

3D GIS based on WebGL for the management of underground utilities

J.M. Jurado¹, L. Ortega¹ y F.R. Feito¹

¹ Grupo de Informática Gráfica y Geomática, Universidad de Jaén

Abstract

This work summarizes a web application related to a research project about underground infrastructures. The aim is to visualize, analyse and manage all underground layers inside 3D urban environments. This is possible using WebGL to develop a web application which may be used from mobile devices. The study of terrain relief to calculate the depth of these infrastructures, the conversion of 2D data to 3D models, the definition of a spatial database and the use of virtual reality to visualize the resulting 3D scene make of this application a useful tool for utility companies dealing with underground infrastructures.

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

1. Introducción

El trabajo que se expone en este artículo presenta el desarrollo de un proyecto de innovación dirigido a instituciones públicas o privadas responsables de la instalación y mantenimiento de las infraestructuras del subsuelo. Estas empresas requieren de herramientas que les permitan realizar un inventario de las instalaciones subterráneas de forma que sean integradas en sus procesos de gestión para mantenimiento, solución de averías, contabilidad analítica, entre otros.

El propósito de este trabajo consiste en visualizar, analizar y gestionar el conjunto de capas del subsuelo en un entorno virtual 3D, accesible vía Internet. Este prototipo es capaz de simular un escenario que posibilita la optimización de flujos de trabajo sobre la gestión y mantenimiento de las infraestructuras del subsuelo. Para lograr este objetivo, se ha trabajado en la definición de un modelo del terreno realista, se ha realizado un preprocesamiento de los datos de entrada, se ha creado una escena 3D haciendo uso de la API WebGL [Par12], se ha explorado su aplicabilidad en realidad virtual y se han trazado unas líneas de diseño para ofrecer una interfaz usable e intuitiva.

2. Estado del arte

Cada día, son más las ciudades que incorporan tecnologías de Smart Cities [Mao14] para alcanzar una gestión eficiente de sus infraestructuras. En la mayoría de los casos, se basan en herramientas CAD (Computer-Aided-Design) que manejan entidades 2D o 2D 1/2, es decir, extrusiones sobre modelos planos, siendo muy pocas las que realmente trabajan en sistemas de información para entornos 3D. Se ha elegido una institución pública de la región, como espacio de validación, debido a la posibilidad real de disponer de

los datos referentes a las infraestructuras del subsuelo. En este espacio, coexisten una gran variedad de canalizaciones soterradas que requieren de una labor de mantenimiento permanente.

La implantación de metodologías de trabajo haciendo uso de entornos 3D es cada vez más habitual en una gran variedad de sectores como la industria, las tecnologías de la información y comunicación, la estadística e inteligencia de negocio o la educación [JVJB17]. La perspectiva 3D es un valor añadido a la hora de interactuar, analizar o manipular cualquier elemento real o virtual. El mundo no es plano y, por esta razón, trabajar en 3D aporta una visión más real, a fin de tomar decisiones más acertadas y transmitir las ideas de un modo más eficaz. El auge que experimentan tecnologías de realidad virtual y/o realidad aumentada han ampliado aún más el espectro de desarrollo de aplicaciones dirigidas a multitud de disciplinas y especialidades. Así mismo, la evolución de Internet y el extenso soporte de los navegadores actuales a WebGL permiten el desarrollo de contenido 3D de calidad en la Web.

Entre los recursos que tienen disponibles las instituciones se encuentran los Sistemas de Información Geográfica (SIG) [MGR91], aunque, no son habituales en la mayoría de municipios de mediano o pequeño tamaño. En estos casos, es común encontrarse con el uso de herramientas CAD para el diseño de planos de infraestructuras y posteriores reformas. Los problemas que surgen en este modo de trabajo son muy diversos, como la falta de actualización de los planos a medida que se realizan incursiones en el terreno o la ausencia de información que describe el conjunto de infraestructuras que coexisten en el subsuelo. En definitiva, se trata de una representación 2D que representa un alto nivel de abstracción y que puede conducir a errores de cálculo debidos a una falta de precisión o error en su lectura. Además, en estos casos, es frecuente que la información

se encuentre segregada entre las diferentes empresas responsables de la instalación de tales infraestructuras.

