

Többsávós légifelvételek optimális adatsávjainak meghatározása

Kozma-Bognár Veronika¹, Berke József²

¹ Pannon Egyetem Georgikon Kar, 8360 Keszthely, Deák F. u. 16.

² Gábor Dénes Főiskola, 1119 Budapest, Mérnök u. 39.

Email: kbv@georgikon.hu, berke64@gmail.com

Abstract. Többsávós légi felvételezési technológia alkalmazásával - a nagy spektrális és a nagy térbeli felbontású képeknek köszönhetően - a hagyományos légi felvételezési technikákhoz képest megbízhatóbb adatokat kapunk a földfelszín állapotáról, a lezajló folyamatokról, jelenségekről. Az elmúlt évtizedben végbemenő légi adatfelvételezés technológiai fejlesztéseinek köszönhetően, a kutatási alkalmazások területén egyre inkább központi témává vált a többsávós és nagy térbeli felbontású integrált feldolgozások eredményre gyakorolt hatásának vizsgálata. A szerzők gyakorlati példák felhasználásával bemutatják, hogy a helyesen megválasztott, spektrális fraktálszerkezet alapú adatredukciós és adatkiválasztási eljárások nagymértékben hozzájárulnak az hiper- és multispektrális adatkocka információ-többletének optimális kiaknázásához.

Keywords: multispektrális adatok, hiperspektrális légifelvételek, adatredukció, zajszűrés, optimális sávok

1 Bevezetés

A 21. századra jellemző rohamosan növekvő információ-technológiai fejlesztések a távérzékelés tudományterületére is nagymértékben rányomták bélyegüket. Az utóbbi években a távérzékelési technológiák fejlődésében egyre hangsúlyosabb szerepet kaptak a több spektrális tartományban illetve a nagy geometriai felbontással készített felvételek. A többsávós és nagyfelbontású légi- és űrfelvételek alkalmazásai valamint az aktív lézeres felmérési technológiák új távlatokat nyitottak a felszíni objektumokról gyűjthető adatok mennyisége és pontossága szempontjából. Jelenleg az érzékelők technikai fejlődését a feldolgozási módszerek és az alkalmazások jelentős késése követi, ezért indokoltá vált a meglévő eljárások pontosítása, valamint új elemzési módszerek kidolgozása. Annak ellenére, hogy a világban számos képképző berendezés került bevezetésre [15], a többsávós, integrált felvételek feldolgozását támogató programok köre elég korlátozott. Számos térinformatikai szoftver esetében például a főbb hiperspektrális képfeldolgozási módszerek a már meglévő multispektrális felvételeknél alkalmazott eljárások adaptálásával kerültek kifejlesztésre. A multi- és hiperspektrális technológiából adódó különbségekből eredően (pl.: csatornák sávszélességének, geometriai felbontásának eltérése) így megkérdőjelezhető ezen eljárások pontossága. A kiválasztott eljárások és azok sorrendje, az alkalmazott szoftverek felhasználása, a feldolgozást végző személy

tapasztalatai is hatást gyakorolhatnak a többsávos felvételek elemzéseinek végső kimenetelére. Az adatfeldolgozás során az adatkockát felépítő akár több száz spektrális csatorna közül az előfeldolgozás részeként kiválasztásra kerülnek azok a sávok, amelyek a megvalósítandó feladathoz szükséges információt tartalmazhatják. Az adatkockában számos csatorna adatai lehetnek zajjal terheltek és/vagy egymással korrelálók [5], [18]. A redundáns adatok kiszűrésére dimenziószám csökkentő módszereket alkalmaznak, ilyen elterjedt lényegtömörítő eljárások [16] pl: főkomponens analízis [13], minimális zajszűrési eljárás [7], [13], lambda-lambda R^2 modell [14], lépcsőzetes diszkriminancia elemzés [17], derivált zöld vegetációs index [6]. Az előfeldolgozás és azon belül a csatornaszelekciós műveletek rendkívül nagymértékben befolyásolják a kiértékelés eredményét, hiszen a rosszul megválasztott előfeldolgozással kizárásra kerülhetnek olyan sávok is, amelyek a vizsgálat céljára nézve hasznosabb információt tartalmaznak.

A kutatásaink során olyan eljárás kidolgozását tűztük ki célul, amely segítségével a többsávos légi felvételek esetében, célorientáltan kiválaszthatóak a vizsgálataink szempontjából legtöbb információt szolgáltató optimálisnak tekinthető felvételek. További szempontként állítottuk fel, hogy az eltérő szenzorokkal készített nagy spektrális felbontású képek és nagy geometriai felbontású adatok együttes használata esetén is jól alkalmazható eljárás kerüljön kidolgozásra.

2 Anyag és módszer

2.1 Kutatások helyszínei

A kutatásaink során két mintaterületről származó felvételeket elemeztünk. A hiperspektrális kutatásaink helyszíne [9] a Bakony–vidék tájegységen belül a Tátika-csoport tagjai közé tartozó Várvölgy település határában helyezkedett el. A teszterületen (a legmagasabb pont koordinátája: N:46°51'20,76"; E:17°18'06,53; H:247 m") olyan táblák kerültek kijelölésre, amelyek többnyire mezőgazdasági hasznosítás alatt álltak, mivel az itt folyó kutatásaink alapvetően a földhasználati borítottságra épültek. A vizsgálati célterületek közé olyan jól beazonosítható egyéb földfelszíni objektumokat is bevontunk (erdősáv, műút, földút), amelyek később referenciaként szolgáltak egyes vizsgálatainkhoz (1. ábra). A terepi adatgyűjtés során meghatároztuk a vizsgálni kívánt osztályok számát, amely összesen 8 osztálykategóriát jelentett. A felméréskor a teljes teszterületen elhelyezkedő természetes és mesterséges képződmények is felmérésre kerültek, ezenkívül a növényállományok állapotára vonatkozó adatgyűjtéseket is elvégeztük. Ezek meghatározása után közvetlenül lehatároltuk a konkrét kutatási területet, így végül a vizsgálatainkba bevont objektum típusok közé a következő kategóriák kerültek beállításra: kukorica, tritikálé, búza, napraforgó, műveletlen terület, erdő, műút (aszfalt), földút.



