



MODELOS ACÚSTICOS A PARTIR DE ESCANEOS 3D CON LIDAR

Jesús López-Ballester¹, Jaume Segura-Garcia¹, Máximo Cobos¹, José Javier López², Rosa M. Cibrián¹, Alicia Giménez²

¹Universitat de València

{lobaje@uv.es, jsegura@uv.es, macose2@uv.es, cibrian@uv.es}

²Universitat Politècnica de València

{jjlopez@dcom.upv.es, agimenez@fis.upv.es}

Resumen

La captura de entornos mediante técnicas de nubes de puntos con LIDAR o mediante técnicas fotogramétricas es una práctica cada vez más común en diversos campos, desde la arquitectura hasta la ingeniería civil y la robótica. Estas tecnologías permiten obtener representaciones tridimensionales precisas de espacios físicos, lo que resulta invaluable para una variedad de aplicaciones. Sin embargo, a pesar de su precisión, las técnicas de simulación acústica tradicionales no pueden manejar niveles de detalle tan minuciosos como los proporcionados por las nubes de puntos. En este contexto, el desafío radica en desarrollar métodos que permitan aprovechar al máximo la información detallada capturada por el LIDAR para aplicaciones de simulación acústica.

En nuestro trabajo, hemos tratado de diseñar un procedimiento paramétrico específico para reajustar y filtrar estas nubes de puntos. El objetivo final es convertir esta información en un modelo acústico cerrado, para que pueda utilizarse de manera efectiva en simulaciones acústicas en determinados entornos. Al emplear técnicas de remallado y filtrado adaptadas a las características de las nubes de puntos capturadas por LIDAR, buscamos crear modelos acústicos que sean precisos, considerando la geometría detallada de la sala, pero que sean simples para su simulación acústica. Este enfoque nos permitirá mejorar la calidad de las simulaciones acústicas y, en última instancia, proporcionar resultados más confiables para una amplia gama de aplicaciones, desde el diseño arquitectónico hasta la planificación de eventos y la ingeniería de audio.

Palabras-clave: pointcloud, LIDAR, simplificación, simulación acústica.

Abstract

Capturing environments using point cloud techniques with LIDAR or photogrammetric techniques is an increasingly common practice in a variety of fields, from architecture to civil engineering and robotics. These technologies allow for accurate three-dimensional representations of physical spaces, which is invaluable for a variety of applications. However, despite their accuracy, traditional acoustic simulation techniques cannot handle such minute levels of detail as those provided by point clouds. In this context, the challenge lies in developing methods that can take full advantage of the detailed information captured by LIDAR for acoustic simulation applications.

In our work, we have tried to design a specific parametric procedure to refine and filter these point clouds. The ultimate goal is to convert this information into a closed acoustic model, so that it can be used effectively in acoustic simulations in certain environments. By employing remeshing and filtering techniques adapted to the characteristics of the point clouds captured by LIDAR, we aim to create acoustic models that are accurate, considering the detailed geometry of the room, but simple to simulate acoustically. This approach will allow us to improve the quality of acoustic simulations and ultimately

provide more reliable results for a wide range of applications, from architectural design to event planning and audio engineering.

Keywords: pointcloud, LIDAR, simplification, acoustic simulation.

