

OBTENCIÓN SEMIAUTOMÁTICA DE ELEMENTOS ESTRUCTURANTES EN PEQUEÑOS ENTORNOS URBANOS: HACIA UNA INTEGRACIÓN DE UVACAD Y CITYGML

Javier Finat Codes

Coordinador de DAVAP (Documentación, Análisis y Visualización Avanzada del Patrimonio)
jfinat@agt.uva.es

Francisco. J. Delgado

Grupo de Investigación MoBiVA (Modelado, Biomecánica y Visualización Avanzada)
Universidad de Valladolid

Rubén García

Grupo de Investigación MoBiVA (Modelado, Biomecánica y Visualización Avanzada)
Universidad de Valladolid

Juan J. Fernández

ETS de Arquitectura
juanjo@ega.uva.es

J.I. San José Alonso

ETS de Arquitectura
lfa@ega.uva.es

J. Martínez Rubio

ETS de Arquitectura
jmrubio@ega.uva.es

E.T.S.I. Informática / Edificio TIC

Campus Miguel Delibes

Grupo de Investigación MoBiVA (Modelado, Biomecánica y Visualización Avanzada)

Laboratorio Fotogrametría Arquitectónica (LFA) Universidad de Valladolid

Teléfono. + 34 983 423 000 ext. 5681

Palabras clave: SIG, BIM, CityGML, UVaCAD

Key words: SIG, CityGML, UVaCAD

Resumen

El objetivo de este trabajo es mostrar algunos desarrollos recientes relacionados con la integración de métodos y herramientas de Sistemas de Información, Procesamiento y Visualización de Datos Geoespaciales en un marco 3D. Con ello se pretende facilitar un marco común que afecta a las fases de toma de datos, procesamiento y análisis de la información, diseño, planificación y gestión de intervenciones relacionadas con la construcción de edificios y modificación de pequeños entornos urbanos. La clave para facilitar la integración de modelos y la interoperabilidad entre herramientas es el desarrollo de un marco semántico. El estándar abierto CityGML define clases y relaciones generales relativos a la gestión de espacios físicos según un modelo geométrico (que extiende el enfoque vectorial típico de los SIG). En este trabajo se añaden algunas funcionalidades ligadas a herramientas de procesamiento y análisis de la información de rango 3D de pequeños entornos urbanos capturada con dispositivos láser terrestres de gran precisión.

El software UvaCad desarrollado por el clúster DAVAP proporciona un soporte para la fusión de información de imagen 2D y de rango 3D. Sobre el modelo 3D resultante se ha diseñado e implementado un módulo para la gestión de información sobre edificaciones para los niveles 1 y 2 de CityGML. Gracias a la organización conceptual modular de CityGML, es posible extender el modelo original para incorporar información extraída automáticamente sobre poligonales de planos dominantes a los que se superponen diferentes tipos de etiquetas. La extracción de esta información se lleva a cabo de forma semiautomática

y se almacena en forma de base de datos relacional con enlace a recursos obtenidos mediante herramientas de procesamiento y análisis de la información 2D y 3D, incluyendo a) extracción de información métrica a partir del modelo 3D; b) reproyección, corrección y referenciación volumétrica de información planar (vistas, planos, croquis) así como c) herramientas de Visualización Avanzada (incluyendo un módulo VR para simulación de intervenciones) organizadas por capas para facilitar el análisis, diseño y gestión a lo largo de las diferentes fases de las posibles intervenciones.

1. Introducción

La integración de CAD y GIS es un tópico consolidado con importantes aplicaciones de las tecnologías geoespaciales para una visualización interactiva de entornos territoriales y sus aplicaciones medioambientales. La necesidad de contar con una representación planimétrica estándar ha propiciado el desarrollo de herramientas que facilitan la interoperabilidad entre herramientas planimétricas (tipo CAD) y Sistemas de Información asociados (tipo GIS). Aunque persiste un importante trabajo manual, la disponibilidad de un soporte digital común 2D para el tratamiento de información ha permitido reducir la redundancia en la toma de datos, el procesamiento y análisis de la información con beneficios obvios para todo tipo de usuarios de sectores públicos y privados. La emergencia y el desarrollo de una infraestructura web ha actuado como un motor para el desarrollo de aplicaciones sobre estándares abiertos, en buena medida promovidos por consorcios geográficos; el OGC (Open Geographic Consortium) facilita medios para la evaluación y la estandarización de soluciones integradas.

A finales de los noventa se reconoce la necesidad de integrar herramientas para la representación 3D [Emgard06], junto con sistemas de información y gestión (que abreviadamente etiquetamos como MIS: Management and Information Systems) apropiados para una visualización interactiva en entornos construidos 3D. El objetivo de esta integración es disponer de un soporte para compartir y fusionar resultados por parte de diferentes agentes en el marco de entornos colaborativos y según una aproximación procedural [Parish01], [Kelly07]. Sin embargo y a pesar de los indudables avances realizados, la heterogeneidad de formatos, herramientas, plataformas y sistemas de información 3D está resultando más complicada de gestionar que para el caso 2D. La ausencia de un estándar asumido por la comunidad internacional y la complejidad de procesos y servicios están en el origen de las dificultades para la aceptación de un modelo universal de MIS dentro del sector AEC (Architecture, Engineering, Construction). Para satisfacer los requerimientos de un gran número de agentes públicos y privados en AEC se ha desarrollado el Building Information Modelling¹ (BIM en lo sucesivo) que se aborda en la sección 2; BIM pretende proporcionar una solución integrada para entornos AEC basada en estructuras de datos para resolver la gestión de procesos a lo largo de la construcción desde la fase de diseño hasta la ejecución final del proyecto. Desde el punto de vista de procesos, el marco BIM tiene una gran aceptación en el ámbito empresarial y cabe esperar una consolidación como estándar a corto plazo.

