

3D environment understanding in real-time using input CAD models for AR applications

D.Jurado¹, J.M.Jurado¹, L.Ortega¹ and F.R.Feito¹

¹Computer Graphics and Geomatics, University of Jaén, Spain

Abstract

The automatic recognition of real environments has become a relevant issue for multiple purposes in computer graphics, computer vision and artificial intelligence. In this work, we focus on environment understanding according to input CAD models for an Augmented Reality (AR) application. We provide a novel solution for the management of building infrastructures in indoor spaces. The use case has been the University of Jaén to visualize correctly their service facilities from AR. To this end, firstly, the CAD models (2D) have been segmented in order to simplify its geometry. As a result, an efficient data structure has been created for real-time alignment to scanned data. Secondly, we have developed a mobile application based on ARCore library to capture and generate 3D planes of the user environment. Finally, we have carried out a method to align automatically the virtual elements such as walls, doors and grounds to the real world. The main objective of this research is to calculate the needed geometric transformations of virtual elements and thus, to achieve a correct overlapping with the real world by understanding their physical and spatial constraints in real time.

Categories and Subject Descriptors (according to ACM CCS):

CCS Concepts

•**Computing methodologies** → Collision detection; •**Hardware** → Sensors and actuators; PCB design and layout;

1. Introducción

El continuo avance de las TICs (Tecnologías de la Información y Comunicación), define un amplio campo de investigación e innovación de gran potencial con diversas aplicaciones en áreas como la ingeniería civil, IoT (Internet of Things) o la smart city [KRM17]. En el epicentro de todas ellas la Realidad Aumentada (AR, por sus siglas en inglés) tiene un gran impacto [Fur11]. Esta tecnología ha causado un interés sustancial a la comunidad científica, favoreciendo en este sentido, su avance y desarrollo. En esta dirección se enmarca el presente trabajo, cuyo principal objetivo es proponer un método eficiente para el reconocimiento de entornos en interiores de edificios a partir de sus modelos CAD y su reconstrucción dispersa en tiempo real.

En general, el enfoque empleado para llevar a cabo la gestión y visualización de edificios e infraestructuras de servicios en las ciudades se ha servido de planos CAD [Ike87] estáticos cuyo mantenimiento y actualización suponen un coste elevado por las empresas privadas o instituciones públicas responsables. No obstante, a pesar de la falta de topología de los datos y el alto nivel de abstracción requerido para su comprensión, contienen una información imprescindible para la gestión de gran parte de los servicios ofrecidos (agua, electricidad, calefacción, red, etc.).

Este trabajo de investigación gira en torno a la utilización de la

AR para aportar eficiencia a la gestión de infraestructuras de abastecimiento desplegadas en los interiores de los edificios del Campus de la Universidad de Jaén. Mediante dispositivos móviles, haciendo uso de una API de Google llamada ARCore [Lan18], se captura en tiempo real información característica propia del entorno del usuario. Una vez capturada, se lleva a cabo la visualización e interacción de elementos virtuales superpuestos sobre el mundo real en la posición, rotación y escala adecuada. Para cumplir dicha finalidad, se utilizan como datos de entradas modelos CAD. Estos planos, se comparan con los planos generados durante el escaneo del mundo real. No obstante, dicha tarea requiere durante sus etapas iniciales de un pre-procesamiento de los modelos CAD. Con ello se simplifica la geometría de los mismos, agilizando consecuentemente el proceso de alineamiento (descrito en la Sección 3). Como resultado, se alcanza de forma automática una correlación espacial y geométrica entre escenarios virtuales y el mundo real, logrando así, representar el conjunto de infraestructuras en realidad aumentada con gran precisión.

2. Trabajos previos

Tradicionalmente extraer información geométrica del mundo real ha supuesto la utilización de herramientas altamente costosas al mismo tiempo que complejas y tediosas. Actualmente, la llega-

da de nuevas plataformas de realidad aumentada mediante el uso de dispositivos móviles supone un cambio radical en cuanto a la interacción humana con el entorno que le rodea.

Hoy en día, cada vez es mayor el número de usuarios que pueden disfrutar de experiencias de realidad aumentada y en este sentido caben destacar las propuestas de Google y Apple sobre el uso de ARCore y ARKit, respectivamente, en dispositivos móviles. En general, los casos de uso más frecuentes se basan en la interacción con elementos virtuales superpuestos en escenarios del mundo real. Sin embargo, existen aplicaciones AR de mayor ambición funcional y tecnológica [BSR09] capaces de analizar, entender y conocer las limitaciones geométrico-espaciales del mundo real del usuario. Surge así, el concepto de Realidad Mixta (MR) [BCL*15] que no sólo permite la interacción del usuario con el entorno virtual sino que también posibilita que objetos físicos del entorno inmediato del usuario sirvan como elementos clave en el mundo virtual.

