

MIKROHULLÁMÚ TÁVÉRZÉKELT ADATOK INTEGRÁLÁSA A FELSZÍNVIZSGÁLATOKBA

(Radar-interferometria alkalmazása a felszín deformáció kimutatására.)

A doktori értekezés tézisei

Petrik Ottó

Eötvös Lóránd Tudományegyetem, Természettudományi Kar

Földtudományi Doktori Iskola

Doktori Iskola vezetője: Dr. Monostori Miklós egyetemi tanár

Témavezető: Dr. Ferencz Csaba egyetemi magántanár

Budapest

2007

Bevezetés

A XX. század földtudományi felismerései (pl. lemeztektonika), valamint a muszer és mérés technika rohamos fejlődése hatására a geodéziában a korábbi statikus szemléletet felváltotta a dinamikai szemlélet, az ismételt mérések során pedig felmerült a mérési hibák és a geodinamikai folyamatok különválasztásának lehetősége. A vizsgálatok során aztán általában külön szokták választani a Föld felszínével párhuzamos vízszintes (horizontális) és az erre merőleges, függőleges (vertikális) irányú felszínmozgásokat, mert mérés technikailag ezt a két összetevőt közvetlenül is meg lehet határozni.

Magyarország esetében a vízszintes kéregmozgást a GPS mérések alapján határozzák meg, míg a jelenkori függőleges mozgásvizsgálatok ismételt szintezések alapján készültek, melyek közül az első (Bendefy-féle szintezés) 1949-67 között, míg a második (0-ad rendű szintezés) 1975-79 között zajlott, így átfogott időtartam 13-27 évnél adódik.

Kézenfekvő a kérdés: az azóta eltelt idő alatt módosult-e a függőleges felszínmozgás?

A standard monitorozó technikák használatával a deformálódó felszín egyedi pontjaiban pontosan és szabatosan megkapható a hely és sebesség információ. Azonban ez a technika drága és specializált műszerek használatát igényli, ráadásul a monitorozó rendszer kiépítése és működtetése fáradságos és további pénzbe kerül. Így az olyan távérzékelési technikák, mint a műholdas radar interferometria alkalmazása olcsó és kevésbé munkaigényes alternatívát jelenthet.

A képalkotó radarok civil alkalmazásának kutatása az 1978-ban a SEASAT műhold felbocsátásakor gyorsult fel, a radar-urfvételek rohamos elterjedése azonban csak az 1990-es évekre tehető. A képalkotó radarok sajátossága, hogy a jelek vételénél nemcsak a futási időt és amplitúdót rögzítik, hanem a terepelemekről (pixelekről) beérkező jel és a fedélzeti referencijel fáziskülönbségét is. Amikor a sugárzás a felszínelemről (pixel) visszaverődik, akkor a felszínelemen elhelyezkedő elemi szórópontok összesített jeleként (szuperpozíciójaként) jelenik meg. Az egyedi pixel fázisa egy a pixelre jellemző és egy a szenzor és a pixel közötti távolságtól függő részből tevődik össze. A fázis pixelre jellemző része nem becsülhető.

A radarfelvételeket komplex formában szokás tárolni, a komplex érték valós része adja a pixel intenzitását (amplitúdóját), a képzetes része pedig a pixel fázisát. A különböző helyzetben és/vagy időben rögzített komplex - amplitúdó és fázis - képek kombinációja adja a radar interferometriát. Az interferogram amplitúdója a két kép amplitúdójának szorzata, az interferogram fázisa pedig a két kép fázisának különbsége lesz. A kép-pár egyező pontjaira az eredmény-interferogram hullámhossz alatti pontossággal teszi lehetővé a radar és a felszín közötti kis távolság különbségek meghatározását.

Az interferogram fázisa az alábbi komponensekből áll össze: a referencia felszín, a domborzat, a felszínen történt elmozdulás (pontosabban annak muhold-irányú komponense), az atmoszféra (páratartalom, hőmérséklet, nyomás) hozzájárulása, illetve a zaj.

A referencia felszín hatásának eltávolítása után - az atmoszféra hatás és a zaj minimalizálása mellett -, két irányban lehet folytatni az interferogram feldolgozását: vagy domborzat modellt állítunk elő, vagy külső domborzatmodell (DTM) bevonásával a felszín – muhold irányú – elmozdulását határozzuk meg. A mozgásvizsgálat értelemszerűen a második módszer.

