

A modellezés feladatai és problémái a távérzékelésben

DR. FERENCZ CSABA
MTA (ELTE Geofizikai Tanszék)

ÖSSZEFOGLALÁS

Mind világszerte, mind hazánkban gyorsan fejlődik a távérzékelés és ezen belül a különféle célú modellezés. A cikkben – amelyik a "Remote sensing is a tool for soil sciences" nemzetközi konferencia (1988) modellezés szekciója meghívott nyitóelőadását tartalmazza – a távérzékelési modellezés alapkérdéseit mutatjuk be. Ez remélhetőleg segíteni fogja a hazánkban is egyre több helyen folyó távérzékelési munkát, de általában is és a híradástechnikában különösen a modellezés különféle területein hasznosnak gondolt osztályozást mutat be.

1. Bevezetés

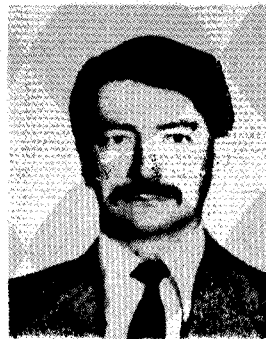
A jelen cikkben a modellezés feladataival a távérzékelésben használatos modellek problémáival foglalkozom, alapvetően a felszín – a talaj, a növényzet – vizsgálati szempontjait szem előtt tartva. Azonban a modellezésben a határok nem húzhatók meg szigorúan. Egy-egy modell több vagy sok területen is felhasználható. Ezért a továbbiakban specifikus felhasználói területi kérdésekkel nem foglalkozom.

Annak ellenére, hogy nem céлом a modellezés jelenlegi helyzetéről áttekintést adni, természetesen a jelenlegi helyzet implicite tükröződik írásomban.

2. A távérzékelési feladat

Egy reális távérzékelési szituációt mutat az 1. ábra. Nyilvánvaló, hogy az igen bonyolult valóságos helyzet kvantitatív tárgyalása csak alapvetően egyszerűbb modell-elrendezések alapján kísérhető meg. Egy lehetséges modell-vázlatot a 2. ábrán láthatunk. A modellvázlat a kvantitatív vizsgálat alapja. Elkészítéskor kell figyelembe venni a valódi feladat megoldásához szükséges pontosságot és a kvantitatív tárgyalásban ma rendelkezésre álló vagy kifejleszhető módszerek lehetőségeit.

A távérzékelés során a vizsgált jelenségről – most a vizsgált felszínről – az érzékelőbe érkező elektromágneses jel egy vagy több jellemzőjét mérjük meg. Pontosabban az érzékelőt a vizsgálni kívánt felszíndarab felé fordítjuk és a beérkező elektromágneses jelet regisztráljuk. Ma legtöbbször egy szélesebb spektrális sávban a beérkező teljesítményt mérjük és a műszert általában radianciában kalibráljuk (pl. Landsat-MSS vagy TM). De vizsgálhatunk polarizációt, frekvenciát, futási időt stb. is. A vett jel forrása lehet természetes,