El uso de elementos tridimensionales en un SIG es uno de los objetivos que tienen los denominados SIG 3D [ZC06]. Cabe destacar el estándar CityGML como uno de los modelos más usados para la representación del conjunto de objetos urbanos en 3D [Kol09]. En este marco de trabajo, hay varios desarrollos [Goe13] [LLH*15] cuyo propósito es diferente y su representación 3D es crucial para obtener los resultados esperados. El subsuelo de la ciudad de Turin (Italia) es un ejemplo de estudio, basado en la utilización de los SIG 3D, con el fin de crear una herramienta de soporte para la toma de decisiones sobre el despliegue de las infraestructuras subterráneas [dROP09].

Entre el software de referencia que permite la representación de edificios, calles, vegetación, alumbrado e inmobiliario urbano de una ciudad se encuentra City Engine, MapInfo Discover 3D y ArcGIS. Cabe destacar Autocad Civil 3D que ofrece soluciones BIM [HM15] para la representación 3D de infraestructuras. En lo que respecta al software de dominio público el software GRASS y Cesium, probablemente el proyecto de código abierto con mayor repercusión en el ámbito del SIG 3D. Todos estos entornos existentes en el mercado son muy utilizados, ya que ofrecen una gran funcionalidad para la gestión, análisis, generación y visualización de datos geográficos en 3D.

Hasta nuestro conocimiento, no existe ninguna herramienta basada en Open Source capaz de representar un SIG 3D orientado a la gestión de las infraestructuras del subsuelo desde la Web que es lo que aquí se presenta.

3. Modelado del terreno

La representación del subsuelo lleva consigo un estudio detallado de la capa superficial terrestre. Los propios desniveles del terreno van a determinar en mayor o menor medida la pendiente, dirección u orientación de las infraestructuras del subsuelo. Por esta razón, la representación 3D de dichas instalaciones requiere de un análisis en paralelo acerca de las elevaciones propias del terreno.

En primer lugar, se tomó como punto de partida el Modelo Digital de Elevación proporcionado por la Red de Información Ambiental de Andalucía (REDIAM) [dmayodt16] y que contiene un total de 9.500 puntos. No obstante, las elevaciones generadas no son precisas debido al gran número de interpolaciones necesarias en las regiones carentes de valores de altitud. Para alcanzar una mayor resolución se opta por utilizar el GPS submétrico con el que se miden las distintas regiones sobre las que se desconoce su altitud. En este caso, se mantiene una conexión a la red GNSS regional proporcionada por el Instituto Geográfico Nacional (IGN) y se obtienen un total de 257 puntos. Sin embargo, se tiene una desviación demasiado elevada para el cálculo de la altura alcanzando un error superior a 2 metros. Esta opción no supone una mejora en el modelado del terreno, ya que se pretende alcanzar una precisión menor a 50 centímetros.

Se continúa explorando distintas técnicas que alcancen la resolución deseada y finalmente, se opta por la tecnología LiDAR [AFJ*17]. Esta técnica de teledetección óptica posibilita la obtención de un modelo digital con una densidad de 0.5 puntos/m² y

una precisión vertical de 20 centímetros. En esta línea de trabajo se ubica el Plan Nacional de Ortofotografía Aérea (PNOA) coordinado por el IGN y el CNIG que tiene como objetivo la obtención de ortofotografías de todo el territorio nacional que incluye el vuelo fotogramétrico, apoyo de campo, aerotriangulación y el Modelo Digital de Elevaciones (MDE). A partir del año 2009, se planteó la necesidad de la obtención de Modelos Digitales (MD) de alta precisión. En base a esta fuente de información, se tiene al alcance una gran nube de puntos sobre la que se va a trabajar en la definición del modelo del terreno (Figura 1).

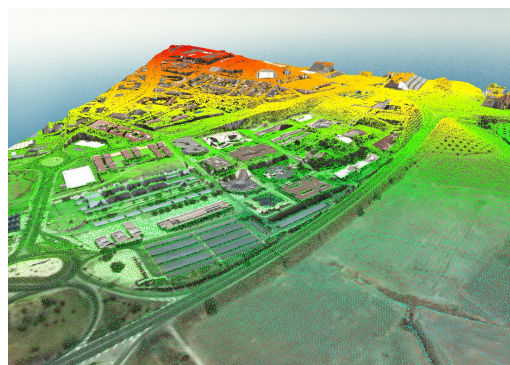


Figure 1: Nube de puntos tomada con tecnología LIDAR en el proyecto PNOA

4. Preprocesamiento de los datos

Los datos de entrada carentes de topología alguna, se muestran superpuestos sobre el plano CAD 2D. Para llevar a cabo una representación 3D, es necesario realizar una labor de preprocesamiento en la que se distinguen 3 etapas: reproyección y georeferenciación, clasificación y análisis. Estas tareas han sido realizadas haciendo uso del software MapInfo Pro que permite automatizar estas tareas.

