

Hiperspektrális technológia

RS&GIS - 2011 / 1. Dr. Kardeván Péter, PhD, geofizikus

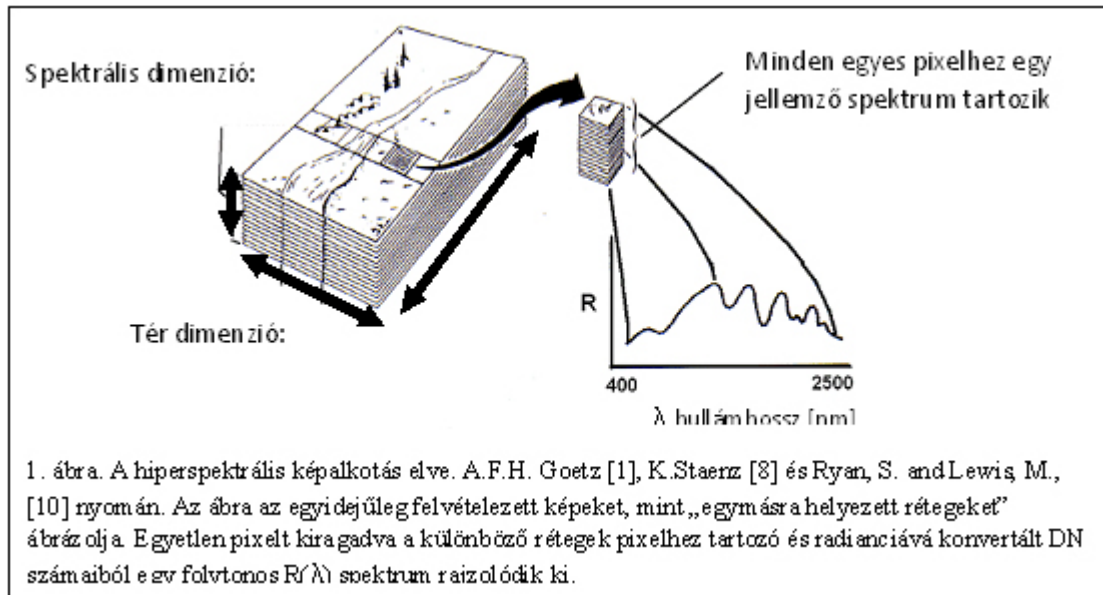
A **hiperspektrális távérzékelés** szakkifejezést a Sugárhajtómű Laboratóriumban (JPL)² Alexander F.H. Goetz planetáris geológus és munkatársai fogalmazták meg legelőször 1985-ben, a Tudomány (Science) folyóiratban publikált cikkükben [1], [2], [3]. Akkoriban ezt a kifejezést az **optikai távérzékelés** szakmai közössége számára javasolták a bolygók, illetőleg később a Föld felszínének megfigyelésekor, a felszínről visszaverődött napsugárzás spektrális összetételének vizsgálatára kifejlesztett új technológia megjelölésére.

Az optikai észlelések spektrális tartományának a látható fény tartományán túli kibővítését már a 2. világháború során előnyösen alkalmazták a katonai kamuflázs-detektáláshoz (a színes-infra felvételeken (CIR-images): a zöld színű ponyvakkal letakart tankokat élesen el tudták különbéztetni a növényzettől). A felszíni objektumok – pl. a kőzetek – fizikai tulajdonságainak leírásában a szint a földtan kezdettől fogva alkalmazta, sőt a talaj típusok megkülönböztetésében, a talajok osztályozásában a Munsell-féle színskálát igen eredményesen alkalmazzák még ma is. Ezek az alkalmazások a fizikai objektumok jellemzésének minőségi (kvalitatív) eszközei.

A fizikai objektumok spektrális jellemzésére szolgáló hatékony távérzékelési technológia kifejlesztését a 70-es évektől kezdődően kialakuló **multi-spektrális távérzékelés** irányzata képviselte, és a Landsat-1 műhold fellövésével az ERTS-1 **műholdas szenzor** adatainak vizsgálata kezdődhetett meg. Ebben az új eljárásban a szenzorok már kalibrált **radiometriai méréseket** végeztek, amelyek egy részében az észlelt digitális számokat (DN-numbers) **radianciává** tudták konvertálni (abszolút kalibráció), más technológiánál **relatív radiometrikus kalibrációt** illetőleg ún. **diffúzerek** alkalmazásával **reflektancia kalibrációt** hajtottak végre. Ekkor már **terepi reflektancia spektrumokat** is mértek a teljes **optikai sávban**, és a **képalkotó spektroszkópia** ígéretes távlatai élesen kirajolódtak [2]. A **szenzor technológia**, a számítógépek és a szilárdtest memóriák, valamint az adattovábbítás technológiájának fejlődése azonban csak az 1980-as évek kezdetétől tette lehetővé, hogy a teljes **optikai sávot** hézagatlanul lefedő, folyamatos spektrumokat regisztráljanak egy légi szenzor pillanatnyi látószögébe eső felszíni pixelekről. Az első, kereskedelemben is elérhető légi képalkotó spektrométer 1979-ben az AIS, amelyet amerikai-kanadai együttműködéssel fejlesztettek [9], majd az 1984-ben kezdődő NASA-JPL projekt eredményeként az AVIRIS (Airborne Visible / Infrared Imaging Spectrometer) szenzor, amely máig is egyike a legpontosabb spektrális méréseket szolgáltató légi hiperspektrális képalkotó rendszernek.