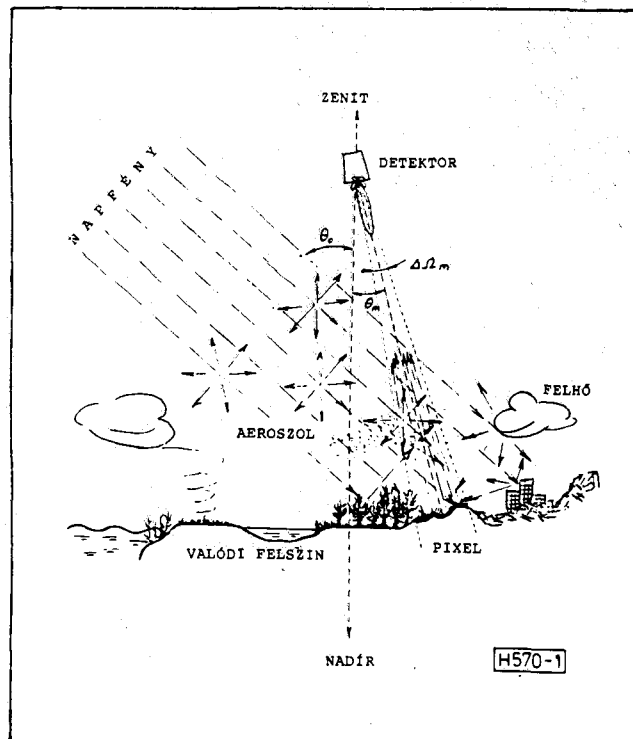


DR. FERENCZ CSABA

1941. X. 23-án Csíksomlyón született. Középiskolai tanulmányait Békésen végezte, majd 1964-ben a Budapesti

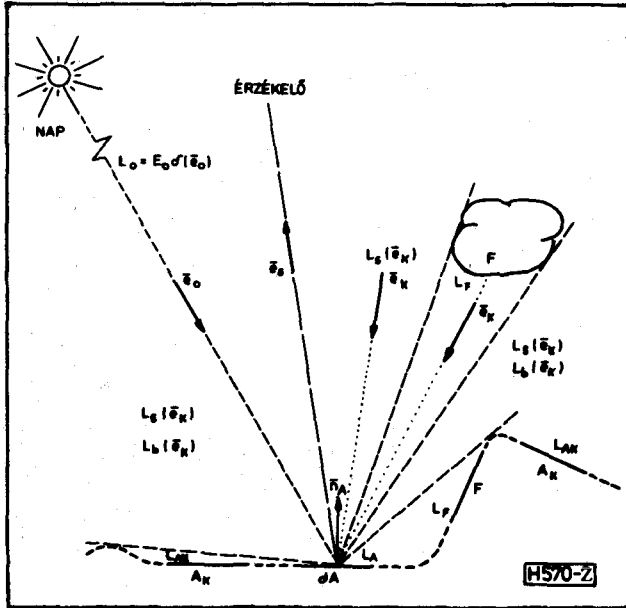
Műszaki Egyetemen híradástechnikus villamosmérnök-ként kiüntetéses oklevelet szerzett. 1968-ban "Sub auspiciis rei publicae popularis" kiüntetéssel egyetemi doktortá avatták. 1972-től a műszaki tudományok kandidátusa, majd 1981-től a műszaki tudományok doktora. 1961 óta foglalkozik űr kutatással folyamatosan, mérnöki, kutatói és tudományos szervezői tevékenysége döntően e területre esik. Az űr kutatásban végzett munkájáért 1980-ban az Elnöki Tanács a Munka Érdemrend arany fokozatával tüntette ki.

külső forrás – esetünkben a Nap. Ma még ez a domináns, bár már nem elsöprő e többség. Lehet a jel forrása maga a vizsgált felszín, pl. hő-IR. Lehet természetesen a vizsgált felszín és külső forrás egyszerre. Végül a külső forrás lehet mesterséges is – pl. altimeter, MW scatterometer ... A Nap és a mesterséges jel forrás (rádióadó stb.) között a legfontosabb különbség, hogy a Naptól beérkező jel síkhullám még a Föld



1. ábra. Jellegzetes távérzékelési szituáció

* Beérkezett: 1989. IX. 6. (H)



2. ábra. Egy valódi szituáció általános modell-vázlata

- L_0 - közvetlen napsugárzás (radiancia);
- L_s - diffúz égbolt sugárzás (radiancia);
- L_b - szórt illetve visszaszórt sugárzás, amely dA -ról, F -ről vagy A_k -ről ered (radiancia);
- dA - az elemi cél-felület;
- F - a dA -ról közvetlenül látható, szomszédos felületek;
- A_k - a dA -ról közvetlenül nem látható szomszédos felületek;
- L_A, L_P, L_{AK} - a szomszédos felületek sugárzása (radiancia);
- e_0, e_k, e_s - irány-egységvektorok;
- n_A - a dA felület normális egységvektora.

méreteivel összevetve is. Ugyanakkor a mesterséges jelforrásból érkező jelnél az r^2 -nal arányos teljesítménysűrűség-csökkenést is és az adóantenna iránykarakterisztikája miatt fellépő nem-egyenletes teljesítménysűrűség-eloszlást is figyelembe kell venni. Ezek-től a feladat kiindulási feltételeit megadó megkötések-től azonban csak a modellezés részletmegfontolásai függenek, az alapfeladat nem.

A továbbiakban a Nap legyen a jelforrás és az optikai, közeli-IR sávokat tekintve vázoljuk a távérzékelési modell-vázlat tárgyalását, megadjuk az általános besugárzási és érzékelési egyenletet. Ez segíteni fog a problémák és feladatok általános áttekintésében, hiszen következtetéseinket nem akarjuk részletekre vonatkoztatni majd.

A földpálya adott pontján a légkör tetejére $E_{00}(\lambda)$ teljesítménysűrűségű jel érkezik a λ hullámhosszon. Ez után az alapvető folyamatokat a 2. ábra alapján tekintjük át. A dA vizsgált felületelemről nézve három féle térszögtartományt különböztethetünk meg az n_A normális egységvektor által kijelölt féltérben. Ezek, amelyeket $S(\Omega)$ vektoriális illetve $I(x)$ skaláris Heaviside-féle disztribúciókkal jelölünk ki:

- a Nap által lefedett térszögtartomány, ahol $S_0(\Omega)=1$;
- a dA -ról látható F felületek által fedett térszögtartomány, ahol $S_F(\Omega)=1$;

- a szabad égbolt, ahonnan csak a földi légkörből szóródó diffúz fényteltjesítmény esik be dA -ra, azaz $S_0(\Omega)=0, S_F(\Omega)=0$, és $i(\pi/2-\theta_k)=1$.

