

## AVANCES EN LA GENERACIÓN DE ORTOFOTO ESTRICTA A ESCALAS GRANDES

M. E. Soler, R. Arbiol y F. Pérez.

*Departamento de Teledetección. Institut Cartogràfic de Catalunya (ICC).  
Parc de Montjuïc, s/n, 08038 Barcelona. eulalia.soler@icc.cat*

### RESUMEN

La necesidad de aplicar técnicas de ortofoto estricta a la generación de ortoimágenes de escalas grandes tiene consecuencias de gran alcance sobre procesos previos y posteriores de la cadena de generación de ortofoto. Este artículo se centra en dos de ellos: valorar la precisión y completitud del Modelo Digital de Superficies (MDS) necesario para la rectificación y evaluar las consecuencias sobre el mosaico automático, afectado por el hecho de que los objetos no recogidos en el MDS generan valores radiométricos diferentes sobre las mismas coordenadas terreno y pueden suponer una fracción significativa del total.

Las dos tareas principales serán la igualación radiométrica de los fotogramas sobre todos los canales de la imagen multispectral y la búsqueda de las costuras necesarias para solventar todas las ocultaciones, cuyo número crece ostensiblemente, tanto más cuanto mayor es el nivel de detalle del MDS.

Se presentan aquí las aproximaciones al problema efectuadas en el ICC, los resultados obtenidos hasta la fecha y las necesidades de intervención para solucionar los artefactos residuales.

### ABSTRACT

When applying true-ortho techniques to large-scale orthophoto generation, several long-range issues affecting the classical processing chain can arise. This paper will focus on two of them: assess the accuracy and completeness of the Digital Surface Model (DSM) that is necessary for geocoding and evaluate the consequences on the automatic mosaicking process, affected by the fact that the elements not present in the DSM generate different radiometric values over the same map coordinates.

The two main tasks will be an adequate radiometric compensation of all bands in all the photographs and the quest for all the seams that are necessary to eliminate all the occlusions, the number of which greatly increases with DSM complexity.

Here we describe ICC's approach to the problem, the results to date and the need of manual processing to solve residual artifacts.

**Palabras clave:** DEM/MDS, rectificación, ocultación, costuras, mosaico.

### INTRODUCCIÓN

Típicamente, los proyectos de ortofoto están constituidos por un conjunto de varios centenares de fotogramas que deben ser combinados con el fin de producir una serie de ortoimágenes continuas, tanto a nivel geométrico como radiométrico. Una posible aproximación al problema pasa por eliminar los efectos radiométricos de origen físico con el propósito de lograr imágenes homogéneas y maximizar, de este modo, la probabilidad de obtener una buena continuidad final. Una vez haya concluido el proceso de mosaico en su totalidad, se aplicaran técnicas locales de realce de contraste y balance de color con el fin de conseguir una ortofoto de mayor definición. Dicha aproximación consiste, en primer lugar, en eliminar (o, al menos, de reducir al máximo) las diferencias radiométricas presentes entre fotogramas colindantes. Estas diferencias son

debidas, principalmente, a variaciones espaciales y temporales entre las adquisiciones. (Xandri et al., 2005a). También hay que tener en cuenta que debemos seleccionar solamente las zonas de imagen que realmente son comunes entre dos fotogramas dados, descartando así objetos mal posicionados o que han cambiado debido a la diferencia temporal entre adquisiciones.

Una vez finalizado el proceso de igualación o compensación radiométrica de todo el conjunto de imágenes que constituyen nuestro bloque, se inicia el proceso automático de búsqueda de líneas de costura que delimitan las zonas de cada fotograma que deberán contribuir al mosaico final. Estas costuras se calculan mediante el algoritmo descrito por Xandri et al. (2005a). Este método se basa en la definición de una imagen de coste entre las zonas de solape de un par de imágenes adyacentes, así como de un conjunto de píxeles de

salida y de llegada que marcan el origen y el destino de la costura. De este modo, se calcula un camino de coste mínimo que conecte los conjuntos anteriormente descritos. Para que el mosaico resultante no contenga artefactos indeseados, el punto clave de este algoritmo residirá en una definición apropiada de la función de coste y de los conjuntos de salida y de llegada.

Sin embargo, hay que tener en cuenta, que durante el proceso de ortorrectificación aparecen dos artefactos principales que deberán ser tratados apropiadamente de modo que no aparezcan en el producto final: son las zonas de estiradas y las zonas de sombra geométrica u ocultaciones. En este artículo abordaremos la solución al problema de las ocultaciones en la generación de ortofotos estrictas en zonas urbanas, basada en la búsqueda automática de costuras cerradas sobre aquellos fotogramas que “ven” la zona oculta y su posterior mosaico.

### ORTORRECTIFICACIÓN ESTRICTA

El algoritmo estándar de ortorrectificación se puede describir de una forma muy simple (Figura 1): cada punto en el espacio ortoimagen corresponde a un punto en la imagen original de acuerdo con un modelo geométrico apropiado al sensor específico que adquiere la imagen. En el caso concreto de la fotografía aérea, dicho modelo viene descrito por las ecuaciones de colinearidad. En el extremo inferior de la Figura 1 vemos representado el plano de ortorrectificación, mientras que en la parte superior de la misma se representa el plano p, correspondiente a la imagen capturada que presenta distorsiones geométricas, debidas principalmente a la inclinación, la perspectiva y el relieve (descrito en el MDS).

