

Távérzékelési célú képkalkotó algoritmusok összehasonlítása tartalom és szerkezet alapján

Enyedi Attila ¹, Kozma-Bognár Veronika ², Berke József ³

¹ *Intézeti demonstrátor, Gábor Dénes Főiskola, 1139, Budapest, Mérnök út. 39.; mail@attilaenyedi.com*

² *Mezőgazdasági szakértő, Élelmiszerlánc-biztonsági Centrum Nonprofit Kft., Budapest, Keleti K. u. 24.; kozma.bognar@gmail.com*

³ *Főiskolai tanár, Gábor Dénes Főiskola, 1139, Budapest, Mérnök út. 39.; berke@gdf.hu*

Abstract—Near the surface collected large and ultra-high-resolution aerial images, using drones today or mobile as easily can be made airworthy aircraft are recorded in the first row. These systems are mainly based on CMOS technology, the Bayer pattern based suited for taking pictures. Read between the sensor data and to display final images many operations will be performed, which is the largest device-independent part of the imaging algorithms. They greatly affect the final image parameters, such as its contents and structure. As explained below, the results of the comparative analysis of the best known and most widely used imaging algorithms in aerial photography which based on the image structure and image content own proprietary software measurements will be presented.

Index Terms: imaging algorithms, interpolation algorithms, remote sensing.

Kulcsszavak: képkalkotó algoritmusok, interpolációs eljárások, távérzékelés.

1. Bevezetés

A felszín közelében gyűjtött nagy- és ultranagyfelbontású légifelvétel napjainkban elsősorban drónok vagy könnyen mobilissá tehető repülésre alkalmas légi járművek segítségével kerülnek rögzítésre. Ezek a rendszerek elsősorban a CMOS technológiára épülő, Bayer-mintázat alapú képek készítésére alkalmasak. Az érzékelőből kiolvasott adatok és a megjeleníthető végleges kép között számos művelet kerül elvégzésre, melyek közül a legnagyobb eszköz független részt a képkalkotó algoritmusok képezik. Ezek jelentősen befolyásolják a végleges kép paramétereit, így annak tartalmát és szerkezetét. Az alábbiakban

bemutatjuk, a legismertebb és leggyakrabban alkalmazott képkalkotó algoritmusok légifelvétel alapú összehasonlító elemzésének eredményeit, képszerkezet és képtartalom alapú, saját fejlesztésű programmal történő mérések alapján.

2. Elméleti háttér

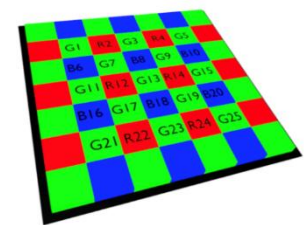
2.1. Bayer filter

A mai forgalomban kapható digitális szenzorok szinte mindegyike monokromatikus, azaz nem képesek színeket megkülönböztetni.

Természetesen vannak a piacon speciális szenzorral felszerelt fényképezőgépek, melyeknél a fekete-fehér kép is elegendő információt ad, de legtöbb esetben az általános cél a színes felvétel. Ennek a problémának a

kiküszöbölésére a Kodak laboratóriumában Bryce Bayer 1975-ben beadta a szabadalmi hivatalnak az elképzelését (Bayer 1975), és 1976-ban US 3,971,065 (Bayer 1976) számon jóvá is hagyták ezt számára. Ez nem volt más, mint a Bayer-féle színszűrő (CFA – Color Filter Array) mely a piros, kék, zöld színből áll. A szűrő három szembetűnő tulajdonsággal rendelkezik.

Az általános Bayer színszűrő alapját négy színből álló 2x2-es mozaik alkotja (1. ábra), mely folyamatosan ismétlődik. A második alapvető eleme, hogy mindig két zöld és egy piros és kék szín van egy csoportban (R, G1, G2, B). Ennek oka az emberi látórendszerhez köthető, mivel szemünk a zöldre a legérzékenyebb. A harmadik paraméter, hogy minden fizikai pixelhez egy szín van rendelve. Minden szűrő csak a megadott szín-hullámhosszt engedi át, melynek köszönhetően egy hiányos mintarendszert fogunk kapni. Így a piros és a kék színhez pontosan 1/4 információ tartozik, míg a zöld színhez 1/2



1. ábra Bayer színszűrő elhelyezkedése a szenzoron (Berke D. et al. 2016)

a teljes kép felbontásából. A minta miatt kapott hiányosság kiküszöbölésére különböző interpolációs eljárásokat dolgoztak ki. Érdemes megemlíteni, hogy egyes gyártók próbálkoznak másfajta mintázattal is, de jelen cikkünk során az általános elvekre épülő 2x2-es mintázatú Bayer érzékelővel ellátott szenzorok esetén alkalmazható képkötő algoritmusokra helyeztük a hangsúlyt.

2.2. Nyers képek

A RAW kép valójában a szenzorra jutó fényintenzitási értékeket, meta adatokat és sok egyéb kiegészítő adatot tartalmaz (Berke D. et al. 2016, Berke J. et al. 2010), képként azonban nem tekinthetünk rá. A fényképezőgépek azért, hogy kis erőforrással is meg tudják jeleníteni az elkészített RAW állományt, egy kisméretű JPG képet is tartalmaznak. A 2. ábra mutatja, ha a kinyert adatokat képpé alakítjuk, az egy monokromatikus, azaz egy csatornás plusz kerettel bővített sötét képet kapunk. Egy ilyen felvétel elkészítéséhez speciális alkalmazás szükséges, amely interpoláció és Bayer mintázat nélkül generálja a képet. Munkánk során az erre a feladatra is felkészített qChannel (Berke D. et al. 2016, qChannel, 2016) alkalmazást használtuk. A legtöbb gyártó esetében a szenzor nagyobb területtel rendelkezik, mint amennyi az effektív, felhasználó által elérhető képméret. Például a Canon EOS 5D Mark II – továbbiakban „5DmkII” - típusú fényképezőgépének teljes képpontszáma kb. 22M, míg a hasznos pixelek száma kb. 21,1M, A különbség a levágott fekete területből és egyéb pixelekből adódik.



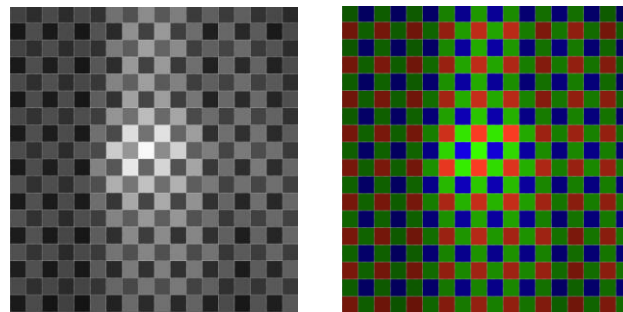
2. ábra Canon EOS 30D szenzorral leolvasott kép (Adobe Photoshop, Auto Tone-nal széthúzva)

Amennyiben 3000%-ra nagyítjuk a képet (3. ábra), láthatóvá válik a kép mozaikos felépítése, amely a különálló pixelek interpoláció előtti intenzitás-értékeinek köszönhető. Miután beállítjuk a Bayer mintát, melynek segítségével az adott intenzitásérték megkapja a megfelelő színt, egy zöldes árnyalatú, színes, 3 csatornás mozaikos képet kapunk.

A nyers kép egy jelentős paramétere a dinamika vagy árnyalat terjedelem, amely 8-16 bit közötti lehet. Napjainkban a legelterjedtebbek a 14 bites érzékelők, viszont a csúcskategóriás gépek esetén akár 16 bites CCD-k is megtalálhatóak. Általánosan jellemző, hogy a 10-14 bites szenzorok adatai is 16 bites ábrázolásban vannak tárolva.

2.3. Interpolációs eljárások

Az interpoláció bizonyos mennyiségű ismert adatból határozza meg egy vagy több ismeretlen értékét. A különbségek abban rejlenek, hogy milyen módon és sebességgel hajtja végre ezeket az eljárásokat. Nyolc különböző interpolációs eljárást vizsgáltunk, melyeket a 1. táblázatban foglaltuk össze (Berke D. et al. 2016).



3. ábra Monokromatikus és Bayer mintázatú kép (3000%-os nagyítás)

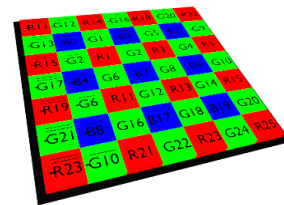
A 4. ábrán található képszeleken lévő pixelek a képhez közvetlenül nem tartozó, de a számításhoz figyelembe vett értékek (R1, G2, R3, G4, R5 és G6, R11, G16, R21) a „-” jelölést kapják, az egy felsővonással jelölt az első rendű, míg a két felsővonásos jelölés a másodrendű tagot jelöli.

A legközelebbi szomszéd alapú interpolációs eljárás során, az adott pixel első rendű legközelebbi szomszédos képpontja kerül felhasználásra. Ezek lehetnek a felette, alatta, balra vagy jobbra eső pixelek közül valamelyikiek. Az algoritmus a kép minden síkján (Red, Green, Blue) a hiányzó pixelértéket az adott pixeltől balra helyezkedő pixel értékével helyettesíti.

Eredeti név:	Táblázatokban, diagramon, méréseken jelölt elnevezés:
Legközelebbi szomszéd alapú interpoláció	<i>Nearest Neighbour</i>
Bilineáris interpoláció	<i>Bilinear</i>
Smooth Hue Transition interpoláció	<i>Smooth Hue</i>
Smooth Hue Transition interpoláció logaritmikus expozíciós térben	<i>Smooth Hue Log</i>
Él-érzékeny interpolációs algoritmus I.	<i>Edge Sensitive I.</i>
Él-érzékeny interpolációs algoritmus II.	<i>Edge Sensitive II.</i>
Lineáris interpoláció Laplace-féle másodrendű korrekcióval I.	<i>Laplace 1</i>
Lineáris interpoláció Laplace-féle másodrendű korrekcióval II.	<i>Laplace 2</i>

1. táblázat Interpolációs eljárások megnevezései

Például a zöld képsíkon nézve az 1. ábra alapján a G8 helyére a G7 érték kerül, a G12-es helyére a G11 és így tovább. A G6-os (1. ábra, B6-os pixel) esetében nem található baloldali szomszéd, ebben az esetben az alatta, felette vagy jobb oldalt található értéket veszi fel. Ugyanez a helyzet, ha a többi szélén lévő pixelt szeretnénk megadni. A felső szél esetén a lenti, bal vagy jobb oldali, az alsó szél esetén a fenti, bal vagy jobb oldali pixelértékek választhatók. A piros és kék képsíkon nem található semmilyen esetben sem baloldali szomszéd, mivel a pixelek átlósan helyezkednek el egymáshoz. Ezen képsíkok esetén az eltérő színű, de legközelebbi szomszédú pixelértéket vesszük, és azzal helyettesítünk. A szélső



4. ábra Interpolációs eljárás megértését segítő tábla (Berke D. et al. 2016)

értékek megadása megegyezik a zöld képsík során ismertetettel.

