

Google Tango outdoors. Augmented Reality for underground infrastructures

Gregorio Soria^{1,2}, Lidia Ortega^{1,2} y Francisco R. Feito^{1,2}

¹Grupo de gráficos y geomática de Jaén (TIC-114) ²CEATIC

Abstract

Underground infrastructures, which support much of the services provided to citizens, have the peculiarity of not being directly visible. This leads to problems when making incursions for maintenance or creating new installations. In this framework, new technologies related to augmented reality are of special interest. This work presents a virtual reality application using Google Tango in order to visualize underground infrastructures in situ, allowing also free navigation. The system works on a client-server architecture. The client obtains the location point as well as the orientation of the device. The server returns the virtual visualization of infrastructure elements and buildings from this viewpoint, which will be superimposed over the actual view. The server maintains a spatial database with topological characteristics that allow this and other modes of interaction, as well as some analytical capacity. This article focuses on aspects such as the transformation of input data, the data model, the different methodologies for rapid and effective positioning, as well as the usability of the application.

CCS Concepts

•Information systems → Geographic information systems; •Human-centered computing → Mixed / augmented reality; Geographic visualization;

1. Introduction

En las ciudades se consume gran parte de los recursos energéticos y de agua dulce del planeta, y por esa razón son uno de los principales focos de atención de las denominadas Smart Cities. En la actualidad gran parte de las infraestructuras relativas al desarrollo urbano están bajo la superficie para preservar el espacio disponible en las ciudades, reducir el flujo de tráfico, proporcionar seguridad o aislamiento a las instalaciones, etc. Estas infraestructuras son las encargadas de llevar el agua, gas, electricidad y telecomunicaciones, a lo que habría que añadir el sistema de alcantarillado y, dependiendo de la ciudad, parte del transporte público.

Uno de los objetivos a alcanzar por las ciudades inteligentes es el desarrollo y manejo de las denominadas Tecnologías de la Información y Comunicación (TIC). Es de esperar que una sociedad fuertemente tecnificada como la actual, busque los objetivos marcados por las ciudades inteligentes con ayuda de sistemas de información avanzados. Muchas empresas y organismos públicos encargados del mantenimiento y desarrollo urbano demandan cada vez más herramientas software con fuerte carácter espacial y visual.

Esto implica necesariamente una serie de incursiones bajo el pavimento de una ciudad, bien para crear nuevas instalaciones o bien para tareas de mantenimiento. Sin embargo, los numerosos agentes que realizan las diversas tareas sobre estas instalaciones no poseen un modelo de gestión avanzado. Esto genera diversos tipos de problemas, fundamentalmente en la fase de mantenimiento, cuan-

do las diversas actuaciones y modificaciones realizadas en dichas infraestructuras no se reflejan sobre los datos iniciales. También es habitual la falta de precisión a la hora de establecer posiciones exactas o profundidad de los elementos existentes. Otro de los problemas subyacentes a la hora de excavar, es la posibilidad de encontrar otras infraestructuras o elementos ajenos. Esta información no siempre se conoce y por tanto no se incorpora al proyecto de diseño inicial, lo que implica posteriores problemas cuando se llevan a cabo actuaciones sobre el terreno [CECP13].

Como se ha indicado anteriormente, gran parte de esta problemática se podría solventar mediante las herramientas adecuadas. Aún así, una representación bidimensional de la información genera un alto grado de abstracción. Por tanto, en todo proceso de lectura, interpretación y actualización subyace una transformación a dos dimensiones de una realidad que está oculta bajo el suelo y es de naturaleza tridimensional. Sin embargo, la incorporación de la tercera dimensión no es tan simple como añadir una coordenada más. Implica nuevos modelos de datos con topología asociada y también nuevas herramientas de visualización, interacción y análisis.

A estas capacidades, habituales de un SIG en 3D, también habría que añadir las de ubicuidad. Permitir el trabajo a pie de obra con un sistema de información completo, en el que se puedan consultar y también actualizar la información, es de especial interés para infraestructuras soterradas. Actualmente este mecanismo se realiza ma-

yormente con planos en papel, fácilmente transportables al lugar. Si bien cada vez más se cuenta con dispositivos móviles o tabletas con altas capacidades. A nivel de visualización, estos dispositivos están ya bastante consolidados [Coo03, ZRP02], y se fabrican versiones preparadas específicamente para utilizarse en estos entornos de trabajo. Las nuevas tendencias también se están orientando al uso de la realidad aumentada. Con esta tecnología se puede eliminar virtualmente la capa del terreno que ocultan las infraestructuras y acceder a ellas in situ pero sin tener que realizar una excavación [SZR12].

En este artículo presentamos una aplicación capaz de visualizar y navegar sobre las infraestructuras subterráneas mediante realidad aumentada y utilizando la tableta de Google Tango como dispositivo cliente. Se parte de datos en formato CAD proporcionados por las empresas que gestionan las infraestructuras de saneamiento. Los datos sufren una transformación para ser almacenados en una base de datos espacial PostGIS situada en el servidor.

Tras esto, el usuario necesitará situarse en el mundo virtual. Para ello deberá posicionarse en un mapa mediante el uso de una de las técnicas que veremos en la Sección 5. Después, se mostrará una representación virtual de los edificios que están cerca del lugar escogido. El usuario deberá superponer los edificios virtuales con los edificios reales que está observando a través de la cámara del dispositivo. Una vez que este proceso de calibración está realizado, se le pedirá en forma de capas los datos al servidor de PostGIS. Tras el procesamiento de los datos recibidos, se mostrará la representación virtual de los objetos solicitados mediante el uso de la realidad aumentada.

En la Sección 2 haremos un repaso por sistemas que intenten cubrir necesidades similares a la nuestra. Posteriormente, en la Sección 3 daremos una visión inicial de nuestro objetivo y cómo lo cumpliremos. Tras esto, la Sección 4 estará dedicada a los datos de la aplicación, desde su consecución hasta cómo se reflejan en el dispositivo, pasando por su almacenamiento y extracción desde una base de datos espacial. En la sección 5 explicaremos la forma de posicionamiento del usuario y cómo orientar la cámara del dispositivo para que haya una superposición del mundo real y virtual, para terminar navegando y visualizando las infraestructuras subterráneas. Antes de finalizar con las conclusiones en la Sección 7, trataremos los resultados conseguidos en la Sección 6.

