

Towards a 3D GIS for underground infrastructure

Gregorio Soria¹, Lidia Ortega¹ y Francisco R. Feito¹

¹Grupo de gráficos y geomática de Jaén (Universidad de Jaén)

Abstract

The use of advanced software tools for groundwater management is essential to carry out the management of these underground infrastructure. Tools capable of accomplishing these processes are the so-called 3D GIS. However, these systems are not widely implemented, mainly because of their complexity. In this paper we present the data model of an underground infrastructure for city sanitation management. It discusses the design of the database, the acquisition and processing of such information, as well as the visualization and interaction with the resulting model.

Categories and Subject Descriptors (according to ACM CCS): I.3.8 [Computer Graphics]: Applications—

1. Introducción

En la actualidad los SIG se consideran la herramienta más adecuada para la gestión de las infraestructuras urbanas. En el caso particular del subsuelo, estos sistemas son especialmente importantes en su mantenimiento ya que soportan la mayor parte de los servicios suministrados a los ciudadanos: electricidad doméstica y del alumbrado público, telefonía, gas, agua, saneamientos, transporte de pasajeros, etc. Habitualmente estas infraestructuras consisten en amplias redes de conductos o túneles que se encuentran debajo del pavimento de las calles o de los propios edificios, y por tanto cuentan con una peculiaridad importante: no son directamente visibles.

En este contexto, el acceso a estas infraestructuras para mejora o mantenimiento suele ser bastante problemático. El carácter espacial de los SIG los convierten en herramientas adecuadas para llevar a cabo estos procesos, tanto por su capacidad de análisis como por permitir su visualización. En este sentido los SIG 2D son siempre útiles a pesar de poseer un alto nivel de abstracción. Sin embargo, esto les hace ser entendibles sólo por personal especializado y poseer ciertas limitaciones para representar las cotas o profundidades a las que se pueden encontrar estas infraestructuras. Por tanto, la incursión de la tercera dimensión en los tradicionales SIG 3D es considerada un avance sustancial en el campo de la gestión subterránea.

La generación de modelos 3D para el subsuelo ya ha sido estudiada por [EGS*08]. En su estudio relata la generación de estos modelos a través de información 2D de forma procedural y ayudándose de una herramienta llamada *GeographyML* para generar un grafo de escena. A partir de información de este tipo, [G.S12] desarrolló una aplicación usando realidad aumentada a través de un dispositivo móvil en escenarios controlados. En ella se puede observar como las tuberías cruzan por los distintos edificios de la zona.

Sin embargo, el SIG 3D va más allá de la simple visualización de modelos 3D. El análisis espacial, al mismo tiempo que la edición y visualización in situ de la geometría, requieren necesariamente de una base de datos con la topología espacial adecuada [WWSL06]. En este trabajo presentamos el proceso llevado a cabo para transformar una serie de capas de información espacial del subsuelo de una ciudad, dadas en AutoCad y sin estructura ni topología asociada, en una base de datos espacial con capacidades de un SIG 3D. Este modelo resultante resulta adecuado para el posterior análisis del sistema, la visualización, navegación sobre el modelo virtual, así como la interacción sobre dicho modelo.

En la Sección 2 se describen los elementos de infraestructura objeto de estudio. En la siguiente se presenta la estructura de la base de datos topológica que se ha diseñado. En la Sección 4 se muestran el resto de elementos y aquellos aspectos destacados para llevar a cabo la visualización del modelo. Finalmente se discuten los trabajos futuros y se dan conclusiones.

2. Entidades del subsuelo

Las entidades objeto de estudio son las relacionadas con el saneamiento de la ciudad de Jaén. Los datos proceden de la empresa municipal encargada y se procesan a partir del formato original de Autocad. Las entidades aparecen diferenciadas en distintas capas, todas incluidas en un mismo fichero con extensión DWG.

