

Els sensors multispectrals aerotransportats

Romà Arbiol i Bertran

Institut Cartogràfic de Catalunya

Introducció

Les imatges que s'utilitzen normalment en els treballs fotogramètrics són captades i enregistrades usant diverses combinacions de pel·lícules i filtres sensibles a les zones de l'espectre electromagnètic localitzades en l'ultraviolat, el visible i l'infraroig proper. Els escàners multispectrals poden captar la mateixa imatge en diverses bandes espectrals simultàniament. Les dades s'enregistren de manera digital i posteriorment produeixen les imatges multispectrals.

La teledetecció, com el seu nom indica, tracta de la captació d'informació a distància. En aquest sentit, podem considerar que els nostres ulls són sensors de teledetecció i, de fet, ho són. En considerar els sensors artificials, construïts per estendre la capacitat espacial i espectral dels nostres ulls, podem pensar que la càmera fotogràfica ha estat, amb diferència, el primer sensor de teledetecció i el més estès.

Malgrat la correlació generalitzada entre teledetecció i sensors instal·lats en plataformes espacials, els primers sensors multispectrals van funcionar sobre avions i no va ser fins molt més tard quan es van desplaçar en l'espai.

Sensors MultiEspectrals Aerotransportats (SMEA)

A grans trets, podem classificar els sistemes de captura d'imatges a distància en dues categories, segons la manera de captar les imatges: sistemes de captura superficial instantània (*frame systems*) i sistemes d'escombratge (*scanning systems*):

- Els primers (*figura 1*) adquireixen de manera instantània la imatge d'una superfície de terreny. L'ull humà es pot considerar un exemple d'aquest tipus de sistema. Una càmera utilitza una lent per formar una imatge de l'escena en el pla focal, que és el pla en el qual la imatge està ben definida. Aquest tipus de sistemes poden ser orgànics (com l'ull) o inorgànics, analògics (com les càmeres fotogramètriques) o digitals.
- Els sistemes d'escombratge utilitzen un detector amb un camp de visió molt estret, que es mou sobre el terreny per pro-

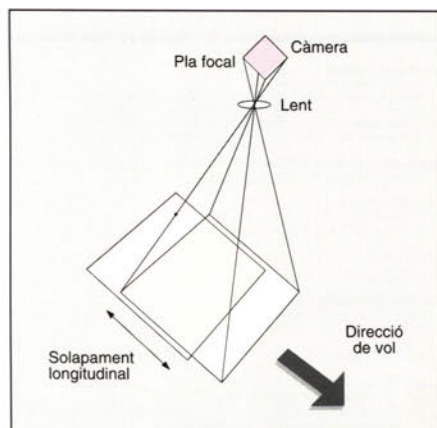
duir la imatge. Quan els fotons d'energia electromagnètica radiada o reflectida pel terreny cauen sobre el detector, es produeix un senyal elèctric que varia en proporció al nombre de fotons. El senyal és amplificat, enregistrat en un suport magnètic i després processat per produir una imatge. Una altra vegada a grans trets, els podríem dividir en dos grups, d'acord amb la manera de fer l'escombratge del terreny: perpendicularment a la trajectòria (*cross-track*) i al llarg de la trajectòria (*along-track*).

Els escàners multispectrals d'escombratge transversal (*figura 2*) han estat en operació sobre avions des de l'any 1960. El sensor Daedalus és un membre típic d'aquesta classe. En essència, empenen un mirall facetat que gira en un eix de rotació paral·lel a l'eix de vol. El mirall escombra el terreny en un patró de línies paral·leles orientades en direcció normal al pla de vol. L'angle del detector observat en el sòl, mesurat en miliradians, s'anomena IFOV (*Instantaneous Field of View*) i la superfície que aquest angle esten sobre el sòl s'anomena píxel o cèl·lula de resolució en el sòl.

A diferència dels sensors instal·lats en plataformes espacials, els sensors aerotransportats poden variar la dimensió del punt visualitzat en el sòl, simplement variant l'altura de vol i la velocitat d'escombratge.

En els últims anys, aprofitant el desenvolupament de les tècniques basades en detectors CCD (*Coupled Charge Devices*), han sortit al mercat un conjunt de sensors multispectrals nous, que usen, però, una tècnica d'escombratge longitudinal (*figura 3*). Un exemple clar d'aquests sensors nous és el CASI d'ITRES. En aquest cas, s'elimina el mirall giratori i es proporciona un detector individual per a cada cèl·lula de resolució en el sòl al llarg de la passada. Els detectors es col·loquen en una barreta lineal en el pla focal de la imatge formada pel sistema òptic. L'eix de la primera barreta es col·loca perpendicularment a la primera direcció de vol. En aquest cas, cada detector visualitza una línia de terreny paral·lela a la línia de vol.