2. Estado del arte

La realidad aumentada es ya hoy en día una tecnología asequible, que está ya implantada en los teléfonos inteligentes gracias al avance conjunto del hardware de estos dispositivos. Al gran público llega a través de los videojuegos, siendo el más conocido el "Pokemon Go!". Aunque también son conocidos otros usos de la realidad aumentada en museos, para reconstruir espacios de la antigüedad actualmente en ruinas, o hacer aparecer al dinosaurio que contiene el esqueleto presente en la sala. Pero las aportaciones son muchas y en muchos otros ámbitos, como el turismo o la educación.

Pero también esta tecnología se puede usar con fines no lúdicos, como la visualización de información espacial in situ [ZPV16]. En este artículo se propone un método por el cual se muestra información sobre los edificios que capta la cámara del dispositivo. La

utilización de la técnica *Indirect AR* usa una cámara para capturar imágenes panorámicas con información GPS y de orientación incluidas. Este tipo de técnicas requieren un preprocesado de los datos antes de poder utilizar el sistema, por lo tanto, no es transportable a cualquier lugar del mundo.

A nivel de gestión del subsuelo, la RA permite realizar una operación muy interesante desde el punto de vista técnico: eliminar virtualmente la capa de tierra o asfalto que impide el acceso a las infraestructuras soterradas.

Actualmente las empresas encargadas de la gestión del subsuelo realizan su planificación mediante herramientas CAD. Estos sistemas carecen de una tercera coordenada al visualizar los datos. Además no es posible realizar operaciones que cualquier herramienta SIG proporciona. Por esto, debe crearse otro tipo de soluciones que ayuden a comprender mejor las infraestructuras subterráneas.

En [LSP15] se realiza una visualización de etiquetas señalando la posición de pozos. Aunque se incluye información sobre las dimensiones de cada pozo, no se muestran objetos 3D representativos, lo que le quita realismo a la aplicación. Hace un registro de elementos a mostrar pero no maneja una base de datos espacial, por lo que su capacidad de manejo y análisis de datos es limitado.

El método propuesto por [ZHHL16] se calculan poses que se ven modificadas por el movimiento del usuario a partir de los sensores de un smartphone. En este caso también utilizan una base de datos espacial para transportar los datos desde un servidor hasta el dispositivo de visualización. El problema del proceso de posicionamiento es que no es inmediato, necesiéndose un proceso previo de cálculo. Otro problema del uso exclusivo de sensores es que pueden ser alterados fácilmente, como es el caso de la brújula electrónica. Por último el uso de GPS puede hacer que la posición esté desviada una gran cantidad de metros.

Un sistema más avanzado lo encontramos en [SZR12]. En este trabajo se desarrolla un dispositivo de realidad aumentada y después es utilizado para la visualización de la infraestructura del subsuelo. A la tablet utilizada se le incorpora una unidad inercial de medida, un láser de medida, un antena GPS y una cámara. Al ser sensores externos hace que el dispositivo crezca en dimensiones, por lo que es poco portable. En este caso, la señal GPS recibida sí es fiable, ya que usando correcciones RTK se consigue un error máximo de 30cm. Por último, la orientación la consiguen por medio de unos puntos de referencia que son totalmente conocidos y que cuentan con una precisión por debajo del centímetro. Este puede ser un problema a la hora de que un usuario quiera usar este sistema ya que antes tendrá que medir dichos puntos para posteriormente trabajar.

Por último, cabe nombrar que ninguno de los sistemas anteriormente citados cuentan con un sistema que haga oclusión con los elementos que se interponen entre el subsuelo y el resto de elementos del mundo. A continuación detallamos las características del sistema que presentamos en este artículo.

Como restricciones de nuestro sistema, buscaremos que funcione en cualquier lugar del mundo, evitando pedir al usuario que realice unos pasos previos costosos. Algunos de los sistemas anteriormente nombrados no eran fácilmente portables, al contrario de Google

Tango. Cabe destacar que esta también puede ser conectada a dispositivos mediante sensores que haría mejorar ciertas cualidades. Un ejemplo es el uso de un GPS submétrico con correcciones de posicionamiento, ayudando así a tener más precisión.

3. Planteamiento general

En este apartado planteamos los objetivos del sistema el hardware utilizado para este caso.

3.1. Objetivos

El objetivo fundamental de nuestra propuesta es proporcionar a las empresas encargadas de la gestión y mantenimiento de infraestructuras subterráneas de una herramienta para localizar y visualizar de forma ubicua estas infraestructuras. Nuestra propuesta pretende mejorar muchos de los aspectos de los sistemas de RA descritos en la sección anterior. Para ello se hace uso de la tecnología Tango, un novedoso dispositivo de coste asequible y con gran capacidad de cómputo dotado de una serie de cámaras y sensores perfectamente compatible con este tipo de entornos de trabajo.

El dispositivo, que funciona como cliente, ayudará a localizar al usuario dentro de la escena real, tanto en su posicionamiento como en la orientación del dispositivo y de forma rápida y precisa. Sin embargo, por sí misma la tableta Google tanto no permite tal nivel de precisión ni el proceso de localización ni en el de orientación. Para la mejora de estos mecanismos se utilizará únicamente la Tango, aunque con ayuda de la geometría del lugar ubicada en un servidor. La arquitectura implementada por tanto es un sistema cliente-servidor. Una vez ubicado perfectamente, el dispositivo permitirá activar el mecanismo de RA para la visualización de objetos virtuales de las infraestructuras a través de la pantalla de la tableta, quedando éstas superpuestas a la realidad mientras se navega libremente por el entorno real.

