

Realización del mapa de Catalunya a escala 1/250.000 a partir de imágenes del satélite ERS-1

C. Franquesa.

Institut Cartogràfic de Catalunya. Balmes 209-211. 08006 Barcelona

RESUMEN

En este artículo se resumen 100 distintos procesos seguidos para construir el primer mapa de Catalunya, a escala 1:250.000, utilizando imágenes SAR del satélite ERS-1 de la Agencia Espacial Europea, lanzado en julio de 1991. Debido a la diversidad de tratamientos que sufren las imágenes para componer el mapa final, no se detalla rigurosamente si se muestra implementación alguna de ninguno de ellos. Se trata sólo de presentar los problemas, afrontados de forma secuencial, partiendo de los datos recibidos.

Estos es, la obtención de imágenes en formato operativo, las correcciones geométrica y radiométrica, el mosaico y los efectos finales añadidos.

PALABRA CLAVE: ERS-1, ortoimagen, radar.

ABSTRACT

In this paper we will describe all different processes carried out to build the first map of Catalonia, at scale 1:250.000, using European Space Agency ERS-1 SAR imagery, launched in July 1991.

Due to the number of operations that images undergo to construct the final map, we will neither get into detail too deeply nor show any implementation of these operations. So, the purpose of the document is just to present the sequential problems, starting from the initial data. This means, conversion of data to an operative format, the geometric and radiometric correction, the mosaic, and final added effects.

KEY WORDS: ERS-1, orthoimage, radar.

INTRODUCCIÓN

Los datos proporcionados por el satélite ERS-1, debido a su ventana espectral en la banda de las microondas, son de naturaleza poco elocuente por no decir críptica. Este hecho tendrá repercusiones en casi cada uno de los pasos para realizar el mapa.

Así como los sensores ópticos suministran imágenes relativamente cómodas para su interpretación, las proporcionadas por el radar de apertura sintética nos proporcionan:

- (a) En el sentido geométrico, una deformación consistente en posicionar los puntos del territorio en la imagen no según sus posiciones relativas en el terreno, sino en función de su distancia real al sensor (de ahí la necesidad de utilizar un modelo numérico de elevaciones para su corrección) quedando tanto más a un lado de la imagen cuanto más elevado sea el terreno en ese punto, y sumando la respuesta de todos los puntos que equidisten al satélite. Eso provoca un efecto de achatamiento en las zonas montañosas así como estiramientos y contracciones de la superficie de forma proporcional al área encarada al sensor. Es decir, de las dos vertientes que forma un monte en el plano de barrido (plano del papel en Fig. 1) del sensor para una línea de imagen dada,

tendremos la acumulación (suma) de la señal reflejada de toda una vertiente en unos pocos puntos con alta señal radiométrica, y un área mayor de menor señal correspondiente a la vertiente opuesta.

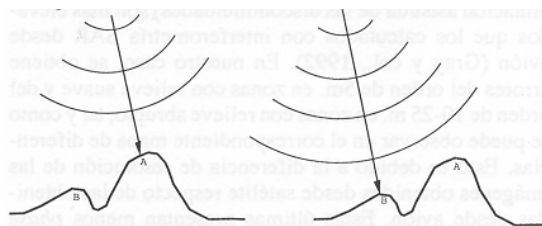


Figura 1.- Comportamiento geométrico. Motivo de achatamiento. Dirección de vuelo, hacia dentro del papel. El punto A, debiendo estar más a la derecha en la imagen final, puede aparecer a la izquierda de B por encontrarse más cercano al sensor.

- (b) En el sentido radiométrico, una intensidad energética tanto más fuerte cuanto mayor sea la rugosidad de la superficie, lo cual provoca, por ejemplo, cambios significativos en el agua del mar en distintos momentos, con los siguientes problemas de mosaico. Tengamos presente que una superficie totalmente lisa no respondería a las ondas emitidas por la antena por no estar ésta trabajando en posición vertical. Este comportamiento se muestra en Fig. 2.



Fig. 2.- Comportamiento radiométrico.

DATOS INICIALES

El conjunto de datos iniciales para efectuar el mapa consta de 14 imágenes ERS-1 en formato SAR. PRI (16 bits en Ground Range). Estas imágenes fueron tomadas en 5 órbitas descendentes (4032, 4075, 4347, 4805 y 10130) en fechas 23, 26 de abril, 15 de mayo, 16 de junio de 1992 y la última de ellas en 23 de julio de 1993. El tamaño del píxel original es de 12.5m. La disposición de estas imágenes se muestra en Fig. 3

- Información orbital de cabecera de las imágenes.
- Puntos de control en el suelo.
- Un modelo de elevaciones del terreno MNE con distancia inicial inter-píxel de 15m a partir del cual calculamos otro igualmente válido a 60m, puesto que la diferencia es apenas apreciable en la escala final, y, a cambio, nos libramos de tratar gran cantidad de información en los distintos procesos en los que interviene.