A radar-interferometria alapján véve abban különbözik az optikai interferometriától, hogy a komplex jelben a fázis közvetlenül mérhető. Az optikai interferometriában (ahol az intenzitást rögzítik) a fázis információ csak közvetve hozzáférhető az építő (összeadó) és romboló (kioltó) interferencia minták mérésével (a világos és a sötét gyűrűk távolsága).

A munka célkitűzései

A radar-interferometria magyarországi alkalmazhatósági vizsgálatára 2003-ban kutatási munkacsoportot alakítottunk a Földmérési és Távérzékelési Intézetben (FÖMI) belül dr. Grenczy Gyula (Kozmikus Geodéziai Observatórium, KGO) vezetésével, így a KGO és a Távérzékelési központ (TK) tapasztalatait is egyesíteni tudtuk.

Vizsgálatainkhoz olyan területet kerestünk, ahol belátható időn belül kimutathatók a változások és meghatározható ezek tendenciája. Ennek megfelelően választásunk Debrecen környékére esett, ahol valószínűleg a víz kivétel miatt a szokásosnál jobban kompaktálódik a felszín. A süllyedés mértéke a hagyományos szintezéssel meghatározva a 6-7 mm/év értéket éri el. (Joó, I. „The National Map of Vertical Movements of Hungary”, 1995). Ezt a mozgást terveztem kimutatni és nagyságát meghatározni.

A területen a nehézségi gyorsulás időbeli változását mérő hálózat működik, amelyen 1988 óta folynak mérések. A graviméteres mérések kiegészítésére lokális GPS geodinamikai hálózatot alakítottak ki, amelyen 2000-tól kezdve két évente folynak mérések. A mérési sorozatok eredményei rendelkezésemre állnak.

Komplex összehasonlítást terveztem a muholdradar-interferometria, a GPS, a szabatos szintezés és graviméteres technikák és eredményeik között.

A vizsgálathoz az ERS muholdak 365. pályáján a 2655. számú keretet választottam.

Alkalmazott módszerek

Alapos tájékozódás után a DEOS (Delft Institute for Earth-Oriented Space Research, Delft University of Technology) **Doris** (Delft Object-oriented Radar Interferometric Software) nevű kutatási célra szabad felhasználású feldolgozó szoftverét választottam (Linux operációs rendszerben). Az elokészítésben és értékelésben a FÖMI TK-ban meglévő térinformatikai szoftvereket (ERDAS Imagine, ESRI ArcInfo / ArcView) használtam.

A feldolgozáshoz két részletben összesen 40 képet szereztünk be, így a lefedett időszak 1992. április – 2002. október közötti. A felvételek kiválasztása gondos elemzés után a következő szempontok alapján történt: (i) egyenletes időbeli eloszlás, (ii) lehetőleg azonos vegetációs időszak, (iii) hasonló légköri helyzet (meteorológia adatbázis alapján), (iv) minimális meroleges bázisvonal távolság (ESA adatbank alapján).

Az ERS-2 műhold giroszkópjainak egymás utáni meghibásodása miatt 2000 februárja után már nem minden felvétel alkalmas interferométeres kép készítésre. 2001 januárjában az utolsó giroszkóp is leállt (a műhold úgynevezett „Zero Gyro” módban működik), az azóta eltelt időben gyakorlatilag nem készült interferometriára használható ERS-2 felvétel. Ennek megfelelően 2001. januárjában kell meghúzni a vizsgált időszak végét.

A deformációk interferométeres feldolgozása az alábbi lépésekből áll:

- képpár elokészítése,
- a radarképek fedésbe hozása,
- interferogram és koherencia generálása,
- a fáziskép szurése,
- topografikus korrekció,
- geokódolás.

A képek elokészítése során kiválasztjuk a vizsgált területet, meghatározzuk az urfelvételhez tartozó pontos pályát, és a nyers adatokból kivágatokat készítünk a feldolgozó szoftver (Doris) formátumában.