PACS no. Nn *43.55.-n, Nn *43.55.+p, Nn *43.58.Ta

1 Introducción

El uso de la fotogrametría permite la elaboración de mapas de nubes de puntos en 3D. Existen otros procedimientos mediante el uso de cámaras de profundidad [1] o LIDAR [2], por los cuales la obtención de una nube de puntos puede ser útil para la obtención de modelos para la simulación acústica. En la obtención de estos modelos acústicos no es necesario una gran precisión, ya que ello repercutirá en la complejidad del modelo y en el incremento del tiempo de simulación. La obtención de nubes de puntos es beneficiosa para generación de modelos acústicos, pero para ello se deben simplificar adecuadamente. En diferentes campos, las nubes de puntos permiten usarlas para diferentes aplicaciones en diferentes campos, tanto para la obtención de gemelos digitales u otras estructuras que permitan la simulación u obtención de información. Mediante el uso de técnicas fotogramétricas, en [3] se presenta un método no supervisado de detección de viñedos y extracción de características a partir de mapas de nubes de puntos 3D. El método propuesto permite la generación automática de mapas de las regiones de terreno cubiertas por viñedos y, además, proporciona información sobre la orientación local de las hileras de vid y el espaciado entre hileras, organizados espacialmente en mapas. Otro ejemplo es [4], donde se presenta un enfoque alternativo para estimar el momento correcto de la cosecha de maíz; el método propuesto se centra en la relación entre los datos de madurez obtenidos por fotogrametría y los parámetros producidos por el análisis químico del maíz. Otro trabajo donde se desarrolla un enfoque fotogramétrico es [5]. En ese trabajo, los autores desarrollan un sistema automático para medir la rugosidad de la superficie del suelo a partir de imágenes tomadas sobre el terreno con una simple cámara digital, sin restricciones geométricas. La precisión del sistema se determinó sobre modelos artificiales construidos con poliestireno, cuyas precisiones de posición y elevación fueron de aproximadamente 1,5 mm, mientras que el error en la estimación de la superficie fue inferior al 0,76% de la superficie del lugar. Estos resultados muestran que dos índices de rugosidad, el índice de tortuosidad superficial y el valor medio de la altura, son los más eficaces para discriminar los niveles de laboreo del suelo agrícola. En [6], los autores también utilizan la fotogrametría, pero para el seguimiento de frutos en diferentes etapas de crecimiento. En este caso, estiman automáticamente el tamaño de una manzana "en el campo", generando una nube de puntos "utilizando estructura a partir del movimiento (SfM) y estéreo multivista (MVS)" y estimando el tamaño de la fruta. El inconveniente del trabajo es el largo tiempo de procesamiento.

Por otra parte, en [7], los autores establecen un protocolo de simplificación de pointcloud mediante una estrategia de particionamiento con voxelización en regiones para dividir el pointcloud en regiones que determinen características. Las aproximaciones anteriores tienen una visión común que se manifiesta en los procedimientos de obtención y reducción de la estructura compleja de puntos y vértices, que constituye la malla resultante. Aquí, las ideas de la generación y segmentación nos ayudan a elaborar los modelos 3D con técnicas fotogramétricas o a partir de cámaras de profundidad o LIDAR. Estos modelos sirven como marco para permitir la recopilación de información de salas.

En nuestro caso hemos probado diferentes técnicas escaneando una geometría compleja como es el Corral de Comedias de Almagro (Ciudad Real, España). Este es el único ejemplo de teatro del siglo XVII de esta tipología conservado íntegramente y manteniendo la estructura original de los corrales de comedias del Siglo de Oro.

2 Material y Método

En esta sección se explicarán las características de los dispositivos utilizados para el escaneo del teatro, así como los procedimientos para la reducción de complejidad y simplificación de las nubes de puntos, así como el mallado de ellas.

2.1 Materiales y dispositivos de escaneo

Para la realización de los escaneos 3D, hemos usado un escáner FARO FOCUS 3D, con una precisión de 1mm a los 20m, con una velocidad de captura de hasta 2 millones de puntos por segundo y un alcance de hasta 150m, pudiendo hacer un escaneo por minuto. El escáner también tiene conexión inalámbrica mediante 802.11n. La Figura 1 muestra una foto de un escaneo de la parte inferior del corral desde el escenario.



Figura 1 – Fotografía de un escaneo del corral con FARO Focus 3D.

Con el escáner FARO se han realizado un total de 12 escaneos distribuidos por el volumen del recinto para evitar las zonas de sombra y conseguir que todo el volumen sea barrido por el escáner. En la Figura 2 se puede ver un detalle de la ubicación del escáner en la planta baja, primer y segunda de izquierda a derecha respectivamente. Para reforzar el alineamiento de las diferentes nubes de puntos obtenidas, se han incluido un total de 5 esferas reflectantes que se mantuvieron fijas durante todo el proceso y que se pueden observar en el borde y centro del escenario en la Figura 1.