La primera parte del proceso consistió en extraer los datos codificados en formato binario, a tablas y registros concretos para su posterior traspaso a una base de datos espacial. Este proceso se realizó en MapInfo con las siguientes entidades:

1. **Arqueta:** es un pequeño depósito utilizado para recibir, enlazar y distribuir canalizaciones o conductos subterráneos; suelen es-

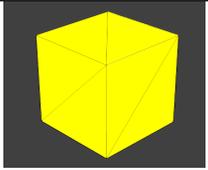
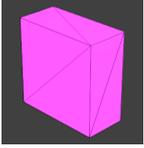
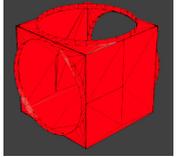
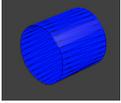
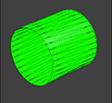
Entidad	Imagen
Arqueta	
Imbornal	
Pozo	
Conducto	
Conducción	

Table 1: Tabla de entidades objeto de estudio.

tar enterradas y tienen una tapa superior para poder registrarlas y limpiar su interior de impurezas.

2. **Imbornal:** es una abertura practicada en la calzada para conducir el agua de lluvia o de riego a la alcantarilla.
3. **Pozo:** es un agujero, excavación o túnel vertical que perfora la tierra hasta una profundidad suficiente para alcanzar el lugar requerido.
4. **Conductos y conducciones:** ambos son realmente el mismo tipo de elemento en forma de tubo para la conducción de gases o líquidos. Se denominan de forma diferente a nivel interno. Los conductos son tuberías de mayor longitud que se distribuyen por toda la red y llegan hasta los pozos. Las conducciones sin embargo, van desde estos pozos hasta entradas cercanas a los edificios. A nivel geométrico, los conductos se consideran polilíneas en 3D mientras que las conducciones suelen ser sobre todo segmentos o polilíneas de pocos vértices.

Para la visualización se han modelado objetos simples utilizando Blender con diversos colores, tal y como se visualiza en la Tabla 1.

3. Base de datos espacial

El diseño de la base de datos topológica a partir de capas de información geométrica es la clave para los siguientes procesos de análisis del sistema.

3.1. Diseño de la BBDD

Los datos iniciales procedentes de un único fichero de Autocad se procesan y formatean utilizando MapInfo. El resultado son una serie de tablas con atributos geométricos y temáticos. El siguiente paso es la creación de una base de datos espacial en formato PostGis [OH11] (de PotgreSQL y bajo licencia GNU), por poseer amplia funcionalidad a nivel espacial, ser de libre distribución y estar ampliamente respaldada por la comunidad científica (certificada por la OGC "Open Geospatial Consortium").

La conversión de formato *MapInfo* (.TAB) a PostGis se realiza utilizando la herramienta de *FW Tools* llamada *OGR2OGR*. Las tablas se diseñan y alimentan en *MapInfo* convenientemente, con el conjunto de atributos y la topología bien definida. Finalmente se convierten a una base de datos llamada saneamiento en *PostGis* del siguiente modo:

```
ogr2ogr -f "PostgreSQL"
PG:"host=localhost user=usuario dbname=saneamiento
password=micontraseña"Vertice.TAB -skipfailures
-overwrite
```

El diseño de la base de datos está orientado a crear fuertes relaciones topológicas entre las distintas entidades a través de su geometría. Existen dos tipos de entidades geométricas, las asociadas a un punto o vértice (Arqueta, Imbornal y Pozo) y las asociadas a segmentos o polilíneas (Conductos y Conducciones). La relación más habitual, y la única si la red está bien construida, es la de ser anexa o tocar una el extremo de otra. Las intersecciones, inclusiones o solapamientos no son habituales, tal y como se puede corroborar al visualizar los datos de entrada. De este modo, un extremo de una tubería alcanza un imbornal o un pozo. Así mismo, un segmento de tubería toca al extremo del siguiente, y así sucesivamente hasta construir una red completa.

La Figura 1 (superior) representa la relación de uno a muchos entre un segmento y un vértice: un vértice puede servir de unión entre varios segmentos y un segmento mantiene siempre dos vértices, uno de inicio y otro de fin.