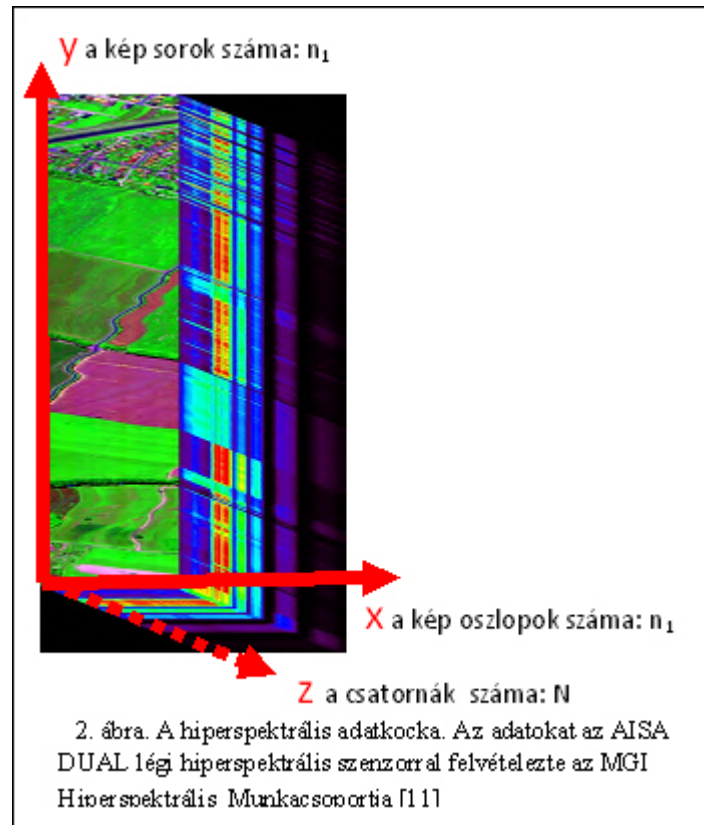
A hiperspektrális képalkotás technológiájának máig érvényes definícióját idézzük a fogalom megalkotójától, A.F.H.Goetz-től [1]: hiperspektrális képalkotásnak nevezzük „azt az adatgyűjtési technikát, amikor (a felszínről) több száz (csatornán) regisztrált képet gyűjtünk egymással érintkező, spektrális sávban, úgy, hogy minden pixel radiancia spektrumát tudjuk levezetni.”

2 - A Sugárhajtómű Laboratórium (Jet Propulsion Laboratory) a NASA amerikai űrkutatási központ egyik űrközpontja a kaliforniai Pasadéna közelében. Alapítója a Nobel-díjas magyar származású fizikus Kármán Tódor



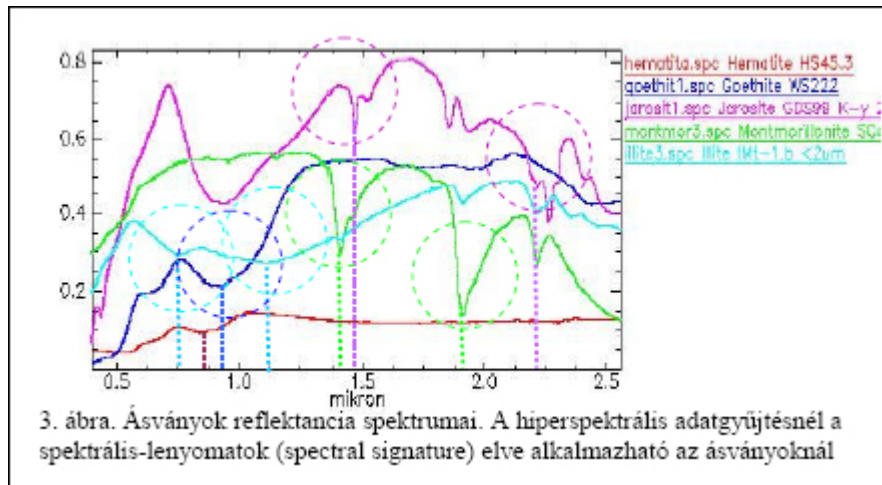
A definíció lényegét az 1. ábra szemlélteti: a definícióban a meghatározó feltétel nem is annyira a „több száz csatorna” megléte, hanem az, hogy a spektrális csatornák egymással érintkező (contiguous) hullámhossz intervallumokat alkotnak. A raszteres képek minden egyes pixeléhez különböző csatornákon mért radiancia értéksorozat tartozik, amelyek folyamatos spektrális mintavételezést jelentenek, ha betartják a **Shannon-féle mintavételezési törvényt**, amely szerint a spektrum leggyorsabb változását képviselő (minimális) hullámhosszra legalább két mintavétel (csatorna) esik. Ekkor a folytonos spektrum rekonstruálható a digitális értékek sorozatából. Természetesen az egyes csatornák szélessége (a hullámhossz tengelyen) meghatározó jelentőségű a megfelelő **spektrális felbontás** eléréséhez. A definícióban a „regisztrált képek” kifejezés mai szóhasználattal a különböző csatornákon rögzített **képek koregisztrációját** jelenti, azaz minden egyes csatorna kép azonos térbeli referenciával (**georeferenciával**) rendelkezik. A definíciót azzal egészíthetjük ki csupán, hogy az egyes csatornák adatait egyidejűleg felvételjük (simultaneous data acquisition), ami a **haránt-letapogató (wiskbroom scanner)** elven működő legelső **hiperspektrális képalkotók (hyperspectral Imager (HSI))** esetében a térbeli adatgyűjtésre, a sávszűrés elvén alapuló szenzorok (**filter wheel**) esetében pedig a spektrális adatgyűjtésre csak közelítőleg teljesült az egyidejűség. A különböző megoldások elveit a képalkotó **szenzor technológia** címszó alatt tárgyaljuk.