Figura 1:
Esquema dels sistemes de captura superficial instantània



Usualment, el focus de la lent consta d'alguna cosa més que una simple barreta de sensors. Atès que es pretén disposar d'un sensor sensible a diferents zones de l'espectre, s'hi sol incloure una barreta per a cada una de les finestres espectrals, encara que totes estiguin incloses en el mateix sensor.

Últimes tendències

Cal fer esment a part al concepte d'espectroradiòmetre, en el qual aquella idea d'obtenir la reflectància en diverses finestres de l'espectre electromagnètic s'ha estès considerablement i ha arribat a tenir gairebé un espectre de reflexió continu per a cada píxel. Aquesta eina és especialment important quan es vol mesurar una variació subtil corresponent, per exemple, a la influència d'un contaminant en la vegetació, o la discriminació de diferents compostos minerals en el sòl d'una regió.

Veritablement, potser per tancar el cercle, cada vegada es torna més al concepte de sensor superficial, utilitzant una evolució dels sistemes digitals basats en la tecnologia CCD de barreta.

En aquest cas es tracta d'utilitzar detectors CCD bidimensionals (figura 4), en els quals es captura de manera simultània la imatge d'una superfície, com és el cas del sensor ADAR de PosmvE SYSTEMS. Els límits de la tecnologia actual permeten treballar amb sensors que arriben a 4 096 x 4 096 detectors.

Virtuts i desavantatges dels SMEA

Intentarem il·lustrar els avantatges i inconvenients d'utilitzar aquest tipus de sensors i els compararem amb les alternatives disponibles en les aplicacions en què s'utilitzen.

Comparació dels SMEA i la càmera fotogràmica

- El sensor i la càmera poden arribar a utilitzar els mateixos avions, ocupar-hi els mateixos forats i gaudir dels perifèrics que, tal com una plataforma estabilitzada, faciliten l'operació d'aquests sistemes.
- L'avantatge més evident dels sensors multispectrals rau en el fet que el seu procés és digital i, en un lapse de temps molt curt, es poden visualitzar les imatges i començar a treballar, en comparació amb el llarg procés de revelatge i positivatge de la fotografia aèria. Aquest fet és important quan s'ha de donar una resposta ràpida a l'estudi de fenòmens catastròfics, per exemple, la localització de focus d'incendis forestals per guiar els equips d'extinció.
- També, el fet que la captació d'imatges és digital en origen facilita el calibratge

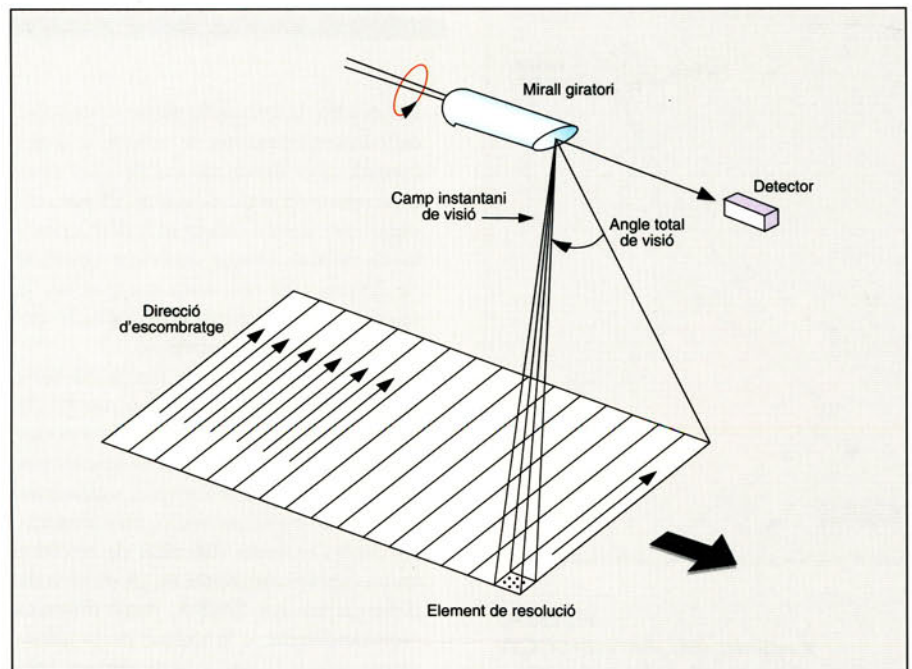
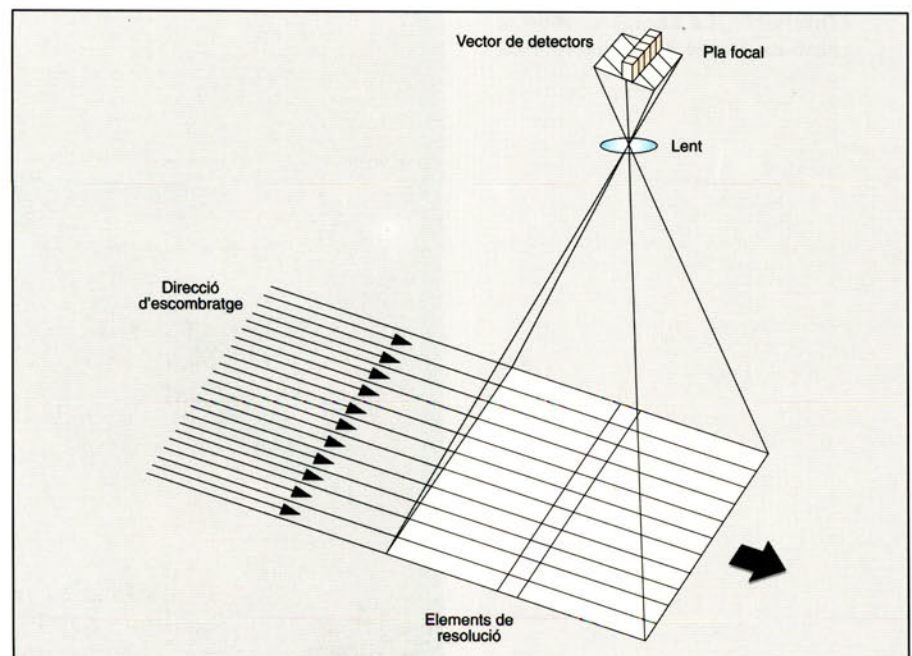