La información que se aloja en el servidor ha sufrido una serie de transformaciones, partiendo de una serie de capas de información 2D en formato CAD proporcionadas por las empresas concesionarias de la gestión de las infraestructuras. Posteriormente a estas capas se les ha dotado de la tercera dimensión y de una topología inexistente en las capas iniciales. Posteriormente se ha alojado el resultado en una base de datos espacial PostGis, lo que permite no sólo la visualización del entorno, sino posibles consultas, actualizaciones y análisis del conjunto de infraestructuras. Posteriormente, se ha hecho uso de la tecnología de Google Tango para activar la realidad aumentada en este dispositivo usado como cliente.

La red sobre la cual se ha empezado a trabajar es la de saneamiento, encargada de recoger las aguas residuales de calles y edificios para su posterior depuración. Los datos iniciales en formato CAD se pueden ver representados en la Figura 1. Aunque no se tiene datos de la profundidad real de estas infraestructuras, si se conoce la cotas medias y algunas restricciones al respecto proporcionadas por la empresa. Por ejemplo la red de saneamiento está situada entre un metro y medio y dos metros y medio por debajo del terreno. Se sabe que en dicha red sólo actúa la gravedad, por lo que es monótona.

A continuación se describen estas capas y su funcionalidad.

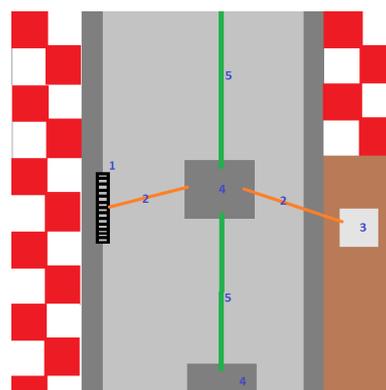


Figure 1: Esquema de una red subterránea de saneamiento.



Figure 2: Parte delantera y trasera de Google Tango.

1. **Imbornal:** Este elemento recoge aguas pluviales y la deposita en los pozos por medio de los conductos.
2. **Conducto:** Tubería encargada de transportar agua no potable desde un elemento cercano a la superficie hacia un pozo.
3. **Arqueta:** Recoge las aguas residuales de un edificio y las deposita en un pozo por medio de un conducto.
4. **Pozo:** Objeto de almacenamiento de agua, la cual se transporta por medio de conducciones desde un pozo a otro. En éstos los operarios pueden trabajar en tareas de limpieza y desatranco.
5. **Conducción:** Son tuberías de mayor tamaño por el que pasa el agua desde un pozo a otro hasta llegar a una depuradora.

3.2. Google Tango

El proyecto Tango de Google es una plataforma que proporciona a un smartphone o una tablet la habilidad de entender su posición relativa entorno al mundo que lo rodea. En la Figura 2 podemos ver el primer modelo comercial de Tango. Por la parte delantera es como cualquier otra tablet del mercado pero por su parte posterior encontramos gran cantidad de sensores. Para dotar al dispositivo con las propiedades anteriormente expuestas, ésta cuenta con una cámara con un objetivo gran angular, una cámara de profundidad, una unidad de medición inercial, un preciso sensor de "timestamping" y un software que permite a los desarrolladores usar los beneficios que conlleva la unión de ese hardware. Tango se basa en tres tecnologías claves:

- **Rastreo de movimiento:** El dispositivo es capaz de seguir su posición y su orientación. Si el usuario camina y a la vez mira alrededor a través de la pantalla, el sistema sabrá en todo momento donde está de forma relativa al punto donde comenzó a

rastrear y la orientación. Esto es posible gracias a la unidad de medición inercial que proporciona la posición y la orientación del dispositivo con seis grados de libertad. Cada combinación de una posición y una orientación es almacenada cómo una "pose" que son trasladadas a la cámara virtual de la escena en forma de posición y rotación de la misma.

- Aprendizaje del área:** Usando solo el rastreo de movimiento, el dispositivo no recordará por dónde ha estado moviéndose y hacia donde ha estado mirando. Si además de esta habilidad, dotamos de memoria al sistema, la siguiente vez que el usuario pasee por el mismo lugar, será detectado por el smartphone lo que conlleva una mejora de la precisión de la trayectoria actual y la capacidad de orientarse y posicionarse de una forma más efectiva sin tener que acceder a los servicios en la nube que Google ofrece. Para este reconocimiento el sistema debe ver y recordar las principales características del entorno, como son las esquinas o las aristas. Posteriormente esto es almacenado a través de una descripción matemática del mundo.
- Percepción de profundidad:** Proporciona la posibilidad de reconocer los objetos de sus alrededores y su posición en el espacio. Para ello es necesario un proyector infrarrojo y una visión estereoscópica. Con esto se puede conseguir interactuar con los objetos de alrededor, medir áreas o crear una nube de puntos con color de lo que se está viendo. Como algunos scanners, Tango también es afectada por la falta o exceso de luz, igual que por objetos que la reflejen.

Para desarrollar aplicaciones para esta tecnología, Google proporciona una API para el lenguaje C/C++, otra para Java y un SDK para Unity.

4. Modelo de datos

Como se indicó en la Sección 1, los datos de entrada carecen en su mayoría la coordenada correspondiente a la altura, y los que lo poseen no son fiables. Por esta razón los datos deben sufrir una transformación antes de ser almacenados en la base de datos espacial para dotarlos de una altura aproximada.

4.1. Datos de entrada y transformación

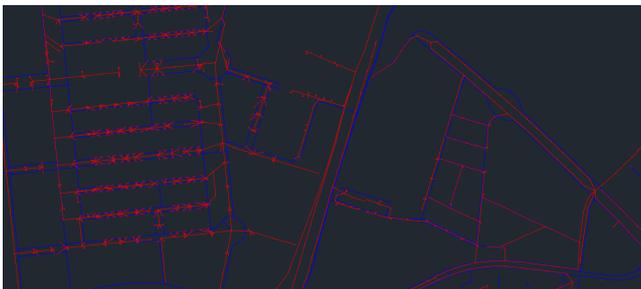


Figure 3: Fichero CAD de una de las empresas colaboradoras.

