

X sávú szóródásmérő

MIHÁLY SÁNDOR—DR. BOZSÓKI ISTVÁN
BME Mikrohullámú Híradástechnika Tanszék



ÖSSZEFOGLALÁS

A cikk egy kísérleti frekvenciamodulált folytonos hullámú X-sávú szóródásmérő működési elvét és egyes felhasználási kérdéseit ismerteti. A berendezés az elektromágneses hullámok szóródásának mérésére került kifejlesztésre abból a célból, hogy a segítségével kapott adatok mezőgazdasági területek, növényzettel borított talajok szórási tulajdonságainak modellezésében felhasználhatók legyenek. Bemutatásra kerülnek az adatfeldolgozás módja és kezdeti terepmérés eredményei is.

1. Bevezetés

Az elmúlt 15—20 év során sok próbálkozás történt az irányban, hogy megtalálják a környezetünk megfigyelésére alkalmazott mikrohullámú technika, a mikrohullámú távérzékelés mindennapi felhasználási módját. Ezek egy része a mezőgazdasági területekről, így növényzettel borított talajokról történő információszerzés lehetőségeinek kutatására összpontosult. Ennek módja, hogy a vizsgálandó terület felett elhaladó repülőgép, műhold, oldalirányban pásztázó letapogatást végző lokátorával (SLAR-Side Looking Airborne Radar, SAR-Synthetic Aperture Radar) képet alkot e területnek a lokátor frekvenciáján mutatott visszaverőképeségről.

E képképző lokátorok előnyeinek teljes kihasználásához tisztában kell lennünk a távérzékelés útján vizsgált objektum szórási tulajdonságaival. Ebből a célból pl. földi állványra telepített szóródásmérőkkel méréseket végeznek [1, 2]. Az ezen berendezésekkel végzett mérések során kapott szórási adatokat szórási modellek alkotásakor és ellenőrzésekor használhatjuk fel. Így számos ismeretkez juthatunk, amit a mikrohullámú távérzékelők paramétereinek megválasztásánál és adatfeldolgozási algoritmusainak kifejlesztésénél is alkalmazhatunk. Mindezek során feltételezzük, hogy az állványra telepített berendezés a képalkotásra használt lokátor üzemi paramétereivel megegyező jellemzőkkel rendelkezik.

2. Rendszerleírás

A szóródásmérő valamely közeg visszaverőképességének a meghatározására szolgáló eszköz. A visszaverőképességet a határos keresztmetszet írja le számszerűen. Kiterjedt közeg differenciális határos keresztmetszete (egységnyi felület visszaverőképessége m^2/m^2 -ben) a közegre beeső és a

MIHÁLY SÁNDOR

1984-ben kapta diplomáját a Budapesti Műszaki Egyetem Villamosmérnöki Karán. Diplomatervét a passzív mikrohullámú távérzékelésről írta, amiért a HTE diplomatervpályázatán elismerő oklevelet kapott.

Jelenleg tudományos továbbképzési ösztöndíjas a BME Mikrohullámú Híradástechnika tanszékén. Érdeklődési területe: mezőgazdasági területek mikrohullámú távérzékelése és elektromágneses szórási tulajdonságainak modellezése.

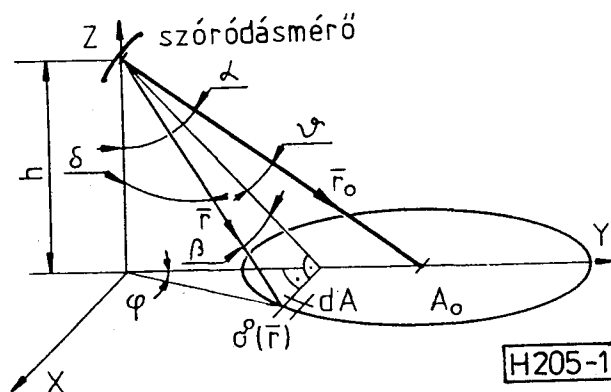
szóródásmérő antennájánál fellépő szórt elektromágneses hullám segítségével a következő alakban írható fel [3]:

$$a_{pq}^0 = \frac{4\pi r_0^2}{A_0} \frac{|E_{pq}^s|^2}{|E_0|^2} \quad (1)$$

ahol pq az adás és vétel polarizációját jelöli. Az $|E_0|$ abszolút értékű beeső síkhullám visszaszóródása eredményezi az E_{pq}^s teret, amit adott polarizáció kombinációnál az A_0 felületen elhelyezkedő

szórócentrumok keltenek (1. ábra). E_{pq}^s véletlenszerűen változik, így azt (1)-ben átlagolva bizonyos körülmények között a_{pq}^0 átlagát kapjuk.

