

NECESIDADES Y TÉCNICAS DE OBTENCIÓN DE UN MODELO URBANO 3D VERDADERO: UNA SOLUCIÓN Y SOPORTE PARA LA NAVEGACIÓN Y LOCALIZACIÓN EN CIUDADES

Palà, V.^(*) y Corbera, J.^(**)

^(*) Institut Cartogràfic de Catalunya

^(**) Instituto de Navegación de España
Parc de Montjuïc S/N, 08038 Barcelona

Palabras Clave: navegación, gps, galileo, 3D urban model

Resumen

El posicionamiento a partir de redes globales de satélites proporciona excelentes resultados bajo el supuesto de existir una línea directa de comunicación entre el receptor y todos los satélites que participan del cálculo de la posición. Curiosamente se estima que la mayor parte del mercado de los sistemas basados en localización se encuentra en las ciudades que, con frecuencia y debido a su complejidad estructural, configuran situaciones donde el receptor no recibe la señal para algunos satélites o bien la recibe indirectamente tras una o varias reflexiones o interferencias.

Para conseguir buena precisión en el posicionamiento a partir de GNSS (Global Navigation Satellite Systems) en un entorno urbano es importante disponer de un modelo 3D urbano (3DUM: “3D Urban Model”) que permita modelizar las anomalías o el camino que sigue la señal de posicionamiento o navegación recibida. La creación y explotación de estos modelos está en fase de rápida expansión [1], tanto por las posibilidades tecnológicas que hacen viable el manejo de grandes estructuras de datos y complejos cálculos, como por los nuevos instrumentos útiles para su confección y que van asentando herramientas tan sólidas como productivas: satélites de alta resolución, sistemas inerciales, LIDAR, modelos electromagnéticos. A título de ejemplo cabe mencionar que la Comisión III de la ISPRS dispone de un grupo de trabajo (Working Group 7) cuyo objetivo primordial es la modelización de entornos urbanos (“Modeling Large Scale Urban Environments”).

Las ciencias de la informática y la fotogrametría van buscando gradualmente mayor calidad visual en su objetivo común de obtener modelos 3D de objetos o reconstrucción de espacios, los llamados entornos virtualizados (“virtualised environments” [5]). Los escenarios urbanos son complejos, difíciles de comprender. La visualización de un mundo virtual en 3D puede ayudar mucho a la comprensión de esa información compleja. Los modelos urbanos 3D proporcionan información detallada del entorno construido a diferentes escalas, facilitan la comunicación entre los técnicos y los que no lo son y proveen una buena solución para los problemas que no pueden resolverse fuera de un entorno 3D como, por ejemplo, las telecomunicaciones. Dentro de los denominados LBS (Location Based Services) participan ayudando a proporcionar entornos mucho más amigables y comprensibles al usuario final.

Cabe mencionar dos técnicas o metodologías que están evolucionando y ofreciendo buenos resultados en la línea de la automatización de la generación de modelos urbanos. La primera se basa en el uso exclusivo de imágenes ópticas (por ejemplo, fotografías), tanto para la reconstrucción del modelo geométrico o de formas como para el modelo de texturas. La segunda emplea la tecnología LIDAR para la reconstrucción de formas y puede usar tanto la misma tecnología como la fotografía para la reconstrucción de la textura.

1. 3DUM con fotogrametría aérea y terrestre

La aproximación clásica y segura, hoy por hoy, para la generación de un modelo urbano a partir de fotografías requiere de mucha intervención manual, tanto en la fase de aerotriangulación como en la de modelado o restitución tridimensional. Además es imprescindible combinar los resultados de explotación de imágenes aéreas con imágenes terrestres.

Los procedimientos algorítmicos descritos en la literatura en los últimos años se ciñen típicamente a la mejora de algún aspecto particular dentro del amplio espectro de problemas que la automatización de la extracción de un modelo tridimensional conlleva: calibración de la cámara, registro, extracción de estructuras, estimación de texturas, inversión de iluminación global.