A hiperspektrális képalkotók közismert jelképe az ún. **hiperspektrális adatkocka**: a 2. ábrán látható hasábot a térbeli rácspontokban elhelyezett adatok folyamatos töltik ki. A távérzékelésben alkalmazott **adatkocka-elv** az adatok mátrix sémába történő elrendezését jelenti: eszerint a raszteres képek n_1 sorból és n_2 oszlopból áll, amelyeket az x-y vízszintes síkban (a 2. ábrán a papír síkja) helyeznek el. A spektrális dimenziót az x-y síkra merőleges z-tengely képviseli: a z-tengely mentén, rögzített (x, y) térbeli koordináták esetén kapjuk a pixelekhez tartozó spektrumokat, amelyek N csatorna esetén N adatból állnak. Így az adatkocka adatainak száma $n_1 \times n_2 \times N$.



A távérzékelésben megfogalmazott feladatok megoldásához, tehát ahhoz, hogy a felszíni objektumokat azonosítsuk, felismerjük, detektáljuk és osztályozzuk a távolból, a hiperspektrális technológiával kisebb geometriai felbontás is elégséges, és így összességében kevesebb képpixel szükséges: ezért olcsóbb, és a precíziós mezőgazdasági, és a környezetvédelmi piacon is versenyképes lehet. Így szült a technológia bevezetését támogató kezdeti érvelés a 80-90-es években. Ennek a megfontolásnak a fizikai hátterét az a jelenség képezi, hogy a földfelszín objektumai különböző mértékben verik vissza (reflektálják) a fényt, és ez a különbözőség függ a hullámhossztól is.

A felszíni objektumok fényvisszaverő képességének spektrális sajátosságait a **kémiai vegyületekre** jellemző **hullámhossz szelektív abszorpciós jelenségek** teszik igazán egyedivé. Ezeket a jelenségeket a kvantummechanika segítségével írhatjuk le számszerűen (ezzel a **spektroszkópia** foglalkozik), hatásukra a reflektancia spektrumokon a kémiai anyagokra specifikusan jellemző, keskeny hullámhossz tartományokban abszorpciós bemélyedések alakítanak ki. Ezek a bemélyedések az anyagok reflektancia spektrumain együttesen olyan jellegzetes mintázatot alakítanak ki, amely alapján a kémiai kötéssel rendelkező anyagok közvetlenül felismerhetők reflektancia spektrumaik alapján. A hiperspektrális távérzékelési technológia ezeket a jellegzetes mintázatokat képes regisztrálni a távolból azáltal, hogy a spektrumokat pixelenként felvételezi. Ez a **spektrális-lenyomatok elve: (concept of spectral signature)**. Az elnevezés az embereket jellemző újlenyomatokhoz, vagy a személyeket jellemző kézi aláíráshoz hasonló szelektivitást sugall az ásványok, szerves anyagok felismerése esetén. Az objektum felismerését tehát a térbeli geometriai alak helyett azok spektrumainak alakja alapján végezhetjük. Az elv szerint elegendő tehát, ha a képen keresett objektum egészét a térben egyetlen pixellel jellemezzük.

