



ESCUELA DE INGENIERÍA EN COMPUTADORES

CE-5302: PROYECTO DE DISEÑO INGENIERÍA EN COMPUTADORES

Documento de Requerimientos de *Software*

Generación de nubes de puntos a partir de *stacking* sin información
de pose de la cámara

PROFESOR

Luis Diego Noguera Mena

AUTOR

José Julián Camacho Hernández - 2019201459

ASESOR

Luis Alberto Chavarría Zamora

24 de febrero de 2024

Índice

1	Introducción	1
1.1	Propósito	1
1.2	Alcance	1
1.3	Resumen del producto	2
1.3.1	Perspectiva del producto	2
1.3.1.1	Interfaces del sistema	2
1.3.1.2	Interfaces del usuario	3
1.3.1.3	Interfaces del <i>hardware</i>	3
1.3.1.4	Interfaces del <i>software</i>	3
1.3.1.5	Interfaces del comunicación	4
1.3.1.6	Restricciones de memoria	4
1.3.1.7	Operaciones	4
1.3.1.8	Requerimientos de adaptación al ambiente	4
1.3.1.9	Interfaces con servicios	4
1.3.2	Funciones del producto	4
1.3.3	Características del usuario	5
1.3.4	Limitaciones	5
1.4	Definiciones	5
1.5	Siglas y abreviaturas	6
2	Referencias	6
3	Requisitos	6
3.1	Funciones	6
3.2	Requisitos de usabilidad	7
3.3	Interfaces externas	7
3.4	Requisitos de rendimiento	8
3.5	Requisitos de la base de datos lógica	8
3.6	Restricciones de diseño	8
3.7	Atributos del sistema de <i>software</i>	8
3.8	Informe de soporte	8
4	Verificación	8
5	Apéndices	9
5.1	Supuestos y dependencias	9
5.2	Matriz de trazabilidad	9
6	Evidencia de aprobación del documento	9

1. Introducción

El objetivo primordial de este producto es proporcionar una solución para la generación de nubes de puntos mediante un algoritmo de apilamiento, sin requerir información de pose de la cámara. La generación de nubes de puntos resulta crucial en diversas aplicaciones, como la visión por computadora, la realidad aumentada y la percepción robótica. Este producto se enfoca en superar los desafíos asociados con la falta de información de pose de la cámara, ofreciendo una herramienta para la creación de nubes de puntos tridimensionales a partir de datos de entrada.

1.1. Propósito

El propósito de este producto es brindar una solución para la generación de nubes de puntos sin depender de la información de pose de la cámara, al implementar un algoritmo de apilamiento de distintos conjuntos de puntos. Esto permitirá a los usuarios trabajar con conjuntos de datos que carecen de datos precisos de posición y orientación de la cámara. La generación de nubes de puntos resultará más accesible y aplicable en una variedad de contextos, facilitando la investigación y el desarrollo en áreas como el modelado tridimensional.

1.2. Alcance

El alcance del producto de *software* se centra en desarrollar un Generador de Nubes de Puntos. El mismo se delimita a la implementación de un algoritmo de apilamiento de nubes de puntos sin utilizar información de la pose de la cámara, al realizar la combinación de conjuntos de puntos de entrada para producir una nube de puntos global de salida. Este enfoque resulta beneficioso porque permite la obtención de representaciones tridimensionales precisas y detalladas de entornos de manera más económica.

El producto forma parte integral del proyecto titulado “Desarrollo de Aplicaciones de Procesamiento de Vídeo e Imágenes Orientadas hacia Vehículos Autónomos bajo condiciones de visión no ideales para la Realidad Costarricense”. Dicho proyecto consiste en el desarrollo de un sistema de drones que, al explorar una zona, captura vídeos y realiza estimaciones de fondo monocular para obtener mapas de profundidad con los cuales genera nubes de puntos individuales por cada imagen. La contribución clave del presente producto radica en la fase final de este proceso, donde las nubes de puntos se combinan para proporcionar un modelo tridimensional consolidado.