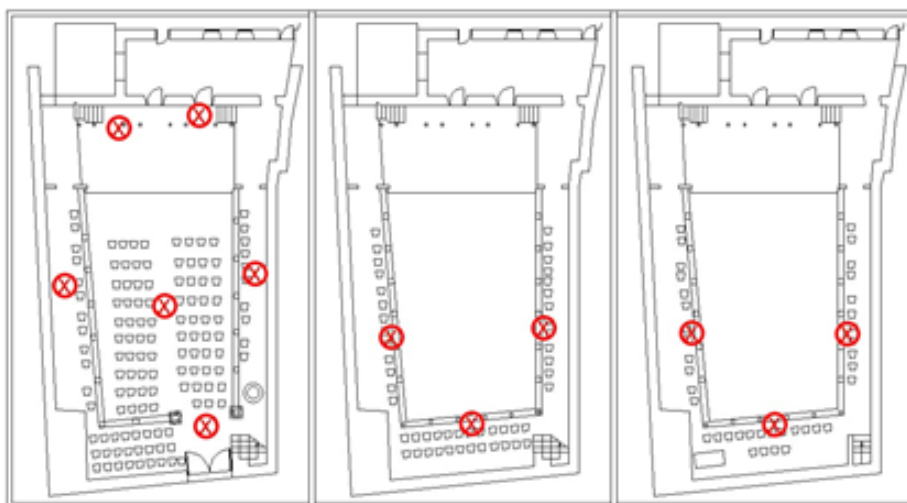


Figura 2 – Puntos de escaneo del escáner LIDAR FARO.

Además de la tecnología LIDAR se empleó otro método en los escaneos 3D, mediante el uso de un escáner Matterport Pro 2 3D. Este tipo de escáner realiza fotografías de hasta 134 Megapíxeles, con un campo de visión de 360° en el plano polar y 300° en el plano azimutal, para la obtención de nubes de puntos mediante técnicas fotogramétricas, combinado con una cámara de profundidad (cámara de infrarrojos). Este escáner consigue una precisión de 5 mm a los 20 m, pudiendo hacer un escaneo por minuto. El escáner también tiene conexión inalámbrica mediante 802.11n/ac. La Figura 3 muestra el escáner Matterport Pro 2 en funcionamiento. En este caso, para cubrir el total de volumen estudiado evitando zonas de sombra ha sido necesario realizar un total de 127 escaneos.



Figura 3 – Fotografía de un escaneo del corral con Matterport Pro 2.

2.2 Métodos de simplificación y mallado para simulación acústica

Una vez terminado el proceso de escaneo hemos obtenido diferentes nubes de puntos en formato PLY (Polygon File Format) o XYZ indistintamente. En cualquier caso, estos datos contienen información de posición de cada punto escaneado y del color capturado en el mismo. En el caso del escáner de tecnología LIDAR FARO, cada escaneo de los 12 realizados contiene una media de 24 millones de puntos, resultando en una nube de puntos de más de 288 millones de puntos. En el caso del Matterport que emplea fotogrametría ha sido necesario realizar 127 escaneos, obteniéndose un total de 37 millones de puntos aproximadamente.

2.2.1 Simplificación de nube de puntos

Las técnicas de simplificación de nubes de puntos más empleadas son la aleatoria y la reducción por promediado mediante rejilla uniforme y no uniforme.

En el caso de la reducción aleatoria, se especifica generalmente el porcentaje de puntos originales que se mantendrá. Para obtener la nube de puntos resultante, el algoritmo elimina aleatoriamente puntos hasta la proporción adecuada, por lo que suele emplearse como técnica sin reemplazo, es decir, no se promedia nada ni se definen nuevos puntos, únicamente se realiza un diezmado de la nube original. Este método es más rápido computacionalmente hablando, pero conserva peor las formas originales.

