

Dispersometria: teledetecció radar per a l'anàlisi de superfícies

Antoni Gil i Ramir De Porrata-Dòria

La teledetecció és la tècnica que ens permet estudiar, a distància, les característiques d'un planeta: el seu relleu, la seva atmosfera... La visió global que ens ofereix la teledetecció ens permet estudiar fenòmens massa grans per a ser abordats des de la superfície de la Terra, o fenòmens que tenen lloc en zones inaccessibles del planeta. Ens són ben familiars, per exemple, les imatges servides pel satèl·lit *Meteosat* o les que ens ensenyen el forat de la capa d'ozó sobre l'Antàrtida.

1. INTRODUCCIÓ

El llançament del satèl·lit *Seasat* l'any 1978 va obrir una nova era en l'observació de la Terra des de l'espai. Fins llavors, s'havien emprat sensors passius, tant en la banda de l'espectre visible i infraroig com en la de microones (radiòmetres). Fou en aquesta missió quan per primer cop s'empraren sensors radar. La teledetecció radar se'ns presenta com una eina interessant per a l'estudi del planeta, tant dels oceans com de la massa continental. I és que els radars de teledetecció, contràriament al que passa amb els sensors òptics, ens donen imatges encara que sigui de nit o hi hagi núvols, o en planetes amb atmosferes molt més denses que la nostra. I si bé la resolució que ofereixen és molt inferior, existeixen tècniques que solucionen aquest inconvenient.

ANTONI GIL és projectista del Departament de Teoria del Senyal i Comunicacions, grup AMR. El seu PFC és la construcció d'un dispersòmetre polarimètric.

2. TIPUS DE RADAR EMPRATS EN TELEDETECCIÓ:

La teledetecció radar inclou tres grans branques, cadascuna amb les seves tècniques i la seva problemàtica. En el present article, aprofundirem en la dispersometria, i esmentarem els altres dos tipus només de passada:



Figura 1.- A mesura que la superfície es fa més, l'ona es reflexa més en totes direccions.

- SAR (*Synthetic Aperture Radar*): les imatges aconseguides amb aquesta tècnica són de molt alta resolució (de desenes de metres).

- Altimetria: aconseguim aquí gran resolució en alçada. Això ens pot ser molt útil tant en cartografia com en aplicacions oceanogràfiques, on podem apreciar el "relleu" de la superfície del mar.

- Dispersometria: les imatges obtingudes amb un dispersòmetre permeten identificar el tipus de terreny que il·luminem.

2.1. Dispersòmetres:

Tant els SARs com els altímetres es dediquen essencialment a mesurar el retard de l'eco rebut, de cara a determinar la forma de la superfície

del planeta. Fixem-nos, però, en les altres característiques del senyal rebut: la potència retornada i la polarització depenen de la naturalesa de la superfície il·luminada. Seríem capaços d'identificar la composició geològica d'un terreny o els tipus de conreus a partir del senyal rebut amb el radar? Els dispersòmetres es basen en aquesta idea. Ens fixarem com les característiques físiques del terreny

il·luminat determinen la potència i la fase del senyal retornat. A més, la dispersometria es pot combinar també amb les tècniques d'obertura sintètica, la qual cosa ens obre la possibilitat de poder interpretar les imatges SAR, arribant fins i tot a determinar quines zones del planeta són àrides, boscoses, conreades o urbanes.

Abans de detallar algunes de les aplicacions, intentarem entendre com una ona electromagnètica interactua amb una superfície.

3. DISPERSOMETRIA:

Quan il·luminem una superfície, incidint-hi perpendicularment, l'eco es reflexa i retorna també perpendicularment, de manera que el

