



Prototipo de sistema autónomo para captura de información topográfica

Especificación de Requerimientos de Software

Escrito por:
Karen Tatiana Zamudio

Revisión A
Esteban Volentini
Santiago Salamandri

Universidad de Buenos Aires

22 noviembre 2023

Historial de cambios

Table 1: Registro de Revisiones

Revisión	Detalles de los cambios realizados	Fecha
0	Creación del documento	18 de noviembre 2023
1	Entrega A	23 de noviembre 2023

IEEE-830

Tabla de contenido

1	Introducción	4
1.1	Propósito	5
1.2	Ámbito del sistema	6
1.2.1	Nombre del sistema	6
1.2.2	Objetivos	6
1.2.3	Alcance	6
1.3	Definiciones, Acrónimos y Abreviaturas	7
1.3.1	Acrónimos	7
1.3.2	Definiciones	7
1.4	Referencias	8
1.5	Visión general del documento	8
1.5.1	Descripción general del documento	8
1.5.2	Requisitos específicos	8
2	Arquitectura	9
2.1	Patrones	9
2.1.1	Observar y reaccionar	9
2.1.2	Control ambiental	13
2.1.3	Hardware Abstraction Layer (HAL)	15
2.2	Componentes del prototipo de captura de información topográfica	15
2.2.1	Capa de Drivers	15
2.2.2	Capa de Aplicación	16
2.3	Interfaces	17
3	Diseño Detallado	18
3.1	Capa de Aplicación	18
3.1.1	AplicacionProcesamientoDatos	18
3.1.2	AplicacionVisualizacion	18
3.1.3	AplicacionInterfazUsuario	19
3.1.4	AplicacionDeteccionObjetos	19
3.1.5	AplicacionDeteccionTemperatura	19
3.1.6	AplicacionAlmacenamientoDatos	19

1 Introducción

La Especificación de Requisitos de Software (ERS) que se evidencia a continuación es el resultado de un esfuerzo colaborativo destinado a proporcionar una base clara y completa para el desarrollo de un sistema innovador. Este documento tiene como objetivo principal establecer los requisitos funcionales y no funcionales necesarios para la creación exitosa de prototipo de sistema autónomo para captura de información topográfica (figura 1), en respuesta a la creciente demanda de eficiencia en la obtención de datos topográficos.