En un BIM puede haber una ó varias bases de datos con las funcionalidades típicas (almacenaje, búsqueda, generación de informes, etc); pero un BIM debe proporcionar además un soporte para integrar/actualizar datos cambiantes y procesos a lo largo del ciclo de vida de la construcción en diferentes representaciones simbólicas (cartografía digital, GIS, CAD, imágenes, volúmenes) con información métrica superpuesta. Un BIM está referenciado a un entorno espacial que es necesario documentar, visualizar y comunicar a los diferentes agentes a quienes afecta la intervención. CityGML proporciona un marco conceptual abierto, computacional y operativo para representar los objetos y relaciones en un entorno físico 3D, gestionando funcionalidades y conflictos, e integrando los BIM correspondientes a los sitios próximos en un marco común vectorialmente referenciado. Geography Markup Language (GML) es una codificación XML adaptada a entornos geográficos promovida por OGC (Open Geographic Consortium). El carácter abierto de estas herramientas permite compartir información e integrar funcionalidades procedentes de diferentes áreas y facilitar servicios web (búsqueda interactiva clickeable en Web 2.0, búsqueda semi-automática en la Web semántica, herramientas geoespaciales, etc). El enfoque semántico es la clave para facilitar servicios web y para resolver los problemas interoperabilidad [Guarino98], [Kuhn01], [Teller07] La inclusión del entorno a los cinco niveles de detalle

¹ (http://en.wikipedia.org/wiki/Building_Information_Modeling)

que ofrece CityGML² es clave para las cuestiones de diseño y planificación de intervenciones en entornos cambiantes ó que puedan presentar un elevado grado de sensibilidad como los correspondientes al Patrimonio. Las intervenciones en Patrimonio requieren compatibilizar diferentes niveles de detalle en el entorno físico, integrar las actividades de un gran número de expertos en técnicas no- ó semi-destructivas (NDT ó SDT) y coordinar las tareas de intervención en entornos frágiles; una aproximación semántica se presenta en [Finat09]

Para organizar los diferentes procesos, el clúster DAVAP (Documentación, Análisis y Visualización Avanzada del Patrimonio) ha desarrollado el Sistema de Documentación UvaCad (Utilidad de Visualización Avanzada con asistencia al dibujo),³ el Sistema de Procesamiento y Análisis nD (SiPrAnD), el Sistema de Información PINTA y el Sistema de Gestión GIRAPIM (Gestión de la Información Relacionada con el Análisis Previo de las Intervenciones en Monumentos). Todos estos Sistemas están referidos a modelos precisos 3D con información vectorial capturada mediante técnicas de fotogrametría ó de láser 3D; la representación digital de la información permite generar de forma semi-automática modelos a diferentes resoluciones que son útiles en todas las fases de diseño, planificación y realización de las intervenciones. Sin embargo, los modelos resultantes de la aplicación de técnicas de fotogrametría ó de láser 3D pueden ser muy voluminosos y difíciles de gestionar fuera del gabinete técnico. Se hace necesaria una simplificación adaptativa del modelo 3D que pueda soportar las prestaciones propias de los SIG y las funcionalidades típicas de Sistemas de Gestión en actualización constante [Kolbe06], [Parish01] [Saleri06], [Stoter05], [Zlatanova06].

2. BIM

El *Modelado de Información para Edificios* (BIM) es el proceso de representación y gestión de datos del edificio (características físicas y funcionales) durante su ciclo de vida utilizando software dinámico de modelado de edificios en tres dimensiones y en tiempo real, y facilitando un repositorio de información compartida para disminuir la pérdida de tiempo y recursos en el diseño y la construcción. Este proceso produce el modelo de información del edificio (BIM), que incluye la geometría del edificio (modelo paramétrico), las relaciones espaciales (desarrolladas especialmente bajo CityGML), la información geográfica (propia de un GIS urbano), así como las cantidades, los materiales y las propiedades de los componentes del edificio, todo ello referido a una base de datos con una estructura apropiada para soportar las funcionalidades cambiantes a lo largo del ciclo de vida del proceso constructivo. La estructura de un BIM tiene tres objetivos importantes correspondientes a la Visualización Avanzada, la Colaboración y la Comunicación: (i) La Visualización Avanzada es una aplicación de las representaciones computacionales en representaciones visuales, eligiendo técnicas de codificación que optimicen la comprensión humana y la comunicación; (ii) la Colaboración adopta una metodología centrada en procesos para facilitar una comprensión común y una acción positiva; (iii) la Comunicación es la transferencia de información para mejorar la comprensión y prestar un soporte al conocimiento.