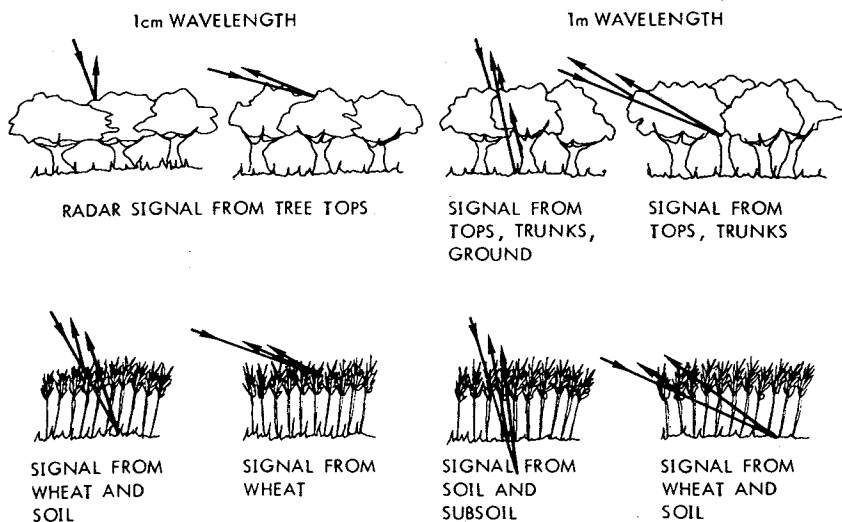


Figura 2.- Penetració dels senyals radar en la vegetació.

que rebem és un senyal molt potent, degut a la reflexió directa. La relació entre la potència radiada i la retornada ens dona la *secció recta radar* (RCS) de la superfície. Si hi incidim amb un angle θ respecte la normal, l'ona reflexada surt amb el mateix angle i per tant no rebem senyal. Això només és estrictament cert per a superfícies perfectament llises. Si la superfície té una certa rugositat, existirà una petita part de l'energia que retornarà cap a nosaltres (figura 1). La relació entre la potència enviada i la retornada s'anomena, en aquest cas, *secció recta dispersada* (Backscatter Cross Section). Serà l'estudi d'aquest paràmetre (σ^0) el que ens interessarà d'ara endavant.

3.1. Variacions de σ^0 amb la polarització:

A l'hora d'il·luminar una superfície, podem incidir-hi amb una ona polaritzada verticalment o horitzontal. L'ona dispersada, però, no té per què conservar la mateixa polarització, de manera que si realment volem caracteritzar la dispersió d'una superfície, no en tindrem prou amb un sol paràmetre σ^0 , sinó que voldrem conèixer totes les combinacions possibles: la dispersió polaritzada horitzontal quan incidim horitzontalment (σ_{HH}), la polaritzada vertical incidint-hi horitzontalment (σ_{HV}), i el mateix quan incidim amb polarització verti-

cal (σ_{VH} , σ_{VV}). Aquests quatre paràmetres complexos (amb mòdul i fase) s'agrupen en l'anomenada matriu de dispersió:

$$\sigma = \begin{pmatrix} \sigma_{HH} & \sigma_{HV} \\ \sigma_{VH} & \sigma_{VV} \end{pmatrix}$$

Considerem, per exemple, un bosc. Tenim un conjunt de troncs disposats verticalment: si hi incidim amb polarització vertical, el rebot amb els troncs serà molt fort (per tant, σ_{VV} serà gran). En canvi, els troncs no reflexaran senyals polaritzats horitzontalment (σ_{HH} serà feble). D'altra banda, la presència de fulles afegeix una forta dispersió cross-polar (és a dir, σ_{HV} i σ_{VH} ens donaran idea de si els arbres tenen moltes o poques fulles).

De moment, els dispersòmetres només han emprat una polarització (HH o VV). A partir d'ara, aniran incorporant agilitat en polarització i s'anomenaran, doncs, *dispersòmetres polarimètrics*.

3.2. Variacions de σ^0 amb la freqüència:

La freqüència determina fortament el poder de penetració de l'ona incident. En general, les ones més curtes són reflexades ja per la primera capa de matèria que troben, mentre que les ones més llargues penetren més endins. Així, si tenim

agilitat en freqüència podem analitzar diferents estrats d'un terreny. Podem veure-ho en la figura 2. Si volguéssim mesurar un terreny nevad, ens podria interessar la neu (llavors hi incidiríem amb freqüències per sobre dels 10 GHz) o el terreny que queda a sota (amb $f = 1.2$ GHz).

La rugositat d'un terreny també és relativa a la longitud d'ona emprada: una ona més llarga no apreciarà les petites rugositats, que sí afectaran la dispersió de les ones més curtes. En la figura 3, veiem que l'asfalt sembla perfectament llis a baixes freqüències, de manera que la potència retornada és molt petita. En canvi, a 35.6 GHz la longitud d'ona incident ($\lambda = 8.4$ mm) és del mateix ordre de magnitud que la rugositat de la superfície, i la potència dispersada augmenta més de 10 dB.

