

Nyugat-magyarországi Egyetem
Erdőmérnöki Kar

FOLYÓMENTI VIZES ÉLŐHELYEK
VEGETÁCIÓJÁNAK
TÉRBELI ÉS IDŐBELI VIZSGÁLATA

Doktori értekezés tézisei

Kollár Szilvia



Sopron, 2014

Kitaibel Pál Környezettudományi Doktori Iskola
K4 Geoinformatikai Program
Témavezetők: Dr.Vekerdy Zoltán
Prof.Dr.habil Márkus Béla

Rövidítések jegyzéke

Á-NÉR	Általános Nemzeti Élőhelyosztályozási Rendszer
ASV	Ásványráró településhez közeli mintaterület
CDBF	Class Description Based Fuzzy algoritmus
CIR	Colour-infrared (infraszínes)
DK	Dunakiliti településhez közeli mintaterület
DR	Dunaremete településhez közeli mintaterület
FATI1	Az 1. faállomány típus kódja
FÖMI	Földmérési és Távérzékelési Intézet, Budapest
GLCM	Grey Level Co-occurrence Matrix
GLDV	Grey Level Difference Vector
JM	Jeffries-Matusita (statisztikai szeparabilitási elemzés)
MR	Multi-resolution (szegmentálás)
NDVI	Normalized Difference Vegetation Index
NNY	Nemes nyáras
OA	Overall accuracy (átlagos pontosság)
OBIA	Object-Based Image Analysis (objektum alapú képelemzés)

Az értekezés tárgya

A természetes és a természetközeli élőhelyek csökkenése és ezzel a biológiai sokféleség negatív változása napjaink legaktuálisabb problémái közé tartoznak. A változások objektív nyomon követése és hatékony kezelése érdekében megfelelő vizsgálati módszerre van szükség. A vizes élőhelyek kiemelt jelentőséggel bírnak, hiszen a legtermékenyebb ökoszisztémák közé tartoznak és az utóbbi évek változásai következtében a legsérülékenyebbekké váltak. Ilyen élőhelyeken, például folyómenti hullámtéren a vízelöntés következtében a hagyományos terepi bejárás és mintavételezés sokszor nehézkes, valamint nagyobb területek térképezésénél nem ad naprakész eredményt. A távérzékelte adatok (űr- és légifelvétel) manuális feldolgozása pedig a terepmunkához hasonlóan szubjektív és időigényes. Az elmúlt években az egyre több és egyre nagyobb felbontású távérzékelte felvételek elérhetősége szükségessé tette a (fél-)automatikus képiértékelési módszerek szélesebb körben való alkalmazását, mely a számítógépes kapacitás egyidejű fejlődésével lehetővé vált. Ebből adódik, hogy a rendelkezésre álló légifelvétel automatikus feldolgozása potenciális lehetőséget nyújt az említett ökoszisztéma-változás követésére, mely a jövőbeni restaurációs stratégiák alapját jelentheti.

A disszertáció fő célkitűzése olyan vegetációtérképezési módszer kidolgozása, mely nagy felbontású légifelvétel automatikus kiértékelésére épül.

1. A szerző elsőként a Szigetköz hullámtérének egy kiválasztott mintaterületére kívánja kidolgozni a módszert, több különböző időpontú légifelvétel elemzésével.

2. Ezt követően olyan képosztályozási módszer kialakítása a cél, mely lehetővé teszi a mintaterületen kívül eső, de még a hullámterhez tartozó élőhelyek automatikus osztályozását.
3. A szerző ezután különböző évek hasonló vegetációjának elemzéséhez keres megfelelő képkiértékelési módszert, egy kiválasztott mintaterület alapján.
4. Végül egy olyan módszer kidolgozása a cél, mely univerzális módon alkalmazható térben vagy időben különböző, de megegyező spektrális és geometriai felbontással rendelkező légifelvételek vizsgálatára, melynek során erdős és nem erdős területek a mintakép alapján automatikusan osztályozhatóak.