Visszaszóródás méréséhez a berendezés ugyanazt az antennát használja adásra és vételre is. Mivel $|E_0|$ nem tartható állandó értéken a teljes A_0 felület mentén figyelembe kell venni az egyenetlen megvilágítás hatását. A_0 -t dA felületelemekre osztva és feltételezve, hogy $|E_0|$ és a_{pq}^0 ezeken belül nem változik, az egyedi szóróközpontok teljesítményjárulékaiknak a teljes felületre vett integrálása után az antenna $G_{0g}(r)$



1. ábra. Geometria elrendezés

Beérkezett: 1986. IV. 30. (H)

alakú teljesítmény nyereség függvényével felírható a P_a és P_v adó illetve vett teljesítmények kapcsolata [4]:

$$P_v = \iint_{A_0} dP_v = P_a \frac{(G_0 \lambda)^2}{(4\pi)^3} \iint_{A_0} g^2(\mathbf{r}) \sigma_{pq}^0(\mathbf{r}) / r^4 dA \quad (2)$$

Egyetlen pontszerű céltárgy esetén $\sigma_{pq}^0 = \sigma \delta(r - r_0)$ behelyettesítésével a jól ismert lokátoregyenletet kapjuk:

$$P_v = P_a \frac{(G_0 \lambda)^2}{(4\pi)^3} \frac{\sigma}{r_0^4} \quad (3)$$

Érdeemes megemlíteni, hogy az (1) összefüggés fent leírt átalakítása az egyes dA felületelemek-től származó járulékok inkoherens összeadását eredményezi. A megfigyelés során ezen járulékok közötti koherencia esetén σ_{pq}^0 nem lesz független A_0 méretétől és nem mindig jellemző az egyedi szóró objektumokra.

A frekvenciamodulált folytonos hullámú (FM/CW) lokátorokat széles körben alkalmazzák szóródás mérésére, mivel az impulzusüzemű lokátorokhoz viszonyítva ugyanazon spektrumszélességű adójel egyszerűbb felépítéssel és kisebb költséggel hozható létre. Az FM/CW lokátorok szóródásmérő alkalmazására jellemző paramétereket foglaltuk össze az 1. táblázatban.

1. táblázat

Adójel $u_{VCO}(t)$	Antenna $G(r)$	Telepítés $r_0(r_0, \alpha, \varphi)$
P_a — adóteljesítmény	O_0 — nyereség	h — telepítési magasság
f_0 — c/λ vivőfrekvencia	a_s — oldalhurok-elynyomás	a — beesési szög
Δf — frekvencia-löklet	d_f — távoltéri zóna kezdete	φ — azimut szög
F_i — $1/T_i$ moduláló jel frekvenciája	pq — polarizáció kombinációk	

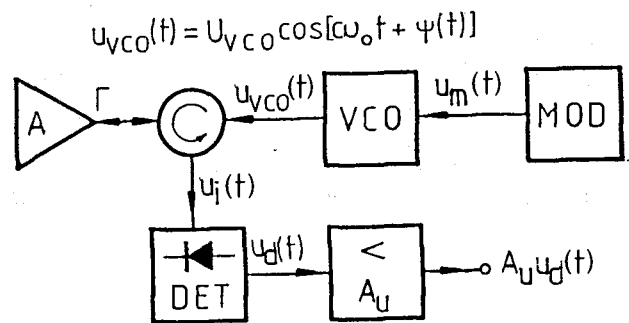
Egy kísérleti szóródásmérő blokkvázlatát mutatja a 2. ábra. A vizsgálandó céltárgy kiválasztása az adójel megfelelő modulálásával, vagy az antennanyalábbal érhető el. A burkoló detektor a működéshez szükséges folyamatos mintát az adójelből egy Γ értékű közvetlen reflexión keresztül kapja meg. Ha a detektor u_d kimenőjele a bemenő jel u_b burkolójától a detektor karakterisztikán keresztül $u_d = k_1 U_b + k_2 U_b^2$ módon függ megmutatható, hogy u_d egy az adóoszillátor $\omega(t) = \omega_0 + d\psi/dt$ pillanatnyi frekvenciájától független és egy attól függő tagból áll. Az $\omega(t)$ függő tag:



DR. BOZSÓKI ISTVÁN

Villamosmérnöki oklevelét 1953-ban szerezte meg. 1956-ig a BME Hadmérnöki Kar, 1957-től a Mikrohullámú Híradástechnika Tanszék oktatója. Docens, 1981-től tanszékvezető. 1961—

—67-ig előbb a Beloianisz, majd az Orion Gyár Mikrohullámú Fejlesztési Osztályán másodállásban mikrohullámú áramkörök tervezésével foglalkozott. Egyetemi dr. 1965, a műszaki tudományok kandidátusa 1976-tól. Szakmai tevékenységet parametrikus erősítők, mikrohullámú oszcillátorok tervezésében; rádió hírközlés, rádiólokáció elméleti és gyakorlati kérdéseiben, jelenleg a mikrohullámú távérzékelés területén végez. Több bizottság, a HTE Elnökség tagja, 1986-ban Puskás Tivadar emlékéremet kapott. Több kitüntetés tulajdonosa.



H205-2

2. ábra. FM/CW szóródásmérő blokkvázlata

$$\tilde{u}_d(t) = K U_{VCO} \sqrt{V_0 / r_0^4} \cos[2r_0 \omega(t) / c], \text{ ahol}$$

$$K = (k_1 + 2k_2 U_{VCO} |\Gamma|) [G_0 \lambda / (4\pi)^3]^{1/2} \quad (4)$$

Ebben az esetben a detektor keverési feladatot lát el, az adó és vett jel amplitúdó és fázisviszonyától függő kimenőjelet előállítva.

Egyszerűen megoldható az adófrekvencia időben lineáris modulálása (lineáris FM [5]), $\Delta\omega = 2\pi\Delta f$ frekvenciálöklettel az $\omega_0 = 2Hf_0$ vivőfrekvencián a T_i ismétlődési idő alatt. A modulált frekvencia (4)-be való helyettesítése után kiderül,

hogy pontszerű céltárgy esetén $\tilde{u}_d(t)$ egy szinuszjel töredék, amely szinuszjel $(2r_0/c)$ $(\Delta f/T_i)$ frekvenciájú és

$$n = 2\Delta f r_0 / c \quad (5)$$

száma periódust tartalmaz. Az (5) egyenlet megmutatja, hogy hol van a korlát az egyes szórási járulékok koherens összegzésére. Ha feltételezzük, hogy az (5) szerinti periódusszám két pontszerű céltárgynál 1-nél nagyobb mértékben tér el egymástól, akkor azok már elkülöníthetők, s így inkoherensen összegződnek az FM/CW alapsávi jelben. Ekkor a távolsági felbontóképesség (távolsági cella):

$$\Delta r = c / (2\Delta f) \quad (6)$$

Az 1. ábrának megfelelő elrendezés esetén ezt a cellaméretet a felszínre vetítve

$$\Delta d = \Delta r / \sin \alpha \quad (7)$$

X—Y síkban mért hosszát kapunk. A reflektálódott teljesítmény annyi Δd méretű cellától származó független mintát fog tartalmazni, ahányszor az elfér a megvilágított felület hosszában, ami pedig a szóródásmérő antennájának a 3 dB-es nyalábélességétől (θ_3) függ:

$$d_i = h \theta_3 / \cos^2 \alpha. \quad (8)$$

Ezután (8)-at (7)-tel elosztva megkapjuk a független teljesítmény minták számát:

$$N = (2h \theta_3 \Delta f / c) (\tan \alpha / \cos \alpha). \quad (9)$$

Ha $N < 1$, akkor az antennanyaláb korlátozza a megfigyelést, tehát a teljesítményjárulékok d_i mentén koherensen adódnak össze.

