SZENT ISTVÁN EGYETEM

TÁVÉRZÉKELÉSI MÓDSZEREK A KÖRNYEZETGAZDÁLKODÁSBAN

DOKTORI (PHD) ÉRTEKEZÉS TÉZISEI

Kristóf Dániel

Gödöllő

2005

A doktori iskola
megnevezése: ***Környezettudományi Doktori Iskola***
tudományága: ***1.6 környezettudomány***
vezetője: ***Dr. Menyhért Zoltán, DSc.***
egyetemi tanár, a mezőgazdaság-tudomány doktora
SZIE Mezőgazdaság- és Környezettudományi Kar
Környezet- és Tájgazdálkodási Intézet

Témavezető: ***Dr. Ángyán József, CSc.***
egyetemi tanár
SZIE Mezőgazdaság- és Környezettudományi Kar
Környezet- és Tájgazdálkodási Intézet

----------	----------
Az iskolavezető jóváhagyása	A témavezető jóváhagyása

BEVEZETÉS

A téma aktualitása

A távérzékelési és térinformatikai módszerek egyre nagyobb teret nyernek a földfelszín vizsgálatában, a felszínen lezajló folyamatok elemzésében. A földmegfigyelő műholdak felvételei több évtizedre visszamenően elérhetők. Az archív felvételekben rendelkezésünkre álló adatmennyiség ma is rohamosan növekszik, és az új fejlesztéseknek köszönhetően egyre nagyobb a felvételek adattartalma.

Az *in situ* módszerekkel összevetve a távérzékelési eljárások jóval nagyobb területről szolgáltatnak egyidejűleg adatokat. Ezen túlmenően az archív távérzékelési adatok felhasználhatók arra, hogy elemzésünket kiterjesszük olyan időperiódusokra is, amelyekről más adat nem áll rendelkezésre.

Bár a távérzékelési eljárások csak részleges információt szolgáltatnak a földfelszín egy darabjáról, más adatokkal összevontan elemezve jelentősen hozzájárulnak tudásunk bővítéséhez, a földfelszíni folyamatok leírásához. A földrajzi információs rendszerek (FIR, vagy GIS – Geographical Information Systems) hatékony és egyre szélesebb körben használt megoldást jelentenek a különböző forrásokból származó adatok integrációjára és elemzésére.

Mindezek figyelembevételével elmondható, hogy a távérzékelési és egyéb forrásból származó adatok kombinálásával kiterjeszthetjük tudásunkat mind térben, mind időben.

A távérzékelt adatok feldolgozása, egyéb adatokkal történő összevonása azonban sajátos problémákat vet fel, és különleges előfeldolgozási és adatkinyerési eljárásokat igényel.

Általános célkitűzések

Doktori munkám három esettanulmányon alapul. Bár az egyes esettanulmányoknál önálló módszertani és gyakorlati célokat is kitűzök, a dolgozat általános kérdései a következők:

- Hogyan és milyen hatékonysággal használhatók a távérzékelés eszközei a környezetgazdálkodási feladatok megoldásában, a tudás térbeli és időbeli kiterjesztésében?
- Milyen tényezők befolyásolják a távérzékeléses adatnyerést és így a felvételekben rögzített adatokat, és hogyan, milyen feldolgozási, elemzési lépések útján nyerhetünk ezekből kvalitatív és kvantitatív információkat a földfelszínre vonatkozóan?
- Milyen befolyással van a távérzékelt felvételek spektrális-radiometriai, térbeli és időbeli információ-tartalma a földfelszín paramétereinek vizsgálati lehetőségeire?
- Milyen előfeldolgozási és információ-kinyerési eljárásokkal és milyen megbízhatósággal végezhető kvantitatív idősoros elemzés archív űrfelvételek alapján?
- Hogyan integrálhatók a különböző térbeli adatok a távérzékelt adatokkal, és hogyan végezhetők különböző tematikájú elemzések az integrált adatok segítségével?

Az értekezés felépítése

Munkámban először áttekintem a távérzékelés rövid történetét, fizikai alapjait, a képalkotás folyamatát. Külön foglalkozom a változásvizsgálatok szempontjából fontos földfelszíndinamikával. Ezek után kitérek a fentiekből adódó geometriai és radiometriai korrekciók szükségességére, a rendelkezésre álló módszerekre, külön a kvalitatív és a kvantitatív elemzések szintjén. Külön kiemelem a változásvizsgálatok által felvetett problémákat és a lehetséges

megoldásokat. Az adatkinyerési eljárások tárgyalásával folytatom, itt is elkülönítve a kvalitatív és kvantitatív módszereket. Külön fejezet szól a különböző forrásokból származó adatok térinformatikai rendszerekben történő egyesítéséről és a kvalitatív és kvantitatív változásvizsgálatok módszereiről.