3.3. Variacions de σ^0 amb l'angle d'incidència:

Observem la figura 4: en general, si incidim amb un angle petit, tindrà gran importància la reflexió especular. A mesura que creix, pren relleu l'anomenada reflexió de Bragg (angle entre 15° i 70°). En aquest marge, σ^0 decau ràpidament si la superfície és llisa i es manté bastant constant si és molt rugosa. Podem veure-ho una mica en la figura 3. El cas més extrem de superfície rugosa, són les copes dels arbres de la selva amazònica: presenten a penes una variació de 2 dB en tot el marge d'angles d'incidència (que per als dispersòmetres en satèl·lit acostuma a ser de 15° a 60°).

Observem també la figura 2: incidint-hi amb angles petits, ens és més fàcil penetrar fins a capes inferiors.

3.4. Variacions de σ^0 segons el terreny:

Fem ara un petit resum de com les característiques físiques del terreny influeixen en σ^0 :

- Una superfície rugosa reflectirà més potència de senyal encara que hi incidim obliquament.

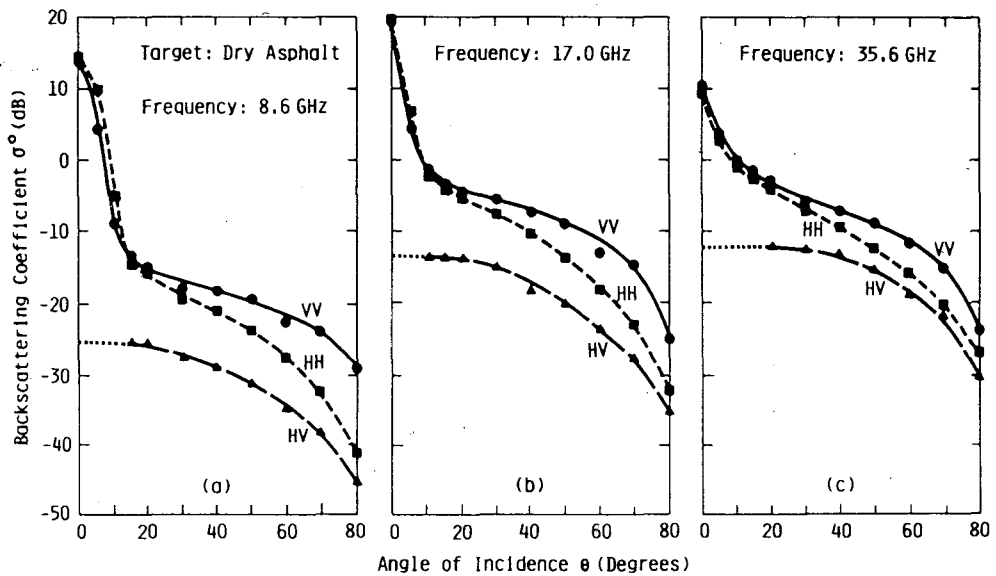


Figura 3.- Resposta angular de l'asfalt sec a tres freqüències diferents.

- El grau d'humitat de la superfície: com que la constant dielèctrica de l'aigua és un ordre de magnitud superior a la dels materials secs, la σ^0 serà proporcional al percentatge d'aigua continguda en una mostra de terreny. Per contra, la penetració de l'ona augmenta com més sec sigui el terreny.

- Les fulles dels arbres reflexen l'ona incident en totes direccions, de manera que un bosc amb fulles presentarà σ^0 de 2 a 8 dB més gran que quan el mateix bosc no té fulles. A més, la variació respecte l'angle d'incidència és molt menor.

- La neu presenta valors molt diversos en la seva reflectivitat, dependent del seu contingut d'aigua i de la mida i estructura dels seus cristalls.

- Les zones habitades presenten patrons geomètrics. Els edificis poden actuar com a diedres i provocar fortes reflexions.

Amb totes aquestes consideracions, podem dedicar-nos a estudiar el terreny, ja sigui des de satèl·lits com des de sensors aerotransportats o instal·lats en un

camió. Un dispersòmetre muntat en helicòpter desenvolupat a Finlàndia, per exemple, els permet fer un seguiment de l'alçada dels arbres, els gruixos de tronc i la densitat d'arbres, de cara a una òptima gestió dels recursos forestals.