Δf megválasztásakor különös figyelemmel kell lennünk arra, hogy milyen Δd felel meg az adott képkötő (SLAR, SAR) feladatnak. Csak azon megfigyelések hasonlíthatók össze (így például különböző rendszerek esetén), amelyeket hasonló rádiófrekvenciás sávzélességű jellel végeztek, feltételezve, hogy a geometriai elrendezés is hasonló és az antennanyaláb nem korlátozza Δd -t. Oldalrónózó lokátoroknál (SLAR) Δf kisebb mint 100 MHz, így Δr 1,5 m-nél nagyobb. Ezért mindig figyelembe kell vennünk, hogy bármely, a felszín Δd -nél hosszabb kiterjedésű alakzatán alapuló szórási mechanizmus hatása eltűnik az összegzés során, mivel ekkor a felszíni felbontás kisebb mint a felszín korrelációs hossza. Bizonyos esetekben a Δd különbözősége magyarázza a légi és földi mérések eredményeinek különbözőségét.

3. Kísérleti berendezés

A 2. ábrán látott rendszerre modellméréseket végeztünk laboratóriumi körülmények között. Ennek során az antenna-céltárgy-antenna utat végén állítható reflexióval lezárt koaxiális vonal helyettesítette, a rendszerparamétereket a 2. táblázat szerint állapítottuk meg, és elkészítettük a kísérleti szóródásmérőt.

2. táblázat

X-sávú szóródásmérő paraméterei

Adójel	Antenna	Telepítés
$P_a = 50$ mW	$G_0 = 30$ dB	$h = 5$ m
$f_0 = 10,3$ GHz	$a_s > 14$ dB	$\alpha = 20-80$ fok
$\Delta f = 0-70$ MHz	$d_f = 5$ m	$\varphi = 0-360$ fok
$F_i = 75$ Hz	$pq = HH, VV$	

Az adó varaktoros hangolású Gunn-oszcillátor volt, melynek jelét és a visszaverődött jelet circulatorra vezettük. A 420 mm átmérőjű paraboloid antenna tápvonalas primersugárzója [6] lineárisan polarizált teret állított elő. Egyszerű szereléssel a polarizáció síkja mind H, mind V

irányba állítható volt. A működési frekvencia és α sávzélesség egy X-sávú SLAR paramétereikhez igazodtak [7].

A (4) egyenlet alapján σ az \hat{u}_a -ból meghatározható, amennyiben az egyetlen távolsági cella jeléből áll. A közvetlen detekció miatt a teljes rendszer amplitúdó függő karakterisztikájának változása eltorzítja az FM/CW jelet, s ez különösen akkor zavaró, ha n kis értékű. Éppen ezért a detektor kimenőjelét mágnesszalagon analóg formában tároltuk, hogy később digitális jelfeldolgozással az előző hatást csökkentjük. Kétféle kalib-

rációra volt szükség σ_{pq}^0 abszolút méréséhez. Először az antennát az ég felé fordítva külső reflexió nélkül a rendszer amplitúdó karakterisztikáját rögzítettük. A másik eljárás során ismert σ_c hatásos keresztmetszetű céltárgyról (sarokreflektorral) származó jelet vettünk fel. Ezután az összes \hat{u}_a feszültségfüggvényt korrigáltuk az első kalibráció jelével. A korrigált \hat{u}_{ac} hiteles reflexióról α_c beesési szög mellett kapott csúcsertéssel, és a hasonló módon, de α beesési szög alatt megfigyelt felülről kapott \hat{u}_a jellel az 1. ábrán látható δ beesési szögtől $\sigma^0 = \gamma \cos \delta$ módon függő differenciális hatásos keresztmetszetet feltételezve a vizsgált objektum reflexiója a (10) egyenlet szerint írható le γ -val:

$$\gamma = \frac{(\hat{u}_a / \hat{u}_{ac})^2 (\sigma_c \cos^4 \alpha_c / h^2)}{\int_{-\theta_0}^{\theta_0} g^2(\vartheta) \cos^2(\alpha - \vartheta) d\vartheta \int_{-\beta_0}^{\beta_0} g^2(\beta) \cos^3 \beta d\beta} \quad (10)$$

Feltételeztük, hogy az antennakarakterisztika oldalhurkok csak kis mértékben befolyásolják a mérést, így (10)-ben csak a főnyalábot vettük figyelembe. Ezt az antenna mérése megalapozottá tette.

4. Terepmérések

A berendezés működését terepen ellenőrizve mind HH, mind VV polarizáció kombináció esetén végeztünk méréseket a 3. ábrán látható állványra telepített elrendezésben.