1. ábra AISA Dual légifelvétel (254. sáv) a várvölgyi teszterületről, 2007.06.19.

A multispektrális kutatásaink helyszíne a Keszthelytől 2 km-re fekvő Tanyakereszti Agrometeorológiai Kutatóállomás teszterülete volt, ahol a parcella kísérletek során a kukoricát érintő közlekedés eredetű szennyezéses hatásvizsgálatok folynak [10]. Az állomástól északra elhelyezkedő (a táblaterület középpontja N: 46°44'8,55"; E:17°14'19,76"; H:114 m) vizsgálati területen 6 parcella (10 m x 10 m/parcella) került kialakításra. A gépjármű emisszió negatív környezeti és élettani hatásait okozó vegyi anyagok közül a vizsgálataink alkalmával két jellemző szennyezőanyag került kiválasztásra: a korom és a kadmium. Ennek megfelelően a multispektrális felvételezések kiértékeléséhez a következő objektum típusokat határoltuk le: korommal szennyezett állomány, korommal szennyezett és öntözött állomány, kontroll állomány, öntözött kontroll állomány, kadmiummal szennyezett állomány, kadmiummal szennyezett és öntözött állomány (2. ábra).

A vizsgálataink minél pontosabb megvalósításához az esetleges előfeldolgozási problémák kiküszöbölése céljából, a felhasználandó felvételek kiválasztási kritériumaként állítottuk fel, hogy azon felvételek kerüljenek elemzésre, amelyeken összefüggően és teljes táblaterülettel szerepelnek az egyes parcellák.



2. ábra Látható tartományú légifelvétel (VIS) a keszthelyi teszterületről, 2012.06.21.

2.2 Alkalmazott eszközök

A hiperspektrális vizsgálataink során a magyarországi AISA Dual hiperspektrális szenzorral készült légifelvételeket elemeztünk. Az AISA Dual hiperspektrális szenzor az Európai Unió legjelentősebb rendszereinek egyike, amelyet a finnországi Specim Spectral Imaging Ltd. fejlesztett ki. Az AISA kameracsalád tagjaként egyesíti az AISA Eagle és Hawk szenzorokat. A duális tartóban történő rögzítése révén lehetővé teszi, hogy a 400-2450 nm spektrális tartományból összehangolt módon gyűjtsön adatokat maximálisan 498 spektrális sávban. Az AISA Dual rendszer egy kompakt, alacsony költségű, repülőgépre szerelhető, kiváló működési jellemzőkkel és magas teljesítménnyel rendelkező képalkotó rendszer. Az AISA rendszer stabil működése mellett, nagy spektrális és viszonylag magas ($1-1,5 \text{ m}^2/\text{pixel}$) térbeli felbontású légifelvételeket biztosít számunkra, amely a várvölgyi teszterületünk vizsgálataihoz elegendő információt szolgáltatott a számunkra. A keszthelyi mintaterületünk kisebb területi kiterjedéséből adódóan a megfelelő szintű kiértékelés nagyobb térbeli felbontású felvételeket igényelt. A teszterületünkön végzett multispektrális légifelvételezések esetében jelentősen túlhaladtuk az 1 méter alatti terepi felbontást ($7-30 \text{ cm}^2/\text{pixel}$). A nagy terepi felbontású multispektrális felvételek előállításához alkalmazott digitális érzékelők által szolgáltatott adatsorok a látható (VIS: $0,4-0,7 \mu\text{m}$) tartományban valamint a közeli infravörös tartományban (NIR: $0,7-1,15 \mu\text{m}$) készített felvételeket foglalták magukba. A felvételezések során alkalmazott eszközök főbb felvételezési paraméterei az 1. táblázatban láthatóak.

1. táblázat A légifelvételezések során alkalmazott eszközök és azok főbb paraméterei

Paraméterek	Hiperspektrális felvételezések	Látható tartományú felvételezések	Közei infravörös tartományú felvételezések
Érzékelő típusa	AISA Dual	Canon 30D	Canon 30DIR
Repülési magasság	1200 m	400 m	400 m
Spektrális csatornaszám	400-2450 nm (498 bands)	400-700 nm	720-1150 nm
Geometriai felbontás	1,0 m	0,1 m	0,1 m
Adatrögzítés mélysége	14 bit/pixel	14 bit/pixel	14 bit/pixel

2.3 Spektrális Fraktáldimenzió

A hiper- és multispektrális felvételekből valamint a jellemző referencia adatokból indultunk ki, amikor a különböző növényállományok spektrális fraktáldimenziójának mérését elkezdtük. Az optimálisnak tekinthető felvételek/sávok kiválasztásához felhasznált spektrális fraktáldimenzió (SFD) értékeket az SFD Informatika Kft. által fejlesztett mérőprogram segítségével számítottuk ki [1]. A kiértékelés alkalmával a teljes felvételezési sáv valamint a vizsgált növényállományokat tartalmazó felvételek kimagaskolt területei kerültek elemzésre és ezekre mértünk SFD értékeket.