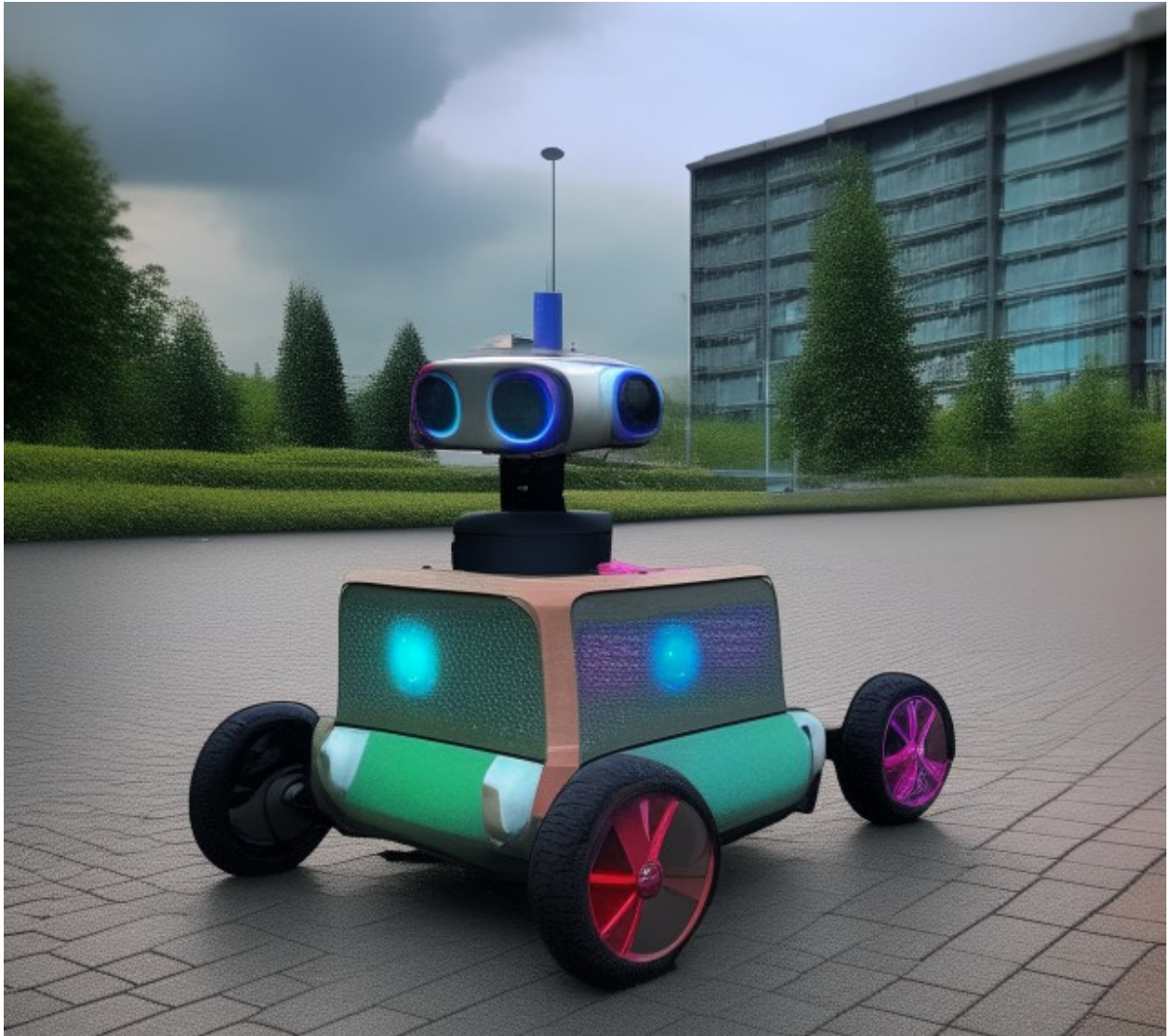


Figure 1: Prototipo para captura de información de nube de puntos.

1.1 Propósito

El objetivo principal del proyecto es abordar los desafíos relacionados con la obtención de datos topográficos precisos, por lo anterior, está dirigido a profesionales y organizaciones involucradas en proyectos que requieren información geoespacial precisa, como ingenieros, arquitectos, empresas de construcción y gestión de recursos naturales.

El prototipo se basa en la integración de múltiples sensores, que incluyen sensores GNSS (Sistemas de Navegación Global por Satélite), sensores LIDAR (Detección y Teledetección por Luz y Alcance), un sensor de imagen con profundidad y una IMU (Unidad de Medición Inercial) en su versión inicial, los anteriores componentes trabajan en conjunto para capturar una amplia gama de datos topográficos (fusión de datos para nube de puntos 3D), desde coordenadas geoespaciales iniciales hasta detalles visuales y altimétricos, con el potencial de escalabilidad a sensores de mayor precisión en futuras etapas del proyecto. La fusión de datos para nube de puntos 3D es una etapa clave en el proceso del sistema autónomo para captura de información topográfica. Comienza con la recopilación de datos de múltiples sensores, incluyendo GNSS, LIDAR, sensor de imagen e IMU, que capturan información topográfica. Estos datos se envían al MicroControlador (MC), donde se combinan y procesan inteligentemente para generar una nube de puntos 3D con coordenada que representa el entorno topográfico, este proceso se evidencia en la figura 2.

