521. Bp. Műegyetem rkt.3.
E-mail: attjuhasz@epito.bme.hu

lati szempontokat figyelembe véve alakították ki az ország védelmét szolgáló vonalakat. Az új szemléletnek köszönhetően arányaiban nagyobb sikereket értek el a magyar védekező erők, mint fent említett külföldi erődítések védői. A Keleti-Kárpátokban lévő Árpád-vonal tulajdonképpen megállította a szovjet támadást, és feltartóztatta azt egészen addig, amíg ki nem vonták a védekezőket a bekerítés veszélye miatt. A fővárost védő Attila-vonal szerepe az összes körülményt figyelembe véve (a kiépítésre rendelkezésre álló idő, létszám, a védekező és támadó erő közötti különbség, stb.), szintén sikeresnek nevezhető. A magyarországi védelmi rendszer felépítésének elsődlegesen a dunántúli olajmezők és Németország délkeleti határának megóvása volt a célja. Az ország erődítésének kialakítása vezetett oda, hogy Budapest a háború egyik legnagyobb város ostromát szenvedte el.



1. ábra. Magyarország erődített vonalai és állásai 1944-45.

A térinformatikai rendszer felépítése

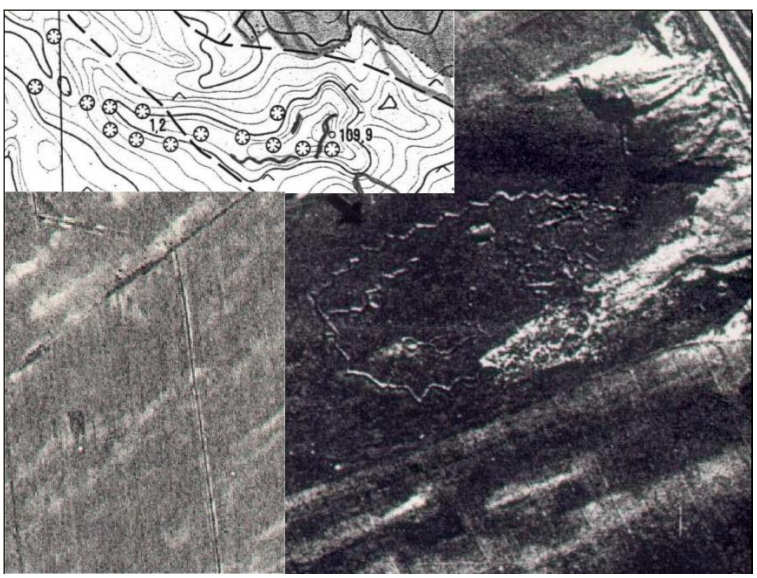
A térinformatikai rendszer kialakítását alapvetően meghatározza, hogy milyen típusú, illetve minőségű adatok állnak a rendelkezésünkre. Az adatstruktúrát úgy kellett megválasztani, hogy az minél inkább elősegítse a környezeti és objektumrekonstrukció végrehajtását, az események időbeni változásának követését és emellett megfeleljen a különböző felhasználói igényeknek is. A későbbi fejlesztések és bővítések lehetőségét is biztosítanunk kellett. A rendszer alapvetően két célt szolgál: elsődleges funkciója az ismeretterjesztés, tájékoztatás, másodsorban, pedig segítséget nyújthat a témakörben kutató felhasználók számára elemzési, lekérdezési lehetőségeivel. Három fő összetevőre bonthatjuk az adatbázist, amelyek azonos fontosságúak. A digitális térkép, az attribútumok és a dokumentációk. A rekonstrukciós térinformatikai rendszer esetén ez utóbbinak kiemelt szerepe van, ellentétben a hagyományos rendszerekkel.

A digitális térkép jelenti a rendszer geometriai alapját. Elsőként ábrázoltuk a vizsgált területek korabeli környezeti állapotát. Természetesen csak azokat a környezeti elemeket, amelyek katonai szempontból jelentőséggel bírnak, illetve lehetővé teszik az alapvető tájékozódást. A környezeti rekonstrukcióra alapozva hajtottuk végre az objektum rekonstrukciót. A kiválasztott védelmi vonalak különböző erődítési elemeit a szerint jelenítettük

meg, hogy milyen megbízhatóságú adatforrásból származnak. Az esemény rekonstrukció alapjául, a frontvonalak változása és a harcoló alakulatok megjelenítése szolgált. A térképi tartalomhoz tartoznak még a harci cselekményekkel kapcsolatos fontosabbnak ítélt objektumok, illetve a felhasználást elősegítő ikonok is. Az attribútum adatok képezik a későbbi vizsgálatok, lekérdezések alapját. Számuk kategóriánként változó, attól függően, hogy milyen súllyal szerepelnek a rendszerben. Kiindulásképpen csak olyan leíró adatokat integráltunk a rendszerbe, amelyek egy adott objektumféleség egyedeinek nagy részéről már rendelkezésre állt. Az attribútum adatbázisnál jóval nagyobb a dokumentációkat tartalmazó adatbázis. Ebben megpróbáltuk, megpróbáljuk összegyűjteni és archiválni a fellelhető információkat, származzanak azok bármilyen forrásból.

Az adatgyűjtés módszerei, az adatminőség

A geometriai adatok gyűjtésekor az elsődleges adatforrások közül szinte mindegyik felhasználásra került a rekonstrukció során. A rendszer felépítésekor korabeli állapotokat kellett rekonstruálnunk, ezért jellemzően az archív adatforrásokat (térkép, légi felvétel) használtuk. A környezeti rekonstrukció végrehajtásakor törekedtünk arra, hogy a háborúhoz időben a legközelebb eső térképeket gyűjtsük össze, majd ezeket légi felvételek alapján korrigáltuk. Az 1930-as évek közepén készült sztereografikus térképek és az 1950-51-ben készült légi felvételeket alkalmaztuk. Az objektum rekonstrukció már változatosabb adatforrásokat használtunk. A lényegi részt ez esetben is az archív felvételek interpretációja jelentette, amely a keresett erődítési elemektől függően változó nehézséget okozott. Ezt kiegészítendő, felhasználásra kerültek térképek, írásos dokumentumok, szóbeli információk is. Végül ellenőrzésként, illetve új adatok gyűjtésére, terepi méréseket is végrehajtottunk.

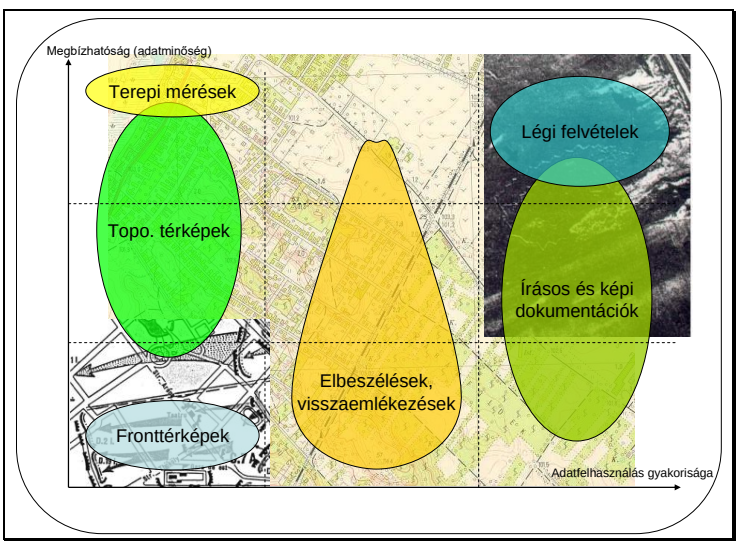


2. ábra. Harckocsi, gyalogsági árok és bombatölcsér archív anyagokon.

Az attribútum adatokat nagyrészt régi dokumentációkból (front térképek, katonai leírások, visszaemlékezések, erődítési utasítások) gyűjtöttük, de többször helyszíni szemlét is tartottunk. A dokumentációk tárháza a legszélesebb. Ezek típusuk szerint a következők lehetnek:

- Képek (Image): archív fényképek, mai fényképek, archív légi felvételek térképek, kivágatok, erődítési utasítások képei
- Szöveg (Text): könyvtári, levéltári anyagok, archív újságcikkek, mai publikációk, visszaemlékezések, személyes elbeszélések
- Video: archív anyagok, mai helyszíni felvételek
- Rajzok(CAD): manuálék szerkesztett rajzai

A térinformatikai rendszer objektumainak minőségét a felhasznált adatok minősége határozza meg. Az adatok minőségét pedig a következő jellemzők határozzák meg: eredet, geometriai pontosság, tartalmi pontosság, konzisztencia, teljesség, aktualitás. Rekonstrukciós célú térinformatikai rendszer esetén egyes jellemzőknek nincs jelentősége, másoknak megváltozik az értelme a szokványos rendszerekhez képest. Aktualitásról hagyományos értelemben nem beszélhetünk. A rekonstrukció végeredményének korhűségét vizsgálhatjuk a korabeli valósághoz képest. A teljesség, mint igény természetesen megjelenik a rendszer építésekor, de az

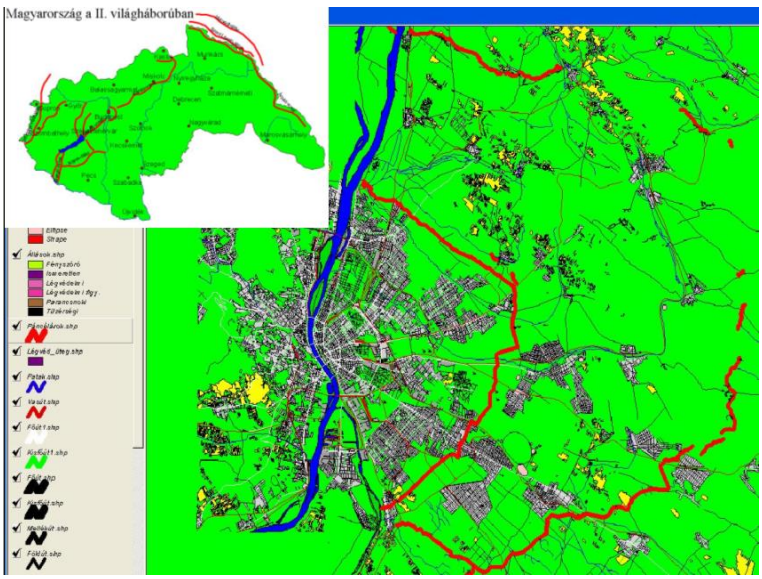


3. ábra. Az adatforrások minősége és felhasználásuk gyakorisága.

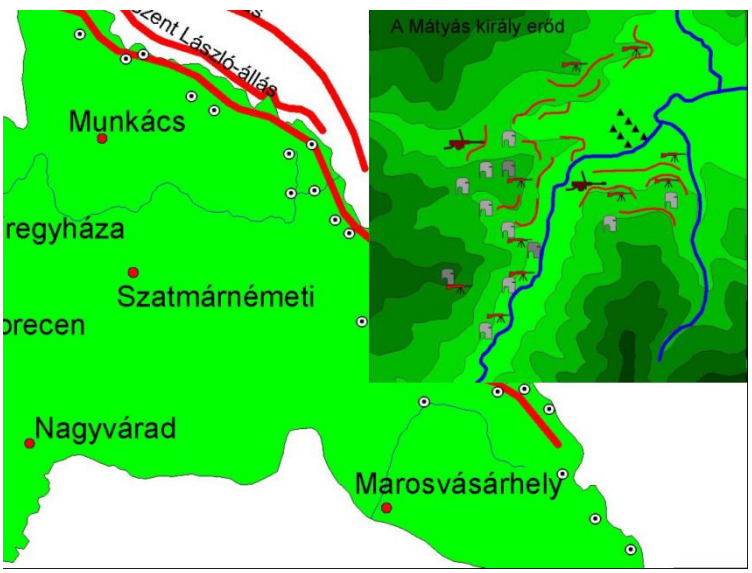
adatok és forrásaik nagy mennyisége és sok esetben ismeretlensége megakadályozhatja a kivitelezést. Ha a teljes rendszerre nem is, de annak egyes részeire, témaköreinek feldolgozására érvényes lehet ez a jellemző is. A geometriai adatoknak konzisztensnek kell lenniük. Az attribútumok, és dokumentációk esetében ez nem mindig lehetséges. Több esetben is ellentmondásba keveredhet a kutató, mert egyszerűen nem ugyanúgy emlékeznek a szereplők vagy pontatlanok az adatforrások. Az információk felhasználása előtt mindig alkalmazni kell a forráskritikát, az eredetvizsgálatot. Mint látható egy rekonstrukciós adatrendszer minőségi jellemzőit nehéz lenne számszerűsíteni. Az adatbázis kialakításakor úgy gondoltuk, hogy ezt a problémát megbízhatósági szintek bevezetésével és ábrázolásával hidaljuk át. A megbízhatóság, mint jellemző, magában foglalja a felsorolt adatminőségi jellemzők közül azokat, amelyek bizonytalanságot okozzák. Az egyetlen számszerűsíthető jellemző a geometriai pontosság. Meg kell különböztetnünk abszolút és relatív pontosságot. Abszolút értelemben a rendszer a felhasznált adatok minőségi változatossága és a feldolgozási módszerek miatt igen pontatlan, relatív értelemben azonban megbízhatóbb. A felhasználás szempontjából, az erődelemeknek a közvetlen környezetükben való valósághű ábrázolása fontosabb, mint az abszolút értelmű pontosság.

A rendszer a gyakorlatban

A felhasználó az egész országot ábrázoló térképből kiindulva eljuthat egy kisebb megerődített terület, egy erőd, vagy akár egyetlen erődítési elem megjelenítéséig. Az információsűrűség és részletesség folyamatos növekedésével az áttekintő adatokból kiindulva, a regionális adatokon keresztül, az egyes erődítéselemek információit és dokumentációit is vizsgálhatja. Ezt a dinamikus szemlélést és vizsgálatot csak a térinformációs rendszerek teszik lehetővé, mert az egyes témák a méretarány függvényében jelennek meg, illetve tűnnek el.



4. ábra. Az Attila-vonal rekonstruált részei.



5. ábra. Az Árpád-vonal és a Mátyás király erőd az Úz völgyében.

Összefoglalás

A tanulmány segítségével bemutattuk, hogy a térinformatika egyértelműen alkalmas történelmi célú, környezeti, objektum és esemény rekonstrukció végrehajtására. Az eddig elvégzett kutatásaink alapján a következő megállapításokat tehetjük:
- Teljes bizonyossággal csak azt jelenthetjük ki, hogy az Attila I. és Attila III. vonalakban épültek harckocsi árkok.
- Az Attila II. vonalban csak gyalogsági állásrendszereket rekonstruáltunk, és ez a vonal a régebbi feltételezésekkel ellentétben nem írt le egy teljes félkört a főváros körül, hanem Maglód térségében csatlakozott az Attila I. vonalhoz.

A rendszer további bővítésének és fejlesztésének irányai a következők lehetnek:

- -az ország többi védelmi vonalának feldolgozása
- -a már feldolgozott vonalak leíró és dokumentációs adatbázisának bővítése
- -a meglévő információk ellenőrzése a geometria és az attribútumok alapján, pontosítások végrehajtása
- -a rendszer közzététele minél szélesebb felhasználói körben (Internet).

A felsorolt feladatokat szeretnénk a jövőben egymással párhuzamosan végrehajtani és egy minél nagyobb, és komplexebb rendszert létrehozni.

Hivatkozások

Detrekői Á, Szabó Gy (2002): Bevezetés a térinformatikába. *Tankönyvkiadó*, Budapest.
Tóth S (1975): Budapest felszabadítása 1944-45. Budapest.
Ungváry K (2001): Budapest ostroma. *Corvina,* Budapest.
Ravasz I (1995): Budapest ostromának sajátosságai. *Új Honvédségi Szemle*, Budapest.
Szabó JJ (1999): Az Árpád-vonal. *Földrajzi Közlemények*, Budapest.
Szabó JJ (2001): A magyar királyi honvédség védelmének rendszere a Keleti-Kárpátokban 1940-44. *Nemzetvédelmi Egyetemi Közlemények*, Budapest.
Hingyi L (1995): Magyar önkéntes alakulatok Budapest védelmében 1944/45-ben. *Magyar Honvéd*, Budapest.
Hingyi L interjúi: E. Geyer a XII. Flaksturm Regiment parancsnokságának, rádiósának interjúja.
Hingyi L interjúi: Neogradi L. légvédelmi tüzér hadnagy: Dunaharaszti harcok.
Juhász A (1998): Eseményrekonstrukció távérzékelés és térinformatika segítségével. *Geodézia és Kartogrfia*, Budapest.
Juhász A, Mihályi B (2003): Budapest védelmi vonalainak rekonstrukciója (1944). *Geodézia és Kartogrfia*, Budapest.

A 2001. ÉVI MOZAMBIKI ÁRVÍZKATASZTRÓFA FELMÉRÉSE ÉS KOORDINÁLÁSA A TÁVÉRZÉKELÉS ÉS TÉRINFORMATIKA SEGÍTSÉGÉVEL

*Kugler Zsófia**

Near-real time flood disaster management with GIS and remote sensing in Mozambique *- Today's social and economical developments appear to increase the number of dead in disasters. Globally floods are accounting for the most natural catastrophes killing most people in the developing countries. For this reason the project on the flood disaster of 2001 in Mozambique executed at the German Aerospace Centre (DLR) with the assistance of the author founded by the German Foreign Ministry was of great importance. The aim was to fulfil the geographic information need of disaster management by using the techniques of Geographic Information Systems and the large-scale mapping possibilities of remote sensing.*

A napjainkban felgyorsult társadalmi és gazdasági fejlődés miatt a természeti csapások évről évre több emberi áldozatot követelnek. Globálisan ezek közül is az árvizek teszik ki Földünk katasztrófáinak legnagyobb százalékos arányát. A folyók áradásai ezen belül legnagyobb részt a fejlődő világban szedi áldozatait. Ezért is kapott nagy hangsúlyt az ezen cikkben bemutatott tanulmány, mely a Német Űrkutatási Központban (DLR-DFD) a szerző közreműködésével készült a Német Külügyminisztérium megbízásából. A kutatás célja az volt, hogy megvizsgálja a térinformatika és műholdas távérzékelés azon lehetőségeit, melyek a 2001. évi mozambiki árvízi katasztrófa mentési munkálatai során felmerült térképészeti/térinformációs problémákra nyújthatnak megoldást.

Kulcsszavak: árvízkatasztrófa, közel-valós idő, árvíz térképezés, térinformatikai elemzések, mobil térinformatikai rendszer, WebGIS, Mozambik

Bevezetés

Mozambikban 2001. januárjában a Zambézi folyó kiöntött medréből, elöntve közel egy 7000 km^2 nagyságú területet. A mozambiki Nemzeti Katasztrófavédelmi Intézet (INGC) jelentése szerint 100 ember halálát okozta a súlyos árvíz, valamint közel félmillió embert kellett kitelepíteni, és átmeneti szállásokon elhelyezni. A járhatatlanná vált utak és elöntött hidak megbénították a közúti közlekedést az ország déli és északi része között. A természeti csapás miatt megromlott higéniai és egészségügyi helyzet járványok kialakulásával fenyegetett. *(UN Resident Coordinator 2001)*

A mentési munkálatokat nehezítette, hogy a mentést végző csapatoknak illetve az őket irányító döntéshozóknak nem volt pontos információja arról, hogy mely területeket öntött el a víz és hol vannak a megmentésükre váró áldozatok. A mentések koordinálásához csak cirill betűs, elavult, orosz katonai térképek és a megmenekült áldozatok elbeszélései álltak rendelkezésre. Napjaink modern térinformációs rendszerei és a távérzékelés nagy területek felmérésére alkalmas módszerei jóval szakszerűbben tudják ezen információs igényeket kielégíteni. Ezen cikk bemutatja a mentési munkálatok térinformációs szükségét, illetve azt, hogy hogyan lehet ezen modern technológiák segítségével a felmerült igényeket kielégíteni.

A műholdas távérzékelés nagy területet lefedő felmérési lehetőségeit kihasználva első lépésben űrfelvételek segítségével lehatároltuk az árvíz sújtotta területeket. Az ebből készült ár-

*BME, Fotogrammetria és Térinformatika tanszék
1111 Budapest, Műegyetem rkp. 3.
E-mail: kugzsof@gmx.at

vízfelmérési adatot integráltuk egy az országra kifejlesztett térinformációs rendszerbe. Ezután a térbeli elemzések módszerével választ kerestünk olyan helyhez kapcsolódó kérdésekre, mint hogy mely települések kerültek víz alá, hol vannak lakosok veszélyben, vagy hogy hol részesülhetnek orvosi ellátásban? Végül azt vizsgáltuk, hogy milyen módszerekkel lehet eljuttatni, illetve a döntéshozók számára is hozzáférhetővé tenni az analízis eredményeit. Ezen belül is kifejlesztettünk egy mobil térinformációs rendszert, mely a terepen való adatszolgáltatást célozta meg segíteni, illetve egy Interneten elérhető alkalmazást, mely a nagyközönség számára teszi elérhetővé ugyanazon információkat.

Távérzékelés a valós-idejű árvíz térképezés szolgálatában

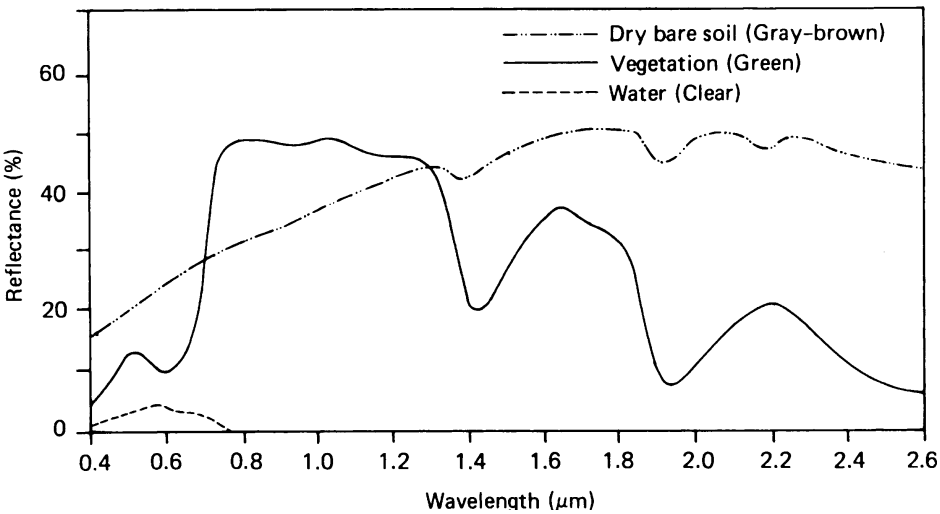
A természeti csapások következményeinek enyhítése csak akkor lehet sikeres, ha megfelelő információ áll rendelkezésre az aktuális katasztrófa helyzetről *(Skidmore, 2002)*. A műholdas távérzékelés rohamos léptékű fejlődése napjainkra már lehetővé tette, hogy a hagyományos, analóg térképek használatánál professzionálisabban, űrfelvételek feldolgozásával elégítsük ki a mentési munkálatok ezen alapvető információigényét. Nemrégiben több földmegfigyelő műholdas rendszer került pályára, mely a katasztrófákat megelőző védekezést, a mentési munkálatok segítését és az utólagos kárfelmérést célozta meg elősegíteni.

A műholdas távérzékelés bevonásának célja volt, hogy közel valós-időben adatot nyerjünk az árvíz aktuális kiterjedéséről, illetve az elöntött területek térbeli elhelyezkedéséről. Ezen célok megvalósításához a legmegfelelőbb szenzor a következő tulajdonságokkal kellene hogy rendelkezzen:

- kis visszatérési idő (vagyis gyakori a képkészítés a vizsgált területről),
- nagy térbeli felbontás,
- az elöntött területek nagy térbeli lefedettsége,
- az adatok valós-idejű hozzáférése,
- időjárástól független felvételkészítés (pl. felhő borítottság nem akadályozza a képkészítést).

Mivel ilyen szenzorok - többek között fizikai korlátok miatt - nem léteznek, ezért először a meglévő aktív és passzív távérzékelési szenzorok alapvető keringési és felvétel készítési adottságait vizsgáltuk, hogy ezek közül később kiválasszunk az árvíztérképezésre legoptimálisabb műholdas rendszert.

A műholdas távérzékelési rendszerek a Nap vagy a saját maguk által kibocsátott és a földi objektumok által visszavert elektromágneses sugárzást detektálják. Ezért fontos, hogy még mielőtt kiválasztanánk az árvíztérképezéshez megfelelő szenzort az árvízzel elöntött területek lehatárolásához, megvizsgáljuk, hogy ezen felszínborítottság milyen visszaverési tulajdonságokkal bír. A víz általánosságban az elektromágneses spektrum látható fény tartományában veri vissza az elektromágneses sugarakat. Így - amint az az 1. ábrán is jól megfigyelhető - az ennél hosszabb hullámhosszú tartományokban mindig kisebb vagy nulla lesz a reflektanciája, egyértelműen elkülönülve a többi tipikus felszínborítottság visszaverési arányától, mint például a vegetáció vagy a talaj. A vízfelületek térképezésekor tehát nem szükséges, hogy a használt szenzor az elektromágneses spektrum teljes hosszán gyűjtsön információt.



1. ábra. Tipikus a három felszínborítottság – a víz, a vegetáció és a talaj – reflektancia görbéje, ahol az x-tengely a hullámhosszt (μm) az y- tengely a reflektancia (%) jelzi (Lillesand 1994).

Mivel sok tanulmány készült már az egyes szenzorok alapvető tulajdonságairól, ezen cikk csak egy összefoglaló táblázatban mutatja be a legfontosabb, természeti csapások esetén is gyakran használt passzív és aktív szenzorokat (lásd I. táblázat).

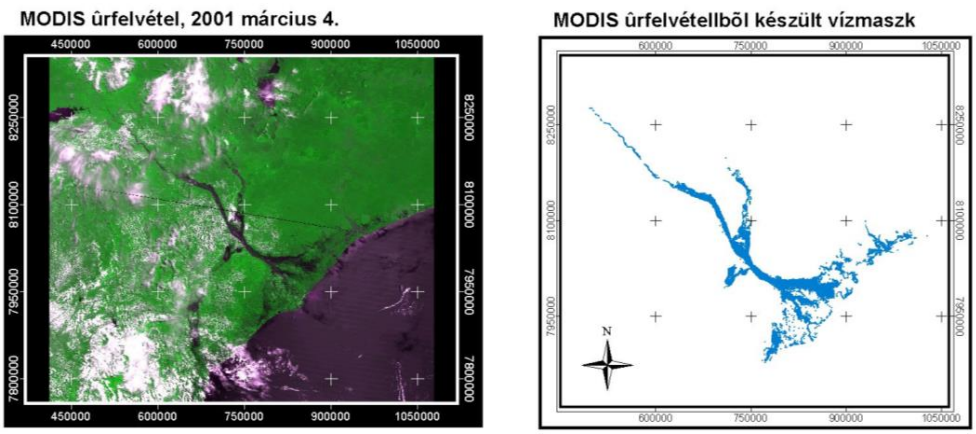
I. táblázat. A természeti katasztrófák felmérésére leggyakrabban használt műholdrendszerek adottságai. A spektrális felbontás során használt rövidítések a következők: PAN - pankromatikus, VIS - látható fény tartomány, NIR – közeli infravörös, SWIR- rövid hullámú infravörös, MWIR – középhullámú infravörös, TIR – termál sáv. A visszatérési időnél a törtvonal után jelölt tartomány az egyes szenzorok oldalra nézési képessége miatt kevesebb.

Név	Spektrális felbontás	Térbeli felbontás (m)	Visszatérési idő (nap)
IKONOS	PAN/VIS,NIR	1/4 m	0.015
IRS 1-C/D	PAN/VIS,NIR SWIR	6/24/70m	24/5
SPOT 4	PAN/VIS,NIR SWIR	10/20 m	26/2.4
Landsat 7	PAN/VIS,NIR SWIR,TIR	15/30/120m	16
MODIS	PAN/VIS,NIR SWIR,TIR	250/500/1000m	0.5
MERIS	VIS, NIR	300/1200 m	3
NOAA-AVHRR	PAN/VIS,NIRSWIR,MWIR	1100 m	0.5
RADARSAT	C-sáv	6-28 m	24/4-6
ENVISAT	C-sáv	30-150 m	3
ERS 2	C-sáv	25 m	16

Az árvíztérképezéshez három alapvetően eltérő tulajdonságú műholdas rendszer használtunk fel. Elsősorban egy kis felbontású (250 méter), nagy kép-méretű (3200*3200 kilométer) optikai szenzort, a MODIS-t (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer), mely gyakori visszatérése miatt minden nap kétszer készít felvételt a vizsgált területről. Annak ellenére, hogy a térbeli felbontása alacsony, a mozambiki árvíz monitorozására nagyon alkalmasnak találtuk, mivel a felhőborítottságtól függően akár minden nap új információt nyerhetünk az aktuális árvízi helyzetről, mely a mentési munkálatok szervezése során szükséges. További előnye, hogy a nagy képméret következtében egyetlen felvétel lefedi a Zambézi mozambiki teljes folyószakaszát, így az árvíz térképezés egyetlen felhasználásával lehetséges. Egyúttal az amerikai adatpolitika miatt ezen szenzor képei az Interneten is elérhető virtuális kata-

lógusból ingyenesen beszerezhetőek. A monitorozáshoz letöltöttünk egy 2001. március 4-i felvételt a Zambézi folyó völgyéről, mely a tetőzéssel nagyjából egy időben készült. Az űrfelvétel kiértékelése ENVI képfeldolgozó programban történt, ahol a látható a vörös és a közeli infra-vörös sávok felhasználásával egy az árvizet teljesen kiterjedésében fedő víz-szárazföld maszkot állítottunk elő (lásd 2. ábra).

A monitorozáshoz felhasználtunk egy 2001. március 12.-ről készült SPOT 4 HRVIR ugyancsak optikai műholdképet, mely a látható és közeli infravörös sávok mellett közepes-infravörös csatornát is tartalmazott. A felvétel 20 méteres, nagy térbeli felbontása lehetővé tette a részletes árvíztérképezést. A nagy felbontás csak kisebb képméretet biztosított, így a képen a Zambézi több száz kilométer hosszú völgyének csupán egy 60*60 kilométeres része látszott. A kép feldolgozása ezúttal ERDAS Imagine programban történt a közepes infravörös sáv felhasználásával. Eredményül Caia város és környékének nagy pontosságú és részletes árvíztérképét kaptuk.



2. ábra. A MODIS űrfelvétel és a kiértékeléséből létrehozott víz-szárazföld maszk a Zambézi folyó völgyéről, 2001. március 4.

Az előbb bemutatott két optikai szenzor nagy hátránya, hogy a felhőborítottság korlátot szab a felvételek készítésének. Ezért használtuk fel a kanadai RADARSAT-1 SAR felvételét is az árvíz felméréséhez, mely aktív szenzor lévén az általa kibocsátott és visszaverés után fogott mikrohullámú jel segítségével éjjel-nappal, a felhőzeten is "átlátva" képes információt gyűjteni a vizsgált területről. Meg kell jegyezni itt, hogy a Mozambikhoz hasonló csapadékból keletkezett árvíz során a csapadék hullása és az árvíz tetőzése között sok esetben több nap is eltelhet, a felhőzet addigra felszakadozhat, mire a keletkezett árvíz eléri az adott területet (ezt nevezik késleltetési időnek). A felhőzet tehát nem feltétlenül gátolja az optikai szenzorok használatát, mint ez a MODIS felvételen is megfigyelhető (lásd 2. ábra).

A RADARSAT szenzort gyakran használják katasztrófák monitorozására, mivel erőssége a változtatható antenna helyzet. Ez megengedi, hogy a Föld felszínét különböző perspektívákból „láthassuk” a kibocsátott jel beesési szögének 10 és 60 fok közötti módosításával, melynek függvényében a térbeli felbontás is 8 és 100 méter között fog módosulni (lásd II. táblázat). Az antenna pozíció megválasztása tehát erősen befolyásolja a felvétel információ tartalmát.

II. táblázat. RADARSAT-1 különböző antenna pozíciói és a hozzátartozó térbeli felbontás illetve beesési szög. (Canadian Space Agency 2002 [online])

Antenna pozíció neve	Felvétel méret (km)	Térbeli felbontás (m)	Beesési szög
FINE	50	8	36-48
STANDARD	100	25	20-49
WIDE	150	30	20-49
SCANSAR NARROW	300	50	20-46
SCANSAR WIDE	500	100	20-49
EXTENDED HIGH	75	25	49-59

Általánosságban kis beesési szög esetén keletkezik a legnagyobb kontraszt a víz és szárazföld között. Nagy áradáskor előfordulhat azonban, hogy a nagy hullámokkal tarkított, turbulens, zavaros áramlás következtében a víz a szárazföldi felszínhez hasonlóan is érdes felületűvé válik. Ekkor természetesen egy meredekebb beesési szögű felvétel alkalmasabb a felmérésre. A mozambiki árvíz térképezéséhez felhasználtunk egy 2001. március 23.-i felvételt a két folyó, a Zambézi és a Shire torkolatának 150*150 kilométeres környezetéről. A felvétel wide antenna pozícióval készült, mely 30-40° beesési szög mellett nagy eltérést mutatott az elöntött területek és környezete között. A feldolgozás első lépésével egy a radar képekre jellemző szemcséket adaptív gamma filter segítségével ERDAS Imagine-ben csökkentettük, majd megfelelő osztályozással kinyertük a víz alatt álló területeket.

A távérzékelés gyors technikai és módszertani fejlődése napjainkra új perspektívát nyitott a környezet monitorozásban, ezen belül is a katasztrófák felmérésében. Ezek közül csupán néhány lehetőség került bemutatásra ebben a fejezetben. Összefoglalva elmondhatjuk, hogy a bemutatott távérzékelési rendszerek között nincsenek a mozambiki árvíz monitorozásra alkalmas és nem alkalmas műholdak. Az alkalmasság a végső felhasználó információ igényének függvényében értelmezhető, hiszen más lesz egy politikai döntéshozó és egy mentési munkálatokat a helyszínen koordináló döntéshozó szükséglete. Ezért végkövetkeztetésként azt vonhatjuk le, hogy a felméréshez optimális műholdas rendszer kiválasztása mindig az információ igény és a szenzor adottságok közötti kompromisszum eredménye lesz.