$S_0(\Omega)$ pontszerű Nap-modell esetén $\Delta\Omega=0$ tartományt fed le és ekkor a Nap radianciája a légkör tetején $L_0=E_{00} \delta(e_0)$, ahol δ a Dirac-disztribúció. De dolgozhatunk véges kiterjedésű Nap-modellel is. A három tartományból belépő radiancia (L_{in}) így a 2. ábra jelöléseivel:

$$L_{in}(e_k) = \begin{cases} \{L_0\alpha_p(e_0) + L_s(e_k, e_0) + L_{bA}(e_k) + \\ + L_{bF}[e_k, F(r)] + L_{bAk}[e_k, A_k(r)]\}; & \text{ha } e_k \in S_0(\Omega)=1; \\ \{L_F\alpha_p(e_k) + L_s(e_k, e_0) + L_{bA}(e_k) + \\ + L_{bF}[e_k, F(r)] + L_{bAk}[e_k, A_k(r)]\}; & \text{ha } e_k \in S_F(\Omega)=1; \\ \{L_s(e_k, e_0) + L_{bA}(e_k) + L_{bF}[e_k, F(r)] + \\ + L_{bAk}[e_k, A_k(r)]\}; & \text{ha } e_k \in S_0, S_F \text{ és } 0 \leq \theta_k < \pi/2. \end{cases} \quad (1)$$

ahol r a helyvektor, α_p az útszabályozás. Már az (1) egyenlet kapcsán fel kell figyeljünk arra, hogy a megvilágítás összetettsége következtében L_m -ben különféle forrásokból (pixelekből) eredő jelek keverednek össze. Ha dA egy $f_i(e_k, e_s)$ BRDF-fel jellemezhető, akkor a detektor irányába szórt radiancia

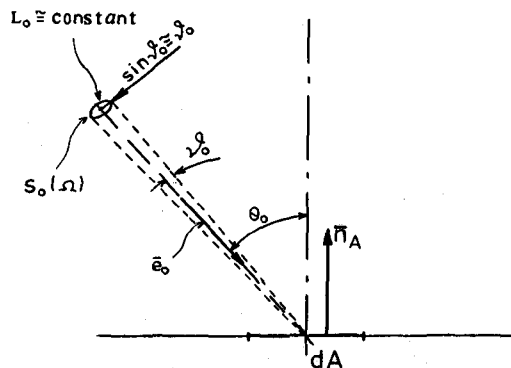
$$L_{DA}(e_s) = \iint_{0 \leq \theta_k \leq \pi/2} f_i(e_k, e_s) \cdot L_{in}(e_k) \cos\theta_k d\Omega(e_k) \quad (2)$$

A mérhető jel ezek után a műholdnál, ha a sugárút-radiancia L_p ,

$$L_M(e_s) = L_{DA}(e_s)\alpha_p(e_s) + L_p(e_s, e_0) + L_{pA}(e_s, e_0); \quad (3)$$

$$L_{TT}(e_s, e_0) = L_p(e_s, e_0) + L_{pA}(e_s, e_0); \quad (4)$$

Tudjuk, hogy L_{pT} -ben is többféle információ keveredik. A 2. ábrán látható esetben $L_{pA}=0$, de általában értéke pixel-méret és domborzat függő (3. ábra). Aktív (pl. radaros) távérzékelés illetve a felszín saját (pl. hő-IR) sugárzása esetén az (1)-(3) egyenletek értelemsze-



3. ábra. A sugárút-fénylés topográfia függése

rúen módosulnak, de alapvető elvi szerkezetük megmarad.

Megállapíthatjuk, hogy *a modellezés elvi háttere az elektromágneses hullám terjedés, szóródás, abszorpció stb. elmélete és módszertana*. Ezért a kvantitatív vizsgálatokban a hullámterjedési problémákat ismerni és kezelni kell. A modellezés másik fontos és kikerülhetetlen peremfeltétele az, hogy mintavételezett jellel dolgozunk és a mintavételezésből adódó korlátoktól nem tekinthetünk el. A 2. ábra is mutatja, hogy $L_M(e_s)$ frekvencia (hullámhossz), terjedési irány (e_s) és térbeli, dA helye szerint mintavételezett jel. Mivel a mérés adott időpillanatra vonatkozik, $L_M(e_s)$ idő szerinti mintavételezést is jelent. A mintavételezés mindig tartalmaz valamilyen átlagolást – pl. a hullámhossz szerint. E mellett a mintavevő "ablak"-ok átviteli függvényei összeérnek, átfednek.

Mindezeknek két következménye van:

- Korlátozott a még észlelhető változás, a vizsgált jelenség felismerhetősége. De nem egyszerűen a pixel-méret, nyalábélesség, ... szabja meg a felismerhetőség határát. Ez csak egy-egy technikai paraméter, amelyet a vizsgált jelenség tulajdonságaival együtt (pl. lineamentum) figyelembe véve *a felismerhetőség a mintavételezési tételek explicit vagy implicit alkalmazásával határozható meg*.
- Minden távérzékelte adat, a felbontástól (pixel-mérettől) függetlenül kikerülhetetlenül kevert információt hordoz, azaz *mixed-pixel*. A kevert információ szétválasztása csak a megfelelő modelleket alkalmazó interpretáció során lehetséges, magában a mérésben nem. A pixel-adat még akkor is kevert, ha homogén, sík felszínt vizsgálunk homogén légkörön keresztül, csak ebben az ideális esetben az információ szeparációja elemien egyszerű.