Hay *dos razones* fundamentales que justifican el BIM: pasar de la documentación en papel de los edificios a modelos virtuales de edificios que se almacenan en formato digital y cambiar del mero intercambio de documentos PDF o DXF a un contexto común que permita compartir modelos de datos digitales y facilitar la interoperabilidad entre diferentes herramientas. La elección del punto de vista BIM significa extender las herramientas software que permiten la interpretación entre dos tipos de herramientas particulares y desarrollar un marco común para procesos de búsqueda, navegación y extracción de información, procesos característicos todos ellos de las herramientas de Visualización Avanzada y de SIG.

Para representar, almacenar y gestionar esta información se necesita un modelo de datos soporte que almacene información relativa a los componentes del edificio y que represente las relaciones entre ellos. Además es importante que este modelo sea definido de mutuo acuerdo con las diferentes entidades que participan en el planeamiento y gestión del entorno urbano, quienes aportan su larga experiencia al desarrollo de un estándar internacional. El problema radica en la diversidad de estructuras de datos para gestionar los BIM y la incompatibilidad entre las mismas. Por ello, la IAI (International Alliance for

² <http://www.citygml.org>

³ <http://uvacad.no-ip.org>

Interoperability) ha promovido el uso de las IFC (Industry Foundation Classes) como fuente para estructuras de datos asociadas a BIM. Las aplicaciones ligadas a la base de datos construida sobre IFC afectan a procesos de almacenamiento, búsqueda y generación semi-automática de informes. Asimismo, estos datos proporcionan el soporte para aplicaciones más avanzadas relacionadas con

- a) Modelado Geométrico y Análisis Estadístico que incluye la utilización de herramientas de procesamiento y análisis de la información en local ó en remoto.
- b) Representación simbólica de los contenidos sobre diferentes soportes multimedia tales como CAD, cartografía digital, imágenes estáticas y dinámicas (video) asociadas a los modelos 3D (basados en información gráfica, Reconstrucción 3D a partir de múltiples vistas ó láser 3D).
- c) Agregación y Difusión para facilitar la búsqueda en repositorios web de acuerdo con la correspondiente especificación de metadatos, permitiendo el acceso a herramientas de consulta (Información Catastral), control de Procesos y Servicios (Salud y Seguridad, ó Eficiencia Energética, p.e.) ó simulación interactiva (diseño, planificación y evaluación) de intervenciones para la información Geoespacial.

Aún no se dispone de una plataforma software general satisfactoria que proporcione soporte a las aplicaciones (incluyendo procesos y servicios) recién señaladas. La contribución de este trabajo está orientada a proporcionar una herramienta transversal a las tres aplicaciones recién descritas. Esta herramienta está basada en la detección de Planos Dominantes a partir de información densa desigualmente distribuida. En efecto, los planos dominantes proporcionan un soporte simplificado para la representación espacial, permiten asociar una representación simbólica en términos de un grafo de adyacencia entre planos del mismo tipo y facilitan una segmentación espacial del entorno sobre la cual se pueden superponer diferentes enlaces ó anotaciones correspondientes a Procesos y Servicios ligados al entorno urbano.

La utilización de planos dominantes es una estrategia habitual en las representaciones correspondientes a los niveles 1 a 3 de CityGML para edificios [Kolbe03]; en este caso, la existencia de una cartografía digital urbana precisa facilita una representación 3D generada por métodos interactivos (extrusión a partir de información catastral ó bien de fotografía aérea ó terrestre) para entornos urbanos con desniveles irrelevantes y con un buen estado de conservación en la mayor parte de los edificios documentados. Sin embargo, si hay desniveles importantes ó si las fachadas presentan desplomes significativos, el modelado semiautomático requiere una metodología diferente (tipo bottom-up) que refleje las irregularidades del terreno ó la falta de verticalidad de las fachadas. Estas circunstancias motivan la utilización de dispositivos de rango (láser terrestre) para la captura de información y la generación de modelos 3D. Obviamente, debido al elevado coste de dispositivos y el grado de especialización necesario para el procesamiento de la información, la aplicación de esta metodología bottom-up basada en láser 3D debe ser limitada a las zonas susceptibles de presentar patologías significativas en aspectos estructurales ó materiales.

3. Detección semi-automática de planos dominantes. Aspectos locales

El modelado más preciso de entornos urbanos a gran escala se consigue a partir del escaneo terrestre usando dispositivos láser 3D de largo alcance. Estos dispositivos producen nubes de puntos "densas" en las que se almacena información geométrica (coordenadas espaciales para la posición) y radiométricas (un canal para la intensidad en la escala de grises o tres canales para la información en color). El "pegado" de las nubes de puntos requiere seleccionar puntos homólogos en diferentes escaneos, alineamiento de escaneos y vistas (con especial atención a problemas de orientación relativa y altura), limpieza de la información redundante (diferentes criterios de optimización) y simplificación de la información. Habitualmente, el escaneo láser 3D se utiliza para documentar edificios aislados, pero también ha sido utilizado para el escaneo de pequeñas zonas urbanas (plazas, calles, distritos) donde se planea realizar algún tipo de intervención. Una aplicación al caso de plazas mayores se puede ver en [Finat04]