Figura 2:
Esquema dels escàners multispectrals d'escombratge transversal

de les dades, en comparació amb el sistema analògic de processament de la fotografia aèria. En aquest cas, es pot treballar amb valors de reflectància, la qual cosa fa possible relacionar els resultats de diverses campanyes, tot independentzant els resultats de la major o menor lluminositat i de la influència del processament químic.

- Els sensors SMEA també tenen avantatges quan es tracta d'estudiar la quantitat de llum que reflecteix un objecte en finestres molt estretes de l'espectre electromagnètic, en comparació amb les opcions IRC o color natural de la fotografia aèria. Això és important en aplicacions en què hi ha variacions subtils en zones concretes de l'espectre, com és el cas de les aplicacions de geobotànica.

Figura 3:
Esquema dels sensors multispectrals que usen la tècnica d'escombratge longitudinal



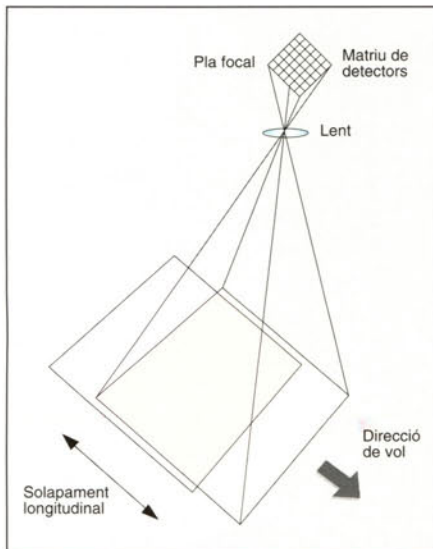


Figura 4:
Esquema dels detectors CCD
bidimensionals, emprats en
els sensors superficials

- Per contra, la fotografia aèria es pot batre difícilment en termes de volum de dades captades per unitat de temps i per cm^2 , o en termes d'arxiu de dades. Es pot calcular que un sol fotograma d'alta resolució, en blanc i negre, amb una superfície de $23 \text{ cm} \times 23 \text{ cm}$, amb la capacitat de resoldre 400 línies per mm conté diversos GigaBytes d'informació.
- Un altre avantatge de la fotografia aèria és la facilitat per establir un model de deformació geomètrica rigorós i poder resoldre'l amb la informació que es pot obtenir fàcilment al camp o mitjançant sistemes de posicionament, en comparació amb l'extrema dificultat de resoldre les incògnites implícites en els models de deformació dels SMEA. Això dificulta considerablement la utilitat de la informació derivada per aquests sensors, atès que no és senzilla la seva integració en un Sistema d'Informació Geogràfica (SIG).

