

## MÉTODOS FLEXIBLES PARA LA OBTENCIÓN AUTOMÁTICA DE PUNTOS DE CONTROL EN EL PROCESO DE GEORREFERENCIACIÓN

A. Martínez (\*), F. Abad (\*, \*\*) y E. Navarro (\*\*)

[acanadas@idr-ab.uclm.es](mailto:acanadas@idr-ab.uclm.es)

(\* *Sección de Teledetección y SIG. Instituto de Desarrollo Regional.*  
(\*\*) *Dpto. de Informática. EPSA.*  
*Campus Universitario de Albacete, s/n. 02071-Albacete.*

### RESUMEN

En este artículo se analiza la problemática asociada a la corrección de las imágenes de satélite, así como las diferentes técnicas que actualmente están disponibles para afrontar su solución. El creciente número de imágenes usadas para realizar cualquier estudio, junto con una cada vez mayor resolución espacial, agravan problemas como el aumento del volumen de trabajo para la obtención de estos puntos de control o la deformación en el aspecto de las imágenes adquiridas. Se hará una clasificación de los métodos actualmente disponibles para la corrección de imágenes, las carencias todavía persistentes y se presentarán los trabajos realizados en la Sección de Teledetección en este sentido.

### ABSTRACT

The associated problematic to remote sensing image rectification, as well as the different techniques nowadays available to analyze their solution, are studied in this paper. The work for obtaining these control points or the deformation in the acquired image aspect are increased, as the number of used images to make any study, or the sensor spatial resolution, are increased. A classification of available methods for image rectification, the remaining deficiencies, besides a description of the works made in the Sección de Teledetección are presented.

**Palabras clave:** georreferenciación, punto de control, corrección geométrica.

### INTRODUCCIÓN

Cualquier imagen adquirida por un sensor remoto, ya sea aéreo o espacial, presenta una serie de alteraciones radiométricas y geométricas. Las primeras vienen a ser las que modifican los valores de cada pixel y las segundas las que cambian la posición de estos. Esto explica que la imagen finalmente detectada no coincida exactamente con la forma o respuesta radiométrica ideal de los objetos reales detectados. Algunas técnicas sistemáticas que intentan resolver estos problemas son aplicadas de modo rutinario por las estaciones receptoras de las imágenes. En algunas ocasiones, estas correcciones bastarán para abordar un estudio de aplicación, pero en muchos otros casos se precisa abordar correcciones más detalladas. El estudio de una zona a lo largo del tiempo o la composición con información auxiliar son ejemplos de este tipo de situaciones, en las que se necesita la proyección de la imagen en un sistema de coordenadas determinado.

En este artículo se abordan los problemas asociados a la georreferenciación de imágenes de satélite o aéreas, es decir, su corrección geométrica y proyección en un determinado sistema de coordenadas. El artículo introduce primeramente los diferentes tipos de correcciones aplicables por medio del procesamiento digital de imagen. En el siguiente

apartado se hace un análisis de la posible automatización de algunas de estas correcciones que todavía requieren una alta intervención humana. Finalmente se presenta la metodología de trabajo y test de resultados que se está desarrollando en la Sección de Teledetección y SIG del Instituto de Desarrollo Regional de Albacete, junto con las conclusiones que se han podido derivar de este trabajo.

### CORRECCIONES RADIOMETRICAS Y GEOMETRICAS

Los operadores que se aplican sobre una imagen pueden ser divididos en dos grupos: transformaciones de amplitud (sólo modifican la amplitud de la señal, manteniendo invariables las coordenadas de los píxeles) y transformaciones de la geometría (sólo modifican la geometría de la imagen). Las correcciones igualmente se clasifican en radiométricas y geométricas en función de que use uno u otro operador.

#### Correcciones radiométricas

Se llama así a cualquier proceso conducente a la restauración de los niveles digitales (valores de los píxeles) de una imagen para acercarlos a los ideales. Se trata de transformaciones de amplitud que están ampliamente estudiadas y consolidadas.

Estas se aplican de forma digital y no suelen necesitar supervisión humana para su realización. Sus principales son: restauración de celdillas o líneas perdidas, corrección del bandeado de la imagen, corrección atmosférica, conversión de los niveles digitales a parámetros físicos.

Correcciones geométricas.