A Bilineáris interpoláció során a zöld pixelek kiszámításához vesszük a zöld képsík négy legközelebbi pixelértékének számtani átlagát az 1. ábra alapján. Például a $G18 = (G13 + G17 + G19 + G23) / 4$ értékkel egyezik meg. A piros-kék pixelek esetén, ha a zöld pozícióból szeretnénk helyettesíteni, akkor vegyük az azonos rétegen lévő két legközelebbi érték átlagát. Például: $B7 = (B6 + B8) / 2$ és $R7 = (R2 + R12) / 2$. Kék-pirosból piros-kék pozícióba való áttérés esetén hasonló az eljárás, de nem a kettő, hanem a négy legközelebbi pixelérték átlagát számoljuk ki. Például: $R8 = (R2 + R4 + R12 + R14) / 4$ és $B12 = (B6 + B8 + B16 + B18) / 4$. Képsízek esetén (R1, G2, R3...) a kibővített táblát kell figyelembe venni, amelyet a 4. ábra „-” jelöléssel mutat. Ezekhez a plusz pixelértékekhez csak a RAW állományból férhetünk hozzá. Az eljárás egyik nagy hibája, hogy a szomszédos képpont kezelés miatt, a zöld színek a képen túl erősek, míg a piros és kék színek túl gyengék lesznek.

A Smooth Hue Transition interpolációs eljárás hivatott javítani a Bilineáris interpoláció hibáját. A zöld pixelek számítása teljesen megegyezik a Bilineáris megoldással, de elsőként kerül kiszámításra, majd utána kerül számításra a piros és kék pixelek értékei.

A Smooth Hue Transition interpoláció logaritmikus expozíciós térben eljárás esetén is a zöld pixelek számítása megegyezik a Bilineáris megoldással. Miután a zöld pixelek interpolációs eljárása befejeződött, a kapott értékekkel felülírjuk az eredeti kép zöld pixeleit tartalmazó adatokat. Következő lépésben a pixelértékek lineáris, expozíciós terét átalakítjuk logaritmikus expozíciós térre. Ezt követően elvégezzük a (Adams, 1995) által leírt számításokat, és legvégül visszaalakítjuk az összes pixelértéket lineáris expozíciós térbe.

Fontos megjegyezni, hogy az eddig említett eljárások leginkább a szomszédos pixelek átlagolásával dolgoznak, melynek hatására „cipzár hatás” lép fel, amely az élek nem természetes átmenetét jelenti. Ezeket az eljárásokat nem adaptív algoritmusoknak nevezzük. A „cipzár hatás” kivédésére találták ki az adaptív szín interpolációs algoritmusokat, melyek némi intelligenciával felszerelve nem csak a szomszédos pixeleket nézik, de az élekkel is foglalkoznak.

Az elsőként kitalált megoldás az Él-érzékeny interpolációs eljárás. Alapja, hogy megadunk egy horizontális és egy vertikális különbséget minden piros és kék pozícióba, valamint egy T küszöbértéket. A T általában a kép tartalmától és a szomszédos pontoktól függ. A Sakamoto és munkatársai (Sakamoto T. et al., 1998) szerinti egyik lehetséges érték alapján vesszük a horizontális és a vertikális irányú különbségek átlagát, majd ezt követően Adams (Adams, 1995) szerinti részletezett interpolációs eljárást végrehajtjuk.

A Laroche (Laroche 1994) szerint leírt Él-érzékeny interpolációs eljárás egy másfajta szemléletet követ, mely az előbb taglalthoz képest a különbségek képzésében tér el.

Az előbb leírt Él-érzékeny interpolációs eljárások hibája, hogy az átlós éleket nem kezelik csak a függőlegeseket és vízszinteseket. Erre fejlesztették ki a Hamilton és Adams által 1997-ben (Hamilton et al., 1997) a lineáris interpoláció Laplace-féle másodrendű korrekcióval eljárást. Ez az algoritmus képes kezelni a horizontális és vertikális mellett az átlós irányú eltéréseket is.

2.4. Mért paraméterek

Méréseink során Claude Shannon amerikai matematikus által bevezetett átlagos információtartalom - Entrópia (Shannon, 1948a, Shannon, 1948b, Shannon, 1951) (rendezettség mérőszáma) mérését végeztük el Berke (Berke, 2012) és Ocskai (Ocskai, 2015) szerint leírtak alapján.

Az SFD (Berke, 2005) más néven spektrális fraktáldimenzió több, mint 100 évvel a fraktálszerkezetek megjelenése után került bevezetésre, mely kibővíti ezt és immáron már nem csak szerkezetet, de a színeket is figyelembe veszi a mérés során (Berke, 2007, Berke 2010).

Az SSRIRkep (Spatial and Spectral Resolution Image Range) (Berke D. et al., 2016) 2015-ben került bevezetésre az SSRCCD/CMOS (Spatial and Spectral Resolution Range) alapján (Berke, 2014), mellyel immáron már nem a CCD/CMOS-okat lehet egzaktul mérni, hanem a képekre vonatkozóan kapunk pontos megállapításokat és mérési lehetőségeket.

3. A tervezés folyamata

3.1. Légifelvétel alapú vizsgálat

Az interpolációs eljárások vizsgálatára saját készítésű légifelvételeket választottunk. A szerkezetet és információtartalom mérések miatt a képek kiválasztásánál több szempontra is figyelni kellett. A kiválasztás során fontos volt számunkra, hogy különböző spektrális sávokban is legyenek a felvételek, így került a választás egy gyári Canon EOS 30D – továbbiakban „30D” - típusú fényképezőgépre, amely 8,2MP-es CMOS szenzorral van szerelve és ISO 100-1600 közötti érzékenységre állítható. A 30D rendeltetésszerűen a látható tartományban (VIS) készít felvételeket, illetve ugyanebből a típusból egy átalakított változat, a közeli infravörös tartományban (NIR). Más típusú érzékelő vizsgálata is szóba került, például amely NDVI (Normalized Difference Vegetation Index – Vegetációs Index) vagy hő felvételeket készít, de jobb összehasonlíthatóság miatt lényeges volt, hogy típusban megegyezzenek. Figyeltünk továbbá arra, hogy ne azonos időszakban készült képeket dolgozzunk fel, így különböző időjárási körülmények között készült eltérő évszakokat ábrázoló felvételek is megtalálhatóak. Összesen hét év tavaszi és nyári időszakát ölelik át a választott képek. A kiválasztás esetében a harmadik központi tényező a tartalom volt. Méréseink során vannak olyan felvételek, melyeken sok vagy kevés vízzel borított illetve vízmentes területek láthatóak (a víz alapvetően homogén, így más eredmény várható azon a részen), ezen kívül választottunk felhős, mezőgazdasági, épületekben és ipari területekben gazdag felvételeket is.

3.2. Labor szintű mérés

A RAW feldolgozó alkalmazások összetettsége és ismeretlen algoritmusait tekintve (minden gyártó szigorúan védi az általuk használt algoritmusok kiletét), szükségesnek láttunk egy laborszintű vizsgálat elvégzését, melyből reményeink szerint még több és pontosabb információt lehet kinyerni, vagy épp megerősítést adhat az egyéb képek mérése által adott következtetésekre. Ezeket a felvételezéseket stúdióban, a megbízható fények miatt profi digitális vakuval és egy stabil állvánnyal végeztük, így a különböző beállítású felvételek során pixel pontosan megegyező képek készülhettek. A felvételek elkészítéséhez egy 5DmkII-es típusú eszközt használtunk, mely full frame (35mm szenzor) méretű érzékelővel van ellátva. A laborban történt vizsgálatoknál fényérzékenység szempontból ISO 100-3200 közötti egész értékekkel dolgoztunk (100, 200, 400, 800, 1600, 3200).

3.3. Color Checker

A ColorChecker (ColorChecker Classic, 2015) klasszikus értelemben egy 24 színből álló színes tábla, melyen a fehértől a feketéig 6 szürkeárnyalat illetve 18 különböző szín található meg, melyeket a gyártó igyekezett a természetben előforduló színekből meríteni. Ilyenek például az emberi bőr, a fa levele valamint a kék ég színei. Az elkészített táblán lévő színek laborkörülmények között lettek bemérve, mindegyik mérete megegyezik, 6x4-es mátrixot alkotnak. A táblát úgy készítették el, hogy minden szín a látható spektrumban –fényerősségtől

függetlenül- szinte tökéletesen visszaveri a megfelelő tartományt, így minden megvilágítás mellett mérhetünk vele. Méréseink során a tábláról készült képet egészében és színenként is elemezzük.

3.4. Dark Frame

A sötét zaj és a kiolvasási zaj a legegyszerűbben a Dark Frame (Berke et al. 2010) módszerrel jeleníthető meg. A ColorChecker fotózásakor minden ISO értéknél készült a valódi tartalommal bíró kép mellett egy vele megegyező beállítással rendelkező Dark kép is.

3.5. Véletlenszerű képek

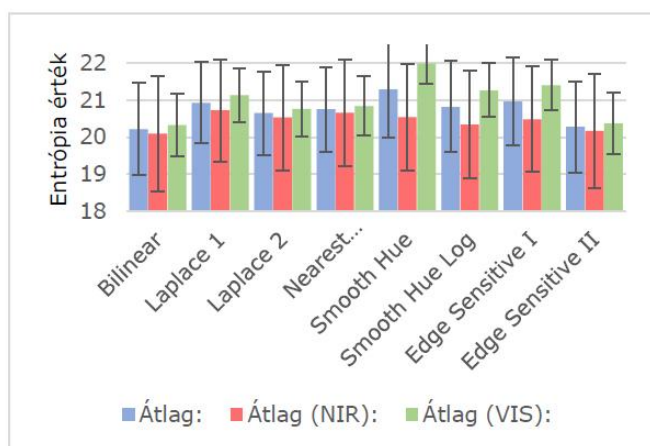
A RAW feldolgozó programok mérésénél az 5DmkII-es fényképezőgépre esett a választás, mely bár nem a legújabb eszköz a piacon, de még mindig nagy népszerűségnek örvend.