Hasta el momento se han desarrollado y descrito diversas soluciones parciales, es decir, soluciones que imponen ciertas restricciones en el uso o en los resultados. Algunos algoritmos asumen configuraciones especiales para las

cámaras o las imágenes. Otros, como Debevec et al. [3], así como posteriormente Dorffner and Forkert [4], han propuesto sistemas que partían de un modelo 3D aproximado y mediante las imágenes que toman con una cámara refinaban dicho modelo. La ventaja reside en que se requiere un número limitado de imágenes.

Pollefeys et al. [2] presentan un sistema totalmente automático que obtiene un modelo 3D de la superficie a partir de imágenes captadas moviendo libremente la cámara alrededor del objeto. El sistema utiliza cámaras de perspectiva completa y no requiere calibración previa al uso. Muestran algunos resultados de aplicación dentro del ámbito de la arqueología.

Otro trabajo en la línea de obtener una completa automatización es el presentado por Teller [6], que define los requisitos básicos de diseño de un sistema de captura automática y escalable, un futuro robot encargado de establecer automáticamente cartografía para áreas urbanas. La restricción que impone a la captura es la de “estructura de escena persistente”. Las bases de la aproximación metodológica al problema son: adquisición de metadatos de georreferenciación para cada imagen, adquisición de imágenes omnidireccionales que garantizan una calibración más precisa y robusta de la cámara, utilización de una formulación probabilística del error de proyección y, por último, requisitos computacionales del sistema lineales en relación con el área de adquisición y el tamaño del modelo de salida. Concluye que a medida que crece la magnitud del modelo a establecer, los sistemas automáticos aventajan a los operadores humanos no sólo en cuanto a eficiencia sino también en cuanto a precisión.

2. 3DUM con LIDAR

El LIDAR (Light Detection And Ranging) es un instrumento que emite una serie de rápidos pulsos láser que son reflejados de nuevo por los objetos de nuestro interés y retornados hacia el instrumento. Los sistemas LIDAR son muy similares a los radares, aunque utilizando longitudes de onda mucho más cortas. El tiempo transcurrido entre emisión-recepción permite calcular la distancia entre objeto y sensor. Simultáneamente se registra la posición y actitud del sensor mediante un sistema integrado GPS/IMU. Todos estos datos, combinados con información atmosférica y características hardware permiten calcular las coordenadas tridimensionales de los citados objetos.

Las principales ventajas del LIDAR respecto de la fotografía son dos: determinación directa, precisa y rápida de las distancias (y no indirecta en base a los resultados de una etapa de *matching* como en la fotografía) y, en segundo lugar, no es necesaria la luz ambiente al tratarse de un sensor activo. Para determinadas aplicaciones, especialmente las que requieran alto grado de camuflaje o seguridad, este último aspecto puede ser el mayor obstáculo ya que un sensor activo, por su naturaleza, delata su posición. También sabemos que un láser no opera perfectamente bajo una intensa radiación solar, es más lento, pesado, de mayor consumo energético y obtiene buenos resultados para un rango de distancias limitado.

Muchos son los defensores acérrimos de la idoneidad máxima del lidar para la obtención de modelos digitales de la superficie o modelos urbanos 3D, especialmente para zonas de alta densidad urbana [7, 8]. Ahora bien, la elaboración de un modelo urbano requiere la aplicación de costosos preprocesos de filtrado de ruido y suavización de la información previos a la detección y vectorización de las aristas de los edificios, cuya automatización, que esencialmente es un problema de conversión de ráster a vector, es uno de los campos de batalla claves dentro de esta técnica [9].

3. Integración entre 3DUM y GNSS

Como ya hemos apuntado en la introducción el problema en la utilización de la señal satélite en un ambiente urbano es que está fuertemente afectada por el efecto multipath. El fenómeno multipath es un fenómeno 3D y por tanto sólo puede ser modelado utilizando una modelización 3D urbana, cuyas principales técnicas y estado del arte ha sido apuntados en los anteriores apartados.