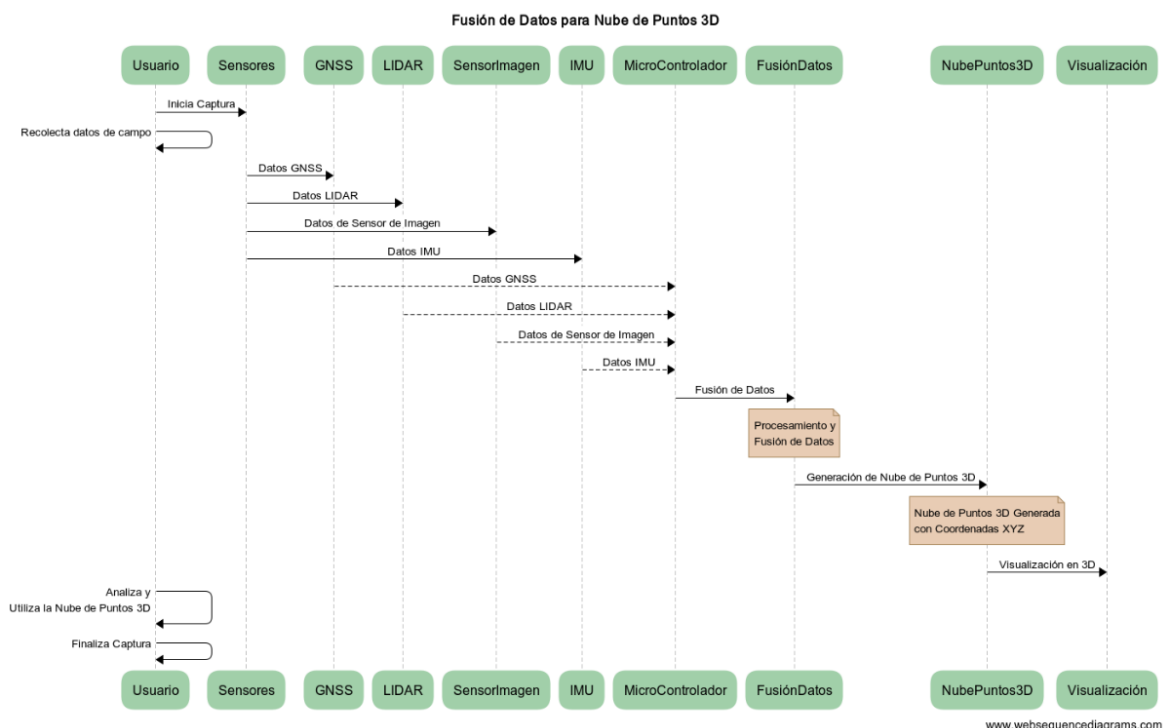


Figure 2: Diagrama de secuencia

1.2 Ámbito del sistema

1.2.1 Nombre del sistema

Se introduce con entusiasmo al innovador proyecto "Realità", un sistema autónomo diseñado para la captura de información topográfica de manera eficiente y precisa, la elección del nombre "Realità" refleja su capacidad única para capturar la realidad del entorno con una precisión excepcional. Adicionalmente, el nombre no solo simboliza la fusión de datos provenientes de múltiples sensores, como GNSS, LIDAR, sensor de imagen e IMU, para crear una representación tridimensional detallada, sino que también encarna la visión de transformar sueños en una realidad tangible para quien construye este proyecto.

En un contexto donde la precisión de la información topográfica es esencial para profesionales y organizaciones en diversas áreas, "Realità" se rige como un sueño convertido en realidad, ofreciendo un enfoque revolucionario que supera los desafíos actuales y promete redefinir la manera en que se aborda la captura de datos geoespaciales.

1.2.2 Objetivos

- Desarrollar un prototipo funcional del sistema autónomo para la captura de información topográfica, destacando la integración de sensores multimodales como piedra angular.
- Demostrar la viabilidad y eficacia de esta tecnología innovadora al generar mapas precisos del entorno que sean comparables a los mapas generados por métodos tradicionales, lo que reduce en nuevas oportunidades para la aplicación de la tecnología en una variedad de campos, como la construcción, la planificación urbana y la gestión de recursos naturales.
- Implementar un algoritmo de fusión de datos de última generación para integrar datos de sensores GNSS, LIDAR, sensor de imagen e IMU, lo anterior proporcionará una representación detallada y precisa del terreno, permitiendo a los usuarios obtener una comprensión más completa del entorno y, por ende, tomar decisiones más informadas.
- Culminar exitosamente el desarrollo del prototipo, estableciendo así las bases para futuras mejoras y desarrollos en la captura de datos topográficos, esta plataforma experimental permitirá a los investigadores explorar nuevas tecnologías que mejoren la precisión, eficiencia y utilidad de la captura de datos topográficos.

1.2.3 Alcance

Este proyecto tiene como alcance principal el desarrollo de un prototipo funcional para un sistema autónomo diseñado específicamente para la captura de información topográfica, la esencia del enfoque radicarán en la integración de sensores multimodales, como GNSS, LIDAR, sensor de imagen e IMU, con el propósito de demostrar la viabilidad y eficacia en la generación de mapas precisos del entorno, además la implementación de un algoritmo de fusión de datos de última generación será crucial para proporcionar una representación detallada y precisa del terreno. Todo lo anterior, llevará a cabo una evaluación exhaustiva en campos como la construcción, planificación urbana y gestión de recursos naturales.

Sin embargo, es esencial señalar que este proyecto no contemplará la implementación de sensores de mayor precisión en futuras etapas, ni explorará la integración de tecnologías aún no desarrolladas. Además, no se abordarán aspectos relacionados con la seguridad cibernética de los datos recopilados, quedando este tema claramente fuera del alcance del

presente trabajo. Estas limitaciones se establecen con el propósito de proporcionar claridad con respecto a las fronteras del proyecto y dirigir futuras investigaciones hacia objetivos específicos.

1.3 Definiciones, Acrónimos y Abreviaturas

En esta subsección se definirán todos los términos, acrónimos y abreviaturas utilizadas en la especificación de requisitos de software.