A fedésbe-hozás első lépéseként a pontos pályaadatok alapján közelítő egyezésbe kell kerülniük a képeknek, aztán autokorrelációs technikával meghatározzuk azt az eltolást, amely elször 1 pixel pontossággal, majd pixel alatti (pl.: 1/8 pixel) pontossággal fedésbe hozza a képeket. A következő lépés a különböző műholdpályák esetén szükséges forgatás meghatározása. Végül a második képet a meghatározott eltolással és forgatással transzformáljuk, így a két kép pixel alatti pontossággal fedésbe kerül.

A következő lépés a komplex interferogram számítása, azonban ez csak a referenciatérkép hatásának eltávolítása után lesz használható. A koherencia kiszámítása után kapott térkép nem csak az interferometriai fázis pontosságát jelzi az adott helyen, hanem alkalmas a biomasszában bekövetkezett változás kimutatására is.

A fázisban lévő zaj csökkentésének egyik módszere a fáziskép szűrése. Számos algoritmus létezik ilyen szűrés végrehajtására mind tér-, mind térfrekvencia tartományban. A szűrés alkalmazásának előnye, hogy a térbeli felbontást nem rontja, azonban megváltoztatja az interferogram szerkezetét. A vizsgálatban a Goldstein adaptív szűrést használtam.

A domborzat hatásának eltávolítása után úgynevezett differenciális interferogramot (DI) kapunk. Ezt úgy érjük el, hogy a domborzatmodell és a pontos pálya ismeretében mesterséges fázist generálunk és azt levonjuk az interferogramból.

Az így kapott fázis (radiánban) a deformációval arányos, ezért a hullámhossz (5,656 cm) ismeretében átszámítható elmozdulásra. Ez az eredmény a deformációt a muhold irányában adja meg, ezért azt az oldalnézet szögének szinuszával osztani kell, hogy vertikális irányú elmozdulást kapjunk.

A kapott eredmény most már további elemzésre használható, ezért az eddig használt radarkoordinátákról (repülési és arra merőleges irányról) át kell térni geodéziai vonatkoztatási rendszerre. Az általam használt program WGS84 vetületbe számolja át a koordinátákat, amit aztán a FÖMI TK-ban meglévő térinformatikai programokkal számolunk át EOVS rendszerbe.

Elért eredmények

- Elemeztem a kép-párok közötti koherencia viszonyokat.

A kiválasztott 12km*10km mintaterület tartalmazza Debrecen egész városát. Az elemzés során, több kép-pár alapján megállapítottam, hogy a növényzettel fedett területen olyan mértékű koherenciavesztés lép fel, hogy a feldolgozás pontossága érdekében ki kell zárni az adott pontot a további vizsgálatból. A tapasztalatok szerint így a pontok 85% is elveszett.

A következő lépésben szűkítettem a mintaterületet 4km*3km méretűre, amely így csaknem teljesen beépített, és a növényzet hatása már nem dominál.

- Elemeztem az atmoszférikus hatást.

Az egy nap különbséggel készült (ún. tandem) kép-párok alapján domborzatmodellt készítettem, és összehasonlítottam a referenciának választott 20m terepi felbontású (optikai eredetű) domborzatmodellel.

Megállapítottam, hogy a felho fedettség (napsütéses órák száma különbözik) annak ellenére használhatatlan eredményt okoz, hogy a páratartalom csak 2-6%-ban tért el a két felvételi idopont esetén). A további képpárok kiválasztása során a vízhozam paraméter mellett a napsütéses órák számát is fokozottan vettem figyelembe.

- Elkészítettem és értelmeztem a szukított debreceni mintaterületen az 1992-2000 közötti felszínmozgás térképet.

Elso lépésben 5 kép-pár alapján elkészítettem az 1992-93, 1993-96, 1996-97, 1997-98 és az 1998-2000 évekre a mozgástérképet. Elkészült a 1993-95 évre is a mozgástérkép, azonban a kapott értékek alapján feltételezhető, hogy az atmoszférikus hatás befolyásolta az interferogramot. Mivel jelenleg az atmoszféra hatását nem lehet korrigálni, a további feldolgozásból kizártam a képpárt.

A többi kép-pár esetén, a véletlenszerű hibák csökkentése érdekében átlagot képeztem.

Megállapítottam, hogy a vizsgált területen a vizsgált időszak alatt a felszín mozgása $-15,9\text{mm/év}$ és $+5,4\text{mm/év}$ közé esik, az átlagos mozgás pedig $-9,5\text{mm/év}$.