Ciertamente, la navegación en ciudades puede ser comprendida y aceptada en 2D, aunque veremos ejemplos donde la visión 3D puede favorecerla enormemente. En cualquier caso el error de la señal de navegación (localización) debe ser resuelta bajo un modelo 3D.

La modelización de las perturbaciones de la señal de navegación en un entorno urbano debe siempre contemplar dos grandes ámbitos de trabajo:

- a) *El modelo geométrico*: Se requiere una reconstrucción geométrica del entorno urbano en 3D a partir de herramientas de teledetección, como la fotografía aérea aplicando herramientas fotogramétricas o herramientas CAD.
- b) *El modelo electromagnético*: Se trata de modelizar el comportamiento electromagnético de la señal a partir, por ejemplo, de modelos como el GTD (Geometrical Theory of Diffraction). En este sentido es muy importante intentar parametrizar no tan sólo la estructura geométrica 3D, sino también aspectos texturales, como rugosidad o material.

La precisión y calidad de la modelización, tanto del modelo geométrico como del electromagnético, estará y debe estar en función de las exigencias y prestaciones requeridas por las aplicaciones de navegación y localización.

Así, por ejemplo, en el caso de la navegación aérea y tráfico en los aeropuertos, la modelización 3D de edificios y de su comportamiento electromagnético es crítica, por razones obvias de seguridad. Incluso en el caso de que no exista una compleja geometría de edificios, el propio suelo provoca efectos *multipath* (*ground bounce signal*). Este efecto puede ser especialmente crítico en el caso de que la antena GNSS esté cerca del suelo en las maniobras de aproximación precisa y aterrizaje, causando rápidas variaciones del error *multipath*. La longitud, altura de la pista de aterrizaje o la vecindad de otros aviones son parámetros que también afectan a la calidad de la señal.

En el otro extremo de requerimientos podríamos tener los servicios de emergencia E112 o 911. Actualmente la certificación de este servicio requiere, en el caso de las llamadas de emergencia, que su localización se determine con una precisión de 100m. Estos requerimientos pueden ser perfectamente contemplados por receptores comerciales GPS e incluso por otros sistemas de determinación de la posición, como la propia utilización de la red de estaciones celulares.

En la siguiente tabla se expone una comparativa entre posicionamiento GPS y CELULAR de los sistemas [10].

METODO	ACRONIMO	PRECISION
Identificación de la célula	Cell I.D.	250 m. a 30 Km
Tiempo de llegada	TOA	125 m.
Diferencia de tiempos	E-OTD	Inferior a 100 m.
GPS Absoluto	GPS	2-20m.
GPS Diferencial	DGPS	1-10m.
GPS Asistido	A-GPS	1-10m.

Tabla 1: Esquema comparativo entre posicionamiento basado en GPS y posicionamiento Celular.

Como podemos observar, el sistema GPS es relativamente preciso pero, como ya hemos documentado, la geometría de la ciudad “poluciona” la señal y la precisión queda lejos de los valores expuestos. En algunos casos la pérdida de calidad de la señal puede ser mejorada con el envío de correcciones diferenciales u otros métodos, pero los problemas de reflexión o bloqueo de la señal permanecen.

La existencia de un modelo preciso de la ciudad, puede permitir modelizar estas perturbaciones. Conocidas las coordenadas del receptor y de los satélites, bajo el modelo geométrico de la ciudad podríamos determinar qué satélites tienen una visibilidad directa al receptor y cuales no.

En la siguiente tabla se exponen los resultados de un prueba realizada en un ambiente urbano donde quedan perfectamente reflejadas las anteriores observaciones [11].