Mindezek tükrében három esettanulmány segítségével vizsgálom a rendelkezésre álló adatok és módszerek lehetőségeit és korlátait, valamint új módszereket javasolok, minden esetben összevetve a módszertani eredményeket a szakirodalmi áttekintéssel.

Az első esettanulmány egy tipikus távérzékelési feladat megoldásával foglalkozik. A cél egy vegetáció-térkép létrehozása a vizsgálati területre, multispektrális űrfelvétel és meglévő GIS adatbázisok valamint terepi adatgyűjtés segítségével.

A második esettanulmány a legújabb, igen nagy térbeli felbontású multispektrális űrfelvételek erdészeti alkalmazását vizsgálja. A legfontosabbak a geometriai korrekcióval kapcsolatos vizsgálatok eredményei, valamint az igen nagy geometriai és viszonylag csekély radiometriai adat-mennyiségből adódó speciális adatkinyerési eljárások.

A harmadik esettanulmány a Duna 1992-es egyoldalú elterelésének a helyi növényzetre gyakorolt hatásaival foglalkozik. A mintaterület a Szigetköz és a Csallóköz, ahol nagyszámú űrfelvétel segítségével végzek kvantitatív változásvizsgálatot. Módszertani szempontból ez az esettanulmány a legfontosabb, hiszen a vizsgált időtartam hossza (20 év), a felvételek nagy száma és a vizsgálat célja szükségessé teszik az összes fentebb ismertetett módszer alkalmazását, tesztelését, új módszerek kidolgozását. A hagyományos és újszerű módszerek kombinálására, új módszerek kidolgozására elsősorban a geometriai és a radiometriai korrekciók, valamint az adatfúzió terén volt szükség.

ÖSSZEFOGLALÁS

A technikai és tudományos fejlődés eredményeként a távérzékelési-térinformatikai módszereket egyre több mindenre és egyre szélesebb körben lehet alkalmazni. Ezek a módszerek hozzájárulnak ahhoz, hogy pontosabb képet kapjuk a Föld mint rendszer bonyolult összefüggéseiről. Annak érdekében, hogy a távérzékelés valóban szélesebb körben elterjedjen, és kevésbé tartsák „misztikusnak", szemléletváltásra is szükség van. Természetesen a távérzékelési technikák önmagukban nem alkalmasak arra, hogy pótolják a terepi adatokat és a terepen jártas szakemberek ismereteit – nem is az a cél, hogy az „íróasztal mögül" oldjuk meg a feladatokat. Igaz, például a Marsról vagy a Titánról egy ideig még biztosan nem lesznek valódi terepi adataink, így csak a távérzékelésre támaszkodhatunk. A Földön is vannak olyan területek, ahol a terepi adatok gyűjtése erősen korlátozott, vagy olyan időszakok, amelyekre egy adott területről kizárólag távérzékelt adataink vannak. A távérzékelt adatok sokszor önmagukban is igen sok információt szolgáltatnak. A terepi és a távérzékelt adatok együttes elemzése viszont mindenképpen segíti az információ, és végső soron a tudás kiterjesztését.

Dolgozatomban arra vállalkoztam, hogy áttekintsem és esettanulmányokon elemezzem a távérzékelés alkalmazási lehetőségeit a környezet-gazdálkodásban. Doktori tanulmányaim alatt három olyan kutatásban dolgozhattam, amelyek során alkalmam nyílt a távérzékelési módszerek alkalmazására és fejlesztésére. A három esettanulmány mindegyikének saját célkitűzései vannak, de a felmerülő kérdések, megoldandó feladatok egy egységes, általánosabb kontextusba illeszthetők. Dolgozatom is a fentieknek megfelelő szerkezetű.

- Ismertettem a téma fontosságát és aktualitását, majd megfogalmaztam általános célkitűzéseimet.
- A szakirodalmi áttekintésben először a távérzékelés definíciójával és legfőbb jellemzőivel, majd a megfigyelés „filozófiai" alapjaival, az információs szintekkel foglalkoztam. Ezek után röviden leírtam a távérzékelés történetét, jelenlegi helyzetét, jövőbeli kilátásait és legfőbb alkalmazási területeit.
- Az áttekintést a távérzékelés fizikai alapjaival folytattam, hiszen a dolgozatomban felhasznált összes felvétel és módszer ebbe a tágabb kontextusba illeszthető. A fejezetet logikailag úgy építettem fel, hogy a forrástól (a Naptól) kiindulva egészen az észlelésig, a szenzorig végigkövettem az elektromágneses sugárzás útját, és ismertettem az egyes lépéseknél bekövetkező változásokat.
    - Foglalkoztam a sugárzás spektrumával, a kibocsátott sugárzás milyenségével, a légkör hatásaival, a Föld felszínének optikai tulajdonságaival, külön kiemelve a vegetáció optikai sajátosságait. Mindezt időbeli kontextusba helyezve ismertettem a növényzet ciklikus és direkcionális változásait, majd az emberi beavatkozások hatásait, végig szem előtt tartva a kapcsolódást a távérzékelt adatokkal.
    - Ismertettem a felvételezés menetét, hiszen ennek során jönnek létre a távérzékelt adatok, és ennek a folyamatnak alapvető hatásai vannak az adatok további kezelésére.
    - A felvételek előfeldolgozásának ismertetését a radiometriai és geometriai hatások leírásával kezdtem, majd áttekintettem a korrekciós módszereket, amelyeknek célja, hogy közelítsük a megfigyelések, mérések és a földfelszín valós értékei közötti összefüggéseket.
    - A felvételek elemzési módszereinek áttekintése során kitértem a kvalitatív és kvantitatív elemzési módszerekre, és külön alfejezetben ismertettem a térbeli információk bevonásának lehetőségeit. A célunk mindezen eljárások során az