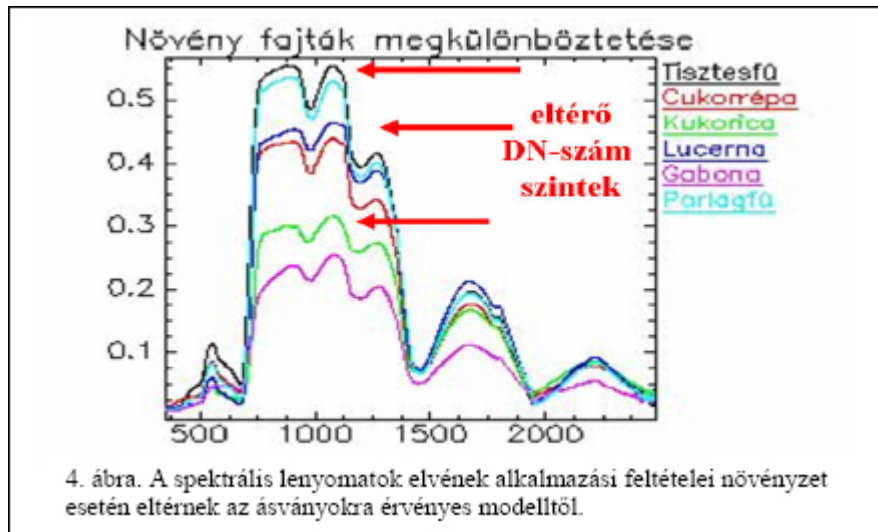


Az elvet néhány ásvány esetén a 3. ábrán láthatjuk: az abszorpciós sávokat szaggatott vonallal rajzolt körökkel szemléltettük. A hiperspektrális technológia alkalmazása azzal a fontos következménnyel jár, hogy a kémiai anyagok (ásványok, szerves vegyületek) felismerését sok esetben az abszorpciós sávok elhelyezkedése alapján is elvégezhetjük, amely tisztán **spektroszkópiai információ** (az abszorpciós folyamatokat jellemző hullámhosszak, sáv szélességek, minimumok mélységei). Ez az információ független a fényforrások sugárzásának intenzitásától, azaz a multispektrális elvnel bemutatott DN-számok (hitelesítés esetén radiancia szintek) nagyságtól.

Így teljesen új, és viszonylag egyszerű elvi alapokon álló ún. **hiperspektrális osztályozási módszereket** lehetett alkalmazni: pl. a spektrális szögek módszerét (SAM), illetve a **spektrum térben** elvégezhető a bináris kódolást, spektrális tulajdonságok illesztését (**Spectral Feature Fitting**), amely eljárásokat az ENVI-ben a „Spectral Mapping” opciónál találhatjuk. A speciális hiperspektrális feldolgozásokkal a folytonosnak feltételezhető spektrumok abszorpciós tulajdonságainak kiemelését, kvantitatív kiértékelését a digitális deriválással, a növényzet spektrumok esetén a **vörös-él (red edge)** hullámhossz tengelyen észlelhető helyzetének jellemzésével, és bevált laboratóriumi technikáknak, mint pl. a **kontinuum spektrum** más néven, a **burkoló spektrum (hull)** és az eredeti spektrum közötti különbség vagy hányados képzésével lehet elérni.

A nagy spektrális felbontás miatt speciális feladatokhoz illeszkedő ún. **hiperspektrális indexeket is** lehet tervezni, ami valamilyen speciális objektum tulajdonság közvetlen térképezését teszi lehetővé komplikált matematikai eljárások alkalmazása nélkül (anomália térképezés, küszöbölés (**thresholding**)). Ennek a technikának az alkalmazásához azonban reflektancia spektrumok terepi gyűjtése (**terepi reflektancia spektrometria, field reflectance spectrometry**) vagy laboratóriumi mérése és elemzése szükséges, amivel a térképezni kívánt tulajdonságokhoz (pl. a növényzet biofizikai állapotát meghatározó klorofil tartalom) kapcsolható diagnosztikus spektrális tulajdonságot (hullámhosszat) határozzuk meg (**terület specifikus statisztikai korreláció, site specific statistical correlation**).

A probléma ezzel kapcsolatban az, hogy nem mindig lépnek fel keskeny szelektív abszorpciós sávok ásványok esetén sem (lásd 3. ábrán a hematit spektrumát a közepes infra-tartományban). Sőt, ha a növényzetre kívánjuk érvényesíteni a spektrális lenymatok elvét, észre kell vennünk, hogy az alkalmazás feltételei teljesen megváltoznak. A 4. ábrán bemutatunk különböző növényfajtákhoz tartozó, terepen ASD FieldSpec Pro műszerrel mért reflektancia spektrumokat [14].



A feltűnő különbség a 3. ábrán bemutatott spektrumokhoz képest az, hogy a szokásos spektrális felbontás esetén az abszorpciós bemélyedések minden növényfaj esetén ugyanott vannak (a víztartalom megnyilvánulásai), az eltéréseket a DN-szám szintek különbségei adják, ami nem spektroszkópiai, hanem a radiometriai sajátosság. Valóban, a reflektált fény mennyiségét számos nem-kémiai, hanem **fizikai paraméter** befolyásolja, amelyek hatása növényzettakarók esetén igen erős, és ugyancsak diagnosztikus szelektivitást is mutató hatás. A spektrális lenyomat elvének eredeti értelemben vett alkalmazását növényzet esetén elsősorban a vörös-él eltolódásokra lehet alkalmazni. Többek között ez az oka annak, hogy a „tiszta” hiperspektrális osztályozási módszereket növényzetek vizsgálatokor kombinálni kell a multispektrális módszerekkel alkalmazott **statisztikai osztályozási módszerekkel**. A módosítás interaktív technológia, feltételezi az alkalmazott statisztikai eljárások alaposabb ismeretét, és a hiperspektrális adatfelvételi előnyöket az ún. **tulajdonság-kiválasztási eljárásokkal** (a mérési csatornák kiválasztása és szelekciója, **feature selection**) érvényesíthetjük.