En la Figura 3, vemos la visualización inicial de los datos suministrados por la empresa que gestiona la red. De color azul están representados los elementos de la red de abastecimiento mientras que de color rojo figura la red de saneamiento. Dentro de cada una

de estas redes, cada elemento subterráneo está representado a través de una simbología, siendo, por ejemplo, las arquetas un rectángulo o los pozos, un círculo. En el fichero CAD, existe una capa por cada tipo de elemento del subsuelo.

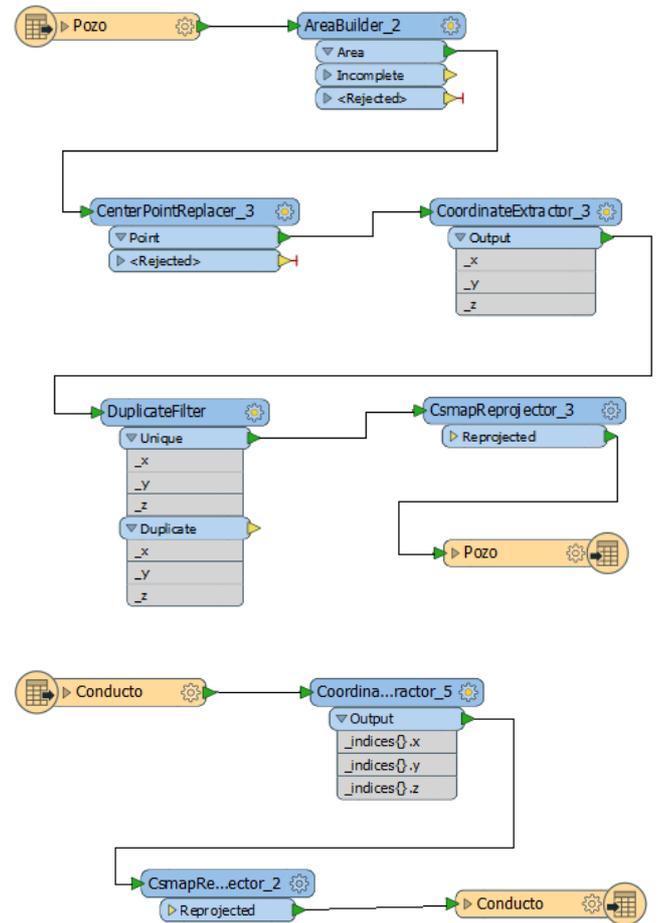


Figure 4: Nodos de extracción de los datos del fichero CAD mediante el uso de la herramienta FME.

La información ha sido extraída mediante el software FME (Safe Software). Esta herramienta nos permite, a través de la conexión de nodos de operaciones, extraer la información de multitud de ficheros y exportarla a otros formatos. Para nuestro caso, necesitamos diferenciar entre objetos que están formados por un inicio y un final, como las tuberías y objetos que tienen una sola posición, como los pozos, arquetas o imbornales. En la Figura 4 observamos los nodos que han sido necesarios para extraer cada capa del fichero CAD. Arriba están los objetos de tipo puntual, son extraídos construyendo su área y reemplazando su información geométrica por un punto. Abajo se extraen las tuberías cuyo proceso es separar los puntos de cada una de las polilíneas. Ambos son re proyectados a UTM zona 30 y exportados a formato GML. Posteriormente los datos serían cargados a las tablas correspondientes mediante un simple programa en C++.

Dentro de este fichero también encontrábamos puntos cuya función es indicar el material de las tuberías más próximas y su diámetro. Estos datos fueron extraídos buscando asignándole un ID a cada tubería extraída, buscando el punto más cercano a cada una y proporcionándole dicha información.

4.2. Base de datos

Para almacenar información espacial y operar rápidamente con ella, la mejor solución encontrada fue el uso de una base de datos espacial. Dentro de este tipo de servicios existen multitud de opciones. Finalmente nuestra decisión fue usar PostGIS ya que además de ser libre y gratuita, es una herramienta consolidada en este tipo de soluciones.

Como diseño de la base de datos, se ha escogido el modelo propuesto por [GSF16] con pequeñas modificaciones que hacen a los datos estén conectados topológicamente.

El modelo Entidad-Relación queda reflejado en la Figura 5, si bien este es un subconjunto del total del diseño que contiene el servidor. Como hemos indicado anteriormente, hemos restringido la aplicación al caso de la red de saneamiento. Existe más funcionalidad en la base de datos que no se introduce aquí por simplicidad. Cada objeto representado corresponde a una capa de los datos iniciales: conductos, arquetas, pozos, etc. Al mismo tiempo cada capa pertenece a una red, en este caso saneamiento. Esto permite tener otras redes con arquetas, como es el caso de las comunicaciones. Dado que queremos reflejar si el objeto ha sido modificado y de qué manera respecto a los datos iniciales, guardamos la modificación sufrida. Es interesante almacenar su material para más tarde darle un aspecto más realista. Incluiremos también los datos sobre el modelo que es el objeto y el fabricante. Todas estas propiedades son temáticas, a continuación describiremos el núcleo geométrico de la base de datos.

Las polilíneas están almacenadas en una tabla cuya geometría es establecida como tipo "Linestring", también un dato nativo de PostGIS para representar este objeto geométrico. Los objetos puntuales se ubican en otra tabla cuyo tipo de geometría es "Pointz" quedan relacionadas por medio de su identificador siempre y cuando la geometría de los datos estén a una distancia menor de medio metro. En caso contrario se asume que es un error de lectura y se trata por tanto del mismo elemento. No existen objetos tan cercanos de la misma red en la realidad. Para que la visualización sea lo más fiel posible se introduce diferentes atributos para conocer sus dimensiones o capacidades reales. Para los objetos de tipo polilínea se guarda su diámetro exterior.

La altura de la gran mayoría de objetos es nula, y los pocos que tienen una altitud distinta de cero, no están situados cerca del terreno. Dado que los datos quedan topológicamente relacionados, falta dotar a los datos de una profundidad aproximada. Empezamos dándole una altura a los imbornales y arquetas que sea igual a la altura del terreno. A los pozos le asignamos una altura entre uno y dos metros. Posteriormente asignaremos a los extremos de cada polilínea la altura de los objetos a los que están conectados. Para los segmentos intermedios que no están conectados a ningún objeto, se les ha asignado una altura entre los dos extremos de la polilínea asegurando que siempre sea monótona.