Dado lo anterior, en este enfoque no se incluye la generación directa de nubes de puntos a partir de imágenes. Adicionalmente, se descarta cualquier funcionalidad relacionada con la manipulación o interacción directa con la cámara. Se parte del supuesto de que el *hardware* está en condiciones adecuadas, centrándose así en el desarrollo de un método para combinar y procesar conjuntos de nubes de puntos sin depender de datos específicos de la posición u orientación de la cámara en cada captura. Para dicho método, los objetivos se centran en su precisión para generar nubes de puntos fieles a los vídeos captados por los drones, y la meta principal consiste en la integración fluida con el sistema, para que de esa manera sea utilizado en diversos escenarios.

1.3. Resumen del producto

En la presente sección se detallan aspectos generales del producto de *software* por desarrollar.

1.3.1. Perspectiva del producto

El Generador de Nubes de Puntos se integra en un sistema de vehículos autónomos para mapeos de áreas en tres dimensiones. En esta colaboración, dicho sistema captura videos y estima fondos monoculares, generando mapas de profundidad y nubes de puntos individuales por imagen. El producto, focalizado en el algoritmo de apilamiento, combina estas nubes individuales en una representación tridimensional global. La interfaz garantiza la transferencia fluida de datos entre el Generador de Nubes de Puntos y otros componentes del sistema como se presenta en la figura 1, facilitando su incorporación en herramientas de visualización o sistemas de análisis de datos.

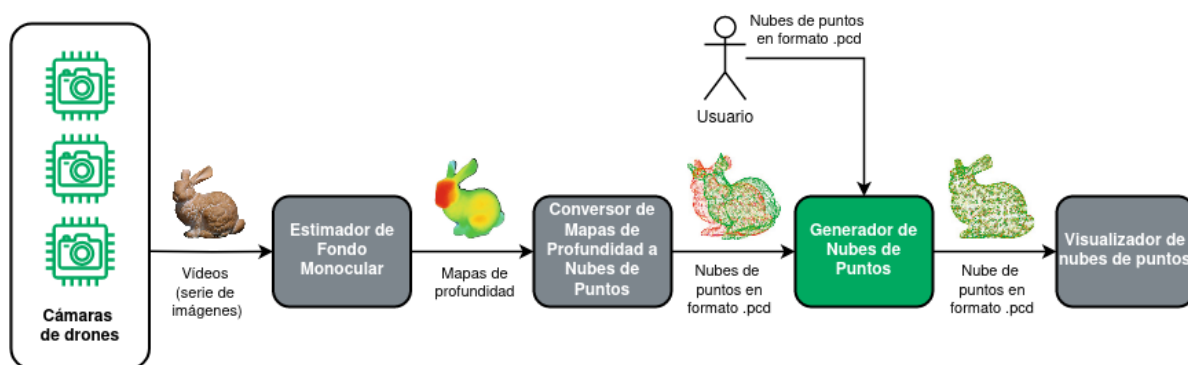


Figura 1: Componentes del sistema de vehículos autónomos para mapeos de áreas en tres dimensiones.

Esta modularidad posibilita adaptarse a otros sistemas que requieran la combinación de nubes de puntos tridimensionales, manteniendo claridad en las responsabilidades y asegurando una integración eficaz en el proyecto general.

1.3.1.1. Interfaces del sistema

- Interfaz del Conversor de Mapas de Profundidad a Nubes de Puntos con el Generador de Nubes de Puntos:

Esta interfaz permite la interacción entre el Conversor de Mapas de Profundidad a Nubes de Puntos y el Generador del presente producto. El primero se encarga de obtener una serie de nubes de puntos individuales a partir mapas de profundidad de imágenes. Dichas nubes se almacenan en archivos con formato *pcd*, que constituyen el método de interfaz al ser el insumo para la siguiente etapa: el Generador.

La funcionalidad del *software* del Generador en esta interfaz consiste en la implementación del algoritmo de apilamiento para combinar nubes de puntos individuales provenientes de archivos los archivos de entrada.

- Interfaz del Generador de Nubes de Puntos con el Visualizador de Resultados:

Esta interfaz permite la visualización de la nube de puntos global generada para su evaluación y análisis. Se proporcionará una interfaz gráfica que permita a los usuarios visualizar la nube de puntos generada por el *software* del presente producto.

La interfaz del Generador de Nubes de Puntos con el Visualizador de resultados se da por medio de un archivo en formato *pcd* que proporciona el Generador. El Visualizador se encarga de procesarlo para poder ser examinado.