A spektrális jellemzés objektum felismerésben való alkalmazhatóságának azonban két fontos feltétele van:

1. a **homogenitás elve**: valamely felszínborítási kategóriának megfeleltethető képpixelek homogének: a pixelek teljes területén ugyanaz az objektum található. Ellenkező esetben kevert pixellel van dolgunk, ezek közvetlenül nem minősíthetők. Az azonos kategóriáknak megfelelő pixelek N-csatornás spektrumai az **N-dimenziós tulajdonság térben** egymás közelében lévő N-dimenziós pontcsoportokat alkotnak: lásd **multispektrális képpalkotás** (multispectral imaging)
2. a képpixelek osztályozási kategóriája a kép bizonyos helyein ismert. A spektrális tulajdonságok révén az objektumok általánosabb kategóriákba sorolhatók: talaj, víz, növényzet, stb.. Ez a **tanító-elv** alkalmazása az ún. **felügyelt osztályozások** során. Az ún. tanító területek ismert kategóriájú pixelek nem feltétlenül összefüggő halmazai, amelyeket vagy a képen, vagy a terepen választhatunk ki.

A pixelek több csatornán felvett spektrális tulajdonságai alapján a tanító-elv alkalmazásával a raszteres képek pixeleit egymástól függetlenül, pixelenként lehet kategorizálni (**címkézés** (labeling)),

ami térben **lokális művelet** (local operation). Vegyük észre ugyanis, hogy az eddigiekben ismertett technológia csupán a spektrumok tulajdonságaira épít! Tehát teljesen mindegy, hogy a kép pixeleket hogyan csoportosítjuk.

Ezek alapján már nem is meglepő, hogy a hiperspektrális távérzékelési adatok osztályozási eljárásait még ma is nagyrészt a multispektrális adatokhoz használt, ún. **N-változós statisztikai módszerekre** alapozták, amelyeket szinte teljes terjedelemben a kémiai laboratóriumi adatfeldolgozásokkal kapcsolatos **kemometriai eljárások (chemometrics)** címszó alatt is megtalálhatunk.

A távérzékeléssel kapcsolatos statisztikus, osztályozási eljárások azonban az empirikus gyakoriságon alapuló klasszikus valószínűség fogalom helyett a **Bayes-féle valószínűségi modellen** alapulnak [12]. Ezeknél az eljárásoknál az N-dimenziós tulajdonság térbe transzformált spektrum adatok osztályozáshoz az első és másodrendű **osztályozó (diszkriminancia) függvényeket** használják, amely a tulajdonság-térben **globális művelet** (global operation).

Ebben a modellben a **kovariancia mátrix** (vagy a **korrelációs mátrix**) meghatározásához a **tanító területeket** azok pixeleire a különböző csatornákon mért radiancia értékek **együttes gyakoriság eloszlásaival** jellemezzük. Ezek a gyakoriság eloszlások azonban egyre hiányosabban határozhatók meg ha a csatorna számok növekednek (Hughes-jelenség) (lásd pl. [12] és [13]), ami miatt egyre több tanító pixelre van szükség, azaz a tanító területeknek egyre nagyobbaknak kellene lenniük. Ez határt szab az információ kinyerés csatorna szám növeléssel elérhető javulásának. Ezért, a **statisztikus osztályozási eljárások** fontos része a legfontosabb információhordozó csatornák kiválasztása (**feature selection**) és ennek megfelelően a csatorna szám redukálása (Minimum Zaj Hányados transzformáció, MNF-transformation).

Helyes tervezés esetén mégis a növényzettakaró osztályozásánál a Bayes-féle modellen alapuló **Maximum Likelihood (ML) statisztikus osztályozó** sok esetben felülmúlja pontosságban a fejlettebb matematikai osztályozókat (**ANN, DT**) és a közismert **SAM osztályozót** [15].

A **kevert pixelek** problémájának megoldása nem-átfedő heterogenitások (diszjunkt lefedés) esetén lineáris transzformációhoz vezet, ami sok esetben a felszíni objektumok jelenlétének **pixelen belüli detektálását (subpixel detection)** teszi lehetővé. A módszer a **Lineáris Spektrum Keverési Modell (Linear Spectral Mixture Model)** alkalmazását jelenti a többváltozós statisztikai módszerek segítségével.