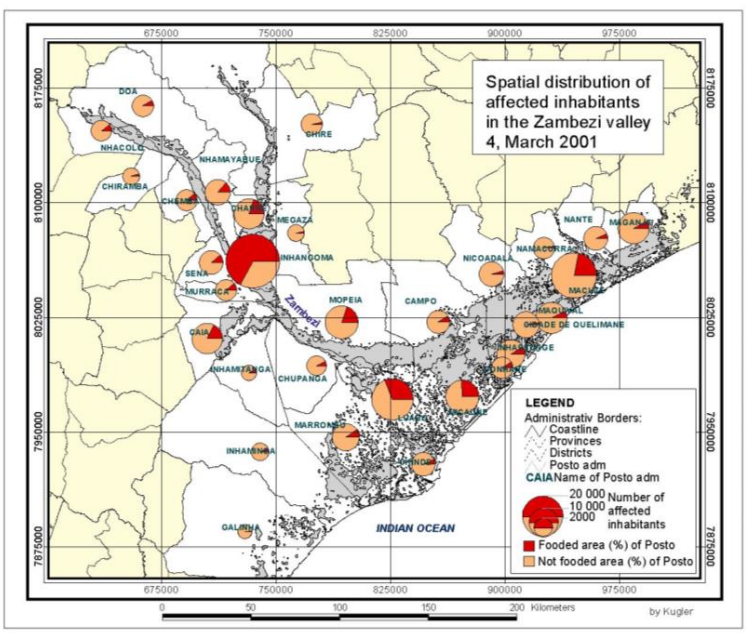
Az árvízhelyzet térbeli elemzése

A 2001. évi mozambiki árvízi mentést segítő nemzetközi mentőalakulatoktól kezdve a politikusokig és a humanitárius szervezetekig senkinek nem volt megfelelő információja arról, hogy a közel két Németország nagyságú országon belül, tulajdonképpen pontosan mely területeket is sújtotta az árvíz, hol vannak a megmentésükre váró lakosok, és hogyan lehetne őket megközelíteni? Ilyen és hasonló kérdésekre keresünk választ a térbeli elemzések módszerének használatával, melyek ezen fejezetben kerülnek bemutatásra. Az előző fejezet tárgyalta, hogy hogyan lehet az aktuális árvízi helyzetről műholdfelvételek segítségével közel-valós időben információt nyerni. A műholdfelvételek feldolgozásával kapott vízmaszkot egy kifejlesztett térinformációs rendszerbe integráltuk, majd elemzésekkel új információt hoztunk létre. Az analíziseket ArcView programban végeztük el. A hozzá szükséges térinformatikai fedvényeket, mint települések alapvető demográfiai adatokkal, adminisztratív egységek, kórházak, úthálózat, vízrajz és repülőterek/leszállópályák, a Salzburgi Egyetem Térinformatikai Tanszékéről származtak.

Az elemzés során kiszámoltuk, hogy közel 7000 km^2 terület került víz alá, mely nagyjából egyezik egy nagyobb magyarországi megye területével. Számításaink szerint az árvíz több mint 300 000 embert érintett és közel 300 települést öntött el a Zambézi folyó, mely eredményhez úgy jutottunk, hogy a települések fedvényt az árvízmaszkra illesztve

kiválasztottuk az elöntött falvakat és városokat. Rögtön felmerül a kérdés, hogy melyek ezek az elöntött települések, illetve hogy a Zambézi medencéjében hol is helyezkednek el? Mindkét kérdésre egyértelmű választ kaptunk egyszerű lekérdezéssel, még abban az esetben is, ha a település név szerinti beazonosítása problémás. A lekérdezés nemcsak az adott település nevét és lakosainak számát adja eredményül, amennyiben ez a fedvény attribútumai között szerepel, de az attribútumok között eltárolt hosszúsági- és szélességi koordináták segítségével egy egyszerű GPS készülékkel megtalálható az adott elöntött település a terepen. Ez volt az alapvető földrajzi információ, melynek hiánya a legtöbb problémát okozta a mentési akciók megszervezésekor. A térinformatika nyelvére lefordítva itt egy egyszerű probléma megoldásával állunk szemben, de amint láthatjuk az életben sokszor egy ilyen egyszerű elemzéssel is nagyon értékes új információhoz juthat a végső felhasználó, ami ebben a konkrét esetben szó szerint életeket menthet!

Egy következő lépésben arra a kérdésre kerestünk választ, hogy melyik tartományt érintette legsúlyosabban az árvíz. Ez központi politikai döntések során fontos információ lehet, abban az esetben, ha határozatot kell hozni, hogy mely tartomány kapjon több és mely kevesebb állami segítséget. Az űrfelvételek feldolgozásából eredményül kapott vízmaszk és az ország adminisztratív egységeinek az elemzésével kaptunk erre választ. Kiszámoltuk, hogy az egyes tartományok területének hány százaléka került víz alá. Az így kapott eredményből még nem lehet következtetéseket levonni, hiszen hatalmas területek kerültek víz alá, melyek -adataink szerint- teljesen lakatlanok. Ezért az így kapott arányokat súlyoztuk az adott tartomány lakosainak számával, majd az eredményt egy tematikus térképen jelenítettük meg. Azért, hogy a területi arányt és az érintett lakosok számát együtt ábrázolhassuk, egy grafikontérképet hoztunk létre, ahol a kördiagram a területi arányt, a szimbólum mérete a lakosok számát jelenítette meg minden egyes tartományban. Az így kapott térképen rögtön feltűnik, hogy Tete tartomány a legsúlyosabban érintett terület, hiszen területének majdnem 67 %-a lett elöntve, és közel 30 000 embert veszélyeztetett az árvíz (lásd 3. ábra).

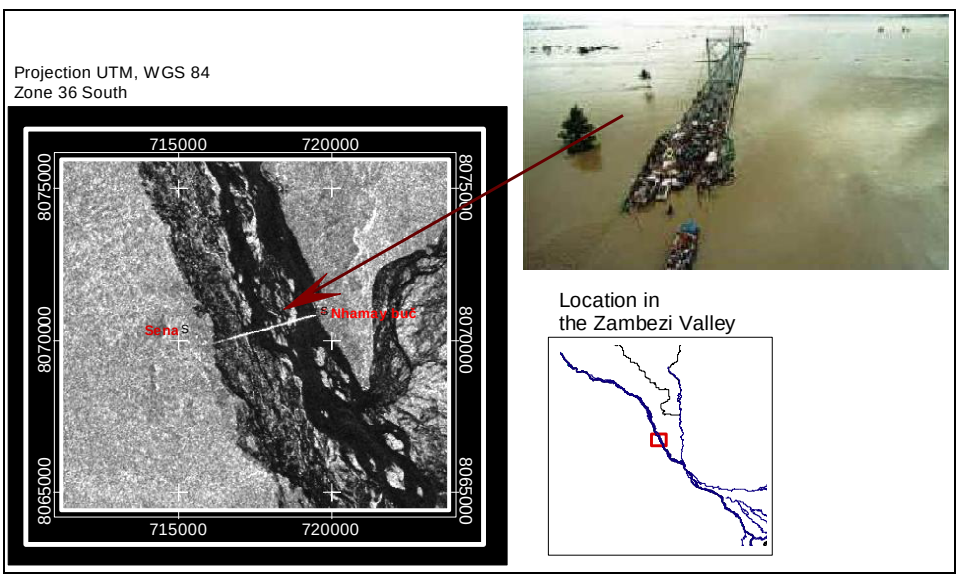


3. ábra. Az 2001. márciusi árvízi helyzet elemzése a Zambezi medencéjében. Az egyes tartományok kördiagramm térképe, ahol a diagramm a tartomány területének elöntött részét ábrázolja, a kördiagram mérete pedig az érintett lakosainak számát mutatja.

Egy következő, fontos vizsgált kérdés volt, hogy az árvíz sújtotta területeket hogyan lehet megközelíteni közúton. Ez nemcsak a lakosok mentésének megszervezéséhez fontos információ, hanem a segélyszállítmányok útvonaltervezésekor is felmerülő alapvető adatigény. Ehhez első lépésben ki kellett választani azon utakat a rendelkezésünkre álló, országos úthálózat fedvényből, melyet elöntött az ár. Ezen útszegmenseket járhatatlannak jelöltük az adatbázisban, majd "legjobb útvonal" kereséseket hajtottunk végre. Az analízis elvégzése előtt az egyes utakhoz az alapértelmezésben használt hosszúság attribútum mellé a különböző rendű utakhoz különböző átlagos sebességeket rendeltünk. Így az elemzés során nem csak két település közötti "legrövidebb" utat számolhattuk ki, hanem azt is, hogy ezen átlagsebesség feltétezése mellett, melyik a "leggyorsabb" változat, hiszen a kettő sok esetben eltérhet egymástól. Az adott végfelhasználóra van bízva, hogy végül eldöntse, mi a fontosabb, hogy a jármű kevés üzemanyagot fogyasszon az út során, vagy hogy hamarabb elérje a célállomását?

A 2001.évi árvíz megszakította az összeköttetést a Zambézi bal- és jobb partja, vagyis az ország déli- és északi része között. A RADARSAT űrfelvételen Sena városánál tálalható híd élesen elvált környezetétől. A felvételen továbbá az is látható volt, hogy a híd déli fele víz alá került és járhatatlanná vált (lásd 4. ábra). Az űrfelvételek tehát abban is segítségünkre lehetnek, hogy folyamatosan figyeljük a nagyobb hidak állapotát, és aktuális információt kapjunk arról, hogy hol lehet a megáradt folyón keresztül jutni.

Az úthálózat elemzésének továbbá az is célja volt, hogy megvizsgáljuk, a külvilágtól mely településeket zárt el az árvíz teljesen, mely településeket lehet csak légi úton megközelíteni. Ez át is vezet az utolsó bemutatandó térinformatikai analízishez, mely során az árvíz sújtotta területek légi úton való kiszolgálását vizsgáltuk.



4. ábra. A RADARSAT-1 űrfelvételen láthatóvá válik, hogy a Sena város mellett lévő Zambézi híd járhatatlan.

Számos nemzeti és nemzetközi szervezet, illetve katonai egység küldött helikoptereket és repülőket mind a bajba jutottak megmentésére, mind a segélyszállítmányok eljuttatására. Ahhoz hogy ezen jó szándékú segítség valóban eljusson a rászorultakhoz, fontos tudni, hogy hol vannak repterek, leszállópályák az országon belül, illetve hogy az érintett lakosság földrajzilag hol helyezkedik el. Az egyes településekhez legközelebb eső repülőtereket Thissen

poligonok szerkesztésével leválasztva választ kaptunk olyan kérdésekre, hogy mely repülőtereknek "kiszolgálási terébe" esik több és melyikbe kevesebb áldozat. Ezzel meghatározva, hogy mely központok igényelnek több segítséget, hová kell nagyobb repülőállományt küldeni, hogy el tudja látni a mentési feladatokat.

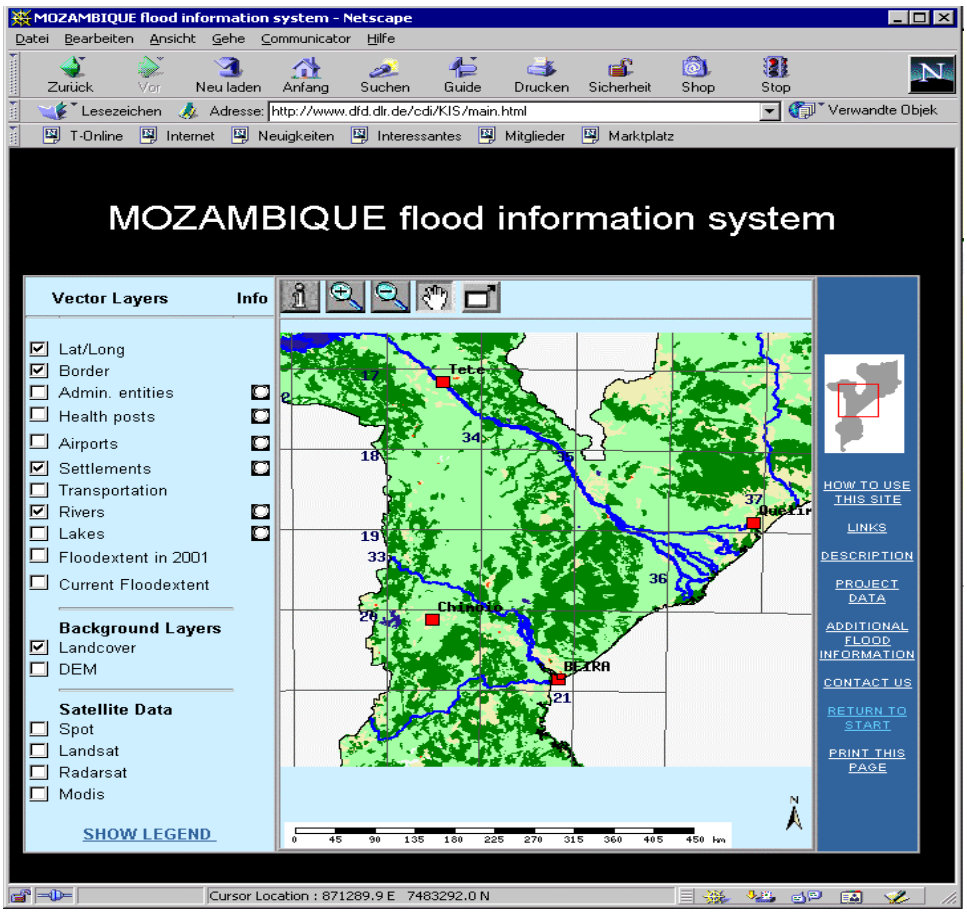
Az ebben a fejezetben bemutatott eredmények csupán példák arra, hogy a térbeli analízis eredményeként milyen új információk nyerhetők a katasztrófa elhárítás segítésére. Az eszköztár szinte végtelen, korlátot neki csak emberi képességek szabnak. A térinformatika és a távérzékelés néha a végső felhasználók számára "megdöbbentően" új információkat nyújthat. A probléma abban rejlik, hogy sok esetben ezen felhasználók nem tudnak ezen technológiák és módszerek létezéséről, illetve arról hogy mennyiben segíthetné őket egy döntés meghozatalában, lecsökkentve a bizonytalansági tényezőket. Így továbbra is a jövő feladata marad néhány kisebb kezdeményezés mellett, hogy előadások és más médiumok segítségével népszerűsítse ezen módszereket a potenciális felhasználók körében. Annak érdekében, hogy az eddig bemutatott eredmények ne csak a kutatók tudását gyarapítsa, a tanulmány végső fázisában lehetőséget kerestünk arra, hogy ezen információk a valódi felhasználókhoz is eljussanak. Ezért kifejlesztettünk egy Interneten is elérhető on-line illetve egy a katasztrófa helyszínen is használható off-line térinformatikai rendszert, melyek a következő, egyben utolsó fejezetben kerülnek bemutatásra.

WebGIS és mobil térinformatikai rendszer az eredmények továbbítására

A múltban a térinformatikai rendszerek használata korlátozva volt egy lokálisan dolgozó, kisebb szakértői csoportra. Az Internet hatalmas fejődése azonban ezen területen is forradalmi változásokat hozott. Napjainkra már a világhálón keresztül is számos kifejlesztett térinformatikai rendszer, más néven WebGIS vagy InternetGIS alkalmazás érhető el. Ezzel egy világméretű felhasználói közönség számára teszi lehetővé a térinformatikai rendszerek használatát.

A WebGIS többet jelent, mint pusztán statikus, digitális térképek megjelenítése az Interneten egy böngésző felületen keresztül. Egy WebGIS alkalmazás az „asztali” térinformatikai programok alapvető funkcióit tartalmazza, vagyis a felhasználó interaktívan megjelenítheti, lekérdezheti és elemezheti az egyes térinformatikai fedvényeket. Ez összehozza a felhasználót a szolgáltatóval egy Internetes felületen át. Nagy előnye, hogy a felhasználónak nem kell nagy költségű térinformatikai programmal rendelkeznie ahhoz, hogy a megfelelő információhoz jussanak, a költségek a szolgáltató oldalán jelennek meg

Ezért fejlesztettünk ki egy WebGIS alkalmazást, hogy az előző két fejezetben bemutatott, a mozambiki aktuális árvízi helyzetét bemutató és elemző térinformatikai adatokat a nagyközönség számára is hozzáférhetővé tegyük (lásd 5. ábra). Nagy előnye nemcsak abban rejlik, hogy bárki számára elérhetővé teszi ezen információkat, hanem abban is, hogy a digitális adatbázisa gyorsan frissíthető. A műhold felvételek feldolgozásával szinte naponta új információt kaphatunk az árvíz aktuális kiterjedéséről, mely eredményt a WebGIS alkalmazásban azonnal megjeleníthetünk. A UMN MapServer ingyenes programját fejlesztettük ki a mozambiki adatbázis Internetes megjelenítéséhez. A MapServer felépítése alapján az úgynevezett szerver alapú WebGIS alkalmazás, mely azt jelenti, hogy az adatbázis elmentése és feldolgozása a szerveren egy ORACLE adatbázisra alapulva történi, a felhasználó oldalán pedig csak ennek eredményei jelenítődnek meg a böngészőben térkép formájában.



5. ábra. A mozambiki internetes térinformációs rendszer. Elérhetősége: http://www.dfd.dlr.de/cdi/KIS/start.html

A mozambiki árvízi információs rendszernek nagy hátránya, hogy alkalmazhatósága a mindenkori világhálózat elérhetőségétől és hálózati sebességtől fog függeni. Célja többek között a helyszínen lévő, a mentési munkálatokban résztvevők döntéshozatalának segítése, de ezen végfelhasználóknak sokszor nehézkes az Internetre csatlakozni. Ezért fejlesztettünk ki egy mobil térinformatikai rendszert, a mozambiki árvízi adatbázis off-line alkalmazását.

A moblil-kliens rendszerek célja, hogy a WebGIS alkalmazásokkal szemben folyamatos hálózati kapcsolat nélkül is digitális, interaktív térinformációs adatokkal lássák el felhasználójukat, akár a katasztrófa helyszínén is. A felhasznált adatbázis ezúttal a felhasználónál, lokálisan van eltárolva. A központi szerverhez csak az adatbázis aktualizálása céljából csatlakozik a mobil rendszer. Mindazonáltal a központi szerver nem elhanyagolható elemét képezi a rendszernek, hiszen az adatkicserélés fő helyszínévé válhat, amennyiben több kliens, vagyis felhasználó csatlakozik a rendszerhez. Így a terepi felmérés eredményeivel egy felhasználó feltöltheti a központi adatbázist, mely információt később több kliens is igénybe vehet, ha a lokális adatbázisába letölti az új vagy javított adatokat.

Ezért kiegészítően a WebGIS alkalmazáshoz kifejlesztettünk egy mobil-kliens térinformatikai rendszert is. A felhasználói oldalon ehhez az ingyenes OpenMap programot installáltunk fel egy hordozható laptopra, hogy lehetővé tegye a katasztrófa helyszínén való

használatát. Az alkalmazás ugyanazon ORACLE adatbázisra épült fel és adatcseréléskor egy mobil- vagy szatellit telefonnal csatlakozik hozzá, melyet a MapServer is használt. A rendszer -hasonlóképpen a WebGIS alkalmazásokhoz- az alapvető térinformatikai funkciók használatát engedi meg a felhasználónak, mint megjelenítés és lekérdezés.

Ezen két bemutatott rendszer arra lett kifejlesztve, hogy egy következő árvíz esetén Mozambikban mind az Interneten keresztül, mind mobil rendszerek felhasználásával minél több emberhez jussanak el a bemutatott térbeli információk, és ennek hiánya a jövőben már ne hátráltassa a mentési munkálatokat.

Összefoglalás

Ezen cikkben tárgyalt tanulmány célja a 2001. évi mozambiki árvíz mentési munkálatainak térbeli információval történő ellátása volt. Ezen célok megvalósítására első lépésben az elöntött területek lehatárolásához műholdképek kerültek feldolgozásra. Evvel közel valós-idejű információt nyertünk ki az aktuális katasztrófahelyzetről, figyelembe véve a felhasznált műholdas rendszer adottságait, mely szempont a második fejezetben részletesen bemutatásra került. Az így kapott elöntési fedvényt integráltuk egy térinformatikai rendszerbe. További új információt állítottunk elő a térbeli analízis módszereit alkalmazva a felépített adatbázison. Olyan kérdésekre kerestünk választ, mint mely településeket öntött el a víz, illetve hogyan lehet az érintett lakosságot légi- vagy közúton elérni?

Végül bemutatásra került két módszer az eredmények végső felhasználókhoz történő eljuttatására. Egy on-line WebGIS és egy off-line mobil-kliens alkalmazás, ahol minkét rendszer ugyanazon központi adatbázisra épült fel, lehetővé téve az adatok gyors és egyszerű aktualizálását.

Mindezen erőfeszítések arra irányultak, hogy egy jövőbeli mozambiki árvíz esetén ne hátráltassa a mentési munkálatokat a kielégítő térbeli információk hiánya, illetve hogy gyorsabban reagálhassanak katasztrófára megnövelve evvel a lakosság biztonságát.

Köszönetnyilvánítás

Köszönetet szeretnék mondani minden kedves volt kollégámnak az Űrkutatási Központban, akik segítették munkámat, és témavezetőmnek a salzburgi egyetemről, név szerint Prof. Josef Stroblnak, aki fáradatlanul segítségemre volt szakdolgozatom írása közben.

Hivatkozások

Skidmore A (2002): Environmental Modelling with GIS and Remote Sensing. *Taylor and Francis*, London and New York.

Lillesand TM, Kiefer RW (1994): Remote sensing and image interpretation. Sopron, *John Wiley & Sons, Inc.*

Canadian Space Agency (2002): Optimizing the RADARSAT Product for Disasters [online], http://www.space.gc.ca/csa_sectors/earth_environment/radarsat/disaster_man/about3.asp .

UN Resident Coordinator (2001): Mozambique Floods Final Report, [online], http://wwww.reliefweb.int/w/rwb.nsf/s/83C6D399DBB2C2B1C1256A6F005741D6 .

TÉRINFORMATIKA A KÁBELTELEVÍZIÓS HÁLÓZATOK SZOLGÁLATÁBAN

Tóth Szabolcs[*]

Geoinformatics in service of the cabletelevision systems *- This article was written to give a picture about which help can be given for managering a cabletelevision network by geoinformatic. In addition it will show an extant and working system or rather will touch the future*

Ennek az írásnak a célja, hogy képet adjon arról vajon a térinformatika milyen segítséget nyújthat a kábeltelevíziós hálózatok üzemeltetése során. Továbbá bemutat egy meglévő és működő rendszert, illetve felvázolja a rendszer jövőbeni fejlesztéseit.

Kulcsszavak: térinformatika, hálózatók, kábeltelevízió, SNMP, SQL, Internet, web

Bevezetés

A XXI. század küszöbén járva az információ, a gyors információ szerzés egyre nagyobb teret hódít meg életünkből. Szinte minden területen megtalálhatók már a számítógépek és az összekapcsolódásukat biztosító eszközök, a hálózatok. Meglátásom szerint már nem is a számítógépek, hanem a hálózatok játszák a fontosabb szerepet, amelyek nélkül a gyors adatáramlás napjainkban már elképzelhetetlen lenne. Ezek a hálózatok azonban nem egyszerű sétautak parkbeli szövevénye, hanem egyre inkább bonyolult útvesztők egymásba fonódó sokasága. Célszerű lenne tehát olyan megfigyelő rendszerek létrehozása, melyek átfogó képet adnak a különböző számítástechnikai hálózatok működésről, kiterjedéséről. Lényeges, hogy ezen rendszereknél a megjelenítés független legyen minden fajta operációs rendszertől, bárhonnan és bármikor elérhető legyen, továbbá ne igényelje külön program telepítését a felhasználói oldalon. Ezeknek az elvárásoknak a teljesítésére talán a legelterjedtebb forma a webes felület alkalmas, mely az ismert operációs rendszerek mindegyikén megtalálható. A térinformatikában felhasznált programok készítői a felmerült igények alapján felismerték a platform függetlenségben rejlő lehetőségeket, és új típusok kifejlesztésébe kezdtek. Megfigyelhető, hogy a térinformatika is egyre jobban a webes felület irányába tolódik. Hazánkban ezek a rendszerek nem túl elterjedtek az átlagos felhasználók körében, de remélem, hogy ez az új felület és a könnyebb elérhetőség meghozza a hatást.

Ennek a hatásnak a meggyorsítására írtam ezt a cikket is. A publikáció két nagyobb részre bomlik. Az első rész egy bizonyos fokú ismeretet ad az olvasónak a kábeltelevíziós hálózatok kialakulásáról, szerkezetéről és főként arról, hogy milyen nehézségekkel kell megküzdeni az üzemeltetés során.

A második rész egy olyan rendszert vázol a kezdeti lépésektől a mostani állapotig, mely jelentős mértékben megkönnyíti a kábeltelevíziós hálózatokon a hiba detektálást és annak elhárítást. Az írás végére kiderül, hogy ez a rendszer alkalmas más típusú szolgáltatói rendszerek megfigyelésére is.

Az összefoglalásban képet kapunk arról, hogy a rendszer hatékonyabbá tételéhez milyen további fejlesztések várhatóak.

[*]*BME, Budapest, Műegyetem rkp. 3*
toth.szabolcs@ajkanet.hu

Kábeltelevíziós hálózatok

A XX. század technikai újításai lehetővé tették, hogy a távközlési rendszerek mellett más technikai megoldások is teret hódítsanak maguknak. A visszirányú technológia megjelenése után a kétirányú átvitelre alkalmas kábeltelevíziós rendszereket egyre szélesebb körben alkalmazzák. Címezhető előfizetői konverterek ezrei továbbítják a fizetésköteles műsorokat; a személy- és vagyonvédelmi, lakásautomatizálási berendezések összeköttetésben állnak a rendőrség és a mentők termináljaival. Az oktatási intézmények, bankok, ügynökségek, könyvtárak, áruházak kiterjedten alkalmazott kommunikációs közege a városi kábeltelevíziós hálózat, mely lehetőséget nyújt a világ távoli pontjainak elérésére az Interneten keresztül.

A költségoptimalizált kábeltelevíziós hálózatok túlnyomórészt az úgynevezett faágtopológiát követve épültek. Ez a topológia a legrövidebb kábelhosszak mellett minimális mennyiségű erősítőt igényel. A visszirányú átviteli út szempontjából azonban ez a topológia nem optimális. A faág-topológia ugyanis igen sok elosztási, illetve leágazási ponttal rendelkezik, amely pontok a visszirányú átvitel szempontjából összegzőként működnek. Fehérzajról lévén szó, az összegződés a teljesítményarányok szerint megy végbe. Az összegződő zajteljesítményt természetesen a visszirányú erősítők is megemelik. A nagy kiterjedésű kábeltelevíziós hálózatokban a zajakkumuláció (noise-funelling) okozta visszirányú zajszint olyan mértékű lehet, hogy nemcsak a visszirányú videóátvitelt nehezítheti meg, hanem zavarhatja az egyébként kevésbé érzékeny adatátvitelt is.

A zajakkumuláció nem az egyetlen probléma, amellyel a visszirányú átvitel során szembe kell nézni. A nem kielégítő árnyékolások, a nagyfrekvenciás tömítettség elégtelensége (rosszul záródó készülékfedelek, törött köpenyű koaxális kábelek), a hiányzó vagy hibás védőföldelések következtében kisugárzó kábeltelevíziós műsorok zavarhatják más vezeték nélküli kommunikációs rendszerek működését. Ugyanakkor a kábelek – óriási méretű aktív antennaként – a környező térből felveszik a sugárzott műsorokat, a hivatásos és amatőr rádiószolgáltatók jeleit, összegyűjtik az ipari eredetű zavarokat stb.

A fent leírtakból jól kitűnik, hogy a rendszerek kiépítésére használt jó minőségű anyagok és berendezések ellenére elkerülhetetlenek a hibák, zavar betörések és a különböző zajok megjelenése a hálózaton. Ezeknek a problémáknak a mielőbbi észlelése és elhárítása a szolgáltató szempontjából nagyon lényegesek, ezért célszerűnek tűnt egy olyan rendszer létrehozása, mely figyeli, jelzi a hálózatban megjelenő rendellenességeket.

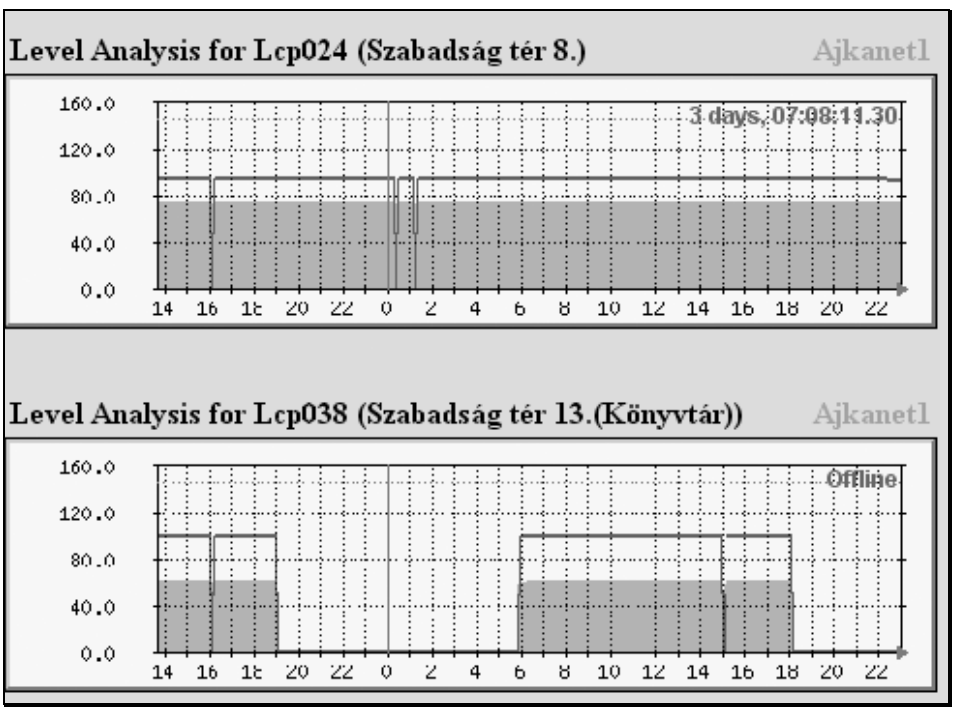
A megfigyelő rendszer

Az elkészített rendszer azon alapszik, hogy az adattovábbítást végző KTV modemekből jelentős mennyiségű információ nyerhető ki a számítógépes hálózatokban már jól ismert SNMP (Simple Network Management Protocol) segítségével. A protokol annak ellenére, hogy egyszerű (http://www.faqs.org/rfcs/rfc1157.html) nagyon sok segítséget nyújt a hálózatot felügyelőknek, mivel az információnyerésen kívül lehetőségünk van bizonyos szintű távoli beavatkozásra is.

Az adatgyűjtést a gyors és megbízható működés érdekében egy Linux operációs rendszert használó szerver végzi a megfelelő programok segítségével és egy SQL alapú relációs adatbázisban tárolja azokat. A begyűjtött információkat egy táblázatban jelenítettük meg, melyet a könnyebb és operációs rendszertől független megjelenítés érdekében webes formában valósítottunk meg. A folyamatos figyelés érdekében a dinamikusan elkészített weblap 5 perces időközönként az adatbázisból frissítette a táblázat adatait. Ez a megoldás azonban nem volt teljesen kielégítő, mivel a modemek számának növekedésévek átláthatatlanná vált. Ezek után nekünk is be kellett látni a következő mondás igaz voltát, miszerint „*Egy kép többet mond ezer szónál* ” és egy jobb módszert kellett keresnünk. A probléma

megoldására jó megoldásnak tűnt a grafikonok használata, melyek jól ábrázolták a használt eszközök működését. Azon felül, hogy a táblázatos formáról áttértük a grafikus felületre a hatékonyság érdekében csak azokat a paramétereket jelenítettük meg, amelyek tapasztalataink szerint jól jellemzik a modem működési állapotait.

Az adatbázisból nyert adatokból a program olyan ábrát készít, mely lehetővé teszi a korábbi állapotok visszakövetését is. Lehetőség van a napi, heti, havi és az éves bontások megtekintésére is. A megjelenítés ebben az esetben szintén webes felületen dinamikus formában történik. A modemek számának növekedése azonban a grafikonok esetében is egy bizonyos fokú átláthatatlansághoz vezetett, ezért a weboldalon a megjelenítési módon és formán változtatni kellett. Az 1. ábrán jól látszik, hogy a grafikonon és a modem sorszámán kívül több hasznos információ is felkerült az oldalra. A készülék telepítési címe megkönnyíti a szerelők munkáját a hiba helyének meghatározásában. Ez mellett megtudhatjuk még, hogy az adott modem melyik hálózati ágon található illetve mennyi ideje működik folyamatosan. Az áttekinthetőség növelésének érdekében a megjelenítésnél aloldalakat hoztam létre a város egyes régióinak megfelelően, melyeken így a megjelenítendő modemek száma jelentősen csökkent.



1. ábra. KTV modemek jelszint grafikonja.

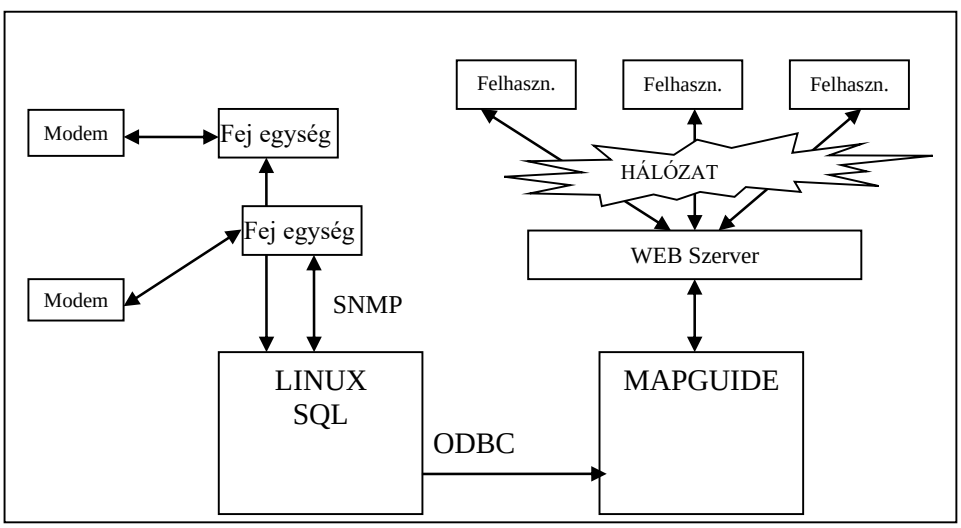
Az elkészített rendszer jól működött, nyomon követhetők voltak a hálózatban bekövetkező események de mégis hiányzott valami, hiányzott egy globális kép az éppen aktuális helyzetről. Egy olyan megoldásra volt szükség, ami mutatja a modemek elhelyezkedését a városban és bizonyos információkat is közöl az egyes berendezések állapotáról. Informatikusként nem voltam jártas a térképészeti rendszerek területén így az első ötletként a városról készült raszteres képeket próbáltam felhasználni egy monitorozó felület megvalósítására. A terv gyakorlati megvalósítása során azonban hamar kiderült ez az út nem nagyon járható, főleg ha az ember webes felületet is szeretne hozzá. Szerencsére ebben az időben kerültem közelebbi

kapcsolatba az Autocad egy térinformatikai programcsomagjával, melyről az első használat után tudtam, hogy megfelelő lesz a probléma megoldására. A programmal való részletes ismerkedés után sor kerülhetett a tényleges munkára is, így a raszteres képeket egy vektorizáló program segítségével a megfelelő formátumúvá alakítottam. Akik ilyen munkával foglalkoznak jól tudják, hogy a konvertálás után még sok munka vár arra aki egy szép letisztázott vektoros rajzot akar létrehozni. A belefektetett munka azonban meghozta gyümölcsét, — a különböző topológiák és zárt vonalláncok létrehozása után.