Anyag és módszer

A Szigetköz hullámterén három mintaterület került vizsgálatra, Dunakiliti (DK), Dunaremete (DR) és Ásványráró (ASV) térsége (a legközelebbi településekről elnevezve). A felhasznált színes és infraszínes ortofotók, melyek részben a FÖMI, részben a Nyugat-magyarországi Egyetem Archívumából származnak 2-3 km²-nél nem nagyobb terület borítanak. Terepi felbontásuk a 2008-as és a 2005-ös felvétel újramintavételezését követően 1,25 m/pixel, mely az 1999-es ortofotó eredeti felbontásának felel meg. A vegetációtérképezés célosztályai az Á-NÉR (Általános Nemzeti Élőhelyosztályozási Rendszer) szerinti botanikai élőhelytérkép (forrása a Fertő-Hanság Nemzeti Park) és a Szombathelyi Erdészeti Igazgatóságtól származó erdészeti adatok (FATI1: első faállomány típusa) felhasználásával kerültek kiválasztásra, figye-

lembe véve a vizuális interpretáció alapján jól elkülöníthető vegetációs típusokat. Mivel részletes botanikai felmérés a Nemzeti Biodiverzitás monitorozó Rendszer keretén belül Á-NÉR osztályozással a hullámtérnek csak adott területére készült, a képelemzési eljárások kidolgozása elsődlegesen az átfedés alapján meghatározott fő mintaterületre (DR) koncentrált.

A nagy felbontású (5 m/pixel alatti terepi felbontású) távérzékelt felvételek részletgazdagsága következtében a pixel alapú képfeldolgozó algoritmusok használata sokszor nehézkes, mellyel szemben nagy előnyt jelent az objektum alapú képelemzés (*object-based image analysis*, OBIA), mely a képfeldolgozás első lépéseként képszegmentálást alkalmaz. A leggyakrabban alkalmazott „*multi-resolution*” (MR) szegmentálási módszernél szükség van a szegmentálandó objektumokra vonatkozó homogenitási kritérium beállítására, mely a szín és a forma „értékeinek” együtteséből áll össze. Ez alapján lehetséges a vízzel borított területek pontos lehatárolása, melyek esetében a szín-információ a meghatározó. Ezzel szemben a növényzeti osztályokra a heterogén mintázatból adódóan a spektrális jellemzés nem elegendő.

Objektumokra koncentrálna a felépítő pixelek (különböző sávokra, ill. az első főkomponensre vonatkozó) átlagos radiometriai értéke helyett vizsgálható a szegmensek egyik geostatisztikai jellemzője, a GLCM (*Grey Level Co-occurrence Matrix*) textúra. A GLCM, azaz a szürkeségi együttes előforduló mátrix azt írja le, hogy egy szürkeárnyalatos képen (szegmensen) adott intenzitású pixelpárok egymástól meghatározott távolságra és irányban milyen gyakorisággal fordulnak elő. A GLCM-ből kiszámítható paraméterek pedig segítenek a kép textúrá-

jának jellemzésében. A textúra egységes vizsgálata érdekében az említett MR szegmentáció helyett elsősorban a sakktáblaszerű (*chessboard*) szegmentálást alkalmazta a szerző. A szegmentálási típus jelentősége összehasonlító megbízhatósági elemzésből derült ki. A sakktáblaszerű szegmentálásnál a kép szabályos négyzetekre való felosztása történik meg. A négyzetek optimális méretének meghatározását a tematikus osztályok mintái alapján kiszámított variogramok elemzése segítette.

A texturális paraméterekre vonatkozó dimenziócsökkentés, valamint a vizsgálandó vegetációs osztályok elválaszthatóságának megítélése érdekében a Jeffries-Matusita (JM) statisztikai távolság elemzésére került sor.

