



Received: 03/10/2021

Accepted: 14/10/2021

Uso de técnicas de voxelización en el tratamiento de nubes de puntos de distinto origen en entornos de edificación

Use of voxelisation techniques in the treatment of point clouds of different origin in building environments

Javier Raimundo Valdecantos^a

^aDoctorando en Innovación tecnológica en edificación. Universidad Politécnica de Madrid.

Resumen-- El empleo de nubes de puntos adquiridas por distintas técnicas y herramientas como el escáner laser, LIDAR o fotogrametría (terrestre y aérea), tiene cada vez más usos y empleos en el entorno constructivo y de la edificación. Una nube de puntos no es más que una colección de puntos definidos por sus coordenadas dentro de un espacio cartesiano: X, Y, Z. A su vez, cada punto puede tener una propiedad adicional registrada: color, intensidad del pulso retornado, etc. Los puntos dentro de estas nubes están desestructurados y no contienen información semántica, geométrica o topológica de los objetos. Esta falta de estructura forma un cuello de botella en el proceso de estos datos y en el desarrollo y obtención de información útil derivada a partir de ellos. Para poder evaluar el funcionamiento y posibilidades de los vóxeles multispectrales, se han tomado una serie de datos con distintos sensores produciendo múltiples nubes de puntos. Esta toma de datos se ha enfocado al estudio de un muro de cerramiento de un edificio de Patrimonio Histórico. Una vez adquiridas las nubes de puntos de cada sensor, se ha realizado una voxelización, fusionando la información multispectral en cada vóxel. Mediante medidas estadísticas, podemos asegurar la calidad en el proceso de fusión.

Palabras clave— Vóxel; Nube De Puntos; Voxelización; Multispectral; Fusión.

Abstract— The use of point clouds acquired by different techniques and tools such as laser scanners, LIDAR or photogrammetry (terrestrial and aerial) is increasingly being used in the construction and building environment. A point cloud is nothing more than a collection of points defined by their coordinates within a Cartesian space: X, Y, Z. In turn, each point can have an additional registered property: colour, intensity of the returned pulse, etc. The points within these clouds are unstructured and contain no semantic, geometric or topological information about the objects. This lack of structure forms a bottleneck in the processing of this data and in developing and obtaining useful information derived from it. In order to evaluate the performance and possibilities of multispectral voxels, a series of data has been collected with different sensors producing multiple point clouds. This data collection was focused on the study of an enclosure wall of a historical heritage building. Once the point clouds have been acquired from each sensor, voxelisation has been performed, fusing the multispectral information in each voxel. By means of statistical measurements, we can ensure the quality of the fusion process.

Index Terms— Voxel; Point Cloud; Voxelisation; Multispectral; Fusion.

I. INTRODUCCIÓN

EN la actualidad, las tecnologías de adquisición de datos geométricos son una herramienta cada vez más común en los entornos de construcción, explotación y mantenimiento de

edificios. El uso de escáneres laser y técnicas como la fotogrametría permiten discretizar el entorno a través de un agregado de puntos que, tomados en su conjunto, reproducen la forma del objeto.

En edificación, existen varias fases constructivas que se benefician del empleo de nubes de puntos. En proyectos de nueva planta, una toma de datos y un posterior procesado de los puntos obtenidos dará como resultado un modelo digital de terreno (MDT) del enclave de la obra. Con este modelo se puede conocer con precisión los movimientos de tierra necesarios. A su vez, según avance la obra, tomas de datos posteriores verificarán cada fase de obra, si se sigue una estrategia BIM (Wang et al., 2019).

Otros usos específicos de las nubes de puntos en edificación son el control de elementos de hormigón pretensado (Wang et al., 2016), medida de elementos en fachada (Ordóñez et al., 2016), cuantificación de daños por desastres naturales en edificaciones (Zhou et al., 2016), estudio de grietas y fisuras (Liu et al., 2016), estudio de deformaciones en elementos constructivos (Montserrat et al., 2008; Wang et al., 2016), desplazamiento de muros de contención (Oskouie et al., 2016) y monitorización de posibles deslizamientos de tierras (Teza et al., 2007).

Pero, como contrapartida, el empleo de nube de puntos 3D impone la gestión de una enorme cantidad de información. Son necesarias grandes infraestructuras de procesamiento de datos para su manejo y visualización. También, las nubes de puntos están desestructuradas, por lo que el problema de localizar ciertos puntos concretos en estas nubes es no trivial (Xu et al., 2021). Una de las consecuencias de esta falta de estructura en este tipo de datos es que las nubes de puntos no contengan información topológica, y por ello no permiten conocer relaciones de vecindad entre los puntos (Poux et al., 2019).