Ezt követően a rajzot a webes felület biztosító program számára kellett előkészíteni, majd az egyes rétegek külön állományba kerültek.

Az által, hogy az egyes rétegeket fizikailag is így külön választjuk számos előnyhöz jutunk. Ezek közül talán az első az, hogy a különböző részletességi szintek esetén a szükséges rétek adatok átküldése a felhasználóhoz könnyebben megvalósítható. Másodikként említeném, azt amikor nagy részletesség esetén az egyes rétegeket fokozatosan, egymás után jelenítjük meg ahogy a szükséges rétegadatok megérkeznek a hálózatról. A webes alkalmazásoknál ez fontos tényező mivel a csomagkapcsolt hálózatokban az elküldött adatcsomagok általában nem sorrendben és késve érkeznek. Harmadikként a valós idejű megjelenítést említeném, amit a vizsgát rendszer esetében is felhasználtam. Az előny itt abban áll, hogy mivel a modemeket ábrázoló jelkulcsok is külön rétegbe kerültek, a megjelenített térkép rész változatlanul hagyása mellett a megfigyelő állomásra csak a modemeket ábrázoló jelkulcsok tulajdonságaira vonatkozó adatokat kell elküldeni, ami viszonylag kis mennyég és nem igényel nagy sávszélességet sem.

A rendszer lényeges ismérveinek áttekintése után szenteljünk egy kis figyelmet a felépítésére és működésére is. Annak érdekében, hogy tényleges képet kapjunk vessünk egy pillantást a 2. ábrára. A modemek és a linux szerver közötti kapcsolatról illetve az adatok tárolásáról a cikk korábbi részében már volt szó, így nézzük most a két rendszer kapcsolatát



2. ábra. A teljes rendszer egyszerűsített rajza.

illetve a webes térinformatikai rendszer megvalósulását. A rajzon jól látszik, hogy a két rendszer kapcsolatát adatbázis szinten az ODBC illesztő modul valósítja meg. Az adatok szűrése a szokásos SQL lekérdező nyelv segítségével történik. Az információ szabad áramlása után lehetőség nyílt a térképi állomány rétegei fölé elhelyezni a modemek különböző állapotait ábrázoló jelkulcsokat. Egy-egy jelkulcsot 3 paraméter határoz meg, melyből az

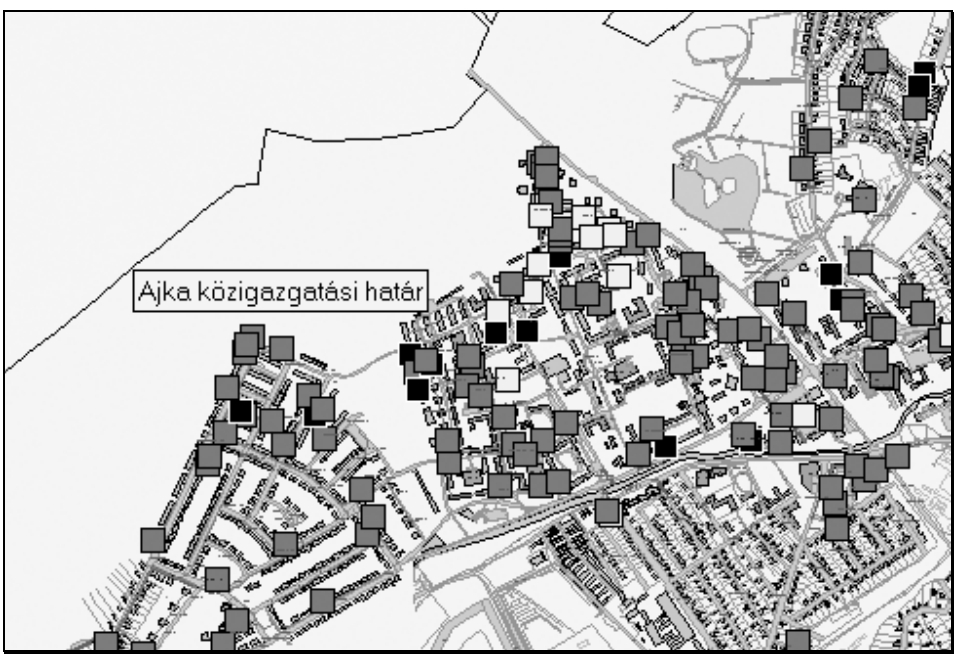
első kettő a modem helyének X és Y koordinátája, a harmadik pedig az adott rétegre jellemző működési érték. Ezen értékek alapján a jelkulcs 4 színt vehet fel.

- Fekete : kikapcsolt állapot.
- Zöld : adott jellemzőre vonatkozóan az eszköz megfelelően működik
- Sárga : adott jellemzőre vonatkozóan az eszköz tűréshatáron működik
- Piros: az adott jellemzőre vonatkozóan az eszköz hibásan működik

A fentiekben leirt módszerrel 4 jellemző változását követjük nyomon, melyeket a modemek korábbi működése során szerzett tapasztalataink során választottunk ki. Ezeknek a értékeknek a segítségével a szerelők lényegesen könnyebben és hamarabb be tudják határolni a kialakulóban lévő és a már meglévő hibagócokat. Annak érdekében, hogy a hirtelen fellépő súlyosabb hibáról is szinte azonnal értesüljenek a szerelők egy olyan szoftveres és hardveres bővítésre került sor melynek segítségével a sms-ben kapnak értesítést, ha a város egy részében leállnak a modemek.

Összefoglalás

A térinformatikai rendszer további tökéletesítése érdekében és a lehetséges hibaforrások minél előbbi észlelése érdekében szélesíteni kívánjuk a felhasznált jellemzők számát. Célunk olyan összefüggések megtalálása az egyes paraméterek között melyek segítségével egy használható osztályozási mód hozható létre. Első lépésként a begyűjtött adatokat neurális hálózatok segítségével vizsgáljuk és reméljük az eredmények biztatóak lesznek. Zárásként nézzük meg egy mely egy pillanatkép a működő rendszerről.



3. ábra. A térinformatikai rendszer működés közben.

MESTERSÉGES? INTELLIGENCIA?

*Rakusz Ádám**

Artificiall? Itelligencie? *- In this paper I would like to introduce you with the concept of artificiall intelligencie, but from a different point of view. You will get answesr for these questions: What is it? Why is it? What is behind the scenes? How can we adapt it for photogrammetric use? In this course of review you may get an introspection into my scientific research...*

Dolgozatomban egy kicsit más megközelítésben vázolom fel a mesterséges intelligencia fogalmát, betekintést adok e hangzatos elnevezés mögötti tartalomra és szükségességére. Röviden ismertetem, a kutatómunkám során történő alkalmazás lehetőségét és ily módon ismertetem tudományos eredményeimet. Számos témám nem áll szoros összefüggésben a címmel, de mint az majd kiderül az alábbiakból, voltaképpen minden mindennel összefügg…

Kulcsszavak: mesterséges, intelligencia, képfeldolgozás, modellezés

Bevezetés

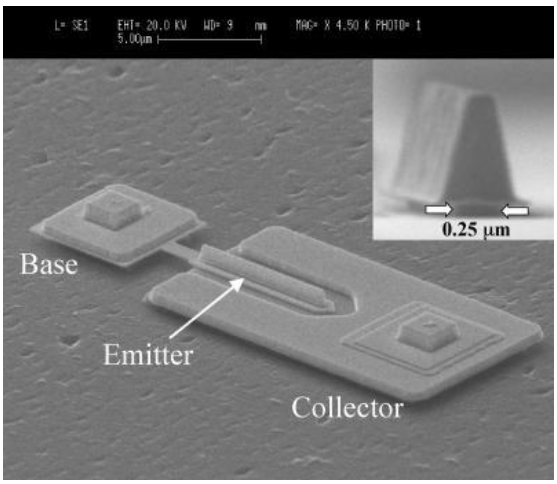
A címben szereplő kifejezés hallatán az utca emberének különböző, számára igen nehezen felfogható dolog juthat eszébe. Talán elsőként a legismertebb, Steven Spielberg AI, Mesterséges intelligencia című, mind a nézőket, mind a tudományos világ szereplőit megosztó filmalkotása, melyet sokan igen kemény kritikával illettek – magam részéről nagyon figyelemre méltónak tartottam. Eszébe juthat továbbá e kifejezés hallatán az ún. mindentudó robotok, „akik" az ember helyett bonyolult tevékenységsorokat is véghezvihetnek. Ugyanakkor a mesterséges intelligencia a távoli vagy éppen a nagyon is közeli, futurisztikus jövő képét is sejteni engedi…

Az alábbiakban a téma – a mesterséges intelligencia - egy kicsit más nézőpontból történő ismertesére vállalkozom, nem kifejezetten a konkrét megvalósítási technikák, hanem egy ember-központúbb, közérthető tárgyalás keretében. Ez nem jelenti azt, hogy a konkrét megvalósítások, tesztelések, fotogrammetriai alkalmazások nélkülöznék a matematikai, statisztikai hátteret, azonban ezek eszközök, melyek egyike alkalmas, mások nem egy-egy feladat megoldására…

Hardver

Az újabb és újabb processzorok, piacon történő megjelenése jól megtervezett, előkészített folyama. Általuk a jövő előre látható, kiszámítható. A feltételeket megteremtő fizikai kutatás, majd annak ipari alkalmazhatóságának kidolgozása és nem utolsósorban a gazdasági érdekek megelőzik egy-egy újabb processzor bevezetését. Bármelyikünk íróasztalán megtalálható számítógépek 130 µm-es gyártási technológiával készültek. Az „eltervezett jövő" szerint 2015-re a 25 µm mérettartományt képviselő processzorokra épülő rendszerek dübörögnek majd asztalunkon, melynek kísérleti prototípusának megalkotását napjainkban jelentették be az Illinoisi Egyetem tudósai (Walid Hafez, Jie-Wai Lei és Milton Feng). Azonban ezzel már a technológia határait feszegetjük. Vajon a tranzisztor - jelen ismereteink szerinti sajátságai miatt - a méretcsökkentés és így a teljesítménynövekedés végső határához ért? Folyamatos kutatások folynak a nano-számítógépek kifejlesztésére, de ez még a jövő titka

**BMGE Budapest 1111. Műegyetem rkp. 3.*
E-mail: Rakusz.Adam@mailbox.hu



1. ábra. A 25 µm méretű tranzisztor elektron-mikroszkópos képe.

Szoftver

Mit jelent ez a gyakorlatban? Bár Moore törvénye szerint a processzorok számítási sebessége másfél évente megduplázódik, mégis a gyakorlat nem egészen ezt támasztja alá. Így előrevetíthető, hogy a számítógépek teljesítmény-növekedésének mértéke fokozatosan lelassul. Az elmúlt nyolc év alatt a számítógépek sebessége tizenhatszorosára emelkedett, azonban az elkövetkezendő nyolc év, csupán fele akkora növekedést ígér. További teljesítményt, több processzor egyidejű alkalmazása jelenthet. Ennek kiaknázása azonban nem egyszerű feladat. A ma alkalmazott szoftverek a legtöbb esetben az alapszoftvert használják a számítógép erőforrásainak elérésre, így az alkalmazások futási sebessége is ettől függ. A számítástechnika hajnalán még nem így volt. A kisteljesítményű számítógépekhez még alapszoftver sem tartozott, így minden alkalmazást a programozónak a gép saját nyelvén kellett megfogalmazni. Ez igen időigényes, komplikált feladat volt, arról nem is beszélve, hogy a különböző architektúrájú gépekre, a kódokat adaptálni kellett. Ennek kiküszöbölésére nyílt lehetőség a teljesítmény növekedésével, a számítógép kezelését, működtetését végző algoritmusok csokorba foglalásával, megszülettek az alapszoftverek, melynek némelyike beépített programnyelvvel is rendelkezett, mások csupán a kommunikációs feladatokat látták el a felhasználó és a gép között. Napjaink tendenciája a platform-független programnyelvek és dokumentumok szabványosítása, terjedése, mely az Internet térhódításával vált szükségszerűvé.

Sajnos az alapszoftverek mára mamutméretűvé váltak, sok hasznos és haszontalan funkciót tartalmaznak, melyeket jórészt megszoktunk és elvárunk. Vannak próbálkozások, új alapszoftverek kidolgozására, melyek kompatibilitási lehetőséget kínálnak a ma használatosakkal (így meglévő szoftvereinket továbbra is használhatjuk), de emellett az erőforrásokkal jobban gazdálkodva nagyobb hatékonyságú programokat alkothatunk.

Másik módszer, mely kezdettől fogva alternatív megoldást jelent a számítógépeket professzionálisan használóknak számára, a következő: megmarad a platformfüggőség, sőt gyakran még a hagyományosan értelmezett alapszoftver sem készül, hanem a célirányosan, feladat-specifikusan tervezett és kivitelezett program lát el minden feladatot. Az ily módon optimalizált alacsonyszintű nyelveken íródott rendszerek rendkívül gyorsak, azonban csak azt a célt szolgáljak, amire létrehozták azokat. Ilyenek bizonyos „intelligens programnyel-

vek". Ezek konkrét célt szolgálnak, a beépített függvények eljárások e cél megvalósításához lettek csokorba gyűjtve.

A fent említett tények alátámasztására lássuk a következő példát az összeadás műveletét, mely önmagáért beszél: processzor szintű megvalósításkor 10 gépi ciklust igényel (2 GHz = 2×10^9 ciklus/ sec), C nyelven 30 gépi ciklust, BASIC nyelven 73-mat.

Algoritmus

A problémákat három csoportba sorolhatjuk. Két főcsoportja a nem algoritmizálható és az algoritmizálható feladatok. Ez utóbbin belül pedig a polinomiális idő alatt megoldást adó, illetve azalatt eredményre nem vezető alcsoportokat különböztethetünk meg, mely a probléma ismeretében kategorizálható.

Jelenlegi tudásunk szerint számítógéppel csak algoritmizálható problémák kezelhetők, így az algoritmus a programok lelke. Algoritmus, az egymás után végrehajtandó műveletek összessége. Ezen múlik igazán, milyen hatékonyan dolgozik egy-egy szoftver, hány és milyen műveletet kell végrehajtani egy adott feladat megoldásához. Természetes, hogy más és más megvalósítási lehetőség kínálkozik, ezek az eredmény szempontjából egyenértékűek, de felhasznált gépidő, így hatékonyság tekintetében igen különbözőek.

Példaként tekintsük egy kártyapakli számítógéppel történő „megkeverésének", két lehetséges megoldási lehetőségét.

Ál-véletlen számokat generálva (melyek a lapokat szimbolizálják) egy beépített függvénnyel, azokat egy vektorba tesszük, ezt úgy végezzük, hogy közben mindig ellenőrizzük, vajon az éppen generált szám szerepelt-e már a kevert pakliban. Ha igen, akkor új számot generálunk, ha nem, akkor betesszük a pakli tetejére, míg valamennyi lapot fel nem használtunk.

Másik esetben a vektort feltöltjük a lapokat szimbolizáló számokkal, 1-től 52-ig. Ezután egy előre, konkrétan meghatározott számú keverést (N), cserét hajtunk végre (két, 1-52 közé eső számnak, mint indexnek megfelelő helyen szereplő értéket megcserélve a vektorban).

Mindkét algoritmus által szolgáltatott eredmény megfelel az előrevetített célnak, azonban az elsőnek az időszükséglete előre megbecsülhetetlen, míg a másodiknak konkrétan meghatározható (N). Mérésekkel igazoltuk a minimum ötvenszeres futási idő különbséget.

Intelligencia

Mi is az a mesterséges intelligencia? Mitől intelligens egy program? Egy rövid mondatban, nem egyszerű ezt megfogalmazni, többféle megközelítés létezik. Az egyik a gondolati folyamatokat és ez alapján a következtetést célozza, a másik a viselkedést. Megint más elmélet az emberi teljesítményhez méri a sikert vagy éppen a racionalitáshoz. Ez utóbbi kettő közül az első hipotetikus feltevésekkel és azok empirikus igazolásával dolgozik, míg a másik, alapja a racionális felfogás, matematikai alapokat felhasználva közelíti meg a problémákat. Bár mindegyik irányzatnak megvan a maga létjogosultsága, mérnöki szemmel mégis e legutóbbit tekinthetjük az „igazi" mesterséges intelligenciának, mely programozható, algoritmizálható, ágensekkel dolgozik, megvalósíthatók benne a világ egyszerűsített, célirányosan megfogalmazott megfelelői.

Miről is van szó? Le kell egyszerűsíteni a világot, a problémának megfelelően, elhagyni a feladat szempontjából szükségtelen összetevőket. Az elhanyagolás folyamatát, mely alapja a rendszer felépítésének, és így a mesterségesen intelligens rendszer működésének, csak az ember végezheti. De vajon megváltozhat ez? Képes lehet-e a jövőben egy program kitágítani látókörét, és maga alkotni határokat a feladatokhoz? Nehéz ezekre a kérdésekre

választ adni, mivel saját képzeletünk igencsak „korlátolt”. Kutatások szerint az egész emberiségből csupán pár ezer ember képes felfogni magasabb dimenziók fogalmát, elképzelni azt. Hogy milyen is ez? Gondoljunk csak bele az alábbi grafiti-be:

„Meséld el egy egyenesnek mi az a gömb”

Egy ágens, a kapcsolatot környezetével érzékelőkön keresztül tartja. Ezeken keresztül értesül az őt körülvevő világról. Azonban az egyszerűsítési folyamat eredményeképpen már csak az jut el hozzá, amit megalkotója a feladat szempontjából fontosnak, szükségszerűnek tartott. Hogy képes lesz e önfejlesztésre, a világ megismerésére, ez előre még nem megjósolható. Ha igen, ez a folyamat hasonlatos egy csecsemő világot történő megismeréséhez. Ezért állítják sokan, hogy ez nem valósulhat meg, mivel ezek többnyire nem algoritmizálhatók.

Érzékelés

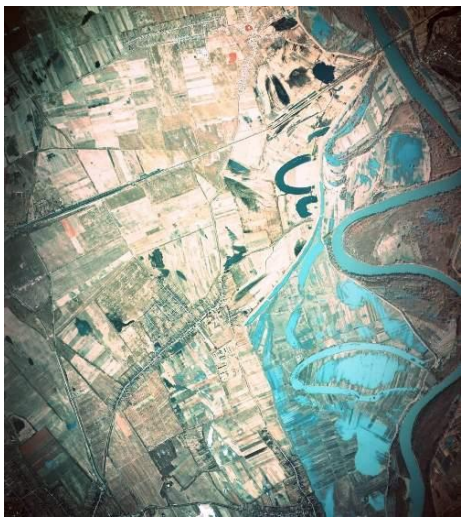
De térjünk vissza a világgal való kapcsolattartáshoz. Számítógéppel csak numerikus, digitális adatok kezelhetők, így a környező világról mintavételezéssel ilyen típusú adatokat kell gyűjtenünk, illetve, a meglévőket ilyen formára kell alakítanunk. Napjainkban ennek a digitalizálási folyamatnak pontszerű (távolság, hőmérséklet, sűrűség, szag, íz, stb.) és lineáris (hang, kép) megvalósításai léteznek.

Pontszerű esetben utófeldolgozásra nincs szükség, a szolgáltatott eredmény, a mért mennyiségről elégséges információval rendelkezik. Például egy helyváltoztató mozgást végző robot aktuális pozícióját sorozatos, több fix objektumhoz viszonyított távmérés és szögmérés eredményeképpen, hátrametszéssel határozza meg.

Lineáris esetben a helyzet nem ilyen egyszerű, bár a mindennapi életünk részévé váltak a hangfelismerő rendszerek. Gondoljunk csak mobiltelefonunk hangvezérelt tárcsázására. Ez egy igen egyszerű eset azonban, egy előre tárolt lineáris folyam és az éppen mintavételezett összehasonlításán alapszik, némi fuzzy logikát használva.

Sokkal összetettebb a feladat a beszéd felismerése. Itt is egy tárolt minta alapján lehet beazonosítani a személyt, de nem minden parancs van előre tárolva hangkép formában, a számítógép memóriájában. Innentől kezdődik a mesterséges intelligencia használatának lehetősége. A hangok felismerésre az akusztikus modellt használjuk, melynek a Markov modell az alapja, melynek lényege: valamennyi állapotot sorba véve azokhoz egy-egy valószínűséget rendel. Az előre tárolt szótárban nem csak a szavak, hanem azok fonetikus kiejtésének „lehetőségei” vannak tárolva szótagonként. Egy szót más emberek különbözőképpen ejtenek ki, melynek számos oka lehet. Azonban léteznek elfogadott, szótári, kvázi ajánlott kiejtési formák és elfogadható alakok. Az egyes szótagok kiejtési formájának az előbbiek szerint, különböző előfordulási valószínűséget rendelhetünk. Egy felismerni kívánt szó, mintavételezett szótagjaihoz tartozó valószínűségek szorzata, a szóhoz tartozó, felismerési valószínűség. Ezt egyeztetve a szótárban taroltakkal kapjuk, melyik szót ismerte fel az algoritmus. Természetesen a beszélő, beszédsajátosságait, az előre tárolt hangminta alapján figyelembe vettük, a szótárbeli hangképekre adaptáltuk.

A képek felismerése felfogható, mint kétirányú lineáris mintavételezés eredményeképpen előállt adathalmaz. Diplomamunkámat mérőkamarás légifelvételek keretjeleinek felkutatásának lehetőségeiről írtam, melynek során számos algoritmust kipróbáltam. Laikus megközelítéssel ezt is tekinthetjük egyfajta mesterségesen intelligens rendszernek, hiszen bármely bemenő képen megtalálja a keretjelet, beazonosítja azt, megállapítja a kamara típusát, majd sub-pixel pontossággal meghatározza a keretjel képkoordinátáját, információt szolgáltatva ezzel a belső tájékozás elvégzéséhez. Azonban e mögött keretjel-könyvtárak vannak, ismeretlen szenzor keretjeleinek megtalálására nem képes. Másik kutatási témám a kamara vignettáció mértékének csökkentését célozta.



2. ábra. Egy légifelvétel, a vignettáció hatásának bemutatására.

A fényképezőgépek, lencseszerkezetek felépítése miatt a fényképkészítéskor a felvételi sugárnyaláb mechanikai akadályokba ütközik. Az objektívek és az objektívfoglalat a képsíkra érkező fénykúpra rekeszelő hatást fejt ki, melynek következtében a kép szélei felé, e hatás miatt kevesebb fény juthat el, az fényszegényebb lesz. Ezt digitális úton korrigálhatjuk, ha több felvételből, ennek a sötétedésnek a mértékét, mely az optikára jellemző, egy egzakt függvény formájában meghatározzuk. Itt függvény alatt, a rendszerben tárolt alapfüggvények (sin, cos, gyök, exp, stb.) kombinációjából előállított összetett függvényt értünk. A korrelációt, mint mérőszámot a döntés alapjának tekintjük. A módszer, gyors és igen jó eredményeket produkált.

Legújabb kutatásaimban, egyrészt a matching eljárást próbálom ötvözni a mesterséges intelligenciával, oly módon, hogy a meghatározni kívánt objektum alakja nem ismert, csupán a helye. Felhasználó által ellenőrzött tanulási folyamat eredményeként áll elő egy adatbázis, melyre támaszkodva utána automatikusan végzi a program az objektum felismerést. Ennek a módszernek más adatforrásra történő alkalmazása (LIDAR) szintén érdekes feladat. Ebben az esetben, pontszerű mintavételezéssel előállt 3d pontfelhő feldolgozásáról van szó, melyben sem a hely, sem az alak előre nem ismert. Kiegészítő kutatást folytatok a pontbeli intenzitási értékek felhasználására.

Összefoglalás

Eddigi kutatásaim a mesterséges intelligencia területén arra a meglátásra vezettek, miszerint hétköznapi értelemben az nem más, mint jól működő, sok kísérletezéssel kidolgozott algoritmusok összessége, több kimenetű -fuzzy- logikát használva. Itt az algoritmusé és természetesen, annak megalkotójáé a fő szerep. Ma ezek a rendszerek az ember segítségére vannak csupán, tudásbázisra épülnek, gyorsan, pontosan, hiba nélkül jutnak következtetésre, gyakran olyan esetekben, melyekben az ember nem lenne képes, vagy csak nagyon sok idő alatt eredményt elérni.

Hivatkozások

Russel SJ, Norvig P (2000): Mesterséges intelligencia modern megközelítésben *Panem kiadó*, Budapest.

VONALAS LÉTESÍTMÉNYEK (AUTÓPÁLYÁK) KÍSÉRŐ POLIGONJA TERVEZÉSÉNEK ÉS MEGHATÁROZÁSÁNAK GYAKORLATI SZEMPONTJAI

Almási Levente[*]

Practical Points of Designing and Location of Collateral Poligons of Motorways *- The essay deals with the possibilities of collateral poligon realisation in the case of superior road networks. It introduces reflections in connection with the placement form, determination and adjustment of the network.*

Dolgozatomban az M3-as, az M8-as és az M7-es autópálya különböző szakaszain és az 51-es elkerülő úton végzett alapponthálózat létesítési és ellenőrzési geodéziai munkálatainak tapasztalatait összegzem ill. elemzem. Ismertetem a vonalas létesítmények kísérő poligonjával szemben támasztott gyakorlati követelményeket; kitérek a kiegyenlítés jelentőségére; továbbá három alapponthálózaton keresztül bemutatom a kiegyenlítés lehetőségeit ill. a hálózat elhelyezkedésére, alakjára, meghatározására vonatkozó észrevételeimet, a GPS-es kiegészítő és ellenőrző mérések szerepét a kísérő poligonok meghatározásakor.

Kulcsszavak: alapponthálózat, kísérő poligon, hálózatkiegyenlítés, autópálya-építés, autópálya-geodézia, GPS, pontossági mérőszámok

Bevezetés

A rendszerváltást követően, a gazdasági viszonyok megváltozásával, a gazdaság élénkülésével párhuzamosan kiemelt fontosságúvá vált az egyes országrészek bekapcsolása az országos ill. a nemzetközi gyorsforgalmi úthálózatba. Ezek a törekvések a gyakorlatban új gyorsforgalmi utak (autópályák, autóutak) építését, a meglévő főútvonalak gyorsforgalmúvá alakítását, valamint a meglévő, részben elhasználódott gyorsforgalmi utak felújítását jelentik. A célok megvalósításához műszaki szempontból nélkülözhetetlen az utak mellett létesítendő – bármilyen műszaki munkálathoz elengedhetetlen – alapponthálózat (kísérő poligon) létrehozása.

A számítógépek elterjedése ma már lehetőséget ad arra, hogy az alapponthálózat létesítés számítási részeit korszerűen, gyorsan és hatékonyan, kiegyenlítéssel oldjuk meg.

A geodézia szerepe az autópálya-építés terminológiájában

A tervezési, előkészítési munkálatok folyamán:

- előzetes tervtanulmányok készítése (meglévő térképek alapján),
- engedélyezési terv készítése (meglévő térképek alapján),
- előzetes kisajátítás,
- tervezési térkép készítése (hagyományos földi eljárás és/vagy fotogrammetria),
- **kísérő poligon meghatározása**,
- kiviteli terv készítése (tervezési térkép felhasználásával),
- végleges kisajátítás,

A kiviteli munkálatok folyamán:

- folyamatos kitűzések,
- folyamatos ellenőrző mérések,

[*]*BME Fotogrammetria és Térinformatika Tanszék*
1111 Budapest, Műegyetem rkp. 3.
E-mail: geopoint@axelero.hu

- folyamatos minősítő mérések,

A kiviteli munkálatok befejezése után:

- javított kiviteli terv készítése (minősítő mérések felhasználásával),
- megvalósulási térkép készítése (hagyományos földi eljárás és/vagy fotogrammetria),
- digitális törzskönyv készítése.

A felsorolásból kitűnik, hogy a geodézia az autópálya-építés folyamata minden egyes periódusának nélkülözhetetlen szereplője.

Megállapítható, hogy mind anyagi, mind műszaki szempontból indokolt és célszerű lenne, ha a kísérő poligon meghatározása megelőzné a tervezési térkép készítését, így az összes terepi geodéziai folyamat egyetlen alappont-hálózatra támaszkodna. Fontos, hogy az útépítés geodéziai munkálatain kívül más geodéziai munkálatok is - közműkiváltások kitűzése, bemérése, de legfőképpen a hídépítés geodéziai munkálatai - ugyanerről az alappont-hálózatról történjenek.

Az elkészült alappont-hálózatnak a kiviteli munkálatok során van a legnagyobb szerepe (kitűzések, ellenőrző és minősítő mérések), ezért a hálózat tervezésekor és elhelyezésekor az itt megfogalmazott igényeket fokozottan kell figyelembe venni (a kiviteli munkálatok mintegy másfél-két évig tartanak).

Az alappontok elhelyezésének tervezési szempontjai

- Az alappontok kb. 400 méterre legyenek egymástól (figyelembe kell venni a kitűzési igényeken kívül az alappontok sűrűségére vonatkozó földhivatali előírásokat; az alappontoknak könnyen, gyorsan, ugyanolyan megbízhatósággal pótolhatónak kell lenniük),
- felváltva helyezkedjenek el a vonalas létesítmény jobb ill. bal oldalán (magas töltések esetén a kitűzés, hálózati szemlélet),
- az alappontok közötti összeláthatóság lehetőség szerint biztosított legyen (lehetőség szerint mind a négy, de minimálisan a két szomszédos alappontra),
- a pontról minél több külső tájékozó irány legyen látható,
- az alappont fennmaradása biztosított legyen (a tripód alkalmazásának nemcsak a távolabbi alappontok irányzásában van szerepe, hanem az egyik legjobb módszer az alappontok fennmaradásának biztosításában),
- az alappontok lehetőség szerint a kisajátítási határon belülre essenek,
- az alappontoknak jól láthatónak (tripód, jelrúd alkalmazása) és könnyen megközelíthetőnek kell lenniük,
- az alappont GPS-es álláspontra is alkalmas kell hogy legyen, az esetleges kiegészítő és ellenőrző méréseknél (az alappont-hálózat létesítésének időszakában a nyomvonalon még mezőgazdasági művelés folyik, erdők, erdőfoltok találhatóak, így a megkívánt hálózat létrehozása nehézségekbe ütközik, szükségessé válik kiegészítő GPS-es mérések végrehajtása),
- az alappontok minél több helyen kapcsolódjanak az országos alappont-hálózat pontjaihoz (az alappontok hierarchiájából következően az ismert pontoknak magasabb vagy legalább azonos rendűnek kell lenniük),
- a létesítendő poligon kapcsolódjon a már meglévő, ezt megelőző hálózathoz,

- az állandósított alappont központi jele mind vízszintes, mind magassági értelemben egyértelmű legyen (pl. keresztvésés mellett hiltiszeg alkalmazása; betonkő helyett műgyanta földmérési jel),
- a mérés és számítás korszerű és gazdaságos legyen.

A kiegyenlítés szerepe a hálózat meghatározásában

- Fontos, hogy a számítást végző személy önkényes, szubjektív döntéseitől (az alkalmazott pontkapcsolásoktól: sokszögvonal, szabadálláspont, stb., és a számítás sorrendjétől) ne függjenek a pontok koordinátái; a pontok koordinátáit hálózati szemlélettel határozzuk meg, ami az összes mérés együttes, egyidejű kezelését jelenti, amit csak hálózatkiegyenlítéssel tudunk elérni,
- a mérési eredmények között csak pontosságuk, súlyuk tegyen különbséget,
- kívánatos, hogy minél több mérést vonjunk be a számításokba (minél több fölös méréssel dolgozzunk). Ezt szintén csak kiegyenlítéssel érhetjük el hiszen kiegyenlítés nélkül a mérési eredményeknek csak egy részét használjuk fel a pontok koordinátájának meghatározására, a mérések másik része csak ellenőrzésre szolgál,
- szükséges, hogy a számításokhoz felhasznált mérési eredmények durva hibától mentes legyen (durvahiba-szűrést csak fölös méréssekkel tudunk végezni),
- „A fölös mérések számát nemcsak egy egész hálózatra összességében célszerű megadni és a fölös adatok számát megkötni, hanem minden új alappontnak is egyenként rendelkeznie kell fölös meghatározó adatokkal… Minden esetben nagy figyelmet kell fordítani arra, hogy a hálózatnak ne legyenek fölös mérés nélküli részei” *(Busics Gy és Csepregi Sz, 1992)*,
- a hálózat pontjainak minél jobban ki kell elégíteniük a köztük fennálló geometriai kapcsolatokat, a lehető legjobban illeszkedniük kell az országos rendszerbe (csak kötött hálózat esetében), és a pontok között a relatív összhangnak a legjobbnak kell lennie,
- kiegyenlítéssel meghatározott hálózatok esetében a pontossági mérőszámokból (hálózati relatív középhiba, koordináta középhibák, a súlyegység középhibája, az iránymérés-, a távmérés középhibája, stb.) következtethetünk a hálózat pontosságára.

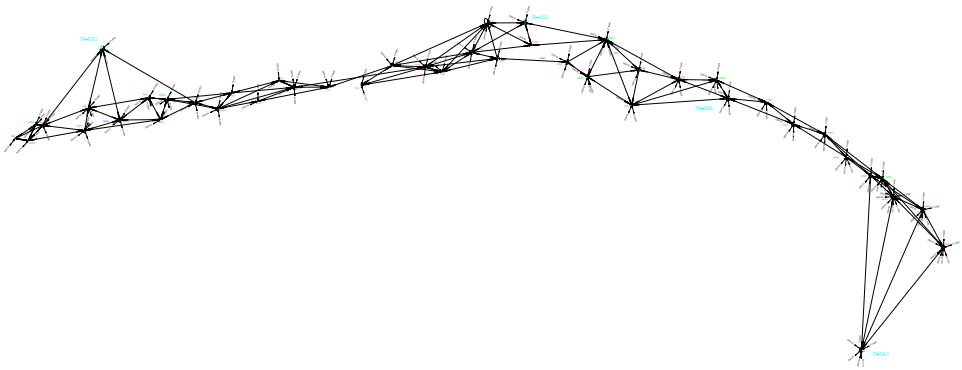
A kísérő poligon kiegyenlítésének lehetőségei

(I. hálózat)

Feladat: az épülő M3-as autópálya Gyöngyös – Füzesabony közötti szakaszának egy nyolc kilométeres részén (73+400 – 81+000) vízszintes ellenőrző mérések elvégzése. Ennek a hatvankét alappontból álló geodéziai hálózatrésznek a mérését és kiegyenlítését végeztem el.

