

Noise reduction automation of LiDAR point clouds for modeling and representation of high voltage lines in a 3D virtual globe

J. Santana & S. Ortega & J.M. Santana & A. Trujillo & J.P. Suárez

Universidad de Las Palmas de Gran Canaria, Spain

Abstract

Due to the importance of electricity supply, electric companies must inspect their infrastructure in order to guarantee the reliability of the service. In this scenario, many companies use LiDAR technology for modeling the power line corridors and detect possible anomalies and risks. This process is quite expensive in terms of costs and human dependency so, maximizing the automation of the process is critical. In this paper, a method for reducing turbulence-noise in airborne LiDAR point clouds for a posterior visualization of a power line corridor in a virtual 3D-globe is presented. Based on an analysis performed against a set of point clouds that indicates that most noise is composed of a mass which follows the helicopter trajectory, the method attempts to integrate a noise reduction process using the distance between points and the helicopter as cleaning criterion. A comparison between a proposed variation of a classification method using a point cloud manually filtered and the same method variation but integrating the presented noise reduction method is carried out to validate the automation effectiveness. Finally, the resulting model is displayed using a virtual 3D-globe, easing analytical tasks.

CCS Concepts

•Computing methodologies → Model verification and validation; Computer graphics; Point-based models;

1. Introducción

Uno de los pilares fundamentales del desarrollo de la sociedad actual es la producción y distribución de energía eléctrica. La demanda de la misma no para de aumentar y la asimilación de nuevas tecnologías como los coches eléctricos incrementarán en mayor medida esta tendencia. Para las compañías eléctricas, uno de los aspectos críticos es la distribución de la energía que es llevada a cabo por medio de torretas de alta tensión. Por ello, el despliegue y mantenimiento de estas líneas ha de minimizar en la medida de lo posible los riesgos que pueden provocar cortes de suministro o incidentes en los mismos. El modelado y visualización de las torretas de alta tensión permite facilitar estas tareas e incluso abren la puerta a análisis más avanzados como la identificación automática de vegetación próxima al cableado que pueda originar incendios.

LiDAR, del inglés Light Detection and Ranging [LMWA10], es una tecnología ampliamente usada en múltiples campos para la identificación de elementos, desde la clasificación de alturas del terreno hasta la navegación de vehículos autónomos. Se basa en la emisión de un pulso láser y su detección a través de la señal reflejada en las superficies. La información de un escaneo LiDAR es comúnmente proporcionada mediante archivos binarios LAS, un formato abierto para representar nubes de puntos en un espacio tridimensional. Los archivos LAS admiten cualquier espacio de coordenadas que se pueda expresar en el standard de GeoTiff, in-

cluyendo, además de la tupla x,y,z, información acerca del escaneo como el valor de intensidad y retorno del punto.

En este trabajo se presentan dos nuevas etapas así como una variación en la técnica de agrupación para el método de clasificación de líneas de alta tensión a partir de nubes de puntos LiDAR presentado por Ortega et al. [OTSS18]. La primera de estas etapas se encarga de la eliminación de ruido de las nubes de puntos originales mientras que la segunda realiza una visualización de los resultados en un globo virtual 3D.

En la sección 2 se expone un resumen del método que se amplía en este paper. A continuación, en la sección 3 se describe como afecta el ruido a los datos originales usados por el método y la solución propuesta. La etapa de visualización en un globo virtual es introducida en la sección 4. Por último, las conclusiones de este trabajo son presentadas en la sección 5.

1.1. Trabajos relacionados

Dentro de la bibliografía de trabajos relativos a nubes de puntos, resultan de particular interés para este trabajo dos áreas particulares: eliminación de ruido atmosférico y clasificación de líneas eléctricas.

En el campo de reducción de ruido, el trabajo de Ferdinandov et al. [FTT95] propone el uso de la ratio Signal to Turbulence/Noise que se usa en posteriores trabajos para establecer comparaciones.

Tras esto, se han desarrollado tres vías diferentes de investigación en reducción de ruido. La primera propone el uso de filtros de paso alto y bajo y una eliminación manual posterior. Es representativo de esta línea el trabajo de Zhang [LLC99]. Una segunda línea utiliza la descomposición empírica, como sucede en el trabajo de Gong y Ma [LGM12]. Finalmente, una tercera línea propone el uso de transformadas wavelet discretas (DWT) para extraer señales débiles que puedan pasar desapercibidas por culpa del ruido, como puede verse en el trabajo de Fang y Huang [FH04].

