

MODELIZACIÓN URBANA TRIDIMENSIONAL USANDO TÉCNICAS MIXTAS

C. PÉREZ

carpegu@gugu.usal.es

*Dept. de Ing. Cartográfica y del Terreno,
Universidad de Salamanca. C/ Santo Tomás, sn
05003 Ávila*

RESUMEN: El proyecto trata de automatizar la toma de la altimetría de los edificios, de tal forma que incorporándolo al modelo digital de elevaciones a pie de calle, se consiga la modelización tridimensional de la ciudad. Se utilizaron técnicas avanzadas de procesamiento de imagen. Por un lado, se procedió con algoritmos típicos en el ámbito de la teledetección que pretendían la categorización de los distintos usos de la imagen mediante técnicas de texturas y clasificación. Paralelamente, partiendo de metodología asociada con la fotogrametría, se hacía el enlace entre áreas homólogas y se calculaba la tercera dimensión de éstas, con la intención de obtener la altura de los edificios.

ABSTRACT: The project tries to make a 3D modelling from a urban zone to take the third dimension of the buildings. It uses enhanced processings of image. At first, it tries algorithms of classification and textures from remote sensing to labelling buildings and streets. Later, it gets a three-dimensional model, using photogrammetry and matching techniques...

Palabras clave: altimetría, fotogrametría, ciudad, elevación.

INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

Teledetección y fotogrametría cada vez están más íntimamente ligadas. Ya nadie plantea la divergencia entre ambas disciplinas y, día a día se está produciendo una mayor conexión entre una y otra.

La llegada del satélite Ikonos provocó una pequeña revolución en cuanto a la resolución espacial esperable de una plataforma satelital. Tal es así, que incluso a día de hoy, transcurrido más de un año desde su lanzamiento, el uso y las aplicaciones de este sensor, están fuertemente cuestionadas. Hecho que viene parejo a la problemática de no disponer de un modelo digital de elevaciones, lo suficientemente preciso como para acometer las tareas de georreferenciación, que nos permitan posicionar sus datos sobre el terreno, con la precisión adecuada.

Así, el procedimiento tradicional que se venía efectuando en la georreferenciación de imágenes en Teledetección, eran: o bien simples técnicas de rectificación sin tener en cuenta el relieve y basándose únicamente en puntos de control planimétricos; o cuando se hacía uso de una modelización altimétrica, no había inconveniente en que este modelo de elevaciones no se ajustara del todo a la realidad. La resolución espacial de

la imagen satelital daba el suficiente juego como para que un modelo altimétrico con paso de malla de 25 ó 30m. fuera lo suficientemente riguroso en las correcciones topográficas.

Ahora bien, este mismo modelo aplicado en imágenes con mayor resolución, hace que estas presenten una geometría falseada. Más que nada, motivada por el abatimiento de los objetos cuyo relieve sea destacable en una imagen de alta resolución, pero que no haya sido contemplado en un modelo digital de elevación al uso.

Así, edificaciones, árboles o demás elementos cuyo tamaño no concierne ser incluido en un modelo de elevaciones convencional, van a presentar un abatimiento en una imagen de alta resolución georreferenciada. Este abatimiento será fruto de una incorrecta correspondencia entre la cota teórica marcada por el modelo, y la verdadera cota impuesta por el objeto.

Planteado el caso anterior, cabe destacar, de forma paralela, otra curiosidad, que a su vez, se va a tornar en un problema: En zonas urbanas no existe una correcta modelización del relieve. O hablando más propiamente, en zonas urbanas no suele existir una correcta modelización de los edificios.

Por la propia inercia de la cartografía tradicional, la cartografía de urbana ha consistido básicamente en la representación planimétrica de los edificios. Esto era lo estrictamente necesario para la planificación urbanística, y en caso de precisar del conocimiento de altimetría, se incorporaba a cada edificación el número de plantas en que estaba dividido.

Por otro lado, y como justificación a ella, este tipo de cartografía reunía los requisitos para la que iba destinada. No se precisaba más información. Estaba enfocada como cartografía numérica de la ciudad, para tener una visión a nivel de asfalto de la ciudad. De forma que veníamos a tener un callejero digital de la urbe, que nos iba a permitir contemplar y solucionar la problemática propia de ese momento: planes de ordenación urbana, análisis de tráfico, control de impuestos, etc.

