

OBSERVACIÓ DE LA TERRA AMB SENSORS PASSIUS DE MICROONES

A. BROQUETAS

Dep. de Teoria del Senyal i Comunicacions, Grup AMR
ETS Enginyers de Telecomunicació de Barcelona
Universitat Politècnica de Catalunya
Aptat. 30002, 08080 Barcelona

INTRODUCCIÓ

El desenvolupament conjunt de sensors i de plataformes aèries o satèl·lits ha consolidat una sèrie de tècniques de teledetecció, destinades a l'observació remota del nostre i altres planetes. La majoria dels sensors utilitzen una banda de l'espectre electromagnètic des de les freqüències de microones fins a l'ultraviolat. Podem distingir dos tipus de tècniques, les passives en què s'enregistra la radiació emesa per la superfície observada o reflectida de fonts naturals com el Sol i les tècniques actives on és el propi sensor qui aporta l'energia d'il·luminació necessària. En els dos primers apartats d'aquest article descriurem les tècniques passives òptiques i les actives basades en el radar. Dedicarem el tercer apartat a presentar les noves tècniques passives de microones i les seves aplicacions en teledetecció, de les quals presentarem alguns resultats. Finalment comentarem les tendències futures en aquest camp.

1. SISTEMES ÒPTICS DE TELEDETECCIÓ

La tecnologia òptica és la més madura i utilitzada en teledetecció. Els sensors òptics actuals embarcats en satèl·lit consisteixen en agrupacions de fotodetectors sensibles a les diferents bandes del visible i l'infraroig, i incorporen en alguns casos sistemes electromecànics d'exploració de la imatge. Dependent de les característiques orbitals del satèl·lit s'obté un cert compromís entre la resolució espacial de la imatge, la superfície explorada i la periodicitat. Els satèl·lits meteorològics geostacionaris, com els Meteosat de l'Agència

Espacial Europea (ESA), en estar situats a uns 36.000 km de la Terra proporcionen una cobertura completa de la cara observada del planeta, i n'obtenen diverses imatges al dia en el visible i l'infraroig. La resolució de la imatge és bastant baixa amb mides de pixel d'alguns km de costat [1]. Altres satèl·lits meteorològics com els NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration) es col·loquen en òrbites polars a una altitud d'uns 850 km; d'aquesta manera es millora la resolució espacial a costa d'una cobertura menor i un període de exploració d'una regió determinada de l'ordre d'un dia [2]. En aplicacions de cartografia, usos del terreny, inventari de masses forestals, de conreus o de neu s'utilitzen sensors d'alta resolució amb mides de pixel de l'ordre d'una desena de metres de costat. Dos exemples representatius són els programes Landsat de la NASA i el francès Spot. El sensor Thematic Mapper dels Landsat obté una imatge multiespectral en 7 bandes diferents que es mostren a la taula I [2] conjuntament amb els paràmetres que es visualitzen típicament a cada banda.

Taula I. Bandes espectrals i aplicacions típiques del Landsat Thematic Mapper.

BANDA ESPECTRAL	APLICACIONS
0.45 - 0.52 μm	Tipus de sòl
0.52 - 0,6 μm	Vigor i creixement de vegetació
0.63 - 0.69 μm	Absorció de la clorofil·la: classificació vegetal
0.76 - 0.9 μm	Mapa de masses d'aigua (rius, llacs, etc.)
1.55 - 1.75 μm	Discriminant neu/núvols, humitat vegetal
2.08 - 2.35 μm	Pertorbacions hidrotèrmiques
10.4 - 12.5 μm	Temperatura superficial del sòl i plantes

Els satèl·lits d'alta resolució se situen en òrbites polars baixes i escombren una franja de terreny al voltant d'un centenar de km d'amplada. Això comporta un període de reexploració de l'ordre d'un mes (amb bona climatologia), que dificulta el seguiment del fenòmens d'evolució ràpida. Els sistemes òptics tenen però una limitació important: la necessitat d'unes bones condicions d'il·luminació solar i de transparència atmosfèrica. Algunes regions

del planeta que es troben quasi perpètuament cobertes de núvols no poden ésser monitoritzades eficaçment amb aquests sistemes.