Ezt követően az objektumok tematikus osztályokba sorolása az osztály-jellemzésen alapuló (*class description based*) fuzzy (CDBF) algoritmus szerint történt, mely a tanítóval történő osztályozás egyik típusa OBIA környezetben. A disszertációban alkalmazott másik osztályozási eljárás hierarchikus és az ún. döntési fa (*decision tree*) optimális kialakítására épül a bemenő paraméterek: kijelölt osztályok (tanítóterületek) és a meghatározott spektrális és texturális jellemzők alapján.

A megbízhatósági elemzés az átlagos pontosság (*overall accuracy*, OA) és a Kappa index vizsgálatára épült, melyek esetében a tanítóterületekkel nem egybeeső referenciaterületek kiválasztása vizuális interpretáción alapult.

ERDAS Imagine, ArcGIS és az R statisztikai szoftver használata mellett, a képkértékelési módszerek elsősorban az objektum alapú képosztályozáshoz kifejlesztett eCognition Developer alkalmazásban kerültek vizsgálatra és kidolgozásra.

Eredmények

Elsőként a szerző a fő mintaterület (DR) vegetációtérképezésére koncentrált és három különböző időpontból (2008, 2005, 1999) származó színes és infraszínes légifelvételt egymástól függetlenül vizsgált. Bebizonyította, hogy a spektrális (vegetációs index) és a Jeffries-Matusita szeparabilitási elemzés által meghatározott GLCM texturális paraméterek kombinációja, mint bemeneti paraméter együttes adja a legjobb vegetációosztályozási eredményt a CDBF képelemzési algoritmust alkalmazva, szemben a kizárólag spektrális vagy texturális tulajdonságok alkalmazásával. A vegetációosztályozás alapegységét 20 m×20 m-es szabályos szegmensek képezték, melyek jobb pontossági értéket adtak (OA érték 82% és 87% között) az MR-szegmens-alapnál (OA 61% és 78% között) mindhárom kép esetében. Az itt alkalmazott „egyszerű” vegetációosztályozási rendszer kiválasztott élőhelyek detektálására koncentrált. Az osztályozatlanul maradt területek kiértékelése céljából egy „kiterjesztett” osztályozási rendszer definiálására került sor Dunaremete teszterületére, a 2008-as felvételre, melynek átlagos osztályozási pontossága 88% volt, osztályozatlan területek azonban továbbra is maradtak.

A DR mintaterületet (2008) másik képosztályozási algoritmussal, a döntési fával vizsgálva már valamennyi szegmens osztályozásra került és az osztályozás pontossága 90% volt a kiterjesztett osztályozási rendszerrel. Ezen felül a mintaképre kidolgozott döntési fa képosztályozót a hullámtér másik két mintaterületére (DK, ASV) is alkalmazta a szerző, melynek során a DK teszterületen a nemes nyárasok detek-

tálása 85%-nál nagyobb felhasználói (*user's*) és előállítói (*producer's*) pontosságot adott. A további vizsgálatok azt igazolták, hogy a nemes nyáras vegetációs osztály más mintaterületen (ASV) is osztályozható egy mintaképre kidolgozott döntési fa automatikus alkalmazásával. Ehhez azonban szükséges, hogy a mintaképen a nemes nyáras osztály tanítóterületei kizárólag a 059-es (Nemes nyáras, NNY) FATI1 kóddal rendelkezzenek.

A JM elválaszthatósági elemzést különböző időpontú CIR légifelvételekre (ill. az azokból vett tanítóterületekre) alkalmazva a szerző bebizonyította, hogy a GLCM szórás jellemzője stabil paraméternek bizonyul, mely alkalmas a különböző felvételeken megjelenő hasonló növényzet (alacsony vegetáció) és a különböző mintázattal rendelkező vegetáció (nemes nyárasok) kimutatására. Ezt követően egy generalizált osztályozási rendszert: az alacsony és a magas vegetáció elkülönítését vizsgálta a szerző és kimutatta, hogy a 2008-as felvételre a GLCM szórás és egy spektrális jellemző (vegetációs index) paraméter együttesére kidolgozott döntési fa képosztályozó automatikusan alkalmazható a korábbi CIR légifotó (1999) osztályozására. Bebizonyította, hogy a NIR-R-G sávokkal rendelkező 1999-es felvétel esetében a GLCM szórás önmagában elegendő az alacsony és a magas vegetáció elkülönítésére.