El Área de Rehabilitación Integral (ARI) "Villas del Renacimiento" correspondiente a cuatro pueblos (Becerril, Cisneros, Fuentes de Nava, Paredes de Nava) de la provincia de Palencia es uno de los primeros trabajos realizados en España que referencia de forma integrada la información textual

(catastro), planimétrica (cartografía digital, vistas 2D) y gráfica (modelos 3D) a un único modelo global 3D con un error inferior a 2 cm. Sin embargo, a pesar de su precisión, el modelo resultante es “demasiado pesado” para que pueda ser utilizado desde un ordenador convencional, lo cual restringe la utilidad del marco desarrollado. Es necesario simplificarlo.

Figura 1: Nube de puntos correspondientes a un escaneo global de Paredes de Nava desde el tejado de un silo próximo



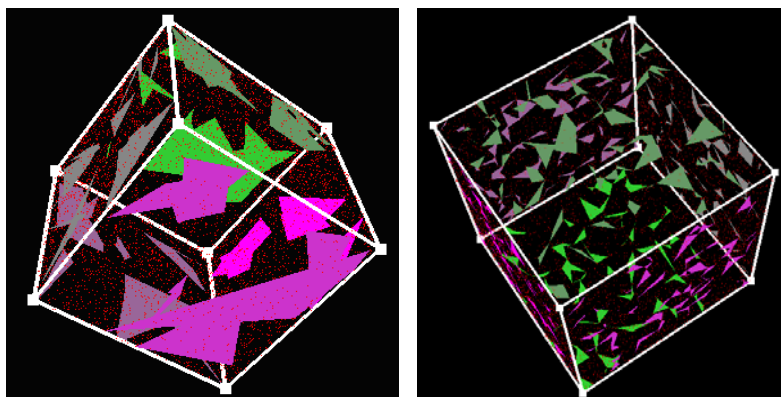
En efecto, el escaneo de pequeñas zonas urbanas genera nubes de decenas ó cientos de millones de puntos que requieren una gran potencia de cálculo para una visualización avanzada con diferentes niveles de detalle que incluya renderización, exploración, consulta, anotaciones y extracción de información métrica. Hay soluciones técnicas via hardware (utilización de máquinas muy potentes) ó software (máquinas paralelas virtuales, p.e.) para la compresión ó la simplificación inteligente de mallas, pero se requiere disponer de soluciones para ordenadores de sobremesa y, en breve, para dispositivos portátiles (PocketPC, SmartPhones, iPhone, p.e.) que puedan proporcionar herramientas de consulta y navegación para expertos ó bien servicios para ciudadanos en general. La clave consiste en disponer de modelos a diferentes resoluciones compatibles entre sí (elementos comunes presentes en cada nivel de resolución) y herramientas para la reducción progresiva de mallas asociadas que mantengan la topología global del objeto y que sean capaces de discriminar la resolución a ofrecer en función del dispositivo que pretende acceder a la aplicación de forma remota. Este último aspecto requiere resolver problemas de reconocimiento que se abordan en otro papel relacionado dentro del marco de metadatos.

El acceso a la información global se realiza en términos de “octrees”, es decir, de subdivisiones progresivas del espacio en células 3D que resultan de superponer un sistema triplemente ortogonal de planos que pasan por el centro de cada célula; este sistema descompone cada célula en ocho subcélulas idénticas que se etiquetan como llenas ó vacías, según que el número de puntos esté ó no por encima de un umbral fijado por el usuario y dependiente de la resolución. La recursión sobre la subdivisión de las células se mantiene mientras haya células con un “número suficiente” de puntos de la nube muestreada. Para que el octree sea significativo es conveniente reducir off-line el número de puntos a una cantidad gestionable de forma remota por el dispositivo manteniendo la significación en los elementos geométricos detectados (renderización) y la eficiencia en el almacenamiento y gestión de la información (compresión / descompresión), evitando los “artefactos” que puedan surgir en la visualización interactiva.

Un muestreo apropiado y una descomposición usando octrees facilitan la renderización a diferentes escalas, pero no resuelven el problema del análisis estructural de las componentes. Es bien conocido que las mallas triangulares son muy precisas pero presentan unos requerimientos de memoria y una capacidad de procesamiento muy elevados; por el contrario, las mallas cuadrangulares son fácilmente parametrizables, permiten reducir la complejidad de cuadrática a lineal y, por consiguiente, facilitan un soporte para la realización de anotaciones, la verificación de protocolos y, en definitiva, la interoperabilidad con herramientas accesibles pero localizadas de forma remota en un servidor central (trabajo de gabinete para las intervenciones a realizar). Por tanto, las mallas cuadrangulares facilitan un soporte para la renderización sobre dispositivos portátiles de bajo coste y, por consiguiente, el seguimiento de procesos ligados a intervenciones y la provisión de servicios basados en modelos muy simplificados.