Az SFD egy, az általános fraktáldimenzióból [12] származtatott szerkezetvizsgálati eljárás, amely a fraktálok egy újszerű alkalmazását jelenti. Az SFD a térbeli szerkezeten kívül a spektrális sávok színszerkezetének mérésére is alkalmas [1], [4], és elegendő információt nyújt a színek, árnyalatok fraktál tulajdonságaira vonatkozóan is. Az SFD értékek számításához (két vagy több képsáv esetén) a spektrális fraktáldimenzió definíció alkalmazható a mért adatokra, mint függvényre (értékes spektrális dobozok száma az összes spektrális doboz függvényében) egyszerű matematikai átlagolással számítva az alábbiak szerint [2]:

$$SFD_{\text{mérhető}} = \frac{n \times \sum_{j=1}^{S-1} \log(BM_j)}{S-1} \quad (1)$$

ahol,

n – a képrétegek vagy képcsatornák száma

S – a spektrális felbontás bitben

BM_j – értékes képpontot tartalmazó spektrális dobozok száma j -bit esetén

BT_j – összes lehetséges spektrális dobozok száma j -bit esetén

A lehetséges spektrális dobozok száma j -bit esetén az alábbiak szerint számítható:

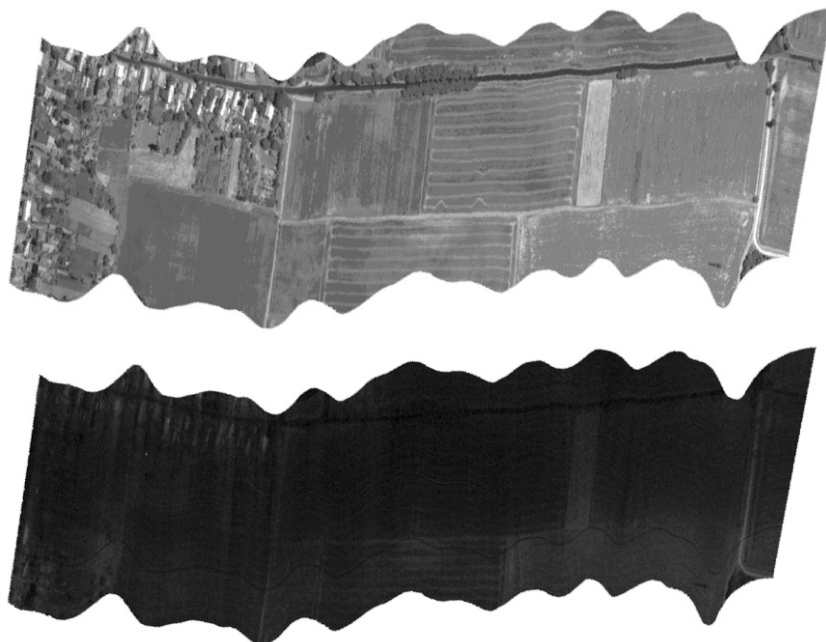
$$BT_j = (2^S)^n \quad (2)$$

Mivel az (1) összefüggés metrika [3], a kiértékelések során mind multi- mind hiperspektrális felvételek esetén mérésekre egzaktul használható.

3. Zajos sávok meghatározása SFD ujjlenyomatok alapján

A hiperspektrális adatkocka esetében a zajos sávok meghatározásánál a teljes repülési sávot vettük figyelembe. Az AISA Dual felvételeken vizuális interpretáció alapján három zajtípust különítettünk el egymástól: érzékelő okozta zaj, légköri zaj, geometriai zaj.

Az érzékelő okozta zaj a vizsgált felvételeken sötét illetve világos csíkként jelent meg. A repülési sáv vizuális tapasztalati úton történő vizsgálatával a következő csatornákat találtuk érzékelő okozta zajjal terhelteknek: 124, 142, 146-148, 150, 153, 168, 171, 174-175, 183, 191-198, 201, 206, 249, 251, 253, 255-282, 284, 287, 291, 299-300, 313, 341-359. A sávok elsődleges vizsgálata során kiderült, hogy az Eagle szenzor esetében szinte teljesen homogén, zajmentes csatornákat láthatunk, viszont a Hawk szenzor felvételeinél megtalálhatóak voltak az érzékelő hibájából adódó zajok. Az érzékelő zaját egyes szakirodalmak a repülőgép okozta vibrációval magyarázták. Kutatási eredményeink jelenleg azt támasztják alá, hogy ez a fajta zaj nem ilyen eredetű, mivel esetünkben csak az egyik érzékelő (Hawk) felvételein volt észlelhető. Erre a zajtípusra jellemző csíkozottság periodikus módon jelentkezett, így szűrésére Fast Fourier transzformációt alkalmaztunk a felvételeken. Az érzékelőre jellemző zaj képen történő geometriai elhelyezkedésének változása nem minden esetben érintette a vizsgált tábláinkat. Az érzékelő zajától eltérően az atmoszférikus zaj az egész felvételen megjelenik (3. ábra).

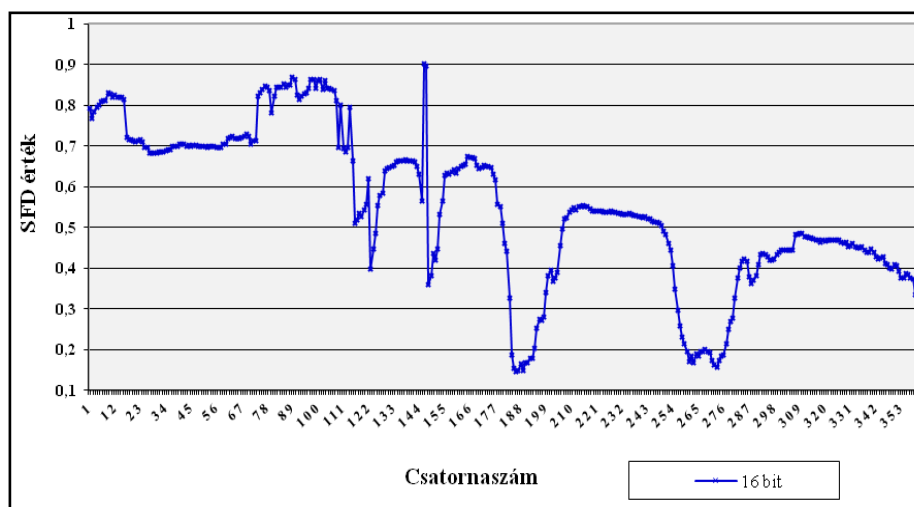


3. ábra Zajmentes (254. sáv) és zajos (273. sáv) AISA Dual felvétel a várölgnyi teszterületről, 2007.06.19.