La reducción por rejilla o “grid average” se basa en definir una caja que se desplazará por la nube de puntos. Los puntos dentro de la misma caja se fusionan mediante promediado en un único punto para la nube de puntos de salida y tanto sus propiedades de color como las normales se promedian en consecuencia. En nuestro caso este método preserva la forma de la nube de puntos mejor que otros ensayados. En el algoritmo de simplificación se repite la caja definida para formar una rejilla alineada con los ejes, por lo que es más costoso computacionalmente hablando, aunque en nuestro caso ha sido el algoritmo escogido. Al igual que en el primer caso, la reducción por rejilla no uniforme, nos devolvió peores resultados de simplificación, por lo que fué descartado.

2.2.2 Creación de la malla para exportar

El siguiente paso para obtener un modelo exportable a un programa de simulación acústica, es el de convertir una nube de puntos en una malla tridimensional. Al convertir la nube de puntos en una malla tridimensional creamos una superficie sólida y continua que sigue la geometría del espacio representado por la nube de puntos. En nuestro caso disponemos de las normales calculadas en el proceso de simplificación de la nube de puntos por lo que no es necesario calcularlas.

De las diferentes técnicas más empleadas para la reconstrucción de superficie final como la volumétrica o VCG, de Poisson o por pivotaje de bola o “ball-pivot”, es esta última la que ha proporcionado los mejores resultados después de los diferentes ensayos realizados.

El algoritmo se basa en definir una bola de radio ‘p’ y forma un triángulo si 3 puntos de la nube de puntos tocan la bola sin contener ningún otro punto. Partiendo de un triángulo semilla, se pivota la bola alrededor de una arista hasta tocar otro punto, definiendo así un nuevo triángulo y repitiendo el proceso con todas las aristas y hasta que se recorran todos los puntos. Este algoritmo se caracteriza por necesitar poca memoria RAM y cálculo en CPU, por lo que es muy eficiente, además de proporcionar una elevada calidad de resultados.

3 Resultados

En la Tabla 1 se puede observar un resumen de los datos de escaneo obtenidos después del proceso de escaneo y las nubes de punto obtenidas.

Tabla 1 – Datos de escaneo 3D y nubes de puntos iniciales.

	FARO	Matterport
Posiciones de escaneo	12	127
Nº Puntos de la nube	288 M	37 M
Tamaño en disco	16.35 GB	1.43 GB

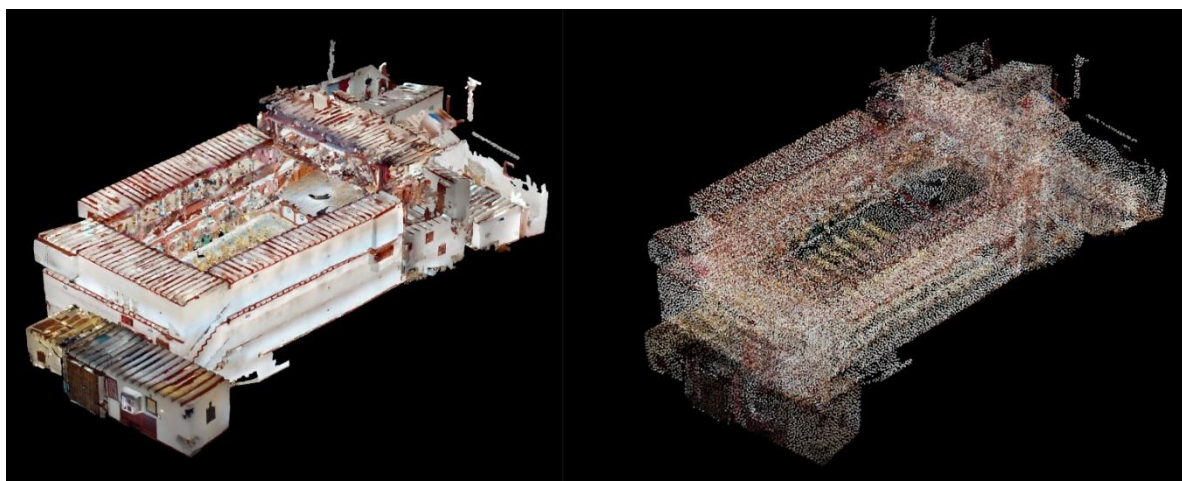


Figura 4 – Modelo completo del Corral escaneado con Matterport, sin simplificar (izda.) y simplificado (dcha.)