Un caso extremo de mallas cuadrangulares ligadas a un objeto 3D corresponde a los planos dominantes (fachada, tejado, suelo) de un edificio. Una triangulación asociada a la nube de puntos muestreada proporciona facetas correspondientes a las caras triangulares; cada faceta triangular es el soporte de un plano. Un plano está determinado por 3 puntos no-alineados que podemos suponer ordenados cíclicamente en sentido antihorario; el producto vectorial de los vectores generados por dos vectores que conectan uno de los puntos con los otros dos, proporciona el vector normal al plano. Como la distribución de puntos es irregular, para comparar vectores normales correspondientes a triángulos adyacentes, es necesario calcular el vector normal unitario (dividiendo por el módulo al vector normal inicial). Hay diferentes tipos de algoritmos (adyacencia, "sopa de triángulos") que permiten "propagar" la triangulación mientras la diferencia de vectores normales esté por debajo de un umbral. El resultado de este proceso genera una colección de regiones maximales conexas R_i obtenidas por "agregación" de triángulos con un vector normal unitario semejante. El borde de estas regiones planares es una poligonal plana; en el caso más simple, se trata de un rectángulo, no necesariamente simplemente conexo, es decir, puede contener "agujeros" correspondientes a huecos (puertas ó ventanas, p.e.). Más formalmente, un *plano dominante* es el soporte para una región planar maximal conexa R_i con una superficie mayor que un umbral fijado por el usuario. La intersección de planos dominantes adyacentes da lugar a aristas dominantes (no necesariamente visibles). En la práctica aparecen irregularidades en la distribución de puntos (debidas a la variabilidad en la reflectancia, las condiciones del escaneo ó las oclusiones parciales). Por ello, es conveniente contar con procedimientos de recuperación ligadas a diferentes fuentes de información (incluyendo la posibilidad de reproyección de vistas 2D sobre el modelo 3D). La figura 2 muestra la obtención de planos dominantes para un cubo a partir de una "sopa de triángulos" generada sobre una nube de puntos a diferentes resoluciones.

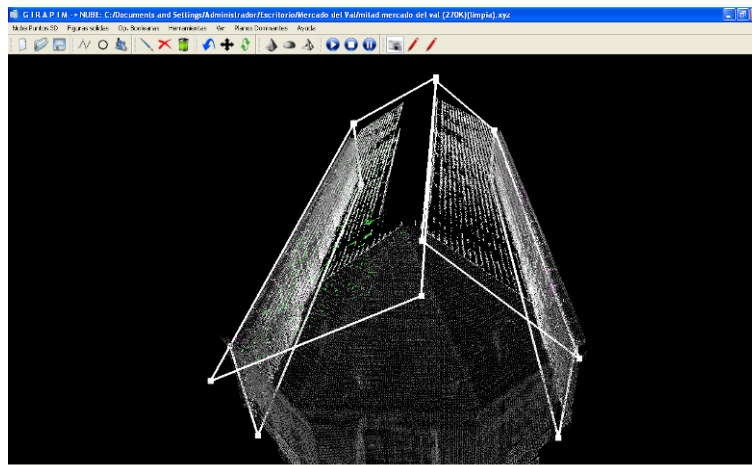
Figura 2: Diferentes resoluciones para la detección de planos dominantes en un cubo (100 puntos y 600 puntos)



Un módulo específico del software UvaCad permite *etiquetar* a cada región con la superficie correspondiente del cuadrilátero minimal que contiene a R_i y la orientación del vector normal; las fachadas tienen un vector normal "horizontal" (tercera componente próxima a cero), el suelo tiene un vector normal "vertical" (sólo la tercera componente es no-nula), salvo zonas en pendiente y los tejados pueden tener un vector normal vertical u oblicuo. De este modo, es posible etiquetar las componentes significativas para el

análisis estructural. Las desviaciones de los datos con respecto a los elementos geométricos (planos ó aristas) dominantes permiten detectar fácilmente y de forma automática problemas estructurales en fachadas (desplomes) ó tejados (hundimiento parcial). Aunque la detección del tipo de plano dominante es automática, el etiquetado es actualmente manual debido a las dificultades para un reconocimiento automático de las relaciones de adyacencia entre las diferentes componentes estructurales. El reconocimiento automático de las relaciones implica el diseño e implementación eficiente de un sistema experto para el Reconocimiento de las relaciones de adyacencia; en el caso planar, el algoritmo de etiquetado de zonas para los arrangements de rectas proporciona una solución, pero aún no se ha realizado una implementación del algoritmo similar para arrangements de planos en el espacio.

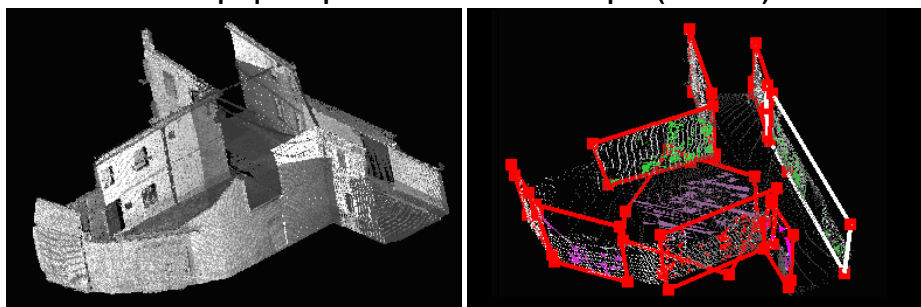
Figura 3: Ajuste automático de 4 planos dominantes a la nube de puntos correspondiente a las cubiertas y muros laterales del mercado del Val (Valladolid)



El etiquetado de elementos estructurales es un paso crucial para generar cadenas de elementos del mismo tipo (fachada, tejados, suelo) en entornos urbanos y proporciona un soporte métrico para la referenciación de elementos estructurales. La información 2D típica de las representaciones CAD se recupera generando secciones transversales (perpendiculares habitualmente) a la dirección del vector normal unitario. En el estado actual de la aplicación es necesario que el usuario acote el número máximo de planos dominantes que desea identificar.