A szakasz alappontjai közül négy, a hálózatrész mentén elhelyezkedő negyedrendű országos alappont, tizenkét darab negyed vagy magasabb rendű (országos) tájékozási pont (torony), hét darab a mérések során ideiglenesen megjelölt, a hálózat merevítését szolgáló alappont, harminckilenc meglévő, kiegyenlítendő alappont (a kiegyenlítés egyes eseteiben az országos alappontokat is, míg az ideiglenes alappontokat minden esetben kiegyenlítettem).

A méréshez SOKKIA SET 4 C-II vagy SOKKIA PowerSET 4000 mérőállomást használtam, az iránymméréseket egy fordulóban, két távcsőállásban, a távméréseket lehetőség szerint oda-vissza végeztem.



1. ábra. M3-as autópálya vízszintes meghatározási terv.

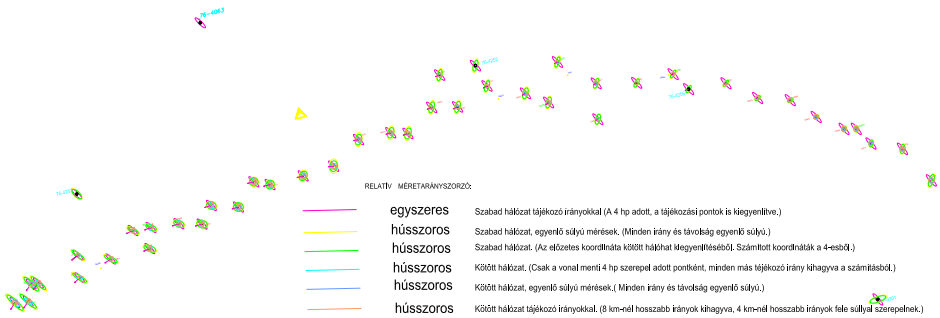
A geodéziai alappont-hálózatot többféleképpen kiegyenlítettem. Vizsgáltam a kötött ill. önálló (szabad) hálózat kiegyenlítési lehetőségeit, a két eljárás sajátosságait, tulajdonságait. Autópályák kísérő poligonjának kiegyenlítése kötött hálózatként kell, hogy történjen az országos rendszerbe történő minél előnyösebb illeszkedés miatt. A fenti hálózat szabad hálózatként történő kiegyenlítése elsősorban kutatási, elemzési céllal történt, mivel szabad hálózatként történő kiegyenlítéssel kiválóan jellemezhetjük méréseinket. Ha a hálózat hibáit úgy tekintjük, mint a mérési hibák és a kerethibák összességét, akkor a hálózat szabad hálózatként történő kiegyenlítésével (a kerethibák „elhagyásával") a hálózatot csak a mérési hibák terhelik. (Ebben az esetben a hálózat szabad hálózatként történő kiegyenlítése azt jelenti, hogy a hálózatot kényszerek nélkül egyenlítjük ki, de a művelet után a kiegyenlített hálózatot illesztőpontok - az országos alapponthálózat pontjai - felhasználásával az országos hálózatba transzformáljuk.)

Szabad hálózatok kiegyenlítésénél jelentkező probléma, hogy a normálegyenletrendszer együttható mátrixa szinguláris lesz (a szinguláris mátrixok hagyományos inverzét nem értelmezhetjük). Erre a problémára a gyakorlatban többféle megoldás is létezik. Az általam használt program a feladatot a normálegyenletrendszerhez hozzáírt kényszerfeltételekkel oldja meg. Kényszerfeltételek (célfüggvények) segítségével azt fejezzük ki, hogy az egész hálózat – az előzetes koordinátákhoz képest – ne végezzen elmozdulást: eltolódást, elfordulást, tisztán iránymméréses hálózat esetén méretarány-változást.

Vizsgálataim kiterjedtek a külső tájékozó irányok szerepére a kiegyenlítések során. Különös figyelmet fordítottam a súlyok felvételére a különböző kiegyenlítések alkalmával. A hálózatot úgy egyenlítettem ki, hogy a méréseket azonos pontosságúnak (azonos súlyok), ill. távolsággal arányosnak (iránymérések) és távolsággal fordítottan arányosnak (távolságmérések) tekintettem. Elemzéseket végeztem a külső tájékozó irányok súlyozásának különböző lehetőségeire (pl. a 4 km-ig a távolsággal arányosan súlyoztam, a 4-8 km-es intervallumban az irányokat egységsúllyal szerepeltettem, a 8 km fölötti irányokat kihagytam a számításból).

Tanulmányoztam továbbá a „szélsőséges" mérési eredmények hatását a kiegyenlítés végeredményére (pl. az átlagos irányhosszt többszörösen meghaladó külső tájékozó irányok hatása).

Az elemzések során felhasznált legfontosabb adatok a következők voltak: a hálózati relatív középhiba, a súlyegység középhibája, koordináta középhibák, elmozdulás vektorok, az egyes pontok hibaellipsziseinek paraméterei (a hibaellipszis alakja, mérete, iránya), a különböző módszerrel kiegyenlített koordináták eltérései, stb.



2. ábra. Hibaellipszisek a különböző kiegyenlítési módszereknél.

A gyakorlatban a hálózati relatív középhibát többféleképpen származtathatjuk. A különböző módon számított hálózati relatív középhiba értékek között jelentős eltérések vannak. A hálózatok pontosságát a hálózati relatív középhiba alapján csak akkor lehet összehasonlítani, ha azokat azonos módon képeztük. Az általam használt program (Csepregi Szabolcs és Busics György hálózatkiegyenlítő programja) a kiegyenlítés során a mérési eredmények súlyát úgy veszi fel, hogy az átlagos távolságra végzett iránymérések súlyát egységnyinek tekinti. Ekkor a kiegyenlítés után meghatározott súlyegység középhibája számértékileg megegyezik az egységsúlyú mérés középhibájával. Ha ezt az értéket radiánba alakítjuk, akkor megkapjuk a hálózati relatív középhibát:

$$m_{rel} = \frac{m_0}{\rho''},$$

ahol

$$m_0 = \sqrt{\frac{\sum pvv}{f}}.$$

Az elemzések összefoglalása

A többféle kiegyenlítési módszert összehasonlítva, az eredményeket elemezve az alábbi általánosítható következtetéseket vonhatjuk le:

- Minden esetben kerülni kell a kiugró, „szélsőséges” mérési eredményeket, különös tekintettel ezen mérési eredmények további arányos súlyozására. Ilyen esetekben a legkisebb irányzási bizonytalanság is hatványozottan befolyásolhatja a kiegyenlítés kimenetelét,
- helyesnek mondható a hosszú tájékozó irányokra vonatkozó súlyozás (8 km-nél hosszabb tájékozó irányok kihagyva, 4 km-nél hosszabb tájékozó irányok egység súllyal szerepelnek),
- minden esetben jobb eredményeket kaphatunk, ha az egyenlő súlyozás helyett az iránymérések súlyát a távolsággal arányosan, a távmérések súlyát a távolsággal fordítottan arányosan vesszük fel (4 km-nél rövidebb irányok esetén),

- véleményem szerint is indokolt az a megállapítás, miszerint a súlyok értékét maximálni kellene az átlagos távolságból számított súly háromszorosában, négyszeresében és minimalizálni harmadrészében, negyedrészében,
- a hálózatot lehetőség szerint minél több országos alappontra illesszük,
- hálózatkiegyenlítéskor a kötött hálózatkiegyenlítési módszert részesítsük előnyben a szabad hálózatkiegyenlítéssel szemben,
- ha a hálózatokat a szabad hálózatkiegyenlítés módszerével egyenlítjük ki, minden esetben pontosabb hálózatot kapunk (pontok egymáshoz viszonyított viszonya, relatív középhiba, stb.), kötött hálózatkiegyenlítés esetén viszont a kiegyenlített hálózatunk jobban illeszkedik az országos rendszerbe (a gyakorlatban legtöbbször országos koordinátákkal dolgozunk, az autópálya építés folytatódik, a különböző hálózatoknak egymáshoz is kell illeszkednie),
- önálló, szabad hálózatoknál a hálózat súlypontja közelében kicsik a középhibák, a szélek felé távolodva nőnek a középhibák értékei, a középhibák kötött hálózat esetén az adott pontoknál minimálisak (0), az adott pontoktól távolodva nőnek, kötött hálózat esetén minden esetben kedvezőbbek a kiegyenlített pontok koordinátáinak középhibái, szabad hálózatoknál a hibaellipszisek kis és nagytengelyének (a, b) értékei jelentősen eltérnek, a hibaellipszisek paramétereit elsősorban a kényszerek száma befolyásolja.

Megjegyzések:

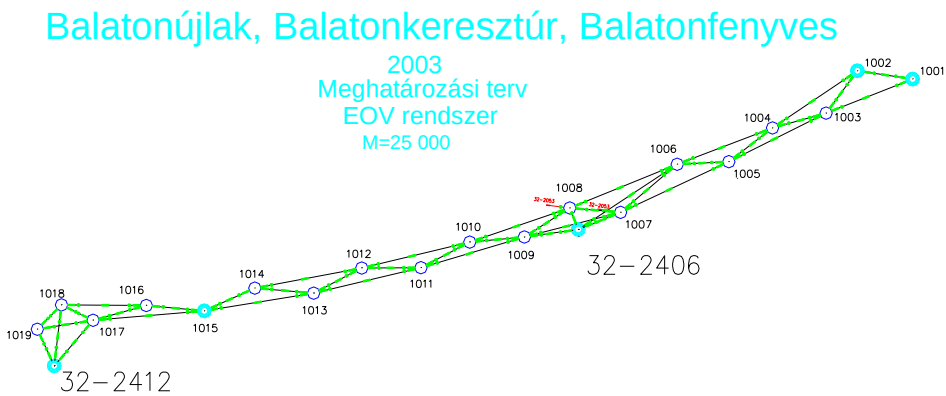
- Kísérő poligonok kiegyenlítése során mindenképpen vonjuk be a kiegyenlítésbe a külső tájékozó irányokat (még akkor is, ha általában ezzel a lépéssel minimálisan ugyan, de rontjuk a hálózat pontosságát), mivel az alappontok felhasználása során is használni fogjuk ezeket (pl.: szabadálláspont meghatározás). Ezzel a módszerrel ellenőrzést is kapunk a külső tájékozó irányok pontosságáról, felhasználhatóságáról.
- Ha szabad hálózatként egyenlítjük ki hálózatunkat – pl.: elemzés céljából – célszerű előzetes koordinátaként valamilyen kötött hálózatként már kiegyenlített koordinátákat felhasználni.

A hálózat elhelyezkedésére, alakjára, meghatározására vonatkozó vizsgálatok

(II. hálózat)

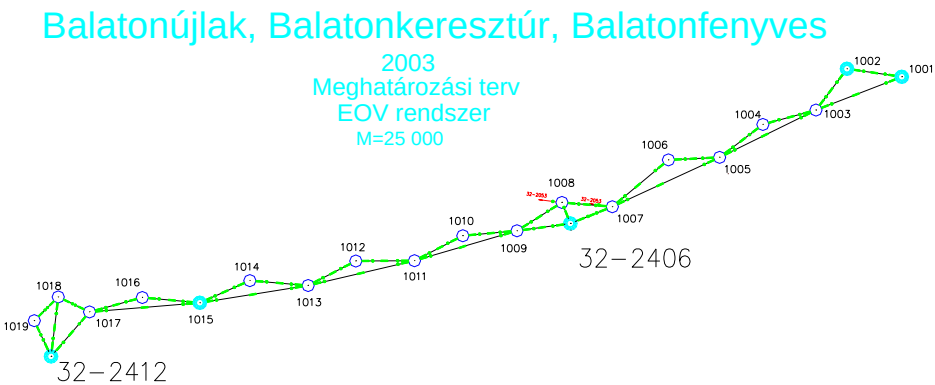
Feladat: az építendő M7-as autópálya Balatonfenyves - Balatonújlak közötti szakasz kísérő poligonjának meghatározása (160+000 – 170+000). A hálózat felmérése az előző hálózathoz hasonlóan történt, azzal a különbséggel, hogy itt GPS-es kiegészítő mérésekre is sor került. A hálózat elhelyezésénél, mérésénél törekedtem arra, hogy egy-egy pontról mind a négy szomszédos pontra legyen irány- és távolságmérés is. A hálózatot csak kötött hálózatként egyenlítettem ki, minden esetben külső tájékozó irányokkal (egyetlen külső tájékozó irány látszik az 1007-es és az 1008-as pontokról).

Az első esetben minden irány- és távolságmérést felhasználtam a kiegyenlítés során.



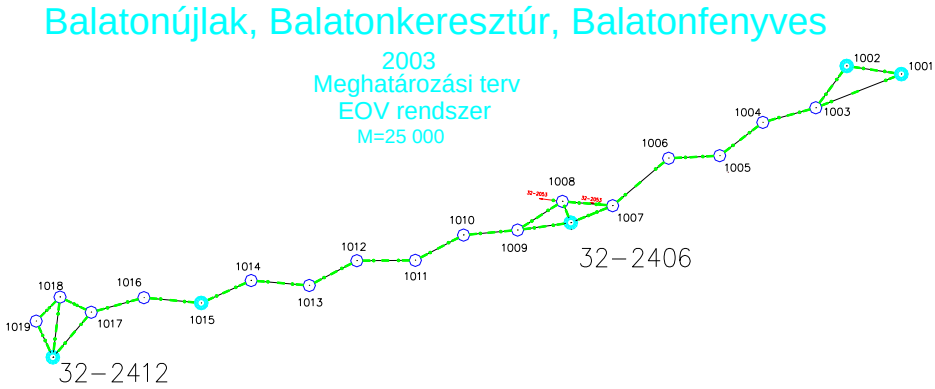
3. ábra. M7-es autópálya vízszintes meghatározási terv (teljes hálózat).

A második esetben kihagytam a kiegyenlítésből a hálózat északi oldalán (a hálózat „merevítését” szolgáló) található méréseket.



4. ábra. M7-es autópálya vízszintes meghatározási terv (egyoldalú hálózat).

A harmadik variációban a hálózat déli oldalán található méréseket is kihagytam a számításból. Így gyakorlatilag egy sokszögvonal jellegű hálózat jött létre, viszont az ismert országos alappontokhoz és GPS-es pontokhoz több meghatározandó pontból is csatlakozik.



5. ábra. M7-es autópálya vízszintes meghatározási terv (sokszögvonal jellegű hálózat).

Végezetül megvizsgáltam az előbbi három kiegyenlítési módszert úgy, hogy a számításoknál csak az első távcsőállás méréseit vettem figyelembe.

A hálózat jellemzésére leginkább használatos pontossági mérőszám a hálózati relatív középhiba. Ez a következőképpen alakul a különböző kiegyenlítési módszerek esetében:

- normál hálózat (minden mérés felhasználva): 1/34861,
- egyoldalú hálózat: 1/32922,
- sokszögvonal jellegű hálózat: 1/31981.

A hálózati relatív középhibákból látható, hogy a legjobb eredményt akkor kapjuk, ha minél több mérést használunk fel, minél több fölös méréssel számolunk. Fölös mérések elhagyásával fokozatosan csökken a hálózatunk pontossága. Hasonló tendenciát mutatnak azok a kiegyenlítési esetek is, amelyekben csak egy távcsőállás eredményét használjuk fel a kiegyenlítések során, természetesen gyengébb eredménnyel (pl.: sokszögvonal jellegű hálózat esetén a hálózati relatív középhiba értéke 1/30152).

Gyakorlati szempontból az összes kiegyenlítési eljárás végeredménye kielégíti a kísérő poligonnal szemben támasztott követelményeiket. A végleges koordinátákat összehasonlítva gyakorlatilag ugyanazokat az eredményeket kaptuk (átlag 1 cm, maximum 2 cm-es eltérés). Az előzetes és végleges koordináták között 8-9 cm-es eltérések is adódtak, melyek maximális értéküket természetesen azokon a pontokon érik el, amelyek az adott pontoktól legtávolabb vannak.

Hasonló eredményre jutunk, ha csupán a hálózati relatív középhibákat hasonlítjuk össze.

A hálózati relatív középhibáiban mutatkozó eltérések minimálisnak és mindegyik kiegyenlítési eljárásnál elfogadhatónak mondható.

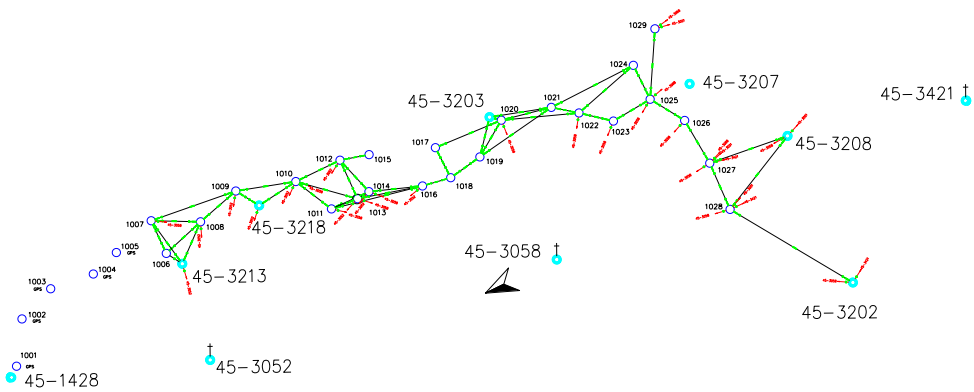
Az elemzések összefoglalása

- törekedjünk arra, hogy a hálózatunk 3-4 km-enként csatlakozzon ismert országos vagy GPS-es alapponthoz,
- az ismert alappontokhoz minél több meghatározandó pontból csatlakozzunk,
- fölös mérések számának növelésével fokozni tudjuk a hálózat pontosságát, a kiegyenlítést minél több fölös méréssel oldjuk meg (ezt a hálózat gondos megtervezésével érhetjük el),
- egy-egy hálózat kiegyenlítésébe 40-50 alappontnál többet – az átláthatóság miatt – ne foglaljunk (ez a gyakorlatban 8-10 km-es hálózatot jelent).

GPS-es kiegészítő és ellenőrző mérések felhasználása a hálózat meghatározásakor

(III. hálózat)

Feladat: az építendő 51-es elkerülő út kísérő poligonjának meghatározása.



6. ábra. 51-es út vízszintes meghatározási terv.

Ennél a hálózatnál elkerülhetetlen volt a GPS-es kiegészítő mérések alkalmazása. A hálózat eleje néhány km-es szakaszon gyümölcsösben halad, ahol hagyományos földi mérések végrehajtására nem volt lehetőség. Ez általánosságban is elmondható az ilyen jellegű munkálatokról. A kísérő poligon létrehozása még kivitelezési munkálatok megkezdése előtt kell, hogy megtörténjen, a terület még „érintetlen", a hálózat területén művelés alatt álló részek (pl.: 2,5-3 m magas kukoricatábla), erdők, gyümölcsösök találhatók. Ezeken a területeken kiemelten fontos a GPS-es kiegészítő mérések alkalmazása, ha a feladatot korszerűen, hatékonyan és gazdaságosan akarjuk végrehajtani.

Mivel már a hálózat tervezésénél látni lehetett a viszonylag nagyszámú GPS-es kiegészítő mérés szükségességét, ezért elemzési céllal az összes ponton (beleértve az országos negyedrendű alappontokat és a magassági alappontokat is) végeztem GPS-es méréseket.

Első lépésként a GPS-es mérések nélkül egyenlítettem ki a hálózatot, majd összevetettem a kiegyenlített koordinátákat a GPS-es mérések eredményeivel. Az országos alappontok esetében minimális eltérések adódtak: max. 2-3 cm. A legnagyobb koordináta-eltérések – a várakozásnak megfelelően – a fölös mérés nélküli hálózatrészeken voltak. Ilyen például az 1015-ös és a 1029-es számú poláris pont. A koordináta-eltérések az adott pontok közelében minimálisak voltak, távolodva tőlük értékük egyre nőtt. A koordináta-eltérések jelentősek (5-8 cm) voltak még a 1014-es , 1016-os és az 1026-os pontok közelében. Ennek oka egyrészt, hogy viszonylag messze esnek az ismert alappontoktól, másrészt ezeken a helyeken a hálózat nem kellően „merev" (összeláthatósági problémák).

Második lépésként a hálózatot oly módon egyenlítettem ki, hogy ezeket a pontokat is adottnak vettem, mégpedig a GPS-es mérésekből származó koordinátákkal.

Az elemzések összefoglalása

- A fölös mérés nélküli hálózatrészeknél (pl. poláris pontok) mindenképpen végezzünk kiegészítő (ellenőrző) GPS-es méréseket,
- további GPS-es kiegészítő mérések szükségesek azokon a helyeken, ahol a hálózat „merevségének" csökkenésére lehet számolni (azok a helyek, ahol a hálózat folytonosságát csak egy-egy távolságmérés biztosítja),
- ha a hálózat közelében található OGPSH alappont, referenciapontként mindenképpen azt használjuk fel, ellenkező esetben a hálózat súlypontjában válasszunk referenciapontot,
- ha a terepi körülmények sok GPS-es pontmeghatározást indokolnak, a mérésekbe vonjuk be az összes környező országos alappontot is, majd a meghatározandó és az adott pontokat együttesen egyenlítsük ki,
- törekedjünk arra, hogy a hálózatunk 3-4 km-enként csatlakozzon ismert országos vagy GPS-es alapponthoz,
- a kísérő poligon tisztán GPS-es meghatározásával nagyon pontos eredményeket érhetünk el (az egyes pontok cm alatti középhibával szinte csak így határozhatók meg a hálózat egész területén), de ebben az esetben le kell mondanunk a külső tájékozó irányok felhasználásáról, ellenőrzéséről (ezeket a későbbi kitűzések során mindenképpen szeretnénk felhasználni), valamint a távolságmérések hiányában ezek ellenőrzéséről is. Egy elkészült, kiegyenlítet hálózat ellenőrzésére viszont a legoptimálisabb megoldás lehet a GPS-es ellenőrző mérések alkalmazása.

Hivatkozások

Bánhegyi I, Dede K (1981): Vízszintes alapponthálózatok kiegyenlítése feldarabolással. *GK*. 1.

Busics Gy, Csepregi Sz (1992): Alsógeodéziai pontmeghatározások megoldása hálózatkiegyenlítéssel. *GK*. 6. 402-407.

Busics Gy, Csepregi Sz (1992): Hálózati szemlélet a vízszintes alappontsűrítésben. *GK*. 3. 157-164.

Csepregi Sz, Busics Gy (1998): A felmérési hálózatokról. *GK*. 5. 13-19.

Csepregi Sz (2000): Vízszintes hálózatok pontossági mérőszámainak néhány problémája. Sopron, *Geomatikai Közlemények* III, 81-88.

Detrekői Á (1991): Kiegyenlítő számítások. *Tankönyvkiadó*, Budapest.

Detrekői Á, Ódor K (1984): Ipari geodézia I-II. *Tankönyvkiadó*, Budapest. Kézirat.

REOLÓGIAI MODELLEK ÉS A KONVOLUTÓRIKUS SIMÍTÁS KAPCSOLATA

Biri Salah[*]*, Holnapy Dezső*[*]

The Relationship of Rheological Models and Convolutoric smoothing *- To solve the linear differential equation system with constant coefficient usually convolution methods are used. The convolution, in the case of continuous functions, is usually solved by integral-transformation, which is difficult to handle. This paper shows that the problem can be solved easily by multiplication of matrix-coefficient polynomial and vector-coefficient polynomial. The algorithm of this solution can be executed in the same formalism of convolutoric smoothing applied in geodesy.*

Állandó együtthatós lineáris differenciálegyenlet-rendszerek megoldásához gyakran konvolúciós módszereket használnak. Ha folytonos függvényekkel dolgozunk, a megoldáshoz integrál-transzformáció szükséges. Jelen cikk bemutatja, hogy a feladat mátrix- és vektoregyütthatós polinomok szorzatával rendkívül egyszerűen megoldható, és a megoldás algoritmusa a geodéziában alkalmazott konvolutórikus simítással azonos formalizmussal hajtható végre.

Kulcsszavak: konvolúció, reológia, geodézia

Bevezetés

Convolo, elgörget, elgurít latin szóból származtatott kifejezésekkel szokták illetni azokat a numerikus módszereket, amelyek úgy szolgáltatnak eredményt, hogy egy függvény, és ugyanezen a tartományon értelmezett másik függvény „szisztematikusan arrébb tolt" változatának szorzatösszegéből nyerhető.

A vízállás előrejelzésében régóta alkalmazott kaszkád modell szintén konvolúcióra vezet, és e módszer minden, időben lejátszódó folyamat modellezésére alkalmas. A jelenség lineáris kell legyen, vagyis a matematikai modellje lineáris, állandó együtthatós differenciál-egyenlet-rendszer kell legyen, vagy legalábbis „rá lehessen fogni" a lineáris szuperponálhatóságot *(Kármán et al. 1967)*.

Az utóbbi idők számítási modelljeiben a sorozatokkal végzett műveletek kerültek előtérbe, amelyek gépi számításra alkalmasabbak, ha a folytonos függvények helyett a függvényértékek sorozatára egyáltalán jogunk van áttérni. Jelen cikk is ezt az utat követi.

Konvolúció megoldása sorozatokkal

A gondolatmenet lényege -- amelyet a következőkben vázolunk -- az, hogy a folytonos függvények egyenlőközű értékeiből sorozatot képezünk, majd e sorozatot egy hatvány-polinom együtthatóiként felhasználva, a keletkező két polinomot összeszorozzuk *(Graham et al. 1998)*. Bizonyítható, hogy a szorzat-polinom együtthatói a két függvény konvolúciójának függvényérték-sorozatát alkotják.

Legyen az első folytonos függvényből képzett sorozat:

$$a = \left[a_0, a_1, \ldots, a_n\right], \tag{1}$$

[*]*BME, Műegyetem rkp. 3.*
E-mail: HOLNAPY@epito.bme.hu
birisalah@freemail.hu

és karakterisztikus polinomja:

$$A(x) = a_0 + a_1 x + a_2 x^2 + \cdots + a_n x^n , \tag{2}$$

valamint legyen a második folytonos függvényből képzett sorozat:

$$b = [b_0, b_1, \ldots, b_m] , \tag{3}$$

és karakterisztikus polinomja:

$$B(x) = b_0 + b_1 x + b_2 x^2 + \cdots + b_m x^m . \tag{4}$$

A két polinom szorzata:

$$A(x) \cdot B(x) = \sum_{k=0}^{t} a_k b_{t-k} x^t \qquad t = 0 \cdot\cdot n+m . \tag{5}$$

Ha a szorzat-polinom együtthatóiból képezünk egy *c* sorozatot, akkor nyilván az x^t tag együtthatója *(Graham et al. 1998, Holnapy 2002, 2003)*:

$$c_t = \sum_{k=0}^{t} a_k b_{t-k} = \sum_{k=0}^{t} b_k a_{t-k} , \qquad t = 0 \cdot\cdot n+m , \tag{6}$$

ami nem más mint az *a* és *b* sorozatok konvolúciója. Az utóbbit könnyen beláthatjuk ha az (2) és (4) polinomok szorzatát a következő formában írjuk fel (I. táblázat):

I. táblázat. A szorzat-polinom együtthatói.

	x^0	x^1	x^2	x^3	x^4	…
k=0	$a_0 b_0$	$a_0 b_1$	$a_0 b_2$	$a_0 b_3$	$a_0 b_4$	…
k=1		$a_1 b_0$	$a_1 b_1$	$a_1 b_2$	$a_1 b_3$	…
k=2			$a_2 b_0$	$a_2 b_1$	$a_2 b_2$	…
k=3				$a_3 b_0$	$a_3 b_1$	…
k=4					$a_4 b_0$	…
					$c_4 = \sum_{k=0}^{t=4} a_k b_{4-k}$	

Érdemes megjegyezni, hogy az x^t együtthatójának kiszámításában mindegyik összeadandóban az indexek összege: *t*.

Konvolúció a reológiában

A gondolatmenet lényege itt az, hogy a lineáris teret a szokásosnál általánosabban értelmezzük *(Reinhardt et al. 1993)*. A vektorok összeadásra nézve alkotott modulusából indulunk ki, és a szokásos valós számtest elemeivel képzett kombinálás helyett külső kapcsolatként gyűrűt, a

négyzetes mátrixok gyűrűjét használjuk fel *(Biri et al. 2003, Holnapy 2002, 2003)*. A kombinációt ezek után mátrixok vektorokkal alkotott szorzatainak összege fogja szolgáltatni. Ha a mátrixokból egy sorozatot képezünk, mely az időtől függően az egységhatások válaszait tartalmazza, a vektorok sorozata pedig a tényleges okok a kérdéses diszkrét időpontokban, akkor már csak a mátrixsorozatnak a vektorsorozattal képzett konvolúcióját kell meghatároznunk úgy, ahogyan azt a megelőző pontban bemutattuk. Az eredménysorozat: a tényleges hatás *(Almássy et al. 1960, Biri et al. 1996, 2003)*. A következő pontban tárgyaltak, és a két alkalmazás közötti párhuzam jobb megértése érdekében rögzítjük, hogy ebben az esetben, amikor „egy pont fölé állunk", a szomszédos pontok értékeinek a megváltoztatásához számítunk ki menynyiségeket.

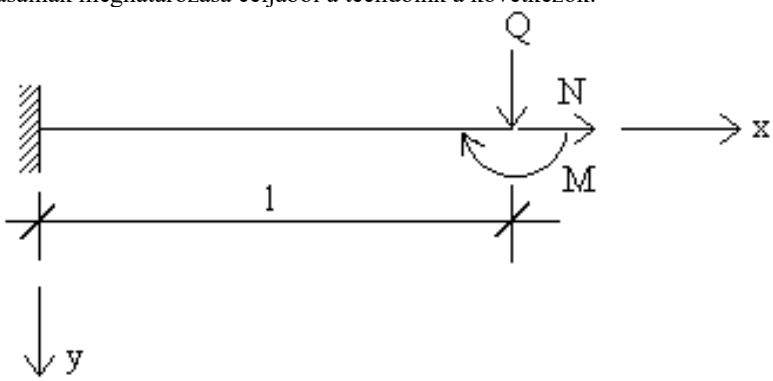
A fenti gondolatmenet jobb megértése érdekében két példát mutatunk be, az egyik szerkezetépítésből a másik vízépítésből származik.

Sikbeli konzoltartó elmozdulásai (Gáspár 1993, Roller 1992, Szabó et al. 1971):

Adott legyen az 1. ábra szerinti síkbeli konzoltartó, amelyre érvényes a Kelvin – Voigt anyagtörvény. A feladatot az alábbi állandó együtthatós lineáris differenciálegyenlet-rendszer modellezi:

$$\underline{\mathbf{u}} + tk \cdot \dot{\underline{\mathbf{u}}} = \underline{\underline{\mathbf{F}}} \cdot \underline{\mathbf{q}}, \tag{7}$$

ahol tk a késlekedési idő és $\underline{\underline{\mathbf{F}}}$ a konzol hajlékonysági mátrixa, $\underline{\mathbf{u}}$ az elmozdulások vektora, $\dot{\underline{\mathbf{u}}}$ az elmozdulások időszerinti deriváltja, $\underline{\mathbf{q}}$ pedig az 1. ábra szerinti teher. A konzoltartó elmozdulásainak meghatározása céljából a teendőink a következők:



1. ábra. Síkbeli konzoltartó.

A konzolvégi elmozdulások meghatározására előbb ki kell számítani az egységhatás válaszsorozatát. Ezt a mátrix-sorozatot úgy kapjuk, hogy megoldjuk a fenti differenciálegyenlet-rendszert *(Pestel et al. 1963, Róza 1976)* két esetre: amikor az egységteher csak egységnyi időig hat és a kezdeti feltétel $u(0)=0$, valamint amikor a terhet megszüntettük, azaz nulla a teher, és a kezdeti feltétel ($u(1)$) az előző eredményből számított érték. A megoldás a részletek elemzése nélkül:

$$\underline{\underline{\mathbf{A}}}(t) = \underline{\underline{\mathbf{F}}} \cdot v(t), \tag{8}$$

ahol

$$v(t)=\left(1-e^{\frac{-t}{tk}}\right)\Delta(t)-\left(1-e^{\frac{1-t}{tk}}\right)\Delta(t-1) \quad . \tag{9}$$

A (9)-ben szereplő $\Delta(t)$ az ún. Heaviside függvény (ha t>=0 akkor $\Delta(t)$=1, különben $\Delta(t)$=0).

A fenti függvényből képezzük az egységhatás válaszsorozatát úgy, hogy meghatározott időközönként leolvassuk a v(t) értékét, majd ezt megszorozzuk az $\underline{\underline{\mathbf{F}}}$ hajlékonysági mátrixszal *(Gáspár 1993, Szabó et al. 1971)*:

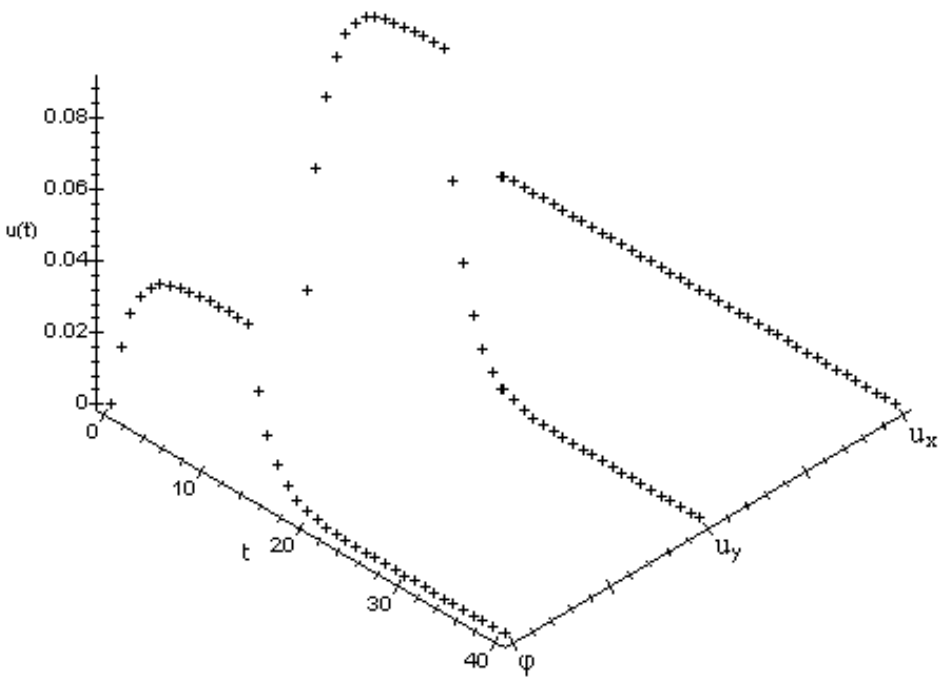
$$\underline{\underline{\mathbf{A}}}=\left[\underline{\underline{\mathbf{A}}}_0,\underline{\underline{\mathbf{A}}}_1,\cdots,\underline{\underline{\mathbf{A}}}_i,\cdots,\underline{\underline{\mathbf{A}}}_n\right]. \tag{10}$$

A tényleges okok sorozata (terhelő dinámok) a kérdéses diszkrét időpontokban legyen az alábbi vektorsorozat:

$$\underline{\mathbf{q}}=\left[\underline{\mathbf{q}}_0,\underline{\mathbf{q}}_1,...,\underline{\mathbf{q}}_i,...,\underline{\mathbf{q}}_m\right]. \tag{11}$$

Végül a konzolvégi elmozdulások sorozatát a (10) és (11) sorozatok konvolúciójával lehet meghatározni (2. ábra) *(Biri et al. 2003)*:

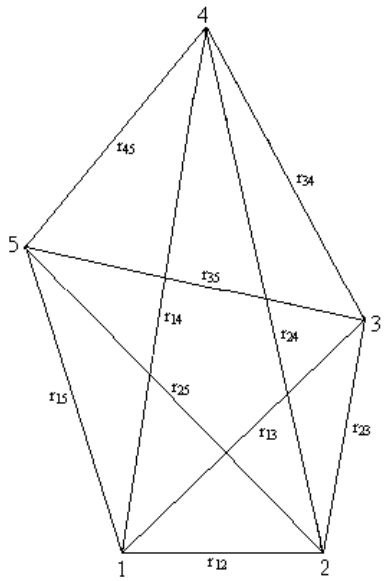
$$\underline{\mathbf{u}}_t=\sum_{k=0}^{t}\underline{\underline{\mathbf{A}}}_k\cdot\underline{\mathbf{q}}_{t-k} \quad . \tag{12}$$



2. ábra. A konzolvégi elmozdulások.