A vizuális interpretáció alapján összesen 77 atmoszférikus zajjal terhelt csatornát határoztunk meg: 1-8, 116-126, 184-198, 256-265, 268-273, 275-281, 341-359. Szakirodalmi adatok alapján [20] kiválasztottuk azokat a csatornákat is, amelyekben a légköri hatások befolyása erőteljesen jellemző, így korlátozzák a megfelelő felvételek készítését. Ezek a következő sávok voltak: 176-207, 256-287. Találtunk olyan atmoszférikus zajjal terhelt csatornákat is, amelyek spektrális ablakokon belül helyezkedtek el 1-8, 116-126, 341-359. Az egyes zajok mérhető hatásának megítélésére olyan vizsgálatokat terveztünk, melyek elsősorban nem a klasszikus intenzitásértékek statisztikai (hisztogram-elemzés, variancia alapú vizsgálatok) vizsgálatára épültek, hanem a tényleges színszerkezet vizsgálatára.

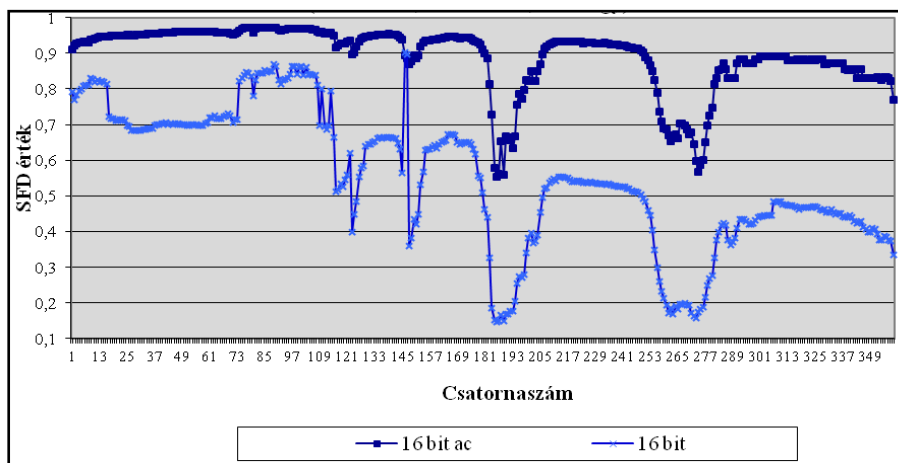
Kutatásaink kiterjedtek arra is, hogy a zajos sávok milyen információ tartalommal rendelkeznek. Az SFD görbék alapján kiválasztottuk a zajos csatornákat azért, hogy megállapítsuk melyek bírnak olyan rossz jel/zaj aránnyal, hogy a vizsgálati körünkből kivegyük őket. A zajjal terhelt sávok esetében a képi információ rendkívül alacsony, így a zajos sávok eldöntésére az SFD értékeket is figyelembe vettük. Azoknál a sávoknál, ahol a képi információ és az SFD is alacsony értékeket mutatott, azt a zajos sávok közé soroltuk és kihagytuk a további elemzésekből. Amennyiben az alacsony képi információ magas SFD értékkel párosult, azt feltételeztük, hogy releváns adatokat tartalmaz, így azok a sávok bevonásra kerültek a vizsgálatainkba. Megállapítottuk, hogy a teljes képen jelentkező zaj hatására a színszerkezet jelentősen romlik, azaz az SFD értékek ugrásszerűen csökkennek, esetleg oszcillálnak. Az SFD

görbe vonalába beleillő, az aktuális görbületet mutató hullámhosszoknál lévő csatornák nem terheltek zajjal, viszont a görbe lefutásában és meredekségében bekövetkezett hirtelen változások a zaj jelenlétére utaltak (4. ábra). A fent említett kritériumok alapján 59 csatornát emeltünk ki a következő tartományokban: 1-5, 123-126, 146-152, 184-198, 256-281, 358-359. A teljes hiperspektrális kép SFD értékeit reprezentáló görbék jellegének elemzésével egyértelművé vált, hogy SFD számítások alapján közvetlenül következtetni lehet a zajos sávokra.



4. ábra A teljes AISA Dual felvétel SFD ujjlenyomata 16 bites képsávok alapján

Ismert tény, hogy nagy színmélységű képeket vizuális interpretációhoz, elektronikus megjelenítőkön nehéz hűen megjeleníteni. A probléma megoldására a képfeldolgozó rendszerek saját fejlesztésű, egyedi és védett, ezáltal nem publikált automatikus eljárásokat alkalmaznak (auto tone, auto contrast, auto color). Ezek közül talán az egyik legismertebb és leggyakrabban használt eljárás az automatikus kontraszt kiegyenlítés (ac). Megvizsgáltuk, hogy az információk feldolgozására milyen hatással lehet az ac, vagyis az automatikus kontraszt kiegyenlítés. Az ac jelentősen megnöveli a színszerkezet változatosságát. Az egyes sávok külön-külön történő elemzése során (5. ábra) egyértelműen megállapítható, hogy az ac a valós adatok számos pontján a görbe jellegzetességeit eltünteti, azokat összemosza, kiegyenlíti, vagyis a korábban is jelzett abszolút értékekre, varianciákra épülő elemzéseket megghamisíthatja. Mindezek ismét megbízhatatlanná tehetik a végső következtetéseket, interpretációkat, amelyek vizuális és mért adatokra is épülnek.