A korrigált \hat{u}_a értékek segítségével, $\sigma^0 = \gamma \cos \alpha$ figyelembevételével és a (10) felhasználásával kaptuk meg a differenciális hatásos keresztmetszet adatokat $g(\vartheta)$ és $g(\beta)$ a mért E és H síkú karakterisztikákra illesztett analitikus függvények voltak.

Az eredményül kapott szórási adatokat 20 fokos azimut tartományon átlagoltuk ugyanazon α mellett. A 4. ábra mutatja σ_{pq}^0 értékét 30–70 fok beesési szög intervallumon egy kukoricatábla esetén.



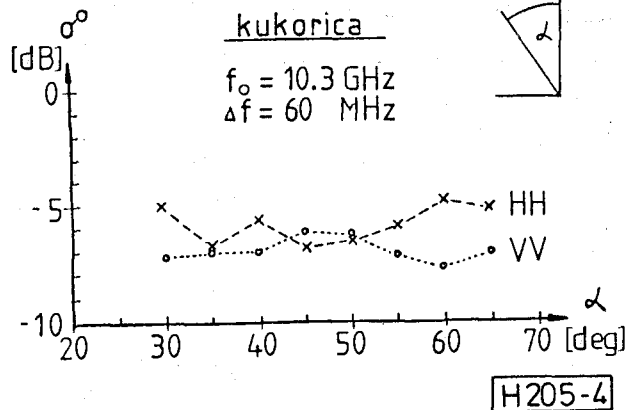
3. ábra. Az állványra szerelt berendezés

Mivel a független minták száma nem elegendő nagy, csak néhány jellegzetesség mutatható ki. A α° értékek tartománya megfelel más mérések eredményeinek [8], valamint látszik, hogy σ_{HH}^0 megnövekszik a tenyészidőszak végén (míg azt megelőzően σ_{VV}^0 -nél kisebb [9]).

Kitekintés

A cikk egy kísérleti *FM/CW* szóródásmérő berendezés tervezését, felépítését és a segítségével végzett kezdeti terepmérések eredményeit mutatja be. Ismerteti a jelfeldolgozás módját, az antenna-karakterisztika szerinti korrekciót és a hitelesítést.

A mezőgazdasági objektumok szórásai tulajdonságainak modellezéséhez további mérések elvégzésére van szükség, amely segítséget nyújt



4. ábra. α° mérési eredmények

összetettebb szóródásmérő berendezések kialakításához is. E mérések elvégzésére az 1986 év terményérési időszakájában kerül sor.

Köszönetnyilvánítás

Köszönet illeti a *Művelődési Minisztériumot*, hogy megbízásával támogatta kutatómunkánkat.

Megköszönjük *dr. Gödör Éva* és *Farkas Botond*, a BME Mikrohullámú Híradástechnika Tanszék adjunktusainak konzultációk formájában és a mérésekben nyújtott állandó segítségét.

IRODALOM

- [1] Krul: Scatterometer systems, ESA-EARSeL Workshop, Alpbach, Austria, 16—20 March 1981, pp. 19—27.
- [2] Paris: Radar scatterometer Probing of Thick Vegetation Canopies, IGARSS 85, Amherst, Massachusetts, October 7—9, 1985, pp. 161—163.
- [3] Ulaby, Moore, Fung: Microwave Remote Sensing, vol. II., Addison-Wesley Publ. 1982.
- [4] Ulaby, Allen, Fung: Method for Retrieving the True Backscattering Coefficient from Measurements with a Real Antenna, IGARSS 82, Munich, June 1—4, 1982, vol. II. TA—6 pp. 6.1—6.5.
- [5] Skolnik: Introduction to Radar Systems, McGraw Hill, 1980.
- [6] Studd: A Rear Feed for Paraboloidal Reflectors, The Microwave Journal, February, 1966, pp. 50—54.
- [7] Hoogeboom: On the Design and Operation of a SLAR System with Digital Recording, IGARSS 82, WP—9 pp. 4.1—4.5.
- [8] Ulaby: Review of Approaches to the Investigation of the Scattering Properties of Material Media, IGARSS 82, Munich, June 1—4, 1982. vol. II. TA—1 pp. 1.1—1.5.
- [9] Le Toan, Lopes, Huet: On the Relationship Between Radar Backscattering Coefficient and Vegetation Canopy Characteristics, IGARSS 84, Strasbourg, August 27—30, 1984. ESA SP—215 pp. 155—160.