4.3. Modelo de datos en memoria

Como se comenta anteriormente, existirán dos tipos de objetos en la base de datos, polilíneas que representan tuberías y puntos que representan objetos contenedores u objetos funcionales. Cada tipo de objeto deberá ser representado y tratado de distinta forma una vez cargado en el dispositivo. Ya que en la base de datos tenemos almacenada las conexiones entre los elementos del subsuelo, las añadiremos como propiedades de nuestros objetos virtuales.

Una polilínea puede estar formada por dos o más puntos, en una sucesión ordenada. Cada pareja ordenada de estos puntos indica la presencia de un segmento, que podrá ser manejado a nivel individual en memoria si fuera necesario. Para mostrar los segmentos utilizaremos una representación en forma de cilindro al que se le aplica una serie de transformaciones espaciales para que quede situado correctamente en el espacio, con la inclinación adecuada y con el diámetro indicado en la base de datos. Posteriormente se le aplicará una textura que de un aspecto realista a dicha tubería. Una vez que el apariencia está cubierta, debemos preocuparnos de la topología. Cada conducto puede estar conectado a ningún (caso no realista), uno o dos objetos del sistema, siendo estos objetos otros segmentos o un elemento puntual.

En cuanto a los objetos puntuales, como pozos, arquetas o imbornales, el aspecto visual también viene dado por su material. Esta información no estaba inicialmente en los datos de entrada, pero la empresa indica que son construidos con ladrillo o prefabricados con hormigón, por lo que hemos optado por poner una textura de adobe. La representación de los objetos conocidos son realistas y coinciden con la forma real, mientras que si existen componentes que no tenemos un modelo, se representarán mediante un cubo. Este tipo de piezas están conectados a una o varias tuberías.

La Figura 6 muestra el diagrama UML diseñado.

5. Funcionamiento del sistema

En este apartado se explica el proceso de localización y orientación llevado a cabo que ayuda a Tango a situarse dentro del mundo real.

5.1. Posicionamiento

Como anteriormente comentamos, hemos utilizado varios métodos de posicionamiento con la finalidad de encontrar el que mejor se adapte a nuestra aplicación. En la Figura 7 vemos el primer método de posicionamiento. El sistema cargará un mapa a través de la API de Mapbox junto con su SDK asociado a Unity. En él se mostrará un marcador azul indicando la posición GPS leída por el sensor del dispositivo. Bien es sabido que este método tiene un error relativo de hasta 50 metros pero en ciertas ocasiones puede funcionar de forma correcta.

Mapbox es una empresa la cual ofrece una plataforma relacionada con posicionamiento a desarrolladores. A través de un SDK de Unity podemos visualizar mapas en distintos formatos. Además ofrece la posibilidad de realizar extrusiones tanto a edificios como a carreteras, dando mayor realismo a la aplicación desarrollada.

Como segundo método, se ha propuesto que el usuario elija su

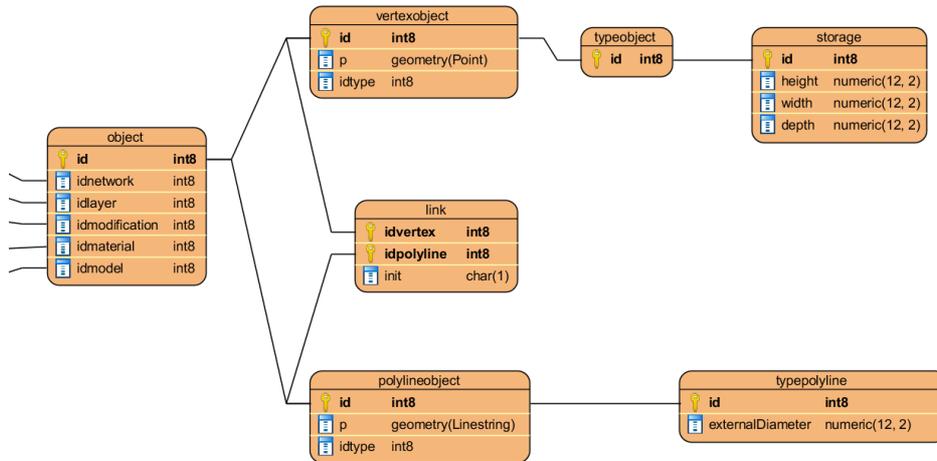


Figure 5: Diagrama entidad relación de la base de datos utilizada.

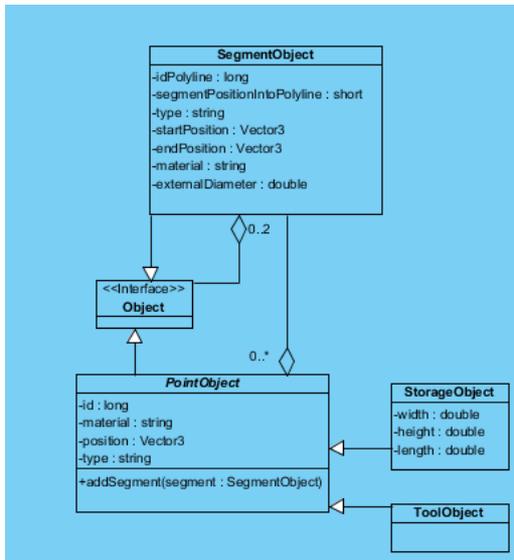


Figure 6: Diseño de los datos de los elementos de una red subterránea.

posición. Para ello pulsará encima del mapa y aparecerá un marcador de color verde. Este método puede verse en la Figura 7.