5. ábra A teljes AISA Dual 16 bites felvétel SFD ujjlenyomata a vizsgált területre kontraszt kiegyenlítéssel (sötétkék) és anélkül (világoskék)

A készthelyi mintaterületen végzett multispektrális légifelvételések alkalmazásával készült felvételek esetében is megvizsgáltuk az egyes felvételek zajosságát. Hisztogram elemzések alapján kiválasztásra kerültek azok a felvételek, amelyek oly mértékben voltak zajjal terheltek, hogy a további elemzéseinkből kizárásra kerültek.

2. táblázat A multispektrális felvételek SFD értékei korrekció előtt és után, repülési sávonként

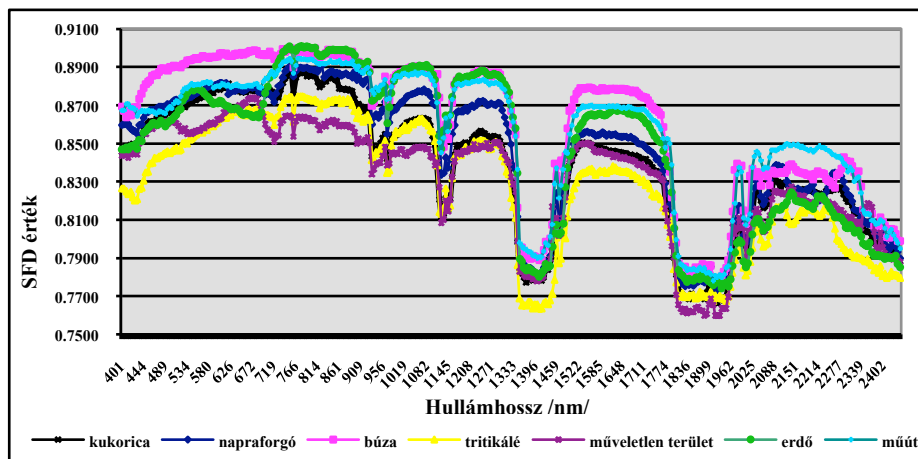
	3 csatornás látható tartományú felvétel		3 csatornás közeli infravörös tartományú felvétel	
	nyers adatokon	DxO8 korrekció után	nyers adatokon	DxO8 korrekció után
1. repülési sáv	2,1361	2,1610	1,9418	1,9412
2. repülési sáv	2,1416	2,1733	1,9187	1,9471
3. repülési sáv	2,1398	2,1665	1,9400	1,9470
4. repülési sáv	2,1328	2,1648	1,9215	1,9328
5. repülési sáv	2,1273	2,1716	1,8406	1,8973
Átlag	2,1355	2,1674	1,9125	1,9331

Kutatásaink során a professzionális digitális fotózás gyakorlatában elterjedt zajszűrési és képjavítási funkciókat tartalmazó szak-specifikus szoftver alkalmazásával, a kamera típusához és az optikához igazított korrekciós műveleteket (kromatikus aberráció, vignettálás, geometriai torzítások, érzékelő általi zajok, stb.) hajtottunk végre abból a célból, hogy megvizsgáljuk, milyen mértékben befolyásolják

a felvételek spektrális fraktál szerkezetének alakulását az emberi látórendszerhez igazított teljes korrekciók [19]. A mérések egyértelműen alátámasztották a fraktálszerkezet dimenziójának (változatosságának) emelkedését a korrekciók elvégzése után. A közeli infravörös tartományú felvételek esetén mindez azonban inkább véletlenszerű, mint szisztematikus a mért adatok alapján (2. táblázat).

4. Optimális felvételek meghatározása

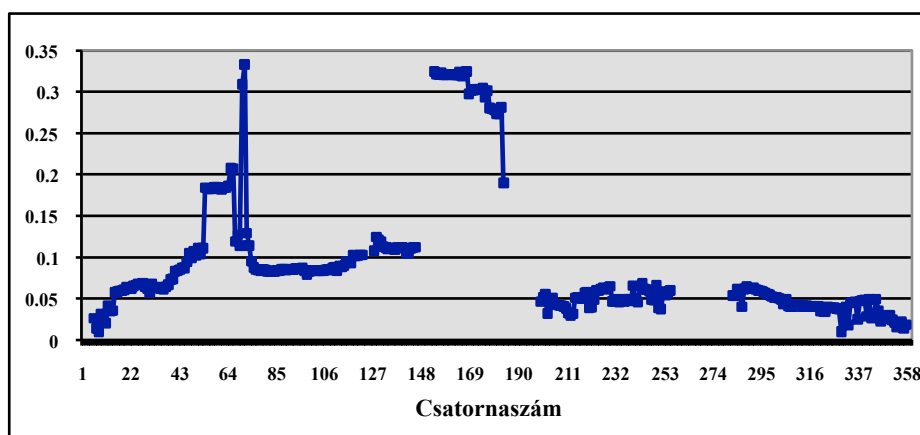
A hiperspektrális képalkotó rendszerek által szolgáltatott felvételek erősen zajjal terhettek illetve redundánsak. Ebből kifolyólag az adatelemzés során azokat az optimálisnak tekinthető sávokat kerestük, amelyek nem terheltek zajjal nem redundánsak és mégis megfelelőképpen reprezentálják az összképi információtartalmat. A várvölgyi teszterület esetében rendelkezésünkre álló 359 csatornából álló adatkocka bizonyos sávjai között szoros összefüggés volt tapasztalható, amely kiszűrésére a szakirodalom különböző adatsökkentő eljárásokat ajánl, mint a főkomponens analízis, vagy az egyes csatornák közötti korreláció, esetleg energia-minimalizálás. Ezek közül számos eljárás tényleges képi adatsökkentést nem tartalmaz, csupán tájékoztat arról, hogy adott valószínűség mellett a tényleges adattartalom hány darab független sávval (komponenssel) írható le (PCA=Principal Component Analysis alapú módszerek). Azonban, hogy melyek ezek a sávok, arra már nem adnak kellő információt vagy a kapott információ erősen a bemenő adat függvénye (pl. függnek a zajos sávok arányától, azok súlyától). E problémakör megoldására megítélésünk szerint, olyan adatfeldolgozó módszert, eljárást célszerű alkalmazni, amely nem vagy kevésbé érzékeny a bemenő adatokra. Ilyen eljárás az SFD alapú szerkezetvizsgálat, amelynek megfelelő alkalmazásával a zajra vonatkozóan eredményeket értünk el [10] és jelen feladatra is megoldási javaslattal tudunk szolgálni.