információ kinyerése az adatokból, és ennek mindig igazodnia kell a vizsgálat céljaihoz.

  - Külön tárgyaltam a változás-vizsgálatok problematikáját, a kvalitatív és kvantitatív változásvizsgálati módszereket. Az összes eddig leírt módszer statikus, egy időpontra érvényes. A fentebb kifejtettek alapján azonban a Föld állandóan változó, dinamikus rendszer, ezért ehhez kell igazítani a megfigyeléseket is. Ez a fejezet tehát az eddig leírtakat helyezi időbeli kontextusba.
  - Szintén külön fejezet foglalkozik az adatintegrációval. A távérzékelt és egyéb forrásból származó adatok együttes elemzése kulcsfontosságú, hiszen csak így van lehetőségünk a tudás kiterjesztésére. Ez a legfontosabb kapcsolódási pont a távérzékelés és a többi tudományterület között, mert a kiegészítő adatok határozzák meg a vizsgálat tematikáját is.

- Az esettanulmányok sorában az első, a Hajósszentgyörgy környéki űrfelvétel-alapú vegetáció-térképezés egy viszonylag egyszerű távérzékelési „rutinfeladat", de jó alkalmat nyújt a távérzékelés hasznosságának bemutatására. Terepi adatgyűjtés és képosztályozás útján, az űrfelvétel alapján elkészült a vizsgálati terület vegetáció-térképe, ami objektívebb és aktuálisabb az addig használt erdészeti térképeknél. További ötletek is megfogalmazódtak a térképezés tematikus és időbeli kiterjesztésére.
- A második esettanulmány, az igen nagy felbontású űrfelvételek Zirc környéki erdészeti alkalmazásának újdonsága, hogy az „új korszak" egyik első műholdjának felvételeivel foglalkozik. Az 1999-ben fellőtt IKONOS műhold volt az első, amely polgári célú felhasználásra is elérhetővé tette a méter alatti felbontású űrfelvételeket, és ez az első magánkézben lévő térképező műhold. Az ilyen felvételek előfeldolgozása és elemzése azonban számos új problémát vet fel. Az esettanulmány során megvizsgáltam a felvételek geometriai és radiometriai tulajdonságait. Világossá vált, hogy a geometriai pontosság növelése elengedhetetlen, és hogy a spektrális információ-tartalom jelentősen korlátozott. Több geometriai korrekciós módszer tesztelése során a legjobb eredményeket egy hibrid módszer: a műholdpálya-modellezésen alapuló ortokorrekció nyújtotta. A tematikus információ-kinyerési vizsgálatok rámutattak, hogy a felvételek nagy térbeli felbontása és alacsony spektrális információ-tartama miatt a klasszikus módszerek csődöt mondanak, így különleges feldolgozási lépések szükségesek. Megállapítottam, hogy a képszegmentáció utáni osztályozás ígéretes lehetőségeket nyújt a tematikus információk kinyerésére a geometriai tartalom megtartása mellett.
- Az utolsó esettanulmány, a Szigetköz és a Csallóköz állapotváltozásainak távérzékeléses nyomon követése a legösszetettebb, ez adta a legtöbb lehetőséget a távérzékelés eszköztárának felvonultatására és fejlesztésére. A kvantitatív változás-vizsgálat során az alábbi eljárásokat kellett részletesen kidolgozni.
  - A felvételek közötti geometriai maradványhibák hatásai jelentős hibákat okoznak a változások észlelése és mérése során. Ezért kidolgoztam és pozitív eredménnyel teszteltem egy multitemporális képszegmentáción alapuló módszert a maradványhibák hatásainak minimalizálására. A módszer lényege a kontúrok maszkolása és a képszegmentum-szintű statisztikák kiszámítása.
  - A felvétel-idősorban számos természetes és a felvételezésből adódó hatás okoz jelentős radiometriai eltéréseket az egyes felvételek között (napállásszögek, légköri hatások, szenzorkalibráció stb.). A felvételek összehasonlíthatóságának biztosítására a valós földfelszín-változásokhoz nem köthető változékonyságot minimalizálni kell. Ennek érdekében elvégeztem a radiancia és a szenzornál mért reflektancia kiszámítását. Mindezek után még jelentős torzításokat okoz-

tak többek között a légköri hatások és az anizotróp visszaverődés. A globális hatások minimalizálására egy radiometriai normalizációs módszert dolgoztam ki. A módszer alapjai a szakirodalomból származnak, ám jelentős módosításokat vittem véghez a módszer automatizálása, az objektivitás és hatékonyság növelése és az emberi munkaigény csökkentése céljából. Kidolgoztam egy eljárást a normalizálás eredményeinek mérésére a teljes felvétel-sorozaton.