1.3.1 Acrónimos

- CAD (*Computer-Aided Design*) es un proceso de diseño que utiliza software para crear, modificar, analizar o optimizar un diseño.
- DEM (Modelo de Elevación Digital), un modelo matemático que representa la elevación del terreno en una cuadrícula regular. En el contexto del sistema topográfico, un DEM es fundamental para comprender la topografía del área capturada.
- ERS (Especificación de Requisitos de Software), documento que establece de manera detallada los requisitos y especificaciones para el desarrollo del prototipo de captura de información topográfica.
- GLONASS (*Global Navigation Satellite System*) es un sistema de navegación por satélite desarrollado por Rusia, que utiliza una constelación de satélites para proporcionar información precisa de posición y tiempo a receptores en la Tierra. GLONASS es independiente pero compatible con otros sistemas de navegación, como el GPS.
- GNSS (*Global Navigation Satellite System*) incluye satélites como GPS, GLONASS y otros, utilizados para determinar la posición geoespacial con precisión.
- GPS (*Global Positioning System*) es un sistema de navegación por satélite que permite determinar la ubicación y la hora en cualquier lugar de la Tierra o cerca de ella, consta de una constelación de satélites en órbita que transmiten señales que son recibidas por receptores en la Tierra, permitiendo la triangulación precisa de la posición.
- IMU (*inertial measurement unit*) es un dispositivo que mide la aceleración y la velocidad angular para determinar la orientación y movimiento de un objeto.
- LIDAR (*Light Detection and Ranging o Laser Imaging Detection and Ranging*) es una tecnología que utiliza pulsos láser para medir distancias y crear mapas tridimensionales precisos.
- SIG (*Geographic Information System*) es una herramienta para recopilar, organizar, analizar, compartir y visualizar información geoespacial.

1.3.2 Definiciones

- Georreferenciación es el proceso de asociar datos espaciales con coordenadas geográficas reales. En el proyecto, la georreferenciación es fundamental para situar y contextualizar los datos capturados en relación con la superficie terrestre, permitiendo una interpretación precisa y útil de la información topográfica.

- Planimetría es la representación gráfica y métrica de la superficie terrestre en un plano horizontal, sin considerar las elevaciones. En el proyecto, la planimetría es importante para obtener información precisa sobre la distribución y disposición de elementos en el terreno.
- Topografía es la ciencia que se ocupa de la descripción detallada y precisa de la superficie terrestre, incluyendo sus formas, características naturales y artificiales. En el contexto del proyecto, la topografía es esencial para la captura y análisis de datos, proporcionando información crucial sobre la configuración del terreno.

1.4 Referencias

En esta subsección se mostrará una lista completa de todos los documentos referenciados en la ERS (Especificación de Requisitos de Software), documento que establece de manera detallada los requisitos y especificaciones para el desarrollo del Prototipo de Captura de Información Topográfica.

1.5 Visión general del documento

Esta subsección ofrece un resumen conciso de los contenidos y la estructura de ERS para el Prototipo de Captura de Información Topográfica, siguiendo las pautas establecidas en el estándar IEEE Std. 830-1998. La estructura del documento se divide en dos secciones principales: descripción general del documento y requisitos específicos.

1.5.1 Descripción general del documento

La sección de descripción general del documento brinda una visión integral del proyecto. Se abordan aspectos como la perspectiva del producto, las funciones del producto, las características de los usuarios, las restricciones para visualizar los límites en el diseño y desarrollo las suposiciones y dependencias y requisitos futuros.

1.5.2 Requisitos específicos

La sección de requisitos específicos constituye el núcleo de la especificación de requisitos de software (SRS). En ella se detallan los elementos técnicos clave del sistema, incluyendo las interfaces externas, las funciones, los requisitos de rendimiento, las restricciones de diseño, los atributos del sistema y otros requisitos.

2 Arquitectura

El diseño arquitectónico del prototipo de captura de información topográfica es esencial para garantizar la eficiencia y precisión en la adquisición de datos. La arquitectura del sistema se concibe como un conjunto organizado de subsistemas y componentes, cada uno desempeñando un papel crucial en el proceso de captura, procesamiento y visualización de datos topográficos.

En este contexto, se explorarán patrones de arquitectura específicos que se alinean con las necesidades dinámicas y variables de los entornos topográficos, estos patrones proporcionan soluciones para desafíos particulares, asegurando una implementación robusta y eficaz del prototipo.

A lo largo de esta documentación, se detallarán los subsistemas clave, sus responsabilidades y las interfaces entre ellos, proporcionando una visión integral de la arquitectura diseñada para cumplir con los requisitos de captura de información topográfica.

2.1 Patrones

El diseño arquitectónico de un prototipo para la captura de información topográfica constituye un proceso crucial para garantizar la eficiencia y la precisión en la adquisición de datos, en este contexto, la aplicación de patrones de arquitectura desempeña un papel fundamental al proporcionar soluciones probadas para desafíos específicos. El conjunto de patrones se selecciona cuidadosamente en función de las necesidades del sistema y las características particulares de la captura de datos topográficos.

En el desarrollo del prototipo, se explorarán tres patrones de arquitectura clave:

1. Observar y reaccionar.
2. Control ambiental.
3. Hardware Abstraction Layer (HAL).

Estos patrones ofrecen soluciones adaptadas a la naturaleza dinámica y variable de los entornos topográficos, la necesidad de respuestas en tiempo real y la integración eficiente de múltiples sensores

2.1.1 Observar y reaccionar

Descripción: el patrón *Observar y reaccionar* se utiliza para que un prototipo de captura topográfica pueda adaptarse dinámicamente a los cambios en el entorno topográfico. Este patrón permite al prototipo recopilar datos precisos y completos, incluso en entornos cambiantes.