3. A modellek áttekintése hullámterjedési szempontból

Az előzők fényében a modelleket három fő szempont szerint csoportosíthatjuk: a hullámhossz szerint, a jelforrás természete szerint és a modell hullámterjedési karaktere szerint.

3.1. A modellek csoportosítása a jel hullámhossza (λ) szerint:

Folyamatosan változó, bővülő felosztás, amelyik pontosan igazodik a teljes elektromágneses spektrum szólasos sávelrendezéséhez. A ma használt sávoknak megfelelően ismerünk:

- Optikai sávú modelleket, amelyek magukba foglalják a látható és közeli-IR tartományokat.
- Infravörös sávú modelleket, amelyek a távoli-IR és a hő-IR tartományokat fogják át.
- Mikrohullámú (MW) modelleket, amelyek a mm hullámhossztartományt átfogva igen változatosak.

E modell-felosztás csoportjaiban elvileg közös az elektromágneses hullámterjedési háttér. Ugyanakkor specifikus különbségek vannak köztük. Ezek alapja a következőkben összegezhető:

$$D_{\text{eff}}/\lambda = l$$

A felszín és az átjárt közeg saját sugárzása

- Optikai: általában $l \gg 1$, általában elhanyagolható illetve nincs, - kivétel a speciális esetekben vizsgált fluoreszcencia;
- IR: $l \gg 1$ illetve $l > 1$, van és nem hanyagolható el;
- MW: $l \leq 1$ illetve $l \ll 1$, van és a méréstől függ, hogy a modellben figyelembe kell-e venni, vagy elhanyagolni.

D_{eff} itt az átjárt közeg, illetve a vizsgált felszín egyszerű molekulánál (pl. O_2 , H_2O) nagyobb, független komponenseinek, szemcséinek, illetve felszíni alakzatainak, egyenletlenségeinek egy jellemző (effektív) mérete. A fentiekől függenek egy adott modellben megengedhető elhanyagolások, a fellépő jelszóródás, illetve jelreflexió természete és tárgyalásmódja, a jel behatolási mélysége, a jel/közeg illetve felszín kölcsönhatást megszabó jellemzők (permittivitás, reflektancia, csillapítási tényezők stb.) meghatározásakor alkalmazandó közelítés, amelyik általában fenomenológiai módszer, de a kis hullámhosszakon már szükség lehet az ún. fenomenológiai kvantumelektrodinamika alkalmazására is.

3.2. A modellek csoportosítása a hullámfront alakja szerint:

Két nagy csoportot különböztetünk meg:

a) Síkhullám megvilágítás:

A jel forrása vagy távol van (pl. Nap), vagy nagy kiterjedésű felszín (pl. földfelszín hősugárzása) illetve nagy kiterjedésű közeg (pl. az atmoszféra sugárzása).

E csoportba tartoznak a passzív távérzékelési modellek majdnem kivétel nélkül.

Jellemzői:

- A terjedő jel teljesítménysűrűsége (S) veszteségmentes esetben a távolságtól függetlenül állandó; $S \cong$ állandó.
- A felszín stb. megvilágítása az addig átjárt közeg inhomogenitása által modulált, és így kvázi-egyenletes energiasűrűségű – a legtöbb modellben egyenletes energiasűrűségűnek vett – jellel történik.

b) Irányított gömbhullámmal közelíthető megvilágítás:

A jel kvázi-pontforrásból származik, amely nincs nagyon messze, azaz a jel besugárzásig megtett útja és

a vizsgált területtől a detektorig megtett útja jó közelítéssel azonos (pl. radar), vagy közel azonos nagyságrendbe esik, esetleg a vizsgált területtől a detektorig megtett út jóval nagyobb, mint a jelforrástól a vizsgált területig megtett út.

E csoportba tartoznak az aktív távérzékelési modellek, de ide sorolandó a speciális távérzékelési feladat is.

Jellemzői:

- A terjedő jel teljesítménysűrűsége veszteségmentes esetben is a távolságtól (r) függ; gömbhullám-közelítésben $S \approx r^{-2}$.
- A felszín stb. megvilágítása nem-egyenletes energiasűrűségű, hanem alapvetően függ a jelforrás sugárzási karakterisztikájától (antenna iránykarakterisztika stb.). E mellett az átjárt közeg eloszlást moduláló hatása általában teljesen elhanyagolható.

3.3. A modellek felosztása az általános sugárzási egyenletek alapján:

Ekkor három nagy csoportot különböztethetünk meg. A modellek e szempontból hovatartozásának lényeges befolyása van mind a távérzékelési feladat praktikus megoldhatóságára, mind a megoldás technikai és pénzügyi feltételeire. Ugyanakkor adott feladat esetén általában kevésbé vagy egyáltalán nem befolyásolhatjuk azt, hogy a feladathoz tartozó modell melyik csoportba tartozik. A csoportok bemutatására a földfelszín távérzékelését tekintjük az (1)~(4) egyenletekkel leírható általános feltételek mellett, amely a 3.1.a) és 3.2.a) csoportba tartozó eset. Ezt csak a magyarázat egyszerűsítése végett tesszük, s a bemutatandó kategóriák teljesen általánosak minden távérzékelési feladatra.