Pero esta cartografía, a día de hoy, presenta deficiencias. Las nuevas tecnologías están demandando cierta información altimétrica que no se puede quedar en el número de plantas que presenta una edificación, y que tienen que ir, a pesar del trabajo que ello implica, a representar no solo la ciudad a 'cota cero', sino incluyendo la medición de las alturas de los edificios.

Este tipo de aplicaciones viene siendo demandado por profesionales de planificación de telecomunicaciones en telefonía fija o por radio, que pretenden cuantificar zonas de sombra y saturación; o por analistas urbanos que desean una visión realista y tridimensional de la ciudad, para cuestiones de densidad urbanística, líneas de ruido en contaminación ambiental, etc...

Se trataría, en fin, de elaborar el modelo digital de elevaciones de la ciudad, o quizás, llamémosle modelo digital de edificios, que vendría a equipararse con una maqueta virtual de la ciudad. Maqueta, con toda la dimensión que pueda derivarse del concepto de realidad virtual, de tal forma que sobre ella, pueda visualizarse cualquier perspectiva desde cualquier punto y ángulo deseado, y que reúna unas condiciones de precisión geométrica adecuadas a los distintos análisis que sobre ella se quieran efectuar.

Pero su solución no es trivial. De ahí que todavía sean pocas las ciudades que se han planteado el problema.

El modelo digital de elevaciones en zona rústica, aún con sus inconvenientes asociados, es algo más o menos idealizable. Al fin y al cabo, se comporta, generalmente, como una superficie continua. Es decir, como una superficie matemática en la que cada par de coordenadas planimétricas, lleva asociada una y solo una coordenada altimétrica. Tanto es así, que únicamente en casos excepcionales (carreteras, puentes, taludes y demás elementos antrópicos) se incluyen líneas de rotura, para facilitar el ajuste entre la realidad y el modelo.

Es por ello, que este tipo de modelizaciones del entorno rústico, es posible elaborarla basándose en los tradicionales métodos de interpolación mediante splines, krigeado, redes de triángulos irregulares, etc.

En contraposición con rústica, la morfología de las áreas urbanas presenta configuraciones no equiparables con superficies continuas. Los edificios se comportan como elementos discontinuos. Piénsese, por ejemplo, en la arista vertical de un edificio. Allí las coordenadas planimétricas no se corresponderán directamente con una única cota, sino con dos: una, a cota de calle, y otra, en la parte superior del edificio.

Por tanto, de todo lo anterior, se puede considerar a los edificios como elementos discontinuos, con doble cota, y equiparables para su modelización a un poliedro de aristas paralelas. Es decir, a un paralelepípedo.

Y no estamos muy alejados al pensar que únicamente debemos modelizar los edificios. El resto de la ciudad, es decir, las calles, parques y jardines, ya presentan su modelo digital de elevación. Modelo extrapolable de la toma de datos que se efectuó para hacer la cartografía actual de la ciudad, bien por procedimientos taquimétricos, o fotogramétricos o ambos.

Así pues, el estado de la cuestión, está en que disponemos de un modelo digital de elevaciones a nivel de calle, y que los edificios con su dicotomía de cotas, están por modelizar, pero pueden equipararse, en primera aproximación, a paralelepípedos.

El presente proyecto trata de automatizar la toma de la altimetría de los edificios, de tal forma que incorporándolo al modelo digital de elevaciones a pie de calle, se consiga la modelización tridimensional de la ciudad.

Siendo más precisos, el fin último es conseguir que cada punto de planimetría tenga su correspondiente coordenada altimétrica, con independencia de si pertenece o no a un edificio.

Se trataría por tanto, más de una modelización 2D/2, que de un modelo completamente 3D. Es decir, conceptualizando, sería representable mediante un modelo digital de elevaciones en formato ráster, en el que las coordenadas planimétricas del punto vienen marcadas por su posición (fila y columna) en la matriz; y su cota, por el valor de ese elemento de la matriz.

La precisión final vendrá marcada por el tamaño del píxel, resolución espacial de la imagen. Y que como a continuación veremos, oscilará entre unos cuantos centímetros y unas decenas de ellos.