- Mivel célom a hosszú távú vegetáció-változások vizsgálata volt, kidolgoztam egy többidőpontú szűrésen alapuló eljárást a közvetlen emberi beavatkozások és a helyi légköri és egyéb radiometriai hatások azonosítására és kiszűrésére. A közvetlen emberi bolygatások és a helyi felhő-, árnyék- és aeroszol-hatások kiszűrése biztosította, hogy a kvantitatív változás-elemzésben nem jelennek meg ezek a hatások.
- Az előfeldolgozott távérzékelési adatokat integráltam a vektorizált szegmentum-adatbázisba, a Szigetköz vektoros élőhely-térképébe és a digitális erdészeti térkép-adatbázisba. A változások megfigyelésére változás-térképeket hoztam létre, valamint idősoros tematikus elemzést végeztem.
- A fentiekben kidolgozott és leírt módszerek alkalmazásával megállapítottam, hogy a valószínűleg a Duna elterelésének tulajdonítható hatások leginkább Kisbodak és a szlovák oldalon Spáleny Les környékén jelentek meg erőteljes nedvesség-csökkenésként, 1992 és 1993 között. E területek jelentős részén ugyanakkor regeneráció figyelhető meg, míg más területeken további csökkenés következett be 1994-re. 1997-től fokozatos regeneráció figyelhető meg, bár egyes idősebb fűz-állományok maradandó károsodást mutatnak.

KÖVETKEZTETÉSEK ÉS JAVASLATOK

A három esettanulmányban módszertani szempontból több közös pontot is találunk, ezért következtetéseimet és javaslataimat mindháromra együttesen is megfogalmazom.

Általános módszertani következtetések

- Az űrfelvételek alkalmassága vegetáció-térképezési célokra függ a felvétel térbeli, radiometriai, spektrális és időbeli információ-tartalmától, az elérni kívánt tematikus és térbeli részletességtől, a referencia-információ minőségétől és az interpretáció módjától.
    - A SPOT-felvétel elemzésekor úgy találtam, hogy az objektumok mérete és a térbeli felbontás, valamint a spektrális információ-tartalom és a megkívánt tematikus részletesség közel áll egymáshoz, ezért a digitális interpretáció elvégezhető. A növényfajok jellemző szezonális ciklusa alapján a tematikus részletesség javítható lenne az év más időszakában készült felvételek bevonásával, együttes elemzésével.
    - Az alkalmasság azonban nem egyenesen arányos az információ-mennyiséggel: fontos a különböző információ-típusok kiegyensúlyozott aránya is. Erre jó példa az IKONOS-felvételek elemzése, ahol a rendkívül nagy térbeli információ-tartalom viszonylag szegényes, korrelált spektrális információval párosul. A felvételeken jól alkalmazhatók a vizuális interpretációs módszerek. A vizsgálat tárgyát képező objektumok (erdőrészletek) és a felvétel térbeli felbontása között igen nagy a különbség: az egyes egyedek (fák) különböző értékei hatalmasra növelik az értékek szórását, így a hagyományos pixel-alapú osztályozási módszerek használhatatlanok. A digitális interpretációhoz ezért olyan kiegészítő módszert kell igénybe venni, ami a geometriai információ-tartalom megőrzése mellett elvégzi a radiometriai értékek területi szűrését. Ilyen módszer a képszegmentáció, ami tesztem alapján jól használható a nagy felbontású felvételek digitális interpretációjának előkészítésére.
- A geometriai korrekció különösen fontos lépés a külső adatforrások és az űrfelvételek együttes használatához. Ha idősoros elemzést, változás-vizsgálatot végzünk, a felvételek geometriai összevethetősége talán még ennél is fontosabb, hiszen az eltérések hamis változásokként jelennek meg.
    - Az IKONOS felvételek ortokorrekciója alapján világossá vált, hogy – bár a pontosság sokat javul – az alkalmazott módszerekkel a referencia-adatok pontatlansága és a helyi torzító hatások miatt ilyen felbontásnál jelenleg nincs lehetőség a közepes felbontású űrfelvételeknél megszokott pixelméret alatti pontosság elérésére. Ez a mindenkori vizsgálat méretarányától függően zavaró lehet, hiszen a térbeli felbontás indokolná az igen részletes elemzéseket is.
    - A Szigetköz esetében a felvételek közötti, pixelméret körüli geometriai maradványhibák hamis változásokat okoznának a változás-vizsgálatnál. A dolgozatomban javasolt, képszegmentáción alapuló kontúr-maszkolás és a szegmens-szintű statisztikák kiszámítása kiküszöböli e hatások legnagyobb részét, így növeli a változás-vizsgálat megbízhatóságát.
- A távérzékelt adatok és egyéb térbeli adatbázisok integrációja nagy körültekintést igényel, de mindenképpen hasznos az információk kinyerése és a változások leírása szempontjából.
    - Ha célunk a távérzékelt felvételekből spektrálisan (és időben) homogén objektumok kinyerése, a legcélravezetőbb módszer a képszegmentáció alkalmazása. A