3.5. Variacions de σ^0 en la superfície del mar:

La superfície del mar és la millor caracteritzada des del punt de vista de la dispersometria. El senyal reflectit per l'aigua depèn fortament de la

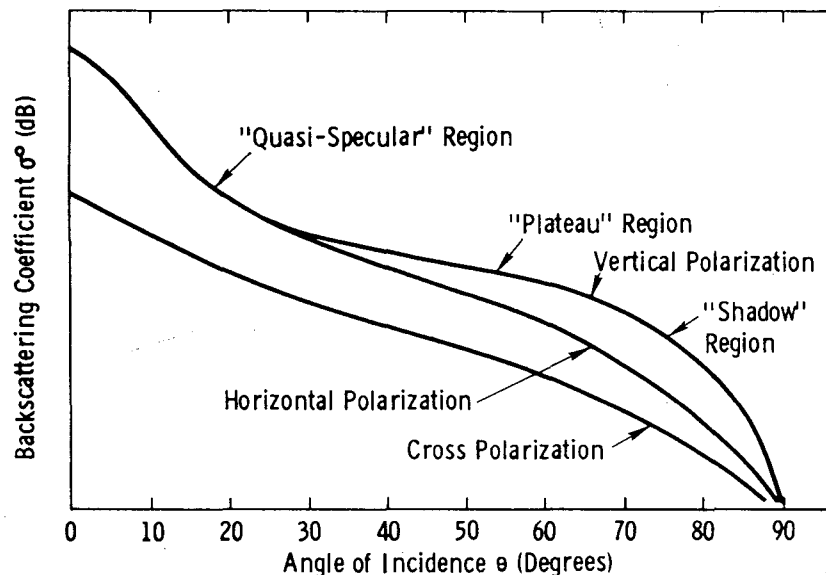


Figura 4.- Característiques generals de la variació de σ^0 amb l'angle d'incidència θ .

rugositat de la superfície, és a dir, de l'alçada de les onades. D'aquí podem inferir-ne la velocitat i la direcció del vent que bufa sobre qualsevol punt de l'oceà, la qual cosa és de gran utilitat per a la navegació marítima. El dispersòmetre que portava el *Seasat* era un *dispersòmetre de vents*, i va permetre l'elaboració de mapes de vents com el de la figura 5.

4. EL DISPERSÒMETRE AMR:

Hem vist que els dispersòmetres ofereixen aplicacions molt atractives i novadores en el camp de la teledetecció. El principal problema és el d'identificar els senyals rebuts, de manera que siguem capaços d'extreure'n conclusions útils. Cal, doncs, dedicar-se a mesurar les *signatures* dels diferents terrenys: és a dir, la matriu de dispersió per a cada angle d'incidència i per a cada freqüència, i fer-ho en diferents èpoques de l'any. Les dades obtingudes són de naturalesa estadística. Posteriorment, tota la informació

recollida s'ha de processar de manera que sigui manejable i pugui servir com a referència fiable per a interpretar també les dades procedents dels satèl·lits.

Per tant, les dues accions bàsiques a emprendre són:

- La construcció del *hardware* que permeti realitzar campanyes de mesures.

- L'elaboració del *software*, tant per a controlar les mesures com per al posterior tractament de tota la informació adquirida.

El Grup AMR està desenvolupant un dispersòmetre polarimètric amb les següents especificacions:

- Antenes: reflectors offset amb botzines quàdruple ridge (5-18 GHz).
- Marge de freqüències: 2 - 18 GHz
- Angle en elevació (θ): $15^\circ - 60^\circ$
- Angle en azimut: $0^\circ - 360^\circ$
- Alçada de les antenes: 13 metres
- Potència màxima emesa: 20 dBm

A 5.3 GHz (freqüència d'operació de l'ERS-1):

- Marge dinàmic: 80 dB
- Míxima σ° mesurable: -55 dB
- Míxima σ° mesurable: 25 dB
- Míxima relació S/N: 10 dB

Mecànicament, el conjunt ha de ser mòbil, fàcilment instal·lable i resistent a la intempèrie i a temperatures de -20 a 50°C .

La implementació d'aquest projecte podria ser objecte d'un detallat article en el proper número de BURAN.