a) Szeparálható modellek:

Ebben a számítási szempontból legkedvezőbb esetben a jel terjedésének egyes szakaszai egymástól függetlenül modellezhetők és e különálló modellrészek egyesíthetők a végső modellben. A fő szakaszok:

- a beeső megvilágító jel terjedése a felszínig: példánkban $L_{in}(e_k)$ -ban L_0 , $\alpha_p(e_0)$ és $L_s(e_k, e_0)$ mellett a többi tag elhanyagolható;
- a felszín viselkedésének leírása: példánkban $f_s(e_k, e_s)$ $L_{in}(e_k)$ -től függetlenül tárgyalható;
- a jel terjedése a felszíntől az érzékelőig: példánkban $\alpha_p(e_s)$ és $L_{PT}(e_s, e_0) = L_p(e_s, e_0)$ $L_{DA}(e_s)$ -től függetlenül tárgyalható.

A tett feltevések maradéktalanul általában nem teljesülnek. Ugyanakkor az $L_M(e_s)$ meghatározásakor illetve inverziójakor olyan nagy előnyei vannak a szeparálhatóságnak, hogy a bonyolultabb modellek esetén is megkíséreljük az adott feladatban megtehető megszorításokkal a modellt szeparálhatóvá egyszerűsíteni. Ez az egyszerűsítés vízszintes síkfelületek nadír irányú

észlelésekor egyszerűbb légköri terjedési leírás mellett reménybeli. – Megjegyzendő, hogy $\alpha_p(e_s)$ a hullámterjedés illetve hullámszóródás természetéből adódóan a számunkra fontos feladatokban általában szeparálható.

b) Részben szeparálható modellek:

Ez esetben a teljes távérzékelési modellben a jel terjedésének nem minden szakasza tárgyalható a másiktól függetlenül. A szeparálhatóság legtöbbször a következők szerint alakul:

- a beeső jelből és a felszín BRDF-jéből együtt alakul ki a megvilágító és az érzékelő felé szórt jel: példánkban $L_{is}(e_k)$ és $L_{DA}(e_s)$ nem szeparálható, s a vizsgált pixel $f_s(e_k, e_s)$ BRDF-je sem adható meg $L_{in}(e_k)$ -től függetlenül.
- a felszíntől az érzékelőig a jel terjedése az előzményektől szeparálható: példánkban: $\alpha_p(e_s)$ szeparálható, $L_p(e_s, e_0)$ » $L_{PA}(e_s, e_0)$ miatt $L_{PT} \approx L_p$ és L_p -ben $L_{in}(e_k)$ és $f_s(e_k, e_s)$ szerepe a korábbiaktól függetlenül tárgyalható.

A távérzékelési feladatot a modellezésnél ma sok esetben eleve megpróbáljuk legalább ebbe a kategóriába egyszerűsíteni. A probléma legtöbbször az elkövetett hiba becslésének elmaradásából vagy a hiba elfogadható becslésének az adott feltételek melletti lehetetlenségéből adódik.

c) Nem szeparálható, komplex modellek:

A valóságban már a legegyszerűbb távérzékelési feladatok pontosabb leírásai ebbe a kategóriába eső modelleket eredményeznek. Azonban amíg a hullámterjedés lineáris, addig $\alpha_p(e_s)$ ez esetben is elfogadható pontossággal szeparálható marad.

4. A modellek csoportosítása a feladat szerint

Nem kevésbé fontosak és meghatározóak a modellek feladat szerinti csoportosításai. Két szempontot gondolunk jellegzetesnek. Az egyik a feladat mérés technikai jellemzőinek, míg a másik a távérzékelési feladat általános céljának a figyelembe vétele.

4.1. A modellek csoportosítása a mérés technikai jellemzők szerint

A távérzékelés jelen helyzetében az intenzitás (radiancia, teljesítménysűrűség, ...) mérő műszerek (radiométer stb.) vannak többségben. Ezért az ezek kvalitatíve eltérő típusaihoz tartozó modellcsoportok legfontosabbjait részletezzük, s a többi modell-típust egy külön csoportban tárgyaljuk.

a) A jelintenzitás meghatározására alkalmas modellek.

A hullámterjedési számítási módszerekből fakadó érdemi eltérésekkel – bár vannak – nem foglalko-

12 H

zunk, mert nem elvi különbséget fednek. (Itt olyan eltérésekre gondolunk, mint az optikai sávban a diffúz jel eredő intenzitása és a m-es sávban a monokromatikus jel amplitúdója meghatározásakor fellépő számítási eljárási különbségek.) – A legfontosabb különálló csoportok:

- Keskeny látószögű illetve erősen irányított vevő-apertúrájú műszerrel vett jel modellezése. Ide tartoznak például a scannerek (MSS, TM, ...) jelei. A modellben általában egyetlen pixel-intenzitás kialakulását elég vizsgálni, s a felszínről az érzékelőig a jel egyetlen ($e_s = \text{állandó}$) irányban haladó jelként kezelhető.
- Széles látószögű illetve gyengén irányított (esetleg körsugárzó) apertúrák által vett jel modellezése.