A magas és az alacsony vegetáció, illetve az erdős és nem erdős hullámtér automatikus osztályozása másik mintaterületre (DK) is bizonyításra került a mintakép alapú döntési fa átvitelével. Így az osztályozási algoritmus térben és időben is automatikusan kiterjeszhetővé válik. A korábban alkalmazott 20 m × 20 m-es szegmensek osztályozása

mellett a szabálytalan (MR) objektumok osztályozása is vizsgálatra került, melyre a szabályos szegmensekkel összehasonlítva az átlagos pontosság értéke alacsonyabb volt, de valamennyi mintaterületre $\geq 87\%$.

Következtetések és javaslatok

Nagy felbontású légifelvételek automatikus kiértékelése objektív vegetációelemzési módszert kínál szemben a terepi mintavételezésen alapuló növényzeti monitorozással. Az itt kidolgozott képosztályozási módszerek jelentős mértékben támogathatják a botanikusok és erdészek munkáját új élőhelytérképek készítését és a régiók felújítását illetően.

A botanikai élőhelytérképnek és az erdészeti adatoknak a légifelvétellel (1,25 m/pixel terepi felbontás) való összevetéséből meghatározhatóak voltak a cél vegetációs típusok. Az így kialakított vegetációosztályozási rendszer megbízhatósága azonban vitatható, hiszen a légifelvétel és a kiegészítő adatok különböző időpontokból származnak.

Az infraszínes felvételek alkalmazásának fontosságát igazolta a vegetációs indexek használata, melyek a víz és a növényzet konkrét elválaszthatóságát biztosítják, valamint a vegetációs osztályok elválaszthatósága is javul, beleértve a nemes nyárasok automatikus detektálási lehetőségét.

A döntési fa átvitelének módszere CIR légifelvételekre alkalmazva elsőként a nemes nyárasok gyors térképezésében segít, abban az esetben, ha a felvételek egy adott repülésből származnak, továbbá az alacsony és a magas vegetáció automatikus elkülönítésére is alkalmas a módszer térbeli és időbeli monitorozási célból. A Jeffries-Matusita separabilitási vizsgálat kiemelt jelentőséggel bír a szignifikáns paraméte-

rek kiválasztását illetően, konkrét időpontra és több időpontra vonatkozó képelemzésnél.

Az MR-szegmens alapú osztályozási eredmények pontos megítéléséhez, különös tekintettel a vegetációs típusok határaitra, megfelelő pontossági elemzés kidolgozására van szükség a jövőben.

A további kutatások során az egy időből származó légifelvételek és referenciaadatok vizsgálata lehetővé tenné pontosabb vegetációosztályozási rendszer és megbízhatósági elemzés alkalmazását. Részletes erdészeti adatok felhasználásával pedig a faj és kor összetétel egyúttal térképezhetővé válna.

A korábbi (1999, eredetileg analóg) NIR-R-G légifelvételen a texturális jellemző a spektrálisnál nagyobb jelentőséggel bírt az alacsony és a magas vegetáció elkülönítésére, ellentétben a digitális felvétellel (2008), melynek spektrális sávkombinációja: NIR-G-B is különböző volt. Ennek jövőbeni egzakt bizonyításához azonban további légifelvételek elemzésére van szükség.

A tanulmányban kialakított automatikus képelemzési módszerek kiegészíthetnek egy napjainkban folyó kutatást, az INMEIN („Innovative methods for monitoring and inventory of Danube floodplain forests based on 3D technologies of remote sensing”) magyar-szlovák határon átnyúló projektjét, melyben lehetővé válna aktuális (2013) légifényképek és LiDAR adatok együttes elemzése.

