ANTEPROYECTO



FABRICIO SOTO BETANCOURT

DANIEL CARLOSAMA MARTINEZ

MIGUEL ANGEL MENDEZ RODRIGUEZ

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE OCCIDENTE

CALI,VALLE DEL CAUCA

2024

| **CUERPO DEL ANTEPROYECTO** | |
| --- | --- |
| **Introducción** | La acumulación de residuos en espacios públicos es un problema creciente que afecta no solo la estética de nuestras ciudades, sino también la salud pública y el medio ambiente. A medida que las poblaciones urbanas continúan expandiéndose, la capacidad de los servicios municipales para mantener limpias estas áreas se ve cada vez más desafiada. Tradicionalmente, la limpieza de estos espacios ha dependido de la intervención humana, lo que a menudo resulta en esfuerzos ineficientes y costosos, especialmente en áreas de difícil acceso o de alta concurrencia.  En este contexto, la automatización y la robótica emergen como soluciones prometedoras para mejorar la eficacia y la sostenibilidad de las labores de limpieza en espacios públicos. La implementación de robots móviles equipados con cámaras y sensores para monitorear y recoger basura no solo podría aliviar la carga sobre los trabajadores municipales, sino también garantizar un mantenimiento constante y efectivo, incluso en áreas menos frecuentadas o difíciles de alcanzar.  Este proyecto se centra en el diseño y desarrollo de un autónomo móvil capaz de realizar tareas de monitoreo y limpieza de basura en espacios públicos. La relevancia de esta investigación radica en su potencial para contribuir al campo de la robótica aplicada a servicios urbanos, promoviendo así entornos más limpios y saludables para la sociedad. Además, al abordar los desafíos actuales de la limpieza urbana con una solución tecnológica innovadora, se espera avanzar en la integración de robots en la gestión de servicios públicos, sentando las bases para futuras aplicaciones en este ámbito. |
| **Palabras Claves** | Autonomous robots,Environmental monitoring,Waste management,Computer vision,Public spaces |
| **Planteamiento del problema** | La acumulación de residuos en espacios públicos se ha convertido en un desafío crítico para las ciudades modernas, afectando la salud pública y deteriorando el medio ambiente. A pesar de los esfuerzos de las autoridades locales, la limpieza manual es insuficiente para abordar la magnitud del problema, especialmente en áreas de difícil acceso y alta concurrencia.  La falta de soluciones eficientes para el monitoreo y la recolección de basura plantea interrogantes sobre la efectividad de los métodos actuales. ¿Cómo pueden los avances en robótica y tecnología mejorar la gestión de residuos en entornos urbanos? ¿De qué manera un robot autónomo equipado con sensores y cámaras puede optimizar la recolección de basura y el monitoreo de espacios públicos?  Este proyecto tiene como objetivo investigar la viabilidad y el impacto de implementar un robot móvil para la limpieza y monitoreo de basura en espacios públicos, explorando soluciones innovadoras que mejoren la eficiencia y sostenibilidad de la gestión de residuos.  **Pregunta de investigación**: **¿Cómo puede un robot autónomo equipado con sensores y cámaras mejorar la eficiencia en la recolección y monitoreo de basura en espacios públicos, optimizando la gestión de residuos urbanos?** |
| **Justificación** | La creciente acumulación de basura en espacios públicos no solo afecta la estética de nuestras ciudades, sino que también representa un riesgo significativo para la salud pública y el medio ambiente. A pesar de los esfuerzos continuos de las autoridades municipales, los métodos tradicionales de recolección de residuos se han mostrado ineficientes y costosos, especialmente en áreas de difícil acceso y en lugares con alta concurrencia. Esto subraya la necesidad urgente de explorar soluciones innovadoras y sostenibles que puedan abordar el problema de manera más efectiva.  El desarrollo de un robot móvil equipado con sensores y cámaras para el monitoreo y la limpieza de basura en espacios públicos representa una oportunidad para transformar la gestión de residuos urbanos. Este proyecto no solo busca mejorar la eficiencia en la recolección de basura, sino también reducir los costos asociados y minimizar la dependencia de la intervención humana. Además, la implementación de esta tecnología podría liberar recursos para ser utilizados en otras áreas críticas de la gestión urbana, promoviendo así ciudades más limpias, seguras y sostenibles.  La investigación en este campo también es crucial para llenar las lagunas existentes en el conocimiento sobre la aplicación de robótica avanzada en la gestión de residuos. Aunque ya se han realizado estudios sobre robots autónomos, pocos han abordado su uso específico en la recolección y monitoreo de basura en entornos urbanos. Este proyecto pretende contribuir a la expansión del conocimiento en esta área, ofreciendo nuevas perspectivas y soluciones que podrían ser replicadas en otras ciudades y contextos alrededor del mundo. |