La siguiente forma de posicionamiento será a través de un GPS submétrico. Utilizaremos el modelo R1 de Trimble (Figura 8). Este tipo de dispositivo es capaz de conseguir precisión centimétrica dado que puede conectar con múltiples satélites como GPS, GLO-NASS, Galileo o BeiDou además de soportar correcciones como SBAS, VRS o redes RTX. En nuestro caso hemos utilizado una conexión a la Red Andaluza de Posicionamiento mediante el protocolo NTRIP, consiguiendo una precisión de hasta 78 centímetros. Este aparato se conecta a cualquier otro dispositivo a través de una



Figure 7: El usuario elige donde está situado dentro del mapa.



Figure 8: GPS submétrico - Modelo R1 de Trimble.

conexión Bluetooth. En el caso de Android, será necesario habilitar la opción de Ubicaciones simuladas manteniendo la aplicación proporcionada por Trimble en segundo plano. A partir de ahora, la posición GPS que trata la tablet o el smartphone es la que es recibida por dicho dispositivo. Una vez dentro de la aplicación, en el mapa también aparecerá la posición en forma de marcador azul, igual que en la Figura 7.

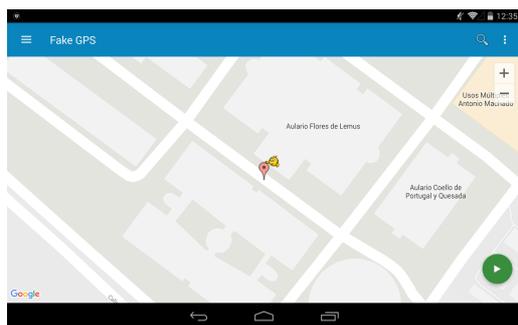


Figure 9: Posicionamiento mediante la aplicación Fake GPS.

Por último también se ha probado a utilizar una aplicación que simula la ubicación con el fin de contrastar nuestra forma de enmascarar nuestra posición como en el segundo método. Para que este método funcione también debemos tener activadas las "Ubicaciones simuladas" de nuestro dispositivo. Para ello utilizaremos la aplicación Fake GPS. En ella, se muestra un mapa donde el usuario selecciona su posición en Google Maps. Vemos una prueba en la Figura 9.

Posteriormente se realizará una comparativa de precisión con todos los métodos que hemos probado y determinaremos cual reproduce la infraestructura del subsuelo de forma fiel a la realidad.

5.2. Orientación

En esta subsección explicaremos cómo se ha conseguido que las tuberías y demás elementos subterráneos encajen lo máximo posible con la realidad.

Tras ubicarnos, seguiremos usando el SDK de Mapbox, ya que nos proporciona la geometría de los edificios con una altura fijada, siendo la misma para todos ellos, y la orografía del terreno. Empezaremos bajando la cámara a nivel del suelo en la misma posición que escogió el usuario. En este momento activaremos los sensores de Tango y se superpondrán los objetos virtuales con la realidad que capta la cámara del dispositivo.

El proceso para realizar una correcta superposición del mundo real y virtual será como sigue:

- El usuario estará apuntando con el dispositivo hacia delante, y empezará viendo la realidad junto a la geometría de los edificios que están en su entorno, esta situación corresponde con la Figura 10a. En la Figura 10b podemos ver cómo es el modelo en Unity. Todo está en su sitio sin sufrir ninguna transformación.
- El usuario utilizará un gesto de arrastre para rotar el modelo virtual en torno a su posición, Figura 10c, colocando los edificios virtuales en el mismo eje que los edificios reales. En la Figura 10d, en el editor de Unity, desde el mismo punto de observación que antes, vemos como el modelo ha sido rotado en torno al eje Y. En este momento es posible que la geometría no esté exactamente en el mismo lugar que el mundo real. Si estuviera totalmente ajustado, podríamos dar por finalizado el proceso, pero como en el caso de la Figura 10c, los edificios virtuales están por encima de los reales.

- En el caso de que no terminen de estar ajustados los edificios será necesario cambiar el punto de vista de la cámara. El usuario deslizará dos dedos por la pantalla en el mismo sentido, lo que se traduce en cambiar la orientación de la cámara. En la Figura 10e vemos como los edificios virtuales han quedado alineados con los reales. En la Figura 10f, vemos que la cámara ahora está apuntando más hacia arriba que en la Figura 10d.

A partir de este momento el mundo virtual y real será el mismo y comenzará el proceso de cargar las infraestructuras subterráneas en el mundo virtual para que puedan ser vistos a través de la tablet de Google Tango.

5.3. Navegación y visualización

Una vez que el mundo virtual está bien situado respecto al mundo real, cargamos los elementos subterráneos desde la base de datos y el usuario podrá empezar a caminar por el mundo real mientras que el dispositivo Google Tango hace uso de su habilidad de rastrear el movimiento e indica a la cámara virtual que debe moverse y hacia que lugar. El SDK que nos proporciona Google convierte un metro real en una unidad de Unity por lo que si el usuario se ha posicionado y orientado correctamente, el mundo virtual diferirá muy poco de la realidad.

Para este tipo de aplicación se ha decidido no utilizar el aprendizaje automático, debido a que una calle cambia constantemente sus puntos de interés, como pueden ser coches y ventanas.

Aún estando en pruebas, hemos activado la opción de ocultar nuestra escena virtual a través de la reconstrucción de las paredes que observa la cámara con infrarrojos, con la opción de detectar dichas paredes solo y cuando estén a menos de un metro.

Google Tango no es capaz de detectar correctamente si estamos subiendo o bajando una cuesta por lo que seguimos usando el SDK de Mapbox para utilizar la orografía del terreno. Para ello hemos introducido un colisionador cilíndrico a la cámara con una altura igual a la media de una persona. Con esto conseguimos que si el usuario se traslada por un plano inclinado, la cámara virtual también lo haga. Hemos usado la física de Unity sobre la cámara añadiéndole que sea afectada por la gravedad pero que no implique una rotación ni una translación ni en el eje X y Z de la cámara. En la Figura 11 vemos el resultado de esto.

