

A spektrális, térbeli és időbeli
dimenziók kapcsolatának vizsgálata és
felhasználása a digitális űrfelvételek
osztályozásában

Doktori disszertáció tézisei

László István

Témavezető: Dr. Fekete István



Eötvös Loránd Tudományegyetem
Informatikai Kar

Informatikai Doktori Iskola
Prof. Benczúr András, D.Sc.

Információs rendszerek doktori program
Prof. Benczúr András, D.Sc.

Budapest, 2013.

1. Bevezetés

Dolgozatomban a távérzékelte felvételek kiértékelése terén elért eredményeimet mutatom be. Szakmai tevékenységem az elmúlt években egyaránt kiterjedt a kutatás-fejlesztés, az alkalmazott problémamegoldás, valamint az oktatás és tananyagfejlesztés területére.

A kutató-fejlesztő tevékenységem fókuszában két nagyobb szakmai terület áll. A felvételek képi tartalmának osztályozása, speciálisan a szegmens-alapú osztályozás, illetve az objektum-alapú képelemzés alkotják az egyik területet. Az ismertetés és a tézisek szempontjából azonban ezt a két rokon témakört kettéválasztottam. Az itt leírt eredmények egy olyan szellemi műhelyhez köthetők, amely több éve sikeresen tevékenykedik az Eötvös Loránd Tudományegyetem (ELTE) és a Földmérési és Távérzékelési Intézet (FÖMI) közötti együttműködés keretében.

A másik nagyobb terület, a többforrású adatok együttes felhasználása (adatfúzió), inkább saját intézeti projektjeink megoldása során került az érdeklődésem homlokterébe. Az említett két szakmai terület találkozik is a munkáinkban, hiszen sikerült az adatok integrált felhasználásával az űrfelvételeken hatékonyabb elkülönítést, osztályozást megvalósítani.

A disszertációmban leírt eredmények egy része a távérzékelés operatív alkalmazásaihoz kapcsolódik. Munkahelyemen, a FÖMI-nél jelentkező feladatokban, többnyire évente ismétlődő országos területfelmérési projekteknél sikerült elméleti szempontból is értékelhető, publikálható megoldásokat találnom. Ezek az eredmények általában éppen a fent említett szegmentálás, osztályozás és adatfúzió helyzethez igazodó alkalmazásai révén valósultak meg. A feladatok oldaláról ki kell emelnem a területalapú támogatások távérzékelés ellenőrzését, amely az általam vezetett osztály delegált EU-s feladata.

Dolgozatomban helyet kapott a távérzékelés oktatásáról szóló ismertetés is. Számot adok arról a tananyagfejlesztő és jegyzetíró tevékenységről, amelyet a távérzékelésről szóló előadásom korszerű szinten tartása érdekében folyamatosan végzek az ELTE Informatikai Karán (IK).

Az erős gyakorlati alkalmazásokkal rendelkező távérzékelés területén a kutatás jobbra alkotóközösségekben folyik, amint ez eszemben is teljesül. Az ismertetés során ezért mindig igyekeztem körülhatárolni, hogy mivel járultam hozzá a bemutatott eredmények megvalósulásához.

Értekezésem I. részében a távérzékelés alapvető elméleti és gyakorlati fogalmainak bevezető áttekintését adtam, így a kutatási eredmények megértéséhez nem szükséges külső forráshoz fordulni. Az eredményeimet összefoglaló jelen ismertetésében azonban nem részletezem ezeket az alapfogalmakat.

2. Távérzékelt felvételek szegmens-alapú osztályozása

A témakör kutatásában a kiindulást számomra az a nagygépes programrendszer jelentette, amely műholdfelvételek szegmens-alapú osztályozását végezte (FÖMI-ELTE-együtműködés, 1983-1984., lásd: [3]). Eredményeinek pontossága globálisan felülmúlta a pontonkénti osztályozóét, de a felvétel finomabb részletességű helyein elnagyolt eredményt adott.

A nagygépes rendszert követően Sun-os és PC-s környezetben C nyelven újra implementáltam a pixelenkénti, majd a szegmens-alapú osztályozás teljes rendszerét, funkcionálisan is továbbfejlesztve az egyes modulokat. A megvalósított szegmens-alapú osztályozás használatával 95-97%-os globális besorolási pontosságot is el lehet érni; ez 2-3%-kal jobb eredmény annál, mint amelyet a pontonkénti megfelelője biztosított. A kutatás-fejlesztés fázisairól publikációkban is beszámoltunk ([6], [7], [8] és [5]).