Továbbá javasolt a kidolgozott vegetációtérképezési módszerek egyetemes alkalmazhatóságának vizsgálata további hullámtéri élőhelyekre és hasonló növényzettel fedett területekre.

Az értekezés tézisei

1. Különböző évekből származó szegmentált légifelvétel feldolgozásánál az osztályjellemezésen alapuló (class description based) fuzzy algoritmus mint tanítóterületekkel végzett képosztályozó eljárás akkor adja a legjobb vegetációosztályozási eredményt, ha az algoritmus bemeneti paramétereit spektrális és texturális paramétereket is tartalmaznak, nemcsak kizárólag spektrális vagy texturális. A jelen kutatásban elvégzett megbízhatósági elemzés alapján a következő paraméterek alkalmazása adja a legjobb eredményt: GLCM (Grey Level Co-occurrence Matrix) szórás, GLCM kontraszt, GLCM átlag, GLDV (Grey Level Difference Vector) entrópia, vegetációs index.
2. Nemes nyárasok térképezésére bizonyítottam, hogy szegmentált infraszínes légifelvételre kidolgozott döntési fa képosztályozó a hozzá tartozó spektrális-texturális paraméterekkel más területekre is automatikusan átvihető. Ennek előfeltétele, hogy a döntési fa kialakításánál a nemes nyáras osztályhoz kiválasztott minták első faállomány típusa (FATI1 kód az erdészeti adatok alapján) kizárólag Nemes nyáras (FATI1: NNY) lehet, nem választható összetett állománytípus, mint például Hazai nyáras-Nemes nyáras (FATI1: NNY-HNY), még ha ezekben a nemes nyár (*Populus x euramericana 'Pannonia'*) túlnyomó többségben is van, mert ezek osztályozási hibákat okoznak. A kidolgozott módszerrel a nemes nyárasok erdészeti célú gyors térképezése CIR légifelvételekkel megoldható.

3. Szisztematikus Jeffries-Matusita osztály-elválaszthatósági elemzéssel bebizonyítottam, hogy a GLCM szórás megbízható texturális paraméter a vegetációmintázati hasonlóságok és különbségek kimutatására 20 m×20 m-es (16×16 pixel) szegmensek vizsgálata során a különböző évekből származó, különböző technikával készült infraszínes légifelvételeken.
4. Képfeldolgozási eredmények pontossági elemzésével bizonyítottam, hogy egy elérhető legújabb infraszínes légifelvétel alapján kidolgozott döntési fa képosztályozó a hozzá tartozó spektrális és texturális paraméterekkel alkalmas egy ugyanazon területet borító régebbi képen is az alacsony és a magas növényzet elkülönítésére. A képek terepi felbontásának egyeznie kell és tartalmazniuk kell a közeli infravörös sávot.
5. Kimutattam, hogy a GLCM szórás mint texturális paraméter használata elegendő a magas és az alacsony vegetáció elkülönítésére NIR-R-G légifelvételeken.
6. Bizonyítottam, hogy ugyanarra a hullámtérre vonatkozó, de különböző időpontú és különböző területeket lefedő, azonos terepi felbontású, szegmentált CIR légifelvételeken az erdő- és nem erdőterületek automatikus osztályozása lehetséges egy elérhető legújabb mintakép alapján kidolgozott döntési fa képosztályozóval. Ez a légifelvételek objektum alapú elemzésén alapuló módszer térben és időben is átvihető osztályozást biztosít az alacsony és magas vegetációs borítottság gyors térképezésére, ami gyakran szükséges a környezeti modellezésben és monitorozásban.

Publikációk

Lektorált folyóiratcikkek

KOLLÁR, SZ.–VEKERDY, Z.–MÁRKUS, B.(2013): Aerial image classification for the mapping of riparian vegetation habitats. *Acta Silv. Lign. Hung.*, 9:119–133.

KOLLÁR, SZ.–VEKERDY, Z.–MÁRKUS, B.(2011): Forest habitat change dynamics in a riparian wetland. *Procedia Environmental Sciences*, 7:371-376.