En primer lugar, se aborda el problema de la geolocalización de los datos. Se toma como referencia la ortofotografía del terreno y se marcan tres puntos de control. A continuación, se identifican los puntos equivalentes sobre el plano 2D y se realiza la traslación de todos sus elementos a la localización correcta.

La siguiente tarea consiste en realizar una clasificación por capas (Figura 2). La única forma de esclarecer la representación original es categorizar los datos en base a la canalización a la que pertenecan. De esta forma, se simplifica el proceso de análisis y, como resultado, se tienen un total de 22 capas, aunque en este trabajo únicamente se va a trabajar sobre 4 de ellas.

Es frecuente detectar multitud de imprecisiones y erratas de diseño producidas durante la fase de dibujo del plano CAD. En cada canalización soterrada se observan elementos propios de este tipo de instalaciones, tales como arquetas, tuberías, hidrantes, fuentes, llaves de paso o centros de tensión, entre otros. Todas estas entidades se traducen en distintas primitivas geométricas 2D (líneas, puntos o polígonos). Para ello, se ha de realizar un estudio haciendo uso de las herramientas de análisis proporcionadas por la herramienta SIG para detectar y unir la geometría inconexa.

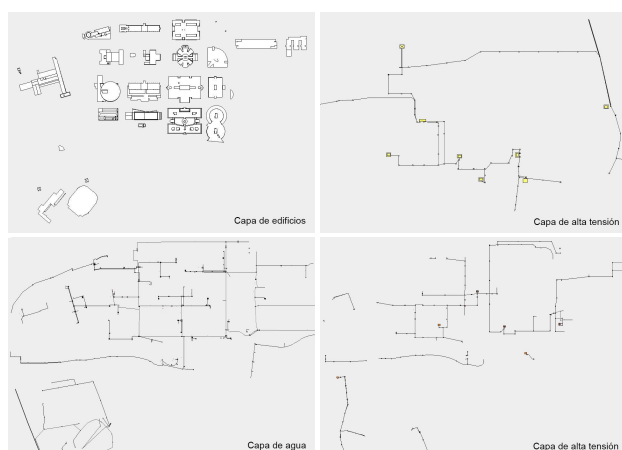


Figure 2: Desglose de capas de las infraestructuras del subsuelo

Para la posterior representación 3D, es necesario realizar una serie de transformaciones sobre los distintos elementos geométricos presentes en el plano. Existe un elevado número de primitivas que no aportan ninguna información en el diseño del nuevo espacio tridimensional. En este caso, todos los polígonos que simbolizan arquetas, edificios, centros de tensión, postes, etc. van a ser sustituidos por su centroide (Figura 3).

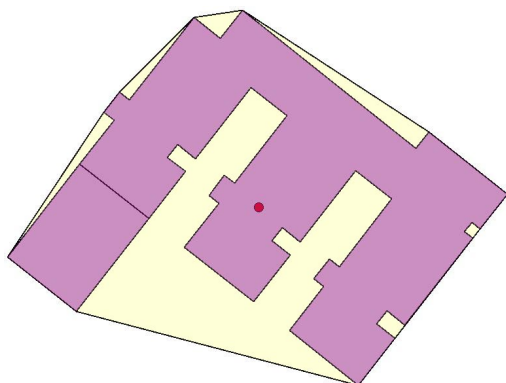


Figure 3: Simplificación de geometría

La siguiente tarea consiste en la extracción de las entidades de tipo texto que describen a las infraestructuras del subsuelo y aparecen junto a la capa de geometría. Con el fin de diseñar un modelo de datos coherente, todos estos elementos van a ser tratados como atributos en lugar de puntos espaciales. Para ello, se lleva a cabo un cálculo de distancias estableciendo una relación espacial de cercanía que identifica cada elemento geométrico con su etiqueta de texto.

5. Realidad virtual

A lo largo de este trabajo, se ha explorado cómo la realidad virtual puede optimizar el proceso de gestión de las infraestructuras del subsuelo. En este proyecto, se han realizado pruebas con las gafas Gear VR de Samsung que ofrecen la posibilidad real de utilizar el smartphone para emular los distintos escenarios para RV

desde cualquier espacio (Figura 4). Esta línea de trabajo continúa en desarrollo aunque los resultados conseguidos han causado buenas impresiones entre los profesionales del sector.