Ide tartoznak például a TV és fényképező kamerák (RBV, MKF-6, ...) jelei.

A modellben az egész kép egyszerre alakul ki, ezért egy nagyon kiterjedt felszínről a látószög által meghatározott lényegesen eltérő irányokból beérkező jelegyüttes eredőjét kell leírni a számottevő keresztbeszórással stb. együtt; azaz $e_s \neq \text{állandó}$.

- Szintetizáló apertúrák, ahová például a SAR stb. is tartozik.

A modellben a különböző helyekre, kicsit eltérő időpontban egy adott helyről beérkező jelek eredőjét kell meghatározni; természetesen e_s sem állandó.

Várható, hogy e modelles csoport még bővül és hamarosan megjelennek a hologram jellegű modellek (és regisztráló műszerek) is.

- b) Egyéb mérési eljárásokhoz illeszkedő modellek.

A lehetőségek száma igen nagy, csak néhány jellegzetes fontosabbat emelünk ki.

- Frekvencia – illetve fázis-változást, Doppler-csúszást leíró modellek. Például vízhullám fázissebesség mérése.
- Futási idő modellek, leggyakrabban radar illetve altimeter adatok értelmezéséhez.
- A jel polarizáció-változása illetve depolarizálódása meghatározására alkalmas modellek. Víz és növényzet MW-vizsgálatában már fontosnak tűnnek.
- Kombinált mérések eredményei interpretálására alkalmas modellek. Néhány fontosabb: intenzitás és polarizáció mérési modell, intenzitás és frekvenciaváltozás mérési modell stb.

Igen fontos, hogy a modellben a vizsgálandó mennyiség definícióját, értelmezését csak a mérési eljáráshoz egzaktul illeszkedve lehet és szabad megadni. A modellek ilyen szempont szerinti összehasonlítása lehetőséget nyújt a különböző műszerek mérési adatai kö-

zötti kapcsolat kvantitatív megadására és az együttes értékelésre. Ennek egzakt vizsgálatából pedig még két azonos típusú műhold-műszer adatai együttes értékelésénél sem tekinthetünk el.

4.2. Modelles csoportosítás a távérzékelési feladat általános célja szerint

A távérzékelési modellezésnek két általános célja fogalmazható meg:

- A) A vizsgálni kívánt felszín, átjárt közeg stb. típus viselkedésének a megismerése a modell tanulmányozásán keresztül, azaz ANALÍZIS.
- B) A ténylegesen távérzékelte adatvektorból a modell segítségével valamely figyelemmel kísért jelenség (talaj, terméshozam stb.) már távérzékelésen kívül továbbfelhasználható kvantitatív (néha kvalitatív) jellemzőjének (jellemzőinek) a származtatása; azaz INVERZÍÓ.

Megjegyzendő, hogy adott esetben egy modell mind az A), mind a B) célra alkalmas lehet, általában azonban előnyösebb és gazdaságosabb az A) vagy a B) célhoz illeszkedő modelleket használni. A következőkben kicsit részletesebben szemügyre vesszük a két modelles csoportot.

A)-csoportba tartozó modellek:

Ebben a csoportban cél, hogy a modell a valóság minél pontosabb leírását adja és nem baj, ha közben nagyon bonyolult, összetett.

Jó, ha a modellben minél több jellemző paraméter van, amelyek külön-külön manipulálhatók, hatásuk külön tanulmányozható.

Miután a cél az analízis, nem baj, ha a modell nehezen illetve kerülő úton invertálható, vagy nem invertálható.

E csoportban sok és sokféle – az esetek nem kis részében szimulált bemenő adatból távérzékelte, hasznosításra reménybeli vagy segédadatot generálunk. Ehhez kapcsolódva mód nyílik a konkrét célhoz illeszkedő az optimális mintavételi és mérési eljárási előírások meghatározására és szimulált kipróbálására. (Például $e_{s, \text{opt}}$ a MW-sávban talajnedvesség mérésére, hogy az adatot a növénytakaró ne illetve minimális mértékben zavarja.)

Hasonló módon itt deríthetők fel és vizsgálhatók olyan – majd a B)-csoportban hasznosítandó – jellemzők, amelyek a távérzékelési adatokból egyszerűen, gyorsan és egyértelműen generálhatók és ugyanakkor specifikusan illeszkednek egy-egy távérzékelési alkalmazási területre (pl. talajvizsgálat, növényzet vizsgálat, növényi stressz detekció, ...). Mód nyílik a még tisztázatlan távérzékelési fogalmak elemzésére és egyértelmű definiálására.

Végül meg kell említeni, hogy az A)-csoportba tartoznak azok a sokszor használt analízis modellek is, amelyeket csak egy-egy effektus felderítésére használunk. A legfontosabb speciális effektusok: a felszínhul-

lámoosság hatása, a növényi sorszerkezet hatása, a felzindólás hatása, a közvetlen (pixelen belüli illetve kívüli) keresztbe-sugárzás hatása, a felszínzemszézett-ség hatása, lamberti és anizotróp BRDF-fel leírható elemi felület hatása, ...