Az első gondolatunk az volt, hogy teljesen véletlenszerű képek felhasználásával fogunk méréseket végezni a programokon, de hamar kiderült, hogy ez nem feltétlen előnyös egy teszt során, hisz több különböző szempontnak megfelelő kép kimaradhat a válogatáskor. Így új megoldást keresve maradt a hagyományosnak tűnő megoldás, melynek következtében bizonyos kritériumoknak megfelelő képeket válogattunk be az 50 db feldolgozandó és lemérendő képek táborába. Figyelembe véve az érzékenység beállítását (ISO 100-6400), a kép szerkezetét (légifelvételek, égbolt, növényekkel borított képek, várfal, nagy területű homogén felület, haj) valamint azt, hogy legyenek nagy területeken sötét részek (fekete háttérű stúdió kép, éjszakai sötét égbolt). Kerestünk stúdióban és természetben készült felvételeket valamint mesterséges és napfénnel megvilágított képek is kerültek a kiválogatottak közé.

4. Eredmények

4.1. Interpolációs eljárások

4.1.1. Interpolációs algoritmusok vizsgálata információtartalom alapján

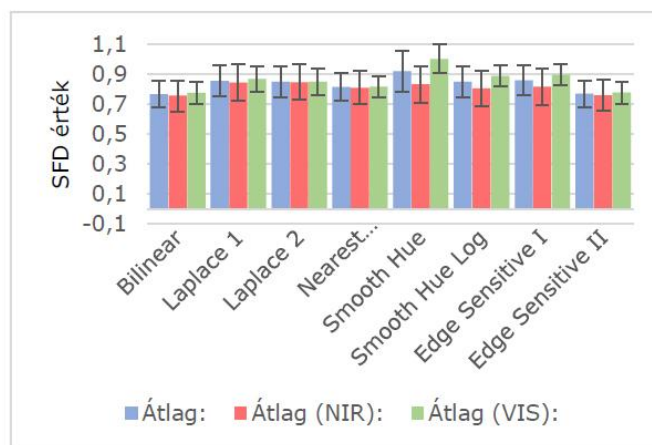


5. ábra Interpolációs eljárások Entrópia mérés eredményei

Az interpolációs képalkotó algoritmus Entrópia alapú mérése során megállapítható (5. ábra), hogy a 100 képet nézve a legnagyobb átlagos értéket a Smooth Hue eljárás éri el, amely 21,29. Amennyiben szétbontjuk a képeket látható és közeli infravörös tartományra, máris két különböző eljárás jön szóba a legnagyobb átlagos információt tekintve. A VIS esetén a Smooth

Hue (21,98), míg a NIR esetén a Laplace 1 (20,72) a legnagyobb. A NIR kamera köszönhetően annak, hogy utólag átalakított CCD-vel dolgozik, nem éri el azt az értéket, mint amelyet a VIS esetén kapunk. Valószínűleg az él-érzékeny Laplace1 eljárás javítja ezt, amely Entrópia szinten is mérhető. Hasonló ok miatt van átlagosan kétszer nagyobb szórása az átalakított kamerának, amely minden képalkotó eljárás során jelentkezik. A legkisebb Entrópia értéket a Bilinear képalkotó eljárásnál mértük, amely átlagosan 20,21 volt.

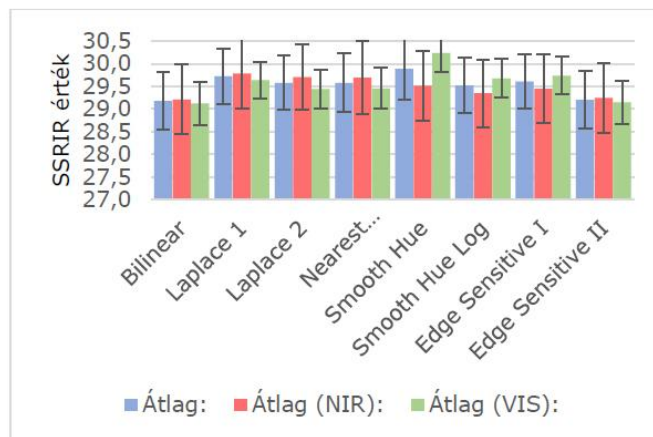
4.1.2. Interpolációs algoritmusok vizsgálata szerkezet alapján



6. ábra Interpolációs eljárások SFD mérés eredményei

Az SFD mérés (6. ábra) során VIS tartományban a Smooth Hue adta a legmagasabb eredményt (0,998), míg a Bilinear a legalacsonyabbat (0,773). Chen leírása alapján a Smooth Hue képalkotó eljárásnak kisebb a homályosító hatása (Chen, 1999), mint a Bilinear algoritmusnak, melyet jól szemléltet az SFD mérés által kapott eredmény is. A NIR képek esetén a Laplace 1 (0,841) és a Laplace2 (0,844) hozta a legjobb eredményt, melyek két tizedes jegy pontossággal nézve egyenlőnek mondhatók, és csak a harmadik tizedes jegy figyelembevétele során található különbség. A Laplace féle összetett él-érzékeny eljárásnak köszönhető az, hogy ezekkel az algoritmusokkal jobb eredményt kaptunk. A NIR esetén szintén a Bilinear adta a legkisebb értéket (0,754).

4.1.3. SSRIR



7. ábra Interpolációs eljárások SSRIR mérés eredményei

Az SSRIR értékeket figyelembe véve (7. ábra) a legmagasabb átlagos értéket a Smooth Hue adta (29,59), mely megegyezik a VIS átlagát nézve legmagasabb értéket adó (30,23) eljárással is. NIR esetén a Laplace1 a legmagasabb értékű (29,79). Megjegyezzük, hogy az Entrópia és az SFD esetében is a VIS képek adták a magasabb értékeket, míg SSRIR mérés során 8 algoritmusból 5 esetén a NIR felvételek értékei voltak magasabbak. Ennek oka valószínűleg, hogy az árnyalat alapú eljárások (mint például az Smooth Hue) a láthatótartományú képeket kiemelte, míg az árnyaltszegény infra képeket nem. Ezzel ellentétben az élkimelő eljárások a NIR kamera képeit növelték, így információ-tartalmat és szerkezetet együtt nézve magasabb értéket értek el.

4.2.Szoftverek

A szoftveres vizsgálat során négy különböző gyártó által készített RAW feldolgozó alkalmazást hasonlítottunk össze információ-tartalom, szerkezet és SSRIR alapján. A programok a következők: Adobe Photoshop Lightroom (továbbiakban: Lightroom), Capture One Pro (továbbiakban: Capture One), Digital Photo Professional (továbbiakban: DPP), DxO OpticsPro (továbbiakban: DxO). Választásunk során meghatározó szerepet játszott, hogy a három nagy RAW kép menedzselő, szerkesztő alkalmazás mindenkié benne legyen a listában (Lightroom, Capture One, DxO), illetve a negyedik programra a DPP-re a Canon gyári programjára, a kamerák gyártója miatt gondoltunk. Közülük a Lightroom az egyetlen, amely külön a maga nevében, mert a többi esetén beépített RAW feldolgozó modul van, míg a Lightroom esetén az Adobe Camera RAW dolgozik. Ez az oka annak, hogy az Adobe Photoshop (továbbiakban: Photoshop) nem került a kiválasztott programok listájába. Amennyiben a Lightroom és a Photoshop külön frissítve van, de a feldolgozó modul azonos, akkor tökéletesen ugyanolyan képet állítanak elő. Esetünkben a könnyebb feldolgozás miatt esett a választásunk a Lightroomra.

Tudni kell, hogy a programok mögött futó algoritmusok zártak és védettek. Több gyártót is felkerestünk ez ügyben, abban a reményben, hogy kapunk valamilyen tájékoztatást velük kapcsolatban. Sajnos érdemi visszajelzés nem érkezett, illetve egyáltalán nem kaptunk semmilyen választ ezekre a leveleinkre. Az általunk vizsgált szoftverek esetén nem az algoritmust teszteltük, hanem az egész programot, hogy lássuk melyik, milyen módon dolgozza fel/alakítja át a nyers képeinket és milyen eltérések vannak közöttük. Fontos megjegyezni, hogy mind a négy szoftver esetén tapasztaltunk előre beállított értékeket. A méréseink során így külön kezeljük a gyári beállításokkal és a „felhasználó által minden beállítást nullára állítva” megoldással készített képeket.

4.2.1.Gyári beállítások

Ahhoz, hogy jól értelmezhetőek legyenek a mért adatok, elengedhetetlen megvizsgálni minden programot, hogy milyen beállításokat hajtanak végre gyárilag egy-egy képen.

A Fehéregyensúlyt minden program a nyers képben tárolt EXIF adatokból veszi ki, amely ha nem fixen megadott érték pl. „Flash”, akkor az egy számított érték lesz. Ez azért fontos, mert a szoftverek ilyenkor nem a fényképezőgéptől kapnak egy számított értéket, hanem mindenki maga számolja az előre megírt metódusok alapján. Ennek következtében a színek tekintetében biztosan várhatóak eltérések.

Fények esetén bár mind a négy program különbözően sötét vagy világos (közel megegyező) képet ad, a DxO külön egy „DxO Smart Lighting” funkciót is bekapcsol, amellyel tapasztalataink alapján a csúcspontokat lehet állítani, és világosabb eredményt ad átlagosan a többi program által generált képekhez képest.

Kromatikus Aberráció (Nagy, 2009) az objektívek fizikai tulajdonságaiból adódó színhiba, mely a kész kép tartalmának színes szegélyt adhat, amely a valóságban nem található meg. Ezek szűrését gyárilag csak a Capture One és a DxO végzi el.