Implementación: el patrón *Observar y reaccionar* para un prototipo de captura topográfica suele implicar los siguientes procesos:

1. **Proceso de almacenamiento de datos:** el proceso de almacenamiento de datos se encarga de recopilar los datos generados por los sensores y almacenarlos en un archivo, este proceso es necesario para que los datos puedan ser procesados posteriormente por el proceso de análisis.

2. **Proceso de análisis:** el proceso de análisis se encarga de procesar los datos almacenados en el archivo para generar información útil. La información podría incluir, por ejemplo, la posición actual del prototipo, la orientación del prototipo, la distancia a los obstáculos cercanos, etc.
3. **Proceso de datos:** el proceso de procesamiento de datos es el proceso que se encarga de transformar los datos crudos recopilados por los sensores en información útil
4. **Proceso de toma de decisiones:** el proceso de toma de decisiones se encarga de utilizar la información generada por el proceso de análisis para tomar decisiones sobre cómo responder al entorno. Estas decisiones podrían incluir, por ejemplo, el movimiento del prototipo, la activación de sensores adicionales, etc.
5. **Proceso de despliegue en pantalla:** el proceso de despliegue en pantalla se encarga de mostrar la información generada por el proceso de análisis en pantalla. Esta información podría ser utilizada por el usuario para monitorear el estado del prototipo.

Table 2: Patrón del prototipo

Descripción	Un prototipo de captura de información topográfica es un sistema autónomo que utiliza sensores para recopilar datos sobre el entorno. Estos datos se utilizan para generar nubes masivas de puntos, crear modelos 3D, etc.
Estímulo	<p>Los sensores del prototipo son los estímulos que desencadenan las reacciones:</p> <ul style="list-style-type: none"> – LiDAR: proporciona datos sobre la distancia a los objetos en el entorno. – IMU: proporciona datos sobre la orientación y la aceleración del sistema. – GNSS: proporciona datos sobre la posición del sistema. – Cámara RGBD: proporciona datos sobre el color de los objetos en el entorno. – Sensores de ultrasonido: proporcionan datos sobre la distancia a los objetos cercanos. – Sensores de temperatura: proporcionan datos sobre la temperatura del entorno. – Sensor de luz ambiental: proporciona datos sobre la luz ambiental.

Respuesta	<p>Las respuestas del prototipo son las acciones que realiza en respuesta a los estímulos de los sensores.</p> <ul style="list-style-type: none">– Navegación: el sistema puede cambiar su dirección o velocidad para seguir una ruta.– Detección de obstáculos: el sistema puede tomar medidas para evitar un obstáculo, de esta manera, puede girar o detenerse.– Generación de nube masiva de puntos: el sistema puede utilizar los datos de los sensores para generar una nube masiva de puntos con coordenadas y colorización.
Procesos	<p>Los procesos son los pasos que el sistema lleva a cabo para realizar una tarea.</p> <ul style="list-style-type: none">– Proceso de almacenamiento de datos.– Proceso de análisis.– Proceso de Procesamiento de datos.– Proceso de toma de decisiones.– Proceso de despliegue en pantalla.
Uso	<p>El prototipo de captura de información topográfica se puede utilizar para una variedad de tareas, como:</p> <ul style="list-style-type: none">– Cartografía: El sistema puede generar mapas de áreas remotas o peligrosas.– Construcción: El sistema puede ayudar a los ingenieros a planificar proyectos de construcción.– Minería: El sistema puede ayudar a los mineros a identificar depósitos minerales.– Conservación: El sistema puede ayudar a los científicos a monitorear el medio ambiente.