B)-csoportba tartozó modellek:

Ekkor a modell csak a cél eléréséhez feltétlenül szükséges mértékben lehet pontos. A nagyobb pontosság elérése ugyanis esetleg járulékos veszteséggel jár. A modell megválasztásánál lényeges szempont a kifejlesztési és futtatási költség, a gyors és üzemi körülmények közötti egyértelmű megoldhatóság, a további felhasználásra kerülő adatok szükséges pontosságú, biztonságos előállítása, a modell bemenő adatainak a hozzáférhetősége időben, megengedett költségkihatással és biztonságosan.

A modell legyen minél egyszerűbb és jól invertálható szerkezetű.

A modellben minél kevesebb függetlenül változó paraméter legyen, mivel ez növeli a paraméter-meghatározás stabilitását.

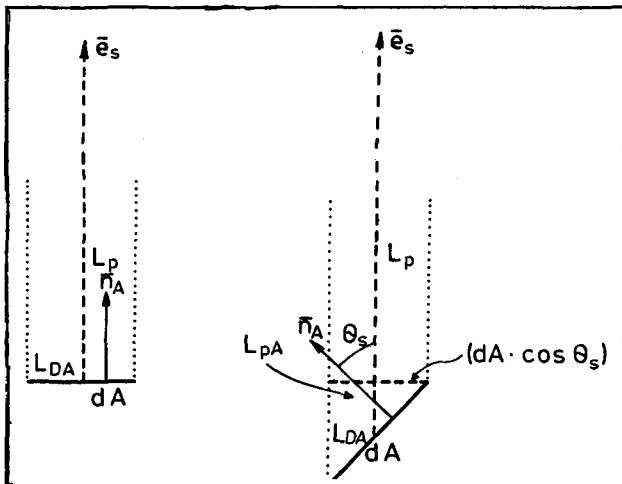
Minél kevesebb bemenő adattal működjön a modell. Célszerű, ha a távérzékelte adatvektor mellett legfeljebb néhány segédadatot igényel, vagy segédadatot nem igényel. Ez utóbbi esetben a felszíni hitelesítő adatok valamilyen formában implicite szerepelnek a modellben, például a felszínre általában vagy klasszifikálással kijelölhetően érvényes függvényekként.

A szükséges segédadatok nagyobb pontossági igény esetén megfelelő mérési módszerrel a távérzékelési adatvektorba integrálhatók. Az ún. légköri-terjedéskorrekció esetét példaként használva néhány lehetőség:

- A légköri terjedési jellemzők előállítása az alapadatvektorból (pl. MSS-ből).

- A terjedési jellemzők előállítása a távérzékelési adatvektor bővítésével (pl. MSS vagy TM + AVHRR használata).

- A terjedési jellemzők pixelenkénti egyidejű sugárút letapogatással történő szimultán mérésével komplex távérzékelési adatvektor előállítása, stb.



4. ábra. A heurisztikus spektrális Indexek adatbázisa

Végül meg kell említeni, hogy e modellcsoport ki-menő adatai legtöbbször más, már nem távérzékelési, hanem gazdasági stb. modellek bemenő adatai. A távérzékelési modell csatlakozási kompatibilitását is biztosítani kell.

5. A modellek módszertani csoportosítása

Ez a csoportosítás eléggé ismertnek tekinthető, ezért rövidebben taglaljuk.

5.1. Heurisztikus modellezés – a spektrális indexek:

E modellek valójában heurisztikus elképzelések, amelyek a 4. ábrán látható (mért) reflektancia illetve radiancia idő és frekvencia függésére vonatkoznak. A heurisztikus elképzelés (azaz modell) alapján axiomatikusan definiáljuk az ún. spektrális indexeket (GN, BR, RVI, ...) [1]. Az indexek és a meghatározni kívánt jellemző (zöld tömeg, hozam, ...) kapcsolatát pedig a kezdeti heurisztika következtében empirikusan (regresszióval) próbáljuk felderíteni. Alapvetően a 4.2.B modellcsoportba sorolhatók. Előnyük az egyszerű generálhatóságuk. Hátrányuk részben ugyanez, részben az eleve nem egzakt definíció – pl. tasseled cap [1]. Ezért előnyeik további kihasználása érdekében a nem kellően egzakt definíciókat spektrálisan egzakt, a pillanatnyi empiriától nem vagy alig függő definíciókkal kell és lehet felváltani pl. a tasseled cap esetében, amikor is a módosított BR a spektrális reflektancia értékek átlaga, a módosított GN a zöld-vörös és a közeli-IR sávok közötti átlagos, reflektanciában mért távolság stb. E definíciók már nehézség nélkül alkalmazhatók bármely műholdas műszer esetén és a különféle eredmények összevethetőek.