2. SISTEMES ACTIUS: EL RADAR

Els radars de teledetecció il·luminen a freqüències de microones, típicament d'1 a 15 GHz, i enregistren els ecos reflectits per la superfície. La formació d'imatges de radar s'aconsegueix amb la combinació de dues tècniques: compressió de polsos, que proporciona alta resolució en la direcció d'il·luminació del radar, i apertura sintètica [3], que assoleix una resolució comparable en la direcció transversal, origen de l'acrònim anglès SAR (Synthetic Aperture Radar) amb què es denominen aquests sistemes. Els SAR aero-transportats obtenen imatges amb una resolució espacial de l'ordre del metre, i estan al voltant dels 10 m els embarcats en satèl·lit. La resolució és doncs comparable a l'obtinguda amb els millors sistemes òptics, però hi ha algunes diferències fonamentals. En primer lloc el radar proporciona un senyal hologràfic que es processa amb ordinador per tal de reconstruir la imatge, mentre que en els sistemes òptics el sensor visualitza directament la zona explorada. Essent el radar un sensor actiu, no està condicionat per la il·luminació solar i pot per tant treballar dia i nit sense interrupció. A més els hidrometeors, núvols, boires, etc., són transparents a freqüències de microones a diferència de les òptiques, i fins i tot es poden visualitzar alguns detalls del subsòl en zones de poca humitat. Gràcies a aquest fet s'ha pogut cartografiar el planeta Venus amb una atmosfera opaca al visible, en la recent missió Magallanes [3] de la NASA. La utilització d'un senyal coherent d'il·luminació produeix un soroll granulós anomenat *speckle* que dificulta la interpretació de les imatges. Els sensors de satèl·lit actuals treballen a una freqüència i polarització de l'ona úniques, en canvi els moderns sistemes aerotransportats poden operar ja a diverses bandes i amb múltiples polaritzacions. D'aquesta manera s'està augmentant el volum d'informació subministrada, cosa que permet la disminució del soroll *speckle* i el desenvolupament de tècniques de classificació i extracció precisa d'informació. Altres sensors actius de radar són els dispersòmetres i altímetres, els primers dedicats típicament a la formació de mapes de vent sobre la superfície marina, mentre que els altímetres proporcionen una mesura amb precisions de centímetres de les pertorbacions de la superfície, i així posen de manifest per exemple el relleu del fons marí.

3. LES TÈCNiques PASIVES DE MICROONES

El progrés tecnològic en el camp de receptors sensibles de microones ha permès el desenvolupament de sensors passius a aquestes freqüències; això vol

dir que de la mateixa manera que un sistema òptic, el sensor no aporta potència a l'escena sinó que enregistra el nivell de radiació tèrmica emès per la superfície o reflectit d'altres fonts naturals com l'atmosfera o el sol. Aquesta tècnica proporciona informació complementària a les descrites en el punts anteriors, particularment en l'estima del contingut d'aigua del sòl i conreus, a més de la temperatura, la salinitat i el vent sobre el mar [4]. El principal inconvenient de la radiometria és la seva baixa resolució espacial, que està millorant gràcies a les noves tecnologies en antenes. Per a formar la imatge el feix de l'antena escombra mecànicament (fig.1) o electrònicament la regió observada. Les imatges mostren la temperatura aparent de brillantor que depèn de la temperatura física de la superfície, la seva naturalesa, humitat i composició, els efectes atmosfèrics i en el cas del mar la intensitat i direcció del vent a més de la salinitat de l'aigua.

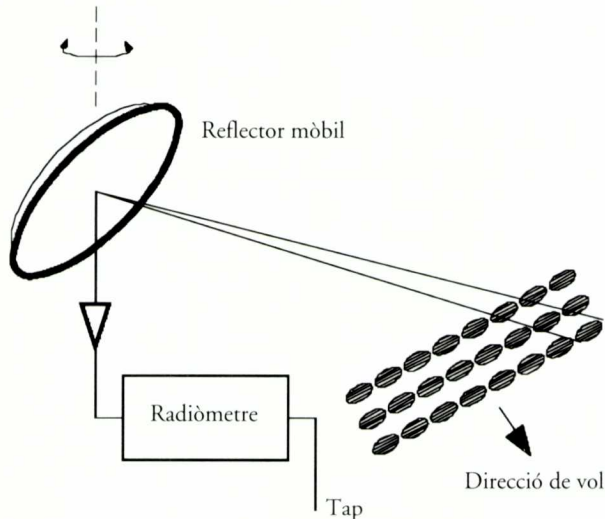


Fig. 1. Geometria d'exploració en un sensor radiomètric de microones.

3.1 Radiació tèrmica superficial i atmosfèrica en microones

La llei de Rayleigh-Jeans [4] descriu adequadament el comportament emissiu d'un cos negre a freqüències de microones. La brillantor B en una direcció θ, ϕ és donada per a un ample de banda Δf per:

$$B(\theta, \phi) = \frac{2k}{\lambda^2} T \Delta f$$

k és la constant de Boltzmann, λ la longitud d'ona observada i T és la temperatura física del cos. Un cos real es pot modelar amb una temperatura de brillantor $T_B(\theta, \phi)$ inferior a la física. La potència de senyal P recollida per un radiòmetre es pot expressar en funció de la temperatura aparent de soroll T_{AP} observada en què s'acostumen a expressar els resultats

$$P = k T_{AP} \Delta f.$$

La temperatura aparent en aplicacions de teledetecció és conseqüència de diverses contribucions: radiació generada per la atmosfera, per la superfície terrestre i reflectida per aquesta en la direcció d'observació, procedent de l'atmosfera o altres fonts extraplanetàries.