En cualquier caso, las nubes de puntos presentan una densidad muy alta, lo que dificulta su manejo con soltura en equipos informáticos habituales. Para una primera aproximación a un modelo geométrico mallado que permita la simulación acústica, es necesario realizar una simplificación de las nubes de puntos hasta obtener una cantidad manejable. Como se ha mencionado, este estudio trata de fijar unos umbrales manejables en la densidad de nubes de puntos y mallado para afrontar la simulación acústica del Corral de Comedias. Por ello necesitamos geometrías básicas, lo que no implica que, en las siguientes iteraciones, no se realice un estudio pormenorizado por zonas y una simulación acústica empleando geometrías más complejas y con más detalle.

En la etapa de reducción y remallado, se ha empleado la técnica de reducción por rejilla. En esta aplicación, se ha realizado la simplificación de las nubes de puntos hasta obtener tamaños manejables por otros softwares de simulación acústica que se pueden ver en la Tabla 2. Como se puede observar, las nubes de puntos de unos cien mil puntos proporcionan buenos resultados para nuestro estudio, como se observa gráficamente en la Figura 4.

Tabla 2 – Datos de simplificación de las nubes de puntos.

	FARO	Matterport
Vertices Nube Original	288 M	37 M
Vertices Nube Simplificada	102 K	97 K
Caras mallado	192 K	177 K

Seguidamente, empleando el algoritmo de mallado “ball-pivot” se han creado las mallas triangulares que permiten exportar la geometría simplificada a formatos dxf, stl o 3ds por ejemplo.

En la Figura 5 se puede ver el resultado de cada etapa sobre el escaneo realizado con el escáner Matterport. De izquierda a derecha la nube de puntos original, el resultado de la simplificación de la misma hasta un 2% de la original (96.991 puntos) en el centro. Finalmente, a la derecha se puede ver la malla final obtenida que presenta 177.125 triángulos o caras.

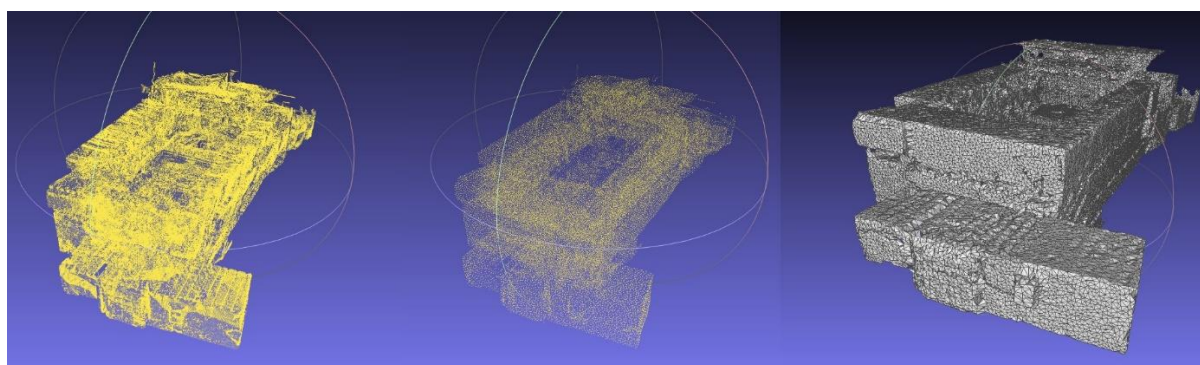


Figura 5 – Nube de puntos Matterport original, resultado de simplificación y resultado de mallado.

4 Conclusiones

En este trabajo hemos establecido un protocolo para la realización de escaneos, así como su simplificación para su uso en otros programas de simulación acústica, o incluso de simulación gráfica (si fuese el caso).