Hullámtani-terjedési – modellek:

Alapja – mint (1)≈(4)-nél is láttuk – a teljes jelterjedés elemzés és ma még legtöbbször kvázi-egydimenziós illetve kétdimenziós (kvázi-háromdimenziós). Mivel a terjedési probléma különféle megközelítésekben tárgyalható, ehhez igazodó modell-típusok alakultak ki [2-3].

a) Determinisztikus modellek:

E modellek a beeső és a mért jel kapcsolatát determinisztikus, fenomenológiai leírás segítségével adják meg.

a.1.) Analitikus modellek:

Az említett kapcsolatot analitikus függvény vagy operátor segítségével kezelik. (Az "egyszerű" analitikus leírás mellett kiemelendő az elektrodinamikában általában használt self-consistent-field módszer itteni eredményes alkalmazása is.) Előnye a kapcsolatok analitikus átlátása, a sok esetben egyszerű gépi realizálás stb. Lásd pl. a Suits-modellt [2] vagy a barázda modelleket [4]. Hátránya, hogy bonyolultabb esetben

áttekinthetetlené és nehezen megoldhatóvá válik, esetleg fel sem írható. Mind a 4.2.A., mind a 4.2.B. csoportba tartozhatnak. Általános alakjuk:

$$R_i = Q_i(d_i) + r_{ni} \quad (5)$$

ahol R_i a távérzékelte adatvektor, Q_i egy általános, analitikus operátor, d_i a paraméter vektor, r_{ni} a zaj vektor, i megkülönböztető (időpont jelölő stb.) index.

a.2.) Regressziós modellek:

Az említett kapcsolatot továbbra is determinisztikusnak tételezzük fel. Azonban mibenlétéről csak általános elképzelést, hipotézist alakítunk ki matematikailag regresszióval megoldható egyenlet alakjában, azaz például

$$R_i = \sum_{j=1}^N A_{ij} d_j + r_{ni} \quad (6)$$

alakban, ahol A_{ij} a regresszióval meghatározandó konstansokat tartalmazza. Előnye részben egyszerűbb szerkezete, részben a regresszió következtében a fel nem ismert folyamatok figyelembe vehetősége, a pillanatnyi helyzethez könnyebb illeszthetősége stb. Hátránya, hogy analízisre nehezen használható, a (6) kapcsolat jellege bizonytalan, nehezen általánosítható és a regresszió valós adatbázisra többféle kapcsolattal is azonos minőségű eredményt adhat stb. Számítástechnikai kényelmessége következtében általában 4.2.B. csoportú modellek tartoznak ide.

b) Statisztikus modellek:

Ez esetben a bemenő és a kimenő változók között valószínűségi eloszlásfüggvények segítségével teremtünk kapcsolatot. Általában

$$R_i = P_i(d_i, r_{ni}) \quad (7)$$

ahol P_i valószínűségi operátor. Természetesen olyan modelleket is használunk, ahol csak a modell egy ré-

sze (pl. a növénytakaró vagy a barázdált felszín) leírása statisztikus, míg más része (pl. a légköri csillapodás és szórás) determinisztikus. Előnyük a vizsgált felszínnek jellemzőinek (talajszemcsék mérete, alakja, tájolt-sága stb.) sztohasztikus jellege miatt a valóságot jobban közelítő modellszerkezetben szembeszökően nyilvánul meg. Hátrányuk, hogy a szükséges számítástechnikai apparátus (pl. Monte Carlo módszer) praktikus bonyolult, gépidő-igényes. Mind a 4.2.A., mind a 4.2.B. csoportba tartozó modellek léteznek.

6. Kitekintés

A modellezés gyors fejlődése lehetővé tette, hogy több szempontból is csoportokba soroljuk a meglévő és kifejlesztendő modelleket. Remélhető, hogy a mindenkori modellezési munkát segíteni fogja az egyes csoportok jellemzése és a legfontosabb követelmények, szempontok összefoglalására tett kísérlet.

Köszönet: Köszönetemet fejezem ki Ferenczné Árkos Ilona és Tarcsai György kutatótársaimnak a munkámhoz nyújtott hathatós segítségért.

Ez az osztályozás az MTA A-MM-158/84. sz. ATA pályázat keretében végzett kutatás egyik eredménye.

A tájékozódást segítő néhány magyar nyelvű irodalom

- [1] *Lichtenberger J., Ferencz Cs., Ferenczné Árkos I., Hamar D., Tarcsai Gy.: A távérzékelte adatok és a növényzet mennyiségi mutatóinak kapcsolata – a vegetációs indexek; Geodézia és Kartográfia, 39, 396-404, 1987.*
- [2] *Ferenczné Árkos I., Ferencz Cs., Hamar D., Lichtenberger J., Tarcsai Gy.: Növénytakaró modellek a távérzékelés mezőgazdasági hasznosításában; Geodézia és Kartográfia, 39, 248-254, 1987.*
- [3] *Ferenczné Árkos I., Ferencz Cs., Hamar D., Lichtenberger J., Tarcsai Gy.: Távérzékelési modellekkel szerzett tapasztalatok; Geodézia és Kartográfia, 39, 339-345, 1987.*
- [4] *Ferencz Cs., Ferenczné Árkos I., Hamar D., Lichtenberger J., Tarcsai Gy.: A közvetlen átsugárzás figyelembevétele felszínmodellekben: Barázdált felszín egyszerű modellje; Híradástechnika, XXXVIII., 49-60, 1987.*