Para hacer extensible la red a futuras entidades, por ejemplo las correspondientes al suministro de agua potable, se crean objetos de enlace entre el vértice o el segmento y el resto de entidades. En la misma figura, parte inferior, se muestra la relación entre la entidad geométrica *Vértice* y un *ObjetoVértice*. Esta clase sirve de vínculo entre todos los objetos puntuales actuales y futuros (arquetas, pozos, imbornales, etc) con el resto de la geometría. Del mismo modo, la clase *ObjetoSegmento* se conecta con la clase *Segmento* para hacer lo mismo con conductos y conducciones. Mediante este diseño se consigue dar homogeneidad a todas las entidades geométricas de tipo segmento/polilínea y tipo punto. Una futura ampliación de las entidades del terreno, como pueden ser las correspondientes a las de suministro de agua, mantendría igualmente desvinculada los elementos geométricos de los temáticos, lo que permite ampliar el modelo, seleccionar por entidades o capas, etc.

3.2. Conexión entre BBDD y aplicación

La aplicación llevada a cabo se ha realizado completamente con código nativo en C++. La visualización se ha desarrollado también directamente utilizando OpenGL. Las consultas para obtener los

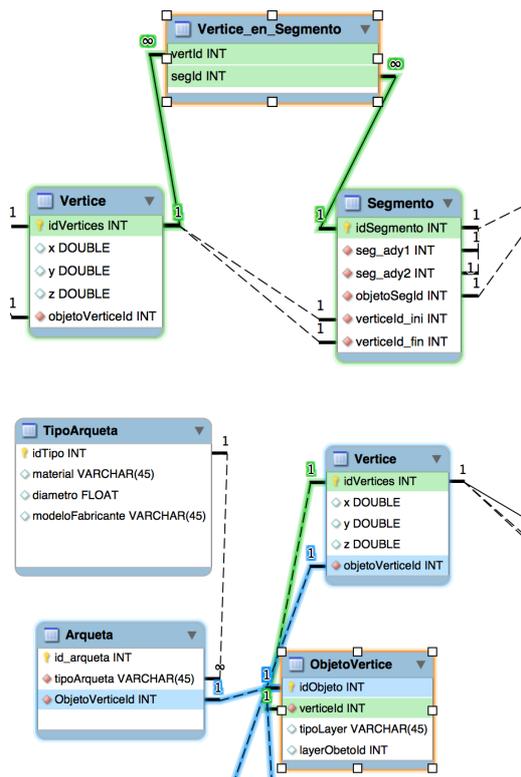


Figure 1: Entidades geométricas en la base de datos.

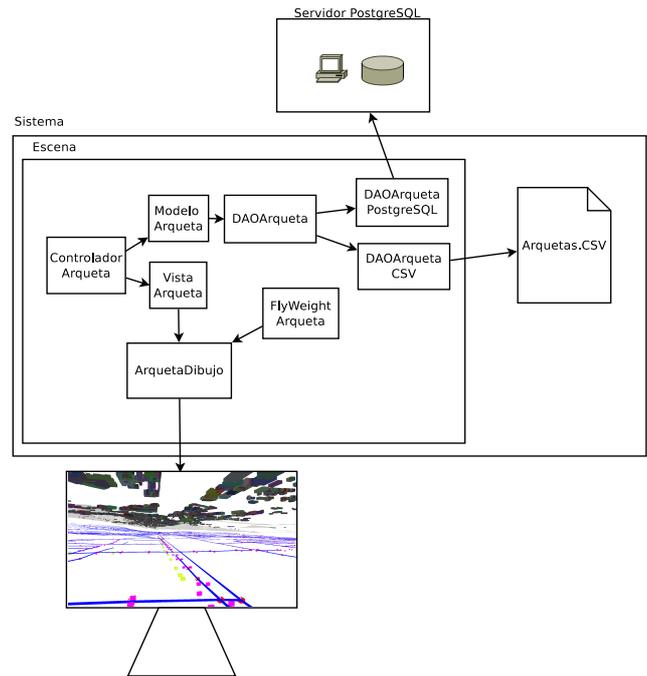


Figure 2: Modelo Vista-Controlador.

datos de la base de datos en Postgres/Postgis se realizan a través de la librería *libpq*. La función de esta librería permite a las aplicaciones en el cliente comunicarse con el servidor PostgreSQL para enviar y recibir peticiones de consulta. Se ha desarrollado un objeto siguiendo el patrón Singleton el cual se encarga de conectar, ejecutar consultas y desconectar de la base de datos. Para cada entidad se ha definido un objeto siguiendo el patrón DAO que realiza la consulta a la base de datos, crea los objetos y posteriormente devuelve el conjunto de objetos solicitados (Figura 2).