A szegmentálás beépítése az osztályozás folyamatába a környezet hatását juttatja érvényre az egyes képpontok besorolásában. Egy homogén borítású terület nem teljesen tipikus képpontjait a környezetük mintegy „magával viszi” a megfelelő felszínborítási osztályba. A tapasztalat szerint ez a hatás jóval többször vezet helyes eredményre, mint ahányszor tévesnek bizonyul.

A saját fejlesztéseimben használt Kettig-Landgrebe-féle szegmentáló eljárást többször is javítottam. A homogén cellák csatolási lehetőségeit vizsgálva, az előretekinés hossza tetszőlegesen növelhetővé vált. A csatolási lehetőségek közül pedig nem az elsőként megvalósulót juttatjuk érvényre, hanem a legjobbat vesszük figyelembe. Ezáltal a futási idő csekély növekedése árán a szegmentálás minőségének jelentős javulását értem el.

Az általam fejlesztett osztályozás meghatározó lépése a clusterezés, amelyet mélyebb elméleti megfontolás is alátámaszt. A clustereket a tanulóterületek alapján megfeleltetjük a felszínborítási kategóriáknak, amelyeknek így – a teljes kép alapján kialakított – spektrális alosztályait képezzük. Ezzel az eljárással a teljes felvételt jobban leíró statisztikai eloszlásokhoz jutunk, mint ami a csekély méretű tanulóterület alapján rendelkezésre áll. A képpontok, illetve a szegmensek besorolása ilyen módon stabilabb és megbízhatóbb lett. Az elméleti háttér itt az sokszor igazolt feltételezés teremti meg, amely szerint a valós felszíni borítások intenzitás-értékei normális eloszlást valósítanak meg, illetve több normális eloszlás kompozíciójaként közelíthetők.

A kidolgozott módszertan egységes keretbe foglalja kétféle osztályozást. Ebben a megközelítésben az előzetesen szegmentált felvétel osztályozása analóg a pixel-alapú besorolással, azzal a különbséggel, hogy minden lépésének a szegmensek a meghatározó objektumai. A pontonkénti eljárás szokásos fogal-

mait rendre be kellett vezetni a ponthalmazokat alkotó szegmensekre, amely erősebb matematikai apparátust kívánt.

A felvétel képpontjainak, illetve szegmenseinek az eljárás első lépésében létrejött clustereit a felszínborítási kategóriák lehetséges alosztályainak tekintjük. A clusterek vágását és elhagyását is lehetővé tevő összetett eljárás során alakulnak ki a kategóriák eloszlását leíró végleges alosztályok, amelyekbe a képpontokat, illetve a szegmenseket besoroljuk. A szegmens-alapú osztályozás még kiegészül a pontonkénti felülvizsgálat lépésével. Végül a pontosságvizsgálat lépésére kerül sor, amely a referencia-adatok teszterületnek kijelölt részét használja.

Az osztályozó eljárást többnyire a növényterképek elkészítésében alkalmaztuk. A megbízható eredmény elérésének egyik lényeges eszköze a több időpontban készített felvételek együttes felhasználása. Ugyanis a különböző szántóföldi növények spektrális tulajdonságai egy-egy időszakban nagyon hasonlóak lehetnek, de a felvételek idősorából összeállított többrétegű képen már elkülöníthetők az ilyen kategóriák.

A kutatás egy másik ágában is közreműködtem. Kutatótársaimmal hat további szegmentáló eljárást választottunk, és azokat teljes algoritmikus részletességgel kidolgoztuk. Számos új távolsági mérték vizsgálatát is bevontuk a kutatásba. Távérzékelési ismereteim alapján megfelelő teszterületek kiválasztásával és a futási eredmények értelmezésével segítettem a fejlesztés irányainak meghatározását ([4], [2] és [1]).