| **Objetivos** | **Objetivo General**:  Desarrollar un robotmóvil equipado con sensores y cámaras para mejorar la eficiencia en la recolección y monitoreo de basura en espacios públicos, optimizando la gestión de residuos urbanos y promoviendo un entorno más limpio y sostenible.  **Objetivos específicos**:  **1.**Diseñar y construir un prototipo de robot móvil que integre sensores y cámaras capaces de detectar y recoger residuos en distintos tipos de espacios públicos.  **2.**Implementar y ajustar los algoritmos de navegación y procesamiento de imágenes que permitan al robot moverse de manera autónoma y eficiente, identificando áreas con basura acumulada.  **3.**Evaluar el rendimiento del robot en diferentes entornos urbanos, midiendo su capacidad para detectar, recoger y almacenar basura de manera efectiva, comparándolo con métodos tradicionales de limpieza.  **4.**Analizar el impacto económico y ambiental del uso del robot autónomo en la gestión de residuos, determinando su viabilidad y potencial de escalabilidad en otros contextos urbanos.  **5.**Desarrollar recomendaciones y directrices para la implementación a gran escala de robots autónomos en la limpieza urbana, basadas en los resultados obtenidos durante el proyecto. |
| **Marco teórico y estado del arte** | **Robots Autónomos en Espacios Públicos** El uso de robots para la vigilancia y mantenimiento de espacios públicos se ha incrementado, con aplicaciones que van desde la seguridad hasta la limpieza. Proyectos recientes han demostrado la viabilidad de estos sistemas en la detección de objetos y personas, el mapeo de entornos complejos y la realización de tareas específicas como la recolección de basura.  Un estudio notable es el de **Zhang et al. (2021)**, que presentó un robot autónomo para patrullaje en áreas públicas utilizando un sistema de navegación basado en LIDAR. El robot es capaz de mapear su entorno en tiempo real, evitando obstáculos y realizando tareas de monitoreo de manera eficiente . **Tecnología LIDAR para Mapeo y Navegación** Los sensores LIDAR son fundamentales en la robótica móvil, proporcionando datos precisos sobre la distancia y la forma de los objetos en el entorno del robot. Estos sensores permiten a los robots construir mapas 3D de su entorno, lo cual es esencial para la navegación autónoma.  El trabajo de **González-Jiménez et al. (2018)** exploró el uso de LIDAR para la navegación autónoma en robots de servicio, demostrando cómo el mapeo preciso del entorno permite a los robots operar de manera segura y eficiente en espacios compartidos con humanos . La integración de LIDAR con cámaras de profundidad como la OBBEC añade una capa adicional de precisión, mejorando la capacidad del robot para identificar y diferenciar objetos en su entorno.  **Cámaras de Profundidad para Reconocimiento de Basura**  Las cámaras de profundidad, como las OBBEC, son utilizadas para capturar imágenes en 3D, lo que permite a los robots no solo detectar objetos, sino también comprender su forma y volumen. Esta tecnología es particularmente útil en la tarea de reconocimiento de basura, donde el robot debe identificar y clasificar diferentes tipos de residuos para su recolección.  **Park et al. (2020)** presentaron un sistema de recolección de basura autónomo que utiliza cámaras de profundidad para identificar y clasificar desechos en entornos urbanos. El sistema combina la visión por computadora con algoritmos de aprendizaje automático para mejorar la precisión en la detección y clasificación de basura . **Proyectos Similares** Varias iniciativas han abordado el desarrollo de robots autónomos para la limpieza y patrullaje de espacios públicos. Un ejemplo es el proyecto **"DustBot"**, que desarrolló robots para la recolección de basura en entornos urbanos, utilizando tecnologías de navegación avanzada y reconocimiento de objetos . Aunque no específicamente equipado con cámaras OBBEC, este proyecto proporciona una base sólida para la integración de tecnologías adicionales como LIDAR y cámaras de profundidad.  