El comportament emissiu dels medis marí i terrestre es pot determinar a partir dels coeficients de dispersió de radar biestàtics utilitzant les expressions de Peake [4]. En el mar únicament és necessari considerar els paràmetres superficials, en no existir penetració apreciable en l'aigua salada. El model utilitzat considera el mar com una superfície amb rugositats molt més grans que la longitud d'ona de treball, amb una distribució d'inclinacions de tipus gaussià. Els models existents per al medi continental són de tipus semiempíric, a causa de la dificultat de modelar en profunditat la gran diversitat de situacions possibles. El modelat de la capa vegetal és especialment difícil car existeixen interaccions múltiples en l'estructura de les plantes i el sòl. Els factors amb una major incidència en el comportament emissiu continental són la humitat, la textura i composició, la rugositat, la capa vegetal i el seu grau d'hidratació [4].

L'atmosfera es pot considerar un medi absorbent en la banda de microones sense dispersió apreciable. La seva contribució directa es modela amb una temperatura ascendent i la contribució reflectida per la superfície terrestre es determina a partir de la temperatura atmosfèrica descendent [4]. El càlcul de l'absorció atmosfèrica es realitza a partir de les concentracions d'oxigen, vapor d'aigua i de les formacions nuvoloses. Per a completar els models s'han afegit les fonts de radiació extraterrestre de caràcter puntual com el sol, així com les distribuïdes: soroll de fons de l'univers i el galàctic.

3.2 Simulacions realitzades

A partir dels models anteriors es poden simular en ordinador les imatges que s'obtidrien en funció del tipus i la banda de freqüències del sensor. La figura 2 (esquerra) mostra una imatge del Mediterrani occidental amb els paràmetres del sensor optimitzats per a visualitzar la temperatura superficial; a la dreta es pot veure el mapa real de temperatures on el canvi de color representa un increment d'1°C en direcció al sud des de 17 a 22 °C. L'escala de pseudocolor calibrada a la part superior de la imatge mostra la temperatura aparent de brillantor en graus Kelvin

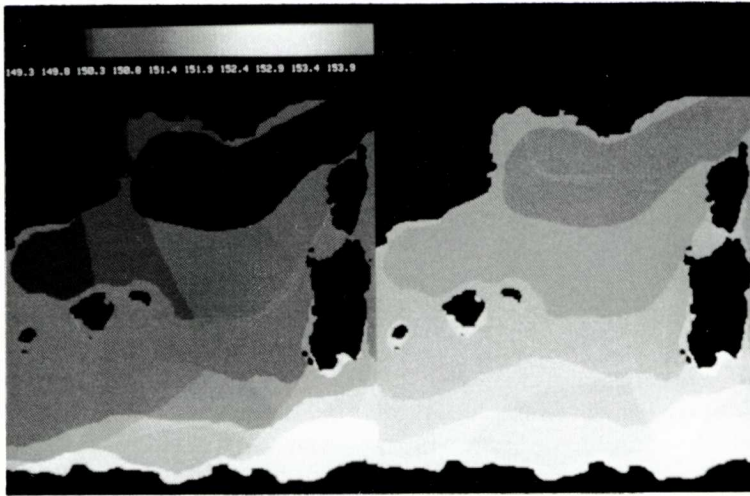


Fig. 2. Imatge de satèl·lit simulada de temperatures aparents del Mediterrani obtinguda a 6.6 GHz amb polarització vertical i 50° d'inclinació respecte a la vertical.

observada. El model utilitzat inclou els efectes de les variacions de salinitat de l'aigua i la direcció i intensitat del vent, que apareixen a la imatge com efectes creuats o pertorbadors per la dificultat d'aïllar totalment aquests paràmetres. És coneguda l'elevada sensibilitat de la temperatura de brillantor amb el contingut aquós del sòl, això es pot constatar a la figura 3 (esquerra) que mostra una imatge continental