SATÉLITES UTILIZADOS	SATÉLITES EN VISIBILIDAD DIRECTA	SATÉLITES CON LA SEÑAL REFLEJADA	3D ERROR
3	3	-	43
4	4	-	20
3	2	1	104
4	3	1	21
3	1	2	108

Tabla 2: Comparando precisiones en la determinación de la posición

La metodología actual de trabajo, en lo concerniente a la navegación 3D, se apoya en el uso de librerías de tipos de edificios. Estas librerías deben almacenar información que permite concretar o modelizar dos importantes aspectos de la estructura urbana que condicionan la precisión en el posicionamiento:

- **Modelo ambiental o geométrico:** Se requiere de precisos datos 3D de la geometría urbana. Para una mejor operatividad, se selecciona un edificio de la librería y se dota de herramientas para ubicarlo con precisión en el modelo 3D (traslaciones, rotaciones, escalados, etc).
- **Modelo textural:** En las librerías se almacena información relativa a la textura o el tipo de material. Este información es tanto más relevante cuanto menor es la longitud de onda de la señal. El sistema GALILEO de navegación por satélite europeo empleará longitudes entre 0.2 y 0.25m.

En la figura 1 exponemos un resultado elaborado por Roke Manor Research Ltd. del Reino Unido. En trazo discontinuo el perfil del “power delay” utilizando una superficie textural y en trazo continuo sin textura. Se puede observar como la calidad de la señal mejora en el entorno del retardo comprendido entre los 10 y 30 ns en unos 15 dB de media.

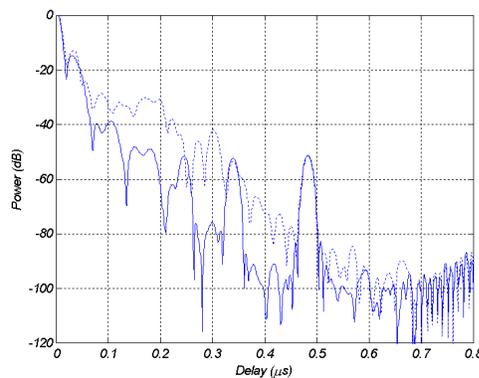


Figura 1: Fuente RMRL [11] para una modelización en la ciudad de Londres.

4. Navegación en ciudades: necesidades, problemáticas y perspectivas

Inicialmente limitada por la precisión de la cartografía y los sistemas de determinación de la posición y la dirección, la navegación es en la actualidad totalmente operativa, funcional y automatizada utilizando los sistemas de radionavegación tanto en el sector marítimo como en el aéreo.

Esta no es la situación en el sector terrestre. La “obligatoriedad” de navegar por las infraestructuras existentes (carreteras, calles) y sus intersecciones requiere de muchos más puntos de control o *waypoints* y direcciones, así mismo, con mucha más frecuencia por lo que aumenta considerablemente el volumen de la información a procesar.

La navegación en ciudades representa el punto culminante de todas estas dificultades. Cuando damos direcciones en este entorno, con frecuencia utilizamos señales o elementos urbanos (*landforms* o *landmarks*). Ahora bien, la navegación apoyada en el uso de *landmarks* comporta:

- Gran facilidad de perderse si se pierde algún *waypoint* y/o perdemos el sentido de la dirección.
- El usuario precisa de cartografía altamente dependiente de señales o *landmarks* (Figura_2).
- Requerimientos muy altos en cuanto a la actualización de la información y precisión de la misma como elemento de navegación.

En la navegación terrestre y de forma muy especial en la de zonas urbanas, en cuanto a los sistemas de navegación personales o abordo (vehículos) ha existido una tendencia a que la información fuera proveída por sistemas embarcados y/o integrados en el propio receptor o dispositivo de navegación del usuario, con muy poca o casi nula capacidad de comunicación con el exterior. Ello ha comportado diversos problemas:

- Incapacidad para proveer una continuidad del servicio a través de diferentes plataformas de usuario (instrumentación a bordo, PDA, teléfono celular...).

- Incapacidad de proveer una información dinámica, en tiempo real, actualizada.
- Necesidad de almacenamiento de la información.
- En general dicha falta de flexibilidad a redundado en costes para el usuario.



Figura 2: Interfaz gráfica del sistema de guiado y direcciones en la plataforma de navegación para vehículos desarrollada en la Universidad de Zaragoza, donde se integran *landmarks*. [12]

Existen en la actualidad en fase de desarrollo o validación nuevas tecnologías tanto en el sector de las comunicaciones como de la navegación, bluetooth, GALILEO o los nuevos sistemas inerciales (MEMS), son solo algunos ejemplos.