La necesidad de sistemas de posicionamiento en interiores ágiles y robustos ha aumentado considerablemente en los últimos años. A medida que se incrementa la inversión en extensos complejos arquitectónicos, (centros comerciales, hospitales o museos) se inicia una nueva etapa, en donde la Realidad Aumentada, cuenta con un papel fundamental en pro del usuario. El GPS es una tecnología comúnmente extendida utilizada en exteriores. Sin embargo, la señal emitida por los sistemas de posicionamiento global, se ve duramente decrementada en interiores de edificios. Por esta razón, investigadores de este sector focalizan sus tareas de investigación hacia la tecnología SLAM (Simultaneous Localization And Mapping) [Bou18]. El uso esta tecnología permite; (1) construir un mapa 3D del entorno físico, del que no se tiene conocimiento previo alguno, (2) estimar la trayectoria de desplazamiento en el mismo, en tiempo real. Hasta la fecha, se han implementado numerosos sistemas basados en esta técnica. Si bien, el Proyecto Tango [JCAA18] fue el primer intento de Google para el mapeo de espacios y objetos 3D. No obstante, aun ofreciendo amplias funcionalidades, la necesaria obtención de dispositivos específicos de alto costo para su utilización, protagonizó una irremediable pérdida de popularidad. En torno a 2017, con la publicación de ARCore y ARKit, por parte de Google y Apple respectivamente, se concluye el soporte a Tango. A diferencia de Tango, ArCore se encuentra accesible para un amplio número de dispositivos móviles recientes. Esto provoca un acercamiento radical de la Realidad Aumentada a un gran porcentaje de usuarios, aspecto gracias al cual, se posiciona actualmente como una de las plataformas con mayor demanda de actualizaciones y mejoras.

Hasta nuestro conocimiento no existe propuesta alguna que aborde la clasificación, extrusión, segmentación 3D, superposición y alineamiento de modelos 3D creados a partir de información albergada en planos CAD. En el presente trabajo, se ha desarrollado un prototipo de aplicación móvil con la que extraer, analizar y clasificar información 3D del mundo físico y en consonancia con ella, alinear y diseñar modelos virtuales. Como resultado, se obtiene un sistema de reconocimiento geométrico-espacial del mundo, a través del cual se realiza no solo, el posicionamiento en interiores de edificios, sino una correlación en escala y orientación del mundo virtual con el mundo real.

3. Procesamiento de información CAD

Como elemento inicial para la puesta en marcha de esta investigación se utilizarán planos CAD. En ellos, se concentran datos relevantes de alta complejidad sobre el diseño a modelar. Asimismo, todas las capas de infraestructuras de abastecimiento se muestran solapadas entre si. Tal y como de muestra en la Figura 1, es necesario realizar una separación y clasificación de las capas albergadas en planos CAD. Con ello, se consigue analizar e utilizar cada una de las capas de forma aislada e individualizada. En este proyecto en concreto, se ha trabajado con cuatro tipo de entidades: muros, ventilación, red eléctrica y climatización.

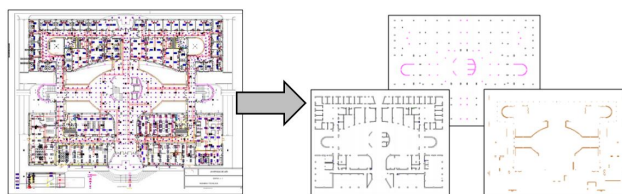


Figure 1: *Análisis, clasificación y separación individualizada, de las infraestructuras de abastecimiento albergadas en el mapa CAD.*

3.1. Generación de modelos 3D

La generación de modelos 3D se ha convertido en unas de las tendencias con mayor fuerza en el campo del diseño en los últimos años. Se trata de un ámbito donde el diseño cuenta con gran versatilidad y posibilidades infinitas, sumamente ricas en detalles. En este proyecto, se pretende: (1) incorporar una tercera dimensión a toda la información concentrada en planos CAD, obteniendo modelos 3D mediante la aplicación de un procedimiento de extrusión sobre aquellas infraestructuras seleccionadas Figura 2, (2) integración de estos modelos en entornos virtuales, (3) alineamiento y solapamiento de los mismos sobre el mundo real. Con todo ello, se consigue facilitar, no sólo un salto cuantitativo hacia las evidentes ventajas ofrecidas por la tecnología BIM, sino que además, se establece fin a todo tipo de problemas relacionados con el mantenimiento, actualización y gestión de planos CAD.