6. ábra AISA Dual felvétel jellemző felszínborítási kategóriáinak 16 bites SFD ujjlenyomatai

A vizsgálat első lépéseként a hiperspektrális képen található növénykultúráknak elkészítettük az SFD alapú ujjlenyomatát, amely a növénykultúra SFD értékeit ábrázolja a csatorna vagy hullámhossz függvényében (6. ábra) [8].

A növénykultúránként és sávonként mért SFD értékeket csökkenő számsorrendbe rendeztük a csatornaszámok függvényében. Öt növénykultúra esetén mindez öt rendezett oszlopot jelent, ahol a sorrendbe egymás mellett lévő értékek különbségeit képeztük, majd ezen különbségi értékeket összeadtuk és elneveztük „rendezett minták SFD különbségeinek az összegének”. Ezt követően megkerestük az így kapott görbén a lokális maximum értékhez tartozó csatornaszámokat, amelyek az optimális csatornákat képezik az adott felvételen, adott növénykultúrák esetén (7. ábra).



7. ábra Növekvő sorrendbe rendezett minták SFD különbségeinek összege

A 4. ábrán látható görbén 21 lokális maximumhelyet találtunk az öt növénykultúra esetén (kukorica, búza, tritikálé, napraforgó, műveletlen terület), melyek az alábbiak: 2, 26, 49, 55, 62, 78, 83, 90, 98, 114, 122, 138, 166, 201, 215, 272, 285, 293, 301, 327, 350. A hiperspektrális felvételek egymás mellett elhelyezkedő csatornáinak általában közel azonos információkat hordoznak vagyis korrelálnak, ezért a kapott lokális maximumhelyeknél feltételként állítottuk, hogy azokat nem vesszük figyelembe, amelyek legalább két sávköz távolságán belül esnek. Megítélésünk szerint ezen csatornák alkalmazása a legcélszerűbb a kiértékelés további szakaszaiban (pl. osztályozás). További alternatív szempontként a 359 csatorna közül kiválasztottunk hatot, melyet elneveztünk minimális optimális csatornáknak. A SFD ujjlenyomatok alapján a következő hat csatornát ítéltük optimálisnak a legtávolabbi sávok közötti lokális maximumok alapján: 65, 71, 128, 167, 243, 288. Kiszámítottuk a szórásösszegeket is azzal a céllal, hogy több egymás mellett lévő csatorna értékeinek egyezősége esetén a legkisebb szóráshoz tartozó csatornát válasszuk ki.

A fentiek alapján optimálisnak ítélt csatornák információtartalmának megbizonyosodása céljából az így kapott sávokat bemenő adatként használtuk fel a spektrális szögek (SAM) módszerével történő osztályozás elvégzéséhez. Emellett más adatszám csökkentő eljárások alapján meghatározott csatornákat is mértünk és

összehasonlító elemzéseket végeztünk találati pontosság alapján. Kutatásaink a következő adatszám csökkentő eljárásokra terjedtek ki:

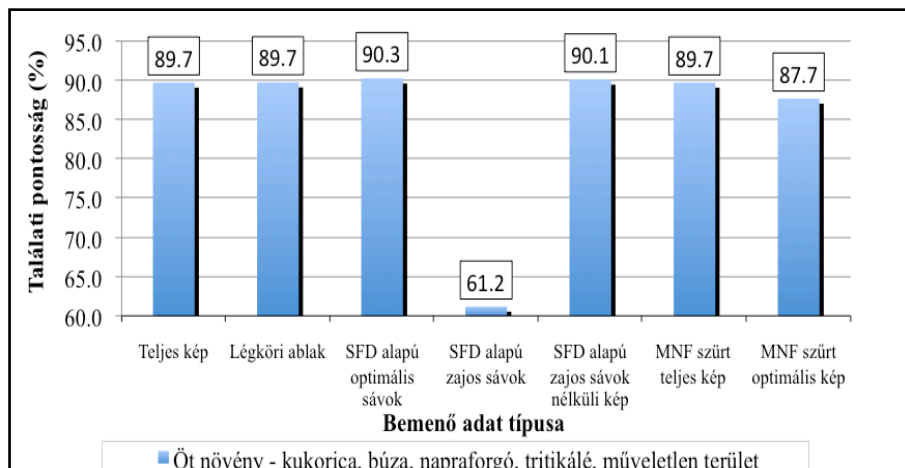
- Vizuális interpretáció, tapasztalat alapján
- Atmoszférikus ablak, szakirodalom alapján
- SFD optimális sávok alapján
- SFD zaj nélküli sávok alapján
- SFD zajjal terhelt sávok alapján
- MNF szűrést követően kiválasztott optimális sávok alapján
- MNF szűrést követő teljes kép alapján