KOLLÁR, SZ.(2010): Az objektum alapú képosztályozás és a vizes élőhelyek kutatása. *Geodézia és Kartográfia*, 62(8): 32-37.

Konferenciakiadványban megjelent cikkek

KOLLÁR, SZ.–VEKERDY, Z.–MÁRKUS, B.(2013): Geostatistical characterization of wetland habitats. In Neményi, M., Varga,L., Facskó, F. és Lőrincz, I. (szerk.): Science for Sustainability. Proceedings of International Scientific Conference for PhD Students. 2013. márc. 19-20. Győr. University of West Hungary Press. Sopron. (ISBN: 978-963-334-103-2) 106–111.

KOLLÁR, SZ.–VEKERDY, Z.–MÁRKUS, B.(2013): The role of geostatistical measures in the classification of riparian vegetation - case study about a Hungarian floodplain. In Thinh, N. X. (Hrsg.): Modellierung und Simulation von Ökosystemen. Workshop Kölpinsee 2012. Shaker Verlag. Aachen. (ISBN: 978-3-8375-0810-9) 227–236.

KOLLÁR, SZ.–VEKERDY, Z.–MÁRKUS, B.(2011): Hullámtéri élőhely-lehatárolás távérzékelési alapon. In Lakatos, F., Polgár, A., Kerényi-Nagy, V. (szerk.): Tudományos Doktorandusz Konferencia. Konferenciakötet. 2011. ápr. 13. Nyugat-magyarországi Egyetem. Erdőmérnöki Kar. Sopron. (ISBN: 978-963-334-013-4). 119–123.

JOHANSEN, K.–GROVE, J.–HOFFMANN, C.–KOLLAR, SZ.–PHINN, S.(2010): Object-based image analysis of bank condition using airborne LiDAR and high spatial resolution image data in Victoria, Australia. *In: Proceedings of the 15th Australasian Remote Sensing & Photogrammetry Conference*. Alice Springs, Australia. 13-17 Sept. 2010

Előadások és poszterek

KOLLÁR, SZ.–VEKERDY, Z.–MÁRKUS, B.(2012): The role of geostatistical measures in the classification of riparian vegetation. Case study about a Hungarian floodplain. XVI. Workshop „Modellierung und Simulation von Ökosystemen”. 24-26. Oct. 2012, Kölpinsee/Usedom, Germany.

KOLLÁR, SZ.–VEKERDY, Z.–MÁRKUS, B.(2011): Forest habitat change dynamics in a riparian wetland. 1st Conference on Spatial Statistics. 23-25 March 2011, Enschede, The Netherlands.

KOLLÁR, SZ.–VEKERDY, Z.–HAHN, I.(2011): Hullámtéri élőhelyek kategorizálása távérzékelési és tematikus adatok alapján. GIS Open Konferencia. 2011. márc. 16-18. Székesfehérvár.

KOLLÁR, SZ.–MÁRKUS, B.–VEKERDY, Z.(2010): Hullámtéri élőhely-monitoring légifelvételek objektum alapú osztályozásával. Geomatika Szeminárium. 2010. nov. 4-5. Sopron.

KOLLÁR, SZ.–MÁRKUS, B.–VEKERDY, Z.(2010): Légifelvételek objektum alapú kiértékelése a szigetközi hullámtér példáján. Fény-Tér-Kép Konferencia. 2010. okt. 14-15. Székesfehérvár.

KOLLÁR, SZ.(2010): Objektum alapú vizsgálat vizes élőhelyek példáján. GIS Open Konferencia. 2010. márc. 17-19. Székesfehérvár.

Köszönetnyilvánítás:

Trimble Geospatial Munich, Németország
Nyugat-magyarországi Egyetem, Geoinformatikai Kar
University of Twente, ITC
(Faculty of Geo-Information Science and Earth Observation),
Enschede, Hollandia
Dortmundi Műszaki Egyetem, Településrendezési Kar,
Térinformatika Tanszék, Dortmund, Németország