Observemos en primer lugar las posiciones a y a' en el plano de la ortoimagen. Su principal peculiaridad es que están proyectados desde el mismo punto del plano p. Estos puntos definen los límites de las zonas ocultas (Figura 3).

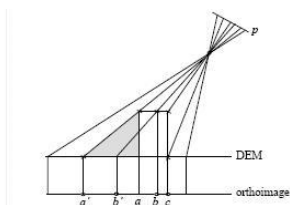


Figura 1.- Geometría básica de la ortorrectificación a partir de la adquisición de un fotograma.

Cuando utilizamos un algoritmo estándar de rectificación, el valor de cada píxel de la ortoimagen se calcula desde su proyección en la imagen original teniendo que aplicar alguna técnica de interpolación. Así, el algoritmo de ortorrectificación estándar, sin una detección de partes ocultas, presentaría una duplicación inaceptable de estructuras. Este fenómeno es muy fácil de entender si prestamos atención a los puntos b y b' (Figura 1) que, de nuevo, corresponden al mismo punto en la imagen original, aunque b es visible y b' no.

Todos estos casos deben ser considerados para la generación de ortofoto estricta durante el proceso de ortorrectificación, teniendo que aplicar distintas técnicas para solventarlos.

### EFFECTOS DEBIDOS A LA FALTA DE PRECISIÓN DEL MDS

Las discrepancias entre el modelo digital de superficie y la forma del terreno real producen algunos efectos indeseados en la ortofoto estricta.

Uno de los más frecuentes se debe a la incompleta digitalización de la totalidad de los edificios, sin tener en cuenta estructuras menores como balcones o barandillas de terrazas. Estas pequeñas estructuras pueden ocultar áreas que no quedan recogidas en las zonas de ocultación durante el proceso. Este es el motivo por el cual una región, que en las ortofotos debería ser una occlusión, muestra balcones y barandillas proyectados en el suelo.

Existen otros efectos a tener en cuenta. Por ejemplo, si la altura de un edificio no se ciñe completamente a la real, la rectificación del fotograma y el cálculo de las sombras geométricas no será totalmente correcto.

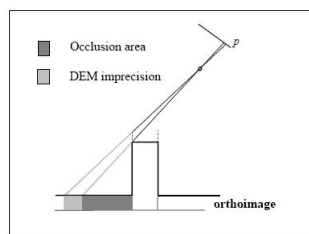


Figura 2.- Artefactos causados por las imprecisiones del MDS.

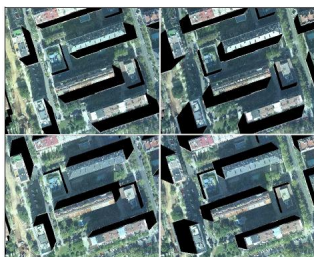
## GENERACIÓN DE MAPAS DE OCULTACIONES

El tratamiento automático de ocultaciones se sustenta en la generación de los mapas de ocultaciones en tiempo de rectificación. Dicho proceso consta de los siguientes pasos:

Para cada punto de la ortofoto y cada uno de los fotogramas que contribuyen a la generación del mosaico, se calcula la distancia entre este punto y la posición de observación, y se asocia ésta al píxel correspondiente en el espacio imagen.

Si la posición de este píxel ya ha sido utilizada, la distancia calculada deberá ser revisada. Si es menor que la anotada anteriormente, ésta se sustituye y se etiqueta el píxel correspondiente como ocultación. En caso contrario, se etiqueta el píxel actual.

De este modo, al finalizar este proceso tenemos, para cada fotograma, su correspondiente máscara de ocultaciones en el espacio de ortorrectificación.



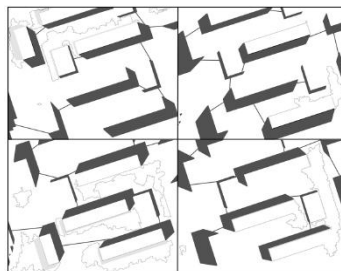
**Figura 3.-** Mapas de ocultaciones correspondientes a 4 fotogramas.

## PROCESO

Disponemos del mosaico preliminar, de los mapas de ocultaciones, y las costuras que definen las partes útiles del fotograma que contribuirán a la imagen final. El siguiente paso del proceso consiste en combinar los mapas de ocultaciones de cada fotograma que contribuye al mosaico en una imagen única de sombras geométricas residuales. Para cada una de ellas se establece un análisis previo para decidir cuál es el fotograma que utilizaremos para solventar la zona ocluida. Pueden definirse varios criterios, como la verticalidad de la vista, el porcentaje de ocultación cubierta, etc. Una vez procesados todos los mapas de sombras geométricas residuales, obtenemos una lista de segmentos de imagen que añadiremos al

mosaico preliminar. A continuación se elabora, mediante una técnica similar a la descrita por Xandri et al. (2005a), el mosaico de todas aquellas imágenes adquiridas con diferentes puntos de vista con el fin de conseguir una completa ortofoto estricta, libre de zonas ocultas.