Hemos realizado el escaneo de un edificio emblemático como es el Corral de Comedias de Almagro, que tiene una estructura compleja. En este caso, el escaneo más complejo fue el de FARO (288 M de puntos), aunque con Matterport Pro 2 también obtuvimos una malla compleja (38 M de puntos). Hemos evitado la técnica de diezmo aleatoria, ya que esta no se ajusta al perfil de la estructura del edificio. Usando la técnica reducción por rejilla, se obtiene una estructura más ajustada al perfil del edificio, sin embargo el tiempo de procesado es mayor (incluso usando el software MeshLab). Para la estructura simplificada a partir del pointcloud de FARO obtenemos 102 K puntos, mientras que para el de

Matterport Pro 2, obtenemos 96 K puntos. El remallado se realiza con la técnica de “ball-pivot”, la cual permite un ajuste mayor al perfil del edificio. La conversión del formato ply simplificado a otro que pueda importar (dxf, 3ds, stl) o leer directamente Odeon (u otro software de simulación acústica).

Como trabajo futuro a este análisis preliminar se plantea el estudio un conjunto mayor de técnicas de simplificación y remallado, así como el uso de técnicas de segmentación de nubes de puntos, a partir de la identificación de forma, para que mediante inteligencia artificial se pueda reconocer el material del objeto segmentado (a partir de su forma) y de esta manera clasificar por capas de materiales la nueva estructura mallada.

Agradecimientos

Los autores desean agradecer a la Generalitat Valenciana por el proyecto CIAICO/2021/057, así como la beca CIAEST/2022/91 y la beca CIBEST/2023/101. Igualmente, agradecer al Ministerio de Ciencia e Innovación por el proyecto PID2021-126823OB-I00.

Referencias

- [1] Markovic, Milos, So Olesen, and Dorte Hammershoi. "Three-dimensional point-cloud room model for room acoustics simulations." *Proceedings of Meetings on Acoustics*. Vol. 19. No. 1. AIP Publishing, 2013.
- [2] J. Antonio Gigante, A. Planells, R. Cibrián, F. Garcia-Diego, J. Segura, S. Cerdá, A. Giménez. “Escáner 3D como herramienta de apoyo a las simulaciones virtuales de entornos. Aplicabilidad y dificultades”. *Tecniacústica 2017: 48º Congreso Español de Acústica; Encuentro Ibérico de Acústica; European Symposium on Underwater Acoustics Applications; European Symposium on Sustainable Building Acoustics: A Coruña 3-6 Octubre, 2017*, pp. 1288-1298
- [3] Comba, L.; Biglia, A.; Ricauda Aimonino, D.; Gay, P. Unsupervised detection of vineyards by 3D point-cloud UAV photogrammetry for precision agriculture. *Comput. Electron. Agric.* 2018, 155, 84–95.
- [4] Janoušek, J.; Jambor, V.; Marcoñ, P.; Dohnal, P.; Synková, H.; Fiala, P. Using UAV-Based Photogrammetry to Obtain Correlation between the Vegetation Indices and Chemical Analysis of Agricultural Crops. *Remote. Sens.* 2021, 13, 1878.
- [5] Gilliot, J.; Vaudour, E.; Michelin, J. Soil surface roughness measurement: A new fully automatic photogrammetric approach applied to agricultural bare fields. *Comput. Electron. Agric.* 2017, 134, 63–78.
- [6] Gené-Mola, J.; Sanz-Cortiella, R.; Rosell-Polo, J.R.; Escola, A.; Gregorio, E. In-field apple size estimation using photogrammetry-derived 3D point clouds: Comparison of 4 different methods considering fruit occlusions. *Comput. Electron. Agric.* 2021, 188, 106343.
- [7] Sh. Wang, Q. Hu, D. Xiao, L. He, R. Liu, B. Xiang, Qinghui Kong, “A new point cloud simplification method with feature and integrity preservation by partition strategy”. *Measurement*, 197, 2022, 111173, <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2022.111173>.