EJECUCIÓN DEL PROYECTO

Para el presente proyecto se utilizaron técnicas avanzadas de procesamiento de imagen. Por un lado, se procedió con algoritmos típicos en el ámbito de la

tedetección que pretendían la categorización de los distintos usos de la imagen mediante técnicas de texturas y clasificación

Paralelamente, partiendo de metodología asociada con la fotogrametría, se hacía el enlace entre áreas homólogas y se calculaba la tercera dimensión de éstas, con la intención de obtener la altura de los edificios.

Datos Iniciales

Se partió de tres fotografías aéreas en color de la ciudad de Ávila a escala aproximada 1:9.800, que previamente habían sido escaneadas a una resolución de 1.200 puntos por pulgada.

De lo anterior, se deriva un tamaño del píxel de 7cm. en terreno, lo que nos permitirá tener un amplio abanico de posibilidades a la hora de manipular la imagen, dada su alta resolución. Pero también, conlleva alto coste de procesamiento por el tamaño de almacenamiento de las tres imágenes.

La terna fotográfica forma parte de una misma pasada y, presenta un recubrimiento longitudinal de aproximadamente el 65%, lo que nos va a permitir el uso de la fotogrametría a la hora de cuatificar la tercera dimensión de la escena.

Caracterización por el método tradicional

De forma manual y haciendo uso de la estereoscopia, un operador fotogramétrico puede ir tomando punto a punto la cota de los diferentes elementos. Sí actúa así y recoge los puntos concernientes a la parte superior e inferior de los edificios, a partir de líneas de rotura, podría llegarse a la modelización de la ciudad que pretendemos.

Esó sí, el coste económico de la operación es considerable por el hecho de tener que invertir gran cantidad de tiempo en la recogida punto a punto de altimetría de los edificios. Piénsese que cada edificio va a tener un mínimo de cuatro puntos en su parte superior y otros tantos en la inferior.

Otro potencial inconveniente radica en el hecho de que muchos puntos en la parte inferior de los edificios van a ser imposibles de tomar. Bien por el tema de sombras arrojadas por otros edificios, o bien por la propia geometría central de la fotografía: Puede que el abatimiento de la propia imagen del edificio según nos alejamos radialmente del centro del fotograma, va a impedir el posado estereoscópico y la toma de los pies de determinados edificios.

Por tanto, el método tradicional presenta algunas singularidades que aunque matizables, no lo hacen del todo adecuado.

Por otro lado, una automatización del proceso sería deseable con el fin de acelerar el fin perseguido y alcan-

zar este tipo de cartografía demandada en un intervalo de tiempo lo más pequeño posible.

Metodología seguida. Clasificación

La presente iniciativa se basa primeramente en discriminar los tejados de los edificios. Es asumible que la forma del tejado coincida con la geometría planimétrica del edificio. Asimismo, si un edificio presenta diferentes alturas de construcción, éstas también quedarán matizadas por las diferentes alturas de los tejados, y por lo tanto, esto también podrá ser discriminado.

Así pues, el primer paso es etiquetar los diferentes tejados mediante un procedimiento de clasificación, y separarlos de aquellas zonas que simplemente son calles.

El proceso a seguir no es baladí por el propio hecho de que solamente tenemos tres bandas en el visible. Además, es conocida la gran correlación que presentan las diferentes longitudes de onda dentro del espectro visible.

Se procedió a la equalización de la imagen y, posteriormente, a un cálculo de índices de homogeneidad mediante texturas.

Tras varios análisis e índices de diferente tamaños y vector-distancias, se llegó a una solución de compromiso que parecía acorde con el fin buscado.

Así, utilizando técnicas de clasificación no supervisada, ISODATA concretamente, en la que entran como canales de entrada tanto las imágenes originales, como los índices de texturas, se procedió al etiquetado de los píxeles para todas las imágenes, y a la discriminación entre áreas edificadas y sin edificar.

Como conclusiones del proceso anterior, el procedimiento de clasificación no es preciso que sea muy discriminante. A posteriori, los siguientes pasos nos permiten evaluar la precisión alcanzada y actuar en consecuencia. Simplemente, es preciso que al salir de la etapa de clasificación, se tenga una configuración más o menos visual de las agrupaciones de píxeles que se corresponden con edificios y aquellas que no.