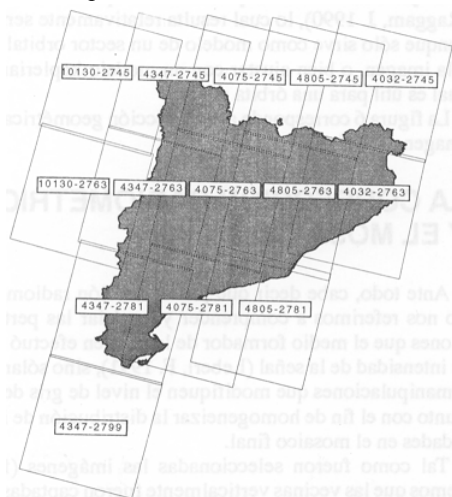


Fig. 3.- Disposición de las Imágenes Iniciales. Se muestran los identificadores órbita-trama

MAPEO A 8 BITS y SENTIDO ORBITAL

Puesto que utilizamos sistemas informáticos de 8 bits para la operación y visualización de imágenes, tuvimos que decidir en qué momento de la cadena de tratamientos realizaríamos la compactación.

En este tipo de imágenes, sabemos que si la sometemos a un mapeo lineal de los 65536 valores representables por los datos originales a los 256 que nos impone nuestra tecnología obtendremos

imágenes oscuras, casi negras e inútiles para la interpretación. Esto obedece a que en la imagen inicial, del extenso rango de valores posibles para cada píxel, tan sólo un 0.7% superan el nivel digital 800, siendo éstos, píxeles no de información sino de ruido en las muy ruidosas señales producidas por este tipo de sensores. Así pues, nos quedamos con un mapeo lineal que asocia valores de 0 a 255, a los iniciales dentro del rango (0,800), saturando la imagen por encima de este umbral.

Simultáneamente a esta compactación también resolvemos la presentación especular inicial de los datos. Para saber cómo hay que invertir la imagen original es necesario conocer el sentido de la trayectoria del satélite en el momento de producirlas. Por los efectos de achatamiento hacia el sensor ya mencionados, la complejidad que supondría hacer un mosaico a partir de un conjunto de imágenes tomadas en distintos sentidos de trayectoria (ascendente y descendente), resulta previsible. Además, para recubrir un territorio siempre es preferible disponer de imágenes dispuestas en forma de retícula regular: condición que no se cumpliría si hubieran sido tomadas en distintos sentidos de trayectoria.

El satélite viaja siempre mirando hacia su derecha. De ahí se deduce la posición del eje especular al que hay que someter a los datos.

En la Fig. 3 se muestra un modelo de captación de datos para ambos sentidos de trayectoria. (a) trayectoria descendente, nuestro caso, primero se captura la línea superior, eso está bien, pero sin embargo dentro de cada línea, la columna más cercana al sensor es la de la derecha (izquierda según el sensor), i.e., la primera que se capturará y así, será posicionada en la izquierda de nuestra imagen. (b) trayectoria ascendente, correcto para los píxeles de una línea pero inverso el orden de las líneas. Con la corrección especular realizada, los datos están listos para la búsqueda de puntos de control. La figura 5, que corresponde a la órbita 4805, frame 2763, se encuentra en este estado de corrección.

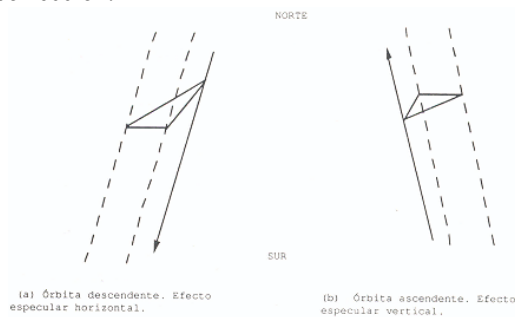


Fig. 4.- Modelo de captación de datos.

OBTENCION DE LOS PUNTOS DE CONTROL EN EL SUELO

Esta no resulta una tarea fácil con las imágenes de radar, debido al elevado nivel de ruido así como

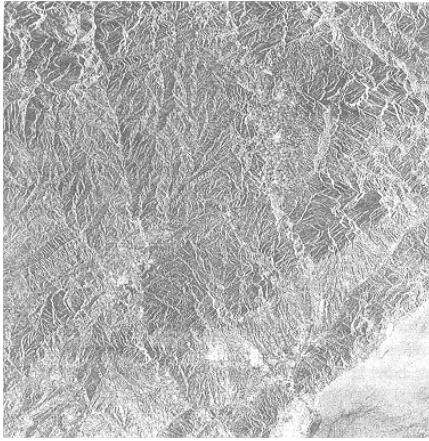


Fig. 5.- Imagen 4805-2763 compactada a 8 bits con el efecto especular resuelto

a las notables deformaciones comentadas más arriba. De una ventaja sí que podemos hablar: la ausencia de nubes, que habilita cualquier área de la imagen para ser usada para este fin.