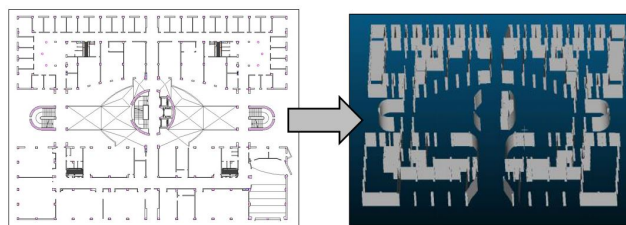


Figure 2: *Generación de modelos 3D, mediante la aplicación de un método de extrusión a planos CAD*

Tras efectuar el proceso de extrusión, se llevan a cabo una serie de operaciones, entre las cuales se encuentran tanto el recalcado de

normales, así como comprobaciones sobre la triangulación geométrica del diseño. Con ello se consigue un modelo 3D completamente estructurado y robusto. Pese a las transformaciones geométricas aplicadas, la malla triangulada resultante, alberga un excesivo número de triángulos, sin conexión topológica alguna.

La inexistencia de enlaces topológicos, dificulta en gran medida la tarea de alineamiento del modelo virtual sobre el mundo real. En este sentido, se ha de implementar un método ágil, para generar una estructura de datos más simple que posibilite, la indexación geométrica correspondiente a la malla, de forma eficaz y eficiente.

3.2. Segmentación semántica

Cada vez es mayor el uso de la segmentación semántica en numerosas aplicaciones en el sector industrial, civil, mecánico, médico e incluso arquitectónico. En pro de ello, con el fin de simplificar de forma considerable la geometría de la malla 3D, se ha desarrollado una aplicación de escritorio para ejecutar un algoritmo de segmentación basado en el crecimiento de regiones. De esta forma, cada triángulo del modelo extruido previamente, se mantendrá clasificado e identificado en todo momento mediante una etiqueta o categoría, lo que le hace diferenciarse del resto.

Para llevar a cabo el asociamiento de cada triángulo con su categoría respectiva, es preciso determinar los triángulos que mantienen coplanaridad entre sí. Para tal fin, se ha diseñado e implementado un algoritmo basado en grafos. El uso de estructuras de almacenamiento de información basadas en grafos permite: (1) simplificar algoritmos de comparación entre triángulos, (2) reducir y empaquetar información geométrica referente a triángulos, (3) agilizar algoritmos de búsqueda de triángulos.

Los algoritmos de crecimiento de regiones, establecen su inicio con la búsqueda de un conjunto de elementos comunes a un triángulo inicial seleccionado, denominado "triángulo semilla". Una vez localizados, la región del triángulo semilla se expande hasta alcanzar una condición de parada. En este caso en particular, dos triángulos se consideran vecinos en el instante que compartan 1 o 2 vértices. Respectivamente, si un triángulo se identifica como vecino de otro, se ha de calcular el producto escalar de sus normales. El resultado del mismo, corresponde con el ángulo diedro. Un ángulo cercano a 1, indica que los triángulos forman parte de la misma región plana. De lo contrario, un ángulo pequeño o cercano a 0, apunta a que forman parte de regiones diferentes. Para delimitar el punto de corte, se establece un umbral o factor de coplanaridad, de manera que, si el ángulo calculado para las normales está por debajo de este umbral, se asigna la misma región a ambos triángulos. En caso contrario, se asignan regiones diferentes.

Una vez se han procesado todos los triángulos vecinos del "triángulo semilla", se detiene el proceso de expansión de la región y se repite el mismo procedimiento hasta recorrer todos y cada uno de los triángulos que forman la malla 3D. Una vez finalizado el algoritmo al completo, se logra como resultado, un conjunto de pequeñas regiones formadas por triángulos vecinos y coplanares de forma simultánea. A continuación, en la Figura 3 se muestran varias imágenes en las cuales se puede evidenciar dos modelos 3D de prueba. El resultado obtenido, varía modificando el factor de coplanaridad antes de realizar la segmentación.