En la clasificación de líneas eléctricas, por su parte, también existe mucho trabajo previo. Se pueden destacar en ellas trabajos como el de Liu et al. [LLH*09], que busca líneas usando la transformada Hough; o el de Jwa et al. [JSK09], que introduce un detector de líneas por partes basado en vóxeles. A su vez, Kim y Sohn [KS10] utilizan un clasificador de tipo Random Forest para identificar 5 clases de puntos, incluidos cable y torreta eléctrica. Por último, Liang et al. [LZD*11] estudian la orientación de la línea eléctrica para luego agrupar los puntos candidatos en conductores aislados. Muchos otros trabajos en esta línea pueden verse en un survey escrito por Matikainen et al. [MLA*16].

Nuestra propuesta se enmarca en la primera de las líneas de trabajo en reducción de ruido y busca hacer automática la parte manual de filtrado que se lleva a cabo tras la aplicación de filtros de paso alto y bajo. Tras esto, se aplica un algoritmo de clasificación de puntos que tenga en cuenta elementos de una línea eléctrica, con vistas a una visualización final en un motor 3D.

2. Segmentación de tendido eléctrico

Las nubes de puntos sin ruido son segmentadas para obtener los elementos propios de una línea de alta tensión que se desean visualizar: torretas y conductores. Si bien existen muchos algoritmos propuestos en la bibliografía para extraerlos, en este trabajo se ha aplicado el método desarrollado por Ortega et al. [OTSS18], al cual se le ha añadido una modificación para optimizar su rendimiento.

El método original aplica inicialmente un estudio estadístico para encontrar atributos que identifiquen los puntos correspondientes a una línea de alta tensión en una escena LiDAR a partir de la altitud, la intensidad y la secuencia de retorno de los mismos. Seguidamente, se discretiza todo el volumen en una cuadrícula regular de prismas de base cuadrada, paralelos al eje vertical, lo que produce imágenes 2D donde el valor de cada pixel representa uno de estos atributos identificadores, medido sobre los puntos contenidos en cada prisma. Estas imágenes son luego combinadas para generar una única imagen binaria para la selección de torretas, y otra para la selección de cables. En la Figura 1 puede observarse una superposición de estas dos imágenes

Finalmente, el trabajo propone un filtrado de posibles falsos positivos que se hayan producido basándose en un clustering aglomerativo por distancia de los puntos de ambas clases objetivo y de un estudio de intensidad, altitud y valores de retorno para cada clusters seleccionado de esta forma. Se descartan así aquellos clusters que no cumplan con las condiciones definidas para las clases cable y torreta predichas por el análisis previo. La agrupación de puntos se ha modificado, usando curvas alpha-shape [EM94] para los puntos, aplicando un factor alpha similar al umbral de corte del cluste-



Figure 1: *Imagen para la selección de puntos torreta (rojo), remarcados en azul, superpuesta con imagen para la selección de cable (gris) para la nube de puntos.*

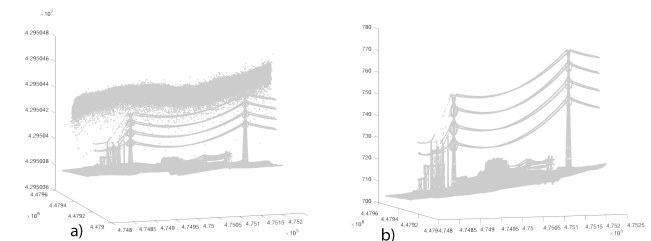


Figure 2: *Comparativa de segmento LiDAR donde a) muestra los datos originales sin filtrar y b) los datos filtrados a mano por la compañía*

ring aglomerativo. Esto permite obtener unos resultados similares al método original en nubes de puntos muy densas.

3. Automatización del filtrado de ruido LiDAR

La obtención de los datos se realiza desde un sensor LiDAR situado en el exterior de un helicóptero que realiza un recorrido paralelo al tendido eléctrico. Para mejorar la calidad de los datos, estas medidas son realizadas en condiciones atmosféricas propicias (sin viento, sin lluvia, temperatura media, etc). Estos datos son previamente filtrados de manera manual para la eliminación de la mayoría de ruido, seleccionando las mayores masas de puntos asociados a interferencias. La Figura 2 muestra un segmento de datos con la diferencia de la nube de puntos filtrada y sin filtrar. Este filtrado manual es usado como método de referencia para establecer comparaciones.