En media, se utilizaron 10 puntos de control para cada imagen. Para ello se tomaron distintos planos de referencia, tales como ortofotomapas 1:25000, e imágenes georreferenciadas de satélites con sensores ópticos (SPOT-HRV, LANDSAT-TM). Las alturas de cada punto se extrajeron directamente de una base de datos.

Aunque no se puede objetivar el proceso de selección de puntos, orientativamente se muestra una cierta disposición al uso de embalses o laderas extensas en las zonas montañosas y carreteras o demás características lineales en las áreas más planas. De todas formas, la búsqueda de estos puntos resulta un trabajo engorroso que conviene automatizar en un futuro próximo.

LA CORRECCION GEOMETRICA

Cualquier corrección geométrica puede asumirse tomando por variable independiente al territorio, o bien a la imagen; i.e., para cada punto del territorio, calcular las coordenadas en la imagen para obtener su nivel de gris, o bien para cada punto de la imagen, con su nivel de gris, calcular qué coordenadas le corresponden en el territorio. En nuestro caso utilizando el primero de los criterios.

Llamando x_p , y_p a la posición del punto en el territorio y f , c a las coordenadas correspondientes en la imagen original, la rectificación se realiza efectuando los siguientes pasos (Palà, V. 1993):

- para cada punto del territorio (x_p , y_p)
- obtener la altura del terreno en el punto z_p del MNE
- calcular coordenadas geocéntricas del punto P
- calcular la velocidad del punto debido al movimiento de la Tierra p'
- calcular el tiempo t_p tal que

$$(p' - s') (p - s) = 0$$

siendo s , s' la posición y velocidad de satélite. Utilizamos esta aseveración por la definición de la imagen, en la que el proveedor postula que para cada línea, la frecuencia Doppler del centroide es igual a cero.

- cálculo de la columna.

Tomando $rs = |p - s|$, tenemos

$$c = \left| \frac{r_s - r_0}{\text{pix}} \right| \text{ para imágenes en Slant Range, o bien}$$

$$c = c_0 + c_1 r_s + c_2 r_s^2 + c_3 r_s^3$$

para imágenes en *Ground Ranged* donde r_s es el valor del píxel en *slant range*, r_0 es el valor de referencia para toda la imagen de *slant range*, pix es el tamaño del píxel, y los coeficientes C_0, \dots, C_3 son los de paso de *slant* a *ground range*.

- cálculo de la fila

$$f = \frac{t_p - t_0 * \text{total_filas}}{t_r - t_0}$$

donde t_0 , t_r son los tiempos de la primera y la última fila. Nótese que el paso cuarto es el más complicado, puesto que requiere un ajuste previo para la órbita del satélite además de ser un paso iterativo en el que se puede aprovechar la localidad de los datos. Es aconsejable pues, mantener una tabla de posición y velocidad del satélite para cada línea.

El ajuste orbital inicial puede hacerse polinómicamente (Raggam, J. 1990), lo cual resulta relativamente sencillo, aunque sólo sirve como modelo de un sector orbital local a la imagen, o bien ajustar con un modelo kepleriano, lo cual es útil para una órbita entera.

La figura 6 corresponde a la corrección geométrica de la imagen de la figura anterior.

LA CORRECCION RADIOMETRICA Y EL MOSAICO

Ante todo, cabe decir que por corrección radiométrica no nos referimos a comprender y modelar las perturbaciones que el medio formador de la imagen efectuó sobre la intensidad de la señal (Leberl, F. 1991), sino solamente a manipulaciones que modifiquen el nivel de gris de cada punto con el fin de homogeneizar la distribución de intensidades en el mosaico final.

Tal como fueron seleccionadas las imágenes (Fig.3), vemos que las vecinas verticalmente fueron captadas en la misma órbita. Esto nos hizo pensar que no habría diferencia perceptible en el comportamiento atmosférico entre ellas (condiciones de humedad, de temperatura...) con lo que la única manipulación realizada fue una horizontalización del plano de luz en ellas, más unas funciones de transformación para que los histogramas de cada par de imágenes en las zonas comunes fueran

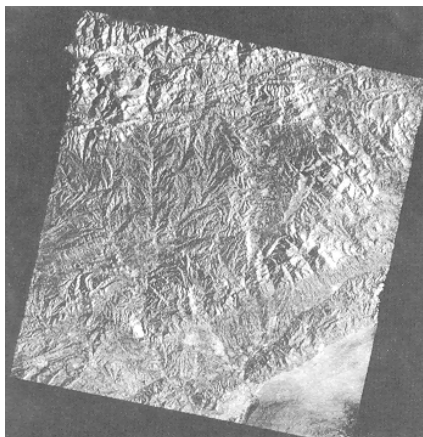


Fig. 6.- Imagen 4805-2763. corregida geométricamente.