1. tézis. Kifejlesztettem egy olyan robusztus és hatékony szegmens-alapú eljárást távérzékelte felvételek osztályozására, amellyel a felszínborítás kategóriáinak elhelyezkedése – a pontonkénti osztályozás eredményét felülmúló – nagy pontossággal feltérképezhető. A szegmens-alapú osztályozást egységes módszertani keretbe foglaltam a pontonkénti eljárással. Módszerem meghatározó lépése a clusterezés, amely a felszínborítási kategóriák alosztályainak meghatározásához teremt lehetőséget. Az eljárás a valós felszíni osztályok statisztikai eloszlásáról szóló általános ismeretekre támaszkodik. Eljárásomban kiegyensúlyozottan érvényesül a clusterezés, az osztályba sorolás valószínűségi módszere és a statisztikai ellenőrzés hatása. Pontonkénti felülvizsgálattal korrigáltam a szegmentálás statisztikusan törvényszerű tévedéseit. Az osztályozás jószágát többforrású (több időpontú, ill. eltérő felbontású) adatok felhasználásával is növeltem. A fejlesztéseimben használt szegmentáló algoritmust többször is javítottam. Résztvettem több további szegmentáló eljárás kiválasztásában és részletes algoritmikus kidolgozásában. Ehhez a kutatáshoz a megfelelő teszterületek kiválasztásával és a futási eredmények értelmezésével is hozzájárultam.

3. Objektum-alapú felvétel-kiértékelés

Néhány éve összetett paradigmaváltást érzékelünk a távérzékelésben, intézeti feladatainkon keresztül is ([10], [13]). Széles körben elérhetővé váltak a szuperfelbontású (VHR) felvételek; a még nagyobb felbontású ortofotók szerepe tovább nőtt. Olyan újszerű feladatok jelentek meg, amelyekben az egyedi képpontok önmagukban nehezen értelmezhetők. A felvételen keresett vagy vizsgált alakzatok gyakran csekélyebb méretűek, szabálytalan határuak vagy inhomogén intenzitásúak (szemben a nagyméretű, szabályos és homogén parcellákkal).

Ezeket a feladatokat már nem lehet a képpontonkénti kiértékelés módszerével megoldani. A környezeti információ felhasználása miatt mindenképpen szükség van a szegmentálásra. Gyakran további statisztikai, geometriai és texturális jellemzőket is be kell vonni a kiértékelésbe. Ezeket fogalmilag az objektumokhoz társítjuk; ez az objektum-alapú felvétel-kiértékelés (OBIA) szemlélete. Az OBIA-t támogató szoftverek kerültek a piacra. Intézetünkben az eCognition-t használjuk, amely gazdag eszköztára részeként számos beépített szegmentáló eljárást is tartalmaz. Egy ilyen professzionális rendszer eljárásait nem lehet biztos elméleti előismeretek és gyakorlati jártasság nélkül eredményesen használni. A szegmentálás terén megszerzett ismeretimmal eredményesen tudtam közreműködni néhány alkalmazásban.

Az OBIA módszertanát először a MePAR-ban, a fizikai blokkokon belüli támogatható, illetve nem támogatható területek lehatárolásánál alkalmaztuk. Ennek gyakori tipikus esetét jelenti a nem támogatható elszórt fák, facsoportok és bokrok leválasztása az egyébként támogatható legelős területekből. A két kategória objektumai tisztán a spektrális tulajdonságok alapján nem választhatók szét biztonságosan. Gyakran nagyobb különbséget mutatnak a fajok egymástól, mint a fák az egyéb növényzettől. Figyelembe vettük ezért a kategóriák mintázatának és az objektumok alakjának a jellemzőit.

Ezt a feladatot az eCognition alkalmazásával oldottuk meg. A bemenő adat ezúttal is többforrású volt: infravörös (CIR) ortofotók mellett szuperfelbontású űrfelvételeket is használtunk. A lehatárolások végső kimenete egy tematikus vektoros, poligonos állomány.

A feladat természetét jobban megismerve egy négylépéses szegmentálást állítottunk össze, részben vágás-, részben összevonás-alapú eljárásokkal. A spektrális nehézségek miatt a megoldásban szerepet kapott a geometriai és texturális jellemzők felhasználása is. Az objektumok textúrájának homogenitását egyrészt a szürkeárnyalat-egybeesési mátrix-szal (GLCM), másrészt az entrópiával mértük. Az osztályozást geometriai jellemzőkkel finomítottuk.

Az OBIA alkalmazására egy sajnálatos ipari katasztrófa, a 2010-es vörösiszap-elöntés hatásainak gyors felmérési igénye is alkalmat adott. Objektum-alapú módszereket kellett alkalmazni, mert az elöntött és az érintetlen terület megbízható szétválasztására csak geometriai és texturális jellemzők bevonásával nyílt lehetőség. A feldolgozáshoz három kategóriát vettünk be: nyílt vörösiszap-felszín, elöntött talaj és elöntött növényzet. A végcél az elöntött terület lehatárolása volt.