1.3.1.2. Interfaces del usuario

La interfaz entre el producto y el usuario consiste en un archivo que el usuario podrá ejecutar desde una terminal para llevar a cabo el algoritmo de la solución. Adicionalmente, el usuario será capaz de especificar las rutas de los archivos de entrada y de salida, así como configuraciones del algoritmo por medio de un archivo modificable para dicho fin.

1.3.1.3. Interfaces del *hardware*

No aplica.

1.3.1.4. Interfaces del *software*

A continuación se detallan las interfaces de *software* del producto.

- *Generador de nubes de puntos a partir de mapas de profundidad*:
 - Versión: 1.0
 - Fuente: <https://www.kaggle.com/code/luischavarriazamora/depth-map-to-point-cloud-notebook>
 - La interfaz con el generador de nubes de puntos a partir de mapas de profundidad es fundamental para el presente producto, ya que proporciona los archivos en formato *pcd* que son insumo para el algoritmo de apilamiento de nubes de puntos.
- *Open3D*:
 - Versión: 0.18.0
 - Fuente: <https://www.open3d.org/>
 - *Open3D* desempeña un papel esencial en el contexto de este producto de *software*, ya que proporciona una infraestructura robusta y herramientas especializadas para el manejo eficiente de datos tridimensionales. Al utilizar *Open3D*, el producto puede aprovechar las capacidades de procesamiento y visualización tridimensional que ofrece la biblioteca.
- *Numpy*:
 - Versión: 1.26.3

- Fuente: <https://numpy.org/>
- El propósito de la utilización de *Numpy* en el desarrollo del Generador es proporcionar una manipulación eficiente de datos en formato de matriz, fundamental para el procesamiento de nubes de puntos. La capacidad de realizar operaciones numéricas y algebraicas de manera vectorizada con *Numpy* optimiza el rendimiento del algoritmo de apilamiento, permitiendo una combinación rápida y precisa de los conjuntos de puntos.

1.3.1.5. Interfaces del comunicación

No aplica.

1.3.1.6. Restricciones de memoria

No aplica.

1.3.1.7. Operaciones

No aplica.

1.3.1.8. Requerimientos de adaptación al ambiente

No aplica.

1.3.1.9. Interfaces con servicios

No aplica.

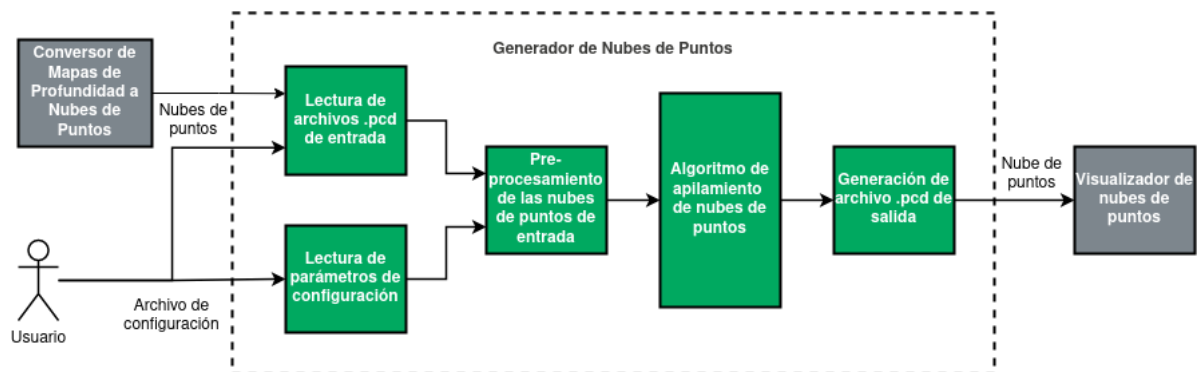
1.3.2. Funciones del producto

El producto por desarrollar recibe un conjunto de nubes de puntos y a partir de él genera una nube global de salida. Dicha salida se obtiene al llevar a cabo las diferentes etapas en el flujo de funcionamiento del Generador de Nubes de Puntos, que se visualizan en la figura 2. En este proceso, el producto debe realizar la lectura de un archivo de configuración que contendrá información de las rutas donde se encuentran las nubes de puntos de entrada y de salida, así como valores para ajustar parámetros del algoritmo.