- Komplex összehasonlítást végeztem a szabatos színtezés, a graviméteres mérések, a GPS mérések eredményei és az interferometriai eredmény között:
 - megállapítottam, hogy az GPS méréseket az eddig lefolytatott mérési kampányok alapján még nem lehet értelmezni.
 - megállapítottam, hogy a graviméteres eredmények jelzik már a süllyedés tényét, de mértékét az adatok szórása miatt még nem lehet megadni.
 - megállapítottam, hogy a szabatos színtezéssel kapott eredmények pontosságban meghaladják az interferometria pontosságát, azonban területi felbontásban nem. A szukított mintaterület 8 400 - 10 100 pont alapján lett értelmezve.
 - megállapítottam, hogy az interferometriai eredményen az emelkedések közelében nagy süllyedések helyezkednek el. Értelmezésem szerint ez amiatt lehetséges, hogy a felhasznált terepimágasság modell nem tartalmazza az épített környezetet, ezért amikor abban változás történik, azt a feldolgozó szoftver magasságváltozásnak értelmezi. Abban az esetben, ha a változás mértéke olyan nagy hogy fázisugrást okoz, akkor a feldolgozó szoftver már erős süllyedést jelez.
 - a Joó-féle süllyedést meghaladó értékeket vizsgálva megállapítottam, hogy azok egy része épületekre esik, így nem lehet kizárni, hogy a mért értékben az épület saját süllyedése is megjelenik.

Publikációk

A kutatási témában eddig megjelent közlemények listája

Petrik O. (2007a): Muholdas radar-interferometria hazai alkalmazása: felszínsüllyedés-vizsgálat Debrecen környékén, *Geodézia és Kartográfia*, **59** (3); 19-25

Petrik O. (2007b): A muholdas radar-interferometria alkalmazásának korlátai a deformáció vizsgálatokban, *Geodézia és Kartográfia*, **59** (5); 16-21.

Mihály, S., Winkler P., Vámosi J., Petrik O., É. Gödör, (1997a): Evaluation of radar backscattering of vegetated terrain of agricultural areas, *Proceedings of the International Conference on Electromagnetics in Advanced Applications (ICEAA 97)* - Torino, Italy., pp.495-498

Petrik O., Grenczy Gy. (2003): Komplex RADAR felvételek kiértékelésének lehetőségei, *Tanulmány*, FÖMI, Budapest, 31o.

Grenczy, Gy., O. Petrik (2003): Introduction of the Differential Synthetic Aperture Radar Interferometry technique in Hungary: Monitoring Land Subsidence with SAR Interferometry and GPS Arrays, *ESA Cat-1 kutatási részjelentés*, FÖMI, Budapest, 6o.

Petrik O., Grenczy Gy. (2002): A Szintetikus Apertúrájú Muholdradar Differenciális Interferometrikus technikával tervezett debreceni és visontai technogén felszínmozgás vizsgálat elokészítése, *Tanulmány*, FÖMI, Budapest, 28o.

Grenczy Gy., Petrik O., Frey S. (2002): Új urtechnikai alkalmazások elokészítése: DInSAR – Galileo, *MUI kutatási jelentés*, FÖMI, Budapest, 6o.

Petrik O. A mikrohullámú távérzékelés alapjai, *FényTérKép konferencia*, Dobogóko, 2005 november 10-11.

Mihály, S., Winkler P., Vámosi J., Petrik O., Gödör É. (1997b), "Növénykultúrák megjelenésének vizsgálata radarképek segítségével", *FöldfotóVII. Földfelszíni megfigyelések a világurból szeminárium előadásanyagai*, Magyar Asztronautikai Társaság, Budapest, 1997. pp.120-125.

