

ANEXO A:

Breve reseña sobre la evolución de los sensores remotos

La cámara fotográfica sirvió como idea primitiva de sensado remoto por más de 150 años. La idea de fotografiar la superficie terrestre, surgió alrededor de 1840 con fotos tomadas desde los globos aerostáticos. Para la primera guerra mundial, las cámaras montadas en aeroplanos proveían vistas aéreas de largas superficies terrestres, que resultaban sumamente importantes para reconocimiento militar [Gat97].

A partir de allí hasta principios de 1960, la fotografía aérea se mantuvo como herramienta estándar para explorar la superficie desde una perspectiva oblicua o vertical.

Alrededor de 1946, se adquirieron imágenes desde Alemania después de la Segunda Guerra Mundial. Esto fue referido como programa “Viking”.

Los primeros sensores que no estaban basados en cámaras fotográficas, y que se montaron en satélites tuvieron el propósito de observar las nubes. El primer satélite meteorológico, TIROS-1, fue lanzado el 1 de abril de 1960.

Durante los 60's, los sensores de imágenes sofisticados fueron incorporados en satélites. Los primeros fueron cámaras de TV básicas que obtenían imágenes de nubes y de la superficie de la Tierra en blanco y negro y con baja resolución. Otros tipos de sensores fueron desarrollados y tomaban imágenes usando el espectro electromagnético más allá del visible, en las regiones del infrarrojo cercano y termal. El campo de visión era amplio, usualmente 100 kilómetros.

Aproximadamente en 1970 fue cuando se alcanzó una madurez en el sistema operacional para recolectar información sobre la tierra, y coincidió con la puesta de los instrumentos de sensado en laboratorios espaciales y en el Landsat (primer satélite dedicado específicamente a monitorear superficies terrestres y océanos y así mapear los recursos culturales y naturales). Para 1980 una variedad de sensores especializados (CZCS, HCMM, y MAVHRR) fueron puestos en órbita como programas de investigación.

Algunos de los principales observadores de la tierra son: Landsat 1-6 (1973), Seasat (1978), HCMM (1978), SPOT 1-3 (France, 1986), RESURS (Rusia 1985), IRS (1 A - 1 D) (India 1986), ERS 1-2 (1991), JERS 1-2 (Japón 1992), Radarsat (Canadá 1995), ADEOS (Japón 1996). También hay sistemas de radares volando en “shuttles” espaciales.

Descripción de los sensores remotos más conocidos

Landsat: The Multispectral Scanner

Los dos primeros Landsat soportaban dos sistemas de sensor. El RBV (Return Beam Vidicon) que consiste de 3 cámaras que usan filtros de color para proveer bandas multiespectrales centradas en azul-verde, amarillo-rojo, y rojo IR. El otro instrumento es el MSS (Multi-Spectral Scanner), utiliza un espejo de “scan” oscilante que se desplaza en un ángulo de +/- 2.89 grados. La luz reflejada recogida por este “scan” pasa a través de un tren óptico donde es particionada en 4 filtros que producen las bandas espectrales. Luego la luz de cada filtro alcanza su conjunto de 6 detectores electrónicos que subdividen el “scan” en 6 líneas paralelas, cada una equivalente a un ancho de suelo de 79 m.

Landsat: The Thematic Mapper

Es un sensor de imagen multiespectral más sofisticado, llamado Thematic Mapper (TM). Se agregó a los Landsat 4, 5 y 6. Tiene una semejanza en los modos operacionales al MSS, el TM consiste de 7 bandas que tienen las siguientes características:

Banda No.	Intervalo longitud de onda (µm)	Respuesta Espectral	Resolución (m)
1	0.45 - 0.52	Azul-Verde	30
2	0.52 - 0.60	Verde	30
3	0.63 - 0.69	Rojo	30
4	0.76 - 0.90	Cercano Infrarrojo	30
5	1.55 - 1.75	Medio Infrarrojo	30
6	10.40 - 12.50	Infrarrojo Termal	120
7	2.08 - 2.35	Medio Infrarrojo	30

Las seis bandas de reflectancia obtienen su resolución efectiva a una altitud de órbita nominal de 705 km. (438 millas), a través de un IFOV de 0.043 mrad. La séptima banda es el canal termal, el cual tiene un IFOV de 0.172 mrad.