10 más semejantes posible. Técnicas ampliamente conocidas para este fin se encuentran en la literatura no sólo de imágenes radar sino en general de tratamiento de imágenes digitales (Gonzalo, R. 1983).

Una vez obtenidas las 5 pasadas del satélite hubo que hacer el mosaico entre ellas, para lo cual se requirió de nuevo la acción de un operador que delimitara las fronteras en las áreas comunes trazando costuras para cada par de imágenes. La figura 7 muestra una de las pasadas completa, la correspondiente a la órbita 4805, en la cual la parte central proviene de la figura anterior. En la figura 8 aparece el mosaico de la órbita contigua, 4032, con la costura trazada para desperdiciar la parte ausente. El proceso restante no es más que formar una imagen tomando todos los valores de gris de la primera de las dos órbitas (la que aparece entera), salvo en los puntos del área común en que la segunda no es negra (puntos distintos de cero). Co-

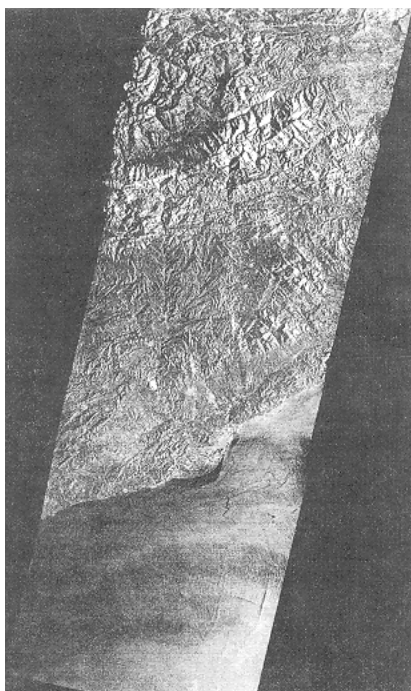


Fig. 7.- Mosaico para la órbita 4805. La parte central corresponde al trame 2763.

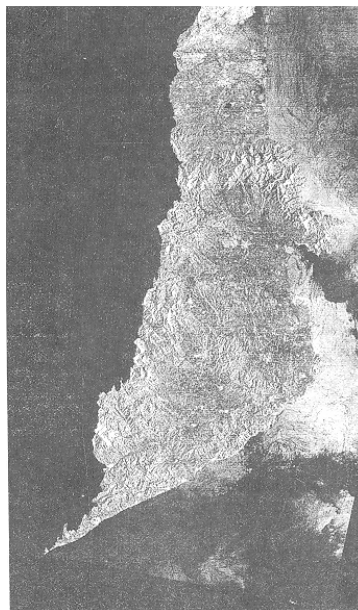


Fig. 8.- Mosaico para la órbita 4032, una vez partido para sobreponer con la órbita 4805. La costura para el recorte fue trazado manualmente.

mo es de suponer, la costura definida se encuentra íntegramente en el territorio común captado desde ambas órbitas. Después de haber efectuado los mosaicos procedemos a crear un mar artificial. Esto lo hacemos para que el área donde más se refleja el cambio de una imagen a otra no esté presente en el resultado final. Cabe recordar la dependencia que en esta banda del espectro hay respecto a la rugosidad del objeto. Y la variabilidad, en ese aspecto, de la superficie marina en días distintos, incluso dentro de una misma imagen.

PREVISIONES PARA UN FUTURO PROXIMO

Una propuesta razonable sería la de, una vez modelado con una fiabilidad significativa el comportamiento del sensor, intentar reproducir imágenes sintéticas con el mismo comportamiento sobre un modelo de elevaciones del terreno MNE añadiendo los parámetros necesarios. Esto nos permitiría la búsqueda automática de puntos de control en el suelo, por correlación entre una imagen y la otra sintética creada sobre el mismo territorio con este proceso.

BIBLIOGRAFIA

- PALA, V.y CORBERA, J. 1993. ERS-1 SAR rectification based on orbital and elevation data. *GEOSAR Workshop. Loipersdorf (Austria)*.
- RAGGAM, J. 1990. SAR parameter adjustment and related for simulated ERS-1 data. *GEOSAR Workilg Group*.
- LEBERL, F. 1990. Radargrammetric Image Processing. *Artech House. p. 205-234*.
- GONZALEZ. R. 1983. Digital Image Processing. *Adison Wesley. p. 190-220*.