A szegmentálást az eCognition eljárásaival három lépésben valósítottuk meg. Összevonások és vágások alkalmazásával, a vörös, a vörös-él és a közeli infravörös tartományokat felhasználó NDVI-jellegű indexek számításával alakultak ki a szegmensek. Az osztályozás maximum-likelihood módszerrel történt.

Geometriai tulajdonságokat is felhasználtunk az osztályozás során, ugyanis a csupasz talaj, valamint a sekélyebb elöntésű felszín spektrális és texturális jellemzői erős hasonlóságot mutatnak. A szétválasztásuk simítással, a szomszédos objektumok figyelembe vételével történt.

Az épületek feltérképezése különbözik legjobban a hagyományos alkalmazásoktól, mivel a beépített, elsősorban városi környezet elemzését kívánja. Az objektum-alapú módszerek szükségessége nyilvánvaló volt, amit csak megerősített, hogy a lakott területek infrastruktúrájára nem lehetett NDVI-jellegű indexeket értelmezni az osztályozás támogatására. Az elemzés képi alapját a 0,5 m-es vagy jobb felbontású ortofotók adják, amelyeket magassági adatokkal egészítünk ki, jóval nagyobb felismerési pontosságot elérve ezzel.

A szegmentálást négy lépésben oldottuk meg, az eCognition eljárásaival. Az osztályozásban főként a geometriai tulajdonságok követése bizonyult célszerűnek. Az utak és az épületek esetében jó eredményt adott a kitöltöttségi mérték (density) alkalmazása. Előfordult olyan eset, amikor ez is kevésnek bizonyul; például a hosszú panelházak teteje és beton-útszakasz csak a magasságértékek bekapcsolásával különböztethető meg.

2. tézis. Az objektum-alapú felvétel-kiértékeléssel kapcsolatos alkalmazásokban és kutatásokban nagyban támaszkodtam a szegmentálás terén kialakult elméleti ismereteimre és megszerzett tapasztalataimra. A felvétel-kiértékelés menetének kialakításában, az alkalmazott szegmentáló és osztályozó eljárások kiválasztásával és paraméterezésével, alkalmas geometriai és texturális jellemzők kialakításával, a megfelelő függvények és parancsok szabálykészletekbe (Rule Sets) rendezésével, valamint az eredmények értelmezésével működtem közre több valós alkalmazásban. A feladatok egy részében a felvétel-kiértékelés egyes lépéseit kollégáim hajtották végre.

4. Többforrású adatok integrált felhasználása

Az adatintegráció területén két fő irányt tartalmaznak a kutatásaim. Az egyik a távérzékelt adatok térbeli, spektrális és időbeli dimenziói közötti összefüggések vizsgálata, a különböző típusú felvételek fúziója, együttes felhasználása. A másik irány az egyéb térinformatikai adatok távérzékeléses alkalmazásokba történő bevonásának kutatása.

A különböző adatforrások jelenthetik egy szenzor sávjait, azonos hordozóeszköz szenzorait, eltérő időpontban készült felvételeket, vektoros lehatárolásokat, térképeket, helyszíni mérési eredményeket. Az integráció jelenthet algoritmikus eljárást az egyesített adatrendszer számítására, vagy emberi döntésekre épülő informális módszert. Az adatfúzió által megvalósított egyesítés a feldolgozás különböző fázisaiban is végbemehet.

A távérzékelésben az adatfúzió leggyakoribb alkalmazása a *felvételek képpont-alapú egyesítése*. Ennek során egy multispektrális felvétel térbeli tulajdonságait javítjuk egy nagyobb felbontású felvétellel történő egyesítés által. Az eljárás használata során a következőket állapítottuk meg:

A szuperfelbontású felvételek képpont-alapú fúziójának eredményét erősen befolyásolja az egyes sávok spektrális tartománya és a rendszerkorrekció. A kvantitatív feldolgozáshoz kedvezőbb lenne, ha az előfeldolgozásnál csak a „legközelebbi szomszéd” újramintavételezést használnánk. A vizuális interpretáció eredményességéhez azonban már a geometriai korrekciónál is simító mintavételezést (bilinéaris interpoláció, köbös konvolúció) kell használni.

A Landsat 7 ETM+ szenzor multispektrális és pankromatikus sávjai közötti képpont-alapú fúzió során a multispektrális felvétel pixelmérete nem volt egész számú többszöröse a pankromatikus pixelméretnek. A georeferálási adatok korrekt felhasználása esetén ez nem okoz problémát.