Nem-permanens vízmozgások kútcsoportokban (Biri 1996, 2003):

Adott legyen a *3. ábra* szerinti kút elrendeződés.



3. ábra. A kutak elrendeződése.

A depresszió és a vízhozam kapcsolatát az alábbi állandó együtthatós lineáris differenciálegyenlet-rendszerrel lehet modellezni *(Biri 1996, 2003)*:

$$S_j^{\circ} + tk \cdot \dot{S}_j^{\circ} = \sum_{i=1}^{n} a_{ji} \cdot q_i \qquad j = 1..n \quad , \tag{13}$$

ahol *tk* a késlekedési idő, S_j° az egymásra hatásból kialakuló depresszió a *j* kútban, $\dot{S}_j^{\circ}$ a depresszió időszerinti deriváltja, q_i: az *i*-dik kút vízhozama, *n* pedig a kutak száma és

$$a_{ji} = \frac{\ln R - \ln r_{ji}}{2 \cdot \pi \cdot k \cdot m} \qquad \text{ha } r_{ji} \le R$$
$$a_{ji} = 0 \qquad \text{ha } r_{ji} > R \quad ,$$

ahol *R* a kút ható távolsága, *m* a vízadó réteg vastagsága, *k* a talaj víz-áteresztőképességi együtthatója, és r_{ij} az *i* kút távolsága a *j* kúttól (r_{ii} az *i* kút sugara).

A előző példához hasonlóan az egységhatás válaszsorozatának meghatározásához megoldjuk a fenti differenciálegyenlet-rendszert arra a két esetre, amikor az *i* kútból egységnyi vízhozamot veszünk ki egységnyi időig *S*(0)=0 kezdeti feltétel mellett, valamint amikor megszüntetjük ez idő után a vízhozam kivételt, és (*S*(1)) kezdeti feltételként az előző eredmény *S*(1) értékét használjuk fel. A megoldás a részletek elemzése nélkül:

$$\underline{\underline{\mathbf{A}}}(t) = \underline{\mathbf{a}}.v(t) \quad . \tag{14}$$

A fenti függvényből képezzük az egységhatás válaszsorozatát úgy, hogy meghatározott időközönként leolvassuk a *v(t)* értékét majd ez megszorozzuk az $\underline{\mathbf{a}}$ együttható mátrixszal:

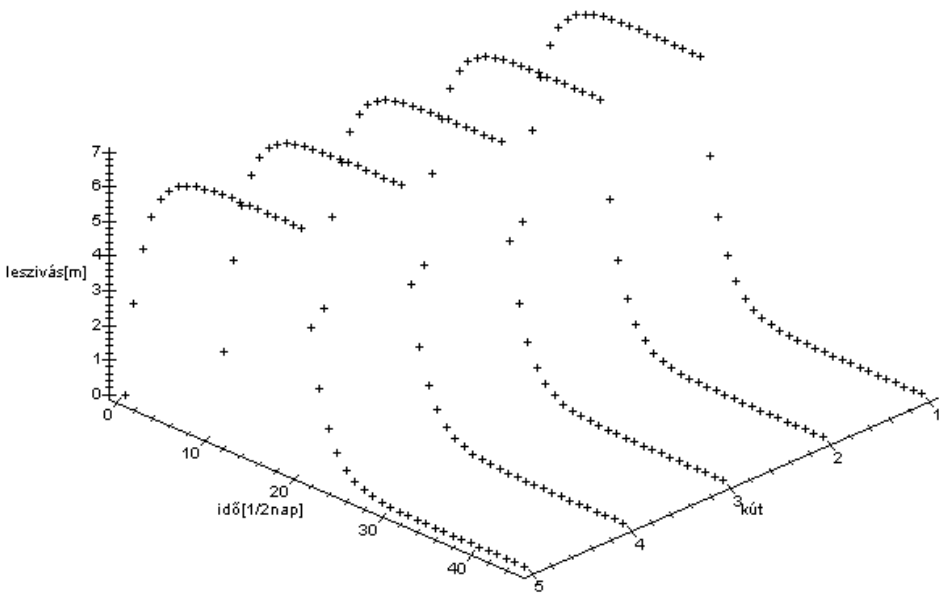
$$\underline{\underline{\mathbf{A}}} = \left[\underline{\underline{\mathbf{A}}}_0, \underline{\underline{\mathbf{A}}}_1, \cdots, \underline{\underline{\mathbf{A}}}_i, \cdots, \underline{\underline{\mathbf{A}}}_n\right] \quad . \tag{15}$$

A tényleges okok sorozata (tényleges vízkivételek) a kérdéses diszkrét időpontokban legyen az alábbi vektorsorozat:

$$\underline{\mathbf{q}} = \left\lfloor \underline{\mathbf{q}}_0, \underline{\mathbf{q}}_1, ..., \underline{\mathbf{q}}_i, ..., \underline{\mathbf{q}}_m \right\rfloor. \tag{16}$$

Végül a kutakban az egymásra hatás révén kialakuló depressziókat a (15) és (16) sorozatok konvolúciójával lehet meghatározni (4. ábra):

$$\underline{\mathbf{S}}_t = \sum_{k=0}^{t} \underline{\underline{\mathbf{A}}}_k \cdot \underline{\mathbf{q}}_{t-k}. \tag{17}$$



4. ábra. A kutakban kialakuló depressziók.

Konvolutórikus simítás a geodéziában

Digitális terepmodelleken bizonyos tereptárgyak vagy terepalakulatok kiemelése céljából ún. simítást, szűrést alkalmaznak. Ez abból áll, hogy minden helyen (diszkrét háló-pontokban) egy új magasság értéket határozunk meg, a környezeti pontok magasságaiból, azok súlyozott értékeinek a segítségével. Az előző pontban tárgyaltak, és a két alkalmazás közötti párhuzam jobb megértése érdekében rögzítjük, hogy ebben az esetben, amikor „egy pont fölé állunk", a szomszédos pontok értékeitől függően a kérdéses pont értékére határozunk meg új értéket. Többféle szűrőt szokás használni a kiemelés igényeitől függően. Minden esetben az egyik függvény a terep (diszkrét rács feletti skalár értékek formájában), a másik függvényt pedig a súlyok által képviselt felület (ugyanazon diszkrét rács feletti értékekkel megadva). A két felület konvolúciója adja a simított terepet *(Álló et al. 1989a, 1989b, Berke et al. 2000, Detrekői 1991)*.

$$c_{t,s} = \sum_{k=-m}^{m} \sum_{l=-n}^{n} a_{t+k,s+l} b_{k,l}, \qquad t = 0 \cdot\cdot p, \;\; s = 0 \cdot\cdot q. \tag{18}$$

Továbbiakban az egyváltozós esetet fogjuk vizsgálni az átláthatóság végett, amelyet a mérési eredmények simítására (véletlen hibák kiküszöbölésére) használnak.

Ha *a* a mérési eredmények sorozata:

$$a = \left[a_0, a_1, \ldots, a_n\right], \tag{19}$$

és *b* a súlyok sorozata:

$$b = \left[b_{-m}, b_{-m+1}, \ldots, b_0, \ldots b_{m-1}, b_m\right], \tag{20}$$

akkor *t*-edik mérési eredmény simított értékét az alábbi képlet szerint lehet kiszámítani (Álló et al. 1989a, 1989b, Berke et al. 2000, Detrekői 1991):

$$c_t = \sum_{k=-m}^{m} a_{t+k} b_k, \qquad t = 0 \cdot\cdot n. \tag{21}$$

Itt fel kellett tételeznünk, hogy a *b* sorozat páratlan számú elemből áll és szimmetrikus.
Az utóbbi értékeket a következő formában írhatnánk fel (példaként *m*=2 esetére, II. táblázat):

II. táblázat. A (16) összefüggés néhány értéke.

	t=0	*t*=1	*t*=2	*t*=3	*t*=4	…
k=-*m*=-2	$a_{-2}b_{-2}$	$a_{-1}b_{-2}$	a_0b_{-2}	a_1b_{-2}	a_2b_{-2}	…
k=-1	$a_{-1}b_{-1}$	a_0b_{-1}	a_1b_{-1}	a_2b_{-1}	a_3b_{-1}	…
k=0	a_0b_0	a_1b_0	a_2b_0	a_3b_0	a_4b_0	…
k=1	a_1b_1	a_2b_1	a_3b_1	a_4b_1	a_5b_1	…
k=*m*=4	a_2b_2	a_3b_2	a_4b_2	a_5b_2	a_6b_2	…
					$c_4 = \sum_{k=-m=-2}^{m=2} a_{4+k}b_k$	

Látható, hogy egy *t*-hez tartozó együtthatók indexeinek összege nem azonos minden tagban, tehát ezek a c_t értékek nem származtathatók a (2) és a (4) karakterisztikus polinomok szorzataként. Talán nem is felel meg az előző fejezet konvolúciójának? Itt nem azt vitatjuk, hogy a simítás „képlete” helyes-e, hanem, hogy a két esetben ugyanazt kell-e érteni konvolúción?

Közös vonások a reológiai és a simítási problémák algoritmusában, konklúziók

Megmutatható, hogy a többnyire kezdeti érték feladatként jelentkező reológiai problémák megoldására használt, és a sorozatok karakterisztikus polinomjainak segítségével képzett konvolúció algoritmusa azonos a geodéziában alkalmazott szűréssel (simítással), csak az indexelésben egy eltolást kell alkalmazni, ami az algoritmusban karakterisztikus szereplő polinomok fokszámaiban fog eltolódást eredményezni.

A két konvolúció közötti kapcsolat bemutatására vegyük az alábbi példát:
Legyen *n*=5 és *m*=2, tehát a (19)-es sorozat következőképpen módosul:

$$a = \left[a_0, a_1, a_2, a_3, a_4, a_5\right], \tag{22}$$

és a (20)-ös sorozat pedig:

$$b = \left[b_{-2}, b_{-1}, b_0, b_1, b_2\right]. \tag{23}$$

Az *a* sorozat 3. elemének (*t*=2) új értéke (21) szerint például:

$$c_2 = a_0 b_{-2} + a_1 b_{-1} + a_2 b_0 + a_3 b_1 + a_4 b_2, \tag{24}$$

mint ahogyan az előző fejezetben is láttuk.

Tekintsük most a (2) és a (4) karakterisztikus polinomokat úgy, hogy az a tényleges okokat felsoroló vektor első *m* elemét 0-nak tekintjük, és az első tényleges ok az a_m elemnél kezdődik. A karakterisztikus polinomok ekkor:

$$A(x) = 0x^0 + 0x^1 + a_2 x^2 + a_3 x^3 + \cdots, \tag{25}$$

$$B(x) = b_0 x^0 + b_1 x^1 + b_2 x^2 + b_3 x^3 \cdots. \tag{26}$$

Az *A(x).B(x)* konvolúciós szorzatnak a megelőzőkhöz hasonló táblázata a következőképpen alakul (III. táblázat):

III. táblázat. A szorzat-polinom néhány értéke *a* polinom eltolása esetén.

	t=0	*t*=1	*t*=2	*t*=3	*t*=4	…
k=0	a_0b_0 =0	a_0b_1 =0	a_0b_2 =0	a_0b_3 =0	a_0b_4 =0	…
k=1		a_1b_0 =0	a_1b_1 =0	a_1b_2 =0	a_1b_3 =0	…
k=2			a_2b_0	a_2b_1	a_2b_2	…
k=3				a_3b_0	a_3b_1	…
k=4					a_4b_0	…
					$c_t = \sum_{k=0}^{t} a_k b_{t-k}$	

Természetesen, ha a karakterisztikus polinomokat úgy vesszük fel, hogy az eltolást a *B(x)* polinomon hajtjuk végre, akkor ugyanezt az eredményt kell kapnunk. A táblázat ezek után (IV. táblázat):

IV. táblázat. A szorzat-polinom néhány értéke *b* polinom eltolása esetén.

	t=0	*t*=1	*t*=2	*t*=3	*t*=4	…
k=0	a_0b_0 =0	a_1b_0 =0	a_2b_0 =0	a_3b_0 =0	a_4b_0 =0	…
k=1		a_0b_1 =0	a_1b_1 =0	a_2b_1 =0	a_3b_1 =0	…
k=2			a_0b_2	a_1b_2	a_2b_2	…
k=3				a_0b_3	a_1b_3	…
k=4					a_0b_4	…
					$c_t = \sum_{k=0}^{t} a_{t-k} b_k$	

amit előre tudtunk.

A fenti értelmezés (indexelés) szerint tehát a simító konvolúció

$$c_t = \sum_{k=0}^{t} a_{t-k} b_k \tag{27}$$

alakúra változtatható, ami megegyezik az időben lezajló folyamatok konvolúciójával. Ha a problémát megfordítjuk, azt is mondhatjuk, hogy az esemény-folyamatok átindexeléssel simítási feladattá alakíthatók.

Felhasználáskor tudni kell, hogy az eredmény-sorozat *t*-vel indexelt elemi közül az első *m* darab zérus, így az első nem nulla elem az eredmény-polinomban a $t=m$ indexű és x^m ismeretlenhez tartozik. Ha az indexelést innen akarnánk kezdeni, -- azaz az első nem zérust tekintenénk 0 indexűnek -- akkor

$$c_i = \sum_{j=0}^{i+m} a_{(i+m)-j} b_j \tag{28}$$

összefüggés szerint kellene képezni a sorozat elemeit. Ha pedig a karakterisztikus polinomok szorzat polinomjában az x^n-edikenes tag együtthatójából indulunk ki, akkor:

$$i = n - 2m \tag{29}$$

az eredménysorozat indexe.

Hivatkozások

Álló G, Hegedűs GyCs, Kelemen D, Szabó J (1989): A digitális képfeldolgozás alapproblémai. *Akadémiai Kiadó*, Budapest.

Álló G, Főglein J, Hegedűs GyCs, Szabó J (1989).: Beveztés a számítógépes képfeldolgozásba. *Kézirat*, Budapest.

Almássy B, Holnapy D (1960): Számítási eljárás kutak egymásrahatásának vizsgálatára. *Hidraulikai Konferencia*, Budapest, 1960. 4. kérdéscsoport. VITUKI sokszorosító, Budapest.

Berke J, Hegedűs GyCs, Kelemen D, Szabó J (2000): Digitális képfeldolgozás és alkalmazásai. PICTRON Kft., Budapest.

Biri S (1996): Nem-permanens vízmozgás kútcsoportokban. *Hidrológiai Közlöny*, 4, 206-208.

Biri S, Holnapy D (2003): Egy általánosított kaszkád-modell és alkalmazása. *Hidrológiai Közlöny* 4, 239-242.

Dertekői Á (1991): Kiegyenlítő számítások. *Tankönyvkiadó*, Budapest.

Gáspár Zs (1993): Tartók statikája III. Rúdszerkezetek. *Műegyetemi Kiadó*, Budapest.

Graham RL, Knuth DE, Patashnik O (1998): Konkrét matematika. *Műszaki Könyvkiadó*, Budapest.

Holnapy D (2003): Sorozatok konvolúciójának alkalmazásai. *Építés-Építészettudomány* 31/1-2, 61-68.

Holnapy D (2002): Sorozatok konvolúciójának alkalmazásai. „Informatika a Felsőoktatásban" c. konferencián elhangzott *előadás*. Debrecen, augusztus 27-30.

Kármán T, Biot MA (1967): Matematikai módszerek műszaki feladatok megoldására. 2. kiadás. *Műszaki Könyvkiadó*, Budapest.

Pestel EC, Leckie FA (1963): Matrix Methods in Elastomechanics. *McGraw-Hill Book Company*, Inc.

Reinhardt F, Soeder H (1993): SH atlasz. Matematika. Springer-Verlag, Budapest – Berlin – Heidelberg stb.

Roller B (1992): Rendszerelmélet és viszkóelaszticitás alkalmazása tartószerkezeteknél. *Közlekedésépítés- és Mélyépítés* tudományi Szemle 42, 385-390.

Rózsa P (1976): Lineáris algebra és alkalmazásai. *Műszaki Könyvkiadó*, Budapest.

Szabó J, Roller B (1971): Rúdszerkezetek elmélete és számítása. *Műszaki Könyvkiadó*, Budapest.

DURVA HIBASZŰRÉS A FOTOGRAMMETRIAI HÁTRAMETSZÉS KIEGYENLÍTÉSE ELŐTT KEZDŐ ÉRTÉKEK MEGADÁSA NÉLKÜL

Jancsó Tamás[*]

Gross error detection before the adjustment of photogrammetric space resection and without giving approximate values *- In general, the final goal of the photogrammetric orientation procedure is to determine the outer orientation elements. To solve this task, in the case of redundant measurements, we usually use an adjustment procedure by the least square method which always requires approximate values on unknowns. In this case the gross errors of certain points will be distributed to all other points and to discover them we need complicated statistical methods. If the number of points with gross error is more than two, most of the statistical methods become uncertain. The present paper introduces such a new method which doesn't require approximate values and iterations and at the same time it gives possibility to discover all gross errors in one step.*

Általánosságban elmondható, hogy a fotogrammetriai tájékozási folyamat végső célja a külső tájékozási elemek meghatározása. Ennek megoldása fölös mérések esetén legtöbbször a legkisebb négyzete módszere szerint kiegyenlítési eljárással történik, mely minden esetben igényli az ismeretlenek kezdőértékeinek megadását. Ekkor a durva hibával terhelt pontok hibája a kiegyenlítés során szétoszlik a többi ponton és ezért bonyolult statisztikai módszerekre van szükség a hibák felderítéshez. Ha a durva hibával terhelt pontok száma több, mint kettő, akkor a statisztikai módszerek többsége bizonytalanná válik. Jelen cikk alternatív megoldásként olyan új módszert mutat be, ahol nincs szükség az ismeretlenek kezdőértékeinek megadására és iterációra, ugyanakkor egy lépésben kiszűrhetők a durva hibával terhelt pontok.

Kulcsszavak: durva hibaszűrés, fotogrammetriai hátrametszés, kiegyenlítés

Bevezetés

A fotogrammetriai hátrametszés megoldása terepi illesztő pontok alapján klasszikus feladatnak számít. Több szerző behatóan foglalkozott a kérdéssel *(Grafarend W et al. (1989), Jancsó T (1994), Karara HM (1979), Lobanov AN (1984), Merrit EL (1961), Rampai KK (1979) ,Zuoqiao Z, Xibo W (1992), Wang Z (1990).* és megoldást adott rá, melyeket két nagy csoportra lehet osztani:

1. A kollineár egyenletek Taylor-polinom szerinti sorba fejtése után az ismeretlenek kezdőértékek megadásával iteratív módon határozzák meg a külső tájékozási elemeket *(Lobanov AN (1984), Wang Z (1990)*.
2. Direkt megoldási képletet alkalmaznak, ahol az ismeretlenek száma 6 vagy annál több. Ezeknél a megoldásoknál a hátrametszés geometriai elrendeződéséből levezethető összefüggéseket alkalmazzák vagy úgy linearizálják a kollineár egyenleteket, hogy megnövelik az ismeretlenek számát *(Grafarend W et al. (1989), Jancsó T (1994), Karara HM (1979), Merrit EL (1961), Rampai KK (1979) ,Zuoqiao Z, Xibo W (1992)*, .

A közös elem e módszerekben, hogy fölös számú illesztő pont esetén a kiegyenlítést a legkisebb négyzetek módszerével valósítják meg. Ugyanakkor a szerzők a kiegyenlítéssel történő megoldásoknál általában nem térnek ki az alkalmazható hibaszűrési módszerekre. Ennek

[*] *NYME Geoinfomatikai Főiskolai Kar, Fotogrammetriai és Távérzékelési Tanszék*
8000 Székesfehérvár, Pirosalma u. 1-3., E-mail: t.jancso@geo.info.hu

oka, hogy a jól ismert L_1 normás és robosztus becslések csak korlátozottan alkalmazhatók a térbeli hátrametszésnél *(Závoti, 1999)*.
A kis- és közepes durva hibák kiszűréséhez kívánatos lenne, ha következő feltételek teljesülnének:

- a kiegyenlítés előtt ne kelljen megadni az ismeretlenek kezdőértékeit,
- a hátrametszés feladatát direkt módon oldjuk meg, iterációs folyamat nélkül,
- a durva hibával terhelt pontokat még a kiegyenlítés előtt szűrjük ki.

Az is kívánatosnak tűnik, hogy olyan alternatív kiegyenlítési algoritmust keressünk, mely a legkisebb négyzetek módszerével azonos eredményt szolgáltat.

Jelen dolgozatban egy olyan új kiegyenlítési és durva hibaszűrési eljárást mutatok be, mely a fenti feltételeket teljesíti. Továbbá a cikk végén kitérek arra is, hogy e módszer nem csak specifikusan a fotogrammetriai hátrametszésre alkalmazható, hanem a geodézia és fotogrammetria más alapfeladatainál is.

Egy korábbi cikkemben *(Jancsó, 1994)* már foglalkoztam a fotogrammetriai hátrametszés direkt megoldásával, ahol a feladatot két részre bontva, először a vetítési középpontok (X_S, Y_S, Z_S) koordinátáinak direkt, iteratív folyamat nélküli meghatározására adtam megoldást minimálisan szükséges három X, Y, Z terepi koordinátával rendelkező illesztő pont alapján, majd ezután a tájékozáshoz szükséges φ, ω, κ forgatási szögeket szintén direkt képletek alapján írtam le. A teljes érthetőség és nyomon követés érdekében röviden összefoglalom a megoldáshoz vezető képleteket.

Három illesztő pont a vetítési középponttal együtt egy tetraédert alkot. E tetraéder alapjának élei legyenek rendre d, e, f. A csúcsnál lévő lapszögek α, β, γ, az oldalélei pedig $a, b = a \cdot n, c = a \cdot m$, ahol n és m méretarány tényezőket jelöl. A tetraéder mindegyik oldalalkotó háromszögére felírható a koszinusztétel:

$$\begin{aligned} d^2 &= a^2 + (a \cdot n)^2 - 2a^2 n \cos\alpha \\ e^2 &= (a \cdot n)^2 + (a \cdot m)^2 - 2a^2 nm \cos\beta \\ f^2 &= (a \cdot m)^2 + a^2 - 2a^2 m \cos\gamma \end{aligned} \tag{1}$$

Az n kiszámításához ezt az egyenletrendszert át tudjuk alakítani egy negyedfokú egyenletté:

$$R = W_1 n^4 + W_2 n^3 + W_3 n^2 + W_4 n + W_5 = 0 \tag{2}$$

Ahol paraméteresen a W_i együtthatók a következőképpen fejezhetők ki:

$$\begin{aligned} W_1 &= S \cdot U + O^2 \\ W_2 &= S \cdot V + T \cdot U + 2 \cdot O \cdot P \\ W_3 &= S \cdot Z + T \cdot V + P^2 + 2 \cdot R \cdot O \\ W_4 &= S \cdot X + T \cdot Z + 2 \cdot P \cdot R \\ W_5 &= T \cdot X + R^2 \end{aligned} \tag{3}$$

ahol

$$
\begin{aligned}
O &= D \cdot N - J \cdot F \\
P &= -J \cdot G \\
R &= D \cdot M - J \cdot H \\
S &= D \cdot K \\
T &= D \cdot L - J \cdot E \\
U &= F \cdot K \\
V &= F \cdot L + G \cdot K - N \cdot E \\
Z &= G \cdot L + H \cdot K \\
X &= H \cdot L - M \cdot E
\end{aligned}
\tag{4}
$$

a fenti összefüggésekbe az alábbi jelöléseket vezettük be:

$$
\begin{aligned}
D &= d^2 \\
E &= -2\cos\gamma\, d^2 \\
F &= -f^2 \\
G &= 2\cos\alpha\, f^2 \\
H &= d^2 - f^2 \\
J &= e^2 - f^2 \\
K &= 2\cos\beta\, f^2 \\
L &= -2\cos\gamma\, e^2 \\
M &= e^2 \\
N &= -f^2 n^2
\end{aligned}
\quad . \tag{5}
$$

A negyedfokú egyenlet megoldására 4 értéket kapunk, melyek közül csak a pozitív értékeket tekintjük valódi megoldásnak, hasonló megállapítás "a","b","c" és "m" ismeretlenekre is érvényes. Visszatérve az (1) egyenletekhez "a" kifejezhető az első egyenletből:

$$
a = +\sqrt{\frac{d^2}{1 + n^2 - 2n\cos\alpha}} \tag{6}
$$

Ezek után a tetraéder "b" és "c" oldaléle már egyszerűen kifejezhető:

$$
\begin{aligned}
b &= a \cdot n \\
c &= a \cdot m = \frac{e^2 - f^2 + a^2 - b^2}{2(a\cos\gamma - b\cos\beta)}
\end{aligned}
\quad . \tag{7}
$$

Tehát meghatároztuk a tetraéder oldaléleinek hosszát, melyre legfeljebb négy különálló megoldás-csoportot kaphatunk. A következő lépés a vetítési centrum koordinátáinak meghatározása, ehhez írjuk fel az alábbi egyenletrendszert:

$$
\begin{aligned}
a^2 &= (X_P - X_A)^2 + (Y_P - Y_A)^2 + (Z_P - Z_A)^2 \\
b^2 &= (X_P - X_B)^2 + (Y_P - Y_B)^2 + (Z_P - Z_B)^2 \\
c^2 &= (X_P - X_C)^2 + (Y_P - Y_C)^2 + (Z_P - Z_C)^2
\end{aligned}
\quad . \tag{8}
$$

Ez az egyenletrendszer is másodfokú Xp,Yp és Zp ismeretlenekre, de ez már közvetlenül megoldható. A megoldáshoz vezessük be a következő jelöléseket:

$$
\begin{gathered}
c_1 = X_A^2 + Y_A^2 + Z_A^2 \;\; ; \;\; c_2 = X_B^2 + Y_B^2 + Z_B^2 \;\; ; \; c_3 = X_C^2 + Y_C^2 + Z_C^2 \; ; \\
c_4 = b^2 - a^2 + c_1 - c_2 \;\; ; \; c_5 = c^2 - a^2 + c_1 - c_3 ; \\
t_1 = 2(X_A - X_B) \;\; ; \; t_2 = 2(Y_A - Y_B) \;\; ; t_3 = 2(Z_A - Z_B) ; \\
t_4 = 2(X_A - X_C) \;\; ; t_5 = 2(Y_A - Y_C) \;\; ; t_6 = 2(Z_A - Z_C) ; \\
k_1 = (c_5 t_2 - t_5 c_4)/(t_4 t_2 - t_5 t_1) \;\; ; \;\; k_2 = (t_6 t_2 - t_5 t_3)/(t_4 t_2 - t_5 t_1) ; \\
k_3 = (c_5 t_1 - t_4 c_4)/(t_5 t_1 - t_4 t_2) \;\; ; k_4 = (t_6 t_1 - t_4 t_3)/(t_5 t_1 - t_4 t_2) ;
\end{gathered}
\tag{9}
$$

$$
\begin{gathered}
u_a = 1 + k_2^2 + k_4^2 ; \\
v_a = 2(k_2 X_A + k_4 Y_A - k_1 k_2 - k_3 k_4 - Z_A) ; w_a = c_1 - a^2 + k_1^2 + k_3^2 - 2(k_1 X_A + k_3 Y_A) ; \\
u_b = 1 + k_2^2 + k_4^2 ; \\
v_b = 2(k_2 X_B + k_4 Y_B - k_1 k_2 - k_3 k_4 - Z_B) ; w_b = c_2 - b^2 + k_1^2 + k_3^2 - 2(k_1 X_B + k_3 Y_B) ; \\
u_c = 1 + k_2^2 + k_4^2 ; \\
v_a = 2(k_2 X_C + k_4 Y_C - k_1 k_2 - k_3 k_4 - Z_C) ; w_c = c_3 - c^2 + k_1^2 + k_3^2 - 2(k_1 X_C + k_3 Y_C) .
\end{gathered}
$$

Ekkor a megoldás:

$$
\begin{gathered}
Z_P = \frac{-v_a \pm \sqrt{v_a^2 - 4u_a w_a}}{2u_a} = \frac{-v_b \pm \sqrt{v_b^2 - 4u_b w_b}}{2u_b} = \frac{-v_c \pm \sqrt{v_c^2 - 4u_c w_c}}{2u_c} ; \; Z_P > 0 \\
X_P = k_1 - k_2 Z_P \\
Y_P = k_3 - k_4 Z_P
\end{gathered}
\tag{10}
$$

A megoldással kapcsolatban a következőket állapíthatjuk meg a vetítési centrum helyét illetően. Három illesztő pont esetén a lehetséges megoldások száma általános esetben több, mint egy, de legfeljebb csak nyolc lehet, mert a tetraéder oldaléleinek hosszára legfeljebb négyféle megoldás lehetséges, mely a (2) negyedfokú egyenletből következik, viszont Zp-t a (10) alapján másodfokú egyenletből vezetjük le, ami megduplázza a megoldások számát. Ezek közül természetesen kiszűrjük azokat, ahol az oldalélek és a Zp komplex vagy negatív számok, de még így is általános esetben egynél több megoldás lehetséges.

Folytatva a tájékozási elemek meghatározását φ, ω, κ szögelemek kiszámítása legegyszerűbben a következő jól ismert (Hirvonen, 1964**)** algoritmus szerint történhet:

1. Segéd-determinánsok kiszámítása:

$$
\left.
\begin{aligned}
d_A &= x_{B'} y_{C'} - x_{C'} y_{B'} \\
d_B &= x_{C'} y_{A'} - x_{A'} y_{C'} \\
d_C &= x_{A'} y_{B'} - x_{B'} y_{A'}
\end{aligned}
\right\} .
\tag{11}
$$

2. A "D" determináns kiszámítása:

$$
D = d_A + d_B + d_C \tag{12}
$$

3. Három kofficiens felírása:

$$e_A = \frac{\overline{PA'}}{a \cdot D} \; ; \; e_B = \frac{\overline{PB'}}{b \cdot D} \; ; \; e_C = \frac{\overline{PC'}}{c \cdot D} \tag{13}$$

4. Képezzük a G és F mátrixokat:

$$G = \begin{bmatrix} X_A - X_P & X_B - X_P & X_C - X_P \\ Y_A - Y_P & Y_B - Y_P & Y_C - Y_P \\ Z_A - Z_P & Z_B - Z_P & Z_C - Z_P \end{bmatrix};$$

$$\mathrm{F} = \begin{bmatrix} e_A(y_{B'} - y_{C'}) & e_A(x_{C'} - X_{B'}) & -\frac{1}{c_k} e_A d_A \\ e_B(y_{C'} - y_{A'}) & e_B(x_{A'} - x_{C'}) & -\frac{1}{c_k} e_B d_B \\ e_C(y_{A'} - y_{B'}) & e_C(x_{B'} - x_{A'}) & -\frac{1}{c_k} e_C d_C \end{bmatrix}. \tag{14}$$

5. E két mátrix szorzata megadja a forgatási mátrix elemeit:

$$G \times F = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} \\ r_{21} & r_{22} & r_{23} \\ r_{31} & r_{32} & r_{33} \end{bmatrix}. \tag{15}$$

6. Ahonnan a külső szögtájékozási elemek számíthatók:

$$\begin{aligned} \varphi &= -\mathrm{arctg}(r_{31}/r_{33}) \\ \omega &= \arcsin(r_{32}) \\ \kappa &= -\mathrm{arctg}(r_{12}/r_{22}) \end{aligned} \quad . \tag{16}$$

Ezek után nézzük meg hogyan alakítható át e módszer abban az esetben, ha a rendelkezésre álló illesztő pontok száma háromnál több, vagyis az ismeretlenek meghatározása kiegyenlítéssel történik.

Ebben az esetben is bontsuk két részre a feladatot, először a vetítési középpontok kiegyenlített koordinátáit számoljuk ki, majd a szögtájékozási elemeket. A vetítési középpontok kiegyenlített helyzetének meghatározásánál célunk az is, hogy kiejtsük a kis- és közepes durva hibával terhelt illesztő pontokat, ill. a hozzájuk tartozó képkoordináta méréseket.

A kiegyenlítési és durvahiba szűrési algoritmus

1. Adott n db terepi illesztő pont, ezekből minden kombinációban hármas csoportokat hozunk létre és megoldjuk a fotogrammetriai hátrametszés feladatát (Jancsó, 1994). Minden hármas csoportnál általános esetben a vetítési középpont koordinátáira egynél több megoldást fogunk kapni.

2. Minden megoldáscsoportból kiválasztjuk a közös megoldásokat, vagyis azokat, melyek szerint a megoldások közötti eltérések, melyeket javításnak tekintünk, négyzetösszege minimális.

Például, ha 4 db illesztő pontunk van, akkor az 1. és 2. Pontok szerint eljárva 4 vetítési középpontot kapunk, melyek csak kis mértékben térnek el egymástól. A vetítési középpont kiegyenlített helyzetének meghatározásához szükségünk van a megoldásokhoz tartozó súlymátrixokra, melyeket a következő módunk hozhatunk létre:

3. A hibaterjedés törvénye szerint minden megoldáshoz kiszámítjuk a kovariancia mátrixot:

$$M_y = F^T M_x F \ . \tag{17}$$

M_x : az illesztő pontok geodéziai méréssel történő meghatározásánál figyelembe vett kovariancia mátrix.