El método de clasificación no es capaz de procesar directamente el conjunto de datos original sin filtrado de ruido ya que, como puede apreciarse en la Figura 3, se obtienen resultados poco confiables detectando aproximadamente un 275 % más de falsos positivos de cable. Por ello, se propone la agregación de una etapa automática de filtrado de ruido.

Al llevar a cabo un análisis sobre el ruido, se puede apreciar, como se ve en la Figura 4 a), que la mayoría corresponde a una masa claramente definida pero separada en las proximidades del tendido eléctrico. Esta masa es debida a la reflexión del láser con aerosoles atmosféricos [FTT95] cercanos al helicóptero. Usando información adicional proveniente de la posición del sensor LiDAR en cada instante de tiempo, se puede realizar un análisis de la densidad de puntos calculando la distancia de cada uno al sensor en el momento de

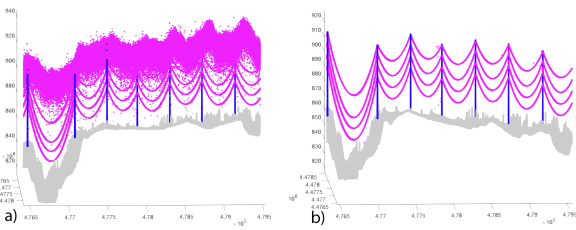


Figure 3: a) aplicación del método con ruido. b) aplicación del método sin ruido. Los puntos de las torretas están identificados en azul mientras que los cables en rosa.

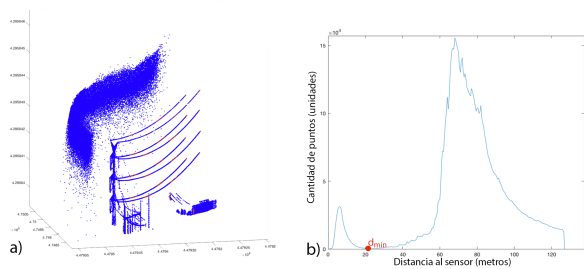


Figure 4: a) detalle de la nube de puntos donde se aprecia que la mayor masa de ruido sigue la dirección del tendido eléctrico. b) curva de distribución de distancia al helicóptero

su medición. En la Figura 4 b) se muestra la distribución de distancia respecto al sensor donde se aprecia una caída de la densidad de puntos que corresponde a la zona entre la masa de ruido y el tendido eléctrico. Definiendo d_{min} como el valor de la distancia en el punto mínimo de la caída de la densidad de puntos, aquellos puntos cuya distancia con respecto al helicóptero en el momento de la medición sea inferior a d_{min} serán considerados ruido y descartados.

Tras la eliminación de la gran masa de puntos de ruido, persisten todavía una serie de puntos aislados que mediante el algoritmo de Rusu et al. [RMB*08] son borrados en su mayoría. En la Figura 5 puede apreciarse la nube de puntos resultante del filtrado de ruido después de cada uno de estos pasos.

Estos procesos de reducción de ruido consiguen que el método proporcione unos mejores resultados tal y como se puede apreciar en la Figura 6, donde se muestra el resultado de la aplicación del método, o en la Tabla 1 donde se compara la eficacia de la aplicación del algoritmo de clasificación con los datos filtrados manualmente contra los datos filtrados con el método propuesto.

4. Visualización en globo virtual 3D

Uno de los objetivos finales de este trabajo es la visualización 3D comprensible del tendido eléctrico sobre un mapa tridimensional del terreno, en el cual se presenten los modelos georeferenciados, puntos o polilíneas generados a partir de las nubes de puntos. Se

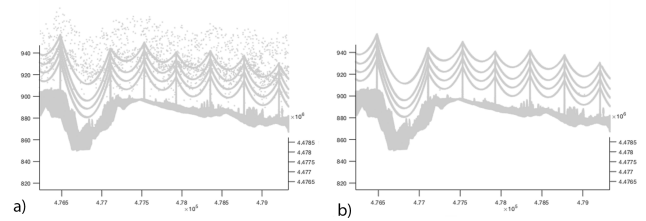


Figure 5: a) puntos restantes tras la fase de reducción de ruido en base a distancia. b) puntos restantes tras aplicar el algoritmo de Rusu et al. [RMB*08]