A Landsat 7 ETM+ szenzorra alkalmazott fúziós eljárások közül a főkomponens-analízisre épülő PCA, a felüláteresztő szűrőt alkalmazó HPF és a sávok spektrális fedését nagyban figyelembe vevő UNB Pansharp adta a legkedvezőbb eredményt az RGB 453-as sávkiosztást vizsgálva.

Az adatfúzió tágabb értelmezésébe beletartozik a *felvételek térbeli, időbeli és spektrális dimenzióinak általános egyesítése* (ld. [16]). Alkalmazásainkban nem egyszer a jobb térbeli vagy spektrális felbontású, de ritka felvételekhez gyakori felvételezésű, térben vagy spektrálisan gyengébb felvételeket integrálunk. A mezőgazdasági alkalmazásoknál pl. a kalászosok és kapások szétválasztását egy vagy két úrfelvétel alapján el lehet végezni. A növényfajok pontosabb meghatározásához azonban több, a kifejlett növényzetet mutató úrfelvételre van szükség az év meghatározott időszakából.

A NÖVMON-ban egy kétszintű időbeli adatfúziós eljárás működött. Az első szintet a kalászosok és kapások időszakán belüli űrfelvételek egyesítése, a másodikat a két időszakban kapott növényterképek tematikus egyesítése jelentette. Kimutattuk, hogy a közepes felbontású űrfelvételek segítségével simábban lehet kvantitatívan monitorozni a vegetáció állapotát és időbeli változását, mint a gyakoribb kisfelbontású felvételekkel, mert kevésbé kevertek a képpontok. A legjobb eredményt a kétféle felvételtípus együtt adja.

Az adatfúzió *általános értelmezése* megengedi a különböző *térinformatikai adatrendszerek integrálását* a távérzékelt adatokhoz, ami használható a lehatárolás pontosításánál és az elemi feldolgozási egységek meghatározásánál. Figyelembe kell venni azonban a vektoros lehatárolás és a távérzékelt adatrendszer pontosságát. A helyszíni adatgyűjtés szintén felfogható az adatintegráció esetének. Történhet a távérzékéletes elemzés előtt (referenciaadatgyűjtés), közben (gyors helyszíni szemle) vagy után (követő ellenőrzés). Alkalmazásainkban fontos a domborzatmodellből számított lejtőkategória-térkép és az objektumok magassági térképének felhasználása. Előbbinél a távérzékéletes felhasználás előtt vektorizáljuk a raszteres lehatárolásokat.

A szegmens-alapú osztályozás és az adatintegráció összefüggéseit is vizsgáltuk. Szegmens-alapú osztályozási módszerünk felkészíthető – a hasonló paraméterű, azonos térbeli felbontású űrfelvételek mellett – a különböző pixelméretű felvételek fogadására. A szegmentálásba és az osztályozásba raszteres vagy vektoros formában rendelkezésre álló adatok is bevihetők. Egy további fontos összefüggés állapítható meg az OBIA-alkalmazások és az adatintegráció között: a kiértékelés fázisaiban kapott részeredményekre, a köztes tematikus osztályozásokra mind a két megközelítésben szabályrendszereket építhetünk, amelyek kialakításához az emberi gondolkodásra épülő vizuális interpretáció adja az ötleteket.

3. tézis. Több alkalmazásban bevezettem, illetve továbbfejlesztettem a pixel-alapú egyesítés módszerét, illetve az adatfúzió általános értelmezését alapul véve a távérzékelt felvételek térbeli, időbeli és spektrális tulajdonságainak előnyös integrálását. Részt vettem egyes ritka szántóföldi növények fejlődés-vizsgálatának közepes felbontású felvételekkel történő finomításában. A gyakorlati alkalmazásokban jelentős részt vállaltam a különböző térinformatikai adatok – helyszíni mérések, domborzatmodell – megfelelő integrációjának módszertani kialakításában. Az adatfúziós kutatásaink a megvalósított szegmens-alapú osztályozási módszertan továbbfejlesztésének irányát is megadták (különböző felbontású felvételek, vektoros adatok együttes felhasználása), amely részben már megvalósult az OBIA bevezetésével.