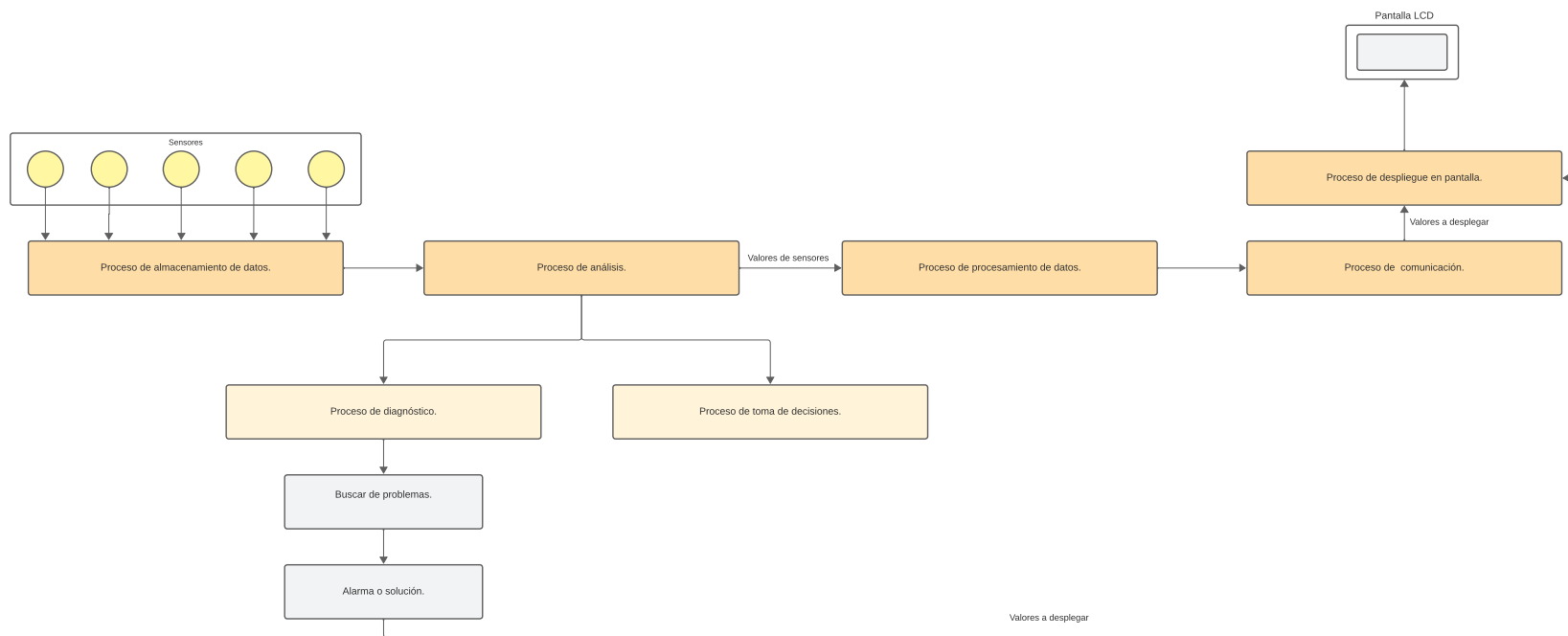


Figure 3: Patrón arquitectónico: "observar y reaccionar para prototipo de captura de información topográfica".

2.1.2 Control ambiental

Descripción: se aplica este patrón en entornos topográficos sujetos a factores externos, como condiciones climáticas variables, donde se requiere mantener la calidad de la captura de datos.

Implementación: la detección de condiciones climáticas desfavorables se realiza mediante sensores meteorológicos. Los algoritmos de control ambiental ajustan automáticamente la configuración de los sensores para mitigar los efectos adversos del clima en la precisión de la captura de datos.