Una vez la lectura fue exitosa, el producto ejecuta un procesamiento previo de las nubes de puntos de entrada con el fin de eliminar ruido, hacer un submuestreo, normalizar los datos, entre otras técnicas para ajustar las nubes de puntos y así generar mejores resultados.

Seguidamente, el Generador lleva a cabo el algoritmo de apilamiento con las nubes de puntos preprocesadas. En dicho algoritmo se aplican técnicas para conocer la correspondencia entre puntos en el espacio, y de esa manera, alinear y combinar múltiples nubes de puntos con el objetivo de crear una representación tridimensional unificada del entorno.

Para finalizar el proceso, el producto se encarga de generar un archivo *pcd*, en el cual se almacena la información relacionada con la nube de puntos global. Dicho archivo puede ser utilizado posteriormente para su visualización y análisis.

Figura 2: Flujo de funcionamiento del producto de *software*.

1.3.3. Características del usuario

Los usuarios destinados a utilizar este producto son personas especializadas en el área de ingeniería en computadores o *software* con sólidos conocimientos en programación, particularmente en ambientes de desarrollo en *Python*. Estos usuarios están familiarizados con el entorno y tienen la capacidad de realizar ajustes en el código fuente y ejecutar el archivo de la solución. Además, cuentan con conocimientos en conjuntos de datos tridimensionales y nubes de puntos, lo que les permite comprender y aprovechar plenamente las capacidades del Generador de Nubes de Puntos.

1.3.4. Limitaciones

Entre las limitaciones que el desarrollador enfrenta, se encuentra la necesidad de generar nubes de puntos sin tener acceso a información detallada sobre la pose de la cámara utilizada para capturar las imágenes. Esta restricción impone un desafío técnico considerable, ya que la mayoría de los métodos convencionales para la generación de nubes de puntos dependen de datos precisos sobre la posición y orientación de la cámara en cada toma.

Otra limitación significativa proviene de la interfaz con el Estimador de Fondo Monocular. La calidad de las nubes de puntos individuales generadas por esta etapa previa del sistema directamente influye en la eficacia del Generador de Nubes de Puntos. Si el primero no logra generar adecuadamente estas nubes individuales, se verá afectada la entrada del Generador, afectando así la calidad y utilidad de los resultados finales.

1.4. Definiciones

- Nube de puntos: es un conjunto desordenado de puntos tridimensionales en un marco de referencia (sistema de coordenadas cartesianas) en la superficie de objetos. [1]
- Pose de cámara: corresponde a la posición y orientación de una cámara en el espacio tridimensional. [2]
- Estimación de fondo monocular: es la tarea de estimar el valor de profundidad (distancia relativa a la cámara) de cada píxel dado una única imagen RGB (monocular).

[3]

- Mapa de profundidad: contiene información sobre la distancia de los objetos desde una perspectiva o punto de referencia específico (como una lente de cámara). [4]
- Point Cloud Data: consiste en un formato de archivo que brinda la capacidad de almacenar y procesar conjuntos de datos organizados de nubes de puntos. [5]

1.5. Siglas y abreviaturas

- *pcd*: Point Cloud Data.

2. Referencias

- [1] V. Sarode. "*What Are Point Clouds?*" [En línea]. Disponible en: <https://medium.com/analytics-vidhya/what-are-point-clouds-3655d565e142>. 2020.
- [2] L. Brynte. "*Learning and optimizing camera pose*". [En línea]. Disponible en: <https://research.chalmers.se/en/publication/539208> Accedido el 21 de febrero de 2024. 2024.
- [3] M Abuolaim A y Brown. "*Defocus Deblurring Using Dual-Pixel Data*". [En línea]. Disponible en: <https://arxiv.org/pdf/2005.00305.pdf> Accedido el 21 de febrero de 2024. 2020.
- [4] Looking Glass. "*Depth Maps: How Software Encodes 3D Space*". [En línea]. Disponible en: <https://lookingglassfactory.com/blog/depth-map> Accedido el 21 de febrero de 2024. 2023.
- [5] V. Simon. "*PCD: Efficient 3D point cloud data storage and processing*". [En línea]. Disponible en: <https://www.cadinterop.com/en/formats/cloud-point/pcd.html> Accedido el 21 de febrero de 2024. 2023.