La detección automática de planos dominantes en entornos urbanos sencillos y el etiquetado según la tipología de planos dominantes (fachada, tejado, suelo), facilitan la generación automática de colecciones de elementos estructurales enlazadas por la condición de compartir una arista común para (al menos) dos elementos adyacentes. Esta generación permite asociar una representación simbólica mediante *grafos de adyacencia maximales* que representan unidades de agrupamiento significativas en términos de calles ó de manzanas como unidades intermedias del nivel de agrupamiento correspondiente a un distrito (más detalles en [Finat et al, Liège 2009]).

Figura 4: Representación poligonal de una colección continua de fachadas en una pequeña plaza de Becerril de Campos (Palencia)

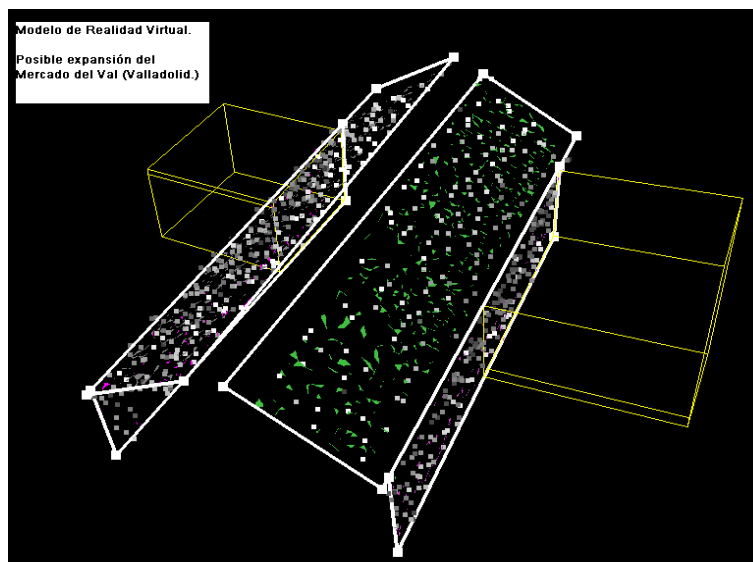


La metodología desarrollada extiende de forma natural la utilizada en cartografía urbana ó planimetría de edificios, permitiendo recuperar dicha información mediante secciones transversales. Así, por ejemplo una sección ortogonal al plano de fachadas permite comparar resultados, realizar anotaciones vectorialmente referenciadas y validar la cartografía digital urbana vectorizada convencional insertando sobre los planos dominantes elementos adicionales mediante hipervínculos. Dichos elementos adicionales son toda clase de documentos en diferentes soportes multimedia 1D (texto, voz, listas de datos), 2D (cartografía, planimetría, imagen) ó 3D (modelos gráficos, información de rango, mallas, video) relativos a información de interés para la administración (información catastral, p.e.) ó la gestión de procesos (intervención ó seguimiento de eficiencia energética, p.e.). Los documentos se registran mediante metadatos para facilitar su reutilización (local ó remota vía web) y el reconocimiento de su contenido (búsqueda, hallazgo, etiquetado, indexación) en el contexto de la Web semántica. En particular, las herramientas de análisis de imagen aplicadas a archivos CAD ó vistas digitales 2D permiten obtener una “segmentación” de fachadas ó de las plantas (asociadas a una sección transversal a fachada) en términos de elementos adicionales que facilitan una provisión de servicios diferenciada según preferencias del cliente y referenciada a un modelo 3D.

4. Inserción de elementos virtuales adicionales

De forma similar a otras aplicaciones informáticas para SIG urbanos, la disponibilidad de un soporte digital preciso permite insertar de forma virtual elementos adicionales simulando diferentes tipos de intervención. Utilizando OpenGL para la visualización el usuario puede simular y valorar el efecto de las intervenciones realizadas. Para conseguirlo se han utilizado herramientas gráficas convencionales, ligadas a funcionalidades típicas de la Geometría Computacional 3D y sus aplicaciones a Informática Gráfica asociadas a procedimientos de inserción / borrado de primitivas geométricas ó de operaciones booleanas (unión, intersección y diferencia). Así, por ejemplo, es posible esbozar una poligonal (abierta ó cerrada) y levantar un muro poligonal o un prisma mediante procedimientos de extrusión. Las herramientas de UvaCad permiten la reproyección de cualquier tipo de texturas sobre el soporte geométrico correspondiente a los elementos existentes o los añadidos en el modelo virtual.