*Comparació dels SMEA
i els Sensors MultiEspectrals Embarcats
en satèl·lit (SMEE)*

- L'avantatge més gran dels SMEA és la possibilitat de seleccionar les dimensions del píxel en el sòl, variant l'altura de vol i la velocitat de captura del sensor. Al contrari, els sensors embarcats en satèl·lits són esclaus de l'òrbita en què es troben.
- Un avantatge important és la possibilitat de volar el dia i a l'hora que es desit-

gi, sense estar lligat pel moviment orbital del satèl·lit que passa per sobre d'una zona determinada un dia i una hora fixats. Aquesta estabilitat és conseqüència de les òrbites heliosíncrones que segueixen la major part dels satèl·lits d'observació de la Terra.

- Un altre avantatge és la possibilitat de volar per sota dels núvols, en condicions de temps cobert, que impossibiliten la captura d'imatges des de l'espai, però que són possibles des d'un avió; és molt útil en els casos en què sigui urgent l'obtenció d'imatges.
- També s'ha de tenir en compte l'avantatge de volar amb avió, amb sensors experimentals, atesa la dificultat i el cost de col·locar sistemes en òrbita, la qual cosa motiva l'elecció d'opcions conservadores quan es dissenyen plataformes noves. Això és fàcil de veure en el cas de sensors basats en microones, rang en què és operatiu el satèl·lit europeu ERS-1, la sèrie Almaz i, ocasionalment, el SIR volant en la llançadora espacial nord-americana, mentre que actualment és possible obtenir imatges amb sensors aerotransportats multifreqüència (banda C, banda L, etc.) i multipolarització (HH, VV, etc.).
- Com a argument contrari, hi ha el preu, atès que les imatges dels sensors embarcats en satèl·lit tenen un preu (per Byte o per km^2) molt inferior al dels vols fets a mida de l'usuari, en bona part perquè els preus de les imatges espacials no inclouen

Foto 1:
Imatge en fals color dels canals
9, 5, 2 originals del vol a gran altura.
Com es pot observar, és una imatge
totalment irreconstruïble
i inservible. La imatge es mostra
amb un factor d'ampliació de 2



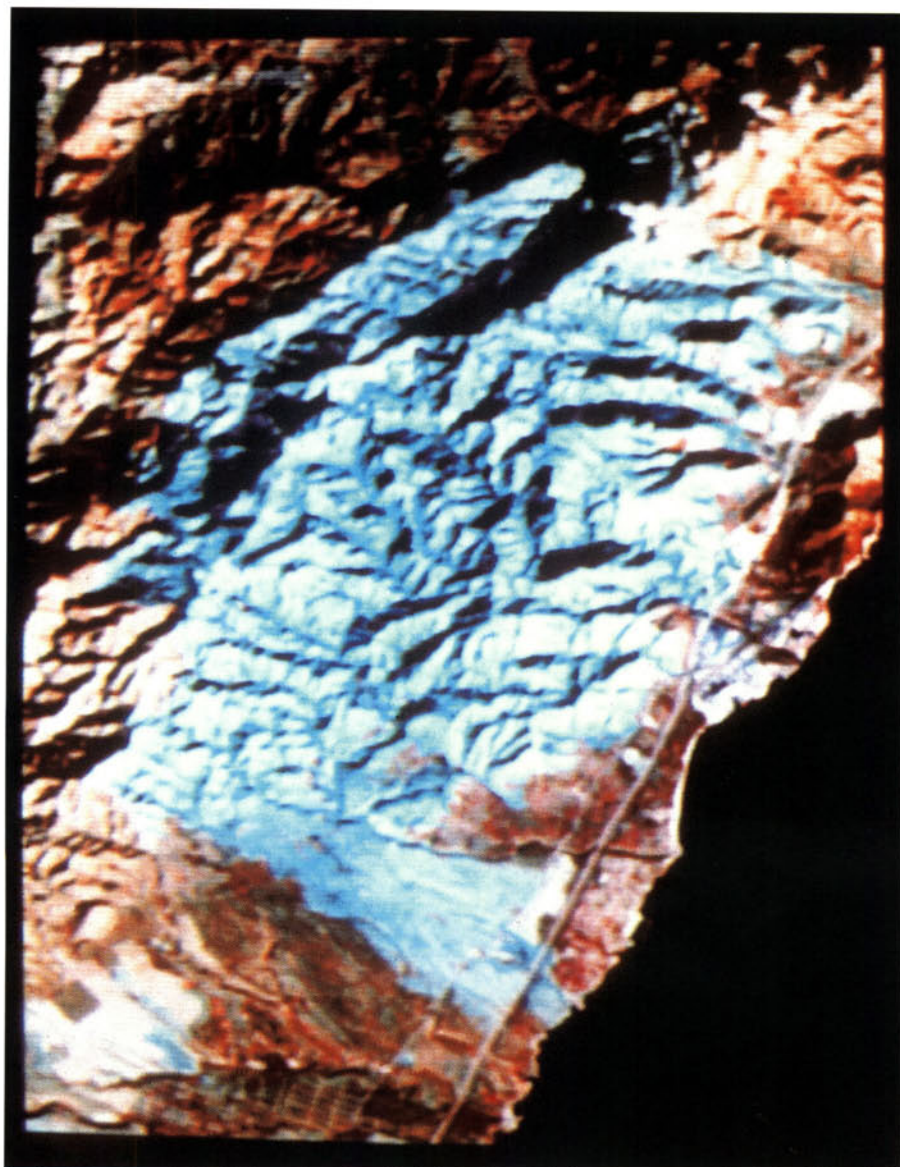
usualment l'amortització del desenvolupament i llançament dels sensors.