Además, el registro de nubes de puntos también presenta densidades y distribuciones no homogéneas. La densidad de puntos obtenida no siempre es la adecuada para la aplicación que se desea. Unas zonas presentaran información redundante, sobre todo en la zona de solape entre tomas. Otras zonas, en contraposición, presentarán densidades de puntos menores. Esto hace que la densidad de los puntos, así como su precisión sea heterogénea dentro de la nube.

Por todo ello, se hace necesario el diseño de estructuras de datos que permitan manejar la información contenida en las nubes de puntos 3D de forma eficaz y eficiente.

Entre los métodos para el almacenamiento y proceso de la información geométrica existen alternativas a las nubes de puntos. Entre ellas están los mapas de profundidad, modelos en árbol, así como mallado y el uso de vóxeles. En la Tabla 1, se

describen estas estructuras, así como su fortalezas y debilidades.

A. Nube de puntos multiespectrales

Hasta este punto he analizado las debilidades y fortalezas de las nubes de puntos como estructura de datos. Pero en el caso de que se deseen analizar nubes procedentes de distintos sensores aparece el problema de cómo manejar esta información de forma conjunta.

Respecto a las nubes de puntos multiespectrales, es decir, nubes de puntos obtenidas con distintos sensores cuyos valores no geométricos representan información procedente del empleo de distintas partes del espectro electromagnético, ya se han realizado investigaciones anteriores. Las primeras aproximaciones se realizaron con el uso de escáneres laser aerotransportados (LIDAR) en los cuales se utilizaban haces laser de distintas longitudes de onda en la misma toma (Zou et al., 2016). En trabajos posteriores se llegó a diseñar metodologías para la extracción de entidades a partir de estos puntos multiespectrales en sensores laser aerotransportados (Dai et al., 2018).

Sin embargo, esto implica el empleo de instrumentos específicos que aporten la multiespectralidad en una única nube de puntos. En el presente trabajo se propone el concepto de vóxel multiespectral que permitirá combinar información heterogénea de distintos sensores y/o distintas tomas en una estructura de datos eficiente para procesos posteriores.

II. METODOLOGÍA

Las nubes de puntos empleadas dentro de los entornos edificatorios proceden de dos tipos de sensores principalmente, totalmente distintos en su funcionamiento y tecnología de adquisición. Por un lado, aparecen los escáneres laser y por otro, nubes de puntos procedentes de técnicas fotogramétricas.

Aunque procedan de tecnologías distintas, el producto final es semejante: nubes de puntos definidos por sus coordenadas cartesianas en el espacio (XYZ), junto propiedades registradas adicionales. El escáner laser, por su modo de funcionamiento mediante emisión y retorno de una onda electromagnética, suele registrar la intensidad de retorno de este haz. En algunas ocasiones, también puede guardar la información referente al color del punto si dispone del apoyo de algún sensor de espectro visible (cámara).

Por otro lado, la fotogrametría aporta como producto nubes

TABLA I
COMPARACIÓN ENTRE LOS DISTINTOS MÉTODOS DE REPRESENTACIÓN DE INFORMACIÓN 3D (ADAPTADO DE XU ET AL., 2021)

	Elemento mínimo	Estructura de datos	Fortaleza	Debilidad
Nube de puntos	Puntos con coordenadas 3D	Lista	Descripción detallada y medidas precisas	Datos no estructurados y densidad no homogénea
Mapas de profundidad	Píxeles	Matriz	Datos estructurados, que pueden ser usados por algoritmos	Solo registra la superficie
Mallado	Polígonos con vértices, aristas y caras	Lista	Resolución flexible, con una definición compacta y eficiente	Datos no estructurados. Dificiles de procesar y editar. Sensibles al ruido
Vóxeles	Cubos con contorno y centroide	Malla 3D	Datos estructurados, con riqueza de atributos, resolución flexible y descripción real de la geometría	No tan preciso como las nubes de puntos. Representación discreta

de puntos a partir de entidades homologas identificadas en fotografías, tomadas con sensores fotográficos. Es del tipo de sensor y qué parte del espectro electromagnético sea sensible de lo que dependerá la información que acompañe a la geometría del punto, registrado por un valor digital que suele corresponder a su color. Empleando cámaras de espectro visible (cámaras comunes) obtendremos el color en sus componentes (bandas) verde, roja y azul. Pero si se emplean cámaras multispectrales, etc., la información registrada corresponderá a esa parte de espectro a la cual el sensor es sensible.