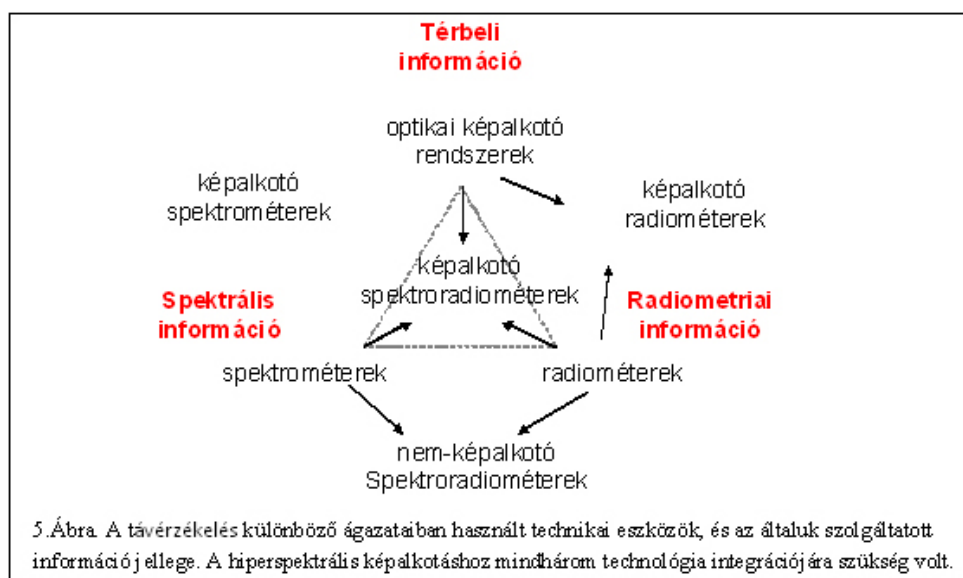
A hiperspektrális technológia jellemzésében tehát a csatornák keskeny-sávúsága és a sávok folyamatosága a meghatározó: a spektrumok (gyakorlatilag) hézagatlan felvétele és a nagy spektrális felbontás az a két új technológiai szempont, amely a **képalkotó spektroszkópia** terminológia használatát jogossá teszi távérzékelési körülmények között is. A multispektrális és hiperspektrális technológiát a szakirodalomban, mint széles-sávú (broad-band) és keskeny-sávú (narrow band) spektrális módszereket különbözteti meg.

Az elmúlt 3 évtizedben az **optikai távérzékelés** szakmai közösségében kialakult terminológia szerint a **képalkotó spektrometria**, **képalkotó spektroszkópia**, és a **hiperspektrális képalkotás** szakkifejezéseket nagyon gyakran azonos értelemben, egymást helyettesítő módon használják – elsősorban a **távérzékelési technológia** alkalmazói oldalán. A kialakult átfedő szóhasználatot régóta felismerték – lásd pl. a jellemző átfedésekről készített szakirodalmi példákat és a lehetséges okok elemzését [5]-ben - és az iparág vezető kutatói nem is tekintik véglegesnek³ [3]. Mivel a távérzékelés ma már kvantitatív tudomány, amelynek vizsgálati módszere a fizika, és ennek megfelelően a távérzékelési adatok egyre inkább kalibrált fizikai mérések során keletkeznek, Charles Elachi fizikus, a JPL volt igazgatója által használt terminológiát és fogalmi definíciókat tekintjük irányadónak [7]:

A hiperspektrális technológia ezek szerint három különböző tudományos szakterület technológiáit integrálja [6], [7]:

1. A hagyományos optikai képalkotást: az optikai képalkotó berendezésekkel (optical devices): távcső, mikroszkóp, fényképezőgép, pásztázó letapogatók (szkenner), stb.
2. A **spektroszkópiát**, amely évszázados múltra visszatekintő, a kémiai anyagvizsgálat céljaira kifejlesztett laboratóriumi technika
3. a **radiometriát**, amely a sugárzások – ebben az esetben az elektromágneses sugárzás - intenzitásának mérését megalapozó klasszikus tudomány

E három szakterület által szolgáltatott információk és a lehetséges kombinációkat megtestesítő mérőeszközök fajtáiról és elnevezéseiről az 5. ábra ad szemléletes képet. A **képalkotó radiométereket** elsősorban a termális sávban (8.5-12.4 μm) használják. Ilyen pl. a PICASSO_CENA műholdon elhelyezett infravörös képalkotó radiométer (IIR, infrared imaging radiometer), amely a megadott hullámhosszban működik, és a kalibrált radiancia értékek mérését új infravörös detektorok, az un. **mikrobolométer technológia** segítségével szolgáltatja. Felhasználási célja a katonai alkalmazásokon kívül a klímakutatás: a felhő és aeroszol eloszlások felvételezése.



3 - "...Occasionally the term "hyperspectral" has been suggested as an alternative for many-band instruments, leaving "imaging spectrometer" for contiguous spectral bands instruments, but a literature survey on the use of these terms indicates a strong need for a proper terminology definition in this domain..." – lásd [3]

A **képalkotó spektrométerek** esetében a raszteres képek DN – számait nem kalibrálják (nem alakítják át radianciává). A mai szóhasználatban spektrométer kifejezést a korábbi spektrofotométer kifejezésből származtathatjuk [5]. Ezekkel a szenzorokkal a felszíni objektumokat csak egy relatív, dimenzió nélküli számmal, a **reflektancia faktorral** jellemezzük: ilyen pl. az AVIRIS képalkotó spektrométer.

A képalkotási képesség nélküli, kalibrált spektrális radiancia méréseket a **nem-képalkotó spektrométerek (non-imaging spectroradiometer)** segítségével végezhetjük. Ilyen berendezés a legtöbb terepi műszer, pl. az ASD FieldSpec 3 spektrométer

Az **optikai képalkotó rendszereket** a távérzékelés területén a klasszikus légi fényképezés képviseli (mérőkamarás felvételek).

A nem képalkotó **spektrométerek** a korábbi laboratóriumi spektrofotométerekkel azonos funkciójú berendezések, amelyeknél az anyagok vizsgálatát mindig egy referencia jellel történő összehasonlítással értékeli ki általában átvilágítás mérési funkcióban

A **képalkotó spektrométerek** kalibrált spektrális radiancia mérésekre képesek. Ilyen pl. az AISA légi hiperspektrális szenzor.