magas homogenitás miatt ezek az objektumok nagyon jól alkalmazhatók a különböző időpontú felvételek adatainak egyesítésére, a változásvizsgálatok lefolytatására, és jól mutatják a felszínborítás természetes mozaikosságát.

  - Ha nem a felvételek alapján meghatározott, hanem külső forrásból származó, *a priori* definiált objektumokkal dolgozunk, az adatok egyesítése során tekintettel kell lenni a felvételek és az objektumok, ill. több adatbázis különböző objektumai eltérő méretarányára és tematikájára, az objektumok különbségeire.
  - Az adatintegráció közvetett haszna, hogy az objektumokon végzett területi statisztika-számítás során a geometriai és lokális radiometriai hibák jelentős részét kiszűrjük.

- A radiometriai korrekció elengedhetetlen előfeltétele a kvantitatív, idősoros változásvizsgálatnak. A munkámban kidolgozott, javasolt és alkalmazott kombinált radiometriai korrekciós módszer jelentősen növelte a változások mérésének, leírásának megbízhatóságát.
- A több időpontú NDVI-küszöbértékes szűrés alkalmasnak bizonyult a közvetlen emberi bolygatások által okozott drasztikus változások és a lassabban, folyamatosan lezajló folyamatok szétválasztására. A kék hullámhossz-tartomány küszöbértékes szűrése pedig jól azonosította a lokális légköri hatásokat.
- A Tasseled Cap-transzformáció nedvesség-értékei jól használhatók a vízzel kapcsolatos hosszú távú növényzetváltozás-vizsgálatok céljaira. A TC nedvesség-értékek időbeli változásai és térbeli mintázata látszólag jól magyarázható a Szigetközben és a Csallóközben bekövetkezett vízmennyiség-változásokkal (a Duna elterelése, a fenékküszöbös vízpótlás beindítása, 1997-es árvíz stb.)

Az egyes esettanulmányok speciális következtetései

- Az űrfelvétel-osztályozással előállított vegetáció-térkép a fafajcsoportok és egyéb, jól elkülönülő felszínborítási kategóriák szintjén aktuális és jól visszaadja az élőhelyek természetes mozaikosságát, így jól használható az élőhelypreferencia-vizsgálatokban.
- Az IKONOS felvételek erdészeti felhasználása a geometriai korrekciók után vizuális interpretációval a legegyszerűbb, ebben az esetben a hamisszínes infravörös felvételekhez hasonló módon használhatók. A digitális interpretációhoz javasolt a képszegmentációval kombinált osztályozás használata.
- A Szigetköz és a Csallóköz változásainak leírásában a kifejlesztett módszerek alkalmazásával, a nedvesség-értékek idősoros elemzésével a megfigyelés kiterjeszthető. Míg az *in situ* vizsgálatok pontszerűek, a távérzékelt adatok a teljes területre adnak információt, így jól használhatók a változások helyének és időpontjának meghatározásához. A kidolgozott és alkalmazott előfeldolgozási módszerek segítségével a változások számszerűsíthetők. Vizsgálataim eredményei azt mutatják, hogy az elterelés hatásai leginkább a Kisbodak és a szlovák oldalon Spáleny Les környékén jelentek meg erőteljes nedvesség-csökkenésként, 1992 és 1993 között. E területek jelentős részén ugyanakkor regeneráció figyelhető meg, míg más területeken további csökkenés következett be 1994-re. 1997-től fokozatos regeneráció figyelhető meg, bár egyes idősebb fűz-állományok maradandó károsodást mutatnak.