4. Visualización

La visualización de los distintos elementos se han realizado mediante OpenGL 4.5 usando GLSL 4.5. El proceso de dibujado es el siguiente:

1. Cargar OBJ representativa de la entidad
2. Cargar los datos de la entidad
3. Para cada entidad
 - a) Crear entidad de visualización
 - 1) Calcular posición, rotación y escalado
 - 2) Calcular matriz de modelo a través de los parámetros

Una vez creada la entidad de visualización, se invocará al método de dibujo de cada una para dibujar su representación modificada según su matriz de modelo.

En la visualización del conjunto, se van a añadir elementos adi-

cionales para darle más realismo, incluyendo la orografía del terreno y los edificios.

4.1. Terreno y edificios

El terreno se obtiene a partir del DEM de la zona objeto de estudio. Los puntos con la elevación del terreno se triangulan utilizando Delaunay y al resultado final se le aplica la ortofoto en forma de textura con cierta transparencia para poder vislumbrar la infraestructura subterránea.

Los edificios son objetos 2.5D o prismas construidos a partir de información catastral en 2D que representa la planta de cada edificio. Junto a esta información geométrica se tiene el número de plantas, por lo que el proceso de extrusión para obtener dichos modelos 2.5D es simple. Cada edificio se considera plano y se le otorga una altura única a partir de la posición del centroide. Junto con el número de plantas sobre el suelo, también se tiene el número de niveles subterráneos, lo que permite tener una visualización bastante cercana a la realidad del subsuelo.

El proceso automatizado que crea edificios se consigue mediante un fichero MID y MIF. El fichero MID contiene información del edificio como el número de plantas hacia arriba y hacia abajo, un identificador y la posición 3D del centroide. En el fichero MIF se encuentra la posición de los vértices que componen el edificio.

Posteriormente estos son situados en el terreno según la posición del centroide que encontramos en el fichero MID.

Para cada registro en el fichero MIF

Para cada registro en el fichero MID

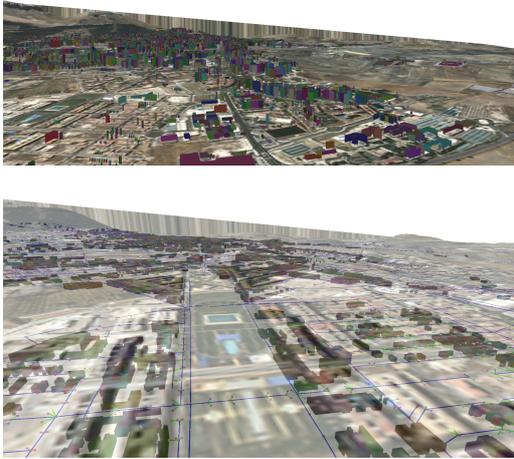


Figure 3: Visualización de terreno y edificios.

1. Hacer una triangulación de Delaunay con restricciones
2. Realizar extrusión
3. Escribir el fichero OBJ

Fin Para

Fin Para

El proceso anterior obtiene un fichero OBJ por cada edificio. El resultado puede observarse en la Figura 3.

4.2. Infraestructuras subterránea

Una vez leída la geometría y propiedades de las entidades de la base de datos, a cada uno de éstos se le identifica con un objeto geométrico simple, tal y como se refleja en la Tabla 1. A cada uno de estos modelos OBJ, y considerando la posición, forma y ubicación final del objeto final, se les aplica una matriz de transformación para obtener su posición final dentro del modelo. Los valores de las coordenadas X y Y vienen determinadas por los datos de entrada tras aplicarles la proyección espacial correspondiente. El valor de la Z, o profundidad en el subsuelo, no existe en todos los datos de entrada. Por lo que inicialmente se les ha dado un valor por debajo estimado considerando su posición con respecto al DEM del terreno. Evidentemente, estos valores distan de ser los reales, por lo que en una fase siguiente del proyecto se deberán establecer mecanismos para añadir esta información a partir de mediciones reales.