3. Requisitos

En la presente sección se detallan los requisitos del producto de *software* por desarrollar.

3.1. Funciones

- **RF-1:** Cuando el usuario inicie la ejecución, el programa deberá aplicar el algoritmo de apilamiento sobre las nubes de puntos entrada y guardar la nube de salida.
- **RF-2:** El programa deberá leer un archivo de configuración y obtener de este las rutas de entrada y salida de las nubes de puntos, así como las configuraciones del algoritmo.
- **RF-3:** El programa deberá utilizar como insumo las nubes de puntos en formato *pcd* en las rutas indicadas en la configuración.

- **RF-4:** El programa deberá utilizar como ruta de la nube de puntos de salida, la indicada en la configuración.
- **RF-5:** El programa deberá utilizar las configuraciones del algoritmo indicadas en el archivo de configuración.
- **RF-6:** Si el formato de las configuraciones del algoritmo indicadas en el archivo de configuración no es el correcto, el programa deberá utilizar valores por defecto.
- **RF-7:** Si el formato de los archivos de entrada no es el correcto, el programa deberá mostrar un mensaje error y terminar su ejecución.
- **RF-8:** Si las nubes de puntos en los archivos de entrada no tienen suficientes coincidencias según el algoritmo para generar una nube de puntos global, el programa deberá mostrar un mensaje de error y terminar su ejecución.
- **RF-9:** Cuando se validen los contenidos del archivo de configuración, el programa deberá mostrar un mensaje de éxito y que indique el inicio del procesamiento.
- **RF-10:** Cuando se haya obtenido el archivo de salida al concluir el algoritmo, el programa deberá mostrar un mensaje de éxito en la finalización.

3.2. Requisitos de usabilidad

- **RU-1:** El producto incluirá un archivo *README* con instrucciones claras sobre el uso del programa, método de ejecución y requisitos del sistema.
- **RU-2:** El producto contará con un manual de usabilidad para los usuarios finales.

3.3. Interfaces externas

- **RI-1:** El producto deberá contar con una interfaz para funcionar con entradas definidas mediante nubes de puntos en archivos:
 - El propósito de esta interfaz es proporcionar datos de nubes de puntos individuales generados en etapas previas del sistema para ser procesadas por el Generador de Nubes de Puntos.
 - La fuente de entrada: Conversor de Mapas de Profundidad a Nubes de Puntos o por medio del usuario.
 - Formatos de los datos: Archivos en formato *.pcd*.
- **RI-2:** El producto deberá tener una interfaz con el usuario por medio de un archivo de configuración de entrada:
 - El propósito de esta interfaz es proporcionar valores de parámetros para ajustar el comportamiento del algoritmo de apilamiento, así como las rutas de las nubes de puntos de entrada y de salida.

- La fuente de entrada: Usuario.
- Formatos de los datos: Archivo en formato *.txt*.
- **RI-3:** El producto deberá tener una interfaz para producir salidas de nubes de puntos por medio de archivos:
 - El propósito de esta interfaz es proporcionar la nube de puntos global generada a partir de la ejecución del algoritmo de apilamiento de las nubes de puntos individuales de entrada.
 - Destino de salida: Almacenamiento o visualización posterior.
 - Formatos de los datos: Archivos en formato *.pcd*.

3.4. Requisitos de rendimiento

No aplica.

3.5. Requisitos de la base de datos lógica

No aplica.

3.6. Restricciones de diseño

- **RD-1:** El diseño del producto deberá realizarse de tal manera que el programa funcione únicamente con una serie de datos de nubes de puntos sin información de la posición o orientación de la cámara.

3.7. Atributos del sistema de *software*

No aplica.

3.8. Informe de soporte

- **RS-1:** El producto deberá ser completamente de código abierto, permitiendo a los usuarios acceder, modificar y redistribuir el código fuente.

4. Verificación

A continuación se presentan los enfoques y métodos de verificación planificados para evaluar el producto de *software*.

- RF-1, RF-3, RF-10: Se verificará el funcionamiento correcto del programa mediante pruebas funcionales.