Las correcciones geométricas son transformaciones puntuales consistentes en cambiar de posición las celdillas originales de la imagen sin alterar sus niveles digitales. Gracias a tratarse de un formato digital, esta transformación puede basarse en funciones numéricas, que permiten modificar la geometría de la imagen. La expresión general de este tipo de funciones sería:

$$\left. \begin{aligned} c' &= f(c, l) \\ l' &= g(c, l) \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

donde  $c'$  y  $l'$  son las coordenadas columna y línea de la imagen corregida, que son función de  $c$  y  $l$ , coordenadas columna y línea de la imagen original o coordenadas del mapa al que se pretende superponer la imagen.

Estas transformaciones pueden emplearse tanto para corregir cartográficamente una imagen, como para superponer dos o más imágenes entre sí. Este último punto es el más interesante, puesto que la mayoría de métodos propuestos para automatizar estas tareas realizan la extracción de información con referencia a una imagen ya corregida.

La corrección geométrica de la imagen es imprescindible para poder superponer sobre ella cualquier información cartográfica auxiliar o para hacer posible un estudio multitemporal entre dos o más imágenes. El proceso de corrección puede abordarse en dos niveles diferentes: uno riguroso, mediante el cual se pretende ajustar la imagen a un mapa de la zona o a otra imagen utilizada como referencia, y otro menos preciso, consistente en corregir solamente las anomalías sistemáticas derivadas de la inclinación de la órbita. En el primer caso, la corrección se realizará estableciendo puntos comunes (puntos de control) localizados en la imagen y el mapa. Posteriormente los niveles digitales de toda la imagen se transferirán a sus nuevas posiciones mediante la aplicación de las funciones encontradas para los puntos de control. En el último caso, se precisa del conocimiento de los parámetros orbitales del satélite, siendo realizada la corrección mediante modelización matemática (también llamado corrección a partir de modelos orbitales). Este procedimiento es computacionalmente muy caro aunque robusto, resultando más adecuado para sensores de gran cobertura o que trabajan sobre áreas marinas, en

donde resulta muy complicado buscar puntos de control.

La alternativa de usar puntos de control ha sido tradicionalmente la más empírica de todas, aunque tiene como ventajas ser la más rápida y fácil de aplicar al no ser necesaria información adicional sobre el momento de adquisición. Usualmente este método de corrección se realiza manualmente, identificando visualmente en la imagen rasgos que puedan hacer coincidir con un mapa (cartografía existente) u otra imagen ya georreferenciada que se considera como referencia.

Existen dos aproximaciones a la hora de abordar el problema de localizar los puntos de control:

- i) **Supervisada.** Es la forma tradicional, en la que se requiere una gran intervención humana. Es necesario que una persona identifique visualmente los puntos comunes entre la imagen y el mapa, introduciendo su correspondencia por medio de una tableta digitalizadora. Usando esta técnica, la fase de extracción de puntos de control es la que más tiempo y recursos humanos requiere.
- ii) **No supervisada.** Los puntos de control se identifican de forma automática, por medio de algún método numérico y con alguna o nula asistencia humana. En este campo, se centrará el siguiente apartado, estudiando las diferentes técnicas aplicables a esta tarea.

#### MÉTODOS DE OBTENCIÓN AUTOMÁTICA DE PUNTOS DE CONTROL

Los métodos para extraer puntos de control automáticamente se basan en las técnicas de registro de imágenes o creación de mosaicos. En este punto se necesita dar la definición de dos términos:

- Mosaico (*mosaic, image montage*): una composición de dos o más imágenes que se unen formando una sola. Esto es, crear una imagen de una zona tan extensa que no es abarcada simultáneamente por el sistema de adquisición.
- Registro de imágenes (*image registration*): es una técnica tomada del terreno de procesamiento de imagen, con amplios campos de aplicación, y consistente en calcular la posición relativa de una imagen con respecto a otra.

Como se puede deducir, la utilización de cualquiera de estos métodos hace necesaria la disponibilidad de imágenes corregidas de la zona a la que corresponde la imagen a corregir. Representando éste uno de los mayores problemas con los que nos enfrentamos a la hora de aplicar estas técnicas.

La selección automática de puntos de control es, en la mayoría de los casos, un proceso de dos etapas. El primer paso consiste en identificar puntos o estructuras significativas en la imagen. En el segundo paso, entre estas estructuras extraídas de las imágenes se intenta encontrar una correspondencia, llamándose este paso casado de imágenes (*image matching*).