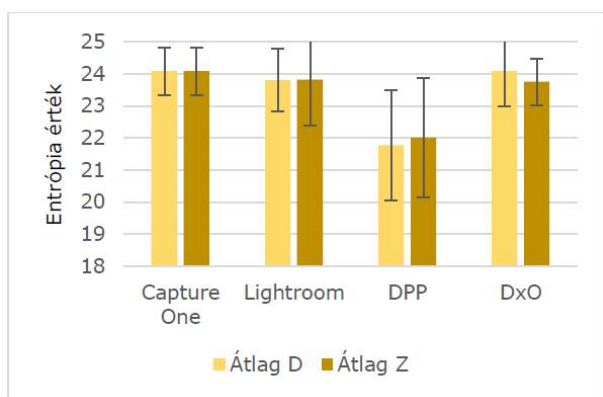
Az élesítés és zajszűrés több esetben is összefügg. Mind a négy program esetén léteznek valamilyen módon ezek a funkciók. A zajszűrés a DPP-t leszámítva minden szoftver esetén ISO 100-tól már jelen van, míg a DPP ezt csak ISO 200-tól kezdi el, ennek nyomát később látni is lehet a mérések során. ISO 200-1600 közötti értéken a DPP folyamatosan erősödő zajszűrést végez, míg a három másik alkalmazás konstans értékekkel dolgozik. Az élesítés ISO 100-1600 érték között - bár eltérő módszerekkel és értékekkel -, de mindenhol konstans. ISO 3200-6400 közötti értékeknél még jobban különböznek a programok, és sokkal eltérőbb megoldásokat képviselnek. A DxO és a Lightroom marad a konstans beállításnál. A Capture One ezen az ISO értékeken erősebb zajszűrést és gyengébb élesítést alkalmaz, illetve ISO 6400-as értéken egy extra megoldást tartogat a felhasználói számára. Itt ugyanis jobban megszüri a „single pixel” zajokat, és helyettesíti egy kevés saját gyártású „film noise” zajjal (effekttel). Tehát a kamera által generált kisebb méretű zajokat igyekszik a saját zajával keverni/cserélni, így látványban jobb eredményt kíván elérni. Ez természetesen fotózás szempontjából remek megoldás lehet, de mérőkamerás mérések esetében semmiképp nem megfelelő. A DPP esetében folyamatosan növekszik a zajszűrés mértéke és ISO 6400-on gyengít az élesítésen.

Ezeket a paramétereket figyelembe véve készítettük el a kétféleképpen exportált tartalmakat minden program esetén TIFF, 16 bit, Adobe RGB, 300 DPI kimeneti beállításokkal.

Méréseink során kétféle jelölést használunk. Átlag D (Default) és Átlag Z (Zero), melynél a Default felel meg a gyári beállításoknak, és a Zero ezen beállítások megszüntetett verzióját jelenti.

4.2.2.Szoftverek vizsgálata információ-tartalom alapján

A RAW feldolgozó alkalmazások Entrópia mérése során számos megfigyelés és kérdés is felmerül. (8. ábra) Az „Átlag D” esetén azt várnánk el, hogy magasabb értéket fog produkálni az „Átlag Z” értékéhez képest, mivel itt komoly zajszűrés eljárással is végbemennek, amellyel javítania kellene az átlagos információ-tartalom. Méréseink során kapott eredmények alapján megállapítható, hogy ilyen várt értéket csak a DxO produkált (24,088 - 23,755). A DPP esetén 0,24 értékkel csökkent, a Capture One és a Lightroom-nál pedig szinte változatlan maradt az „Átlag Z”-hez képest. Amennyiben csak az Entrópia mérés eredményeit vizsgáljuk, felmerül a kérdés, hogy ezek a programok végeznek-e tényleges zajszűrést, vagy bármilyen egyéb műveletet a képen, és ha igen, akkor minek köszönhető ez a majdnem megegyező érték? A DPP kapta a legkisebb Entrópia érték párost (21,774 - 22,015), amelynél felmerül szintén a kérdés, hogy ez minek köszönhető, és vajon mi dolgozik a háttérben?



8. ábra RAW feldolgozó alkalmazások Entrópia mérés eredményei

Ekkor még csak sejthettük a teszt mérések során kapott eredményekből, hogy tüzetesebben megvizsgálva a mérési adatokat, lesznek nagyobb eltérések is. A 9. táblázat értékei esetében kivettünk néhány képet, és annak mért adatait, amelyeknél szabadszemmel is jól látható Entrópia érték eltérések voltak.

A 2. táblázatban megfigyelhető, hogy a VAR_FAL kép esetén a DPP-t leszámítva majdnem megegyező Entrópia értékeket kaptunk, míg a TORONY és az ELBUJT esetén nagy a terjedelem a mért négy program között. Méréseink során több esetben is elmondható a magas eltérés az értékek között.

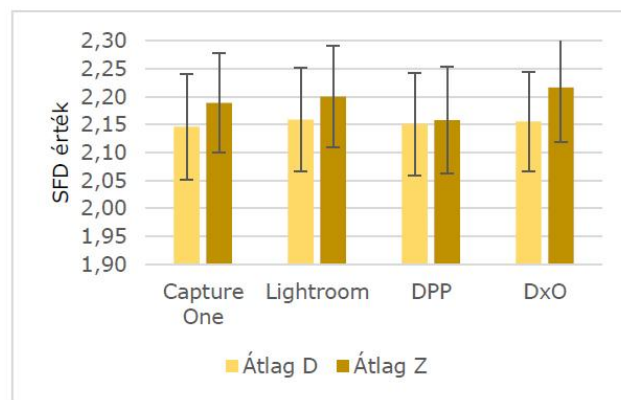
Kép neve:	Capture One	Lightroom	DPP	DxO
TORONY	23,27	15,33	12,43	20,21
VAR_FAL	24,32	24,28	23,03	24,32
ELBUJT	24,30	22,11	19,95	24,22

2. táblázat feldolgozó alkalmazások Entrópia mérésből (Default) kiemelt eredmények.

Vizuális interpretáció alapján megállapítható, hogy minden olyan kép, amelynél nagy eltérések mérhetők, magas arányban lelhető fel sötét, világos vagy homogénnek mondható terület. A TORONY és az ELBUJT esetén a kép nagy részét sötét homogén pixelek fedik, míg a VAR_FAL esetén a kapuk sötét részeit leszámítva egy részletgazdag képről beszélhetünk.

Megfigyelhető, hogy a TORONY ISO3200-as értéke esetén - amely sok zajt generál - a Capture One adta a legmagasabb értéket, majd a DxO, Lightroom, és a DPP a legkisebbet. A kapott értékek alapján következtetni tudunk a zajszűrési mechanizmusra és egyéb feldolgozó módszerekre is, melyekre a későbbiekben még kitérünk.

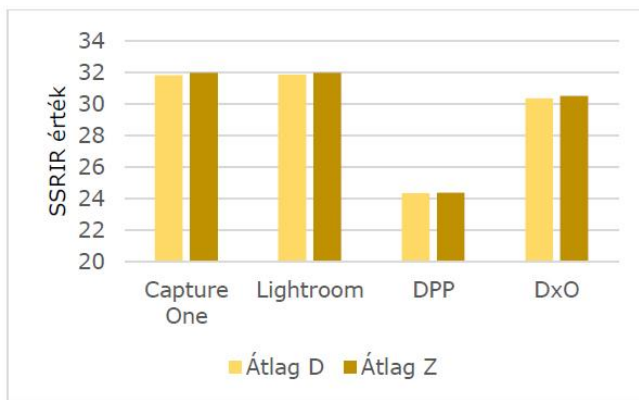
4.2.3.Szoftverek vizsgálata szerkezet alapján



9. ábra RAW feldolgozó alkalmazások SFD mérés eredményei

Az SFD vizsgálat során megállapítható (9. ábra), hogy a spektrális szerkezetet a DPP szinte egyáltalán nem változtatja meg. Ellenben a másik három program esetén átlagosan 2,16%-al kisebb értéket kapunk az alapbeállításokkal, mint az azoktól mentes verzióiktól. Bár a szoftverek algoritmusait és zajszűrő eljárásait nem ismerjük, de a mérések során többször és jelen helyzetben is megmutatkozik a hatásuk. A zajszűrő eljárásoknak köszönhetően a spektrális szerkezet csökken, hiszen a zaj okozta információtartalom és szerkezeti anomáliák erőteljesen befolyásolják a mérési eredményeket.

4.2.4.Szoftverek vizsgálata SSRIR alapján



10. ábra RAW feldolgozó alkalmazások SSRIR mérés eredményei

Az SSRIR alapján, mely a képeket három különböző paraméterrel is figyeli, elmondható, hogy a programok gyári beállításokkal és a beállítástól mentes kimeneti állományaik esetén csak minimális csökkenés tapasztalható. Ezen mérések alapján azt a megállapítást lehet levonni, hogy az árnyalatokat figyelembe véve nem sok eltérés található a kétféle kimenet között.

Az adatok feldolgozásánál szembevetendő, hogy a programok más-más bitnyi hasznos adatot tartalmaznak: DPP 11 bit, DxO 15 bit, illetve a Lightroom és Capture One 16 bit terjedelemmel dolgozik.

4.2.5. ColorChecker és Dark Frame mérések

A Color Checker mérés folyamán több jelenséget is tapasztaltunk. A mérés során precíz fénymérőt, digitális vakut, profi állványokat és táblát használtunk.

A tesztképek során kiderült, hogy a legerősebb és leggyengébb fényerő esetén az ISO 100-3200-as sorozat f22-es rekeszt fog megkövetelni. Objektívnek egy Canon EF 100mm f/2.8L Macro-t használtunk. Ennek az oka, hogy a tábla nem rendelkezik túl nagy méretekkel, a vizsgálat során viszont csak azt szerettük volna megörökíteni, így a megfelelő közelség miatt egy makró objektívre volt szükségünk. Minden képnek készült egy Dark Frame párja is.

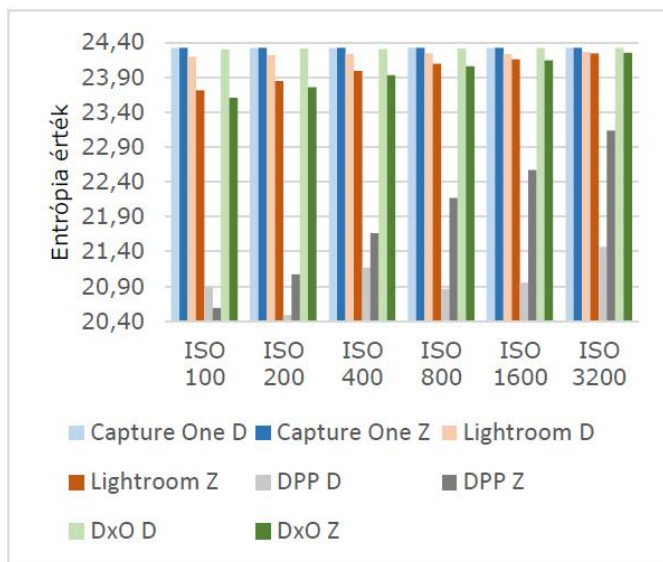


11. ábra ColorChecker és Dark Frame sorozat

A 11. ábrán látható képek alkotják a teljes sorozat eredményét. Vizuális interpretációval már a készítés után megállapítható a vaku okozta színhőmérsékletbeli eltérés. A szemrevételezés során már a készítéskor észrevehető volt, illetve a Capture One is megmutatta, hogy vannak minimális intenzitás eltérések a képek között. Ezek miatt több teszt kép is készült. Jól látható volt, hogy a tökéletesen egyenletes világítástól függetlenül vannak kilengések.