Por ende, es también necesario que los diferentes *clusterings* nos indiquen las diferentes alturas que presentan los edificios contenidos dentro de una manzana urbana. De esta forma podremos discretizar entre unas medianerías y otras.

Llegados a este punto, disponemos de la clasificación de los tejados en las tres imágenes. Es decir, dado que las tres imágenes presentan cierto solape, tendremos una misma clasificación repetida en las zonas de recubrimiento.

Obtención de la tercera dimensión

Se trata, a continuación, de proceder al enlazado de aquellos tejados homólogos en ambas imágenes para así obtener su cota. En definitiva, se hace uso de las técnicas de las ecuaciones de colinealidad y coplanaridad, para que a partir de la posición de un mismo objeto en dos imágenes tomadas desde diferente punto de vista, podamos reconstruir su profundidad.

Es decir, procedimiento general de la estereoscopia en el que a partir de dos planos bidimensionales, obtenemos la reconstrucción tridimensional del objeto.

La elaboración de este paso se puede llevar a cabo desde muy diversos procedimientos: Asistidos, semiautomatizados o completamente automatizados.

En principio, se optó por un proceso totalmente manual. Es decir, tras la orientación absoluta de los fotogramas ya clasificados, el operador iba marcando puntos homólogos en cada una de las fotografías, y se iba obteniendo las coordenadas tridimensionales del tejado del edificio.

Si ya se conoce el modelo digital a cota de calle, prácticamente se tiene modelizada la ciudad: Por un lado se tendrá la cota de las discontinuidades (es decir, de los edificios) y por otro, las del elemento continuo (es decir, las calles). Solo habrá que fusionarlas correctamente y tendremos un modelo tridimensional de alambre, es decir, una auténtica modelización en tres dimensiones.

Automatización de la búsqueda

Ahora bien, el procedimiento anterior conlleva un tiempo asociado a la captura manual de información bastante alto. Es por ello, que se consideró conveniente una ligera automatización del proceso.

Varias son las vías de localizar superficies homólogas entre dos imágenes. Son muchos los algoritmos que se basan en la forma, localización, elongación y/o superficie aportada por las áreas a considerar. Pero la planteada hasta ahora en el proyecto va más por el camino de la automatización basada en la correlación de áreas.

Esta automatización pasa por la epipolarización de las imágenes, procedimiento habitual en la actual fotogrametría digital cuando se pretende una correlación automática entre puntos homólogos.

De esta forma, se puede entrar en un procesamiento por correlación de imágenes, de cara a buscar puntos homólogos y con ello, alturas de los objetos.

Pero, es algo grosera y demasiado masiva. Precisa un cierto refinamiento ya que las correspondencias entre puntos en una imagen clasificada son difíciles de llevar a cabo, a no ser que se pongan matrices de correlación y búsqueda lo suficientemente grandes. Y ello implica un trabajo de procesamiento sumamente elevado, y no por ello una mejora de los resultados.

De ahí, un pequeño refinamiento a acometer: Se trata de filtrar la imagen con intención de caracterizar únicamente las líneas de delimitación de los *clusters*. Es decir, que el algoritmo de correlación no busque por la imagen tratando de localizar áreas y superficies parejas, sino que busque dentro de un entorno establecido por la línea epipolar, y por un entorno significativo marcado por paralajes máximas y mínimas en la zona.

La búsqueda, al estar las imágenes epipolarizadas, no precisa que se identifique un área que se parezca a otra, sino exactamente el punto de la cornisa que delimita el área del tejado, con lo que no es tejado. No son áreas, sino puntos de búsqueda.

CONCLUSIONES

Con la automatización más o menos que se desee, se puede llegar a conseguir modelizar la ciudad tanto en planimetría como en altimetría: Una alta asistencia por parte del operador reportará modelizar la ciudad de forma totalmente tridimensional. Una automatización del sistema por procedimientos de correlación llevará al modelado raster 2D1/2, ya comentado.

Hay que tener presente que este proceso es únicamente basándose en la presunción de que los tejados guardan relación con la forma del edificio en su conjunto. Reseñable esto debido al retranqueo de la cornisa del tejado con la fachada del edificio.