6. Resultados

Anteriormente comentamos cuáles serían nuestros métodos de posicionamiento. Ahora es el momento de ver cual es la mejor forma entre las cuatro posibles de posicionarnos. Para determinarlo buscaremos un lugar donde los datos sean inconfundibles con otros lugares cercanos y mediremos la distancia existente desde nuestra posición hasta el punto donde se muestre dichos datos en la pantalla de Tango. Utilizaremos la Figura 12 como referencia. En ella observamos puntos y líneas de color morado, esos serán nuestros datos. El punto verde se refiere al lugar desde donde nos situaremos para posicionarnos y orientar la vista. El punto señalado con la flecha será el que buscaremos con el dispositivo de realidad aumentada.

Empezaremos analizando el error cometido con el GPS integrado del dispositivo. Este método podemos afirmar que no es nada



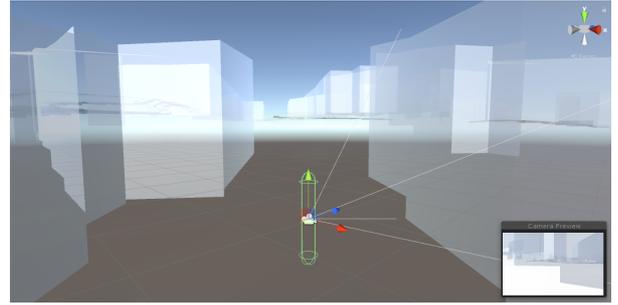
(a) Situación inicial de la orientación en la pantalla de Google Tango



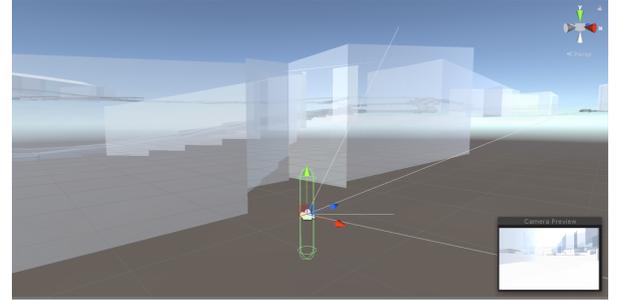
(c) Los edificios quedan situados encima de la realidad



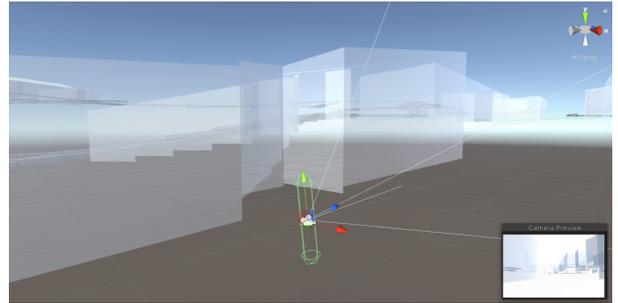
(e) Los edificios virtuales quedan alineados con los reales



(b) Situación inicial de la orientación en Unity



(d) El modelo es rotado en torno al eje Y



(f) El punto de visión de la cámara es rotado entorno al eje X

Figure 10: Proceso de emparejado de los objetos virtuales que nos muestra tango en pantalla con los objetos de la realidad.

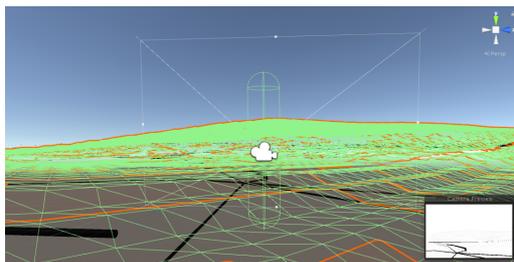


Figure 11: Navegación del usuario vista a través del editor de Unity. La cámara está rodeada de un colisionador que simula el caminar por la malla de triángulos que forma el terreno virtual equivalente al real.

adecuado para nuestro sistema, aún así daremos la posibilidad al usuario de seleccionarlo. Tras diversos intentos hemos medido que

el error se sitúa entre los tres y cuatro metros. Utilizando este posicionamiento a la hora de hacer un mantenimiento produciría multitud de fallos tras excavar para reparar un elemento.

El segundo método que analizamos será cuando el usuario seleccione su ubicación. De esta forma hemos conseguido un error medio en torno a los 70 cm. Parece un buen método siempre y cuando se confíe en la habilidad del usuario para pulsar sobre un lugar. A la hora de seleccionar un sitio sería aconsejable que este fuera característico como el final de una calle o cerca de la esquina de un edificio.

Seguimos con el caso de que el usuario seleccione su posición y se simule la posición GPS. En un principio se diría que el error sería el mismo que con el método anterior, pero no es el caso. Utilizando una aplicación de simulación GPS tiene más error, en torno a unos 30 cm. más que el método anterior. Aunque también debemos confiar en la habilidad del usuario, esta aplicación no se basa en el mismo mapa que nuestro sistema, por lo que el motivo puede ser

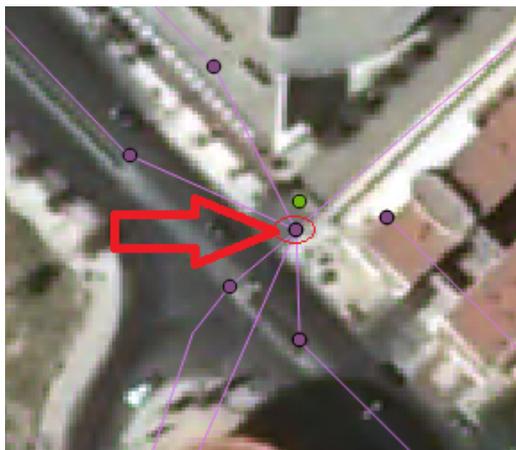


Figure 12: Figura de referencia para medir la fiabilidad de nuestra aplicación

que el mapa que utiliza tenga una proyección diferente al nuestro. Cabe destacar que con un error de entorno a un metro se podría empezar a trabajar con cierta fiabilidad.



Figure 13: Pozo situado cerca de su posición real.