Figura 5: Simulación de intervención en el Mercado del Val mediante extrusión de dos prismas cuadrangulares



Una contribución específica de la aplicación desarrollada es el enlace a un sistema de información y gestión (MIS) que refleje las posibles intervenciones sobre el edificio. Este MIS ha sido diseñado utilizando CityGML como marco geométrico para BIM (Building Information Modelling), añadiéndole un módulo con información sobre intervenciones. De este modo, se pretende facilitar a) la actualización y gestión de elementos relativos a la intervención; b) la interoperabilidad según estándares internacionales entre herramientas software y c) un soporte para compartir información (según permisos y protocolos de

acceso) por parte de diferentes agentes en un entorno colaborativo. Toda la información generada se almacena en una base de datos con sus correspondientes metadatos DCS (Dublin Core Standards), proporcionando un archivo histórico 3D correspondientes a las fases de diseño, planificación, ejecución y, eventualmente, mantenimiento de las intervenciones. Está prevista la implementación de un interfaz para acceder al módulo de CityGML que contenga la información (documentación e intervenciones) referenciada a los elementos estructurantes (planos dominantes, p.e.) y los objetos contenidos en ellos. Este módulo permitirá georeferenciar la documentación procedente de fotogrametría y Láser 3D en CityGML de forma automática.

5. Un esbozo de metodología para el MIS

El elevado coste de los dispositivos (adquisición y mantenimiento) y la cualificación requerida para el procesamiento y análisis de la información, sugieren un examen previo de los requerimientos (precisión, volumetría) y condiciones más recomendables (accesibilidad) para la utilización de información de rango procedente de dispositivos láser terrestres. Por esta razón es importante adaptar los medios técnicos a los requerimientos. Estos requerimientos aparecen asociados a factores tales como la *documentación* (escala, precisión), la *localización* (exento ó no, p.e.) ó la *visualización* (navegación, extracción de información métrica, etc). Una vez tomada la decisión relativa a la utilización del láser para la generación del modelo, es necesario planificar y realizar la captura de datos según principios comunes a la Fotogrametría terrestre, georeferenciando dicha captura. La plataforma software UvaCad proporciona herramientas para las dos siguientes fases: *Procesamiento y Análisis*.

El objetivo del *Procesamiento* es proporcionar un modelado 3D basado en la fusión de información de rango 3D e imagen 2D: toda la información 2D está referenciada al modelo 3D. El *Procesamiento* afecta sobre todo a la información que incluye: pegado de datos 3D, eliminación de información redundante, simplificación inteligente de los datos (detección de planos ó de cuádricas dominantes, p.e.), reproyección de la información procedente de otras fuentes de información (catastral, cartográfica, planimétrica, vistas 2D, etc). En particular, la detección de planos dominantes depende de la resolución y de la tolerancia permitida a la desviación a partir de un valor típico para los vectores normales unitarios de los triángulos de la malla. Para ello, se han implementado diferentes estrategias de muestreo que se describen en la documentación de UvaCad (la decimación es la más simple, pero hay otras de muestreo adaptativo mediante criterios de consenso ó de funciones de importancia). La tolerancia (entre 0 y 1) determina la precisión y la granularidad de los planos: una tolerancia muy baja genera demasiados planos no-significativos debido al ruido (aunque muy precisos), mientras que una tolerancia muy alta “colapsa” diferentes planos en uno (distorsionando sus datos). Por ello se debe seleccionar el número máximo de planos detectables en el modelo 3D procesado.

En los pueblos del ARI, por ejemplo, se ha elegido una tolerancia de 0.04. Si la nube tiene menos de cincuenta mil puntos, el método de la “sopa de triángulos” esbozado más arriba con una búsqueda los vecinos más próximos (gestionada mediante octrees) proporciona una colección de planos dominantes en menos de un segundo con un procesador Intel © Core 2 Duo 2.0 GHz. Para nubes más densas, el rendimiento es peor. Así, para una nube de cien mil puntos el mismo procesador calcula los planos dominantes en cinco segundos. No obstante, hay que destacar que el aumento de la densidad no muestra mejoras significativas en la descomposición de planos dominantes; es preferible aplicar técnicas de muestreo inteligentes de tipo adaptativo basadas en funciones de importancia (tipo IMPSAC).

La fase siguiente concierne al *Análisis* que incluye el cálculo de secciones (longitudinales ó transversales, típicamente) del objeto volumétrico, la comparación entre las mismas, la estimación de los elementos estructurales y la superposición de información sobre dichos elementos, entre otras funcionalidades. Actualmente, se han desarrollado herramientas software para la evaluación de curvaturas de objetos sólidos arbitrarios, pero aún está pendiente de su integración en UvaCad. La información superpuesta al modelo 3D a lo largo de los procesos de intervención se puede presentar en cualquier formato multimedia 1D (texto, voz), 2D (croquis, planos, imágenes, video) ó 3D (informática gráfica, VR, nubes a diferentes resoluciones y estructuras superpuestas como mallas ó superficies texturadas, p.e.).