5. Alkalmazások a távérzékelés területén

Munkahelyemen több alkalmazás eredményességéhez saját kutató-fejlesztő munkámmal is hozzájárultam. A következőkben elsősorban fő kutatási témáim megjelenéseire hivatkozom. A szegmentálás főként olyan tematikus osztályozási feladatokban alkalmazható, ahol az azonos kategóriába kerülő pixelek csoportjai valós objektumokat reprezentálnak (pl. mezőgazdasági parcellák), azonban más esetekben is hasznosnak bizonyult ez a megközelítés (pl. a vörösiszap-elöntés térképezése). Alkalmazásaink erősen építenek a különböző típusú felvételek integrációjára. Az idődimenzió különösen a felszínborítási kategóriák megkülönböztetésében és a növényfejlődés értékelésében fontos.

Országos Szántóföldi Növénymonitoring és Termésbecslés (NÖV-MON): A NÖV-MON program (1997-2003) a nyolc fő szántóföldi növény megyei és országos területének meghatározását, valamint a várható hozamok becslését végezte. Az eltérő felbontású és időpontú felvételeket integrált módon használtuk fel az egyre fejlettebbé váló képiértékelő eljárásokban.

A NÖV-MON projekt feladatai révén a legszorosabb kölcsönhatásban áll a kutatási tevékenységgel. A szegmens-alapú osztályozás legtöbb vizsgált kérdése már itt felvetődött; az eredmények pedig beépültek a projektbe. Ezen kívül, a hozambecslési alrendszerébe beépítettem négy új szenzor radiometriai korrekcióját. A Landsat 5 TM szenzorral való visszavezetéssel megvalósítottam az egyes indexek kiszámítására alkalmas Tasseled Cap-transzformációt a Landsat 7 ETM+ szenzorral, valamint kifejlesztettem és implementáltam a transzformációra épülő félautomatikus felhő- és felhőárnyékszűrő eljárást.

Távérzékeléses támogatás-ellenőrzés (TámEll): A gazdálkodók évente kb. 180 ezer kérelmet nyújtanak be EU-s mezőgazdasági támogatásra. Ennek 5-9%-a fizikai ellenőrzésre kerül, ami 60-80 ezer parcella távérzékeléses vizsgálatát jelenti a termesztett növény, a terület helyessége és a Helyes Mezőgazdasági és Környezeti Állapot szempontjából. A vizuális interpretáción alapuló rendszerbe jelentős szakmai tudás épül be a jog, a folyamatalkotás, a mezőgazdaság, a térinformatika, a távérzékelés, az adatintegráció és az osztályozás területéről. A módszertan pontosságával szemben erős hibahatár érvényesül: a kérelmek 1%-át elérő hibázás már veszélyes lenne.

A feladat módszertani és folyamatfelelőseként hazai és nemzetközi egyeztetés és pontos folyamatalkotás tartozik feladataim közé. Szakmai oldalról a távérzékelés felvételek kiválasztásával, előfeldolgozásával, a térinformatika, az adatintegráció és az osztályozás módszertanának komplex alkalmazásával, valamint az adatbázis-fejlesztési és adatfeldolgozási feladatok elvégzésével járulok hozzá az évente ismétlődő kampány sikeres lebonyolításához ([14], [15]).

A Mezőgazdasági Parcella-azonosító Rendszer (MePAR): A MePAR az EU-s mezőgazdasági támogatások kizárólagos térinformatikai azonosítási rendszere, amelynek alapja a térképhelyes légifelvétel (ortofotó). A parcellák azonosításához és területük meghatározásához nyújt keretet. Különböző tematikus rétegeket is tárol (pl. Natura 2000). A fizikai blokkok felújításához (a felszínborítás pontosításához, a stabil elemek azonosításához) műholdfelvételek is felhasználásra kerülnek. Készítettem egy pixelalapú fúziót az összes felhasznált műholdfelvételre országos szinten megvalósító eljárást. Meghatározó részvételemmel a felújítás részévé vált a statisztikai, majd objektum-alapú osztályozás ([10]).

Katasztrófa-monitoring: Az árvíz-, a belvív- és az aszályfelmérés három különböző távérzékelési megközelítést igényel, de közös bennük az űrfelvételek széles spektruma, az általános értelemben vett képfúzió és az idődimenzió többrétű fontossága. Elsősorban az aszálytérképezésben vettem részt, amelyben a fentiekén túl fontos a radiometriai korrekció, az interkalibráció és a vegetációs indexek számolása. Modelleket és programokat készítettem a felvételek előfeldolgozásához, interkalibrációjához és a vegetációs indexek dekádokénti maximum-kompozitjainak kiszámításához. Az utóbbiak felhasználásával több időszakra aszálytérképeket készítettem és elemeztem a kapott eredményeket.

