

MOSAICOS DIGITALES DE IMÁGENES EN LA CARTOGRAFÍA

J. ROMEU Y V. PALA.

Institut Cartogràfic de Catalunya, Barcelona.

RESUMEN

En el artículo se plantean los procesos desarrollados por el Institut Cartogràfic de Catalunya (ICC) para resolver los problemas de mosaico que plantea la realización de cartografía imagen, tanto de imagen satélite como de fotografía aérea digitalizada.

Se plantean los problemas geométricos y radiométricos y las soluciones que se emplean en sucesivos casos de dificultad creciente: desde simples sumas de ficheros sin promedio de ningún tipo hasta los mosaicos en que se determina interactivamente la zona de sustitución, el grado de afectación radiométrica e incluso el grado de afectación en promediado de píxeles entre dos imágenes.

ABSTRACT

This paper reviews the methodology used in the Cartographic Institute of Catalonia (ICC) in order to solve mosaiking problems when doing digital image cartography from satellite data or digitized aerial photography.

Geometrical distortions and its related solutions are explained taking into account the different levels difficulty. From simple merging or addition of files to the mosaiking where it is possible to select the substitution area, the radiometric change degree or the level of radiometric mixture when interpolating pixels from two images.

1. INTRODUCCIÓN

Desde sus inicios el I.C.C. realiza una parte importante de la cartografía a partir de restituciones de imágenes, tanto de fotografías aéreas como de imágenes de satélite. Con la incorporación de las técnicas digitales de tratamiento en la cadena de producción de imágenes, las posibilidades de manipulación aumentaron notablemente, de la misma forma que las necesidades productivas demandaban nuevas aproximaciones para facilitar la realización de mapas de imágenes.

Las primeras aplicaciones de mosaicos digitales comenzaron con la realización de mosaicos de imágenes LANDSAT MSS (Zobrist, 1983). Posteriormente se desarrollaron estas mismas aplicaciones (para imágenes de mayor resolución) que determinaron procesar grandes conjuntos de imágenes LANDSAT TM (Binnie, 1987), (Arbiol, 1986), (Colvocoreses, 1986) e imágenes SPOT (Arbiol, 1988).

Paralelamente, la producción masiva de ortofotomapas a partir de fotografía aérea supuso el inicio de la realización de mosaicos para completar con imagen superficies homogéneas que carecían de ella, y que quedaban dentro de la hoja a editar, inicialmente zonas marinas alejadas de tierra. Posteriormente gracias a los desarrollos efectuados con las imágenes SPOT ha continuado la implementación de nuevas aplicaciones, y actualmente se obtienen mosaicos sobre zonas de tierra a partir de dos o más fotografías aéreas y es posible deformar zonas marinas de las imágenes hasta completar hojas enteras que, de otro modo, quedarían incompletas por falta de imagen digital.

Las últimas series producidas por el I.C.C. se han benefi-

ciado de los nuevos algoritmos y de los nuevos conceptos de mosaico digital. Ortofoto 1:5.000, Ortofoto 1:25.000, Ortoimagen SPOT 1:50.000, LANDSAT-5 1:100.000 en relieve.

De hecho el mosaico digital de imágenes es imprescindible en cartografía si se quieren obtener mapas en formatos estándar comparables con los productos ya existentes (MTM, Mapas geológicos, Mapas de cultivos,...), o incluso para no tener ningún tipo de limitación física en la realización de cartografía más que el soporte físico de las salidas existentes, o la capacidad de almacenamiento en disco de los ficheros (Swann, 1987).

En este artículo intentaremos revisar las soluciones aportadas para resolver el problema de los mosaicos generalizándolos a todo tipo de imágenes, y analizándolas en particular sobre las series producidas por el I.C.C..

Al hablar de mosaico nos referiremos tanto a la unión de pedazos de imagen lateral, como a la unión de imágenes de una misma área, por superposición de las imágenes del mismo sensor, o de sensores con distintas resoluciones (mezcla de TM y SPOT-P), es decir al conjunto de procesos necesarios para que la unión de imágenes sea lo más perceptible posible al usuario final del mapa.

La geometría y la radiometría son los aspectos básicos que determinan que un mapa generado a partir de imágenes esté dentro de normas cartográficas, tanto si el mapa proviene de la rectificación de una sola imagen como si intervienen en su configuración final varias imágenes rectificadas con distintos conjuntos de puntos de control.