- Un altre avantatge dels SMEE és l'arxiu històric de dades existents sobre gairebé tot el món, que permet fer un seguiment de fenòmens dinàmics. Aquest arxiu comprèn vint-i-dos anys per a les imatges de la sèrie satèl·lits LANDSAT.
- També la geometria té un paper en aquesta comparació, atès que el moviment de les plataformes espacials, sobre les quals s'instal·len sensors multiespectrals, és molt més estable, especialment si es comparen amb el d'un avió, la qual cosa permet una correcció geomètrica més senzilla i estable, i una integració més fàcil amb les dades d'un SIG.

Conclusió

Malgrat el que s'ha assenyalat en l'apartat anterior, en què s'enfrontaven els sensors aerotransportats amb la fotografia aèria o els sensors embarcats en satèl·lit, cal apuntar que el fet més usual és que tots presentin acusades sinèrgies, la qual cosa porta a utilitzar molt sovint fotografia aèria i imatges multiespectrals de manera simultània, o combinar les imatges d'un vol amb les obtingudes des del satèl·lit sobre la mateixa zona.

Foto 2:
Imatge en fals color dels canals
4, 5, 7 originals captada pel satèl·lit
LANDSAT-5. S'observa l'abast
de l'incendi succeït el setembre
de 1984 a Vandellòs



Totes les Comarques de Catalunya

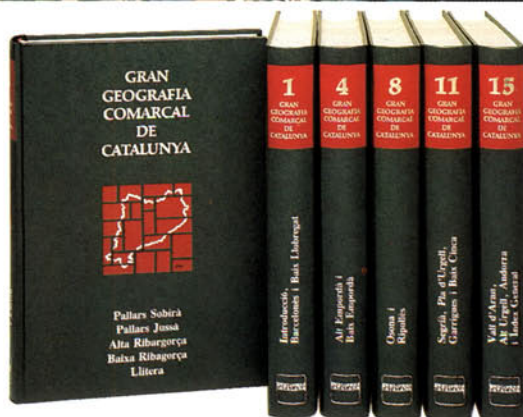
La Gran Geografia Comarcal de Catalunya analitza la realitat catalana a partir de l'estudi de la comarca, tot contemplant-ne els aspectes històrics, demogràfics, culturals, etc. i continua amb l'anàlisi detallada d'aquests mateixos aspectes en tots i cadascun dels municipis que la integren

En aquesta obra es presenta, per primera vegada, la NOVA DIVISIÓ COMARCAL

GRAN GEOGRAFIA COMARCAL DE CATALUNYA

CARACTERÍSTIQUES TÉCNIQUES:

- 15 volums de gran format 21 x 29,5 cm en simil de pell i estampats en plata • 6.500 pàgines de text
- 5.547 fotografies (terrestres i aèries) • 800 mapes, dibuixos, plànols de ciutats, gràfics, escuts, etc., elaborats especialment per a aquesta obra per l'Institut de Geografia Aplicada.



derivada de l'aplicació de la Llei d'Ordenació Territorial del 1987 i els canvis d'adscripció municipal aprovats pel Parlament de Catalunya l'any 1990.

Estic interessat a rebre més informació sobre l'obra **GRAN GEOGRAFIA COMARCAL DE CATALUNYA**

Nom i Cognoms _____ AC-983

Adreça _____ Tel _____

Població _____ C.P. _____

ENCICLOPÈDIA CATALANA

Envieu-ho a: **DIGEC S.A.** Diputació, 250 - 08007- Barcelona

SI VOLS GUANYAR TEMPS, TRUCA'NS AL TELÈFON **900 300 122**