5. BIBLIOGRAFIA:

C. ELACHI, *Spaceborne Radar Remote Sensing: Applications and Techniques*. New York, NY: IEEE Press, 1988.

F. T. ULABY, M. CRAIG DOBSON, *Handbook of Radar Scattering Statistics for Terrain*. Norwood, MA: Artech House, 1989.

F. T. ULABY, R. K. MOORE, A. K. FUNG, *Microwave Remote Sensing*, vol. I. Reading, MA: Addison-Wesley, 1982.

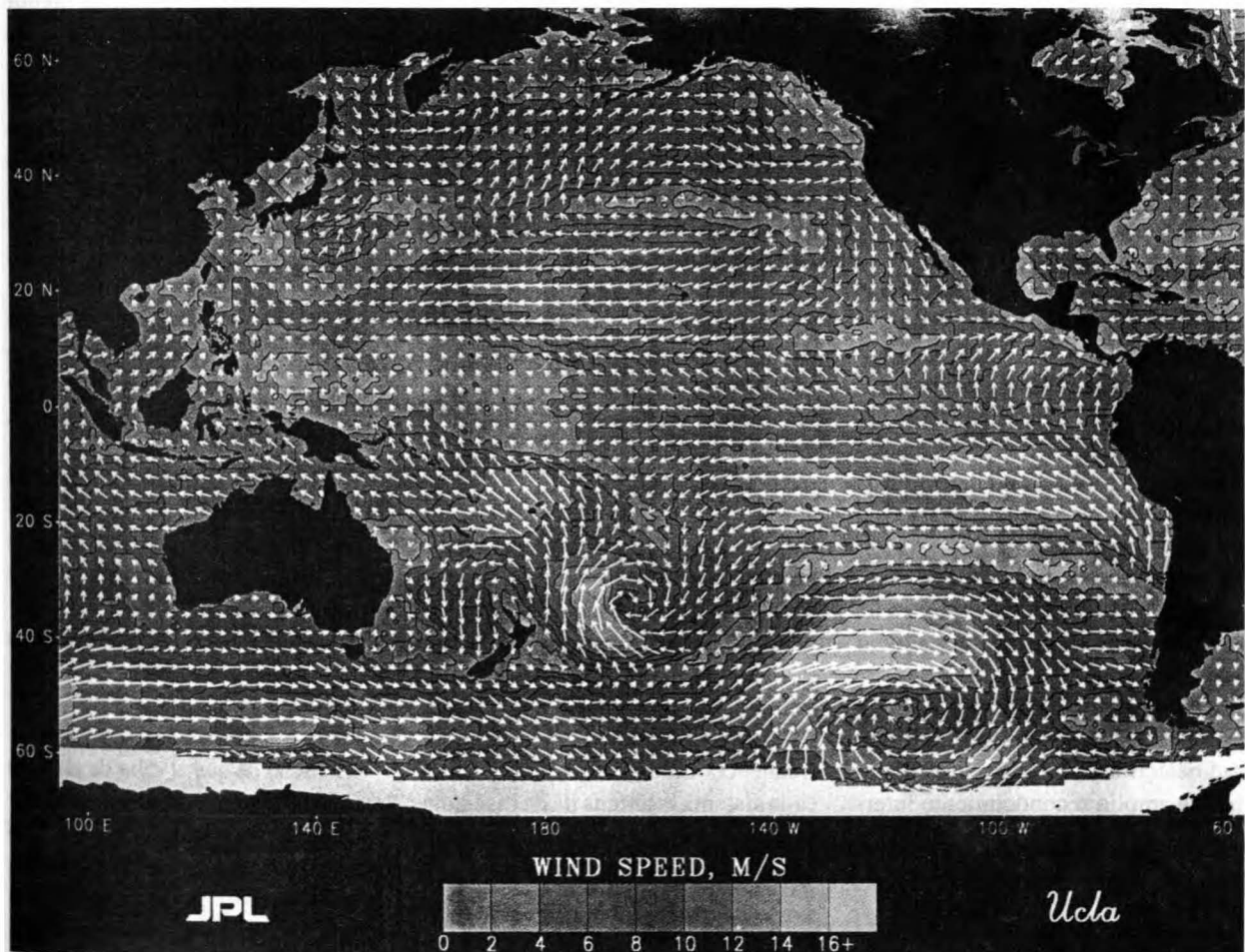


Figura 5.- Mapa de vents sobre l'oceà Pacífic, obtingut pel *Seasat*.