4.2.5.1. ColorChecker Entrópia mérési eredmények

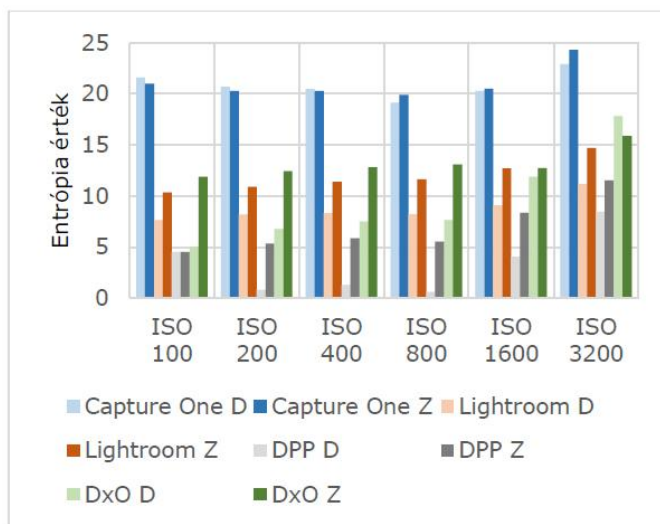
A négy program vizsgálata a ColorChecker alapján lehetőség ad zajszint alapú vizsgálatra. A 12. ábrán látható, hogy a programok egy-egy eredménypárosa milyen módon változik Entrópia vizsgálat alapján.



12. ábra RAW feldolgozó alkalmazások ColorChecker alapú Entrópia mérés eredményei

A Capture One esetében az alapbeállításokkal rendelkező és a beállítás mentes képek között Entrópiával szinte semmilyen különbséget nem lehet mérni, csupán ezred értékkülönbség jelentkezik. Ez teljesen megegyezik az 50 kép által mért átlagos értékek eredményével. Az eddigi megállapítás tehát a programmal kapcsolatban változatlan, illetve vizuális interpretáció alapján elmondható, hogy zajszűrés és élesítést ténylegesen végez, de ezt információ tartalom változás nélkül teszi. A Lightroom és a DxO esetén megállapítható, hogy zajszűrés, élesítés és egyéb beállítások következtében nőtt az információ tartalom. Ez a folyamatos növekedés a zajszint emelkedésénél is megtalálható, de sokkal kisebb mértékben, mint ahogy azt a szűretlen kép esetén láthatjuk. A két programot egymáshoz viszonyítva megállapítható továbbá, hogy a DxO használatával a gyári zajos kép esetén is kisebb minden ISO értéknél az átlagos információ tartalom. A gyári beállításokat alkalmazva a képekre nagyobb Entrópia értéket kapunk, mint a Lightroom esetén. A DPP - a Canon gyári programja - vonatkozásában változatos eredmények alakultak ki. A zajszint növekedésével a szűretlen képek esetén az információ tartalom magasabb növekedést mutat a többi programhoz képest. Átlagosan 20%-kal kisebb Entrópia értékről indul ISO 100 esetén és a teljes sorozat alatt 12,3%-os növekedést mérünk, míg a többi programnál a maximális növekedés 2%-os volt. A folyamatos érzékenységtől változó zajszűrésnek és élesítésnek köszönhetően nem folyamatos az Entrópia érték növekedése. Ebből leszűrhető, hogy bizonyos zajszintnél jobban, míg máshol kevésbé kerül szűrésre a zaj.

A DarkFrame alapú képek mérése során megfigyelhető, hogy a programok miként viselkednek ilyen típusú képekkel, melyek alapvetően sötétek és csak kevés információt tartalmaznak. (13. ábra) A Lightroom és a DxO esetében jól látható, hogy az ISO növelésével nő az információ tartalom gyári beállítások és beállítások nélküli esetben is. A Capture One egy hullámzóbb eredményt hozott. Itt az ISO 100-400 között a gyári beállításokkal több az információ, mint a beállításoktól mentesek esetén. Az ISO 800-3200 között cserélődik az arány, illetve a Capture One az, amely átlagosan 1.5-4x magasabb Entrópiával rendelkezik. A DPP esetén jól megfigyelhető, hogy ISO 100-nál nem végez zajszűrés, így ott megegyezik a képek átlagos információ tartalma. Az ISO 200-3200 között folyamatosan változó zajszűrés hullámzó Entrópia értékeket produkál.



13. ábra RAW feldolgozó alkalmazások ColorChecker alapú Entrópia mérés eredményei, DarkFrame képekre

Vizuális interpretáció során szintén hasonló eredményre jutottunk a képek vizsgálatakor. Érdekes megjegyezni, hogy a Capture One magas zajszinthez képet szintén szűri a zajt, de ezt főként a kiolvasási zajokkal teszi. Ahogy a korábbi mérések

során is említettük, a sötét tartalmú képek esetén magas szórással rendelkező eredmények születtek. Ennek a 13. ábra remek szemléltetője, ahol az látható, hogy a sötét területeken egyes programok esetén, milyen átlagos információtartalom eltérés keletkezik.

4.2.5.2. ColorChecker színenkénti Entrópia mérési eredmények

Annak érdekében, hogy összetettebb képet kapjunk az Entrópia által mért eredményekről és hogy milyen képi elemek befolyásolják, színenként is elvégeztük a mérést. A CSVago saját fejlesztésű program segítségével pontosan 630x630 pixeles négyzeteket vágunk ki minden színből, képtől és programtól függetlenül mindig ugyan ott, ugyanazt a darabot.

A mérésnek köszönhetően jobban megfigyelhettük, hogy mely színeknél, hogyan dolgoznak a programok.



14. ábra ColorChecker színenkénti méréseknél használt hivatkozási számok

Méréseink során a színekre csak számokkal fogunk hivatkozni, melynek a pontos megfelelője a 14. ábrán látható.

Minden mérés esetén azt találtuk, hogy az Entrópia értéke a Capture One programnál elhanyagolható, de kisebb a gyári beállításokkal rendelkező képeknél, mint amelyiken nincs semmilyen beállítás. Az eredmények alapján megállapítható, hogy ennek legfőbb oka két szín. A 13-as színkóddal jelölt bizonyos esetekben kevesebb, de van ahol magasabb entrópiát ad ISO értéktől függően az átlaghoz képest. A 8-as számmal rendelkező ISO 100 estén 1%-kal kevesebb információt tartalmaz, mely az érzékenység növekedésével közeledik a határhoz. Valószínűsíthetően ezt a két szint rosszul kezeli le és ennek következménye az eltérés, amely egy sajnálatos hiba, hiszen egy egyenletes információtartalmat ront el.

A vizsgálatok során kimért 8-as és 13-as színkód a sárga és a zöld egy árnyalatát jelenti. Ez hangsúlyos lehet például az agrár és környezetvédelmi területen dolgozó kutatók számára, hiszen a növények vizsgálatánál a zöld és sárga színek jelentős információval rendelkeznek, itt pedig információ veszteséggel számolhatnak.

Az összesen 1152 db színnégyzetből a Capture One az egyetlen olyan program, amely 16 négyzet esetén elérte a maximális entrópia értéket, ez a 630x630px méretű kép esetén ~18,598416.

A DPP-nél több részre bomlik az érzékenység növeléséből adódó zaj által generált Entrópia növekedés. A saját kialakított feldolgozása végig megmarad, csak az információnövekedés változik. A Capture One-nal ellentétben itt nincs egységes információ és az 5-ös színkóddal tapasztalható kiugrás negatív irányban. Gyári beállításokkal rendelkező képek esetén azt várnánk, hogy ezeket a kiugrásokat javítja a program, de pontosan az ellenkezőjét tapasztaltuk. Az 5-ös kódszámú

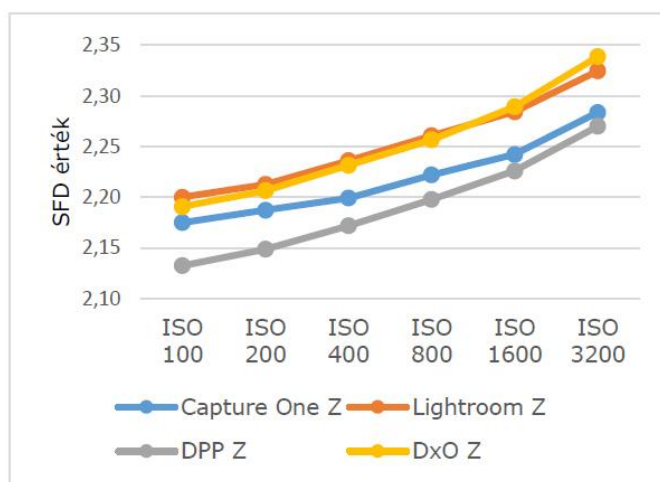
színnél megmaradt a negatív kiugrás, de az egyenletesség nem mondható el az összképről. A program a folyamatosan változó zajszűrés, élesítés és valószínűleg egyéb algoritmusoktól (amelyekről sajnos nincs információnk) egy gyengébb és szétesett információtartalmú képet eredményez.

A DxO mérési eredményei hozták a leglátványosabb változást. A gyári beállítások nélküli képek esetén színenként majdnem teljesen eltérő információtartalommal rendelkező képeket kaptunk. A gyári beállítások után a program tökéletesen kiegyenlíti a képeket. Ennek eredménye - amely a korábbi mérések folyamán is látszódott - hogy a gyári beállításokkal rendelkező képek magasabb Entrópiával rendelkeznek, mint a beállítás mentesek. Az 1., 3., 14., 23. színkóddal rendelkező négyzetek esetén minimális kilengések maradtak, melyek elhanyagolhatónak minősíthetők. Az 5-ös számú esetén van maximálisan fél százalékos csökkenés az átlaghoz képest. Ez a kódszám a fehér színhez tartozik, így a mérések alapján megállapítható, hogy a gyártói felé további fejlesztési igények merülnek fel.