La implementación de escenarios interactivos 3D en los dispositivos de navegación y localización para el usuario comportarán una forma mucho más intuitiva y amigable de visualizar y gestionar la información basada en la localización y representa así mismo un reto de futuro [13].

Por tanto y resumiendo llegamos a la conclusión que los sistemas de navegación en entornos urbanos deben acometer en el futuro los siguientes retos:

- Sinergia de tecnologías de comunicaciones y posicionamiento para una correcta continuidad, o intermodalidad, de las prestaciones independientemente del entorno de trabajo. ¿Cuántos dispositivos diferentes y tecnologías asociadas debería utilizar un usuario utilizando servicios basados en la localización, esté conduciendo su coche (onboard navigation), entre en un parking (indoor navigation) y salga a la calle (urban navigation)?
- Mejora en la calidad, actualización y visualización de la información.

Como hemos visto en este trabajo, la generación de modelos urbanos 3D, resulta una pieza de gran relevancia estratégica, entre otros campos de aplicación, en la dirección de resolver y mejorar las problemáticas planteadas en los dos puntos anteriores.

Referencias

- [1] http://www.leica-geosystems.com/reporter/Reporter_47_stories/north_sydney.pdf

- [2] Pollefeys,M., Koch,R., Vergauwen,M., Van Gool,L, 2000. Automated reconstruction of 3D scenes from sequences of images. ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing 55 (2000) 251-267
- [3] Debevec,P., Taylor,C.J., Malik,J., 1996. Modelling and rendering architecture from photographs: a hybrid geometry- and image-based approach. Proc. Of SIGGRAPH 96, 11-20.
- [4] Dorffner,L., Forkert,G., 1998. Generation and visualization of 3D photo-models using hybrid block adjustment with assumptions on the object shape, ISPRS J. Photogramm. Remote Sens. 53 (6), 369-378
- [5] Beraldin,J.-A., Blais,F., Boulanger,P., Cournoyer,L., Domey,J., El-Hakim,S.F., Godin,G., Rioux,M., Taylor,J., 2000. Real world modelling through high resolution digital 3D imaging objects and structures. ISPRS Journal of Photogrammetry – Remote Sensing 55 (2000) 230-250.
- [6] Teller,S., 2001. Scalable, Controlled Imagery Capture in Urban Environments. MIT LCS Technical Report 825.
- [7] Hug,C., 1997. Extracting artificial surface objects from airborne laser scanner data. In Ascona: Automatic extraction of man-made objects from aerial and space images II, Grün, Baltsavias, Henricsson (eds.), Birkhäuser Verlag, Basel.
- [8] Haala,N. and Brenner,C., 1997. Generation of 3-D city models from airborne laser scanning data. EARSEL Workshop on LIDAR Remote Sensing of Land and Sea, Tallinn, Estonia.
- [9] Shan,J., Palmer,T.C, 2001. Effective Urban Modeling and Visualization Using Lidar Data in GIS. Urisa Journal.
http://www.urisa.org/Journal/accepted/articles_accepted_index.htm
- [10] Sage,A., 2001. Future Positioning Technologies and their Application to the Automotive Sector. The Journal of Navigation, vol. 54, n° 3.
- [11] Fisher,J., Simpson,S.,Welsh,T, 2002. An Urban Canyon Multipath Model for Galileo. European Navigation Conference, Copenhagen 2002
- [12] Diego Sánchez Cebollada, Emiliano Bernués del Río, Antonio Valdovinos Bardají, José Ruiz Mas, Eduardo Lleida Solano, Sistema de información turística con interfaz oral (sitio). Revista del Instituto de Navegación de España, n° 15. 2º Cuatrimestre 2002.
- [13] Rakkolainen, I., Kupila, H, et al. 2001. Improving GPS Accuracy for a Mobile 3D City Info.