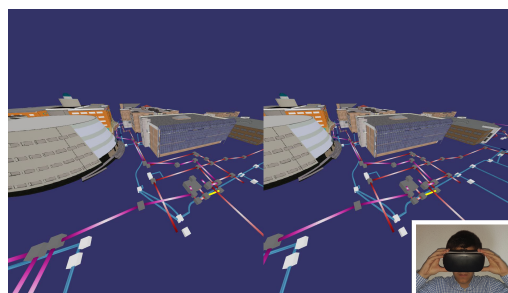


Figure 4: Entorno de realidad virtual

La representación en realidad virtual requiere de un proceso de optimización previo. Con el fin de garantizar el efecto deseado, evitar mareos y obtener la calidad gráfica necesaria se deben alcanzar como mínimo los 60 *frames* por segundo [AQSS16]. Para ello, realizan las siguientes técnicas de optimización:

Reducción del campo de visión: Para reducir la tasa de refresco lo primero que se ha llevado a cabo es una reducción del campo de visión de la cámara del usuario delimitando los planos (x, y, z) a un máximo de 30 metros.

Frustum Culling: Esta técnica posibilita una notable mejora en cuanto al rendimiento del escenario tridimensional. De esta forma, se renderizan únicamente las primitivas geométricas que intersectan con el frustum.

Uso de octrees: El cálculo de las colisiones con los edificios es una de las tareas más costosas computacionalmente. Para optimizar este proceso se ha implementado un octree con un único nivel de profundidad para cada modelo. Las colisiones son calculadas en base al octree en lugar de la malla de triángulos de cada entidad geométrica.

6. Aplicación Web

En este trabajo se presenta una aplicación Web, basada en WebGL que posibilita, desde una perspectiva 3D, una gestión integral del conjunto de infraestructuras del subsuelo. Ha sido desarrollada con el framework BabylonJS que resuelve los problemas de solapamiento producidos en la vista 2D y facilita, en gran medida, las tareas de mantenimiento relativas al subsuelo. Además, para alcanzar una mayor eficiencia en el proceso de identificación y actualización de tal información, posibilita el trabajo de los técnicos de forma ubicua, a pie de obra, en el lugar donde se está realizando la incursión en el terreno.

El prototipo desarrollado permite la visualización e interacción con las distintas infraestructuras, así como, el acceso y edición de la información asociada que las describe. El punto de partida en este trabajo consiste en un plano 2D que requiere de un alto nivel de abstracción para su lectura y cada actualización de los datos supone una labor demasiado tediosa. Como solución a este problema, se ha definido una aplicación web distribuida que sigue la arquitectura cliente-servidor. De este modo, el servidor almacena la base de datos espacial, los modelos 3D de los edificios y el conjunto de

información relativa al relieve del terreno. Desde el lado del cliente, se descargan todos los elementos que conforman el escenario y se lleva a cabo el render del entorno 3D virtual. En definitiva, este salto cualitativo significa un progreso en la metodología de trabajo hacia un SIG 3D que permite un conocimiento más profundo del conjunto de instalaciones que coexisten en el subsuelo.

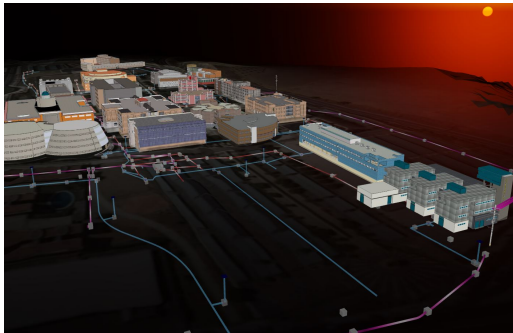


Figure 5: Aplicación Web

7. Conclusiones

La visión 3D es la forma natural que tiene el ser humano para percibir su entorno. El avance tecnológico presentado posibilita una optimización en los flujos de trabajo, de forma que, desde el punto de vista empresarial se gana en productividad y, en consecuencia, se mejoran los servicios prestados a los clientes. Es habitual encontrarse con empresas privadas o instituciones públicas con problemas subyacentes a métodos de trabajo ineficaces.

En este trabajo se han aplicado una serie de técnicas relacionadas con la informática gráfica y geomática con el fin de alcanzar un producto innovador en este sector profesional. Posibilita una visualización 3D de todas las infraestructuras del subsuelo, navegar entre ellas y señalar puntos de averías, interactuar con la geometría para acceder a la información contenida en la base de datos y todo ello de forma ubicua. Estos resultados significan un avance sobre las aplicaciones existentes en la actualidad. Se ofrece a los profesionales la posibilidad real de tener en la Web un SIG 3D con el que manejar modelos tridimensionales georreferenciados y un volumen de información asociado.