Por ello, las nubes de puntos, además de los problemas de estructura de dato, heterogeneidad, densidad variable, etc., antes descritos, tendrán un origen distinto y expresarán información distinta. Son necesarias técnicas que permitan fusionar la información tanto geométrica como espectral de forma que faciliten su manejo y ayuden a obtener conclusiones a partir de la distinta información contenida.

A. Toma de datos

Para demostrar las posibilidades del empleo de vóxeles para el tratamiento de nubes de puntos de orígenes distintos, se ha procedido al registro de un elemento constructivo con diversos sensores. Para ello, se eligió un emplazamiento donde se localiza un muro de cerramiento de carácter histórico. Este elemento constructivo está localizado en la población de Humanes de Madrid (Madrid – España), con coordenadas geográficas 40.250177° N, 3.828382° O (Fig. 1).

Una vez localizado el elemento constructivo, se procedió a la toma de datos mediante técnicas fotogramétricas, con distintos sensores. En este trabajo se han empleado dos cámaras fotográficas, con distintos filtros:

- Cámara fotográfica marca Sony modelo Nex-7, montando lente óptica de focal fija 19 mm. Con este sensor se obtienen las componentes espectrales correspondientes a las bandas roja (590 nm), verde (520 nm) y azul (460 nm).
- Cámara fotográfica modificada marca Sony modelo Nex-7N, montando lente de focal fija 16 mm, con filtros de infrarrojo cercano y filtro de ultravioleta. El sensor de esta cámara modificada, al haberle sido retirado el filtro infrarrojo interno, se hace sensible a partes del espectro electromagnético como el infrarrojo cercano y el ultravioleta (Berra et al., 2018).

La adquisición de las tomas se realizó siguiendo los condicionantes propios de la fotogrametría: fotografías con más del 80% de solape entre tomas consecutivas. Esto se hizo en



Fig. 1. Muro de cerramiento de carácter histórico, objeto de estudio.

distintas pasadas con la cámara “normal” y la cámara modificada con cada uno de los distintos filtros. Antes de la toma de fotografías, se señalaron en el paramento una serie de dianas de precisión, de las cuales se procedió a medir sus interdistancias. Estas señales definirán un conjunto de puntos de control y un sistema de referencia geométrico común para todas las tomas.

Las pasadas de fotografías de los distintos sensores se procesaron con la aplicación de procesamiento fotogramétrico Agisoft Metashape versión 1.6.1 build 10009 (64 bits). Como producto final se han obtenido 5 nubes de puntos distintas, correspondientes a distintas bandas espectrales: rojo, verde, azul, infrarrojo y ultravioleta.

En este punto, nos encontramos con varias nubes de puntos, en un sistema de referencia común, pero de origen heterogéneo. Para poder fusionar estas nubes de puntos y analizar posteriormente la información que aportan cada una de ellas y las posibles sinergias que pudieran aparecer entre ellas, se propone el concepto de vóxel multispectral. Un vóxel multispectral quedará definido, además de por su tamaño y posición, por las características de los puntos en él contenidos (Fig. 2).

A la hora de procesar nubes de puntos en su voxelización, uno de los parámetros que definirán la estructura de vóxeles es el tamaño del elemento. Este parámetro determinará la resolución de los fenómenos a estudiar gracias a esta estructura (elementos finitos (Castellazzi et al., 2015), estudio estructural (Bitelli et al., 2016), fenómenos dinámicos (Wang et al., 2020), etc.). El tamaño del vóxel también determinará el grado de reducción del número de vóxeles respecto al número de puntos de la nube original.

Una vez definida la estructura, se procede a la fusión de datos. Cada vóxel queda definido por su centroide (baricentro), con sus coordenadas geométricas XYZ. Por cada punto de la nube, localizaremos el centroide más cercano a él, quedando asignado al vóxel que este centroide representa. Recorrida toda la nube, habremos identificado qué puntos quedan contenidos dentro de cada vóxel. La propiedad que transmiten los puntos a su vóxel contenedor será dada por la media de los valores de los puntos contenidos en cada banda espectral individual. Además de la media, se pueden calcular otras medidas estadísticas tales como los valores máximos y mínimos, su varianza, sesgo y curtosis. Este proceso se repetirá para cada una de las nubes de puntos a fusionar.