En este último caso se requiere que, a parte de la exacti-

tud geométrica, exista la continuidad de tonos y colores entre las imágenes diferentes que conforman un ortofotomapa.

2. GEOMETRÍA

El primer aspecto que hay que considerar en la realización de cualquier mosaico es que el sistema de coordenadas de las imágenes a ensamblar sea el mismo. Generalmente el sistema de referencia que utilizamos es el UTM, y el proceso de unión se realiza después de la rectificación a coordenadas mapa de cada una de las imágenes que se desea unir.

La rectificación se efectúa según modelos de deformación geométrica derivados de puntos de control. Para imágenes LANDSAT-MSS es suficiente utilizar un modelo polinomial, para TM podrá ser polinomial con o sin las elevaciones del terreno. En el caso SPOT y especialmente para imágenes laterales es necesario un modelo orbital que contemple las deformaciones causadas por el relieve (Palà, 1987). Las fotografías aéreas digitalizadas son tratadas según la geometría clásica de las ecuaciones de colinearidad (Colomina, 1991).

Efectuar el mosaico después de la corrección geométrica nos permite tener un control de calidad sobre la rectificación de cada imagen, y cualquier problema de conexión entre imágenes debe derivar hacia modelos inexactos de corrección de las imágenes usadas, y por tanto, a repetir la fase de corrección. Esto se resume en una verificación de los ficheros de puntos de control utilizados, o bien en el establecimiento de un nuevo conjunto de puntos que trasladen la geometría de una de las imágenes a la de referencia.

Este último proceso lo realizamos de forma semiautomática a partir de métodos de correlación (Romeu, 1988), que originan conjuntos de puntos de control que permiten realizar un ajuste entre imágenes. Habitualmente este método se utiliza para el ajuste entre imágenes de diferente resolución espacial cuando se desea obtener con ellas imágenes con la mejor resolución espacial de unas y espectral de las otras (por ejemplo la combinación entre imágenes SPOT-P y TM).

Para el caso específico en que se mezclan imágenes de diferente resolución (HSL), el problema geométrico es de gran importancia, puesto que la no superposición exacta determina la aparición de aureolas de color en las zonas de evidente mal registro de las imágenes.

Los métodos empleados hasta el presente para solucionar estos problemas consisten en construir polinomios de grado muy elevado, para rectificar la imagen de peor resolución a la geometría más precisa de las dos. Primero se realiza una búsqueda automática de puntos de control mediante autocorrelación y luego con los puntos obtenidos se construye un polinomio capaz de corregir los desajustes locales (grado 4 o 5).

Una vez ajustada la geometría entre partes de imágenes se inicia el proceso de mosaico que consiste en la simple unión de ficheros sin ningún tipo de promedio de los píxeles comunes. El único caso en que se realizan promedios de píxel entre las imágenes sucede cuando se desean transiciones

suaves tanto de geometría como de radiometría.

3. RADIOMETRÍA

Con el término de radiometría hacemos referencia a la gama que ofrece una imagen digital, ya sea en blanco y negro (gama de grises) o en color (gama de colores). Los tonos reproducidos están fuertemente afectados por circunstancias diversas como pueden ser la época del año en la que se captó la imagen, la cual determina que la vegetación pueda presentarse con características distintas y que la iluminación del terreno varíe, así como la composición de la atmósfera. Todos estos factores dificultan la tarea de mosaico y la identificación o interpretación del terreno a partir de su tono, y deben ser solucionados.

Por otra parte, el mosaico precisa de un corte de las imágenes, deberá ser trazado sorteando al máximo las zonas de desaveniencia radiométrica para evitar la identificación de dicho corte en el mosaico resultante.

También es interesante alterar la gama original, en general pobre en matices, y contrastar la imagen utilizando al máximo el espacio de colores. Para ello deberán respetarse en la medida de lo posible dos criterios: el primero hace referencia a la **continuidad** de los colores, es decir que tonos próximos en la gama original deben dar paso a tonos también cercanos en la gama resultante. El segundo, más difícil de conseguir, es el de la **globalidad** (no localidad) de los colores, esto es, que superficies de terreno semejantes (misma cobertura, relieve,...) deben dar colores similares, independientemente de su situación dentro de la imagen.