Existen dos aproximaciones principales para resolver este problema: basadas en correlación y simbólicas (Gottesfeld 1992). En otras bibliografías también llamadas basadas en superficies (*area-based*) y en rasgos o características (*feature-based*) respectivamente (Li *et alii* 1995).

- Basadas en correlación: en esta aproximación, se usan centros de ventanas como puntos de control. La localización de las ventanas pueden establecerse por correlación clásica, correlación entre bordes o entre vectores. Los cálculos de la correlación también pueden llevarse a cabo en el dominio de Fourier, mediante el uso de representaciones jerarquizadas de la imagen (multiresolución) o por cálculo secuencial de disimilitud ente ventanas.
- Métodos simbólicos: este tipo de métodos no trabajan directamente con la imagen de niveles de gris. Es su lugar usan características de la escena tales como intersecciones entre líneas, bordes o regiones. En estos métodos se seleccionan como puntos de control las intersecciones entre líneas, bordes o por ejemplo los centros de gravedad de las regiones.

Esta diversidad de técnicas no son excluyentes entre sí, se pueden realizar composiciones entre diferentes métodos, de forma que se intentan obtener las ventajas de cada una de ellos. Existen también excepciones, como el uso de redes neuronales, que no se ajustan a ninguna de las aproximaciones descritas.

Los métodos que usan cálculo de correlaciones no son apropiados para problemas en los que intervengan errores geométricos pronunciados, puesto que el cálculo de la correlación normalizada es muy sensible a variaciones en la forma. Tampoco se adaptan correctamente a problemas en entornos multisensor o multiespectrales puesto que las características de niveles de gris son sensiblemente diferentes (Li 1995), ocurriendo algo parecido con imágenes que presentan cambios en la intensidad. Estos cálculos también pueden ser calculadas en el dominio de frecuencias con lo que se consigue un aumento de la robustez ante el ruido (De Castro 1987). Aún así, ventajas de usar estas técnicas pueden ser la posibilidad de aplicarlas de forma local (ventanas de un tamaño definido), con lo que se disminuye el coste computacional, y la no existencia de rasgos

identificables, por ejemplo regiones cerradas, para un correcto funcionamiento.

Las técnicas que usan contrastes entre regiones o contornos para extraer puntos de control han sido las mas estudiadas por la comunidad investigadora. Están dentro del grupo de técnicas que usan información simbólica, extraída directamente de la imagen, como pueden ser líneas de intersección, bordes, regiones homogéneas, etc. Estos métodos suelen soportar errores en la imagen de mayor importancia que las técnicas anteriores. Estos métodos, que extraen y casan estructuras comunes en las dos imágenes, han sido calificados como los mas apropiados para nuestros propósitos (Rignot 1991).

Existen técnicas que usan modelos digitales del terreno del área a registrar. Iluminando el MDT desde la geometría del sensor que captura la imagen, se generan efectos de sombreado sobre imágenes multisensor. Estas imágenes reales se registran con el MDT por correlación con los datos simulados (Rignot 1991). Aunque se pueden alcanzar buenos resultados, estos métodos presentan el problema añadido de disponer del MDT con una resolución suficiente.

Los esquemas propuestos por (Flusser y Suk 1994) y (Li *et alii*), por ejemplo, extraen objetos de imágenes de teledetección y los casan haciendo uso de atributos estructurales como descriptores de la forma. El problema de estos métodos es que son aplicables únicamente cuando existen objetos distintivos en las regiones solapadas, y por lo tanto depende del contenido de la imagen. El registro de imágenes por reconocimiento de correspondencias entre estructuras requiere objetos específicos o regiones en las imágenes. En un método sugerido por (Ton y Jain 1989), se adquieren de la imagen puntos de control como regiones acuáticas, caminos, etc., que debe ser estables, fácilmente extraibles y deben tener una alta frecuencia de ocurrencia si queremos obtener resultados ajustados.

#### METODOLOGIA DE AUTOMATIZACIÓN

Si tenemos en cuenta lo expuesto hasta el momento, una aproximación flexible y progresiva a la automatización de la obtención de puntos de control debe contemplar: la falta de estructuras definidas en la imagen, la inexistencia de imágenes de referencia que cubran toda la zona de estudio así como la obtención de puntos de control uniformemente distribuidos sobre la imagen.