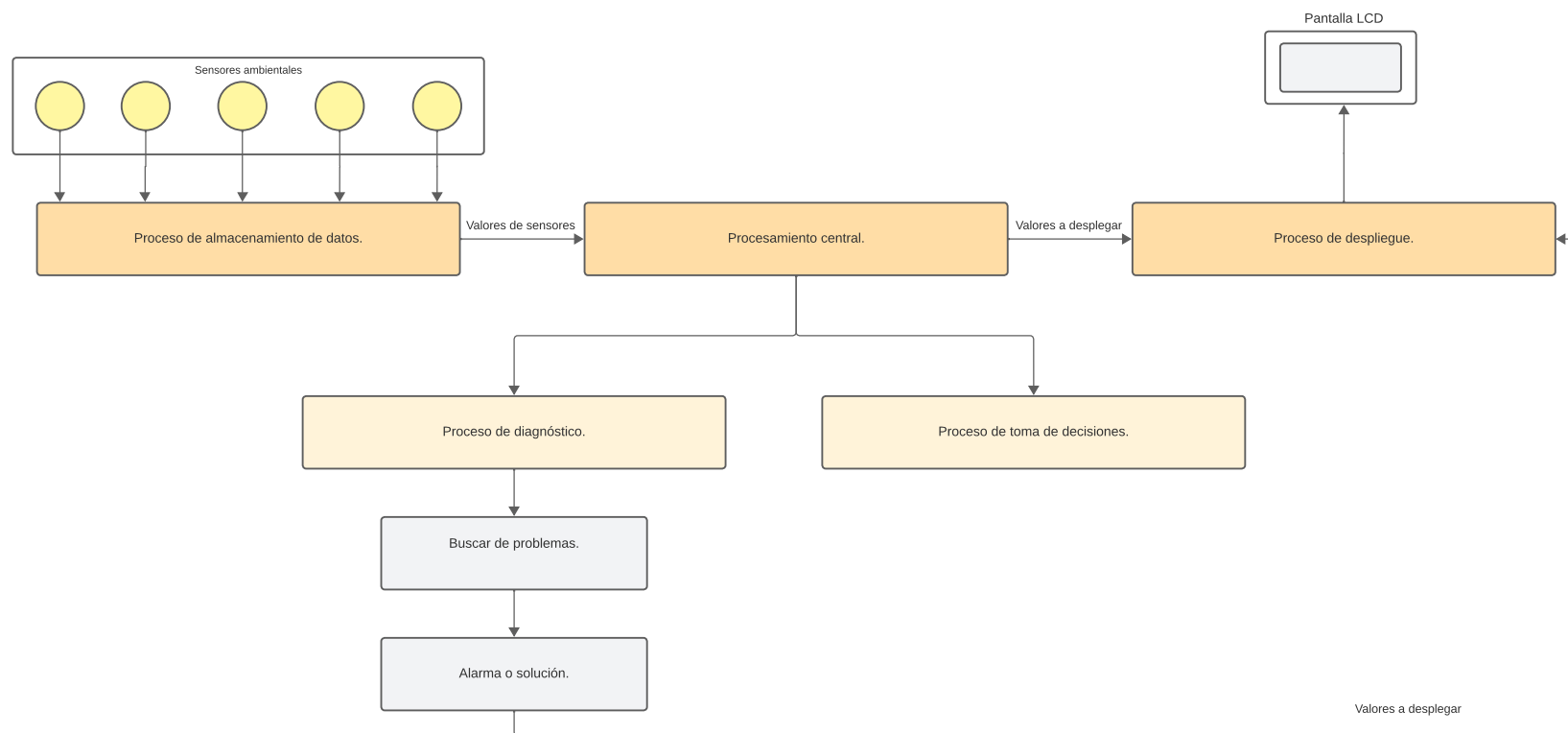


Figure 4: Patrón arquitectónico: "Control ambiental para prototipo de captura de información topográfica".

2.1.3 Hardware Abstraction Layer (HAL)

Descripción: este patrón se utiliza para asegurar la portabilidad del sistema y facilitar la integración de diferentes sensores topográficos sin modificar la lógica central del software.

Implementación: la capa de abstracción de hardware en el subsistema de Adquisición de Datos proporciona interfaces unificadas para diversos sensores. Se utilizan estándares como I2C y UART, y se implementan controladores específicos para cada sensor. Esto permite la adición de nuevos sensores sin modificar el código principal y garantiza la escalabilidad del prototipo.

2.2 Componentes del prototipo de captura de información topográfica

2.2.1 Capa de Drivers

Driver IMU:

- **Función:** Obtener datos de la Unidad de Medición Inercial (IMU). Proporcionar información sobre la orientación y aceleración del prototipo.

Driver Lidar:

- **Función:** interactuar con el Lidar para la adquisición de datos. Procesar datos. Gestionar la comunicación.

Driver GNSS:

- **Función:** capturar y procesar datos del sistema de posicionamiento GNSS. Proporcionar coordenadas geográficas.

Driver Camara RGBD:

- **Función:** controlar la captura de imágenes RGBD. Realizar preprocesamiento de imágenes.

Driver Sensores Obstaculos:

- **Función:** monitorizar sensores de obstáculos. Proporcionar información de detección.

Driver Temperatura:

- **Función:** supervisar y regular la temperatura. Proporcionar datos de temperatura ambiente.

Driver Actuadores:

- **Función:** controlar actuadores. Recibir y ejecutar comandos de control.

2.2.2 Capa de Aplicación

Aplicacion procesamiento datos:

- **Función:** procesar datos crudos de Lidar, GNSS y cámara. Generar nube de puntos 3D.

Aplicacion visualizacion:

- **Función:** presentar gráficamente la información topográfica. Manejar visualización 3D.

Aplicacion interfaz usuario:

- **Función:** permitir interacción con el usuario. Configurar parámetros. Recibir comandos de control.

Aplicacion deteccion objetos:

- **Función:** implementar detección de objetos en la nube de puntos. Proporcionar información de detección.

Aplicacion deteccion temperatura:

- **Función:** analizar datos de temperatura. Detectar condiciones adversas. Informar sobre problemas de temperatura.

Aplicacion almacenamiento datos:

- **Función:** gestionar almacenamiento de datos topográficos. Garantizar integridad y confidencialidad.

Aplicacion comunicacion usuario:

- **Función:** gestionar comunicación con el usuario. Interpretar y mostrar datos relevantes.

Capas de software:

1. **HAL (Hardware Abstraction Layer):** este componente proporciona una interfaz de software para la interacción con los sensores específicos del prototipo de captura de información topográfica, como Lidar, GNSS, cámara, entre otros, de esta manera, permite abstraer detalles de hardware y facilita la integración de nuevos dispositivos.
2. **Sistema operativo:** gestiona los recursos del sistema para garantizar un procesamiento eficiente de los datos capturados, por lo anterior, proporciona servicios esenciales para la aplicación, como la gestión de tareas y la comunicación entre componentes.
3. **Aplicación:** la capa superior diseñada específicamente para la captura, procesamiento y visualización de datos topográficos, incluye módulos especializados para trabajar con la nube de puntos 3D generada a partir de la información capturada.