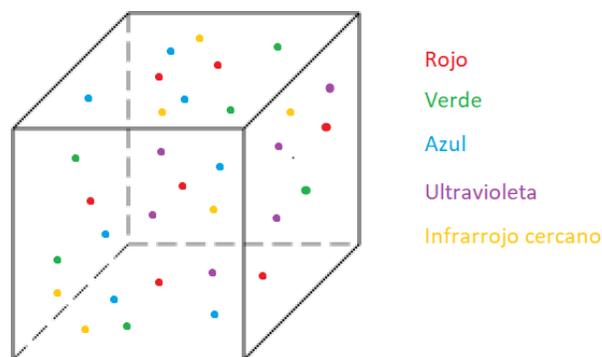


Fig. 2. Vóxel multispectral



Fig. 3. Voxelización con tamaño vóxel a 15 cm

III. RESULTADOS

Se ha realizado la voxelización a partir de la nube procedente de las fotografías de espectro visible. El número de puntos de esta nube original es 39828025 puntos. En la Tabla 2 se muestran el número de vóxeles obtenido variando su tamaño, respecto a la nube de puntos.

Observamos que ya en resoluciones de 5 mm, el número de elementos resultante es el 11.60% respecto al conjunto de puntos original. A resolución de 1 cm, los vóxeles son el 2.99 %. En la Fig. 3 se representa la voxelización obtenida a una resolución de 15 cm.

Definida la estructura, se identifican los puntos contenidos en cada vóxel de cada una de las nubes de puntos. Puede darse el caso, dada la heterogeneidad de la densidad de los puntos, que existan vóxeles que no contengan ningún punto de alguna de las nubes. Se considerará vóxel completo cuando contenga al menos un punto de todas las nubes de puntos analizadas. Los vóxeles incompletos deben identificarse para tratarlos correctamente en procesos posteriores.

A. Resultados

En este punto podemos asegurar que la estructura en vóxeles presenta las siguientes propiedades:

- La resolución geométrica de la información en el objeto de estudio es ahora homogénea. No existen zonas con mayor densidad de puntos que otras. Una vez establecida la resolución del vóxel, en las zonas con mayor densidad de puntos, la posible redundancia de información que pudiera existir quedará eliminada.
- Los vóxeles poseen propiedades topológicas como la vecindad. Dado un vóxel en particular, es trivial encontrar los vóxeles adyacentes que permitan definir elementos constructivos individuales únicos: elementos del mismo material como rejas, puertas, bloques pétreos, etc.

TABLA II
VARIACIÓN DEL NÚMERO DE VÓXELES RESPECTO A SU TAMAÑO

Tamaño de vóxel (cm)	Número de vóxeles
0.5	4621255
1	1193994
5	46532
10	11292
15	4984
20	2658
30	1281
50	461

- Los vóxeles definidos como completos presentan toda la información posible de las nubes integradas en ellos. En caso de que fuera necesario, pueden localizarse los vóxeles incompletos, determinar qué información es necesaria añadir, en una toma adicional, por ejemplo, y volver a procesar los puntos adicionales de forma que toda la estructura voxelizada sea completa (respecto a la información radiométrica).
- La reducción en la cantidad de información a procesar es muy significativa. Resoluciones de vóxel en la escala del centímetro presentan reducciones de más del 90% en el número de elementos resultantes respecto a las nubes de puntos originales.

IV. CONCLUSIONES

En este trabajo queda propuesto el concepto de vóxel multispectral por el cual se pueden fusionar nubes de puntos de distintos sensores. Se ha implementado la metodología y aplicado a nubes de puntos en un caso real.

En futuras líneas de trabajo, se pretende combinar nubes de puntos de distinto origen: sensores terrestres y aéreos, así como partes del espectro electromagnético adicionales tales como microondas e infrarrojo térmico.

AGRADECIMIENTOS

El autor agradece al Consejo General de la Arquitectura Técnica (CGATE) por su apoyo en esta investigación.

REFERENCIAS

- E. Berra, S. Gibson-Poole, A. MacArthur, R. Gaulton, and A. Hamilton, "Estimation of the spectral sensitivity functions of un-modified and modified commercial off-the-shelf digital cameras to enable their use as a multispectral imaging system for UAVs," International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences - ISPRS Archives, vol. 40, no. 1W4, pp. 207–214, 2015, doi: 10.5194/isprsarchives-XL-1-W4-207-2015.
- G. Bitelli, G. Castellazzi, A. M. D'Altri, S. de Miranda, A. Lambertini, and I. Selvaggi, "AUTOMATED VOXEL MODEL FROM POINT CLOUDS FOR STRUCTURAL ANALYSIS OF CULTURAL HERITAGE," ISPRS - International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, vol. XLI-B5, no. September, pp. 191–197, Jun. 2016, doi: 10.5194/isprsarchives-XLI-B5-191-2016.