En nuestro caso se ha desarrollado una metodología basada en multiresolución (Dani y Chaudhuri 1995). Tras la construcción de una pirámide de altura definida, una fase inicial de extracción de regiones se realiza en el nivel superior, aprovechando la eliminación de errores provocada

por el promediado. Se extrae un número relativamente pequeño de regiones que representan grandes estructuras en la imagen, sobre las que se calculan descriptores de la forma basados en momentos afines invariantes (Flusser y Suk 1994). Haciendo uso de estas regiones se realiza el casado de la imagen, con lo que se obtiene una primera aproximación (transformación polinómica afín) al registro entre las imágenes. En una segunda etapa se realiza el refinamiento del conjunto de puntos de control. Con el fin de adaptar esta técnica a la obtención de una alta cantidad de puntos de control a la vez que uniformemente distribuidos, se usa correlación entre ventanas para el refinamiento de los puntos de control. Cada punto de control se establece inicialmente usando la transformación definida en la parte superior de la pirámide. En cada nivel inferior, se proyecta una pequeña ventana (centrada en el punto de control) de la imagen tratada sobre la de referencia usando la transformación definida por el nivel superior. El punto de control se recalcula entonces usando correlación cruzada normalizada entre esta ventana y la imagen de referencia, realizando la búsqueda del punto con mayor correlación en un margen de desplazamiento. Dependiendo del grado de correlación entre las ventanas, algunos puntos son descartados si no cumplen unas condiciones de similitud mínima.

El resultado del algoritmo es un conjunto de puntos de control. Estos puntos pueden ser combinados con otros provenientes de estudios manuales o de la aplicación de otras técnicas. Esto permite aplicar el algoritmo a imágenes con bajo grado de solapamiento con respecto a la de referencia, pudiendo obtener un porcentaje de puntos de control de forma manual que permitirán utilizar esta imagen, a su vez, como nueva imagen de referencia.

El test de este método se ha llevado a cabo mediante la generación de imágenes deformadas sintéticamente, calculando el error cuadrático medio entre puntos de control originales (aplicando la deformación sintética) y la transformación definida por los puntos de control obtenidos.

## CONCLUSIONES

Se a realizado una introducción a las numerosas particularidades que intervienen en la obtención de imágenes de teledetección y cuales son las técnicas actualmente disponibles para su corrección. Aunque existen vertientes como la de modelización matemática que resultan robustas y precisas, su alto coste computacional y la imposibilidad de disponer de la información necesaria para su aplicación hace que su utilización por parte de los centros de proceso de imágenes se

reduzca. Las técnicas tradicionales basadas en la extracción de puntos de control suelen satisfacer las necesidades deseadas en la mayoría de casos, pero por tratarse de un procedimiento empírico y manual requiere de un tiempo excesivo.

La solución aportada en este artículo soluciona en gran medida los problemas relativos al aumento de la resolución de los sensores espaciales y el consiguiente aumento del tamaño de imagen a procesar. Haciendo uso de multiresolución consigue estos objetivos y aplicando técnicas de correlación aumenta las posibilidades de aplicación y el número de puntos de control obtenidos tanto como se desee.

## BIBLIOGRAFIA

Dani, P., y Chaudhuri, S. 1995. Automated Assembling of Images: Image Montage Preparation. *Pattern Recognition*. vol. 28. no. 3. pp. 431-445.

De Castro, E., y Morandi, C. 1987. Registration of Translated and Rotated Images Using Finite Fourier Transforms. *IEEE Transactions on pattern analysis and machine intelligence*. vol PAMI-9. no. 5. pp. 700-703.

Flusser, J., y Suk, T. 1994. A Moment-Based Approach to Registration of Images with Affine Geometric Distorsion. *IEEE Transactions on geoscience and remote sensing*. vol 32. no. 2. pp. 382-387.

Gottesfeld, L. 1992. A Survey of Image Registration Techniques. *ACM Computing Surveys*. vol. 24, no. 4.

Li, H., *et alii*. 1995. A Contour-Based Approach to Multisensor Image Registration. *IEEE Transactions on Image Processing*. vol. 4. no. 3. pp. 320-334.

Rignot, E. J. M., *et alii*. 1991. Automated multisensor registration: Requirements and Techniques. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*. vol. 57. pp. 1029-1038.

Ton, J., y Jain, A. 1989. Registering Landsat Images by Point Matching. *IEEE Transactions on geoscience and remote sensing*. vol. 27. no. 5. pp. 642-651.