A Lightroom Entrópia méréseinek eredményei a DxO-hoz képest kevésbé erőteljesek. Itt is változatos információtartalom mérhető ki az érzékenység és a színek függvényében. A Lightroom esetén a gyári beállítások nem hoznak akkora kiegyenlítődet, mint a DxO-nál. A 8. és a 12. színkód mögött található kép esetén Entrópia csökkenés van a beállítások nélküli verzióhoz képest, illetve a 0. és a 17. esetén érzékelhető minimális kimozdulás az átlaghoz képest.

Összességében elmondható - a 4 programot összevetve - a DxO és a Capture One három tizedes jegy pontosan megegyezik egymással átlagos Entrópia értékben. A legjobban a DxO az, amely képes volt a 24 színt egymáshoz közelíteni információtartalom alapján érzékenységtől függetlenül. Tehát ahol az információtartalom fontos szempont (osztályozás, tartalom alapú összehasonlítás), ott érdemes az előbb mért eredményeket figyelembe venni. Természetesen a mérés során csak és kizárólag egy vágott színes területi részletet vizsgáltunk, ahol a keretek nem szerepeltek. Ettől függetlenül a mérés eredményei magáért beszélnek és megmutatják, hogy mely program, mely árnyalatnál jeleskedik.

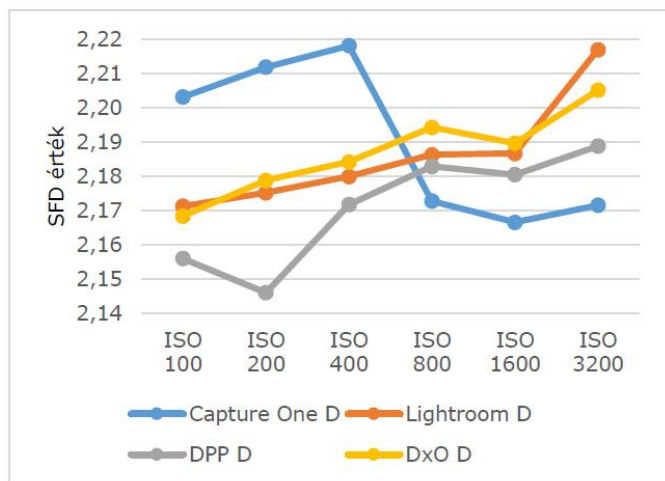
4.2.5.3. ColorChecker SFD mérési eredmények



15. ábra RAW feldolgozó alkalmazások ColorChecker alapú SFD mérési eredményei, gyári beállítások nélkül

A 15. ábrán látható SFD vizsgálat eredményei alapján megállapítható, hogy a gyári beállítással nem rendelkező képek esetén a zajszint növekedésével folyamatosan növekszik az SFD érték. Átlagosan 5,9%-os emelkedés tapasztalható az ISO 100 - 3200 között mért képeknél. A DxO kisebb értéket ad a

Lightroomhoz képest ISO 100-800 között, majd ISO 1600-3200-on már magasabbat. A spektrális szerkezet nagyon érzékeny minden zajtípusra, hiszen a zaj vagy annak szűrése képes megbontani egy kép szerkezetét, amely a 15. ábrán remekül látható és jól mérhető is az SFD paraméterrel.



16. ábra RAW feldolgozó alkalmazások ColorChecker alapú SFD mérési eredményei, gyári beállításokkal

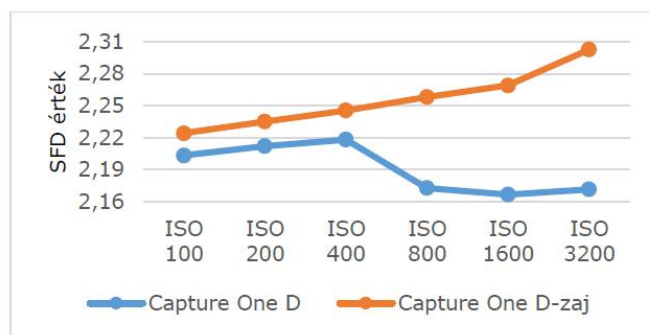
A gyári beállításokkal konvertált képek alapján jelentős eltérések mutatkoznak a programok között. A 16. ábrán látható a négy program viselkedése különböző érzékenységen, SFD értékek alapján.

A DPP-nél megfigyelhető, hogy ISO 100-on magasabb, mint ISO 200-on, amely a kezdeti zajszűrés mentes viselkedésre vezethető vissza. ISO 200-800 között, bár folyamatosan változó szűrést használ a program, erős emelkedés jelentkezik. ISO 1600-tól megáll ez a tendencia, ahol ISO 800-hoz képest minimális visszaesés tapasztalható, majd egy enyhe növekedés ISO 3200-on.

A Capture One esetén - ahogy korábban már többször megállapításra került - az ISO 100-400 között gyengébben, vagy nem dolgozik a zajszűrés, mert SFD értéket figyelembe véve magasan indul 2,20 és egészen 2,22-ig emelkedik ISO 400-ra. ISO 800-on már csökken a szerkezet, amely erős szűrésekre vezethető vissza. Itt 2,17-es értéket mértünk, ez ISO 1600-on még csökken, majd 3200-on minimális növekedést produkál. Ez az eredmény meglepő volt számunkra, hiszen ilyenkor már a program erősebb zajszűrést végez.

A Lightroom és DxO megközelítő értékeket adtak egymáshoz képest. ISO 100-on a Lightroom ad magasabb értéket, majd ISO 200-1600 között megfordul és a DxO ad magasabb SFD értékeket. ISO 3200-on a Lightroom valószínűleg rosszabb szűrőket használhat, mert ott ismét magasabb értékek mérhetőek.

A Capture One kiugró adatainak vizsgálata miatt külön elvégeztünk még egy mérési sorozatot. Itt gyári beállításokat állítottunk be a képeknél, csak és kizárólag a zajszűrés funkciót kapcsoltuk ki. A végeredmény meglepő volt. Bár ISO 100-400 között igen magasan kezd SFD értékeket nézve, -ahogy azt korábban is jeleztük- a következő mérés alapján látható, hogy ez nem a zajszűrés hiányából adódik. A 17. ábra eredményeiből megfigyelhető, hogy ezen a területen átlagosan 1%-ot esett a spektrális szerkezettel mért érték. Ez bizonyítja, hogy a szűrés tényleg aktívan dolgozik és végzi a munkáját. ISO 800-3200 közötti érzékenység esetén tovább nő a zajszint és ezzel az SFD érték is. Ezen az érzékenységi szinten már átlagosan 4,66%-os (3,78%, 4,51%, 5,69%) csökkenés lép fel spektrális szerkezeti értéket mérve, melyből arra lehet következtetni, hogy a gyártó algoritmusait magasabb ISO-ra fejlesztették ki.



17. ábra RAW feldolgozó alkalmazások ColorChecker alapú SFD mérési eredményei, gyári beállításokkal és gyári beállítások zajszűrés mentes megoldásában

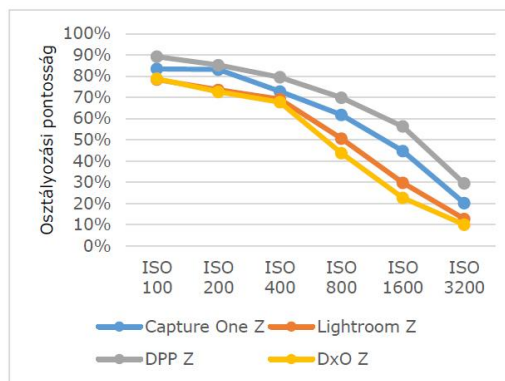
4.2.5.4. Maximum Likelihood osztályozás vizsgálata

Az osztályozás folyamán az Erdas Imagine 2013-as verziót használtuk. A ColorChecker tábla könnyítést jelentett számunkra az osztályok definiálásakor, összesen 24 osztályt hoztunk létre, mely a 24 szint jelöli. Az AOI-kal (Area of Interest), melyek minden szín esetén megegyező méretűek, csak az elhelyezkedésben térnek el a színes négyzet középpontjától.

Külön mérést végeztünk arra nézve is, hogy az AOI elhelyezkedése milyen befolyással rendelkezik a végeredményeket tekintve. Ennek a vizsgálatnak a menete, hogy középen, a négy sarokban és a négy szélén elhelyezve mekkora pontossági különbség kapható. Az eredmények alapján megállapítható, hogy 0,34%-os pontossági eltérést okoz az AOI-k elhelyezkedésének eltérése, így ezzel a hibahatárral tudunk számolni.

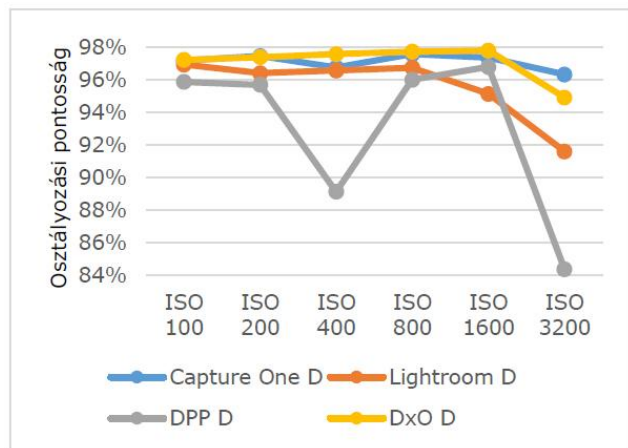
A Maximum Likelihood osztályozást paralelepipedon módszer segítségével először a gyári beállításoktól mentes képeken vizsgáltuk. Ez az osztályozási módszer kizárólag a fájlok tényleges tartalmát vizsgálja (Kozma-Bognár, 2012), (Kozma-Bognár - Berke, 2013), mely a méréseink központi célját képezi. Ezen kívül felettébb érzékeny a zajokra is, amellyel a zaj okozta pontatlanságot mérhettük.

A 18. ábrán megfigyelhető, hogy a kamera érzékenységének növelésével milyen mértékben csökken az osztályozás pontossága. Átlagosan 64%-ot esett a pontosság, ISO 100 és 3200 közötti képek esetén. Legjobb osztályozási eredményt a DPP, míg a legrosszabbat a DxO hozta. A Lightroom és a DxO kezdetben -a hibahatárt is figyelembe véve- egyenlőnek tekinthető és csak ISO 200-tól térnek el egymástól.