Az F^T mátrixot empirikus úton, $dx_i, dy_i \; i = \{1,2,3\}$ elemi differenciák segítségével kaphatjuk meg. Az elemi növekményt egyenként hozzáadjuk mindegyik képkoordinátához és újra elvégezzünk a hátrametszést az 1. és 2. pontok szerint. A kapott megoldásokat kivonva az eredeti megoldásokból, megkapjuk az F^T mátrix egyes elemeit.

Tehát F^T egy 3x6-os méretű differencia hányados mátrix lesz, mely jól közelíti a parciális deriváltakat tartalmazó mátrixot:

$$F^T = \begin{bmatrix} \frac{\Delta f_X}{\Delta x_1} & \frac{\Delta f_X}{\Delta y_1} & \frac{\Delta f_X}{\Delta x_2} & \frac{\Delta f_X}{\Delta y_2} & \frac{\Delta f_X}{\Delta x_3} & \frac{\Delta f_X}{\Delta y_3} \\ \frac{\Delta f_Y}{\partial x_1} & \frac{\Delta f_Y}{\partial y_1} & \frac{\Delta f_Y}{\partial x_2} & \frac{\Delta f_Y}{\partial y_2} & \frac{\Delta f_Y}{\partial x_3} & \frac{\Delta f_Y}{\partial y_3} \\ \frac{\Delta f_Z}{\Delta x_1} & \frac{\Delta f_Z}{\Delta y_1} & \frac{\Delta f_Z}{\Delta x_2} & \frac{\Delta f_Z}{\Delta y_2} & \frac{\Delta f_Z}{\Delta x_3} & \frac{\Delta f_Z}{\Delta y_3} \end{bmatrix}, \tag{18}$$

ahol

f_X, f_Y, f_Z a vetítési középpont koordinátáinak kiszámításhoz szükséges algoritmus (Hirvonen, 1964**)** szerint értelmezett függvényeket jelöli, mely zárt alakban nem írható fel.

Példánk szerint 4 db M_y kovariancia mátrixot kapunk, melyek mérete 3x3. Ezek alapján a P súlymátrix a következőképpen fejezhető ki:

$$P = Q^{-1} = c^2 \left(M_y\right)^{-1} \ , \tag{19}$$

ahol

c : egy arányossági tényező, jelen esetben értéke legyen 1/1000.

4. Kiegyenlítés

A súlymátrix meghatározása után felírható a javítási egyenletrendszer:

$$AX - L = V \ , \tag{20}$$

ahol

$X = \begin{bmatrix} X_P \\ Y_P \\ Z_P \end{bmatrix}$ a vetítési középpont koordinátái tartalmazó ismeretlenek vektorát jelöli.

Az A együtthatómátrix a következő alakban adható meg:

$$A^T = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} . \qquad (21)$$

Az L tisztatag vektor a 4 megoldás koordinátáit tartalmazza:

$$L^T = \begin{bmatrix} X_1 & Y_1 & Z_1 & X_2 & Y_2 & Z_2 & X_3 & Y_3 & Z_3 & X_4 & Y_4 & Z_4 \end{bmatrix} . \qquad (22)$$

Általános megoldás szerint a következőképpen kapjuk meg a vetítési középpont kiegyenlített koordinátáit:

$$\left.\begin{aligned} & A^T P \,|\, AX - L = V \\ & A^T PAX - A^T PL = 0 \\ & X = \left(A^T PA\right)^{-1} A^T PL \end{aligned}\right\} . \qquad (23)$$

Alternatív megoldásként alkalmazzuk a Jacobi-féle középértékképzést, mely a legkisebb négyzetek módszerével azonos eredményt szolgáltat [1,7,14]:

1. $P_i = c^2 M_{y_i}^{-1}$, ahol a példánk szerint $i = 1,2,3,4$ a minden kombinációban elvégzett hátrametszés sorszámát jelöli.

2. Ekkor a tisztatag vektorokat minden i -ik hátrametszéshez külön-külön képezzük:

$$L_i = \begin{bmatrix} X_i \\ Y_i \\ Z_i \end{bmatrix} . \qquad (24)$$

3. A kiegyenlített koordinátákat a súlyozott középérték szolgáltatja:

$$X = \left(\sum P_i\right)^{-1} \times \sum \left(P_i L_i\right) , \qquad (25)$$

$$X = Q_{xx} \times \sum \left(P_i L_i\right)$$

4. A javításvektort számítása:

$$V_i = X - L_i , \qquad (26)$$

ahol

$$V_i = \begin{bmatrix} v_{x_i} \\ v_{y_i} \\ v_{z_i} \end{bmatrix} .$$

5. Ezután már kiszámítható a súlyegység középhibája és az ismeretlenekhez tartozó középhibák:

$$m_0 = \sqrt{\frac{\sum\left(V_i^T P_i V_i\right)}{3n-3}}\ , \tag{27}$$

ahol

n: a kiegyenlítésbe bevont illesztő pontok számát jelöli

$$\left.\begin{aligned} m_X &= m_0 \cdot \sqrt{q_{xx}^{1,1}} \\ m_Y &= m_0 \cdot \sqrt{q_{xx}^{2,2}} \\ m_Z &= m_0 \cdot \sqrt{q_{xx}^{3,3}} \end{aligned}\right\}\ . \tag{28}$$

A durva hibaszűrés elvégzésének lépései:

A kiegyenlítés végén megkapjuk a kiegyenlített ismeretlenek m_X, m_Y, m_Z középhibáit az m_0 és a Q_{xx} mátrix segítségével. Ezeket a középhibákat a kiegyenlítés előtt tudjuk becsülni:

$$\begin{aligned} \widetilde{m}_X &= \sqrt{\frac{\sum\left(M_{y_i}^{1,1} \times P_i^{1,1}\right)}{\sum P_i^{1,1}}} \\ \widetilde{m}_Y &= \sqrt{\frac{\sum\left(M_{y_i}^{2,2} \times P_i^{2,2}\right)}{\sum P_i^{2,2}}}\ . \\ \widetilde{m}_Z &= \sqrt{\frac{\sum\left(M_{y_i}^{3,3} \times P_i^{3,3}\right)}{\sum P_i^{3,3}}} \end{aligned} \tag{29}$$

Jelölések:

$M_{y_i}^{1,1}$: az i-ik M_y mátrix 1,1 átlós eleme

$P_i^{1,1}$: az i-ik P súlymátrix 1,1 átlós eleme

A hátrametszést akkor nem terheli durva hiba, ha kiegyenlítés után kapott m_0 súlyegység középhibák, ill. az ismeretlenek középhibái kisebbek a becsült értéknél. Ha a kiegyenlítéskor kapott középhibák nagyobbak a becsült középhibáknál, akkor a következők szerint járunk el: Állítsuk fel a nullhipotézist két szórás összehasonlítására:

$$H_0 : \sigma_1 = 3.3\sigma_2\,. \tag{30}$$

A $p = 0.95\%$ valószínűségi szinten a szabadsági fok 3, így $F_{0.95(3,3)} = 9.28$ statisztika adódik (Detrekői, 1991). Ezt a statisztikai értéket tekintsük teoretikus értéknek és jelöljük F_t-vel. Ugyanakkor az F értékét a következő képletek alapján koordinátánként számíthatjuk:

$$F_{sz_X} = \frac{m_X^2}{\tilde{m}_X^2} \cdot \frac{1}{3.3^2}$$
$$F_{sz_Y} = \frac{m_Y^2}{\tilde{m}_Y^2} \cdot \frac{1}{3.3^2} \quad . \tag{31}$$
$$F_{sz_Z} = \frac{m_Z^2}{\tilde{m}_Z^2} \cdot \frac{1}{3.3^2}$$

Tehát a hátrametszést akkor nem terheli durva hiba, ha együttesen igazak a következő feltételek:

$$F_{sz_X} \le F_t$$
$$F_{sz_Y} \le F_t \quad . \tag{32}$$
$$F_{sz_Z} \le F_t$$

Ellenkező esetben, a nullhipotézist el kell vetnünk és a hátrametszést durva hibával terheltnek kell tekintenünk.

Ha durva hiba terheli a hátrametszést, akkor a durva hibát tartalmazó pont kizárásos alapon kiválasztható. Ehhez a következőképpen járunk el:

n db illesztő pont esetén kiegyenlítéssel úgy tudjuk megoldani a feladatot, hogy minden kombinációban négyes pontcsoportokat hozunk létre és minden megoldásról eldöntjük, hogy durva hibával terhelt-e. Tehát a teljes kombinációk száma

$$\binom{n}{4} = \frac{n!}{(n-4)! \cdot 4!},$$

ennyi alkalommal kell elvégezni 4 illesztő pont alapján a hátrametszést.

Példakánt legyen az illesztő pontok száma 5. Ekkor a következő négyes csoportok hozhatók létre:

$$\{1,2,3,4\} \quad \{1,2,3,5\} \quad \{1,2,4,5\} \quad \{1,3,4,5\} \quad \{2,3,4,5\} .$$

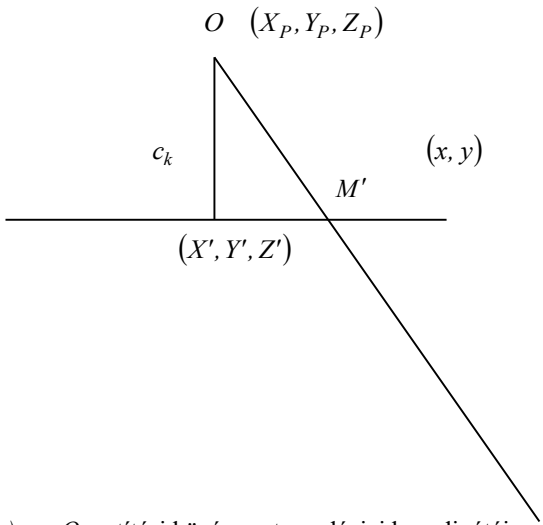
Tételezzük fel, hogy az 1-es számú illesztő pont durva hibával terhelt. Ekkor az öt hátrametszés közül négy hibás lesz, és a $\{2,3,4,5\}$ kombináció pedig durva hibától mentes eredményt szolgáltat. Ez alapján egyértelműen eldönthető, hogy az 1-es pont tartalmazza a durva hibát.

A durva hibával terhelt pont kiszűrése után, már megismételhetjük a kiegyenlítés folyamatát, akár az itt ismertetett módon, akár a hagyományos iterációs eljárással a legkisebb négyzetek módszere szerint, hiszen biztosak lehetünk abban, hogy kiegyenlítés konvergálni fog mivel nem lesz durva hibával terhelt pont, ami törvényszerűen megnövelhetné a többi ponton is a maradék ellentmondásokat.

A forgatási mátrix meghatározása kiegyenlítéssel

A külső tájékozási elemek meghatározásához hozzá tartozik a képsík tájékozását meghatározó φ, ω, κ forgatási szögek meghatározása is. Miután megkaptuk a vetítési középpontok kiegyenlített koordinátáit, a forgatási szögek kiegyenlített értékeit már jól ismert algoritmus szerint számíthatjuk (Albertz, Kreiling 1989**)**.

Tekintsük meg a következő ábrát, mely egy illesztő pont vetítési sugarát és ahhoz tartozó koordinátákat tartalmazza:



Jelölések:

(X_P, Y_P, Z_P): O vetítési középpont geodéziai koordinátái,

(X, Y, Z): M illesztő pont geodéziai koordinátái,

(x, y): a képsíkra leképződött m illesztő pont képkoordinátái,

(X', Y', Z'): az M illesztő pont M' képpontjának geodéziai koordinátái,

c_k: kamara állandó.

Ha el akarjuk kerülni az iteratív kiegyenlítési eljárást, akkor a φ, ω, κ forgatási szögek meghatározása helyett az R forgatási mátrix $r_{11}, r_{12}, r_{13}, r_{21}, r_{22}, r_{23}, r_{31}, r_{32}, r_{33}$ elemeit határozzuk meg a következő algoritmus szerint:

X', Y', Z' kiszámítása az analitikus geometriából ismert módon történik

a)
$$X' = \frac{X_S + \mu \cdot X}{1+\mu}; Y' = \frac{Y_S + \mu \cdot Y}{1+\mu}; Z' = \frac{Z_S + \mu \cdot Z}{1+\mu} \tag{33}$$

b)
$$\begin{aligned} \mu &= \frac{\overline{OM'}}{\overline{M'M}} = \frac{\overline{OM'}}{\overline{OM} - \overline{OM'}} \\ \overline{OM'} &= \sqrt{c_k^2 + x^2 + y^2} \\ \overline{OM} &= \sqrt{(X - X_S)^2 + (Y - Y_S)^2 + (Z - Z_S)^2} \end{aligned} \quad . \tag{34}$$

Alternatív megoldásként mátrix alakban is leírhatjuk az X', Y', Z' kiszámítását:

$$\begin{bmatrix} X' \\ Y' \\ Z' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X_S \\ Y_S \\ Z_S \end{bmatrix} + R \cdot \begin{bmatrix} x \\ y \\ -c_k \end{bmatrix} \Rightarrow \begin{bmatrix} X' - X \\ Y' - Y_S \\ Z' - Z_S \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} \\ r_{21} & r_{22} & r_{23} \\ r_{31} & r_{32} & r_{33} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} x \\ y \\ -c_k \end{bmatrix} . \tag{35}$$

A javítási egyenletrendszer felállítása az i -ik illesztő pont alapján történik

Javítási egyenletek:

$$\left.\begin{aligned} r_{11}x_i + r_{12}y_i - r_{13}c_k - \left(X_i' - X_S\right) &= v_{X_i} \\ r_{21}x_i + r_{22}y_i - r_{23}c_k - \left(Y_i' - Y_S\right) &= v_{Y_i} \\ r_{31}x_i + r_{32}y_i - r_{33}c_k - \left(Z_i' - Z_S\right) &= v_{Z_i} \end{aligned}\right\} . \tag{36}$$

A fenti egyenletek mátrix alakban:

$$AX - L = V \ , \tag{37}$$

ahol

$$A = \begin{bmatrix} x_i & y_i & -c_k & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & x_i & y_i & -c_k & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & x_i & y_i & -c_k \end{bmatrix} , \tag{38}$$

$$L^T = \begin{bmatrix} X_i' & Y_i' & Z_i' \end{bmatrix} , \tag{39}$$

$$X^T = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} & r_{21} & r_{22} & r_{23} & r_{31} & r_{32} & r_{33} \end{bmatrix} . \tag{40}$$

A megoldást a következő lépésekben kapjuk:

$$\left.\begin{aligned} &A^T P \,|\, AX - L = V \\ &A^T PAX - A^T PL = 0 \\ &X = \left(A^T PA\right)^{-1} A^T PL \end{aligned}\right\} . \tag{41}$$

A súlyegység középhibájára az alábbi adódik:

$$m_0 = \sqrt{\frac{\sum v_X^2 + \sum v_Y^2 + \sum v_Z^2}{3n - 9}} \ , \tag{42}$$

ahol n a kiegyenlítésbe bevont illesztő pontok számát jelöli.

A $Q = \left(A^T PA\right)^{-1}$ kovariancia mátrix átlós elemeinek segítségével az irány koszinuszok középhibáit is kiszámíthatjuk:

$$\left.\begin{aligned} m_{r_{11}} &= m_0 \cdot \sqrt{q_{11}} \\ m_{r_{12}} &= m_0 \cdot \sqrt{q_{22}} \\ m_{r_{13}} &= m_0 \cdot \sqrt{q_{33}} \end{aligned}\right\} . \tag{43}$$

Számpélda

A kiinduló adatokat az I. táblázatban adjuk meg:

I. táblázat. Kiinduló adatok. Ck=75.00, Pontok száma: 4.

Psz	xy		XY		Z
11	-14.99085	71.32913	0.200	1401.000	0.200
12	40.44218	71.30058	550.000	1400.000	3.000
27	-14.34352	-68.94081	0.200	0.200	0.200
28	40.35546	-68.87416	550.000	0.200	6.000

Hibás pont: 11 $\varepsilon_Y = +1.0\,\mathrm{m}$ (egyértelmű durva hiba)

II. táblázat. Az (1)-(10) képletek felhasználásával a hátrametszés megoldásait minden kombinációban.

	11-12-27	11-12-28	11-27-28	12-27-28
x1	44.5136456131	1.0638679434	0.9985977788	0.9386478218
x2	-19.6426097959	0.6825472528	-0.8692986191	0.3995205349
x3	1.2413725904	0.0209886434	0.0137785444	-0.3670483527
x4	1.0637556915	0.0491132519	0.0088240244	-0.9758124510
Xp	-10.713	141.295	140.207	140.000
Xp	-10.649	148.910	156.005	155.818
Xp	141.509	560.135	-10.547	560.226
Xp	149.141	560.191	-10.417	560.343
Yp	1401.968	700.581	699.525	700.000
Yp	1401.968	697.374	699.525	696.787
Yp	700.036	1402.183	-0.752	-1.986
Yp	700.036	1402.159	-0.752	-2.010
Zp	6.416	750.711	750.515	750.000
Zp	-6.127	-745.827	-746.994	749.476
Zp	750.271	8.537	6.249	11.693
Zp	-748.393	-2.443	-6.075	0.533
n	44.513646	1.063868	0.998598	0.938648
n	44.513646	1.063868	0.998598	0.938648
n	1.063756	0.020989	0.008824	0.399521
n	1.063756	0.020989	0.008824	0.399521
m	111.284608	1.062497	1.061676	0.998044
m	111.284608	1.062497	1.061676	0.998044
m	0.999264	2.503617	0.399876	0.008492
m	0.999264	2.503617	0.399876	0.008492

Jelölések:

X1, x2, x3, x4:	negyedfokú egyenlet gyökei
Xp, Yp, Zp:	vetítési középpont koordinátái
n, m:	méretarány tényezők

A megoldások közül kiválasztjuk azokat, melyek szerint a megoldások közötti eltérések, melyeket javításnak tekintünk, négyzetösszege minimális:

1 xp = 141.509 yp = 700.036 zp = 750.271
2 xp = 141.295 yp = 700.581 zp = 750.711
3 xp = 140.207 yp = 699.525 zp = 750.515
4 xp = 140.000 yp = 700.000 zp = 750.000

III. táblázat. Minden megoldáshoz tartozó F mátrixot, a (18) szerint számítva. Elemi növekmény: 0.005.

1					
0.0130	0.0742	-0.0136	-0.0640	0.0130	0.0742
0.1460	0.0026	-0.1237	0.0710	0.1460	0.0026
0.0024	0.0133	0.0025	0.0121	0.0024	0.0133
2					
-0.0370	0.0635	0.0367	-0.0926	-0.0370	0.0635
0.1396	0.0293	-0.1372	0.0505	0.1396	0.0293
-0.0203	0.0347	0.0067	-0.0166	-0.0203	0.0347
3					
0.0501	0.0104	0.0133	-0.0765	0.0501	0.0104
0.0226	-0.0232	-0.1478	0.0018	0.0226	-0.0232
-0.0046	0.0253	0.0023	-0.0138	-0.0046	0.0253
4					
0.0502	-0.0288	-0.0372	-0.0659	0.0502	-0.0288
0.0029	-0.0297	-0.1413	0.0294	0.0029	-0.0297
0.0141	0.0183	-0.0205	-0.0362	0.0141	0.0183

IV. táblázat. A megoldásokhoz tartozó súlymátrixokelemeit (19) szerint számítva.

1		
0.0020	0.0001	-0.0048
0.0001	0.0004	-0.0012
-0.0048	-0.0012	0.0629
2		
0.0068	0.0006	-0.0138
0.0006	0.0005	-0.0005
-0.0138	-0.0005	0.0362
3		
0.0024	-0.0001	-0.0020
-0.0001	0.0011	0.0014
-0.0020	0.0014	0.0196
4		
0.0035	-0.0007	-0.0042
-0.0007	0.0012	0.0005
-0.0042	0.0005	0.0140

A vetítési középpont kiegyenlített koordinátáira (25) szerint a következő értékeket kapjuk:

xp= 140.549 m
yp= 700.226 m
zp= 750.301 m

A súlyegység középhibája (27) szerint számítva mo. 0.026 értéknek adódik.
Az ismeretlenekhez tartozó középhibák (28) szerint számítva:

mx= 0.262 m
my= 0.465 m
mz= 0.087 m

Az ismeretlenekhez tartozó középhibák a kiegyenlítés előtt becsléssel (29) szerint számíthatjuk:

mx~= 0.025 m
my~= 0.037 m
mz~= 0.008 m

A nullhipotézis (30) szerint felállított statisztikai értékre Ft=9.28 adódik.

F statisztikai értékeire koordinátánként (31) szerint ugyanakkor számítással a következő értékeket kapjuk:

Fx= 9.52 > Ft
Fy= 13.79 > Ft
Fz= 10.08 > Ft

Következtetésként megállapíthatjuk, hogy egyik koordinátánál sem teljesült a nullhipotézis, tehát a kiegyenlítést durva hiba terheli.

Végezetül megjegyzem, hogy az itt ismertetett módszer nem csak a kiegyenlítéssel történő fotogrammetriai hátrametszésnél alkalmazható eredményesen, hanem minden olyan kiegyenlítéssel történő paraméter-együttes meghatározásnál, ahol a következő feltételek fennállnak:

1. Az adott feladat i számú paraméterének meghatározása direkt módon megoldható k számú, minimálisan szükséges mérési adat felhasználásával.
2. A durva hibaszűrés után legalább $k+1$ számú mérési adatnak maradnia kell, ahhoz, hogy a kiegyenlítés elvégezhető legyen.
3. A mérési adatok középhibáit a kiegyenlítés előtt ismerjük.
4. Az F^T parciális deriváltakat tartalmazó mátrix empirikusan vagy direkt képlettel meghatározható.
5. A meghatározásba bevont mérési adatok száma viszonylag kevés. Ellenkező esetben a számítás menete hosszadalmassá válik, mivel a durva hibaszűrés lényege a minden kombinációban végzett meghatározás, vagyis a kombinációk száma ugrásszerűen növekszik. A bemutatott példánál maradva, amíg 5 illesztő pontnál a négyes csoportokba rendezett kombinációk száma 5, addig pl. 20 illesztő pontnál ez a szám már 4845 lesz

Összefoglalás

A külső tájékozási elemek meghatározása klasszikus feladata a fotogrammetriának, ahol a kiegyenlítéssel történő számításnál bevett szokás a kiinduló egyenletek sorba fejtése. Emellett még az ismeretlenek közelítő kezdőértékeit is meg kell adnunk. Az így megalapozott iteratív kiegyenlítési folyamat a legkisebb négyzetek módszere szerint történik.
Jelen cikk alternatív megoldást ad egy közvetlen, analitikus módszerrel végzett kiegyenlítési eljárásra. Bizonyítható, hogy az ily módon végzett kiegyenlítés végeredménye egyenértékű a legkisebb négyzetek módszerével kapott értékekkel. Továbbá számos előny jelentkezik az eljárás alkalmazása során:

- direkt megoldás, sorba fejtés és iteráció nélkül, ahol az ismeretlenek kezdőértékeit sem kell megadnunk,
- az eljárás segítségével hatékonyan kiszűrhetők a durva hibával terhelt illesztő pontok még a kiegyenlítés előtt,
- a módszer általánosan alkalmazható más jellegű geodéziai és fotogrammetriai alapfeladatoknál is.

A módszere hátrányának tekinthető a kombinatorikai robbanásból adódó nagy számításigény, melyet viszont további kutatások során remélhetőleg egy optimalizált algoritmussal minimálisra lehet majd csökkenteni, így lehetőség nyílhat majd a gyakorlati igényeket jobban megközelítő nagyobb mennyiségű illesztő pont kezelésére és az azokhoz tartozó esetleges durva-hibák kiszűrésére is.

Hivatkozások

Albertz J, Kreiling W (1989): Phptpgrammetrisches Taschenbuch, Wichmann.
Detrekői Á (1991): Kiegyenlítő számítások, *Tankönyvkiadó*, Budapest.
Gleinsvik P (1967): The generalisation of the theorem of Jacobi. *Buletin Geodesique* 85, 269-80.
Grafarend W, Lohse P, Schaffrin B (1989): Dreidiemnsionale Rückwartsschnitt Teil I. *Zeitschrift für Vermessungswesen*, 114; 2, 61-67.
Grafarend W, Lohse P, Schaffrin B (1989): Dreidiemnsionale Rückwartsschnitt Teil 2. *Zeitschrift für Vermessungswesen*, 114; 3, 127-137.
Grafarend W, Lohse P, Schaffrin B (1989): Dreidiemnsionale Rückwartsschnitt Teil 3. *Zeitschrift für Vermessungswesen*, 114; 4, 172-175.
Grafarebd W, Lohse P, Schaffrin B :Dreidiemnsionale Rückwartsschnitt Teil 4. *Zeitschrift für Vermessungswesen*, 114; 5, 225-234.
Grafarebd W, Lohse P, Schaffrin B (1989): Dreidiemnsionale Rückwartsschnitt Teil 5. *Zeitschrift für Vermessungswesen*, 114; 6, 278-287.
Haáz IB (1942): A normálegyenletek megoldása középértékképzéssel. *Geod. Közl.*, XVIII; 3, 111-117.
Hirvonen RA (1964): General formulas for the analytical treatment of the problems of photogrammetry. *Suomen Fotogrammetrinen Seura*, Helsinki, Eripainos, Maamittans no: 3-4.
Jancsó T (1994): A külső tájékozási elemek meghatározása közvetlen analitikus módszerrel. *Geodézia és Kartográfia*, 46; 1, 33-38.
Karara HM (1979): Handbook of non-topographic photogrammetry, *American Society of Photogrammetry*, Falls Church, 35-37.
Lobanov AN (1984): Fotogrammetria, *Moszkva*, Nedra, 61-64.
Merrit EL (1961): Analiticseszkaja fotogrammetria, *Moszkva*, 70-79.
Rampai KK (1979): A closed solution for space resection. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 45; 9, September 1255-1261.
Tamás Z (1936): A koordinátakiegyenlítés új megoldása. *Geod. Közl.*, XII; 5-8, 86-101.
Zuoqiao Z, Xibo W (1992): A general solution of a closed-form space resection. *Photogrammetric Enngineering & Remote Sensing*, 58; 3, March 327-338.
Závoti J (1999): A geodézia korszerű matematikai módszerei. *Geomatikai Közlemények* II. szám, doktori disszertáció, Sopron, 1999.
Wang Z (1990): Principles of Photogrammetry, *WTUSM*, Wuhan.

ÁLTALÁNOSÍTOTT SPLINE APPROXIMÁCIÓ

Polgár Rudolf[*]

Generalized spline approximation *- In the paper it is given a new method of spline approximation, which is applicable for estimation of robust. The constructed spline approximation is continuously differentiable in second order. The model-computations have shown that the method is suitable to determine the velocity-vector and the acceleration-vector. Because, of the good characteristic of the method, for ex. fast convergence, it seems to be widely useful in the field of technical application, and in the modeling of economical processes, time series, for ex. stock.*

Műszaki, gazdasági jelenségek vizsgálatánál gyakran van arra szükség, hogy a mért adatokat egy alkalmasan választott függvénnyel valamilyen elv alapján közelítsük. Egy sztochasztikus szimulációs feladat kapcsán megadunk egy új approximációs spline módszert, amely alkalmas robusztus becslésre, és előnyös tulajdonságai alapján széleskörű alkalmazásra találhat.

Kulcsszavak: interpoláció, approximáció, spline, numerikus módszer, robusztus becslés, trend meghatározás, szakaszonkénti polinomiális regresszió, pálya meghatározás

Bevezetés

Műszaki alkalmazásoknál, hangtani jelenségek, tőzsdei folyamatok vizsgálatánál nagy jelentőséggel bír az összegyűjtött nagy adatszámú minták főbb jellemzőinek a becslése. Ennek egyik egyszerű módszere a regressziós modell alkalmazása. Itt az adatpontok geometriai elhelyezkedése alapján választunk egy úgynevezett lehetséges regressziós görbét, ami rögtön azt is jelzi, hogy megoldásunk nem egyértelmű. A feladatunkban legyen adott N pont, (x_i,f_i), ahol $i=1,2,...,N$, és legyen adott g(x) regressziós függvény. Ekkor a legkisebb négyzetek módszere alapján keressük a

$$\sum_{i=1}^{N}\left(f_i - g(x_i)\right)^2 = \min_{g}$$

megoldását, a $g(x)$ függvényseregre nézve.

Egy másik lehetséges mód az interpolációs- ill. approximációs-módszerek alkalmazása. Interpoláció alatt $f(x)$ függvény előállítását értjük a diszkrét $x1,x2,\ldots,xN$ pontokban adott $f1,f2,\ldots,f$N értékekből. Általában ennek sincs egyértelmű megoldása, hanem megelégedünk egy alkalmas polinommal, amely valamilyen adott értelemben az $[x1,xN]$ intervallumon legjobban közelíti a vizsgált függvényt. Ilyen klasszikus módszerek a Lagrange- (Newton-), Hermite-interpoláció. Ezen interpolációs módszerek során fellépő nem kívánatos oszcillációt, és polinomok fokszámának növelésével járó nagy számítási műveletigényt elkerülhetjük a spline-interpolációval. Ebben az esetben olyan m-szer folytonosan differenciálható $g(x)$ függvény megadását értjük, amely megoldása a

$$\delta(g) = \int_{x_x}^{x_N}\left(\partial^m g\right)^2 dx = \min_{W_2^m}$$

és

$$g(x_i) = f(x_i) = f_i, \quad i = 1,2,\ldots, N$$

[*]*NYME EMK Matematikai Intézet, 9400 Sopron, Ady E. u. 5.*
E-mail: polgar@nyme.emk.hu

feladatnak. Itt W_2^m a négyzetesen integrálható, *m*-szer folytonosan differenciálható függvények terét jelöli. Ha *m<N*, akkor a megoldás egyértelmű (ld. Sard, Weintraub 1971) bizonyítása, részintervallumonként előállított legfeljebb *(2m-1)*-ed fokú egymáshoz simán csatlakozó polinomokkal. Leggyakrabban, mint a későbbiekben is, az *m*=2 feladat megoldásával foglalkozunk. Amennyiben az *f(x)* függvény x_i rácspontbeli értékei nem pontosak, hanem hibával torzítottak, akkor ún. approximációs módszerrel valamilyen értelemben legjobban közelítő megoldást keresünk, ami tulajdonképpen a regressziós és interpolációs görbék elméletének kompozíciója:

$$\delta(g) = \int_{x_x}^{x_N} \left(\partial^2 g\right)^2 dx + \sum_{i=1}^{N} p_i \left(g(x_i) - f_i\right)^2 = \min_{W_2^2},$$

ahol

$\{p_i\}_{i=1}^n$ pozitív számok, mint súlyok, a hibamennyiségek ismeretében a simítás befolyásolására alkalmasak.

A feladat

Az előbbi gondolatmenetet általánosítjuk arra az esetre, amikor lényegesebben több diszkrét ponttal rendelkezünk, mint ahány spline-approximációs polinomot választunk, és a legkisebb négyzetek módszerének elve alapján a robusztus becslésekben megismert módon végezzük a súlyok választását, és magát a spline közelítést is iterációs eljárás eredményeképp kapjuk.
Vegyük az *x* tengely [*a,b*] intervallumának az $a=x_0<x_1<x_2<\ldots<x_n=b$ felosztását úgy, hogy az (x_{i-1},x_i), *i=1,2,…,n* részintervallumban legyen adott az (x_{i_j}, f_{i_j}), *j=1,2,…,n*$_i$ a minta részhalmaza, ahol $\sum_{i=1}^{n} n_i = N$ és ezen felírás mellett oldjuk meg a

$$\delta(g) = \lambda \int_{x_x}^{x_N} \left(\partial^2 g\right)^2 dx + \sum_{i=1}^{n} \sum_{j=1}^{n_i} p_{i_j} \left(g(x_{i_j}) - f_{i_j}\right)^2 = \min_{W_2^2},$$

variációs feladatot, ahol λ az általánosított Lagrange-féle multiplikátor, és p_{i_j} súlyok pozitív számok. Az

$$\int_a^b \left(\partial^2 g\right)^2 dx$$

feladat megoldása szakaszonként harmadfokú polinomokat eredményez, amelyek nullad-, első- és másodrendben is folytonosak. Ez legyen

$$g(x) = \begin{cases} g_1(x), & x_0 \le x \le x_1 \\ g_2(x), & x_1 \le x \le x_2 \\ \quad\vdots & \\ g_n(x), & x_{n-1} \le x \le x_n \end{cases}$$

ahol

$$g_i(x) = a_i(x_i - x)^3 + b_i(x_i - x)^2 + c_i(x_i - x) + d_i$$

minden *i=1,2,…,n* esetén. Ezen megoldás mellett a feladatunkat átfogalmazva, a Lagrange-féle multiplikátorok segítségével oldjuk meg az

$$Func(a_1, a_2, ..., a_n, b_1, ..., d_n, \Lambda_1, ..., \Lambda_n, \Delta_1, ..., \Delta_n, \Xi_1, ..., \Xi_n) =$$
$$\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{n_i} p_{i_j}\left(g(x_{i_j}) - f_{i_j}\right)^2 + 2\sum_{i=1}^{n-1}\Lambda_i\left(g_{i+1}(x_i) - g_i(x_i)\right) +$$
$$+ 2\sum_{i=1}^{n-1}\Delta_i\left(g'_{i+1}(x_i) - g'_i(x_i)\right) + \sum_{i=1}^{n-1}\Xi_i\left(g''_{i+1}(x_i) - g''_i(x_i)\right) \equiv Func \to \min$$

szélsőérték feladatot. Ennek egy lehetséges megoldását Prvan (1997) adja meg.

Mint látszik, az a_i,b_i,c_i,d_i ismeretlenek száma *4n*, ill. a Λ_i , Δ_i , Ξ_i , multiplikátorok száma *3(n-1)*, ezért szükségünk van a megoldásukhoz *4n+3(n-1)* független lineáris egyenletre, amiket az analitikus szélsőérték keresés alapján kapunk. Mivel az ismeretlenek száma megegyezik a lineáris egyenletrendszerben az egyenletek számával, így az elvileg megoldható. A feladat megoldásának nehézségét az ismeretlenek száma jelenti, *(7n-3),* amint lenti módon egy *n* méretű lineáris egyenletrendszer megoldására lehet visszavezetni. További problémát jelent p_{i_j} a súlyok meghatározása. Először az egyenletrendszerünket egység súlyozással oldjuk meg, majd a kapott megoldásgörbe segítségével a robusztus becsléseknél megszokott gondolatmenet alapján újrasúlyozunk, és a kívánt iterációs feltétel teljesüléséig ismételjük az eljárást. Ezen feladat megoldását *n=3* mellett Závoti (1985) adta meg.