Parlagfű felmérése távérzékeléssel: A parlagfű elleni védekezés projektjében jelentős innováció valósul meg a növény térbeli és időbeli szabálytalan viselkedésének kezelésére, az adatintegráció és az OBIA alkalmazásával. Saját eredményként módszert dolgoztam ki a távérzékeléssel kapott parlagfűfoltok térinformatikai feldolgozására, melynek célja, hogy a lokális zajok által eredményezett hibák ne jelenjenek meg a hivatalos eljárásban. Kidolgoztam egy módszert a fizikai blokkok és a települések fertőzöttségének a távérzékeléses és a helyszíni ellenőrzés eredményei alapján történő osztályozására.

4. tézis. A távérzékelés jelentős területein hét országos projekt megvalósításában vettem vagy veszek részt, az egyikben vezetőként. Ezekben együtt a felvételkiértékelés módszereinek szinte teljes spektruma megtalálható. Főbb eredményeim: folyamatalkotás (EU-s harmonizációban), módszertan kidolgozása, felvételek előfeldolgozása (geometriai és radiometriai korrekció, felhőszűrés), adatfúzió (pixel-alapú egyesítés, interkalibráció), OBIA-módszerek alkalmazása (geometriai és texturális jellemzőkkel, indexekkel), térinformatikai adatmodellek beépítése (domborzatmodell), osztályozás, valamint az eredmények kvantitatív minősítése és kvalitatív értelmezése.

6. A távérzékelés oktatása

Az ELTE Informatikai Karán a Programtervező informatikus szakon 2004-ben indult a Térinformatikai modul. Ebben kapott helyet a Távérzékelés felvételek elemzése című kurzus is, amelyet az ELTE és a FÖMI munkatársai együtt gondoznak. Az előadásokat jelenleg én tartom, de a gyakorlati órákban is részt vállalom néhány fontosabb eljárás demonstrálásával. Az oktatási eredményekről konferencián és folyóiratban is beszámoltunk ([5]).

Az előadáshoz készített, több, mint 400 diából álló oktatási anyag minőségében már közel áll a jegyzet műfajához. Ezt az is megerősíti, hogy támogatást nyert az IK 2011-es jegyzetpályázatán és elhelyezésre került a Kar digitális könyvtárában ([11]). A közeljövőben elkészül az a tankönyv, amelyen a TÁMOP-3.1.4 jelű pályázat támogatásával dolgozunk szerzőtársaimmal.

Az oktatás „ihlette” a tematikus osztályozás fogalmainak (pl. digitális felvétel, intenzitástér, clusterezés, alosztályok finomítása, szegmentálás) formális matematikai leírását, amely dolgozatom I. és II. részén végigvonnul a tárgyalásban. Az egzakt fogalomrendszer számos esetben hasznos eszköznek bizonyult a kutatás-fejlesztés során az algoritmikus tervezésben.

Valós gyakorlati problémák meghirdetésével diplomamunkák témavezetését is vállalom. A legutóbb elkészült dolgozatban kidolgozott módszerek becsatlakoztak a FÖMI operatív projektjeibe, és professzionális megoldások alapját képezték ([5], [13]).

Konzultációk tartásával segítem a Térinformatikai labor keretében folyó oktatást. A laborprojektben jelentős szerepet kap az AEGIS nyílt forrású térinformatikai keretrendszer, amelynek fejlesztését és alkalmazásait a gyakorlat oldaláról támogatom ([5], [12]).

A Térinformatikai szakirányú képzési modult – és így a Távérzékelés felvételek elemzése kurzust is – eddig több száz hallgató végezte el. Közülük számosan ezen a szakterületen helyezkedtek el, néhányan éppen a FÖMI-ben. Személyükben saját tanítványaim váltak munkatársaimmá.

Eredmény. Az ELTE Informatikai Karán nyolc éve, jelenleg a tárgy előadójaként veszek részt a távérzékelés oktatásában. A mintegy 400 diából álló oktatási anyag alapján készülő tankönyv 2013-ban megjelenik. Az általam kidolgozott formális matematikai leírás az oktatáson kívül általánosan is használhatónak bizonyult. Rendszeresen gyakorlati diplomamunka-témákat hirdetek meg. Konzultációkkal támogatom a hallgatói labor projekt munkáit.