Továbbfejlesztési javaslatok

- A Hajósszentgyörgy környéki vegetáció-térképezésben több felvételi időpont bevonásával lehetne növelni az osztályozás pontosságát és tematikus részletességét. Az élőhelypreferencia-számításokhoz célszerű lenne a mindenkori lokalizációs pontokhoz az aktuális adatbázis elkészítése, ez 2-3 évenkénti archív felvételek elemzésével lenne megoldható.
- A Szigetköz és a Csallóköz állapotváltozásainak nyomon követéséhez, részletes leírásához és a megfigyelt változások ellenőrzéséhez mindenképpen szükség lenne:
    - További adatok bevonására. Hasznos lenne például a kvantitatív erdészeti megfigyelések (fanövekedési vizsgálatok), illetve a faegészségi monitoring-adatok bevonása az elemzésekbe, hiszen így egyes területeken ellenőrizni lehetne a felvételekből kimutatott folyamatokat. A vízhozam-adatok, a talajvíz-mérések, illetve a mindenkori talajvíz-tükör adatainak bevonása pedig lehetőséget nyújtana a megfigyelt változások, a felszíni vizek és a talajvíz szintváltozásai közötti térbeli és időbeli összefüggések elemzésére.
    - Más szakemberek bevonására. Egyetlen ember nyilvánvalóan nem képes a Szigetközben és a Csallóközben végbement változások leírására, a bonyolult összefüggés-rendszer elemzésére. Munkám során a felvételek alapos előfeldolgozása és az adatok integrációja útján olyan térinformatikai adatbázisokat állítottam elő, amelyeket reményeim szerint minden, a szigetközi és csallóközi változásokat elemző szakember használhat arra, hogy vizsgálatait mind térben, mind időben kiterjessze.
    - Az idősorból hiányzó Landsat TM felvételek (1985, 1986, 1989-1991, 1995-96, 1998-99) beszerzésére. A terjesztő archívumában biztosan van augusztusi felvétel ezekre az évekre, hiszen a Landsat-felvételeket folyamatosan archiválják. Egyrészt fontos lenne részletesebben ismerni az elterelés előtti időszak folyamatait, másrészt kulcsfontosságú lenne pld. az 1995-ös és 96-os felvétel a fenékküszöbös vízpótlás hatásainak közvetlenebb vizsgálatára.
- A kidolgozott módszerek továbbfejlesztési lehetőségei:
    - Az alapfeltevések teljesülése esetén a kidolgozott radiometriai normalizálási eljárás *közvetlenül* a felvételek kódolt számértékein (DN-értékek) is alkalmazható, nincs feltétlenül szükség előzetes radiometriai korrekcióra. Az előzetes geometriai korrekció természetesen elengedhetetlen.
    - Elkezdtük a radiometriai korrekciós módszer hatékonyságának vizsgálatát az osztályozások során. Az első eredmények igen biztatóak. Ha ugyanis közös spektrális térbe transzformáljuk a felvételeket, az osztályok jellemző spektrális értékei hordozhatókká válnak: például az egyik felvételen felvett tanulóterületek vagy automatikus osztályozás spektrális értékeivel közvetlenül végezhető osztályozás egy másik, ehhez normalizált felvételen.
    - A radiometriai korrekciós módszert hatékonyabbá lehetne tenni, ha nem csupán globálisan végezné a korrekciókat, hanem figyelembe venné a felszínborítás anizotrópiáját és a lokális légköri hatásokat. A felszínborítás anizotrópiájának figyelembe vételére jelenleg dolgozom az osztályozási eredmények integrálásán: így osztályonként lehetne meghatározni a transzformáció együtthatóit. A lokális légköri hatások figyelembe vételére érdemes lenne egyéb korrekciós módszerekkel ötvözni az eljárást; ígéretes lenne például az ELTE Űrkutató Csoportja által kidolgozott ACABA módszer integrálása.

ÚJ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK

Doktori munkám során elért eredményeim alapján a következő új tudományos eredményeket fogalmaztam meg:

1. Megállapítottam, hogy az igen nagy térbeli felbontású (VHR) űrfelvételek vegetáció-térképezési célú alkalmazásának korlátait az elérhető árú felvételek geometriai hibái és a csekély spektrális információ-tartalommal párosuló nagy térbeli felbontás jelentik. Vizsgálataim alapján azonosítottam az akadályok elhárítására alkalmas eljárásokat: a műholdpálya-modellezésen alapuló hibrid ortokorrekciót és a képszegmentációval kombinált képosztályozást, valamint javaslatot tettem ezek használatára a hasonló alkalmazásokban.
2. Kidolgoztam egy új, több időpontú képszegmentáción alapuló módszert a felvétel-idősorok egyes felvételei között óhatatlanul fellépő geometriai maradványhibák hatásának minimalizálására, és bizonyítottam a módszer hatékonyságát.
3. Szakirodalmi alapokon kidolgoztam egy módszert a több időpontú, ugyanazt a területet ábrázoló felvételek radiometriai normalizálására, és bizonyítottam annak hatékonyságát. A módszer automatikusan, statisztikai alapokon működik, képes az invariánsok automatikus azonosítására és a felvételek azonos spektrális térbe transzformálására. Elemeztem és leírtam az eredményül kapott invariánsok felszínborítás szerinti összetételét. Kidolgoztam továbbá egy új módszert a teljes felvétel-idősor normalizálásának ellenőrzésére.
4. Kidolgoztam egy NDVI-különbségen alapuló több időpontú küszöbértékes szűréses eljárást a közvetlen emberi bolygatások, és a kék hullámhossz-tartomány különbségein alapuló eljárást a lokális légköri hatások azonosítására.
5. Változás-térképeken ábrázoltam és leírtam a Szigetköz és a Csallóköz növényzete nedvesség-tartalmának változásait 1984 és 2001 között a felvétel-idősor tagjainak időpontjaira. Az így megfigyelhető változások az *in situ* megfigyelésekkel kombinálva hozzájárulhatnak a folyamatok leírásának térbeli és időbeli kiterjesztéséhez. Kvantitatívan ábrázoltam és leírtam továbbá több tematikus kategóriára és erdő-részletekre az idősor teljes hosszán megfigyelhető változásokat. Vizsgálataim eredményei azt mutatják, hogy az elterelés hatásai leginkább a Kisbodak és a szlovák oldalon Spáleny Les környékén jelentek meg erőteljes nedvesség-csökkenésként, 1992 és 1993 között. Egyes területeken további csökkenés következett be 1994-re. 1997-től fokozatos regeneráció figyelhető meg, bár egyes idősebb fűz-állományok maradandó károsodást mutatnak.
6. A távérzékelési adatok feldolgozása után létrehoztam többféle, több tematikának megfelelő integrált térinformatikai adatbázist, amelyek felhasználhatók további kvantitatív elemzésekhez, a területen dolgozó kutatók és szakemberek megfigyeléseinek kiterjesztéséhez. A képszegmentum-adatbázis tematika nélküli, de együtt elemezhető bármilyen külső adatforrással. A Szigetköz védett területeinek élőhely-térképébe integrált adatok az Á-NÉR kategóriák alapján teszik lehetővé a változások elemzését. Az erdészeti térkép-adatbázisba integrált távérzékelési adatok pedig lehetővé teszik az egyes erdőrészletek sorsának nyomon követését.

AZ ÉRTEKEZÉS TÉMAKÖRÉBEN MEGJELENT PUBLIKÁCIÓK JEGYZÉKE

Folyóiratcikk

Csató É., **Kristóf D.** (2002): „Távérzékelési adatok felhasználása az erdőgazdálkodásban", *Geodézia és Kartográfia*, 54. évfolyam, 9. szám, pp. 12-20.

Kristóf, D., Csató, É., Szuhanyik, J. (2002): „Large-scale Forest Management in Hungary – Processing IKONOS Imagery with Advanced Remote Sensing Software", *GIM International*, vol. 16/12, pp. 12-15.

Lőrinci R., **Kristóf D.** (2003): „Történelmi térképelemzés Bonyhád környékén - Földhasználati stabilitás és művelési ágváltoztatások 1782 és 2001 között." *Földrajzi Közlemények*, CXXVI (L.) kötet, 2002/1-4 szám 39-56. o.

Arndtné Lőrinci R., **Kristóf D.** (2004): „A természetvédelmi szempontú mezőgazdálkodás földhasználati rendszerének fejlesztése Bonyhád külterületének példáján", *Tájökológiai Lapok*, 2. évf., 1. szám

Kristóf D., Csató É. (2004): „Űrfelvétel-alapú változásvizsgálat a Szigetközre", *GPS magazin,* III. évf., 11. szám, pp. 20-22.

Idegen nyelvű teljes konferencia-kiadvány

Ducrot, D., **Kristóf, D.** (2001): „Using airborne remote sensing techniques in coastal plant population studies", In: Publicationes Instituti Geographici Universitatis Tartuensis, 92, „Conference Proceedings, Development of European Landscapes", Stockholm, Svédország és Tartu, Észtország, 2001. június 30 – július 6., pp. 665-669., IALE – International Association of Landscape Ecologists és University of Tartu, Tartu, Észtország

Kristóf, D., Tóth, P. (2001): „Red deer habitat preferences based on forestry map database and optical satellite imagery", In: „Proceedings of the 7th International Conference on Environmental Science and Technology", Hermoupolis, Syros, Görögország, 2001. szeptember 3-6., pp. 873-877., University of the Aegean, Dept. Of Environmental Studies és Global Network for Environmental Science and Technology

Kristóf, D., Csató, É., Ritter, D. (2002): „Application of High-Resolution Satellite Images in Forestry and Habitat Mapping – Evaluation of IKONOS Images through a Hungarian Case Study", In: „Geoinformation for European-wide Integration, Proceedings of the 22nd EARSeL Symposium", Prága, Csehország, 2002. június 4-6., EARSeL – European Association of Remote Sensing Laboratories

Kristóf, D., Csató, É., Szuhanyik, J. (2002): „Application of High-Resolution Satellite Images in Forestry and Habitat Mapping", In: „Proceedings, Geomatics 2002 - Joint International Symposium on Geospatial Theory, Processing and Applications", 2002. július 9-12, Ottawa, Kanada, ISPRS – International Society for Photogrammetry and Remote Sensing, Commission IV.