- RF-2, RF-4, RF-5, RF-6, RF-7, RF-8, RF-9: Se verificará el funcionamiento correcto del programa mediante pruebas unitarias.
- RU-1, RU-2: Se verificará la existencia de los archivos de usabilidad y se validará la calidad de los mismos con la persona supervisora para asegurar que sean comprensibles, completos y efectivos en guiar a los usuarios.
- RI-1, RI-2: Se verificará mediante pruebas unitarias que el programa pueda leer configuraciones y cargar archivos de entrada.
- RI-3: Se verificará mediante funcionales que producto sea capaz de generar archivos *.pcd* como salida.
- RD-1: Se verificará mediante pruebas funcionales que el producto sea capaz de generar nubes de puntos utilizando conjuntos de datos que carezcan de información sobre la pose de la cámara.
- RS-1: Se verificará que el código fuente esté disponible públicamente, accesible a través de plataformas de alojamiento de código abierto como *GitHub*.

5. Apéndices

5.1. Supuestos y dependencias

El presente producto opera bajo ciertos supuestos y dependencias cruciales. Se asume que todas las etapas previas del sistema, desde el *hardware* hasta las estimaciones de fondo monocular, están operativas y generan resultados funcionales. La disponibilidad constante de datos en formato *.pcd* provenientes del Conversor de Mapas de Profundidad a Nubes de Puntos es un supuesto clave para el correcto funcionamiento del Generador de Nubes de Puntos.

Además, se parte del supuesto de que las versiones actuales y futuras de bibliotecas externas como *Open3D* y *Numpy* serán compatibles con las funciones utilizadas en el *software*. Se espera también que el entorno de desarrollo en *Python* y las capacidades del *hardware* subyacente permanezcan estables y cumplan con los requisitos especificados.

5.2. Matriz de trazabilidad

No aplica.

6. Evidencia de aprobación del documento

A continuación, en las figuras 3 y 4, se muestra la aprobación del presente documento por parte de la persona supervisora.

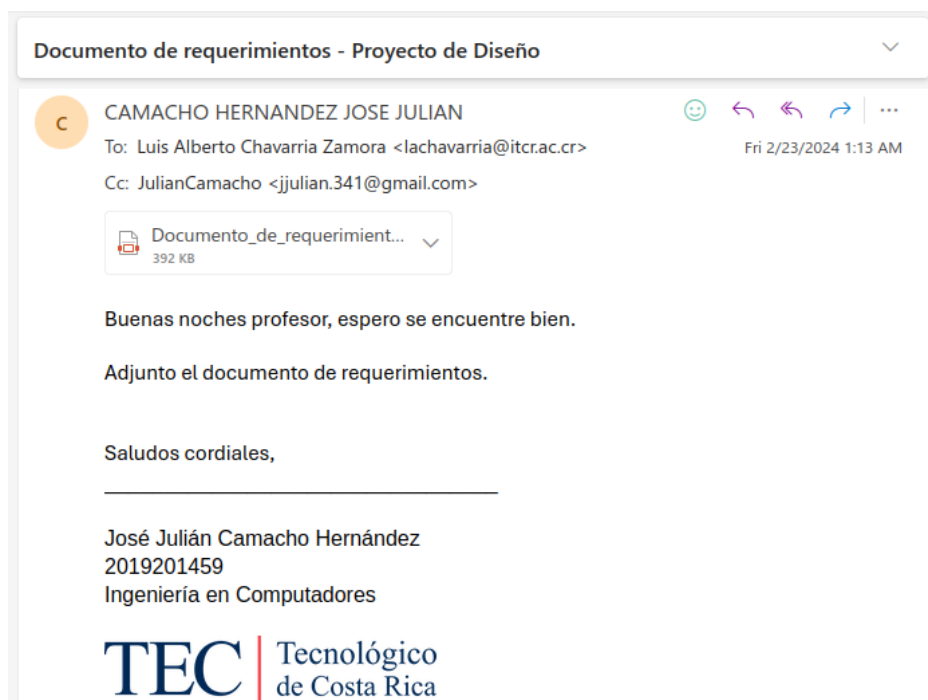


Figura 3: Evidencia de envío al asesor.



Figura 4: Evidencia de aprobación por parte del asesor.