La *Visualización* proporciona interfaces para integrar las fases anteriores e incorporar servicios para diferentes tipos de usuarios (técnicos ó ciudadanos) con sus correspondientes protocolos de acceso. La visualización incluye herramientas de *navegación* sobre cualquiera de los modelos (nubes de puntos, mallas, superficies texturadas, planos dominantes), *selección* y *extracción* de subconjuntos del modelo (gestión mediante octrees), *evaluación* de información (métrica, superficial ó volumétrica) sobre cualquiera de los modelos, *agrupamiento* en términos de capas, generación de informes (de forma similar a los SIG convencionales) y un módulo VR para insertar elementos adicionales y visualizar posibles intervenciones sobre el entorno documentado.

6. Conclusiones

La integración de CAD y GIS para información 2D es un tópico consolidado con importantes aplicaciones de las tecnologías geoespaciales. Como consecuencia de esta integración se han producido extensiones muy relevantes que afectan al diseño e implementación de procesos y a la prestación de servicios basados en los Sistemas de Información subyacentes. El caso 3D presenta retos similares para el diseño e implementación de Sistemas de Información y Gestión integrados. En este trabajo se ha descrito el estado actual del trabajo realizado por el cluster DAVAP de la Universidad de Valladolid relativo a la integración de los módulos de Procesamiento, Análisis y Visualización Avanzada como extensión de la Plataforma Software UvaCad, junto con algunas aplicaciones a edificios y entornos urbanos a pequeña escala.

7. Agradecimientos

La plataforma software UvaCad (Utilidad de Visualización Avanzada Con Automatización de Dibujo) ha sido cofinanciada por el Proyecto CICYT (BIA2004-08392-C02-01). "Modelos y Algoritmos para el Patrimonio Arquitectónico" (MAPA). El diseño y primeros desarrollos de la metodología fue realizado en el Proyecto Profit "Sistemas de Información para el Patrimonio Arquitectónico y Urbano" (SIPAU). Este trabajo ha sido cofinanciado con cargo al "Proyecto Singular Estratégico PATRAC (Patrimonio Accesible: I+D+i para una cultura sin barreras)", PS-380000-2006-2 del Ministerio de Ciencia e Innovación.

Bibliografía

- [Emgard06] L.Emgård & S.Zlatanova. "Design of an integrated 3D information model", Preprint 2006.
- [Finat04] J.Finat, L.M.Fuentes, J.Martínez, J.J.Fernández, J.I.SanJose, L.M.Garcia, V.Garcia. "A MIMO approach for the information management of squares in historical urban centres", CIPA Symposium, Lisboa, 2004.
- [Finat09] J.Finat, F.J.Delgado, R.Martínez, J.J.Fernández, J.I.San José y J.Martínez-Rubio. "Constructors of Geometric Primitives in Domain Ontologies for Urban Environments", Urban Ontologies, Presses de l'Université de Liège, 2009.
- [Fuentes 06] L.M.Fuentes, J.Finat, J.J.Fernández. "Using Laser Scanning from 3D urban modeling", UDMS 2006 25th Urban Data Management Symposium, Aalborg, Denmark, 2006.
- [Guarino98] Guarino, N. "Formal Ontology in Information Systems", In Proceedings of FOIS'98, Trento, Italy, 6-8 June 1998. Amsterdam, IOS Press. ,3-15, 1998.
- [Kelly07] G. Kelly, H. McCabe. "A Survey of Procedural Techniques for City Generation", ITB Journal, 2007.
- [Kolbe03] Kolbe, T. & Gröger, G. "Towards unified 3D city models. Proceedings of the ISPRS Comm". IV Joint Workshop on "Challenges in Geospatial Analysis Integration and Visualization II2, Stuttgart, 8-9 September, 2003.
- [Kuhn01] Kuhn, W. "Ontologies in Support of Activities in Geographic Space", International Journal of Geographical Information Science, Vol 15, N°7, 613-631, 2001.
- [Parish01] Y. I. H. Parish and P. Muller. "Procedural modeling of cities", In Proceedings of ACM SIGGRAPH 2001, pages 301-308. ACM, 2001.
- [Saleri06] R.Saleri Lunazzi. "Urban and architectural 3D fast processing", 9th Intl conf. on generative art, Italy, 2006.
- [Stoter05]Stoter, J., and Van Oosterom, P. "Technological aspects of a full 3D cadastral registration". International Journal of Geographical Information Science, July, 2005, vol. 19, num 6, p 669-696.
- [Townology07] <http://www.townology.net>. February, 2007.
- [Teller07] J.Teller, A.K.Keita, C.Roussey and R.Laurini. "Urban Ontologies for an improved communication in urban civil engineering projects", Cybergeog (Sélection des meilleurs articles de SAGEO 2005, article 386, mis en ligne le 11 juillet 2007, modifié le 31 août 2007), <http://www.cybergeog.eu/index8322.html>, 2008.
- [Teller07] J.Teller, J.R. Lee, C.Roussey. "Ontologies for Urban Development. Studies in Computational Intelligence", vol. 61 Springer-Verlag, 2007, ISBN 978-3-540-71975-5.
- [Zlatanova06] Zlatanova, S. and Prosperi, D. "Large-scale 3D data integration-Challenges and Opportunities", Taylor and Francis, London, 2006.