A fenti terminológia tehát logikus és nem-átfedő fogalmi meghatározásokat tartalmaz. A képalkotó spektroszkópia és a képalkotó spektrometria kifejezések a fentiek szerint a hiperspektrális technológia két különböző oldalára hivatkozik: spektroszkópiával foglalkozunk, ha az anyag diagnosztikus abszorpciós hullámhosszait és az anyag összetétel összefüggéseit kutatjuk, és spektrometriával foglalkozunk, amikor a relatív spektrumok mérési problémáival foglalkozunk. A kalibrált radiancia mérések technikáját pedig spektrometriának nevezhetjük.

A hiperspektrális technológiát ma egyre inkább egy fizikai mérési folyamatként értelmezik, amelynek során a mérőrendszer pontos kvantitatív modellezésére (**szenzor modellezés, sensor modelling**) van szükség.

A radiometriai mérések abszolút pontosságát azonban nagyon nehéz biztosítani. Ezért bevezették a **reflektancia-elvet**, amelynek során a cél objektumokról a szenzorba visszaverődött spektrális radianciát egy tökéletesen diffúz, irány függetlenül reflektáló, fehér felület, az ún. **referencia panel (white reference panel)** radianciájához viszonyítják azonos kísérleti körülmények esetén. Ezt a relatív, normált radianciát nevezik **reflektancia faktornak**, amelynek mérése általánossá vált a szóban forgó távérzékelési technológiában.

A mérési folyamatban továbbá az atmoszférán áthaladó fény továbbá a különböző hullámhosszakon rendkívül eltérő torzító hatásoknak is ki van téve az atmoszféra gázai által okozott **abszorpció** és **szóródás** jelenségei miatt. Ezeknek a torzító hatásoknak a pontos kvantitatív korrekciójára is lehetőség van a hiperspektrális technológia segítségével, azaz a felszíni objektumokról a szenzorba jutó **radiancia** pontos megmérése. A **multispektrális elven** működő szenzorok esetében a torzító hatás csak kismértékű, mert a felvételezési sávok (csatornák) hullámhossz tartományait úgy tervezik, hogy azok az atmoszféra áttetsző (transzparens) részeire – az ún. **atmoszferikus ablakok** sávjaira – essenek.

A hiperspektrális felvételezésnél ilyen megkülönböztetés nincs – kivéve az 1.4m és 1.9m körüli kieső sávokat, amelyeknél az atmoszféra abszorpciós hatása olyan erős, hogy a felszínre érkező sugárzás radianciája zéró. Ennek az a jelentős következménye, hogy az atmoszféra abszorpciós hatásait leíró paramétereket magukból a hiperspektrális adatokból empirikusan is meghatározhatjuk, és így az atmoszféra **sugárzás átvitel modelljét (RTE, radiation transfer equations)** közvetlenül a hiperspektrális adatokból alkalmazhatjuk.

A **fizikai modellezéssel** kapott **atmoszferikus korrekciók** segítségével korrigált folyamatos radiancia vagy reflektancia spektrumok lehetővé teszik, hogy a terepen és laboratóriumban mért hasonló spektrumokat a légi vagy műholdas szenzorok által felvett spektrumokkal közvetlenül összehasonlíthassuk. Emiatt nemcsak a légi vagy műholdas szenzor adatkockáin, hanem terepi mérésekkel is gyűjthetjük a tanító-elv szerint szükséges jellemző spektrumokkal. A hiperspektrális technológiában ezt a folyamatot **terepi in-situ adatgyűjtésnek (ground truth)** nevezik, amelynek során a felszíni objektumok spektrumait rögzítik **terepi spektrométeres mérések** segítségével, vagy laboratóriumi mérésekkel, és az így összeállított **spektrum könyvtárakat** használják fel a távérzékelési képek osztályozásához a különböző munkacsoport is, amelyek nem rendelkeznek terepi technológiával.

A reflektancia-elv alkalmazásának terepi és laboratóriumi adatgyűjtési kampányok során további fontos feltételei vannak. Ezek közül a legfontosabbak:

1. A célobjektum megvilágítása homogén
2. A célobjektum megvilágításának geometriai elrendezése azonos a távérzékelési kampány során alkalmazott geometriai elrendezésével.
3. A célobjektum és a fehér referencia panel azonos módon (tehát egyaránt tökéletesen diffúz módon) reflektál.
4. Tükröző reflexiók hatása elhanyagolható
5. A célobjektum és a referencia panel radiancia mérése során a megvilágítás nem változik
6. A célobjektum homogén
7. A referencia panel spektrális tulajdonságai nem változnak, és a különböző csoportoknál használt referencia panelek tulajdonságai azonosak.
8. A mérésekhez használt műszerek spektrális felbontóképességei elegendők az abszorpciós minimumok felbontásához, a mérési eredmények közelítőleg azonosak.

Természetesen a fenti feltételek nem teljesülnek mindig pontosan, ezért néha speciális, kiegészítő korrekciós eljárást is alkalmaznak: pl. **BRDF korrekció**, amely a felszíni objektumokról visszavert fény intenzitásának (radianciájának) irányfüggését modellezi.