En primer lugar, se genera una imagen de coste a partir de la evaluación de las diferencias radiométricas entre el fotograma rectificado y el mosaico preliminar. Posteriormente se genera un gráfico simple para este fotograma, a partir del mapa de ocultaciones, la imagen de diferencias radiométricas y la creación de segmentos que, a partir de puntos aleatorios, conectan las zonas ocluidas. A todos los píxeles que constituyen este gráfico se les asigna un coste alto.



**Figura 4.-** Piezas que resuelven las ocultaciones (costuras) utilizando diferentes fotogramas.

El objetivo ahora, es generar un conjunto de costuras que encierren los segmentos que añadiremos al mosaico preliminar. Con este propósito, debemos seleccionar un punto de partida y un punto de llegada, situados en ambos extremos de la zona que debemos tratar. Finalmente, se aplica el algoritmo general de búsqueda de costuras en cada segmento obteniendo así una costura de coste mínimo que, además, garantiza que no se hayan añadido nuevas ocultaciones al mosaico final.

Desde el punto de vista radiométrico, la experiencia ha demostrado que la igualación global no es suficiente para garantizar la continuidad, por lo cual, durante el proceso se realiza una igualación local y automática de los histogramas entre el segmento que cubrirá la ocultación y la imagen de destino.

## RESULTADOS

Estas técnicas han sido aplicadas sobre 175 imágenes ortorectificadas provenientes de un

vuelo de 10cm de GSD, con un solape del 80%, capturado mediante la cámara DMC (Z/I) sobre la zona urbana de Vilafranca del Penedès. Se ha utilizado una red irregular de triángulos (TIN) obtenida del mapa topográfico a escala 1:1000. Las especificaciones topográficas no son las ideales para la generación de ortofoto estricta, pero una parte importante del estudio también consistió en la determinación y evaluación de los problemas generados por este tipo de información.

En esta prueba se demuestra que los efectos indeseados producidos por la falta de precisión del MDS quedan solventados por el proceso automático. En la Figura 2 se muestra cómo estas áreas de edificio no han sido colocadas en su correcta posición planimétrica y son adyacentes a la, también incorrecta, zona de ocultación. La solución viene dada por el hecho de que estas mismas áreas también han sido posicionadas de forma incorrecta en diferentes adquisiciones y en la imagen de diferencias se generan valores muy altos.



Figura 5.- Imagen rectificada.

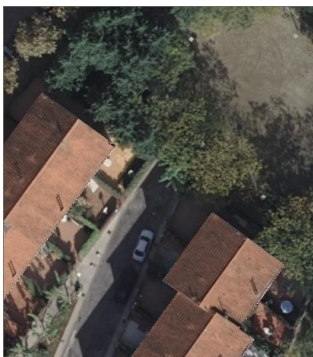


Figura 6.- Mosaico final.

Las Figuras 5 y 6 son especialmente representativas dado que las edificaciones que aparecen poseen tejados a dos aguas. Las especificaciones topográficas aproximan esta clase de tejados por un plano a su altura máxima. Se trata pues, de un caso de imprecisión del MDS que ha sido solucionado por el proceso de mosaico automático. Aún así, otras clases de artefactos no ven solución automática en esta metodología y siguen requiriendo un retoque manual. Éste es el caso de las estructuras y subestructuras que aparecen sobre los tejados (claraboyas, etc.).

## CONCLUSIONES

Se ha implementado un método automático de tratamiento de ocultaciones para la generación de ortofoto estricta a escalas grandes combinando la igualación radiométrica y la búsqueda de líneas de costura. Los resultados muestran que es eficiente en general sobre un DSM proveniente del topográfico 1:1000 y que es necesaria una igualación radiométrica local.

## BIBLIOGRAFÍA

- Braun, J., 2003. Aspects on True-Orthophoto Production. *Proceedings, 49th Photogrammetric Week*, pp. 205-214. Stuttgart, Germany.
- Palà, V., Arbiol, R., 2002. True orthoimage generation in urban reas. *Proceedings of 3rd International Symposium Remote Sensing of Urban Areas*, Vol. 1, pp. 309-314. Istanbul, Turkey.
- Xandri, R., Palà, V., Arbiol, R., 2005a. Determinación automática de costuras para la generación de ortofotos. *Proceedings of 6th Geomatic Week*. Barcelona.
- Xandri, R., Pérez, F., Palà, V., Arbiol, R., 2005b. Automatic Generation of Seamless Mosaics over Extensive Areas from High Resolution Imagery. *World Multi-Conference on Systemics, Cybernetics and Informatics (WMSCI)*. Orlando, USA.
- Xandri, R., Pérez, F., Palà, V., Arbiol, R., 2006. Seamless Automatic Mosaicking Taking into Account Infrastructures and Buildings. *ISPRS Comission I Working Group IV*. Paris.