Otro proyecto relevante es **"Garbage Detection Robot"**, que utiliza una combinación de LIDAR y cámaras para mapear el entorno y detectar residuos. Este robot ha sido implementado en parques públicos para mantener áreas limpias y seguras, demostrando la efectividad de la integración de estas tecnologías . **Navegación Autónoma en Robótica** La navegación autónoma es una de las áreas fundamentales en la robótica, donde un robot es capaz de moverse de manera independiente en un entorno sin intervención humana. Los principios teóricos detrás de la navegación autónoma se basan en algoritmos de planificación de rutas, localización y mapeo simultáneos (SLAM), y evitación de obstáculos.   * **Planificación de Rutas**: Se refiere al proceso de determinar una trayectoria óptima desde un punto inicial hasta un destino final, evitando obstáculos en el camino. Los algoritmos como A\* y Dijkstra son ampliamente utilizados en robótica para resolver problemas de planificación de rutas. * **Localización y Mapeo Simultáneos (SLAM)**: SLAM es un marco teórico que permite a un robot construir un mapa de un entorno desconocido mientras se localiza simultáneamente dentro de ese mapa. SLAM es crucial en entornos dinámicos y no estructurados, como los espacios públicos, donde el robot debe adaptarse a cambios continuos. * **Evitación de Obstáculos**: Los robots autónomos utilizan sensores, como LIDAR, para detectar y evitar obstáculos en su camino. Este proceso se basa en la teoría del campo potencial y algoritmos de evasión reactiva, donde el robot ajusta su trayectoria en tiempo real para evitar colisiones.}  **Percepción del Entorno Mediante LIDAR y Cámaras de Profundidad** La percepción del entorno es esencial para la autonomía de un robot. Los sensores LIDAR y las cámaras de profundidad como OBBEC permiten al robot captar información tridimensional del entorno, facilitando el mapeo preciso y la detección de objetos.   * **LIDAR (Light Detection and Ranging)**: LIDAR es un sensor que mide la distancia a objetos mediante el uso de láseres pulsados. Se basa en la teoría de la dispersión de la luz y es ampliamente utilizado en robótica para crear mapas tridimensionales del entorno. LIDAR ofrece alta precisión en la detección de distancias y formas, lo que es crucial para la navegación y el mapeo. * **Cámaras de Profundidad (Depth Cameras)**: Las cámaras de profundidad, como las OBBEC, capturan información tridimensional al medir la distancia desde la cámara a cada punto del entorno. Este tipo de cámaras es fundamental para el reconocimiento de objetos y para diferenciar entre diversos tipos de basura en el contexto de este proyecto. Se basan en principios de estereovisión y medición de tiempo de vuelo (ToF), proporcionando datos valiosos para la segmentación y clasificación de objetos.  **Reconocimiento de Objetos y Clasificación de Residuos** El reconocimiento de objetos es un componente clave para que el robot pueda identificar y clasificar la basura en espacios públicos. Este proceso se basa en técnicas de visión por computadora y aprendizaje automático.   * **Visión por Computadora (Computer Vision)**: La visión por computadora es un campo que permite a las máquinas interpretar y comprender el mundo visual a través de imágenes y videos. En el contexto de los robots autónomos, la visión por computadora es utilizada para la detección y clasificación de objetos, como la basura. Algoritmos de detección de bordes, segmentación de imágenes y reconocimiento de patrones son fundamentales en este proceso. * **Aprendizaje Automático (Machine Learning)**: Para mejorar la precisión en el reconocimiento de basura, se utilizan modelos de aprendizaje automático, como redes neuronales convolucionales (CNN), que pueden aprender a partir de grandes volúmenes de datos etiquetados para reconocer diferentes tipos de residuos. Estos modelos son entrenados para identificar y diferenciar entre botellas, papeles, plásticos, y otros tipos de basura, y luego tomar decisiones sobre su recolección.  **Integración de Sistemas Multisensoriales** La integración de múltiples sensores, como LIDAR y cámaras de profundidad, es crucial para proporcionar una percepción completa y precisa del entorno. La fusión de sensores permite al robot combinar la información de diferentes fuentes para mejorar la exactitud en el mapeo, la detección de obstáculos y el reconocimiento de basura.   * **Fusión de Sensores (Sensor Fusion)**: La fusión de sensores es un proceso teórico y práctico en el que se combinan datos de diferentes sensores para obtener una representación más precisa del entorno. Esto es particularmente importante en entornos no estructurados, donde un solo sensor podría no ser suficiente para captar todas las características relevantes del entorno. Los algoritmos de fusión de sensores, como el filtro de Kalman extendido (EKF), son ampliamente utilizados para combinar datos de LIDAR y cámaras de profundidad.   **Términos clave:**  **ROS 2 (Robot Operating System 2)**: Plataforma de software para desarrollar aplicaciones robóticas, facilitando la comunicación entre sensores, actuadores y nodos.  **Nodo**: Componente de ROS 2 que ejecuta una tarea específica, como leer datos de un sensor o controlar motores.  **Publicador/Suscriptor**: Mecanismo de comunicación en ROS 2 donde los nodos envían (publicador) o reciben (suscriptor) datos a través de tópicos.  **Tópico**: Canal de comunicación en ROS 2 donde los nodos intercambian mensajes de un tipo específico.  **Servicio**: Comunicación síncrona en ROS 2 que permite a un nodo enviar una solicitud y recibir una respuesta.  **Acción**: Tarea que requiere un tiempo prolongado para completarse en ROS 2, con posibilidad de seguimiento o cancelación.  **Simulación**: Uso de herramientas virtuales en ROS 2, cómo Gazebo, para probar y depurar el comportamiento del robot.  **LIDAR**: Sensor que mide distancias usando pulsos láser, generando un mapa 3D del entorno.  **Cámara OBBEC**: Cámara de profundidad que captura imágenes en 3D, útil para reconocer objetos y medir distancias.  **Fusión de Sensores**: Combinación de datos de múltiples sensores en ROS 2 para obtener una percepción más precisa del entorno. |
| **Requerimientos** | **Requerimientos Funcionales**  * RF1: Mapeo del Entorno   + Descripción: El robot debe ser capaz de generar un mapa del área utilizando un sensor LIDAR.   + Justificación: Permitir una navegación eficiente y la planificación de rutas. * RF2: Reconocimiento de Basura   + Descripción: El robot debe utilizar la cámara OBEC para identificar objetos que son basura.   + Justificación: Asegurar que el robot solo recoja los desechos y no otros objetos. * RF3: Movimiento Autónomo   + Descripción: El robot debe moverse de forma autónoma por el área mapeada.   + Justificación: Minimizar la intervención humana y mejorar la eficiencia del proceso de limpieza. * RF4: Recogida de Basura   + Descripción: El robot debe ser capaz de recoger y almacenar basura en un contenedor.   + Justificación: Facilitar la limpieza de las calles al eliminar efectivamente los desechos. * RF5: Reporte de Estado   + Descripción: El sistema debe proporcionar información en tiempo real sobre el estado del robot y la cantidad de basura recogida.   + Justificación: Permitir el monitoreo y mantenimiento proactivo del robot.  **2. Requerimientos No Funcionales**  * RNF1: Rendimiento   + Descripción: El robot debe ser capaz de limpiar un área de 500 m² en menos de 1 hora.   + Justificación: Asegurar que el robot sea eficiente y cumpla con las expectativas de tiempo. * RNF2: Seguridad   + Descripción: El robot debe operar de manera segura en áreas públicas, evitando colisiones con personas y obstáculos.   + Justificación: Proteger a los ciudadanos y al entorno del robot. * RNF3: Confiabilidad   + Descripción: El robot debe tener una tasa de fallo inferior al 5% durante el ciclo de limpieza.   + Justificación: Garantizar que el robot opere de manera consistente y efectiva. * RNF4: Mantenibilidad   + Descripción: El sistema debe ser fácil de mantener y actualizar.   + Justificación: Facilitar el soporte técnico y la evolución del producto a lo largo del tiempo. * RNF5: Usabilidad   + Descripción: La interfaz de usuario para el monitoreo del robot debe ser intuitiva y fácil de usar.   + Justificación: Mejorar la experiencia del operador y minimizar la capacitación requerida.  **3. Requerimientos de Diseño**  * RD1: Arquitectura Modular   + Descripción: El sistema debe estar diseñado de manera modular, permitiendo la integración de nuevos sensores y capacidades en el futuro.   + Justificación: Facilitar futuras ampliaciones y mejoras del sistema. * RD2: Interfaz de Comunicación   + Descripción: El sistema debe incluir protocolos de comunicación para interactuar con otras herramientas de gestión de residuos.   + Justificación: Permitir la integración con infraestructuras existentes y optimizar el proceso de gestión de residuos.  **4. Requerimientos del Usuario**  * RU1: Facilidad de Uso   + Descripción: Los operadores deben poder iniciar y detener el robot con un solo botón.   + Justificación: Aumentar la accesibilidad y facilidad de operación. * RU2: Información Visual   + Descripción: Los usuarios deben poder visualizar el mapa generado y la ubicación del robot en tiempo real.   + Justificación: Mejorar el control y la supervisión del robot durante su operación. |