La manera de posicionamiento que nos ha dado mejor precisión ha sido con el uso del GPS submétrico conectado con la Red Andaluza de Posicionamiento. Hemos conseguido bajar el error medio hasta los 32 cm. en el mejor de los casos y 40 cm. en el peor. El único inconveniente es que hemos tenido que esperar cerca de tres minutos para recibir una corrección decente. Si el trabajador está realizando tareas de mantenimiento, este es el mejor método sin duda pero si es necesario realizar una reparación urgente tal vez no sea la forma más apropiada, dado su tiempo de espera. Para casos donde se necesita rapidez se debería optar por elegir la posición. En la Figura 13 vemos un pozo debajo de su tapa, conseguido con el GPS submétrico.

En la Figura 14 visualizamos un pozo que está conectado con seis tuberías. Este elemento coincide con el punto señalado en la Figura 12. Vemos que el pozo tiene una profundidad por debajo del terreno virtual que hemos creado y se ve en la Figura 11. Para dar más aspecto de profundidad, hemos utilizado una cubo con distintas texturas y por encima de él que ocluye a los objetos que hay detrás de sus paredes. Si el usuario quiere observar el subsuelo



Figure 14: Pozo visualizado a través de Realidad aumentada.



Figure 15: Tuberías

deberá girar la cámara unos 75 grados para empezar a ver elementos subterráneos. En la Figura 15 vemos dos tuberías. Lo destacable en esta imagen es que el tamaño de las tuberías son distintas, dando sentido al parámetro "diámetro" que almacenamos en la base de datos.

7. Conclusiones y trabajos futuros

Este trabajo puede suponer un gran avance para cambiar la forma de trabajar de las empresas encargadas del mantenimiento de las infraestructuras subterráneas. Cuando un operario necesite realizar algún trabajo sobre una tubería podrá usar el software, ver donde está situada y dar las órdenes de excavación. Las dos empresas colaboradoras han podido observar el funcionamiento de nuestros resultados y entendiéndolo que el proyecto se encuentra en una fase de prototipo, han dado el visto bueno a esta forma de trabajar, dando la posibilidad en un futuro de usar nuestra herramienta.

Respecto al dispositivo de realidad aumentada que hemos utilizado, somos conscientes de que no es una tecnología consolidada en estos momentos y se puede hablar más de un prototipo que de una realidad. Cada día son más las personas que están interesadas en usar esta tecnología por lo que sus características irán mejorando a lo largo del tiempo y haciendo cada vez más útiles estos sistemas. Muchas de las funcionalidades del SDK de Google Tango están de forma experimental por lo que no nos queda más que esperar algún tiempo más y podremos disfrutar de esta nueva forma de trabajar.

Ahora que ha terminado la labor de posicionar al usuario, orientar el mundo virtual entorno a él y seguir sus movimientos para

conseguir una visualización de los datos, se trabajará en interactuar con los elementos del subsuelo. Existen multitud de tareas que uno podría simular a través de su smartphone, visualizar el resultado y si es correcto, aplicarlo a la realidad. Un ejemplo de esto sería el poder cerrar una válvula de corte, ver hacia donde iría agua y si eso produciría algún daño en la red. También se le añadirá información extrínseca a los elementos, como es el material o el diámetro de las tuberías. Si somos capaces de dotar a este sistema de esta capacidad, las redes subterráneas estarán mejor documentadas.

Otro resultado que se intentará conseguir será el de inventariar tanto los objetos del subsuelo como los objetos que están almacenados y que no están funcionando. Con esto ayudamos a las compañías a administrar mejor sus recursos y que en todo momento tengan control de lo que necesitan.

Como última aportación, sería correcto añadir la variable tiempo a los elementos. Si por ejemplo un pozo se ha roto un par de veces, estaría bien que el sistema almacenara esas roturas, la situación de la red en ese momento y si es posible, un análisis sobre lo ocurrido.

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

- [CECP13] CURIEL-ESPARZA, CANTO-PERELLO J.: Selecting utilities placement techniques in urban underground engineering. *Archives of Civil and Mechanical Engineering* 13, 2 (2013), 276–285. 1
- [Coo03] COORS V.: 3d-gis in networking environments. *Computers, Environment and Urban Systems* 27, 4 (2003), 345 – 357. 3D Cadastres. URL: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0198971502000352>, doi:[http://dx.doi.org/10.1016/S0198-9715\(02\)00035-2](http://dx.doi.org/10.1016/S0198-9715(02)00035-2). 2
- [GSF16] GREGORIO SORIA L. O., FEITO F.: Towards a 3d gis for underground infrastructure. 5
- [LSP15] LEE S., SUH J., PARK H.-D.: BoreholeAR: A mobile tablet application for effective borehole database visualization using an augmented reality technology. *Computers & Geosciences* 76 (mar 2015), 41–49. doi:[10.1016/j.cageo.2014.12.005](https://doi.org/10.1016/j.cageo.2014.12.005). 2
- [SZR12] SCHALL G., ZOLLMANN S., REITMAYR G.: Smart vidente: advances in mobile augmented reality for interactive visualization of underground infrastructure. *Personal and Ubiquitous Computing* 17, 7 (sep 2012), 1533–1549. doi:[10.1007/s00779-012-0599-x](https://doi.org/10.1007/s00779-012-0599-x). 2
- [ZHHL16] ZHANG X., HAN Y., HAO D., LV Z.: ARGIS-based outdoor underground pipeline information system. *Journal of Visual Communication and Image Representation* 40 (oct 2016), 779–790. doi:[10.1016/j.jvcir.2016.07.011](https://doi.org/10.1016/j.jvcir.2016.07.011). 2
- [ZPV16] ZOLLMANN S., POGLOTSCH C., VENTURA J.: VISGIS: Dynamic situated visualization for geographic information systems. In *2016 International Conference on Image and Vision Computing New Zealand (IVCNZ)* (nov 2016), Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE). doi:[10.1109/ivcnz.2016.7804440](https://doi.org/10.1109/ivcnz.2016.7804440). 2
- [ZRP02] ZLATANOVA S., RAHMANB A. A., PILOUKC M.: 3d gis: Current status and perspectives. In *Symposium on Geospatial Theory, Processing and Applications* (2002), Archives I., (Ed.). 2