Egyéb publikációk

- Büttner, G., M. Bíró, G. Maucha, O. Petrik (2001) „Land Cover mapping at scale 1:50.000 in Hungary: Lessons learnt from the European CORINE programme”, in: Buchroithner, M.F. (ed.) *A decade of Trans-European Remote Sensing Cooperation*, Balkema pp. 25-31.
- Büttner, G., G. Maucha, M. Bíró, B. Kosztra, R. Pataki and O. Petrik (2004) „National land cover database at scale 1:50,000 in Hungary”, *EARSeL eProceedings*, Vol. 3, No. 3, 323-330.
- Bíró, M., O. Petrik, P. Winkler, A. Faluvégi (1998) „Delimitation of Urban Agglomeration Clusters of Budapest on the Base of GIS/RS Data”, *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*, Vol. XXXII, Part 7, Budapest, 78-86.
- Petrik, O. (2005) „Urban sprawl and green urban areas”, *Technical Report*, FÖMI, Budapest, 8o.
- Büttner Gy, Bíró M., Kosztra B., Maucha G., Petrik O., Pataki P. Jakab K., Gunawan M., (2003) „A CLC2000 projekt 1. üteme”, *Tanulmány*, FÖMI, Budapest, 96o.
- Büttner Gy, Bíró M., Maucha G., Petrik O., Jakab K., Kosztra B.,Pataki R. (2003) „z európai CLC2000 projekt keretében használatos oktatási anyagok”, *Tanulmány*, FÖMI, Budapest, 31o.
- Büttner Gy, Bíró M., Kosztra B., Maucha G., Petrik O., Pataki R. Jakab K., Kovács M., Oszkó L. (2003) „CORINE 1:50000 felszínborítási adatbázis 9. üteme”, *Tanulmány*, FÖMI, Budapest, 65o.
- Büttner Gy, Bíró M., Maucha G., Petrik O., Jakab K., Kosztra B.,Pataki R. (2002) CORINE 1:50000 felszínborítási adatbázis 5-6. üteme, *Tanulmány*, FÖMI, Budapest, 66o.
- Büttner Gy, Bíró M., Maucha G., Petrik O., Jakab K., Kosztra B.,Pataki R. (2001) „Az ökológiai folyosók felmérését segítő CORINE 1:50000 felszínborítási adatbázis létrehozása folyómenti mintaterületekre”, *Tanulmány*, FÖMI, Budapest, 76o.
- Büttner, G., M. Bíró, G. Maucha, O. Petrik, K. Jakab, B. Kosztra and Zs. Tomcsányi (2001) „Preparation for Implementing the Habitat Directive in Hungary – Component 3/1”, *Tanulmány*, FÖMI, Budapest, 98o.
- Büttner Gy, Bíró M., Kosztra B.,Maucha G., Petrik O., Pataki P. Jakab K., Kovács M., Pálincás L., Rehorovics Gy. (2002) „CORINE 1:50000 felszínborítási adatbázis 7. üteme”, *Tanulmány*, FÖMI, Budapest, 62o.
- Büttner, G., É. Csató, G. Maucha, O. Petrik and R. Pataki (2000) „CORINE Land Cover in Bosnia-Herzegovina and FYROM”, *Tanulmány*, FÖMI, Budapest, 74o.
- Büttner Gy, Bíró M., Maucha G., Petrik O., Pataki R., Winkler P. (2000) „CORINE 1:50000 felszínborítási adatbázis 2. üteme”, *Tanulmány*, FÖMI, Budapest, 84o.
- Büttner, G., G. Maucha, M. Bíró, O. Petrik and L. Mari (1999) „CORINE Land Cover in Bosnia-Herzegovina and FYROM”, *Tanulmány*, FÖMI, Budapest, 68o
- Büttner Gy, Bíró M., Maucha G., Petrik O. (1999) „CORINE 1:50000 felszínborítási adatbázis 1. üteme” *Tanulmány*, FÖMI, Budapest, 98o.
- Iván Gy., Maucha G., Petrik O., Ritter D., Solymosi R. (1999) „Technológiai eljárás az 1:10 000 méretarányú digitális topográfiai térképek domborzat-modelljének előállítására”, *Tanulmány*, FÖMI, Budapest, 97o.
- Dr. Martinovich L., Bíró M., Büttne Gy, Katona J., Maucha G., Petrik O. (1999) „Szoloterület felmérés urfelvételek feldolgozásával. Egri borvidék”, *Tanulmány*, FÖMI, Budapest, 64o.