| **Diagrama conceptual** |  |
| **Diagrama de secuencia** |  |
| **Diagrama de clases** |  |
| **Cronograma de actividades** | | Objetivo específico | Actividad | Semestre académico en semanas | | | | | | | | | | | | | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | | Diseñar y construir un prototipo de robot autónomo que integre sensores y cámaras capaces de detectar y recoger residuos en distintos tipos de espacios públicos. | Investigación de componentes y diseño inicial |  |  |  | Primer parcial |  |  |  |  | Segundo parcial |  |  |  | | Adquisición de materiales y construcción del prototipo |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | | Integración de sensores y cámaras |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | | Implementar y ajustar los algoritmos de navegación y procesamiento de imágenes que permitan al robot moverse de manera autónoma y eficiente, identificando áreas con basura acumulada. | Desarrollo de algoritmos de navegación (Semana 5-7) |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | | Implementación de procesamiento de imágenes (Semana 8-9) |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | | Integración de algoritmos con el hardware del robot (Semana 10-11) |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | | Evaluar el rendimiento del robot en diferentes entornos urbanos, midiendo su capacidad para detectar, recoger y almacenar basura de manera efectiva, comparándolo con métodos tradicionales de limpieza. | Selección de entornos urbanos para pruebas (Semana 9-10) |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | | Ejecución de pruebas de campo en entornos seleccionados (Semana 11-13) |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | | Recopilación y análisis de datos de rendimiento (Semana 13-14) |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | | Analizar el impacto económico y ambiental del uso del robot autónomo en la gestión de residuos, determinando su viabilidad y potencial de escalabilidad en otros contextos urbanos. | Análisis de costos de implementación (Semana 12-13) |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | | Evaluación del impacto ambiental y eficiencia en la recolección de residuos (Semana 13-14) |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | | Redacción de informe final y recomendaciones para la escalabilidad (Semana 14) |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | |
| **Referencias bibliográficas** | **Zhang, X., Li, Y., & Wang, S. (2021). Autonomous Robot for Public Area Patrol Using LIDAR-Based Navigation. *Journal of Robotics and Automation*, 25(4), 345-359.**  **González-Jiménez, J., Zlot, R., & Nebot, E. (2018). LIDAR-Based Navigation for Autonomous Service Robots. *IEEE Transactions on Robotics*, 34(3), 583-595.**  **Park, H., Kim, J., & Lee, D. (2020). Autonomous Garbage Collection System Using Depth Cameras and Machine Learning. *Automation in Urban Maintenance*, 10(2), 122-135.**  **"DustBot: Autonomous Urban Robots for Garbage Collection," (2019). Available at:** [**DustBot Project Website**](http://www.dustbot.org)**.**  **"Garbage Detection Robot," (2020). *International Journal of Environmental Robotics*, 8(1), 34-45.**  **Thrun, S., Burgard, W., & Fox, D. (2005). *Probabilistic Robotics*. MIT Press.**  **LaValle, S. M. (2006). *Planning Algorithms*. Cambridge University Press.**  **González-Jiménez, J., Zlot, R., & Nebot, E. (2018). LIDAR-Based Navigation for Autonomous Service Robots. *IEEE Transactions on Robotics*, 34(3), 583-595.**  **Zhang, X., Li, Y., & Wang, S. (2021). Autonomous Robot for Public Area Patrol Using LIDAR-Based Navigation. *Journal of Robotics and Automation*, 25(4), 345-359.**  **Goodfellow, I., Bengio, Y., & Courville, A. (2016). *Deep Learning*. MIT Press.**  **Szeliski, R. (2010). *Computer Vision: Algorithms and Applications*. Springer.**  **Khaleghi, B., Khamis, A., Karray, F. O., & Razavi, S. N. (2013). Multisensor data fusion: A review of the state-of-the-art. *Information Fusion*, 14(1), 28-44.**  **Durrant-Whyte, H., & Henderson, T. (2008). Multisensor data fusion. In *Springer Handbook of Robotics* (pp. 585-610). Springer, Berlin, Heidelberg.** |