Ez az integrált terepi és légi adatgyűjtési rendszer alapozta meg a hiperspektrális osztályozási technológia számos változatát, amely ezért általában a következő eljárásokból áll:

1. Előfeldolgozás: a szenzor modellezés segítségével. Ezek az eljárások magukba foglalják a szenzor adatok radiometriai korrekcióit (hibás pixelek eltávolítását, kalibrációs hibák korrekcióját, geometriai torzulások eltávolítását) és az adatkocka egységes georeferenciájának elkészítését.

2. Integrált atmoszferikus-topográfiai korrekció

3. Zajsűrés
4. Atmoszferikus korrekció (modell alapú és empirikus)
5. Terepi referencia spektrumok gyűjtése (field reflectance spectrometry) és elemzése
6. A diagnosztikus sávok kiválasztása (feature selection)
7. Osztályozás. Pixel alapú osztályozás esetén homogenitás vizsgálat, szubpixel alapú osztályozásnál: spektrum szétkeverés (spectral unmixing)

Referenciák:

- [1] Alexander F.H. Goetz, Gregg Vane, Jerry E. Solomon and Barrett N. Rock: Imaging Spectrometry for Earth Remote Sensing, Science 7 June 1985, Vol. 228 no. 4704 pp. 1147-1153.
- [2] Alexander F. H. Goetz Three decades of hyperspectral remote sensing of the Earth: A personal view. Remote Sensing of Environment 113 (2009) pp. 5–16.
- [3] Michael E. Schaepman, Susan L. Ustin, Antonio J. Plaza, Thomas H. Painter, Jochem Verrelst, Shunlin Liang, Earth system science related imaging spectroscopy—An assessment. Remote Sensing of Environment 113 (2009) pp.123–137
- [4] Antonio Plaza, Jon Atli Benediktsson, Joseph W. Boardman, Jason Brazile, Lorenzo Bruzzone, Gustavo Camps-Valls, Jocelyn Chanussot, Mathieu Fauvel, Paolo Gamba, Anthony Gualtieri, Mattia Marconcini, James C. Tilton, Giovanna Trianni, Recent advances in techniques for hyperspectral image processing. Remote Sensing of Environment 113 (2009) pp. 110–122.
- [5] Kardeván, P., 2007, Reflectance Spectroradiometry – A New Tool for Environmental Mapping. Carpth. J. of Earth and Environmental Sciences, 2:29 – 38, www.ubm.ro/sites/CJEES/upload/2007_2/Kardevan.pdf
- [6] Nahum Gat and Suresh Subramanian, Spectral Imaging: Technology & Applications Hyperspectrum News Letter, Vol 3, No. 1, February 1997 Opto-Knowledge Systems, Inc. (OKSI),
- [7] Elachi, C. Introduction to the Physics and Techniques of Remote Sensing, Wiley Interscience, 1987
- [8] Staenz, K. (1992). A decade of imaging spectrometry in Canada. Canadian Journal of Remote Sensing. 18: 187-197.
- [9] K. Staenz, Terrestrial Imaging Spectroscopy – Some Future Perspectives. Proceeding of the 6th EARSeL SIG IS workshop on Imaging Spectroscopy, 16 - 19 March 2009, Tel- Aviv, Israel

[10] Ryan, S. and Lewis, M., 2001. Mapping soils using high resolution airborne imagery, Barossa Valley, SA. Proceedings of the Inaugural Australian Geospatial Information and Agriculture Conference Incorporating Precision Agriculture in Australasia 5th Annual Symposium, 17-19 July 2001, Sydney, NSW: Paper 801, 12p.

<http://www.regional.org.au/au/gia/25/801ryan.htm>

[11] Deákvári J., Kovács L., Papp Z., Fenyvesi L., Tamás J., Burai P., Lénárt Cs., 2009, Az AISA hiperspektrális távérzékelő rendszer használatának első eredményei, XXXII: MTA-AMB K&F Tanácskozás, Gödöllő, 2008 Konferencia kiadvány I. kötet 46-50. p.

[12] Kardeván Péter, Távérzékelési tanfolyam, MGI, 2010 április-június.

[13] David A. Landgrebe, 2003, Signal Theory Methods in Multispectral Remote Sensing. Wiley Series in Remote Sensing and Image Processing, Series Ed. Jin Au Kong,

[14] Kardeván, P., Reisinger, P., Tamás, J., Jung, A., 2005, A parlagfű detektálás távérzékelési módszereinek vizsgálata. I. rész – A távérzékelési képek osztályozási hatékonyságának növelése a parlagfű (*Ambrosia artemisiifolia* L) reprezentatív spektrumainak terepi DGPS mérésekkel történő kiválasztásával. Magyar Gyomkutatás és Technológia, 6 (2), 53–67.

[15] Helmi Zulhaidi Mohd Shafri , Affendi Suhaili and Shattri Mansor, The Performance of Maximum Likelihood, Spectral Angle Mapper, Neural Network and Decision Tree Classifiers in Hyperspectral Image Analysis, Journal of Computer Science 3 (6): 419-423, 2007.