Componentes de la capa de aplicación:

1. **Monitor de sensores topográficos:** supervisa y gestiona los datos provenientes de sensores clave, como LiDAR, GNSS, y cámara. Coordina la adquisición simultánea de datos para garantizar la coherencia de la información topográfica.
2. **Control de procesamiento:** realiza el procesamiento de datos para generar la representación tridimensional coherente, utilizando algoritmos especializados adaptados a las características de los sensores utilizados.
3. **Visualizador 3D:** presenta de manera gráfica la información topográfica en forma de nube de puntos 3D, de esta manera, facilita la interacción con la representación visual y permite realizar ajustes en tiempo real.
4. **Interfaz de usuario:** proporciona una interfaz intuitiva para que los usuarios interactúen con el sistema. Permite la configuración de parámetros, la visualización de datos y la gestión de la captura de información topográfica.

2.3 Interfaces

La interfaz de usuario (IU) desempeña un papel crucial en el prototipo de captura de información topográfica, facilitando la interacción entre los usuarios y el sistema. A continuación, se describen los elementos clave de la interfaz:

1. **Panel de control:** proporciona controles intuitivos para iniciar y detener la captura de datos topográficos, lo que permite configurar parámetros específicos del proceso de captura.
2. **Visualización en tiempo real:** muestra una representación en tiempo real de la nube de puntos 3D generada a partir de los datos capturados, de esta manera facilita la observación y la evaluación continua de la topografía en el entorno.
3. **Configuración de sensores:** permite a los usuarios ajustar la configuración de los sensores, como la frecuencia de muestreo y los modos de operación, por lo anterior, proporciona opciones para habilitar o deshabilitar sensores específicos según las necesidades.
4. **Registro de actividades:** muestra un registro detallado de las actividades del sistema, incluidos eventos de captura, procesamiento y cualquier mensaje de error. Facilita la trazabilidad y el diagnóstico de problemas.
5. **Interacción 3D:** permite a los usuarios interactuar directamente con la representación 3D, como acercar, alejar y rotar la vista. Facilita la exploración detallada de la topografía capturada.
6. **Indicadores de estado:** muestra indicadores visuales del estado del sistema, como la disponibilidad de los sensores, el progreso del procesamiento y la conexión con dispositivos externos.

3 Diseño Detallado

3.1 Capa de Aplicación

3.1.1 AplicacionProcesamientoDatos

Entradas:

- `rawDataLidar` (array): Datos crudos del sensor Lidar.
- `rawDataGNSS` (array): Datos crudos del sensor GNSS.
- `rawDataCamera` (matriz): Datos crudos de la cámara RGBD.

Salidas:

- `pointCloud3D` (nube de puntos 3D): Resultado del procesamiento de datos.

Acciones:

- Procesar `rawDataLidar`, `rawDataGNSS`, y `rawDataCamera` para generar la `pointCloud3D`.

3.1.2 AplicacionVisualizacion

Entradas:

- `pointCloud3D` (nube de puntos 3D): Datos para la visualización.

Salidas:

- Visualización gráfica de la información topográfica.

Acciones:

- Presentar gráficamente la `pointCloud3D`.

3.1.3 AplicacionInterfazUsuario

Entradas:

- `userCommands` (comandos): Comandos del usuario.
- `configData` (configuración): Datos de configuración.

Salidas:

- `userInformation` (información): Información relevante para el usuario.

Acciones:

- Permitir la interacción con el usuario a través de `userCommands`.
- Configurar parámetros según `configData`.

3.1.4 AplicacionDeteccionObjetos

Entradas:

- `pointCloud3D` (nube de puntos 3D): Datos para la detección.

Salidas:

- `objectDetectionInfo` (información): Información de detección de objetos.

Acciones:

- Implementar algoritmos de detección de objetos en la `pointCloud3D`.

3.1.5 AplicacionDeteccionTemperatura

Entradas:

- Lecturas de sensores de temperatura (`temperatureSensors`).

Salidas:

- Información sobre la temperatura detectada.

Acciones:

- Procesar las lecturas de los sensores de temperatura para determinar la temperatura actual y generar información de salida correspondiente.

3.1.6 AplicacionAlmacenamientoDatos

Entradas:

- Datos de la nube de puntos 3D (`pointCloud3D`).
- Información de detección de objetos (`objectDetectionInfo`).
- Datos de temperatura (`temperatureData`).

Salidas:

- Almacenamiento de datos para posteriores análisis o visualización.

Acciones:

- Organizar y almacenar los datos proporcionados por las capas anteriores en un formato adecuado para su posterior uso.