Table 1: Eficacia del método propuesto tomando como referencia los resultados del filtrado manual

| Elemento | Aciertos | Falsos positivos | Falsos negativos |
|----------|----------|------------------|------------------|
| Cable | 427.398 | 0 | 930 |
| Torreta | 70.742 | 0 | 259 |

espera, además, que dicha visualización sea presentada en un visor interactivo en un dispositivo móvil. Esta aplicación será utilizada de forma offline, con el objetivo de que un técnico pueda identificar, los elementos de la línea y sus aledaños de forma sencilla.

En este trabajo se ha escogido el framework Glob3Mobile [STS*15], el cual está construido específicamente para aprovechar las capacidades nativas de los dispositivos móviles y permite fácilmente la inserción de modelos 3D, nubes de puntos, elevaciones del terreno y el dibujo de líneas, entre otras características, haciéndolo ideal para este trabajo.

Tres tipos de elementos se han extraído a partir de la nube de puntos clasificada: torretas, cableado y terreno. La visualización de los elementos, que puede contemplarse en la Figura 7, se ha llevado a cabo de la siguiente forma:

- **Cableado:** Los puntos de cable entre dos torretas se segmentan como conductores individuales mediante clustering por distancia. Tras esto, se obtiene la curva de ajuste de los puntos de cada conductor, la cual se dibuja en la escena.

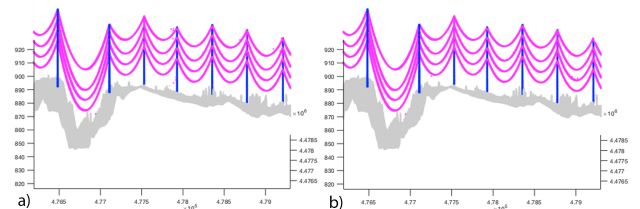


Figure 6: a) clasificación de los puntos a partir de ruido filtrado manualmente. b) clasificación a partir del resultado del método de eliminación de ruido propuesto

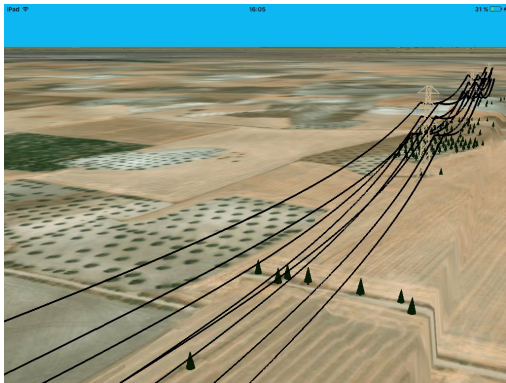


Figure 7: Visualización de un segmento del tendido eléctrico probado usando el framework Glob3Mobile sobre un iPad2.

- **Torretas:** Para cada torreta encontrada, se obtienen la posición promedio de sus puntos, así como la altura y el ancho del conjunto. Con estos datos, un modelo 3D estándar de torreta es ajustado y emplazado en el escenario.
- **Terreno:** Los puntos no clasificados como línea eléctrica se agrupan en una rejilla cuyos elementos representan un área de $1m^2$. Sus alturas se promedian para generar un DEM.

Para el ámbito del presente trabajo, el resto de puntos se considerarán vegetación. Éstos se agrupan mediante el uso de alpha-shapes y se obtiene su posición promedio, su altitud y su ancho. Un modelo 3D estándar para la vegetación es emplazado en su ubicación.

5. Conclusiones

La automatización del filtrado de ruido permite eliminar carga de trabajo a los técnicos para que puedan enfocarse en las tareas de análisis, evitando centrar los esfuerzos en tareas repetitivas. Con la nueva etapa inicial presentada en este trabajo, se consiguen resultados para la detección de cable similares en un 99,8% al método usando el filtrado manual. Para el caso de torretas la coincidencia descendiendo al 99.6%. Estos resultados en primera instancia parecen ser muy afinados, pero es aconsejable ajustar el método para eliminar los falsos negativos aunque sea en detrimento del porcentaje de acierto total. Esto es debido a que los falsos negativos son elementos críticos que no están para los análisis de riesgo.