- Büttner Gy, Maucha G., Petrik O. (1998) „Spot4 urfelvételek geometriai és radiometriai előfeldolgozása”, *Tanulmány*, FÖMI, Budapest, 75o.
- Dr. Martinovich L., Suba Zs., Csornai G., Katona J-né., Kéri M., Kocsis A., Kollár L., Nádor G., Petrik O., Tóth K., Wirthardt Cs., Zelei Gy. (1998) „A távérzékeléses növénymonitoringhoz tematikusan kapcsolódó alkalmazások módszertani vizsgálata”, *Tanulmány*, FÖMI, Budapest, 85o.
- Csornai G., Katona J-né., Kollár L., Kocsis A., Nádor G., Dr. Martinovich L., Petrik O., Somogyi P., Suba Zs., Tarcsai Gy-né, Tikász L., Tóth K., Wirthardt Cs., Apagyai G., Zelei Gy. (1997) „A MERA program legfontosabb tudományos-technikai moduljai a távérzékeléses növényfejlődés nyomonkövetésének gazdaságos, fenntartható módszertanában”, *Tanulmány*, FÖMI, Budapest, 89o.
- Csornai G., Katona J-né., Kéri M., Kollár L., Kocsis A., Nádor G., Petrik O., Somogyi P., Suba Zs., Tarcsai Gy-né, Tikász L., Wirthardt Cs., Zelei Gy. (1996) „Távérzékelésen Alapuló Országos Növénymonitorozó Rendszer”, *Tanulmány*, FÖMI, Budapest, 92o
- Wirthardt Cs., Csornai G., Katona J-né., Kéri M., Kollár L., Dr. Martinovich L., Nádor G., Petrik O., Suba Zs., Tikász L., Tóth K., Zelei Gy. (1997) „A távérzékeléses növénymonitoring tematikus szolgáltatásai bővítésének módszertani megalapozó vizsgálata”, *Tanulmány*, FÖMI, Budapest, 87o.
- Winkler P., Petrik O., Mihály S. (1997) „ERS-SAR Alkalmazásfejlesztés”, *Tanulmány*, FÖMI, Budapest, 72o.
- Winkler P., Bíró M., Petrik O. (1997) „Távérzékelés és Urbánstatisztika”, *Tanulmány*, FÖMI, Budapest, 36o.
- Wirthardt Cs., Csornai G., Katona J-né., Kollár L., Dr. Martinovich L., Nádor G., Petrik O., Suba Zs., Tóth K., Zelei Gy. (1997) „Az operatív távérzékeléses monitoring egyes tényezőinek vizsgálata”, *Tanulmány*, FÖMI, Budapest, 77o.
- Büttner Gy., Kollár L., Pálinkás I., Petrik O., Wirthardt Cs. (1996) „Image processing for CORINE Land Cover, Istria”, *Final Report*, FÖMI, Budapest, 25o
- Büttner Gy, Maucha G., Winkler P., Petrik O., Iván Gy., Solymosi R. (1996) „Danube Remote Sensing Demo Project”, *First Interim Report*, FÖMI, Budapest, 15o
- Winkler P, Petrik O.(1995) „Egyesített digitális vektoros terepmodell valamint raszteres ur- és légifelvételek GIS alapú értékelési lehetőségét bemutató szoftver együttes”, *Tanulmány*, FÖMI, Budapest, 22o
- Petrik O., Pataki R, Büttner Gy (2005) „UMZ & GUA, Urbán Morfológikus Zónák lehatárolása és Városi Zöldterületek meghatározása a 100 000 lakosnál nagyobb városok esetén Európában”, *FényTérKép konferencia*, Dobogóko, 2005 november 10-11
- Büttner Gy., Bíró M., Maucha G., Petrik O., Kosztra B., Pataki R. (2003) „Elkészült a CORINE 1:50 000 méretarányú magyarországi felszínborítási adatbázis (CLC50)”, *MFTTT Vándorgyűlés*, Debrecen, 2003. július 10–12
- Büttner Gy., Bíró M., Maucha G., Petrik O. (2001) „A CORINE 1:50 000 méretarányú magyarországi felszínborítási adatbázis (CLC50)”, *MFTTT Vándorgyűlés*, Szombathely, 2001. július 5-7
- Petrik O. (1994) „Magyarország és földtani környezetének recens tektonikai mozgásvizsgálata GPS mérésekkel”, *Ifjú Geofizikusok Ankétja*, Visegrád, 1994 április