SPOT y otros sistemas de satélite

Los “scanners” MSS y TM fueron los primeros en observar la tierra durante los 70’ a los 80’. Pero estos instrumentos contienen partes que se mueven como los espejos oscilantes que están sujetos a fallas. Se desarrolló luego otro enfoque para sensar la radiación y se llamó Pushbroom Scanner (o “scanner” escobillón). Este utiliza un CCD (“Charged Coupled Devices”) como detector. Un CCD es un chip pequeño el cual es sensible a la luz. Las cargas electrónicas son desarrolladas en un CCD cuyas magnitudes son proporcionales a las intensidades de radiación impregnada durante un intervalo de tiempo instantáneo (tiempo de exposición). Una línea de estos chips se dispone como un arreglo de una o dos dimensiones. El número de elementos por unidad de longitud determinan la resolución espacial de la cámara. Usando filtros para seleccionar los intervalos de longitud de onda, cada uno asociado con su arreglo CCD, se puede obtener el sensado multibanda. La única desventaja de los sistemas CCD actuales es su limitación para los intervalos visibles y cercano infrarrojo del espectro electromagnético.

Estos satélites se volvieron herramientas muy importantes para el estudio de la Tierra. Como en la fotografía convencional, el nivel de gris de las imágenes indica diferencias en las propiedades ópticas y esto lleva a una diferenciación de los materiales. Mejor aún, resultaron las imágenes obtenidas usando distintos filtros color, que permiten estudiar la atmósfera, los océanos, etc. Esto define el nacimiento de las imágenes multiespectrales que se remontan a los primeros satélites Landsat. Los sensores ya vistos como el Landsat TM o Spot, producen imágenes corregistradas de varios colores discretos o bandas espectrales.

El siguiente avance surge de extender este concepto a cientos de bandas angostas. Estas imágenes reciben el nombre de **hiperespectrales**, y consisten de muestreos continuos de intervalos anchos del espectro. Permiten mejorar la determinación de la

composición a nivel subpixel. Esto significa que aún si un objeto no se puede resolver espacialmente en una escena, su contribución espectral puede ser detectada y mapeada. Las aplicaciones ambientales de sensado remoto como el monitoreo de la deforestación, son mejoradas por las altas resoluciones espectrales que proveen las imágenes hiperespectrales. Las imágenes hiperespectrales nacieron a principios de los 80' con el espectrómetro de imágenes aéreas (Airborne Imaging Spectrometer) y más tarde con el AVIRIS (Advanced Visible and InfraRed Imaging Spectrometer). El salto de imágenes multi a hiperespectrales para sensado remoto requirió de una tecnología diferente de instrumentos.

El primer sensor hiperespectral fue lanzado en 1997 a bordo del satélite Lewis de la NASA. Conteníá 384 bandas que cubrían desde los 0.4 a los 2.5 μm . Pero desafortunadamente, tuvo problemas de control y calló de la órbita a los pocos meses.

Naval Earth Map Observer (NEMO)

Se prevé que para fines del 2001 será lanzado el primer satélite que producirá imágenes hiperespectrales. El NEMO (Naval EarthMap Observer) será capaz de proveer imágenes hiperespectrales y pancromáticas.

Los sistemas de sensado remoto pueden ser categorizados de acuerdo a diferentes criterios:

- Cobertura/ resolución espacial y radio de repetición
- Rango espectral
- Tecnología del sensor

Cobertura/ resolución espacial y radio de repetición

Esto representa el mejor punto de vista del usuario, el cual está mucho más centrado en la variabilidad espacial y temporal del fenómeno a ser observado que en aspectos tecnológicos del proceso de observación.

Los sensores de muy alta resolución espacial se caracterizan por:

- Resolución espacial: tamaño de pixel < 10 m.;
- Cobertura espacial moderada: 10 a 100 km. de ancho de barrido;
- Cobertura temporal moderada: ciclo de repetición de 1 a 3 semanas
- Son principalmente usados en aplicaciones que requieren una observación a las escalas locales

Los sensores de resolución espacial baja o sensores de monitoreo se caracterizan por:

- Resolución espacial: tamaño de pixel > 2 km.;
- Cobertura espacial alta: más de 500 km. de ancho de barrido;
- Cobertura temporal alta: ciclos de repetición de menos de tres días.
- Son usados operacionalmente en aplicaciones relacionadas con los procesos altamente dinámicos a escalas continentales a globales, por ejemplo para climatología/meteorología, oceanografía, cambio global terrestre, etc.

Rango espectral: sistemas ópticos vs sistemas de radar:

Las longitudes de onda ópticas se sitúan en el rango que va del espectro visible al infrarrojo. Las longitudes de onda de radar están situadas en el rango de ondas denominadas microondas

Un sensor óptico es un sistema pasivo, que mide la radiancia reflejada por el sol y la radiación emitida por los objetos observados.

Un radar es un sensor activo, el cual emite un flujo de radiación electromagnética (en el rango de las microondas) y detecta las ondas reflejadas por los objetos.

Los sensores pasivos en el rango visible no pueden ver a través de las nubes, mientras que esto es posible para el rango de las microondas. Las imágenes de radar pueden entonces observar la superficie de la Tierra en áreas con cobertura permanente de nubes, y a la noche. Resultan más apropiadas para aplicaciones de los trópicos húmedos.