Az optimális csatorna kiválasztási eljárások összehasonlításához a különböző módszerek során inputként előálló adatokon elvégeztük a felszínkategóriák beazonosítását. Ezt követően értékeltük, hogy melyik dimenziószám csökkentő művelet eredménye jellemzi leginkább a vizsgált növénykultúráinkat. A SAM kiválasztásánál több kritériumot is figyelembe vettünk. Mivel a teszterületünkön elhelyezkedő felszínborítási kategóriák ismertek voltak számunkra, mindenképpen ellenőrzött osztályozási eljárást kerestünk. A SAM volt a legelső objektumkereső módszerek egyike, amely a hiperspektrális felvételeknél rendszeresen alkalmazott és a spektrálisan definiálható tulajdonságok keresésére mindeddig egyik leghatékonyabbnak mutakozó osztályozási eljárás. Az algoritmus - az elnevezéséből adódóan - két spektrum közötti spektrális hasonlóságot határozz meg. A spektrumgörbe lefutását vizsgálja úgy, hogy a referenciaként szolgáló és a vizsgált pixel spektruma közötti szögeltérést, a vektorok által bezárt szöget adja meg. A két vektor közötti szöget (0 és $\pi/2$ értéket vehet fel) az alábbi képlettel számoljuk az n-dimenziós térben [11]:

$$\theta = \cos^{-1} \left(\frac{\sum_{i=1}^n t_i r_i}{\left(\sum_{i=1}^n t_i^2 \right)^{1/2} \left(\sum_{i=1}^n r_i^2 \right)^{1/2}} \right) \quad (3)$$

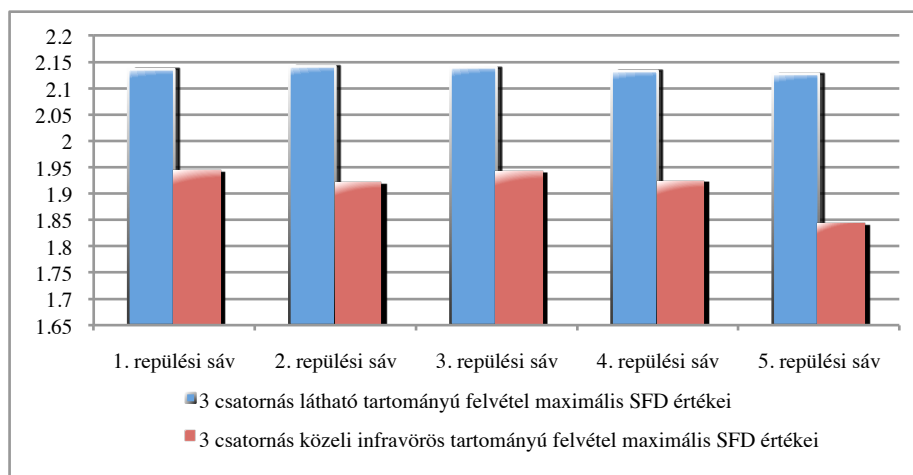
ahol, n: a képsávok száma,
r: referencia spektrum,
t: teszt spektrum.

Az osztályozott képek eredményei alapján hibamátrixot készítettünk és kiszámítottuk a találati pontosságokat az egyes növénykultúrákra vonatkozóan (8. ábra), valamint az öt növénykultúra átlagára, azaz hét módszerrel előkészített bemenő adatsorra (teljes kép sávjai - 359 sáv; légköri ablak alapú sávok - 295 sáv; SFD alapú optimális sávok - 6 sáv; SFD alapú zaj nélküli sávok - 300 sáv; SFD alapú zajos sávok - 59 sáv; MNF szűrt optimális sávok - 25 sáv; MNF szűrt teljes kép sávjai - 359 sáv). A kapott eredmények alapján egyértelműen megállapítható, hogy az SFD értékekre épülő módszerekkel kiválasztott optimális sávok növénykultúrákra összesített találati pontossága a legmagasabb. Megjegyezzük, hogy a gyakorlatban leginkább elfogadott és alkalmazott zajsűrési módszer (MNF=Minimum Noise Fraction) elvégzése utáni bemenő teljes képen a találati pontosság azonos volt a szűrés nélküli kép találati pontosságával. Mindez azzal magyarázható, hogy az MNF zajsűrő hatása az AISA Dual érzékelőnél az általunk vizsgált képen egy-egy sáv esetén vizuálisan látható volt, ugyanakkor a találati pontosság szempontjából invariáns lett.



8. ábra Dimenziószám csökkentő eljárások találati pontosságának átlaga öt növénykultúra esetében

Az általunk kifejlesztett csatorna kiválasztási eljárás alapjául szolgáló SFD értékeket alkalmaztunk a multispektrális felvételek optimális felvételeinek kiválasztása során is. Ezen vizsgálatoknál az SFD értékek nagyságából következtettünk a felvételek tényleges információtartalmára. A keszthelyi mintaterületen történt légifelvételek egy-egy munkafolyamatának (pl. repülési track) alkalmával általában több felvétel is készült a mintaterületről, amelyek közül azokat kerestük, amelyek a legtöbb és legmegbízhatóbb információkat szolgáltatják az objektum-orientált elemzéseinkhez. A multispektrális képek közül az előfeldolgozást követő vizsgálatokba csak olyan felvételeket vontunk be, amelyek SFD értékei a maximálisak voltak felvételező eszközönként és repülésenként (9. ábra), hiszen a további vizsgálatok során ezen képek adták a legmegbízhatóbb eredményeket (találati pontosság valamint más mért paraméterekkel való korrelációs vizsgálatok).