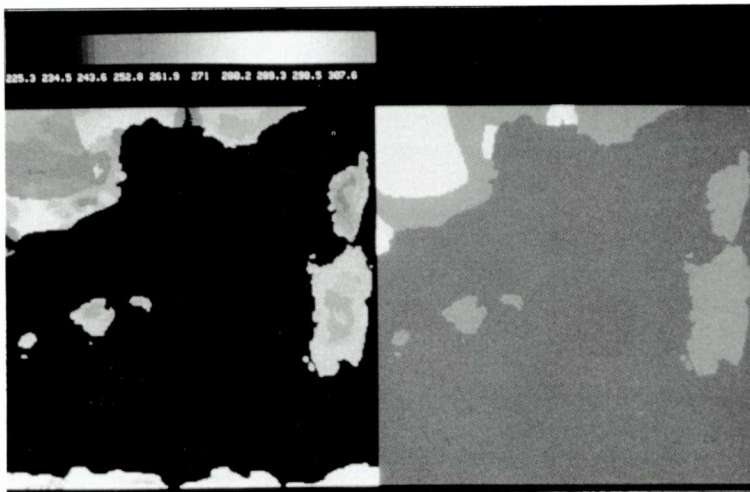


Fig. 3. Imatge de satèl·lit simulada de temperatures aparents de la zona continental de la figura 2, obtinguda a 1.4 GHz i 50° d'inclinació.

simulada de la regió Mediterrània anterior; a la dreta es representa la humitat del sòl de 0.05 gr/cm^3 a 0.35 gr/cm^3 , i es pot observar com les temperatures més fredes corresponen a les zones més humides.

L'obtenció d'imatges amb resolucions espacials de l'ordre de metres requereix sensors que operin a baixa altitud. La figura 4 (esquerra) mostra una

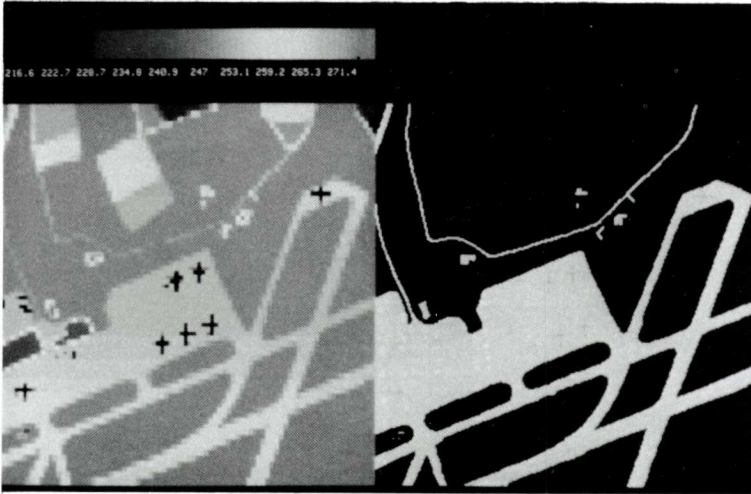


Fig. 4. Imatge amb sensor aerotransportat de l'aeroport del Prat a 35 GHz, polarització horitzontal i escanerat angular de 30° .

imatge simulada de l'aeroport del Prat a Barcelona obtinguda a 35 GHz desde un helicòpter volant a 500 m d'altitud equipat amb una antena mòbil de 60 cm de diàmetre. A la dreta es representen en groc les pistes i la zona d'estacionament. A les escenes s'han introduït diferents tipus de sòl, cultius, tot afegint estructures urbanes i superfícies de ciment i asfalt. A les imatges, els avions, essent objectes metàl·lics amb temperatures de brillantor al voltant de 40 K, contrasten respecte als altres materials amb temperatures al voltant de 200-300 K.

4. TENDÈNCIES FUTURES

Havent constatat el caràcter complementari de les tècniques presentades s'està treballant en la integració de múltiples sensors en una mateixa plataforma, ja sigui avió o satèl·lit. Això, a més d'augmentar el volum d'informació disponible, s'espera que obri tot un seguit de noves tècniques d'explotació i interpretació basades en la fusió o combinació òptima de les dades

subministrades per tècniques diferents. En aquesta línia les grans administracions espacials han iniciat ja programes que culminaran en el llançament de grans estacions orbitals d'observació de la Terra cap a l'any 2000 [5]. Un problema pendent de solució és l'emmagatzematge de les dades subministrades per aquests satèl·lits, que en el cas de l'Earth Observation System (EOS) de la NASA pot arribar a produir un volum de dades equivalent a milers de cintes magnètiques d'ordinador en un sol dia d'operació.

BIBLIOGRAFIA

- [1] P.M.Mather, "Computer processing of remotely sensed images", John Wiley & Sons, Nova York, 1987.
- [2] K.H. Szekiolda, "Satellite monitoring of the earth", John Wiley & Sons, Nova York, 1988.
- [3] C.Elachi, "Spaceborne radar remote sensing: applications and techniques", IEEE Press, Nova York, 1988.
- [4] F.T.Ulaby, R.K.Moore, A.K.Fung, "Microwave remote sensing, active and passive", Vol. 1, Addison Wesley Co. , Reading, MA, 1981.
- [5] Special Issue on the Earth Observation System (EOS) synergism study, IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, Vol. 29, núm. 6, novembre, 1991.