El acceso vía Web, las bajas prestaciones gráficas requeridas y la interacción en tiempo real con las infraestructuras hacen de este proyecto de innovación un producto de interés comercial para instituciones públicas o privadas responsables de tal gestión. El trabajo presentado se encuentra en fase de validación y pruebas por la empresa interesada. En definitiva, la evolución de este proyecto deriva en una nueva metodología de trabajo en la que se añaden el conjunto de ventajas que aporta la perspectiva 3D en la mayoría de entornos de trabajos actuales.

8. Trabajos futuros

Como líneas de desarrollo futuro, se puede continuar trabajando en el diseño tridimensional de las instalaciones ubicadas en el interior de los edificios. La gestión de todas ellas, desde una perspectiva 3D, significará un avance en una construcción integral de un SIG 3D en la Web.

Por último, se ha de continuar investigando sobre el uso de dispositivos de realidad virtual aplicando diferentes técnicas de optimización. El realismo y la inmersión conseguida con esta tecnología abre una ventana para conocer en primera persona todo aquello sobre lo que no se tiene una visión directa como es el subsuelo.

9. Agradecimientos

Este trabajo ha sido financiado parcialmente por el Plan Estatal de Investigación Científica y Técnica y de Innovación 2013-2016.

References

- [AFJ*17] AYREY E., FRAVER S., JR. J. A. K., KENEFIC L. S., HAYES D., WEISKITTEL A. R., ROTH B. E.: Layer stacking: A novel algorithm for individual forest tree segmentation from lidar point clouds. *Canadian Journal of Remote Sensing* 43, 1 (2017), 16–27. doi:10.1080/07038992.2017.1252907. 2
- [AQSS16] AMIR M. H., QUEK A., SULAIMAN N. R. B., SEE J.: Duke: Enhancing virtual reality based fps game with full-body interactions. In *Proceedings of the 13th International Conference on Advances in Computer Entertainment Technology* (New York, NY, USA, 2016), ACE2016, ACM, pp. 35:1–35:6. URL: <http://doi.acm.org/10.1145/3001773.3001804>, doi:10.1145/3001773.3001804. 3
- [dmayodt16] DE MEDIO AMBIENTE Y ORDENACIÓN DEL TERRITORIO C.: Red de información ambiental de andalucía, 2016. URL: <http://www.juntadeandalucia.es/medioambiente/site/rediam.2>
- [dROP09] DE RIENZO F., ORESTE P., PELIZZA S.: 3d gis supporting underground urbanisation in the city of turin (italy). *Geotechnical and Geological Engineering* 27, 4 (2009), 539–547. doi:10.1007/s10706-009-9255-2. 2
- [Goe13] GOETZ M.: Towards generating highly detailed 3d citygml models from openstreetmap. *International Journal of Geographical Information Science* 27, 5 (2013), 845–865. arXiv: <http://dx.doi.org/10.1080/13658816.2012.721552>, doi:10.1080/13658816.2012.721552. 2
- [HM15] HARDIN B., MCCOOL D.: *BIM and Construction Management: Proven Tools, Methods, and Workflows*, 1 ed. National Academy of Sciences, 2015. 2
- [JVJB17] JANG S., VITALE J. M., JYUNG R. W., BLACK J. B.: Direct manipulation is better than passive viewing for learning anatomy in a three-dimensional virtual reality environment. *Computers & Education* 106 (2017), 150–165. 1
- [Kol09] KOLBE T. H.: Representing and exchanging 3d city models with citygml. In *3D geo-information sciences*. Springer, 2009, pp. 15–31. 2
- [LLH*15] LI X., LV Z., HU J., ZHANG B., SHI L., FENG S.: Xearth: A 3d gis platform for managing massive city information. In *2015 IEEE International Conference on Computational Intelligence and Virtual Environments for Measurement Systems and Applications (CIVEMSA)* (June 2015), pp. 1–6. doi:10.1109/CIVEMSA.2015.7158625. 2
- [Mao14] MAO W.: Study on the construction and application of 3d geographic information services for the smart city. *ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences* 2, 4 (2014), 41. 1
- [MGR91] MAGUIRE D., GOODCHILD M., RHIND D.: *An overview and definition of GIS*. National Academy of Sciences, 1991. 1
- [Par12] PARISI T.: *WebGL: up and running*. O'Reilly Media, Inc., 2012. 1
- [ZC06] ZLATANOVA S., COORS V.: *Innovations in 3D Geo Information Systems. Lecture Notes in Geoinformation and Cartography*. Springer, 2006. 2