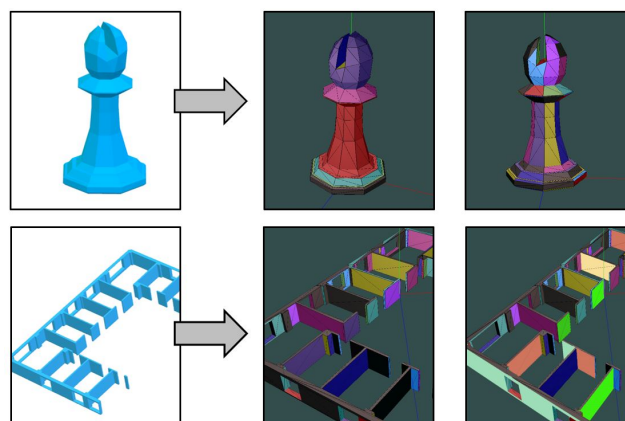


Figure 3: Proceso de segmentación aplicado a modelos 3D, realizando variaciones del factor de coplanaridad.

4. Alineamiento geométrico y espacial

Uno de los principales retos abordados durante la realización de este trabajo de investigación, gira en torno al alineamiento entre mundo real y mundo virtual. En las aplicaciones de Realidad Aumentada, los objetos del mundo real coexisten de forma natural con elementos virtuales previamente diseñados. Esta existencia simultánea, requiere de un adecuado e infalible alineamiento entre ambos mundos. Pequeños errores durante el proceso de alineación, son fácilmente detectables por el sistema de visión humano. Por este motivo, es imprescindible: (1) la elección de un sistema de posicionamiento, (2) la puesta en marcha y mantenimiento de un método de reconocimiento del entorno circundante al usuario en tiempo real. Una vez satisfechos ambos objetivos, se conseguirá obtener un sistema AR preciso, ágil y robusto. Para este caso en concreto, el posicionamiento inicial del usuario se introduce de forma manual. No obstante, una vez realizado el reconocimiento geométrico espacial del mundo real que rodea al usuario, la posición del mismo permanece en todo momento actualizada.

En la actualidad pueden encontrarse gran variedad de motores de desarrollo para aplicaciones móviles. Entre todos ellos, se ha optado utilizar Unity 3D [dABBC05] como motor para llevar a cabo la implementación final de esta propuesta. Debido al proceso de segmentación llevado a cabo en fases anteriores, se pueden utilizar modelos fragmentados en múltiples regiones, durante el diseño de entornos virtuales. Es más, con el fin de realizar una selección de polígonos candidatos a alinear, es primordial almacenar para cada región su correspondiente AABB [BSR09]. De tal forma, en el instante en que cualquiera de los ocho vértices que forman el AABB sea interceptado por el cono de visión de la cámara, la región/plano que contiene ese AABB se almacena como candidato. En la Figura 4 se muestran como se identifican perfectamente aquellos planos incidentes con el campo de visión establecido del usuario.

Una vez identificadas todas aquellas regiones candidatas, es el momento de comparar y alinear dichas regiones, con la geometría del mundo real detectada mediante ARCore. En este caso, se utilizarán primordialmente entre todas las funcionalidades que ARCore facilita, dos de ellas; (1) rastreo de la posición del dispositivo mó-

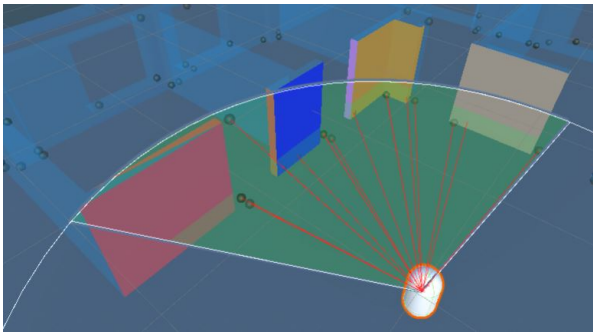


Figure 4: Selección de regiones candidatas para realizar el alineamiento del mundo virtual con el mundo real.

vil, (2) detección de superficies planas horizontales y verticales. Mediante la detección de superficies planas, se es capaz de identificar la región o regiones del entorno virtual, que se encuentran en el alcance de visión del usuario. Luego, finalmente, mediante comparaciones de normales y dimensiones entre planos virtuales y planos detectado por ARCore, tan solo, deberán aplicarse una serie de transformaciones geométricas a cada región virtual, para corresponderse en escala y orientación con la geometría del mundo real.