- G. Castellazzi, A. D'Altri, G. Bitelli, I. Selvaggi, and A. Lambertini, "From Laser Scanning to Finite Element Analysis of Complex Buildings by Using a Semi-Automatic Procedure," *Sensors*, vol. 15, no. 8, pp. 18360–18380, Jul. 2015, doi: 10.3390/s150818360.
- W. Dai, B. Yang, Z. Dong, and A. Shaker, "A new method for 3D individual tree extraction using multispectral airborne LiDAR point clouds," *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, vol. 144, 2018, doi: 10.1016/j.isprsjprs.2018.08.010.
- Y.-F. Liu, S. Cho, B. F. Spencer, and J.-S. Fan, "Concrete Crack Assessment Using Digital Image Processing and 3D Scene Reconstruction," *Journal of Computing in Civil Engineering*, 2016, doi: 10.1061/(asce)cp.1943-5487.0000446.
- O. Monserrat and M. Crosetto, "Deformation measurement using terrestrial laser scanning data and least squares 3D surface matching," *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 2008, doi: 10.1016/j.isprsjprs.2007.07.008.
- C. Ordóñez, J. Martínez, P. Arias, and J. Armesto, "Measuring building façades with a low-cost close-range photogrammetry system," *Automation in Construction*, 2010, doi: 10.1016/j.autcon.2010.03.002.
- P. Oskouie, B. Becerik-Gerber, and L. Soibelman, "Automated measurement of highway retaining wall displacements using terrestrial laser scanners," *Automation in Construction*, 2016, doi: 10.1016/j.autcon.2015.12.023.
- F. Poux and R. Billen, "Voxel-based 3D Point Cloud Semantic Segmentation: Unsupervised geometric and relationship featuring vs deep learning methods," *ISPRS International Journal of Geo-Information*, vol. 8, no. 5, May 2019, doi: 10.3390/ijgi8050213.
- G. Teza, A. Galgaro, N. Zaltron, and R. Genevois, "Terrestrial laser scanner to detect landslide displacement fields: A new approach," *International Journal of Remote Sensing*, 2007, doi: 10.1080/01431160601024234.
- Q. Wang, M. K. Kim, J. C. P. Cheng, and H. Sohn, "Automated quality assessment of precast concrete elements with geometry irregularities using terrestrial laser scanning," *Automation in Construction*, 2016, doi: 10.1016/j.autcon.2016.03.014.
- Q. Wang, M. K. Kim, H. Sohn, and J. C. P. Cheng, "Surface flatness and distortion inspection of precast concrete elements using laser scanning technology," 2016. doi: 10.12989/sss.2016.18.3.601.
- Q. Wang and M.-K. Kim, "Applications of 3D point cloud data in the construction industry: A fifteen-year review from 2004 to 2018," *Advanced Engineering Informatics*, vol. 39, no. September 2018, pp. 306–319, Jan. 2019, doi: 10.1016/j.aei.2019.02.007.
- Y. Wang et al., "3DV: 3D dynamic voxel for action recognition in depth video," *Proceedings of the IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, pp. 508–517, 2020, doi: 10.1109/CVPR42600.2020.00059.
- Y. Xu, X. Tong, and U. Stilla, "Voxel-based representation of 3D point clouds: Methods, applications, and its potential use in the construction industry," *Automation in Construction*, vol. 126, no. February, p. 103675, Jun. 2021, doi: 10.1016/j.autcon.2021.103675.
- Z. Zhou, J. Gong, and M. Guo, "Image-Based 3D Reconstruction for Posthurricane Residential Building Damage Assessment," *Journal of Computing in Civil Engineering*, 2016, doi: 10.1061/(asce)cp.1943-5487.0000480.
- X. Zou, G. Zhao, J. Li, Y. Yang, and Y. Fang, "3D LAND COVER CLASSIFICATION BASED ON MULTISPECTRAL LIDAR POINT CLOUDS," *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, vol. XLI-B1, 2016, doi: 10.5194/isprs-archives-xli-b1-741-2016.



Reconocimiento – NoComercial (by-nc): Se permite la generación de obras derivadas siempre que no se haga un uso comercial. Tampoco se puede utilizar la obra original con finalidades comerciales.