Az egyenletek

Vezessük be a $h_{i+1}=x_{i+1}–x_i$; *i=1,…,n-1* jelölést. Ezzel a *Func* függvény Λ_i, Δ_i, Ξ_i , *i=1,…,n-1* változó szerinti parciális deriváltjaira vonatkozóan:

$$a_{i+1}h_{i+1}^3 + b_{i+1}h_{i+1}^2 + c_{i+1}h_{i+1} + d_{i+1} - d_i = 0 \tag{1}$$

$$3a_{i+1}h_{i+1}^2 + 2b_{i+1}h_{i+1} + c_{i+1} - c_i = 0 \tag{2}$$

$$3a_{i+1}h_{i+1} + b_{i+1} - b_i = 0 \tag{3}$$

minden *i=1,…,n-1* esetén. A további parciális deriváltak írásmódjának egyszerűbb jelölése végett legyen

$$\Phi_i = \sum_{j=1}^{n_i} p_{i_j}\left(f_{i_j} - g(x_{i_j})\right)$$
$$\Psi_i = \sum_{j=1}^{n_i} p_{i_j}\left(f_{i_j} - g(x_{i_j})\right)(x_i - x_{i_j})$$
$$\Gamma_i = \sum_{j=1}^{n_i} p_{i_j}\left(f_{i_j} - g(x_{i_j})\right)(x_i - x_{i_j})^2$$
$$\Theta_i = \sum_{j=1}^{n_i} p_{i_j}\left(f_{i_j} - g(x_{i_j})\right)(x_i - x_{i_j})^3$$

minden *i=1,…,n*-re. Így *Func* függvény $d_1,…,d_n$ szerinti parciális deriváltjaira:

$$-\Phi_1 - \Lambda_1 = 0, \tag{4}$$

$$-\Phi_i + \Lambda_{i-1} - \Lambda_i = 0, \quad i = 2, ..., n-1, \tag{5}$$

$$-\Phi_n + \Lambda_{n-1} = 0. \tag{6}$$

Func függvény $c_1,\ldots,c_n$ szerinti parciális deriváltjaira:

$$-\Psi_1 - \Delta_1 = 0, \tag{7}$$

$$-\Psi_i + h_i\Lambda_{i-1} + \Delta_{i-1} - \Delta_i = 0, \quad i = 2,\ldots,n-1, \tag{8}$$

$$-\Psi_n + h_n\Lambda_{n-1} + \Delta_{n-1} = 0. \tag{9}$$

Func függvény $b_1,\ldots,b_n$ szerinti parciális deriváltjaira:

$$-\Gamma_1 - \Xi_1 = 0, \tag{10}$$

$$-\Gamma_i + h_i^2\Lambda_{i-1} + 2h_i\Delta_{i-1} + \Xi_{i-1} - \Xi_i = 0, \quad i = 2,\ldots,n-1, \tag{11}$$

$$-\Gamma_n + h_n^2\Lambda_{n-1} + 2h_n\Delta_{n-1} + \Xi_{n-1} = 0. \tag{12}$$

Func függvény $a_1,\ldots,a_n$ szerinti parciális deriváltjaira:

$$\Theta_1 = 0, \tag{13}$$

$$-\Theta_i + h_i^3\Lambda_{i-1} + 3h_i^2h_i\Delta_{i-1} + 3h_i\Xi_{i-1} = 0, \quad i = 2,\ldots,n. \tag{14}$$

Nézzük a fenti egyenletrendszerünk megoldását. Először is eliminálják a Λ_i, Δ_i, Ξ_i , $i=1,\ldots,n-1$ multiplikátorokat. A (4)-(6) egyenletek összegéből kapjuk, hogy

$$\sum_{i=1}^{n}\Phi_i = 0, \tag{15}$$

másfelől

$$\begin{aligned}
&\Lambda_1 = -\Phi_1,\\
&\Lambda_2 = \Lambda_1 - \Phi_2 = -\sum_{i=1}^{2}\Phi_i,\\
&\quad\vdots\\
&\Lambda_{n-1} = -\sum_{i=1}^{n-1}\Phi_i,\\
&\Lambda_{n-1} = \Phi_n.
\end{aligned} \tag{16}$$

(7)-(9) összegéből

$$\sum_{i=1}^{n}\Psi_i = \sum_{i=2}^{n}h_i\Lambda_{i-1}.$$

(16) figyelembevételével a $\sum_{i=2}^{n}h_i\Lambda_{i-1}$ kifejezés értékét átösszegzéssel és h_i-k definíciója alapján, majd (15)-ből a következő összefüggést kapjuk:

$$\sum_{i=2}^{n} h_i \Lambda_{i-1} = -\sum_{i=2}^{n}\left(h_i \sum_{j=1}^{i-1} \Phi_j \right) = -\sum_{i=1}^{n-1}\left(\Phi_i \sum_{j=i+1}^{n} h_j \right) = -\sum_{i=1}^{n-1}\left(\Phi_i (x_n - x_i)\right) = -\sum_{i=1}^{n}\left(\Phi_i (x_n - x_i)\right) =$$
$$= -x_n \sum_{i=1}^{n} \Phi_i + \sum_{i=1}^{n} x_i \Phi_i = \sum_{i=1}^{n} x_i \Phi_i ,$$

azaz

$$\sum_{i=1}^{n}\left(\Psi_i - x_i \Phi_i\right) = 0, \tag{17}$$

illetve

$$\begin{aligned}
&\Delta_1 = -\Psi_1 , \\
&\Delta_2 = \Delta_1 + h_2 \Lambda_1 - \Psi_2 = -\sum_{i=1}^{2} \Psi_i - h_2 \Phi_1 , \\
&\Delta_3 = -\sum_{i=1}^{3} \Psi_i - \sum_{i=2}^{3}\left(h_i \sum_{j=1}^{i-1} \Phi_j \right) = -\sum_{i=1}^{3} \Psi_i - \sum_{i=1}^{2}\left(\Phi_i (x_3 - x_i)\right), \\
&\quad \vdots \\
&\Delta_{n-1} = -\sum_{i=1}^{n-1} \Psi_i - \sum_{i=1}^{n-2}\left(\Phi_i (x_{n-1} - x_i)\right), \\
&\Delta_{n-1} = \Psi_n - h_n \Lambda_{n-1} = \Psi_n - h_n \Phi_n .
\end{aligned} \tag{18}$$

(10)-(12) összegéből kapjuk, hogy

$$\sum_{i=1}^{n} \Gamma_i = \sum_{i=2}^{n} h_i^2 \Lambda_{i-1} + 2\sum_{i=2}^{n} h_i \Delta_{i-1} .$$

(16) és (18) helyettesítésével

$$\sum_{i=1}^{n} \Gamma_i = -2\sum_{i=2}^{n}\left(h_i \sum_{j=1}^{i-1} \Psi_j \right) - \sum_{i=2}^{n}\left(h_i^2 \sum_{j=1}^{i-1} \Phi_j \right) - 2\sum_{i=3}^{n}\left(h_i \sum_{j=2}^{i-1}\left(h_j \sum_{k=1}^{j-1} \Phi_k \right)\right).$$

A baloldali összegből a Ψ-s tagokat tartalmazó kifejezést átalakítva az utolsó lépésben (17)-t figyelembe véve

$$-2\sum_{i=2}^{n}\left(h_i \sum_{j=1}^{i-1} \Psi_j \right) = -2\sum_{i=1}^{n-1}\left(\Psi_i \sum_{j=i+1}^{n} h_j \right) = -2\sum_{i=1}^{n-1} \Psi_i (x_n - x_i) = -2\sum_{i=1}^{n} \Psi_i (x_n - x_i) =$$
$$= -2x_n \sum_{i=1}^{n} \Psi_i + 2\sum_{i=1}^{n} x_i \Psi_i = -2x_n \sum_{i=1}^{n} x_i \Phi_i + 2\sum_{i=1}^{n} x_i \Psi_i .$$

Szintén az előző baloldali összeg Ψ-s tagjainak összegéből, az utolsó lépésben (15)-t figyelembe véve

$$-\sum_{i=2}^{n}\left(h_i^2 \sum_{j=1}^{i-1} \Phi_j \right) - 2\sum_{i=3}^{n}\left(h_i \sum_{j=2}^{i-1}\left(h_j \sum_{k=1}^{j-1} \Phi_k \right)\right) = -\sum_{i=1}^{n-1}\left(\Phi_i \left(\sum_{j=2}^{n} h_j \right)^2 \right) = -\sum_{i=1}^{n-1} \Phi_i (x_n - x_i)^2 =$$
$$= -\sum_{i=1}^{n} \Phi_i (x_n - x_i)^2 = -x_n^2 \sum_{i=1}^{n} \Phi_i + 2x_n \sum_{i=1}^{n} x_i \Phi_i - \sum_{i=1}^{n} x_i^2 \Phi_i = 2x_n \sum_{i=1}^{n} x_i \Phi_i - \sum_{i=1}^{n} x_i^2 \Phi_i .$$

Így

$$\sum_{i=1}^{n}\Gamma_i = -2x_n\sum_{i=1}^{n}x_i\Phi_i + 2\sum_{i=1}^{n}x_i\Psi_i + 2x_n\sum_{i=1}^{n}x_i\Phi_i - \sum_{i=1}^{n}x_i^2\Phi_i ..$$

azaz

$$\sum_{i=1}^{n}\left(\Gamma_i - 2x_i\Psi_i + x_i^2\Phi_i\right) = 0. \tag{19}$$

Továbbá

$$\begin{aligned}
&\Xi_1 = -\Gamma_1,\\
&\Xi_2 = h_2^2\Lambda_1 + 2h_2\Delta_1 + \Xi_1 - \Gamma_2 = -\sum_{i=1}^{2}\Gamma_i - h_2^2\Phi_1 - 2h_2\Psi_1,\\
&\Xi_3 = -\sum_{i=1}^{3}\Gamma_i - \sum_{i=1}^{2}\left(\Psi_i\sum_{j=i+1}^{3}h_j\right) - \sum_{i=1}^{2}\left(\Phi_i\left(\sum_{j=i+1}^{3}h_j\right)^2\right),\\
&\quad\vdots\\
&\Xi_{n-1} = -\sum_{i=1}^{n-1}\Gamma_i - \sum_{i=1}^{n-2}\left(\Psi_i\sum_{j=i+1}^{n-1}h_j\right) - \sum_{i=1}^{n-2}\left(\Phi_i\left(\sum_{j=i+1}^{n-1}h_j\right)^2\right),\\
&\Xi_{n-1} = \Gamma_n - h_n^2\Lambda_{n-1} - 2h_n\Delta_{n-1} = \Gamma_n - 2h_n\Psi_n + h_n^2\Phi_n.
\end{aligned} \tag{20}$$

(14) $i=n$ esetén (16),(18),(20) utolsó egyenleteinek figyelembevételével

$$\Theta_n - 3h_n\Gamma_n + 3h_n^2\Psi_n - h_n^3\Phi_n = 0, \tag{21}$$

mivel

$$-\Theta_n + 3h_n\Xi_{n-1} + 3h_n^2\Delta_{n-1} + h_n^3\Lambda_{n-1} = -\Theta_n + 3h_n\left(\Gamma_n - 2h_n\Psi_n + h_n^2\Phi_n\right) + 3h_n^2\left(\Psi_n - h_n\Phi_n\right) + h_n^3\Phi_n =$$
$$= -\Theta_n + 3h_n\Gamma_n - 3h_n^2\Psi_n + h_n^3\Phi_n.$$

(14) $i=2,\ldots,n-1$ esetén (16),(18),(20) megfelelő indexű elemeinek behelyettesítésével

$$\Theta_i + 3h_i\sum_{j=1}^{i-1}\Gamma_j + 3\sum_{j=1}^{i-1}\left(\Psi_j\left[\left(\sum_{k=j+1}^{i}h_k\right)^2 - \left(\sum_{k=j+1}^{i}h_k - h_i\right)^2\right]\right) + \sum_{j=1}^{i-1}\left(\Phi_j\left[\left(\sum_{k=j+1}^{i}h_k\right)^3 - \left(\sum_{k=j+1}^{i}h_k - h_i\right)^3\right]\right) = 0.$$

vagy másképpen

$$\Theta_i + 3h_i\sum_{j=1}^{i-1}\left(3\Gamma_j(x_i - x_{i-1}) + 3\Psi_j\left[(x_i - x_j)^2 - (x_{i-1} - x_j)^2\right] + \Phi_j\left[(x_i - x_j)^3 - (x_{i-1} - x_j)^3\right]\right) = 0, \tag{22}$$

minden $i=2,...,n-1$ esetén.

Megjegyzés: (22)-vel ekvivalens egyenleteket kapunk, ha (14) egyenleteihez hozzáadjuk (13)-at, majd (14) i indexnél kisebb indexű egyenleteket hozzáadjuk az i indexűhöz. Ekkor

$$\Theta_i + \sum_{j=1}^{i-1}\left(\Theta_j + 3\Gamma_j\left(\sum_{k=j+1}^{i}h_k\right) + 3\Psi_j\left(\sum_{k=j+1}^{i}h_k\right)^2 + \Phi_j\left(\sum_{k=j+1}^{i}h_k\right)^3\right) = 0, \tag{23}$$

$i=2,...,n-1$ esetén.

Eddig sikerült eliminálni az egyenletekből Λ_i,Δ_i,Ξ_i változókat, azok már csak $a_1,\ldots,a_n,b_1,\ldots,d_n$ változókat (amelyek meghatározása épp a feladatunk) tartalmazzák (ugyanis $\Theta_i,\Gamma_i,\Psi_i,\Phi_i$ is csak őket tartalmazza).

Nézzük most már az egyenleteinket az $a_1,\ldots,d_n$ ismeretlenekkel kifejezve. Az egyszerűség kedvéért vezessük be az

$$X_{i,l}=\sum_{j=1}^{n_i} p_{i_j}(x_i-x_{i_j})^l,\quad l=0,1,\ldots,6, \tag{24}$$

és

$$F_{i,l}=\sum_{j=1}^{n_i} p_{i_j} f_{i_j}(x_i-x_{i_j})^l,\quad l=0,1,2,3, \tag{25}$$

jelöléseket. Ezekkel a kapott $\Phi_i,\Psi_i,\Gamma_i,\Theta_i$ -t tartalmazó egyenleteink az alábbi szerint néznek ki. (13)-ból kapjuk, hogy

$$\sum_{j=1}^{n_1} p_{1_j}\left(f_{1_j}-a_1(x_i-x_{1_j})^3-b_1(x_i-x_{1_j})^2-c_1(x_i-x_{1_j})-d_1\right)=0,$$

azaz

$$X_{1,6}a_1+X_{1,5}b_1+X_{1,4}c_1+X_{1,3}d_1=F_{1,3}. \tag{26}$$

A (21) egyenlet egyszerűbb leírásához legyen

$$\begin{aligned}&\xi_l=X_{n,l+3}-3h_nX_{n,l+2}+3h_n^2X_{n,l+1}-h_n^3X_{n,l},\quad l=0,1,2,3,\\&\xi_4=F_{n,3}-3h_nF_{n,2}+3h_n^2F_{n,1}-h_n^3F_{n,0},\end{aligned} \tag{27}$$

ekkor

$$\xi_3a_n+\xi_2b_n+\xi_1c_n+\xi_0d_n=\xi_4. \tag{28}$$

A (22) egyenlet egyszerűbb leírásához legyen

$$\mathrm{Y}_{i,j,l}=3X_{j,l+2}(x_i-x_{i-1})+3X_{j,l+1}\left[(x_i-x_j)^2-(x_{i-1}-x_j)^2\right]+X_{j,l}\left[(x_i-x_j)^3-(x_{i-1}-x_j)^3\right], \tag{29}$$

ahol *l=0,1,2,3*.
Ekkor

$$\begin{aligned}&X_{i,6}a_i+X_{i,5}b_i+X_{i,4}c_i+X_{i,3}d_i+\sum_{j=1}^{i-1}(\mathrm{Y}_{i,j,3}a_j+\mathrm{Y}_{i,j,2}b_j+\mathrm{Y}_{i,j,1}c_j+\mathrm{Y}_{i,j,0}d_j)=\\&=F_{i,3}+\sum_{j=1}^{i-1}\left(3F_{j,2}(x_i-x_{i-1})+3F_{j,1}\left[(x_i-x_j)^2-(x_{i-1}-x_j)^2\right]+F_{j,0}\left[(x_i-x_j)^3-(x_{i-1}-x_j)^3\right]\right),\end{aligned} \tag{30}$$

ahol *i=2,...,n-1*.
(15),(17),(19) a (24),(25)-tel kifejezve

$$\sum_{i=1}^{n}\left(X_{i,3}a_i+X_{i,2}b_i+X_{i,1}c_i+X_{i,0}d_i\right)=\sum_{i=1}^{n}F_{i,0}\,, \tag{31}$$

$$\sum_{i=1}^{n}\left((X_{i,4}-x_iX_{i,3})a_i+(X_{i,3}-x_iX_{i,2})b_i+(X_{i,2}-x_iX_{i,1})c_i+(X_{i,1}-x_iX_{i,0})d_i\right)=\sum_{i=1}^{n}(F_{i,1}-x_iF_{i,0})\,, \tag{32}$$

$$\sum_{i=1}^{n}\left((X_{i,5}-2x_iX_{i,4}+x_i^2X_{i,3})a_i+(X_{i,4}-2x_iX_{i,3}+x_i^2X_{i,2})b_i+(X_{i,3}-2x_iX_{i,2}+x_i^2X_{i,1})c_i+\right.$$
$$\left.+(X_{i,2}-2x_iX_{i,1}+x_i^2X_{i,0})d_i\right)=\sum_{i=1}^{n}(F_{i,2}-2x_iF_{i,1}+x_i^2F_{i,0})\,. \qquad (33)$$

A mátrixegyenletek

A fenti egyenletek segítségével határozzuk meg az $a_1,\ldots,d_n$, ismeretlenek értékeit. (3)-ból

$$a_{i+1}=\frac{1}{3h_{i+1}}(b_i-b_{i+1})\,,\quad i=1,\ldots,n-1. \qquad (34)$$

A (2) h_{i+1}-szereséből (1)-et kivonva, majd (34)-et behelyettesítve

$$c_i=\frac{h_{i+1}}{3}(b_{i+1}+2b_i)+\frac{1}{h_{i+1}}(d_i-d_{i+1})\,,\quad i=1,\ldots,n-1. \qquad (35)$$

(1)-be beírva (34)-et

$$c_{i+1}=-\frac{h_{i+1}}{3}(b_i+2b_{i+1})+\frac{1}{h_{i+1}}(d_i-d_{i+1})\,,\quad i=1,\ldots,n-1. \qquad (36)$$

A (26) egyenletbe (35)-ből c_1-et behelyettesítve

$$a_1=\frac{1}{X_{1,6}}\left(\left[-X_{1,5}-\frac{2h_2}{3}X_{1,4}\right]b_1+\left[-\frac{h_2}{3}X_{1,4}\right]b_2+\left[-X_{1,3}-\frac{1}{h_2}X_{1,4}\right]d_1+\frac{1}{h_2}X_{1,4}d_2+F_{1,3}\right), \qquad (37)$$

ami egyszerűbben írva legyen

$$a_1=\alpha_1b_1+\alpha_1b_1+\alpha_2b_2+\alpha_3d_1+\alpha_4d_2+\alpha_5.$$

Legyen

$$\bar{a}=(a_1,\ldots,a_n)^T,\ \bar{b}=(b_1,\ldots,b_n)^T,\ \bar{c}=(c_1,\ldots,c_n)^T,\ \bar{d}=(d_1,\ldots,d_n)^T.$$

Ekkor (34) és (37) egyenleteit mátrixegyenletté írva a következő alakot kapjuk:

$$\bar{a}=A_b\bar{b}+A_d\bar{d}+\bar{v}_a\,, \qquad (38)$$

ahol

$$A_b=\begin{bmatrix}\alpha_1 & \alpha_2 & & \\ \frac{1}{3h_2} & -\frac{1}{3h_2} & \ddots & \\ & \ddots & \ddots & \\ & & \frac{1}{3h_n} & -\frac{1}{3h_n}\end{bmatrix},\quad A_d=\begin{bmatrix}\alpha_3 & \alpha_4 & & \\ & & & \\ & & & \end{bmatrix},\quad \bar{v}_a=\begin{bmatrix}\alpha_5\\ \\ \end{bmatrix},$$

megegyezve abban a későbbiekre vonatkozóan is, hogy mind a mátrixoknál, mind a vektoroknál a ki nem töltött helyen lévő elemek 0-k. (28)-ba (34)-ből a_n-et behelyettesítve

$$c_n=\frac{1}{\xi_1}\left(\left[-\frac{1}{3h_n}\xi_3\right]b_{n-1}+\left[\frac{1}{3h_n}\xi_3-\xi_2\right]b_n+\left[-\xi_0\right]d_n+\xi_4\right), \qquad (39)$$

ami egyszerűbben legyen

$$c_n = \beta_1 b_{n-1} + \beta_2 b_n + \beta_3 d_n + \beta_4.$$

(35) és (39) segítségével $\bar{c}$ -ra nézve a mátrixegyenlet

$$\bar{c} = C_b^* \bar{b} + C_d^* \bar{d} + \bar{c}_v^* \,, \tag{40}$$

ahol

$$C_b^* = \begin{bmatrix} \frac{2h_2}{3} & \frac{h_2}{3} & & \\ \ddots & \ddots & & \\ & \frac{2h_n}{3} & \frac{h_n}{3} \\ & \beta_1 & \beta_1 \end{bmatrix}, \quad C_d^* = \begin{bmatrix} \frac{1}{h_2} & -\frac{1}{h_2} & & \\ \ddots & \ddots & & \\ & & \frac{1}{h_n} & -\frac{1}{h_n} \\ & & \beta_3 & \end{bmatrix}, \quad \bar{c}_v^* = \begin{bmatrix} \\ \\ \\ \beta_4 \end{bmatrix}.$$

(30) *i=2* egyenletébe írjuk be (38)-ból a_1,a_2-t és (36)-ból c_2-t, így

$$c_1 = \frac{1}{\mathrm{Y}_{2,1,1}} \left(\left[-\alpha_1 \mathrm{Y}_{2,1,3} - \mathrm{Y}_{2,1,2} - \frac{X_{2,6}}{3h_2} + \frac{h_2 X_{2,4}}{3} \right] b_1 + \left[-\alpha_2 \mathrm{Y}_{2,1,3} + \frac{X_{2,6}}{3h_2} - X_{2,5} + \frac{2h_2}{3} X_{2,4} \right] b_2 + \right.$$
$$\left. + \left[-\alpha_3 \mathrm{Y}_{2,1,3} - \mathrm{Y}_{2,1,0} - \frac{X_{2,4}}{h_2} \right] d_1 + \left[-\alpha_4 \mathrm{Y}_{2,1,3} + \frac{X_{2,4}}{h_2} - X_{2,3} \right] d_2 + \left[F_{2,3} + 3h_2 F_{1,2} + 3h_2^2 F_{1,1} + h_2^3 F_{1,0} \right] \right), \tag{41}$$

ami egyszerűbben legyen

$$c_1 = \gamma_1 b_1 + \gamma_2 b_2 + \gamma_3 d_1 + \gamma_4 d_2 + \gamma_5.$$

(36) és (41)-ből készített mátrixegyenlet ezek után

$$\bar{c} = C_b \bar{b} + C_d \bar{d} + \bar{c}_v \,, \tag{42}$$

ahol

$$C_b = \begin{bmatrix} \gamma_1 & \gamma_2 & & \\ -\frac{h_2}{3} & -\frac{2h_2}{3} & & \\ \ddots & \ddots & & \\ & -\frac{h_n}{3} & -\frac{2h_n}{3} \end{bmatrix}, \quad C_d = \begin{bmatrix} \gamma_3 & \gamma_4 & & \\ \frac{1}{h_2} & -\frac{1}{h_2} & & \\ \ddots & \ddots & & \\ & & \frac{1}{h_n} & -\frac{1}{h_n} \end{bmatrix}, \quad \bar{c}_v = \begin{bmatrix} \gamma_5 \\ \\ \\ \\ \end{bmatrix}.$$

Az eddigi (38),(40),(42) mátrixegyenletekkel sikerült az $\bar{a}$ és $\bar{c}$ vektorokat kifejezni $\bar{b}$ és $\bar{d}$ segítségével. Így most nézzük meg $\bar{b}$ és $\bar{d}$ viszonyát.
Ehhez elég (40)-ből (42)-t kivonni, azaz

$$\bar{0} = \left(C_b^* - C_b \right) \bar{b} + \left(C_d^* - C_d \right) \bar{d} + \bar{c}_v^* - \bar{c}_v \,,$$

ami egyszerűbben legyen

$$\bar{0} = B\bar{b} + D\bar{d} + \bar{v} \,, \tag{43}$$

ahol értelemszerűen

$$B = C_b^* - C_b = \begin{bmatrix} \frac{2h_2}{3} - \gamma_1 & \frac{h_2}{3} - \gamma_2 & & & & \\ \frac{h_2}{3} & \frac{2(h_2+h_3)}{3} & \frac{h_3}{3} & & & \\ & \ddots & \ddots & \ddots & & \\ & & \frac{h_{n-1}}{3} & \frac{2(h_{n-1}+h_n)}{3} & \frac{h_n}{3} & \\ & & & \beta_1 + \frac{h_n}{3} & \beta_2 + \frac{2h_n}{3} \end{bmatrix},$$

$$D = C_d^* - C_d = \begin{bmatrix} \frac{1}{h_2} - \gamma_3 & -\frac{1}{h_2} - \gamma_4 & & & & \\ -\frac{1}{h_2} & \frac{1}{h_2} + \frac{1}{h_3} & -\frac{1}{h_3} & & & \\ & \ddots & \ddots & \ddots & & \\ & & -\frac{1}{h_{n-1}} & \frac{1}{h_{n-1}} + \frac{1}{h_n} & -\frac{1}{h_n} & \\ & & & -\frac{1}{h_n} & \beta_3 + \frac{1}{h_n} \end{bmatrix},$$

$$\bar{v} = \bar{c}_v^* - \bar{c}_v = \begin{bmatrix} -\gamma_5 \\ \\ \\ \beta_4 \end{bmatrix}.$$

(43) átalakításából

$$D\bar{d} = -B\bar{b} - \bar{v}\,, \tag{44}$$

így formálisan

$$\bar{d} = -D^{-1}B\bar{b} - D^{-1}\bar{v}\,, \tag{45}$$

amit éppen szerettünk volna, azaz $\bar{d}$ kifejezhető $\bar{b}$-vel. Ennek az is következménye, hogy (45) segítségével (38) és (42) egyenletekben $\bar{a}$ és $\bar{c}$ is kifejezhető $\bar{b}$-vel.

Megjegyzés: a (44)-ből (45)-be való áttérésnél szükség van D^{-1}-re, amit numerikusan érdemesebb a rövidített Gauss-eliminációval számolni, mivel D tridiagonális (ehhez pl. ld. Stoyan, Takó (1993**)** 71.o.).

A megmaradt (30) *i=3,...,n-1* egyenleteiből és (31)-(33)-ból összeállítjuk a következő mátrixegyenletet:

$$M_3\bar{a} + M_2\bar{b} + M_1\bar{c} + M_0\bar{d} = \bar{m}_v\,, \tag{46}$$

ahol

$$M_l = \begin{bmatrix} \mathrm{Y}_{3,1,l} & \mathrm{Y}_{3,2,l} & X_{3,l+3} & & \\ \vdots & \vdots & \ddots & \ddots & \\ \mathrm{Y}_{n-1,1,l} & \mathrm{Y}_{n-1,2,l} & \cdots & \mathrm{Y}_{n-1,n-2,l} & X_{n-1,l+3} \\ X_{1,l} & X_{2,l} & & \cdots & X_{n,l} \\ X_{1,l}^{*} & X_{2,l}^{*} & & \cdots & X_{n,l}^{*} \\ X_{1,l}^{**} & X_{2,l}^{**} & & \cdots & X_{n,l}^{**} \end{bmatrix},$$

$$X^{*}_{i,l} = X_{i,l+1} - x_i\, X_{i,l} \quad \text{és} \quad X^{**}_{i,l} = X_{i,l+2} - 2x_i\, X_{i,l+1} + x_i^2 X_{i,l}\ ,$$

minden $i=1,...,n$ jelölésekkel $l=0,1,2,3$ esetén, és

$$\overline{m} = \begin{bmatrix} F_{3,3} + \sum_{j=1}^{2}\left(3F_{j,2}\left[x_3 - x_2\right] + 3F_{j,1}\left[(x_3 - x_j)^2 - (x_2 - x_j)^2\right] + F_{j,0}\left[(x_3 - x_j)^3 - (x_2 - x_j)^3\right]\right) \\ F_{n-1,3} + \sum_{j=1}^{n-2}\left(3F_{j,2}\left[x_{n-1} - x_{n-2}\right] + 3F_{j,1}\left[(x_{n-1} - x_j)^2 - (x_{n-2} - x_j)^2\right] + F_{j,0}\left[(x_{n-1} - x_j)^3 - (x_{n-2} - x_j)^3\right]\right) \\ \sum_{i=1}^{n} F_{i,0} \\ \sum_{i=1}^{n}\left(F_{i,1} - x_i\, F_{i,0}\right) \\ \sum_{i=1}^{n}\left(F_{i,2} - 2x_i\, F_{i,1} + x_i^2 F_{i,0}\right) \end{bmatrix}.$$

(46)-ba beírva (38) és (42)-t

$$M_3\left(A_b\overline{b} + A_d\overline{d} + \overline{a}_v\right) + M_2\overline{b} + M_1\left(C_b\overline{b} + C_d\overline{d} + \overline{c}_v\right) = \overline{m}_v$$

$$\left(M_3A_b + M_2 + M_1C_b\right)\overline{b} + \left(M_3A_d + M_1C_d + M_0\right)\overline{d} + M_3\overline{a}_v + M_1\overline{c}_v = \overline{m}_v$$

majd (45)-t

$$\left(M_3A_b + M_2 + M_1C_b\right)\overline{b} + \left(M_3A_d + M_1C_d + M_0\right)\left(-D^{-1}B\overline{b} - D^{-1}\overline{v}\right) = \overline{m}_v - M_3\overline{a}_v - M_1\overline{c}_v\ ,$$

azaz

$$\left(M_3A_b + M_2 + M_1C_b - \left(M_3A_d + M_1C_d + M_0\right)D^{-1}B\right)\overline{b} = \\ = \overline{m}_v - M_3\overline{a}_v - M_1\overline{c}_v + \left(M_3A_d + M_1C_d + M_0\right)D^{-1}\overline{v} \quad , \tag{47}$$

amit írjunk egyszerűbben

$$L\overline{b} = \overline{w} \quad , \tag{48}$$

alakba, ahol L mátrix már nem ritka. (48) megoldásával megkapjuk $\overline{b}$ értékét, amiből (45) alapján $\overline{d}$, majd (38)-ból $\overline{a}$ és (42)-ből $\overline{c}$ kiszámítható, és ezáltal megkaptuk a kiegyenlítő spline-ok együtthatóit.

A gépi algoritmus

Az iterációs eljárás a következőképp zajlik:

1. alkalmasan megválasztjuk a p_{i_j}, i=1,...,n, j=1,...,n_i, kezdő súlyok értékét. Indításkor egységsúlyokat alkalmazunk.
2. kiszámítjuk (24),(25),(27),(29),(37) $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \alpha_4, \alpha_5$, (39) $\beta_1, \beta_2, \beta_3, \beta_4$, (41) $\gamma_1, \gamma_2, \gamma_3, \gamma_4, \gamma_5$ segédváltozók értékeit.
3. feltöltjük az $A_b, A_d, C_b, C_d, B, D, M_0, M_1, M_2, M_3$ mátrixokat és $\overline{a}_v, \overline{c}_v, \overline{v}, \overline{m}_v$ vektorokat.
4. kiszámítjuk (44)-ből $\overline{d}$ (45) alakját.
5. feltöltjük (47) és (48) L mátrixát és $\overline{w}$ vektorát.
6. megoldjuk az $L\overline{b} = \overline{w}$ lineáris egyenletrendszert.
7. 7. $\overline{b}$ segítségével (45) alapján $\overline{d}$ -t, majd (38)-ból $\overline{a}$ -t és (42)-ből $\overline{c}$ -t meghatározzuk.
8. ha a megállási feltétel teljesül leállunk, különben *g(x)* spline segítségével újra meghatározzuk a p_{i_j} súlyokat és visszaugrunk a 2. lépéshez.

Megjegyzések a 8. lépéshez:

- egy lehetséges megállási feltétel lehet, hogy kiszámítjuk a megadott pontok és a kapott spline-nak az eltéréseinek a négyzetösszegét (a *k.* iteráció esetén legyen ez S_k), és és az *1.* iterációs lépésben választunk egy rögzített $\varepsilon>0$ értéket, és emellett vizsgáljuk $\frac{|S_{k-1}-S_k|}{S_{k-1}}$ értékét.
- minél nagyobb az eltérés egy megadott (x_{i_j}, f_{i_j}) pontunk és a spline között, p_{i_j} értékét annál kisebbre ajánlatos választani. Például

$$p_{i_j}=\begin{cases}\dfrac{1}{|f_{i_j}-g_i(x_{i_j})|}, & ha \quad |f_{i_j}-g_i(x_{i_j})|>\varepsilon',\\ \dfrac{1}{\varepsilon'}, & ha \quad |f_{i_j}-g_i(x_{i_j})|\le\varepsilon',\end{cases}$$

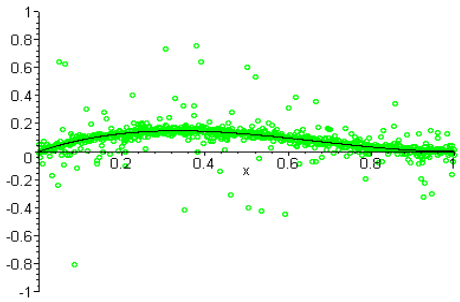
ahol $\varepsilon'>0$ elég kicsi szám.

Mintapélda

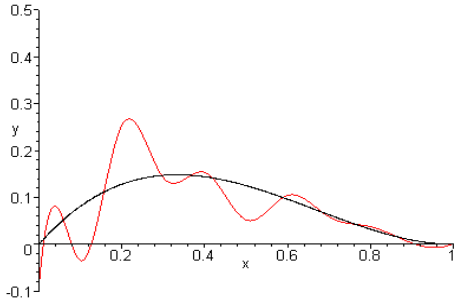
A megoldás gyakorlati alkalmazhatósága úgynevezett sztochasztikus szimuláció alkalmazásával lett tesztelve: egy ismert megoldásgörbét választunk, majd szennyezzük valamilyen normális vagy Cauchy-eloszlású valószínűségi változóval, és a szennyezett adatokon vizsgáljuk a módszerünk alkalmazhatóságát.

A mintafeladatban az $f(x)=x^3-2x^2+x$ függvényt szennyeztük Cauchy-féle eloszlás alapján. Az osztópontokat a [0,1] intervallum 1000 részre való ekvidisztáns felosztása alapján vettük fel, majd az adatokat 10 egyforma nagyságú csoportba soroltuk. Ezután a gépi algoritmusnak megfelelően MapleV Rel. 5 program segítségével lett az eredmény meghatározva.