El estudio radiométrico lo expondremos por casos, del más sencillo al más complejo. En el límite de la simplicidad no será necesaria ninguna alteración radiométrica de las dos imágenes a mosaicar. En el otro extremo, el de la complejidad, llegaremos a usar imágenes de sensores diferentes con características radiométricas sin relación entre ambas escenas a unir.

3.1. Radiometría Uno.

Este es el caso más sencillo, en que las imágenes provienen del mismo sensor y han sido captadas en la misma época, y que por lo tanto son radiométricamente idénticas. En este caso no requieren ser sometidas a ningún tipo de transformación para facilitar el mosaico.

Una vez obtenido el fichero resultante de la unión de imágenes se procede a la mejora de gama de color (o de grises), tal como se detalla en el capítulo 3.

3.2. Radiometría Dos.

Estamos en este caso cuando las imágenes para el mosaico proceden de fechas diferentes pero la radiometría es parecida, puesto que proceden del mismo sensor y el estado fenológico de la vegetación que aparece en ambas es comparable.

En dicha situación se eligirá una de ellas como imagen de referencia y la segunda será transformada para aproximar su radiometría a la primera. Para ello se calculan los histogra-

mas de la zona común y comparable (se excluyen las nubes) de ambas imágenes. Con los histogramas se calcula una función que altera la segunda imagen para que tenga el mismo histograma que la primera.

Esta transformación garantiza una igualación radiométrica entre ambas imágenes para la mayoría de los píxeles. Sin embargo aquellas zonas que por intervención humana (p. ej. cultivos distintos) sean realmente diferentes no podrán resolverse. Por este motivo el corte o costura no podrá ser una línea recta sino un trazo irregular por las zonas de mínima diferencia radiométrica entre ambas imágenes. Este proceso se realiza de forma interactiva por un operador especializado y se intentará su automatización en el futuro.

El trazado de la línea de mosaico se realiza de forma interactiva sobre un monitor de Vaxstation equipado con OSF/Motif. La máscara se realiza sobre una imagen intermedia que es la diferencia de las dos imágenes a unir, donde el valor 127 corresponde a la no diferencia radiométrica (sea cual sea el valor radiométrico) entre imágenes.

Una vez obtenida la máscara se procede al corte y a la unión de ambas imágenes, obteniendo finalmente una imagen en la que sea difícil de precisar la frontera unión entre las dos de origen.

Una vez efectuado el mosaico se llevarán a cabo los mismos pasos necesarios para obtener una gama de color razonablemente interpretable, procesos detallados en el capítulo 3.

3.3. Radiometría Tres.

Este es el caso más complejo y recurriremos a él cuando la radiometría de las dos imágenes es radicalmente diferente, ya sea porque las fechas conllevan cambios profundos en el contenido de ambas imágenes, o porque provienen de sensores diferentes, como pueden ser LANDSAT-TM y SPOT.

En este caso, no es posible mediante una función de aplicación global a una de las imágenes, aproximar la radiometría de ambas. La solución elegida transforma gradualmente la radiometría de una de ellas hasta convertirla en la radiometría de la segunda imagen.

La transformación mencionada puede llevarse a cabo de dos modos diferentes: por promedio de los píxeles de ambas imágenes o por interpolación de funciones locales aplicadas a una de las dos imágenes. En ambos casos hay que definir primero la zona de transición o alteración. Se dibuja sobre esta zona una malla y para cada cuadrado asignamos un peso o grado de alteración radiométrica. Un cero significa no alteración alguna y un 100 alteración absoluta para aproximarse a la radiometría de la segunda imagen (véase Figura 1).

En el primer caso, para cada píxel de la zona de transición se calcula un grado de alteración por interpolación de los pesos asociados a los cuatro cuadrados vecinos. Con dicho peso se promediarán los DN de las imágenes a mosaicar.