18. ábra RAW feldolgozó alkalmazások ColorChecker alapú, Maximum Likelihood osztályozás pontosságának mérési eredményei, gyári beállítások nélkül

A 19. ábrán látható eredmények mutatják be a gyári beállításokkal kapott képek osztályozásának pontosságát. A nyers képekhez képest itt komoly változások figyelhetők meg programonként és érzékenységenként is egyaránt. Alapvetően csökkenő tendenciát várunk el a zaj növekedésével, ennek ellenére hullámzó teljesítményt kaptunk. Míg a gyári beállításoktól mentes képek esetén a DPP hozta a legjobb eredményt, addig a zajszűrt és élesített képeknél már majdnem minden esetben a legrosszabb értékeket kaptuk. A Maximum Likelihood ISO 100-on 95,88%-os pontossággal indított, melyet nem sokkal gyengébb ISO 200 után egy 89,13%-os ISO 400 követett.



19. ábra RAW feldolgozó alkalmazások ColorChecker alapú, Maximum Likelihood osztályozás pontosságának mérési eredményei, gyári beállításokkal

Ezt a kb. 6%-os csökkenést követően a görbe lefutása ISO 800 és 1600-ra már érdekesebbé válik. Az ISO 400-on kapott alacsonyabb pontosság valószínűsíthetően valamilyen fejlesztési probléma következménye lehet, mert utána ismét emelkedik az osztályozás pontossága. ISO 800-on majd 1600-on éri el a maximumot (96,8%), majd ISO 3200-on a 84,36%-kal összesítésben is a leggyengébb osztályozási pontosságot kaptuk. Szintén érdekes jelenség, hogy DPP esetén, ISO 1600-on pontosabb volt az osztályozás, mint a kisebb érzékenységeken. A Capture One és a DxO esetén is megfigyelhető, hogy ISO 800-on vagy 1600-on adják a legmagasabb pontosságot. Ez valószínűleg az erős zajszűrésnek köszönhető, mely elmosza az éleket. ISO 100 - 1600 között a DxO képeit lehetett a legjobban osztályozni, mely teljesen ellentétes a gyári beállításoktól mentes eredménnyel, ahol a DxO volt a legrosszabb. ISO 3200-on a Capture One adta a legpontosabb osztályozási eredményt. Természetesen ezen értékek figyelembevételkor szem előtt kell tartani a 0,34%-os hibahatárt is. Ennek figyelembevételével elmondható, hogy 1-2 nagyobb kirívó esetet leszámítva a DxO, a Capture One és a Lightroom hasonló eredménnyel dolgozik.

Az osztályozások során megvizsgáltuk azokat az eseteket is, amikor Dark Frame módszerrel a sötét képet kivonva az eredeti képből kapunk egy olyan képet, amely jelentősen zajmentesebb lesz. Megállapítható, hogy ez az eljárás két esetet leszámítva nem javította, hanem rontotta az osztályozás eredményeit. A DPP ISO 100 és 200 értéknél jelentkezett javulása +0,18% és +0,26%-ot jelent, de a mért 0,34%-os hibahatáron belül. Így nem nevezhető számottevőnek. Némely esetben pár százalékkal, de van ahol több mint 50%-al lett rosszabb a pontosság az osztályozás során.

A gyári beállításokkal rendelkező képek esetén a Dark Frame kivonása után mért osztályozási pontosság már javult, de még így is elmaradt a várt eredménytől. Egy esetben a Capture One ISO 3200-on mutatott 0,6%-os javulást. A Lightroom kivételével alig volt eltérés a két verzió között, ott ugyanis 1,8-62%-ot romlott a pontosság.

5. Összefoglalás

Régóta foglalkoznak a hazai kutatók osztályozási eljárások vizsgálatával (Hargitai, 2006, Tamás – Róth, 2008), (Kozma-Bognár, 2012). Entrópia, SFD alapú mérésekkel (Kozma-Bognár – Berke, 2013, Berke 2010), (Berke et al., 2015a, Berke et al., 2016) vagy multi és hiperspektrális képekkel erdészeti (Milics, 2008), mezőgazdasági (Berke et al., 2015b), katasztrófavédelmi (Berke et al., 2011a, Berke et al., 2011b), ipari és egyéb kutatási területeken (Pechmann et al., 2003, Mucci, 2004, Kardeván, 2010, Verőné, 2010). Ezeknek a méréseknek az első és legfontosabb feltétele a több száz, ezer, akár tízezer kép digitális előfeldolgozása.

Az osztályozási eljárások ismertek, azonban egy precíz és megbízható osztályozás alapja a pontos (terepi vagy egyéb) referenciák ismerete valamint a megfelelő AOI-k felvétele is. A legtöbb szakember véleményünk szerint úgy dolgozhat, hogy kiválasztja kedvenc programját vagy megkapják amellyel dolgozni kell és azzal készítene a RAW állományaikból TIFF-eket a további feldolgozás érdekében. Az összetett osztályozási méréseink alapján elmondható, hogy az sem mindegy, milyen programmal és milyen beállítások mellett dolgozunk velük. Fontos szem előtt tartani az adott képek EXIF adatait is, amelyek megmutatják az elkészült képek hardveres beállításait. Az ISO, azaz a szenzor érzékenysége esetünkben szintén jelentős, mivel így megtudható, hogy milyen pontossággal/pontatlansággal számolhatunk. Ennek az ismeretnek a birtokában a mért adatok alapján megállapítható, hogy milyen programmal célszerű ezeket a képeket feldolgozni ahhoz, hogy a legjobb pontossági értéket kapjuk a munkánk során. Vizsgálataink eredményeképpen arra is fény derült, hogy a Dark Frame szűrési módszer bár régen hasznos volt és még a mai napig hasznos lehet bizonyos feladatokra, azonban a mai programok olyan algoritmusokat használnak, amelyek mellett az osztályozásnál nem érdemes használni, mert esetenként romlik az osztályozási pontosságunk.

Környezetvédelmi, természetvédelmi vagy mezőgazdasági célú, képi adatokra épülő vizsgálatok során úgy véljük, hogy a legtöbb (képfeldolgozási) feladat esetében már elengedhetetlen az osztályozási eljárások használata. Ezek kimeneti eredményét természetesen rengeteg tényező befolyásolja. Példánknál – melyet egy doktori értekezés (Kozma-Bognár, 2012) alapján már korábban is egyértelműen megállapítottak – remekül látható akár szemrevételezéssel is, hogy mennyivel jobb eredményt adott egy zajszűrt kép, egy szűretlen. Az ilyenfajta mérések pontosságát cikkünkben vizsgált tényezők felhasználásával tovább lehet javítani.

Az SFD használata egyre népszerűbb különböző feladatok végzésére vagy mérésére. Eddigi gyakorlati elemzések közé tartozik a mezőgazdasági, a katasztrófavédelmi elemzés, illetve nem utolsósorban lehetőségünk van multi vagy hiperspektrális felvételek hasznos sávjainak leválogatására is (Berke, 2005), (Berke, 2007), (Berke, 2010), (Berke, 2011a), (Kozma, 2012), (Prema et al., 2016), (Chamorro-Posada, 2016). Ezek a mérések már előrejelzik, hogy az SFD alkalmazás még több kiaknáztatni lehetőséget rejt magában. Méréseink során különböző szoftvereket és interpolációs eljárásokat vizsgáltunk spektrális szerkezetekre vonatkozóan. Ezek során kiderült, hogy mely eljárások azok, melyek a legmagasabb eredményt adják SFD-re. Így ha valaki saját fejlesztésű RAW feldolgozót szeretne használni, vagy a meglévőket esetén ismeri, hogy milyen algoritmust használnak, a mérések alapján könnyedén kitudja választani a megfelelő attól függően, hogy ezek milyen spektrális sávban készült felvételek. Azoknál a kutatási anyagoknál ahol kulcsfontosságúak az élek, ott egy NIR felvétel esetén sem mindegy, hogy milyen eljárással dolgozunk. A gyártók által készített programokat akár cikkünkhöz hasonlóan is bele lehet mérni. Az ilyen mérések szükségességét például az dönti el, hogy fontos-e az adott mérésünk folyamán a képi spektrális szerkezet.

Az interpolációs eljárások használata bár távolinak tűnhet, mégis nap, mint nap használatban vannak. Egyszerű példát nézve a Photoshop esetében egy kép kicsinyítése vagy nagyítása esetén megadható, hogy mely eljárást kezelje, ami például idősoros felvételek illesztése esetén elhanyagolhatatlan lépés, vagy az Erdas Imagine esetén az, hogy milyen eljárással nyissa meg képünket. Ezekkel a beállításokkal, lehetőségünk van szerkezetileg megváltoztatni, élkimielést végezni a képen.

A RAW feldolgozó programok esetén ott vannak a világos és sötét területek, melyek erősen befolyásolják a szerkezetet és az információtartalmat is. Amennyiben olyan képekkel dolgozunk, melyeknél ezek fellelhetőek, előfordulhat, hogy olyan információt is elveszíthetünk egy-egy területen, amely méréseinket tekintve lényeges. Ilyenek az alacsony napállásnál készült légifelvételeknél jelentkező erőteljes árnyékok hatása.

Az entrópia használata a térinformatikában, a környezetvédelem vagy az agrártudomány területein sem ismeretlen (Berke et al., 2012), (Sakamoto et al., 1998), (Kozma-Bognár et al., 2013), (Szilágyi, 2013), (Szilágyi et al., 2014), (Berke et al., 2015c), (Magyar, 2016). Eredményeink segítséget adhatnak azon kutatóknak, akiknek feladataik során az információtartalom kiemelt jelentőséggel bír. Ezenkívül minden felhasználót érint, aki digitális képekkel dolgozik munkája során.