Por tanto, una vez establecidos valores de coordenadas en 3D, la matriz de transformación realizará operaciones de translación, escalado y rotación. La visualización de las capas en 2D mostraba la coherencia espacial en los datos de entrada, por lo que su posicionamiento en 3D ha seguido manteniendo dicha coherencia aunque con valores de profundidad aproximados.

La visualización se ha llevado a cabo colocando un par de cámaras, cámara orbital y otra en primera persona, esta última permi-

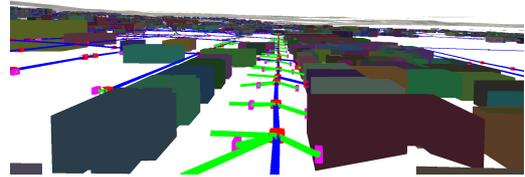


Figure 4: Visualización de las capas de saneamiento

tiendo la navegación a lo largo del plano del subsuelo. En la Figura 4 se pueden apreciar los distintos elementos que forman parte del saneamiento del subsuelo. La funcionalidad final de la aplicación permite realizar todas las operaciones deseables para un SIG 3D del subsuelo. Por un lado el mantenimiento de dicha información en una base de datos con capacidades espaciales. Por otro lado la visualización de los elementos en 3D, la posibilidad de navegar por la escena y de interactuar con cada uno de los elementos geométricos. Esta interacción implica el acceso a la base de datos para acceder a la información de la base de datos, pero también la posibilidad de editar la geometría in situ, lo cual resulta muy deseable para actualización y mantenimiento de esta información en las posibles incursiones reales sobre el terreno.

5. Conclusiones y Trabajos Futuros

El proyecto actual, que se encuentra actualmente en una fase inicial, tiene objetivos más ambiciosos. El modelo de datos anterior se requiere para llevar a cabo la actualización y el análisis de las redes de infraestructuras subterráneas a lo largo de todo su ciclo de vida. Objetivos adicionales son la posibilidad de actualizar la geometría in situ, lo cual se considera muy importante para este proyecto. Los datos de entrada pueden tener errores comprobables una vez realizada una incursión en el terreno. De igual modo, las verdaderas cotas de altura de los elementos pueden ser obtenidas a partir de lecturas reales. Por tanto, es un objetivo primordial la actualización de información geométrica en 3D utilizando dispositivos ubicuos aprovechando la estructura topológica del modelo de datos.

Otros trabajos futuros añadirían nuevos tipos de infraestructuras del tipo nodo-tubería, y se estudiarían aquellas de naturaleza también volumétrica como pueden ser los túneles o cavidades del terreno.

En conclusión, en este trabajo se presenta un modelo de datos para la representación de las infraestructuras subterráneas, en concreto las de saneamiento, aunque el modelo de datos es igualmente válido para otro tipo de infraestructuras como las de suministro de agua o red eléctrica. Lo que varía en estos casos son las operaciones de análisis. Los datos de entrada se han adaptado a una base de datos espacial en PostGis dotando a las entidades que la forman de relaciones topológicas. Este modelo de datos permitirá dotar al sistema de capacidades de análisis sobre dicha infraestructura para mejorar el mantenimiento y mejora del servicio.

6. Agradecimientos

Este trabajo ha sido financiado por el Plan Estatal de Investigación Científica y Técnica y de Innovación 2013-2016 con código TIN2014-58218-R.

References

- [EGS*08] E.MENDEZ, G.SCHALL, S.HAVERMANN, S.JUNGHANNS, D.FELLNER, D.SCHMALSTIEG: Generating semantic 3d models of underground infrastructure. *IEEE Computer Graphics and Applications*, 3 (June 2008), 48–57. [1](#)
- [G.S12] G.SCHALL S.ZOLLMANN G.: Smart vidente: advances in mobile augmented reality for interactive visualization of underground infrastructure. *Pers Ubiquit Comput* 17 (Sep 2012), 1533–1549. [1](#)
- [OH11] OBE R., HSU L.: *PostGIS in Action*. Manning Publications Co., Greenwich, CT, USA, 2011. [2](#)
- [WWSL06] WANG Y., WU L., SHI W., LI X.: *Innovations in 3D Geo Information Systems*. Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg, 2006, ch. 3D Integral Modeling for City Surface & Subsurface, pp. 95–105. [1](#)