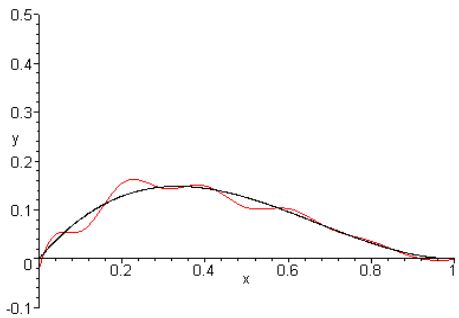
További mintapéldák találhatók a http://titanic.nyme.hu/~polgar weboldalon.



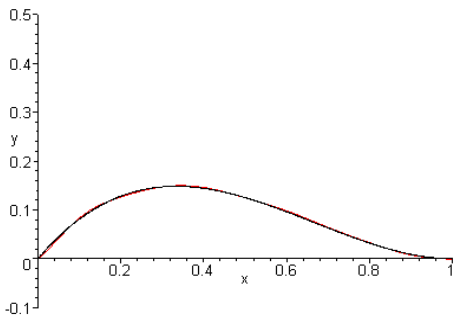
1. ábra. A szennyezett minta.



2. ábra. Az 1. iterációs lépés.



2. ábra. A 2. iterációs lépés.



2. ábra. Az iteráció vége (8. lépés).

Összefoglalás

A nagy számú adatmintára legjobban illeszkedő függvényt szakaszonként 3-ad fokú spline-approximációs polinommal modelleztük. A megoldás olyan 2-od rendben folytonosan differenciálható spline függvényt ad eredményül, amely a legkisebb négyzetek módszere alapján megadja a variációs feladat minimumát, és az adatokat a robosztus becsléseknél ismert módon közelíti.

A módszer újszerűsége abban áll, hogy szakaszonkénti approximációval globális kiegyenlítést végez, úgy hogy szakaszonként nagy számú adataink vannak. Az eddigi spline-approximációs módszerekkel ellentétben, ahol minden pont között felvettünk egy-egy harmadfokú polinomot, ebben az eljárásban az adott pontokat csoportokba rendezzük, és ezen csoportokon adott értelemben vett és adott feltételek mellett legjobb közelítést adó görbéket keressük olyan feltétellel, hogy globálisan is az adott pontjainkra a lehető legjobb közelítéssel bírjon.

Dinamikai jellemzők vizsgálatára a módszer alkalmazható -csak a helyzeti adatok felhasználásával- a sebességvektor és a gyorsulásvektor meghatározására.

A modellszámítások során szembetűnő a módszer gyors konvergenciája, és nem lép fel a Newton interpolációs eljárás esetén ismert nagy oszcilláció sem.

Hivatkozások

Sard A, Weintraub S (1971): A book of splines, *John Wiley and Sons*, Mc. New York.

Prvan T (1997): Smoothing splines with variable continuity properties and degree, *Appl. Math. Lett.*, 10:75(80, C1202, C1210.

Závoti J (2002): A spline interpoláció alkalmazása geodinamikai modellekben, *Geomatikai Közlemények* V, MTA GGKI, Sopron.

Stoyan G, Takó G (1993): Numerikus Módszerek 1. *ELTE-Typotex,* Budapest.

EGY ÚJ ADAPTÍV ALGORITMUS ALKALMAZÁSA INTERPOLÁCIÓS PROBLÉMÁK MEGOLDÁSÁRA

Feuer Gábor[*]

Application of a new adaptive algorithm for solving interpolation problems *- This paper contains a new numerical method, which seeks to obtain the best approximations of elements of a class of convex functions, supposing that the approximations should be based on the knowledge of the values of the function at n points, chosen by us. The method presupposes information about the derivatives at the two final points. Having the conditions of the optimization, our aim is to minimize (on an interval) the uncertainity, concerning the function values by computing simultaneously n new arguments in the interval, in order that, having at these points the values of the function, we could diminish over a given class as much as possible, the uncertainity concerning the graph of the function on the interval.*

Keywords: convex, smooth functions, optimal recovery schemes on a class of functions, approximation, optimization of adaptive algorithms, uncertainity concerning the graph of a function on an interval

Egy új adaptív algoritmus alkalmazása interpolációs problémák megoldására. A cikk egy új numerikus módszert tartalmaz, mely egy convex függvényosztály elemeinek legjobb közelítéseit hivatott megtalálni, feltételezve, hogy a közelítéseknek az általunk választott n függvénypont értékeinek ismeretén kell alapulnia. A módszer feltételezi, hogy előzetes információ áll rendelkezésünkre a két végpontbeli deriváltakról. Az optimalizáció feltételeinek ismeretében célunk a bizonytalanság minimalizálása (egy intervallumon) a függvényértékekre vonatkozóan. Az intervallumban n új argumentum számítása történik egyidejűleg azért, hogy ezen pontok függvényértékeinek ismeretében el tudjuk tüntetni a függvény gráfjának intervallumbeli bizonytalanságát, amennyire csak lehetséges egy adott osztályban.

Kulcsszavak: konvex, sima függvény, optimális visszaállítási eljárás egy függvényosztályban, közelítés, adaptív algoritmusok optimalizációja, függvény gráfjának bizonytalansága egy intervallumban

1. Bevezetés

A disszertáció témája zonális erdőtakaró klímamodellezéséhez kapcsolódik. E modellezési munka adott mintaterületre vonatkozó rácsháló digitális adatait használja. E digitális adatok egyenletesen, négyzetek sarkában helyezkednek el. Ezen adatok segítségével kapjuk tehát a modellezéshez szükséges információt. Kérdés, lehetséges-e kevesebb, másként elhelyezett rácsponttal ugyanezt az információmennyiséget megszerezni. E kérdésnek a megválaszolása további kutatást igényel, ami el - adaptív algoritmus alkalmazásához vezethet.

Jelen dolgozat a numerikus módszerek témakörében egy saját fejlesztésű geometriai módszert szeretne ismertetni. E módszer- szorosabb értelemben véve - a közelítő integrálás elméletéhez tartozik. Általánosan fogalmazva optimális alappont elhelyezést tüzünk ki célul adott intervallumon, sima függvények esetében, optimális visszakeresési séma figyelembe vételével *(Michelli CA et al. 1979)*. Az alapprobléma folytonos függvény közelítése adott inter-

vallumon. Az általánosság megszorítása nélkül megtehetjük, hogy a [0,1] intervallumon közelítünk. A függvényértékek adottak az intervallum két végpontjában. A függvény alakját az intervallum közbenső részén nem ismerjük. A függvény alakját a lehető legkevesebb mérési hely figyelembe vételével, a lehető legnagyobb pontossággal kívánjuk megismerni.
Tegyük fel, hogy egy $x_1, x_2, \ldots x_n$ alappontokban mért $f(x_1), f(x_2), \ldots f(x_n)$ közelítés (g) már rendelkezésünkre áll. Olyan visszakeresési sémát szeretnénk megadni, mely adott kritériumot figyelembe véve optimális közelítést ad. Az $n + 1$ -edik lépésben erre a visszakeresési sémára meghatározhatunk egy $const_R$ konstans értéket, melyre

$$\|g - Rg\| < const_R \|D^k g\|$$

tetszőleges olyan g függvényt tekintve, melyre

$$\|f\| := sup_{x(1)<x<x(n+1)} |f(x)|$$

Az optimális R visszakeresési séma kiválasztásánál a $const_R$ értéket minimalizáljuk.
E geometriai módszer kezdeti feltételeit tekintve az interpoláció elméletének legismertebb módszerei közül a Hermite-interpolációval, mint a Lagrange-interpoláció feladatának általánosításával mutat némi hasonlóságot.

Legyenek tehát $x_1, x_2, \ldots x_n$ és valamennyi alappont esetére adjunk meg egy vagy több további értéket:

$$y_k^{(0)}, y_k^{(1)}, y_k^{(2)}, \ldots, y_k^{(\alpha_k - 1)} \qquad (1 < k < n) .$$

Keressünk olyan (minél alacsonyabb fokú) polinomot, amelynek l-edik deriváltja az x_k helyen az adott

$y_k^{(l)}(1 < k < n), (1 < l < (\alpha_k - 1))$ értékkel egyezik meg.

Amint ez a Lagrange-interpoláció esetében is közismert, bizonyítható, hogy létezik éspedig egyetlen, a feltételeket kielégítő legfeljebb

$\sum_{k=1}^{n} \alpha_{k-1}$ -edfokú polinom, és ez a

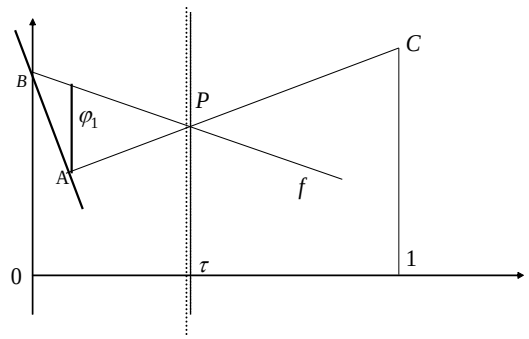
$p(x) = \sum_{k=1}^{n} \sum_{i=0}^{\alpha_k - 1} y_k^{(l)} H_{kl}(x)$ alakban írható fel . Itt a H_{kl} függvénnyel a

$H_{kl}(x) = \begin{cases} 1 & \text{ha } i = l, j = k \\ 0 & \text{egyébként} \end{cases}$ feltételnek eleget tevő pontosan $\sum_{k=1}^{n} \alpha_k - 1$ -edfokú polinomot vizsgáljuk.

A most ismertetésre kerülő geometriai módszer -a fent említett Hermite féle interpolációhoz hasonlóan - a mérési helyeken a mért értékeket, illetve ezek deriváltjait felhasználva optimalizál, majd ennek alapján jelöl ki újabb közbenső mérési helyet. Különbözik viszont e geometriai módszer az előbb említett interpolációtól annyiban, hogy közbenső mérési hely kijelölésénél a függvény alakjára vonatkozó bizonytalanságot optimalizálja a függvény alakjára vonatkozó konvexitás feltételezése mellett.

Általában véve e módszer feltételezi, hogy az adott függvény értékeit N számú, általunk meghatározható pontokban ismerjük. A két végpontban feltételezzük a deriváltak ismeretét is. Mindezek ismeretében célunk, hogy a konvex függvénynek (adott intervallumot tekintve) az ismeretlen függvényértékű pontjaira vonatkozó bizonytalanságot minimalizáljuk és ilyen feltétel mellett határozzunk meg n olyan újabb mérési helyet, melyekhez tartozó függvényértékek segítségével a lehető legnagyobb mértékben csökkentjük a konvex függvény alakjára vonatkozó bizonytalanságot.

Tekintsük most azt az esetet, amikor a két adott pont közötti intervallumban egy-egy mérési helyet kell optimálisan meghatározni.



1. ábra. Függvény gráfjának közelítése adott intervallumon, mérési helyeken felvett mértékek segítségével, konvexitást feltételezve.

A konvex függvény gráfja az ABP háromszögben helyezkedik el.

A konvexitás feltételéből következik, hogy a függvény gráfja a két végpontot és a mért értéket összekötő törtvonal fölött nem helyezkedhet el. Ehhez hasonlóan belátható, hogy a függvény nem vehet fel értéket sem az érintők, sem pedig a mért függvényértékhez húzott törtvonal mindkét oldali meghosszabbítása alatt. Így bizonyosak lehetünk abban, hogy a szóban forgó konvex függvény - a mért érték mindkét oldalán - az ADP, CDP háromszögek területén belül veszi fel értékét. (1. ábra).

Célszerű tehát a mérési helyet úgy megválasztani, hogy a keletkező háromszögek a lehető legkisebb bizonytalanságot tartalmazzák a függvény alakjára vonatkozóan. Ehhez azonban mérnünk kell ezt a bizonytalanságot.

Legyen ez a mérőszám a függvényértékek maximálisan lehetséges eltérése. Jelöljük a jobb oldali, illetve bal oldali maximális lehetséges eltérést az optimális mérési hely függvényében $\varphi_1(t)$ -vel, illetve $\varphi_2(t)$ -vel. A legkisebb bizonytalanságot - a konvex függvény alakjára vonatkozóan - olyan mérési hely mellett kapjuk, melyre

$$\varphi_1(t) = \varphi_2(t) = inf\, max(\varphi_1, \varphi_2) .$$

1.1. Lemma

Optimális megoldás n = 1 esetben annál a mérési helynél lesz, melynél a két maximális lehetséges eltérés egyenlő.

1.2. Bizonyítás

Ha a mért értéket rögzítjük, akkor mindkét oldalon a maximális lehetséges eltérés a mérési hely függvényében folytonosan változik. A mérési helyet balról jobbra változtatva a jobb oldali maximális lehetséges eltérés és a mérési hely összefüggését leíró függvényt φ_1-gyel, a jobb oldaliét pedig φ-vel. Keressük meg most az optimális mérési hely feltételének megfelelő $inf\, max(\varphi_1, \varphi_2)$ pontot. Mivel φ_1, és φ_2 egyaránt folytonos az adott [0,1] intervallumon, ami egyben azt is jelenti ,hogy $0 \le \varphi_1 \le M_1$, és $0 \le \varphi_2 \le M_2$ mellett létezik olyan mérési hely az adott intervallumon, melyre a $max(\varphi_1, \varphi_2)$ függvénynek minimuma van. A minimum unicitását φ_1 monoton csökkenő és φ_2 monoton növekvő volta biztosítja. Tehát létezik olyan t optimális mérési hely, melyre $\varphi_1(t) = \varphi_2(t) = inf\, max(\varphi_1, \varphi_2)$. Optimális megoldás annál a mérési helynél lesz, ahol a két maximális lehetséges eltérés egyenlő.

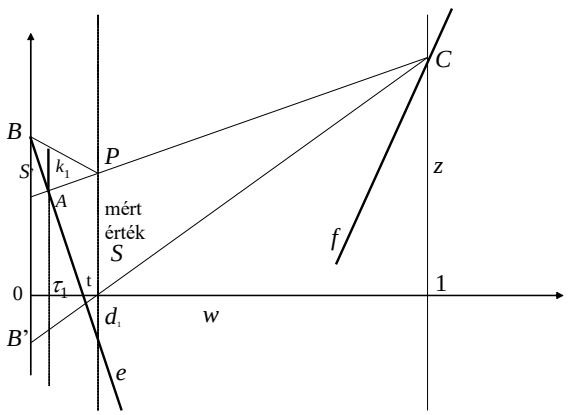
Ez lényegesen egyszerűsíti a problémát, hiszen ezek után nem kell mást tenni, mint mindkét oldalon megadni a maximális lehetséges eltéréseket a mért érték függvényében, az így kapott függvények maximumát kiszámítani, majd - behelyettesítés után - az így már csak a mérési helytől függő két függvényt egyenlővé tenni. Az egyenlet megoldása által $n = 1$ esetre optimális mérési helyet kapunk.

2. Optimális mérési hely meghatározás $n = 1$ esetben

Adott tehát egy olyan feladat, melyben egy konvex függvény értéke és deriváltja két adott pontban ismert. A feladat olyan $t \in [0,1]$ mérési hely meghatározása, ahol a kétoldali maximális eltérés nagyobbika minimális lesz.

Először ehhez meg kell határozni a mért érték és a maximális lehetséges eltérések közötti függvénykapcsolatokat. A függvénykapcsolatok meghatározása két lépésben történik, először a bal oldali, majd a jobb oldali függvénykapcsolatot határozzuk meg.

2.1. A bal oldali maximális eltérés és a mért érték függvénykapcsolatának meghatározása



2. ábra. A bal oldali maximális eltérés és a mért érték függvénykapcsolatának meghatározása.

A 2. ábra szemléletessé teszi mindazokat a megfontolásokat, melyek alapján a bal oldali maximális eltérés és a mért érték közötti függvénykapcsolatot meghatároztuk. A függvény értéke a [0,1] intervallum két végpontjában ismert. A 0 és 1 közé eső mérési helyet az ábrán t-vel jelöltük. A t mérési hely magasságában felvett mért értéket S jelöli. A függvény és C pontbeli meredekségét, vagyis deriváltját az e és f egyenesek reprezentálják. A maximális lehetséges eltérést k_1, a magasságában felvett mérési helyet pedig τ_1 mutatja.

Az ábráról látható, hogy S (a mért érték) és k_1 (a maximális lehetséges eltérés) hasonlósági transzformáció segítségével egymásba átvihető. Ha az S-sel jelöltszakaszt a C pontból a τ_1-gyel és A-val meghatározott síkra vetítjük, akkor már könnyen látható, hogy S és k_1 egymásba eltolás és nyújtás segítségével transzformálható. Ennek az átvitelnek a segítségével állíthatók elő a következő összefüggések.

Ha S'–t, mint k_1 -nek a P pontra vonatkoztatott vetületét vesszük, akkor

$$\frac{k_1}{S'} = \frac{t - \tau_1}{t} \ . \tag{2.1}$$

A 2. ábráról leolvasható, hogy

$$\frac{S'}{S+d_1}=\frac{\tau_1}{t-\tau_1}\ . \tag{2.2}$$

Mivel S és S' között szintén hasonlósági transzformáció írja le a kapcsolatot S-t az A pontra vonatkozóan középpontosan tükrözzük).

$$S'=g-c_1S_1\ , \tag{2.3}$$

ahol

$$c_1=\frac{1}{1-t}\quad \text{és}\quad g=BB'\ .$$

Ezen három összefüggés figyelembevételével egyszerű számolással adódik a következő függvény

$$k_1=\frac{(g-c_1S)(S+d_1)}{g-S(1-c_1)+d_1}\ . \tag{2.4}$$

Először meg kell határozni S-nek azt az értékét, melynél a legnagyobb maximális eltérés (k_1 érték) jelentkezik. Ezt (2.4) S-re vonatkozó szélsőértékének megállapításával kaphatjuk meg. Mielőtt azonban a konkrét számításhoz hozzáfognánk, néhány átalakítást kell elvégezni a kapott lineáris törtfüggvényen. Az átalakítás azért szükséges, mert noha a kiszámított lineáris törtfüggvény a mért értéket nézve egyértelmű, a mérési helyet tekintetbe véve a függvény jelenlegi alakja tartalmaz olyan paramétereket, melyek ennek függvényében változnak (d és g paraméter). Fejezzük ki ezeket t függvényében, majd helyettesítsünk vissza. A függvény alakja a következőképpen módosul:

$$k_1=\frac{\left(h+\frac{zt}{w-t}-\frac{1}{1-t}S\right)S}{h+\frac{zt}{w-t}+S\left(1-\frac{1}{1-t}\right)+|at+b|}+\frac{|at+b|}{t}\qquad (OB=h) \tag{2.5}$$

Az így kapott függvényt helyettesítéssel a következő egyszerűbb alakra hozhatjuk

$$k_1\frac{\alpha S-\beta S^2}{\alpha+(1-\beta)S+\gamma t} \tag{2.6}$$

ahol

$$\alpha=h+\frac{zt}{w-t}\ ,\quad \beta=\frac{1}{1-t}\ ,\quad \gamma=\frac{at+b}{t}\ .$$

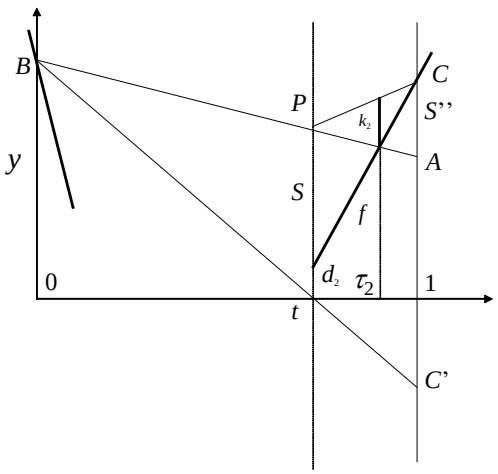
Habár a függvény alakja így lényegesen egyszerűbb a legnagyobb maximális eltérést előidéző mért értékre kissé bonyolult eredmény adódik:

$$S_{1,2}=\frac{-2\beta(\alpha+\gamma t)+\sqrt{4\beta^2(\alpha+\gamma t)^2+4\alpha(1-\beta)(\alpha+\gamma t)}}{2\beta(1-\beta)} \tag{2.7}$$

(A függvény, melynek zérushelyeit megkaptuk, olyan alakú racionális törtfüggvény, amely minimumát a + jelhez tartozó gyöknél veszi fel.)

Megkaptuk tehát azt a mért értéket (függvényértéket), amelynél baloldalon a konvex függvény gráfjára vonatkozó bizonytalanság a legnagyobb.

2.2. *A jobb oldali maximális eltérés és a mért érték függvénykapcsolatának meghatározása*



3. ábra. A jobb oldali maximális eltérés és a mért érték függvénykapcsolatának meghatározása.

A 3. ábrából kitűnik, hogy a jobb oldali függvénykapcsolat meghatározásának menete nem különbözhet sokban a bal oldaliétól, mindössze a paraméterben van eltérés. Az ábra alapján a következő összefüggések írhatók fel:

$$\frac{k_2}{S''} = \frac{\tau_2 - t}{1 - t} \;,\ldots \frac{S''}{S + d_2} = \frac{1 - \tau_2}{\tau_2 - t} \;, \tag{2.8}$$

$$S'' = m - c_2 S \;, \quad c_2 = \frac{1}{t} \;, \quad CC' = m \;.$$

Ezekből az összefüggésekből a maximális eltérésre, mint függő változóra és a mért értékre, mint független változóra a következő függvény adódik:

$$k_2 = \frac{S\left(m - c_2 d_2\right) - \frac{1}{t} S^2 + m d_2}{m + S\left(1 - c_2\right) + d_2} \;. \tag{2.9}$$

Helyettesítés segítségével a következő egyszerűbb alak adódik:

$$k_2 = \frac{\delta S - \frac{1}{t} S^2}{\left(1 - \frac{1}{t}\right) S + \delta + \varphi} \;, \tag{2.10}$$

ahol

$$\delta = \frac{y}{t} + y - \frac{1}{t}\left|et + f\right| \ , \quad \text{és} \quad \zeta = \left(1 + \frac{1}{t}\right)\left|et + f\right| \ .$$

A függvény átalakítása során a mért értéktől nem függő paraméterek, melyek a mérési helyet tekintve változók, *t* függvényében lettek kifejezve. Az előbb felirt függvényalak segítségével a legnagyobb maximális eltéréshez tartozó mért érték már könnyen meghatározható:

$$S_{1,2} = \frac{\frac{2}{t}(\delta + \zeta) + \sqrt{\frac{4}{t^2}(\delta + \varphi)t^2 + 4\delta^2(1 - \varphi)\beta}}{-\frac{2}{t}\beta} \ . \tag{2.11}$$

Megkaptuk tehát mindkét oldalon a legnagyobb maximális eltéréshez tartozó mért értéket. Nyilvánvaló, hogy ezek a mért értékek általában nem egyeznek meg. Bizonyítható viszont (1.1. Lemma), hogy a mérési hely akkor optimális, ha a két oldalon vett legnagyobb maximális eltérés megegyezik. Helyettesítsük tehát vissza mindkét oldali függvénynél a legnagyobb maximális lehetséges eltérést.

A két függvényt egyenlővé téve, az egyenletet megoldva megkapjuk az optimális mérési helyet.

Írjuk fel most az egyenletet:

$$(\alpha - \beta K)K + \gamma = \frac{L\delta - L}{\frac{y_1}{t} + y_1 + \eta L + \left|et + f\right|} \ , \tag{2.12}$$

ahol,

$$\alpha = h + \frac{zt}{w - t} \ , \quad \beta = \frac{1}{1 - t} \ , \quad \gamma = \frac{\left|at + b\right|}{t} \ , \quad \delta = \frac{y}{t} + y - \frac{1}{t}\left|et + f\right| \ , \quad \eta = 1 - \frac{1}{t}$$

$$\zeta = 1 + \frac{1}{t}\left|et + f\right| \ , \quad K = \frac{-2\beta(\alpha + \gamma) + \sqrt{4\beta^2(\alpha + \gamma)^2 + 4\alpha\beta(1 - \beta)(\alpha + \gamma)}}{2\beta(1 - \beta)} \ ,$$

$$L = \frac{\frac{2}{t}(\delta + \zeta) + \sqrt{\frac{4}{t^2}(\delta + \zeta)^2 + 4\delta^2(1 - \zeta)\frac{1}{t}\eta}}{-\frac{2}{t}\eta} \ .$$

Bár az egyenlet meglehetősen bonyolult t-n kívül más ismeretlent nem tartalmaz és így az optimális mérési hely már meghatározható.

3. Optimális mérési hely meghatározása *n* = 2 esetben

A számolás jelen esetben is és tetszőlegesen nagy n esetén is a különböző (τ_i, τ_{i+1}) részintervallumokon realizálódó legnagyobb maximális eltérések egyenlőségén alapul. Ha ennek a feltételnek megfelelően helyezünk el adott számú mérési helyet, akkor az intervallum két végpontjában ismert konvex függvényről a mérési helyek számát tekintve maximális információt szerzünk. (Feltéve, hogy a méréseket egyszerre végezzük, tehát passzív algoritmusról van szó.)

3.1. Lemma

Optimális megoldás tetszőleges *n* esetén a mérési helyek olyan eloszlása mellett létezik, amely mellett a részintervallumokra vonatkozó maximális lehetséges eltérések egyenlők. (Optimális pontelhelyezés létezése a 3.2. lemmából következik.)

3.2. Bizonyítás

Tekintsünk egy tetszőleges (*a, b*) intervallumot, amelyen a mérési helyek $(\tau_1, \tau_2, ..., \tau_n)$ pontokban helyezkednek el. Nézzük meg, hogy két szomszédos mérési hely elhelyezkedésétől (τ_1, τ_{i+1}) hogyan függnek a maximális lehetséges eltérések φ_i-k.

Tegyük fel az 1.1. lemma alapján, hogy $n = 1$ esetben van egy olyan τ optimális mérési hely, hogy $\varphi_1(\tau) = \varphi_2(\tau) = inf\, max(\varphi_1, \varphi_2)$. Tekintsünk most $n = 2$ esetben egy [*a, b*] intervallumot, amelyen két mérési helyet (τ_1, τ_2) kell optimális elhelyeznünk. Rögzítsük először τ_1-et és ezen feltétel mellett adjuk meg τ_2 optimális értékét. Az 1.1. lemma alapján

$$max\{max[\varphi_1(a, \tau_1), \varphi_2(\tau_1, \tau_2)], \varphi_3(\tau_2 b)\}$$

akkor lesz minimális τ_2 szerint, ha

$$max[\varphi_1(a, \tau_1), \varphi_2(\tau_1, \tau_2)], \varphi_3(\tau_2 b)\,. \tag{3.1}$$

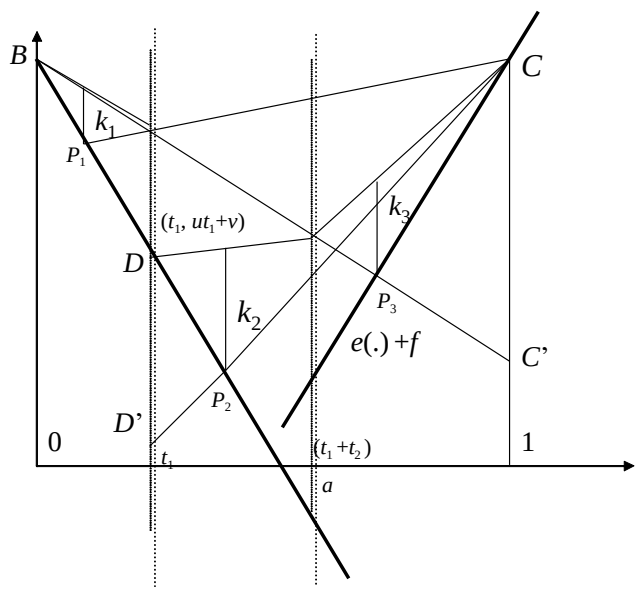
Ha τ_2-t rögzítjük, akkor szintén az 1.1. lemma alapján

$$max\{max[\varphi_2(\tau_1, \tau_2), \varphi_3(\tau_2 b)], \varphi_1(a, \tau_1)\}$$

akkor lesz minimális, ha

$$max[\varphi_2(\tau_1, \tau_2), \varphi_3(\tau_2 b)] = \varphi_1(a, \tau_1) \tag{3.2}$$

(3.1)-ből és a (3.2)-ből már a lemma állítása közvetlenül következik, tehát beláttuk, hogy a mérési helyek optimális elhelyezéséhez a részintervallumokra vonatkozó maximális lehetséges eltérések egyenlősége szükséges.



4. ábra. Optimális mérési hely meghatározása *n* = 2 esetben.

Az $n = 2$ eset lényegében megegyezik az előbbi esettel, csupán a közbülső $[t_1, (t_1 + t_2)]$ intervallum maximális lehetséges eltérésének értelmezése más. Az eltérés nyilván akkor maximális, ha a t_1 és $(t_1 + t_2)$ pontokban vett mért értékek egyenlők. Ezen mért értékek együttes csökkentésével a maximális lehetséges eltérés növekszik. Így viszont feltétlenül elérünk az érintők egyikéhez, amely alá a feltételek értelmében a mért érték nem csökkenhet. Így a $[t_1, (t_1 + t_2)]$ intervallum két végpontjában felvett mért érték közül az egyiknek feltétlenül az érintő határegyenesek közé kell esni az optimalizálás során.

A korábban tárgyalt két ábra összefüggései alapján $n = 2$ esetre a legnagyobb maximális lehetséges eltérések és a mért értékek között a következő függvénykapcsolatok állíthatók fel:

$$k_1 = \frac{(g - c_1 S_1) S_1}{g - S_1(1 - c_1) + a} + \frac{a}{t_1} \qquad BB' = g \ , \tag{3.3}$$

ahol

$$a = |ut_1 + v| \ , \quad c_1 = \frac{1}{1 - t_1} \ , \quad g = h + \frac{z t_1}{1 - t_1} \ , \qquad OB = h \ ,$$

$$k_2 = \frac{(n - c_2 S_2)}{n - S_2(1 - c_2 + b)} + \frac{b}{t_1 + t_2} \ .$$

Ahol

$$n = ut_1 + v + y_0 + (y_0 - t_1 - t_2)(t_1 - 1) \ , \quad DD' = n \ , \quad c_2 = \frac{1}{1 - t_1 - t_2} \ ,$$

$$b = u(t_1 + t_2) + v \ , \qquad k_3 = \frac{S_3(m - c_3 d) - c_3 S_3 + md}{m + S_3(1 - c_3) + b} \qquad CC' = m \ .$$

Ahol

$$c_3 = \frac{1}{t_1 + t_2} \ , \quad b = e(t_1 + t_2) + f \ , \quad m = y_0 + u + v \ .$$

A fenti függvények szélsőértékét S_1-re, S_2-re és S_3-ra meg kell határozni, majd behelyettesítés után a 3.1. lemma alapján a maximális eltérések egyenlőségét feltételezve a két ismeretlent tartalmazó egyenletrendszert megoldani.

3.3. Lemma

A (3.3) alatti rendszernek mindig létezik megoldása.

3.4. Bizonyítás

Az egyenlet megoldása olyan t_1 és $(t_1 + t_2)$ értékek mellett létezik, amelyek mellett a maximális lehetséges eltérések egyenlők. Az 1.1. és 3.1. lemmánál már láttuk, hogy mivel a maximális lehetséges eltérések t_1-nek, illetve $(t_1 + t_2)$-nek monoton és folytonos függvényei, léteznek olyan t_1 és $(t_1 + t_2)$ értékek, melyek kielégítik a (3.3) egyenletrendszert, mivel az egyenletek felállítása a maximális eltérések egyenlőségén alapul.

Hivatkozások

Blahut RE (1983): Theory and Practice of Error Control Codes. *Addison-Wesley*

Boor C De (1977): Computational aspects of optimal recovery. Optimal Estimation in Approximation Theory, CA. Michelli & TJ Rivlin eds, *Plenum Publ*. New York, 69-91.

Butcher IG (1965): A Modified Method for the numerical integration of ordinary differential equation. *J. Assoc. Comput. Mach*, 12; 1, 124-135.

Cheney EW (1966): Introduction to approximation Theory. *McGraw-Hill*, NewYork.

Distefano GP (1985): Conses of instabilities in numerical integration techniques. *J. Assoc. Comput. Mach*. 12; 1, 124-185.

Feuer G, Molnar S, Szidarovszky F (1982): An Adaptive Numerical Method for Approximating Convex Functions and its Application in Mining Industry. *Systems and Industrial Engineering Department Ubiversity of Arizona*, Tucson.

Gaier D (1974): Ableitungsfreie Abschatzungen bei trigonometrischer Interpolation und konjugiertenbestimmung. *Computing* 12, 145-148.

Geoffrey PW, Powell MJD (1976):"Optimal interpolation in Numerical Analysis, G. A. Watson ed. *Lecture Notes in Mathematics, Springer Verlag*, 506, 90 –99.

Henrici P (1979): Barycentric formulas for interpolating trignometric polynomials and their conjugates. *Numer. Math*. 33, 225-234.

Lanczos C (1956): Applied analysis, *Prentice Hall*, London.

Luby M (1986): A simple parallel algorithm for the maximal independent set problem SIAM. *J. Comp*. 15; 4, 1036-1053.

Lunch NA (1981): Upper bounds for static resource allocations in a distributed system. *J. Computer System Sci*. 29; 2, 254-278.

Michelli CA, Rivlin J, Winograd S (1979): "The optimal recovery of smooth function". *Numerische Mathematik* 26, 191-200.

Nowak E, Petras K (1994): Opt. stochastic quadrature formulas for convex functions BIT 34, 288-294.

Nowak E (1995): The adaptation problem of nonsymmetric convex sets. *Journal of Approximation Theory* 82, 123-134.

Nowak E, Ritter K (1996): High dimensional integration of smooth functions over cubes. *Numerische Mathematik* 75, 79 - 97.

Nowak E, Ritter K, Steinhauer A (1999): On an interpolatory method for high dimensional integration. J. *Comput. Appl. Math*. 112, 215-228.

Nowak E, Cools R (2000): Spherical product algorithms and the integration of smooth functions with one singular point. July, SIAM J. *Numerical Analysis*, 39, 1132-1145.

Reeken AJVan (1962): Dealing with Neely's algorithms. *Comm.ACM* 11, 149-150.

Tukey JW (1976): An introduction to the calculation of numerical spektrum analysis. *John Wiley*, New York.

Yonping L (1995): Optimal recovery of class of smooth functions defined on the whole real axis by manifold sampling. *Acta Mathematica Sinica*.

Viterbi AJ (1995): Cdma Principles of Spread Spektrum Communication. *Addisen Wesley*.

Wilkinson JH, Reinsch C (1971): Linear Algebra, Handbook for automatic computation, II. *Springer*, Berlin.