5. Resultados

Actualmente, la visión tridimensional, es la forma natural en la que el ser humano percibe su entorno. Debido a los avances tecnológicos actuales, se ha logrado modelar elementos virtuales en consonancia con las limitaciones geométrica-espaciales del mundo real. En la Figura 5 se muestra de forma clara los resultados obtenidos tras los algoritmos de segmentación así como la correspondencia mundo real mundo virtual. De esta forma, se consigue un alineamiento entre mundo virtual y mundo real. Este alineamiento, (1) ofrece al usuario un enriquecimiento del mundo que le rodea. Con ello, (2) persigue la optimización de amplios e ineficientes flujos de trabajo, que carecen de tecnologías punteras para su ejecución. De ahí, el empeño y dedicación para brindar a técnicos de mantenimiento, una herramienta que forme parte de su metodología de trabajo.

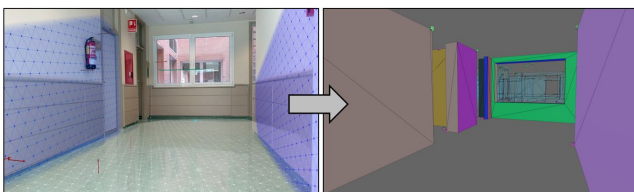


Figure 5: Correspondencia geométrica mundo real mundo virtual.

6. Conclusiones y trabajo futuro

La principal contribución de este trabajo de investigación se refleja en términos generales, sobre sectores dedicados a la construcción, mantenimiento y actualización de infraestructuras de abastecimiento en interiores de edificios. Tras la implementación de

un prototipo de aplicación móvil, se brinda la oportunidad de visualizar e interactuar con las diferentes instalaciones de servicios (ventilación, climatización, red eléctrica), a priori, inaccesibles y ocultas tras muros y paredes. Para ello, se han desarrollado; (1) métodos para clasificar y separar capas albergadas en planos CAD, (2) algoritmos de extrusión y creación de modelos 3D, (3) operaciones geométricas y topológicas sobre modelos 3D, (4) algoritmos de segmentación 3D, (5) creación de entornos virtuales, (6) extracción geométrica del mundo real circundante al usuario, (7) alineamiento geométrico-espacial de elementos virtuales sobre el mundo real. Una vez realizadas, todas y cada una de estas pautas, se ha conseguido a partir de un mapa CAD bidimensional, ofrecer al usuario una nueva forma tanto de visualización como de interacción con las infraestructuras. Además, gracias a la extracción de información geométrica del mundo real y su posterior alineamiento con el mundo virtual, se consigue dotar a la experiencia del usuario de una mayor realismo.

Como trabajo futuro, se propone un aumento sobre la robustez de los algoritmos utilizados durante la fases iniciales del proceso de transformación de datos 2D a 3D. Obteniendo de esta forma, mayor agilidad en la ejecución de los mismos.

References

- [BCL*15] BILLINGHURST M., CLARK A., LEE G., ET AL.: A survey of augmented reality. *Foundations and Trends® in Human-Computer Interaction* 8, 2-3 (2015), 73–272. 2
- [Bou18] BOURKE P.: Automatic 3d reconstruction: An exploration of the state of the art. *GSTF Journal on Computing (JoC)* 2, 3 (2018). 2
- [BSR09] BORRMANN A., SCHRAUFSTETTER S., RANK E.: Implementing metric operators of a spatial query language for 3d building models: octree and b-rep approaches. *Journal of Computing in Civil Engineering* 23, 1 (2009), 34–46. 2, 3
- [dABBC05] DE ALMEIDA S. J., BERMUDEZ J. C. M., BERSHAD N. J., COSTA M. H.: A statistical analysis of the affine projection algorithm for unity step size and autoregressive inputs. *IEEE Transactions on Circuits and Systems I: Regular Papers* 52, 7 (2005), 1394–1405. 3
- [Fur11] FURHT B.: *Handbook of augmented reality*. Springer Science & Business Media, 2011. 1
- [Ike87] IKEUCHI K.: Generating an interpretation tree from a cad model for 3d-object recognition in bin-picking tasks. *International Journal of Computer Vision* 1, 2 (1987), 145–165. 1
- [JCAA18] JAFRI R., CAMPOS R. L., ALI S. A., ARABNIA H. R.: Visual and infrared sensor data-based obstacle detection for the visually impaired using the google project tango tablet development kit and the unity engine. *IEEE Access* 6 (2018), 443–454. 2
- [KRM17] KIM T.-H., RAMOS C., MOHAMMED S.: Smart city and iot, 2017. 1
- [Lan18] LANHAM M.: *Learn ARCore-Fundamentals of Google ARCore: Learn to build augmented reality apps for Android, Unity, and the web with Google ARCore 1.0*. Packt Publishing Ltd, 2018. 1