Hivatkozások

- [1] Dezső B.: Optimization methods in remote sensing and geoinformatics. Ph.D. Dissertation (Supervisor: Dr. István Fekete), Eötvös Loránd University, Faculty of Informatics, Doctoral School of Informatics, Budapest, 2012.
- [2] Dezső B., Giachetta R., László I., Fekete I.: Experimental study on graph-based image segmentation methods in the classification of satellite images. *EARSeL eProceedings*, Vol. 11, 2012. (pp. 12–24.)
- [3] Fekete I., Farkasfalvy J.: Automatic segmentation of multispectral digital images. In: *5th Conference of Program Designers*, ELTE, Budapest, 1989.
- [4] Fekete I., Dezső B., László I., Ócsai K.: A szegmentálás szerepe az úrfelvételek tematikus osztályozásában. In: *Informatika a felsőoktatásban 2008*, Debrecen 2008.
- [5] Giachetta R., László I., Elek I., Fekete I., Gera D.: Térinformatikai oktatás és kutatás-fejlesztés az ELTE Informatikai Karán (GIS Education and Research at Eötvös Loránd University, Faculty of Informatics). *Agárinformatika Folyóirat*. 2011. 2. évfolyam 1. szám (Journal of Agricultural Informatics. 2011 Vol. 2, No. 1)
- [6] László I., Nádor G., Fekete I., Csornai G., Kocsis A.: A segment-based classification method for satellite images. In: *5th International Conference on Applied Informatics*, Eger, 2001.
- [7] László I., Pröhle T., Fekete I., Csornai G.: A method for classifying satellite images using segments. In: *Annales Univ. Sci. Budapest., Sectio Computatorica*, 23 (2004) 163–178.
- [8] László I., Dezső B., Fekete I., Pröhle T.: A Fully Segment-Based Method for the Classification of Satellite Images. In: *Annales Univ. Sci. Budapest., Sectio Computatorica*, 30 (2009) 157–174.
- [9] G. Csornai, I. László, G. Mikus, G. Nádor, I. Hubik, K. Lipták, M. Antal, K. Ócsai, I. Fekete, D. Gera: The Possibilities of New Satellite Image Types in the Control of Area-based Subsidies and in Ragweed Monitoring System. *Remote Sensing for Science, Education, and Natural and Cultural Heritage – Proceedings of the 30th Symposium of EARSeL* (ISBN 978-3-00-033435-1), EARSeL, 2010 (pp. 699-706)

- [10] László I., Ócsai K., Gera D., Giachetta R., Fekete I.: Object-Based Image Analysis of Pasture with Trees and Red Mud Spill. In: In: L. Halounová (Ed.): Remote Sensing and Geoinformation not only for Scientific Cooperation - Proceedings of the 31st Symposium of EARSeL, (ISBN 978-80-01-04868-9), EARSeL 2011. (pp. 423-431)
- [11] László I., Csornai G.: Távérzékelte felvételek elemzése. Egyetemi előadás diasora. Elérhetőség az ELTE IK honlapján: <http://www.inf.elte.hu/karunkrol/digitkonyv/Lapok/2011jegyzettamogatatas.aspx>
A tárgyfelelős oktató honlapján: http://people.inf.elte.hu/fekete/taverzekeles/eloadasok_2013/
- [12] R. Giachetta, I. László and Cs. L. Bálint: Towards the new open source GIS platform AEGIS. In: Degbelo, A. et al. (eds.): GI Zeitgeist 2012 – Proceedings of the Young Researchers Forum on Geographic Information Science, 11-22, 2012.
- [13] László I., Dezső B., I. Fekete, Gera D., Roberto G., László I.: Object-based Image Analysis in Remote Sensing Applications Using Various Segmentation Techniques. Annales Univ. Sci. Budapest, Sectio Computatorica Vol. 37 (2012) 103–120. Selected papers of 9th Joint Conference on Mathematics and Computer Science (MaCS) 2012 February 9-12, 2012, Siófok, Hungary
- [14] I. László: The integration of remote sensing and GIS data in the control of agricultural subsidies in Hungary. Előadás, 33rd EARSeL Symposium, Matera, Olaszország, 2013. június 3-6. (A cikk megjelenés alatt a konferencia kiadványában.)
- [15] G. Nádor, I. László: Comparative analysis of Pleiades and other VHR images in quantitative and visual evaluation. Előadás, 33rd EARSeL Symposium, Matera, Olaszország, 2013. június 3-6. (A cikk megjelenés alatt a konferencia kiadványában.)
- [16] Wald, L.: *Data Fusion: Definitions and Architectures - Fusion of images of different spatial resolutions*. L'Ecole des Mines de Paris, 2002.