La representación en 3D permite analizar de manera rápida el estado del tendido eléctrico y abre posibilidad a la realización de análisis más avanzados como la identificación de elementos cercanos. En esta línea los siguientes hitos a conseguir son el cálculo de la ecuación de la catenaria para poder vectorizar la línea eléctrica, e incluso identificar valores atípicos para un modelo más preciso. Una vez se obtenga la catenaria, el siguiente objetivo sería calcular su volumen de revolución, lo que permitiría identificar elementos con los que podría colisionar el cable.

Por último, el algoritmo actual únicamente identifica cable y torreta. Sería de gran utilidad poder clasificar elementos como construcciones y vegetación (incluso clase de vegetación) puesto que las labores de prevención han de actuar en consecuencia según el tipo de elemento que genere riesgo con la línea eléctrica.

6. Agradecimientos

El segundo autor quiere agradecer a la Universidad de Las Palmas de Gran Canaria por su beca en el "Programa de personal investigador predoctoral en formación 2015", la cual ha hecho posible su contribución.

References

- [EM94] EDELSBRUNNER H., MÜCKE E. P.: Three-dimensional alpha shapes. *ACM Transactions on Graphics (TOG)* 13, 1 (1994), 43–72. 2
- [FH04] FANG H.-T., HUANG D.-S.: Noise reduction in lidar signal based on discrete wavelet transform. *Optics Communications* 233, 1-3 (2004), 67–76. 2
- [FTT95] FERDINANDOV E., TSANEV V., TODOROV B.: Turbulence-noise in infrared lidar sensing. *Infrared Physics & Technology* 36, 1 (1995), 105–111. 1, 2
- [JSK09] JWA Y., SOHN G., KIM H.: Automatic 3d powerline reconstruction using airborne lidar data. *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens* 38, Part 3 (2009), W8. 2
- [KS10] KIM H., SOHN G.: 3d classification of power-line scene from airborne laser scanning data using random forests. *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens* 38 (2010), 126–132. 2
- [LGM12] LI J., GONG W., MA Y.: Atmospheric lidar noise reduction based on ensemble empirical mode decomposition. *Int Arch Photogr Remote Sensing Spatial Inf Sci* (2012), 127–129. 2
- [LLC99] LLC M.: MS Windows NT kernel description, 1999. URL: <http://web.archive.org/web/20080207010024/http://www.808multimedia.com/winnt/kernel.htm>. 2
- [LLH*09] LIU Y., LI Z., HAYWARD R., WALKER R., JIN H.: Classification of airborne lidar intensity data using statistical analysis and hough transform with application to power line corridors. In *Digital Image Computing: Techniques and Applications, 2009. DICTA'09.* (2009), IEEE, pp. 462–467. 2
- [LMWA10] LANG M., MCCARTY G., WILEN B., AWL J.: Light detection and ranging: New information for improved wetland mapping and monitoring. *National Wetlands Newsletter* 32, 5 (2010), 10–13. 1
- [LZD*11] LIANG J., ZHANG J., DENG K., LIU Z., SHI Q.: A new power-line extraction method based on airborne lidar point cloud data. In *Image and Data Fusion (ISIDF), 2011 International Symposium on* (2011), IEEE, pp. 1–4. 2
- [MLA*16] MATIKAINEN L., LEHTOMÄKI M., AHOKAS E., HYYPPÄ J., KARJALAINEN M., JAAKKOLA A., KUKKO A., HEINONEN T.: Remote sensing methods for power line corridor surveys. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing* 119 (2016), 10–31. 2
- [OTSS18] ORTEGA S., TRUJILLO A., SANTANA J. M., SUÁREZ J. P.: An image-based method to classify power line scenes in LiDAR point clouds. In *12th International Symposium on Tools and Methods of Competitive Engineering* (2018), p. In press. 1, 2
- [RMB*08] RUSU R. B., MARTON Z. C., BLODOW N., DOLHA M., BEETZ M.: Towards 3d point cloud based object maps for household environments. *Robotics and Autonomous Systems* 56, 11 (2008), 927–941. 3
- [STS*15] SUAREZ J. P., TRUJILLO A., SANTANA J. M., DE LA CALLE M., GOMEZ-DECK D.: An efficient terrain level of detail implementation for mobile devices and performance study. *Computers, Environment and Urban Systems* 52 (2015), 21–33. 3