9. ábra A multispektrális felvételek maximális SFD értékei repülési sávonként

5 Összefoglaló

Az elemzéseink eredményei alapján elmondható, hogy a multi- és hiperspektrális felvételeknél jelenleg használt módszerekkel szemben, a spektrális fraktáldimenzió alapú adatfeldolgozási eljárások kevésbé érzékenyek a költségeket és feldolgozási időt növelő előfeldolgozásokra. A többsávós felvételek elemzési módszereinek ezen újszerű megválasztásával pontosabban kiválaszthatóak azok az optimálisnak tekinthető felvételek, amelyek nagy pontossággal reprezentálják a képi adat össz-információtartalmát, így leginkább alkalmasak a célorientált adatfeldolgozás megvalósításához. A vizuális interpretációkra épülő feldolgozások megbízhatóságának eldöntéséhez kiválóan alkalmazható a bemenő adatokon történt SFD alapú szerkezetvizsgálat, amely kiterjed a teljes spektrális tartomány sávonkénti, valamint együttes vizsgálatára is. A hiperspektrális képi adatokon található felszíni objektumok jellemző SFD görbéinek lokális maximumhelyeihez tartozó spektrális csatornák felhasználásával esetenként megbízhatóbb adatszelekciót tudunk elérni a sajátérték számításokra épülő más matematikai módszereknél [8, 9, 10]. A multispektrális képek előfeldolgozása során pedig, a maximális spektrális fraktálszerkezet alapján kiválasztott képek nyújtották a legkonzekvensebb eredményeket a találati pontosság szempontjából, valamint a más mért paraméterekkel történő korrelációs vizsgálatokhoz.

Köszönetnyilvánítás

A kutatás az Európai Unió és Magyarország támogatásával a TÁMOP 4.2.4.A/1-11-1-2012-0001 azonosító számú „Nemzeti Kiválóság Program – Hazai hallgatói, illetve kutatói személyi támogatást biztosító rendszer kidolgozása és működtetése országos program” című kiemelt projekt keretei között valósult meg.

Jelen cikk részben a TÁMOP 4.2.2/B-10/1-2010-0025 projekt keretében készült. A projekt a Magyar Állam és az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósult meg.

References

1. A Spektrális Fraktáldimenzió honlap: <http://www.digkep.hu/sfd/index.htm> .
2. J. Berke: Measuring of Spectral Fractal Dimension, Journal of New Mathematics and Natural Computation, vol. 3/3, pp. 409–418. DOI: 10.1142/S1793005707000872. (2007)
3. J. Berke: Measuring of Spectral Fractal Dimension, Advances in Systems Computing Sciences and Software Engineering, Springer-Verlag pp.397-402. ISBN 10 1-4020-5262-6. (2006)
4. J. Berke: Using Spectral Fractal Dimension in Image Classification, Innovations and Advances in Computer Sciences and Engineering, Springer Science and Business Media B.V. DOI: 10.1007/978-90-481-3658-2_41. (2010)
5. C.-I. Chang: Hyperspectral data exploitation theory and applications, John Wiley and Sons, New Jersey. ISBN: 978-0-471-74697-3. (2007)

6. C.D. Elvidge, Z. Chen: Comparison of broadband and narrowband red and near-infrared vegetation indices, *Remote Sensing of Environment*, 54, pp. 38–48. (1995)
7. A.A. Green, M. Berman, P. Switzer, M.D. Craig: A transformation for ordering multispectral data in terms of image quality with implications for noise removal, *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, Vol. 26, No. 1, pp. 65-74. (1988)
8. V. Kozma-Bognár, J. Berke: New Evaluation Techniques of Hyperspectral Data. *Journal of Systemics,” Cybernetics and Informatics*. Vol. 8. Number 5. pp. 49-53, ISSN: 1690-4524. <http://www.iijsci.org/journal/SCI/Contents.asp?var=&Previous=ISS8805> (2010)
9. V. Kozma-Bognár J. Berke, G. Martin: Application possibilities of aerial and terrain data evaluation in particulate pollution effects, *EGU General Assembly*, Wien. (2012)
10. V. Kozma-Bognár: Investigation of Hyperspectral Image Processing and Application in Agriculture,” Ph.D. dissertation, University of Pannonia (2012)
11. B. Luc, B. Deronde, P. Kempeneers, W. Debruyne, S. Provoost: Optimized Spectral Angle Mapper classification of spatially heterogeneous dynamic dune vegetation, a case study along the Belgian coastline. The 9th International Symposium on Physical Measurements and Signatures in Remote Sensing (ISPMSRS). Beijing, China, 17-19 October 2005.
12. B.B. Mandelbrot: *The fractal geometry of nature*. W.H. Freeman and Company, New York, (1983)
13. J.A. Richards: *Remote Sensing Digital Image Analysis*, Springer-Verlag, Berlin, p. 240, (1999)
14. SAS Institute Inc.: *Measuring the Internal Consistency of a Test, Using PROC CORR to Compute Cronbach’s Coefficient Alpha*, SAS Communications, 20:4, TT2–TT5, 1995.
15. R.A. Schowengerdt: *Remote Sensing Models and Methods for Image Processing*. Elsevier, ISBN 13: 978-0-12-369407-2. (2007)
16. P.S. Thenkabail, E.A. Enclona, M.S. Ashton, B. Van Der Meer: Accuracy assessments of hyperspectral waveband performance for vegetation analysis applications, *Remote Sensing of Environment* 91 pp. 354-376. (2004)
17. P.S. Thenkabail, R.B. Smith, E. De-Pauw: Evaluation of narrowband and broadband vegetation indices for determining optimal hyperspectral wavebands for agricultural crop characterization, *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 68(6), pp. 607–621, (2002)
18. P.K. Varshney, M.K. Arora: *Advanced Image Processing Techniques for Remotely Sensed Hyperspectral Data*. Springer-Verlag, New York. (2004)
19. DxO Optics Pro 8 hivatalos honlap: <http://www.dxo.com/en/photo> .
20. F.F. Sabins.: *Remote Sensing. Principles and Interpretation*. W. H. Freeman and Co. Los Angeles. ISBN 0-7167-1793-X. (1987)