En el segundo caso, para cada cuadrado se calcula una función local de aproximación radiométrica de ambas imágenes. Posteriormente a cada píxel de la zona de transición

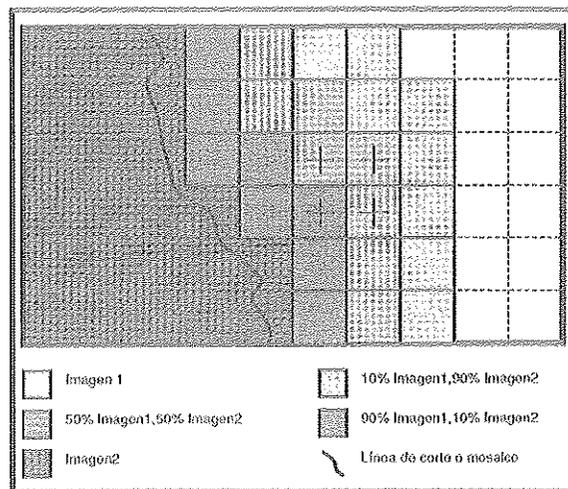


Figura 1.

se le asigna el valor resultante de la interpolación de las funciones de los cuatro cuadrados vecinos según un peso inversamente proporcional a la distancia del píxel a los centros de dichos cuadrados.

Al final se deberá trazar una costura sobre la zona de transición y efectuar los mismos procesos que en Radiometría Uno y Dos. Finalmente se hará el mismo proceso de mejora de gris o color que se detalla en el capítulo 3.

4. PROCESOS FINALES

Para conseguir un buen contraste y gama, a la imagen resultante de la unión geométrica y radiométrica se le aplica un proceso basado en el cálculo de histograma locales para expandir al máximo la radiometría.

Este proceso consiste en una subdivisión de la imagen en un conjunto de cuadrados o celdas de una malla. Para cada cuadrado se calcula el histograma y una función lineal de mejora de dicho cuadrado. Posteriormente para cada píxel de la imagen resultante se aplica una función de mejora que es el resultado de una interpolación de las funciones de los cuatro cuadrados más próximos a dicho píxel. El peso asociado a cada función es directamente proporcional a la distancia del píxel al centro del cuadrado. Esto garantiza una transición suave por toda la imagen, sin discontinuidades. El tamaño de los cuadrados afecta en gran medida el resultado y éste debe respetar en lo posible el criterio de la globalidad.

A continuación se aplica a toda la imagen una función cuadrática que obliga a ocupar toda la gama de valores digitales (de 0 a 255) y permite elegir la media de la imagen.

Para el caso de imágenes en color, el último proceso a realizar antes de la impresión es la generación de la cuatricromía. Esto consiste en crear una banda adicional de negro que ayuda a aumentar el contraste y la definición del producto resultante. Durante la transformación de RGB a CMYB

además de la obtención de la banda negra se realizan compensaciones de color tendentes a disminuir las distorsiones y mezclas de color.

5. PRODUCTOS ADICIONALES

El desarrollo de estos métodos de mosaico ha generado aplicaciones concretas para resolver problemas de mosaico muy específicos. La resolución a medida de cada problema es debida a una especificidad clara de las situaciones.

Por ejemplo la realización de mosaicos de imágenes clasificadas requiere un tratamiento especial que conduce a una doble opción, o bien las imágenes se unen a partir de una línea determinada, o bien si hay una cierta superposición se puede definir una transición que elija píxeles de una imagen o de otra según sea el entorno predominante en ambas imágenes.

Otro ejemplo surgido de la automatización en la cadena DOG (Digital Orthophoto Generation) del I.C.C. es la implementación de un programa que compensa los efectos de iluminación de los fotogramas aéreos que entran en el subproceso de mosaico que convierte los dos fotogramas en una ortofoto.

No todos los problemas de falta de imagen se atacan de la misma forma; en este momento las ortofotos con zonas de mar que no quedan contenidas en un sólo fotograma sufren un proceso geométrico diferente, que de forma interactiva permite conservar la geometría de las zonas de tierra al mismo tiempo que se puede alterar la zona de mar en base a estiramientos para completar toda la superficie de la ortofoto.

6. PROCESOS APLICADOS EN LAS SERIES DEL I.C.C.

El proceso de suma de ficheros se utiliza para imágenes provenientes del mismo satélite y de la misma órbita que ha sido captada en la misma época. Este proceso de unión directa se utiliza habitualmente en imágenes SPOT en las que es frecuente el uso de imágenes de la misma órbita tomadas correlativamente. En este caso incluso las tareas de establecimiento de puntos de control se hace más sencilla al efectuarse de forma global sobre el conjunto de imágenes. Ejemplo: Ortofoto de Catalunya 1:50.000 SPOT.