Kristóf, D., Ducrot, D. (2003): „Environmental Impact Assessment of a Barrage System Using Novel Change Detection Methods", In: „Learning from Earth's Shapes and Colors, Proceedings of the IGARSS '03 Symposium", Toulouse, Franciaország, 2003. július 21-25, IEEE - Institute of Electrical and Electronics Engineers

Kristóf, D., Ducrot, D. (2003): „Integrated Method for Long-term Environmental Change Detection by Remote Sensing", In: „Remote Sensing for Agriculture, Ecosystems and Hydrology V, Proceedings SPIE 10thInternational Symposium on Remote Sensing", Barcelona, Spanyolország, 2003. szeptember 8-12., SPIE – The International Society for Optical Engineering

Kristóf, D., Ducrot, D. (2004): „Assessment of environmental impacts of a barrage system using multitemporal multisensor data", In: „New Strategies for European Remote Sensing, Proceedings of the 24th EARSeL Symposium", 2004. május 25-27., Dubrovnik, Horvátország, EARSeL – European Association of Remote Sensing Laboratories (megjelenés alatt)

Idegen nyelvű absztrakt konferencia-kiadvány

Kristóf, D. (2001): „Application of optical remote sensing in forest vegetation mapping in order to examine habitat preferences", In: „Abstracts of the Second Student Conference on Conservation Science", p. 10., University of Cambridge, Cambridge, Nagy-Britannia, 2001. március 28-30.

Kristóf, D. (2001): „Remote sensing as a tool for habitat preference calculations, a case study in Hungary", In: „Abstract book, Land Use / Land Cover Changes in the Period of Globalization", 2001. július 14-18., Prága, Csehország, International Geographical Union, Study Group on Land Use and Land Cover Change

Belényesi, M., **Kristóf, D.**, Skutai J., Balázs K. (2001): „Introducing the system of Environmentally Sensitive Areas in Hungary. A case study – Kiskunság National Park", In: „Abstract book, Land Use / Land Cover Changes in the Period of Globalization", 2001. július 14-18., Prága, Csehország, International Geographical Union, Study Group on Land Use and Land Cover Change

Kristóf, D. (2002): „Newest Commercial Satellite Technologies in Habitat Mapping – Evaluation of IKONOS images through a Hungarian case study", In: „Abstracts of the Third Student Conference on Conservation Science", p. 8. University of Cambridge, Cambridge, Nagy-Britannia, 2002. március 25-27.

Lőrinci, R., Belényesi, M., **Kristóf D.,** Balázs, K. (2002): „Land use stability analysis – exploring spatial and temporal shifts in farming practices." Permanent European Conference for the study of the Rural Landscape (PECSRL) Rural landscapes: past processes and future strategies. August 25- 1 September 2002. Univ. of Tartu. Estonia.

Magyar nyelvű teljes konferencia-kiadvány

Kristóf D., Tóth P., (2002): „Optikai távérzékelési módszerek és GIS alkalmazása az élőhely-térképezésben", In: „Innováció, a tudomány és a gyakorlat egysége az ezredforduló agáriumában", Debrecen, 2002. április 11-12., pp. 18-22., Debreceni Egyetem, Mezőgazdaságtudományi Kar és Szent István Egyetem, Mezőgazdaság- és Környezettudományi Kar

Magyar nyelvű könyv, könyvrészlet, jegyzet

Skutai J., **Kristóf D.**, Belényesi M. (2001): „Térinformatika" tankönyv. Sorozat: Tanulmányok Magyarország és az Európai Unió természetvédelméről, sorozatszerkesztő: Szabó M. Tempus Institutional Building – Joint European Project (TIB-JEP 13021-98), „EU Training for Nature Conservation Officials", Gödöllő, 124 p.

Belényesi M., **Kristóf D.**, Skutai J. (2002): „Távérzékelés a környezetgazdálkodásban. Elméleti jegyzet". Szent István Egyetem, Környezetgazdálkodási Intézet, Gödöllő, 67 p.

Belényesi M., **Kristóf D.**, Skutai J. (2002): „Távérzékelés a környezetgazdálkodásban. Gyakorlati jegyzet". Szent István Egyetem, Környezetgazdálkodási Intézet, Gödöllő, 22 p.

Vajnáné Madarassy A., Podmaniczky L., Ángyán J., **Kristóf D.** et al. (2003): „Az ÉTT mintaterületek bemutatása". In: Ángyán J. – Tardy J. – Vajnáné Madarassy A. (szerk.): „Védett és érzékeny természeti területek mezőgazdálkodásának alapjai", pp. 191-216, Budapest: Mezőgazda, 625 p.

Ángyán J., Podmaniczky L., Németh T., **Kristóf D.** et al. (2004): „Magyarország földhasználati zónarendszerének kialakítása". In: Ángyán J. – Menyhért Z. (szerk.): „Alkalmazkodó növénytermesztés, környezet- és tájgazdálkodás", pp. 445-463, Budapest: Szaktudás Kiadó Ház, 560 p.