Irodalomjegyzék

- Adams, J. E., 1995. Interactions between color plane interpolation and other image processing functions in electronic photography. 1995. Proceedings of SPIE Vol. 2416 o.144-151..
- Bayer, B. E. 2015. Kodak scientist who created ubiquitous Bayer Filter for color digital imaging, has passed away. Online letöltés: 2015.12.10., <http://www.imaging-resource.com/news/2012/11/20/bryce-bayer-who-created-bayer-filter-for-digital-cameras-has-died>.
- Bayer, B. E. 1976. „Color imaging array”, U.S. Patent 3,971,065.
- Berke, D., Ocskai, Zs., Major, K., Enyedi, A., Berke, J., 2016. Digitális képalkotó algoritmusok összehasonlító elemzése képszerkezet és entrópia alapján, VIII. Magyar Számítógépes Grafika és Geometria Konferencia, 2016. március 30-31, Budapest, ISBN 978-615-5036-11-8
- Berke, D., Ocskai, Zs., Enyedi, A., Berke, J., 2015a. Digitális képérzékelők képalkotó eljárásainak összehasonlítása információtartalom és képszerkezet alapján. Fény-Tér-Kép konferencia. Gyöngyös, 2015. október 30.
- Berke, J., Kozma-Bognár, V., Ladányi, P., Nemesszeghy, Gy., 2015b. Termikus képi információk alkalmazása a környezetvédelem és az agrártudományok területein, 19th International THERMO Conference, 2015.07.07-12., pp. 29-39., Budapest.
- Berke, J., Szabó, R., Bérczy, I., Enyedi, A., Gambár, K. 2015c. Digitális fotósuli diákműhely lehetőségei a tehetséggondozásban. 2. IKT az oktatásban nemzetközi konferencia elektronikus kiadvány. Szabadka, 2015. május 22-23. pp. 279-281, ISBN 978-86-87095-54-0.
- Berke, J., Kelemen, D., Kozma-Bognár, V., Magyar, M., Nagy, T., Szabó, J., Temesi, T., 2010. Digitális képfeldolgozás és alkalmazásai (DIGKEP v7.0). Elektronikus és nyomtatott tankönyv. Kvarc Számítástechnikai Bt., Keszthely. ISBN 978-963-06-7825-4.
- Berke, J., Kozma-Bognár, V., Tomor, T. 2012. Entrópia alkalmazása a térinformatikában. Térinformatikai Konferencia és Szakkiállítás „Az elmélet és gyakorlat találkozása”. In: Lóki J. (szerk.) konferencia kiadvány. Debrecen, 2012. május 24-25. pp. 61-66. ISBN 978-963-318-218-5.
- Berke, J., 2007. Measuring of Spectral Fractal Dimension, Journal of New Mathematics and Natural Computation, ISSN: 1793-0057, 3/3: 409-418..
- Berke, J., 2005. Spectral fractal dimension. Proceedings of the 4th WSEAS International Conference on Telecommunications and Informatics. Prague, Czech Republic, 14-15 March 2005. pp. 23-26. ISBN 960-8457-11-4.
- Berke, J., 2014. Digitális képérzékelők egységes paraméterezése információtartalom és fraktálszerkezet alapján. Seventh Hungarian Conference on Computer Graphics and Geometry, Budapest, 2014.
- Berke, J., Enyedi, A., Berke, D., Ocskai, Zs., Major, K., 2016. Nagyfelbontású légifelvételek képalkotó eljárásainak összehasonlító elemzése, VII. Térinformatikai Konferencia és Szakkiállítás, Debrecen, 2016, megjelenés alatt.
- Berke, J., 2010. 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.
- Berke, J., Kozma-Bognár, V., Kováts, L. D., Nagy, T., 2011a. Results of the Thermal, Near Infrared and Visible Remote Sensing Data Investigation of Red Sludge Catastrophe. International Conference on Emergency Management Technology. Budapest- Veszprém-Szekszárd, 23-25 May 2011.
- Berke, J., Bíró, T., Burai, P., Hoffmann, I., Józsa, J., Kováts, L. D., Kozma-Bognár, V., Nagy, T., Németh, T., Tomor, T., Tóth, F., 2011b. A vörösiszap katasztrófa telemetriai adatfeldolgozásának eredményei – Remote sensing results of red mud catastrophe. Informatika a felsőoktatásban, Debrecen; 08/2011.
- Berke, J., Kozma-Bognár, V., Tomor, T., 2012. Entrópia alkalmazása a térinformatikában. Térinformatikai Konferencia és Szakkiállítás „Az elmélet és gyakorlat találkozása”. In: Lóki J. (szerk.) konferencia kiadvány. Debrecen, 2012. május 24-25. pp. 61-66. ISBN: 978-963-318-218-5.
- Chamorro-Posada, P., 2016. A simple method for estimating the fractal dimension from digital images: The compression dimension, Chaos Solitons Fract 91 (2016) 562-572.
- Canon EOS 5D Mark II., 2015. Online letöltés: 2015.12.10., http://www.canon.hu/for_home/product_finder/cameras/digital_slr/eos_5d_mark_ii/.
- Chen, T., 1999. A Study of Spatial Color Interpolation Algorithms for Single-Detector Digital Cameras, Psych221/EE362 Course Project, Information System Laboratory, Department of Electrical Engineering, Stanford University, 1999.
- ColorChecker Classic, 2015. Online letöltés: 2015.12.30. http://xritephoto.com/ph_product_overview.aspx?id=1192&catid=28.
- Hamilton, J. & Adams, J. 1997. Adaptive color plane interpolation in single sensor color electronic camera. U.S. Patent No. 5,629,734, 1997.
- Hargitai, H., 2006. A hiperspektrális képfeldolgozás módszerei és az első magyarországi képalkotó spektrométeres repülés adatainak elemzése. Doktori (PhD) értekezés. Eötvös Lóránd Tudományegyetem, Természettudományi Kar. Budapest.
- Kardeván, P., Jung, A., Deákvári, J., Szalay, D. K., Tolner, I. T., Kovács, L., Fenyvesi, L., 2010. A hiperspektrális távérzékelési technológia sajátosságai, és minőségbiztosított alkalmazásának hazai lehetőségei. XV. ESRI Magyarország Felhasználói Konferencia. Budapest, 2010. október 7.
- Kozma-Bognár, V., 2012. Hiperspektrális felvételek feldolgozásának és mezőgazdasági alkalmazásának vizsgálata. Doktori (PhD) értekezés. Pannon Egyetem Állat-és Agrárkörnyezet-tudományi Doktori Iskola. Keszthely.

Kozma-Bognár, V., Berke, J., 2013. Hiperspektrális osztályozó eljárások összehasonlítása felszínborítási kategóriák megállapításánál. Agrárinformatika Nemzetközi Konferencia, DOI: 10.13140/2.1.1406.7847, o. 67-76. Debrecen, 2013.

Kozma-Bognár, V., Szabó, R., Berke, J., 2013. Információtartalmú elemzések a közlekedéseredetű szennyezőanyagok hatásvizsgálatánál. In: Lóki I (szerk.) Térinformatika konferencia és szakkiállítás: Az elmélet és gyakorlat találkozása a térinformatikában konferencia kiadvány. pp. 257-264. Debrecen, 2013. május 23-24. ISBN 78-963-318-334-2.

Laroche, C. A., 1994. Apparatus and method for adaptively interpolating a full color image utilizing chrominance gradients. U.S. Patent 5,373,322, 1994.

Magyary, V., 2016. Ultranagy felbontású légifelvételék illesztése és osztályozása. Szakdolgozat. Gábor Dénes Főiskola Mérnök-informatikus szak, Budapest.

Milics, G., 2008. A térinformatika és a távérzékelés alkalmazása a precíziós (helyspecifikus) növénytermesztésben. Doktori (PhD) értekezés. Pécsi Tudományegyetem, Természettudományi Kar. Pécs.

Mucsi, L., 2004. Műholdas távérzékelés. Libellus. Szeged, 2004. ISBN:963-214-903-3.

Nagy, K. 2009. Fotóelmélet: Optika 5. Online letöltés: 2016.01.27. https://pixinfo.com/cikkek/fotoelmélet_optika_5.

Ocskai, Zs., 2015. Entrópia alapú információtartalom mérés digitális képeken. Szakdolgozat. Gábor Dénes Főiskola, Mérnök-informatikus szak. Budapest.

Pechmann, I., Tóth, T., Tamás, J., Kardeván, P., Róth, L., Burai, P., Katona, Zs., 2003. Elterő talajszótartalmú növényzeti foltok elkülönítése hiperspektrális technológiával. In: Gaál Z., Máté, F., Tóth, G., (szerk.) Földminősítés és földhasználati információ konferencia kiadványa. Keszthely, 2003. december 11-12.

Prema, M., Mohideen faril sumaiya, Y., Ramya, R. 2016. High Secure Finger Vein Authentication System For ATM, <https://www.researchgate.net/publication/303329827>.

qChannel, 2016. Online letöltés: 2016.01.18. <http://www.req.hu/kepfeldolgozas/qchannel/>.

Sakamoto, T. et. al., 1998. Software pixel interpolation for digital still cameras suitable for a 32-bit MCU. IEEE Transactions on Consumer Electronics. Nov. 1998. Vol.44, No.4, P.1342-1352.

Shannon, C. E. (1948a): A Mathematical Theory of Communication, The Bell System Technical Journal, 27:379-423.

Shannon, C. E. (1948b): A Mathematical Theory of Communication, The Bell System Technical Journal, 28:623-656.

Shannon, C. E. (1951): Prediction and entropy of printed English, The Bell System Technical Journal, 30:50-64.

Szilágyi, J. 2013. Multispektrális felvételek vegetációs osztályozása ENVI SVM osztályozási eljárással, Szakdolgozat. Gábor Dénes Főiskola, Mérnök-informatikus szak. Budapest.

Szilágyi, R., Herdon, M., Lengyel, P., Rózsa, T., 2014. Tudás disszemináció és innovatív információk technológiák a mezőgazdaságban, Informatika a felsőoktatásban 2014 konferencia, Debrecen, 2014. augusztus 27-29. o. 302-310.

Tamás, J., Róth, L., 2008. Hiperspektrális adatfeldolgozási és megjelenítési lehetőségek. 6. Fény-Tér-Kép konferencia. Dobogókő, 2008. szeptember 18-19.

Verőné, W. M., 2010. Fotointerpretáció és távérzékelés 5., Távérzékeléssel szerzett adatok számítógépes kiértékelése.

Nyugat-magyarországi Egyetem. Online letöltés: 2016.03.18. http://www.tankonyvtar.hu/en/tartalom/tamop425/0027_FOIS/ch01s02.html.

A nyilatkozat: A beküldött kézirat a feltüntetett szerzők munkája, a benne szereplő, másról átvett információk, ábrák és egyéb anyagok szerzői mindenhol meg lettek jelölve. A cikk jelen formájában nem jelent meg más folyóiratban. A cikk Távérzékelési technológiák és térinformatika szakfolyóiratban történő publikálásával minden szerző, közreműködő és támogató egyetért. A kézirat nem tartalmaz valótlán információt, a szerzőknek nincs tudomásuk összeférhetetlenségről és a kézirat feldolgozását, lektorálását, publikálását gátló tényezőről, továbbá hozzájárulnak, hogy az RS@GIS online fényképes szerzői adatbázisában szerepeljenek.

© 2016 by the authors; licensee RS&GIS, Hungary.

This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution license

(<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).