El segundo nivel de complejidad es el que se da en la mayoría de los mosaicos realizados por el I.C.C. (1:250.000 de Catalunya, 1:400.000 del Pirineo, 1:200.000 del País Vasco...) ya que normalmente las fechas no son idénticas pero la radiometría es muy parecida. La unión de imágenes sin que el corte o línea de conexión entre ambas sea apreciable a simple vista se fundamenta en el trazo de una línea sinuosa e irregular pasando por las mínimas diferencias.

En los casos en que intervienen imágenes captadas por sensores distintos las soluciones nunca son sencillas. Los problemas planteados provienen de una desigualdad radiométrica y de resolución entre las imágenes que es imposible solucionar con una función global aplicable a toda la imagen, y se opta por realizar una transición geométrica local y

suave entre imágenes.

Este método permite pasar de imágenes de baja resolución a alta. El ejemplo más claro corresponde al intento de mantener la resolución y geometría SPOT con los colores que ofrece TM (Ortoimagen 1:50.000 del País Vasco, Ortoimagen 1:50.000 de la XXV Olimpiada de Barcelona). Ambos ejemplos responden a la combinación de imágenes de resolución diferente en las que ha sido necesario realizar un registro entre las imágenes, transición entre las radiometrías (proceso HSL, (Palà, 1987)), e incluso un tránsito entre imágenes de diferente resolución de forma suave.

Los métodos especiales de mosaico como estiramiento de zonas de mar o mosaicos sistemáticos de fotogramas con distintas iluminaciones, se utilizan básicamente en los procesos de rectificación de ortofoto 1:25.000 y 1:5.000 de Catalunya.

7. CONCLUSIONES

El dominio de las técnicas digitales de mosaico de imágenes permite plantear los proyectos cartográficos de una forma más abierta, sin que los problemas de corte cartográfico o de la superficie a cartografiar limiten el proyecto.

Los trabajos desarrollados hasta el momento indican que los problemas que surgen en la realización de mosaicos son solucionables, pero la automatización definitiva requiere abordarlos con procesos de inteligencia artificial y/o sistemas expertos para reproducir de la forma más precisa posible aquellos trabajos que hoy en día requieren la intervención de un operador experimentado.

El desarrollo de técnicas generales para la realización de mosaicos ha evolucionado hacia una especialización dirigida a la solución de problemas concretos empleando procedimientos específicos. Según el grado de dificultad del mosaico es posible su implementación en una cadena productiva como un proceso imprescindible para la realización del proyecto.

8. BIBLIOGRAFIA

- ✓ ARBIOL, R.; ROMEU, J. y VIÑAS, O. (1986): Mapa falso color de Catalunya 1:100.000 a partir de datos TM. En *I Reunión Científica del GTT*. Barcelona. pp. 9-23. GTT.
- ✓ ARBIOL, R. y PALA, V. (1988): Color orthophotomaps from satellites. En *CERCO*. Paris.
- ✓ BINNIE, D.R. & COLVOCORESSES, A.P. (1987): The Denali Image Map. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*. Vol. 55, Nº3, pp. 307-310.
- ✓ COLOMINA, I; NAVARRO, J. y TORRE, M. (1991): Digital Photogrammetric Systems at the ICC. En *Digital Photogrammetric Systems*. Karlsruhe. ISPRS.
- ✓ COLVOCORESSES, A.P. (1986): Image Mapping with the Thematic Mapper. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, Vol. 52, Nº9, 1499-1505.
- ✓ PALA, V. y ARBIOL, R. (1987): Restitución de Imágenes SPOT utilizando el DTM. 1987. En *II Reunión Científica del GTT*. Valencia. pp. 95-103. GTT.
- ✓ ROMEU, J.; ARBIOL, R. y PALA, V. (1988): Búsqueda Semiautomática de Puntos de Control. En *III Reunión Científica del GTT*. Madrid. GTT.
- ✓ SWANN, R. et al. (1987): The Potential for Automated Mapping from Geocoded Digital Image Data. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*. Vol. 54, Nº2, pp. 187-193.
- ✓ ZOBRIST, A.L.; BRYANT, N.A. & McLEOD, R.G. (1983): Technology for Large Digital Mosaics of LANDSAT Data. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, Vol. 49, Nº9, 1325-1335.