



Smart Autonomous Retail Assistant – SARA

Presentado por

DAVID CAPACHO PARRA

Descripción del programa



Descripción General

El Sistema de *Smart Autonomous Retail Assistant* (SARA) es una solución de navegación diseñada para mejorar la experiencia de compra en entornos comerciales. SARA tiene el propósito de guiar a los clientes hacia los productos deseados dentro de una tienda o supermercado, optimizando rutas y evitando obstáculos de forma autónoma.

Esta solución integra múltiples componentes tecnológicos:

- **Navegación autónoma:** Implementa el stack Nav2 de ROS 2 para planificación y ejecución de rutas.
- **Localización precisa:** Utiliza AMCL (Adaptive Monte Carlo Localization) y EKF (Extended Kalman Filter) para fusión de datos de odometría y localización para una ubicación más fluida y precisa.
- **Multiplexación de tópicos:** Sistema avanzado de priorización de comandos de movimiento para diferentes escenarios.
- **Interfaz gráfica de usuario (GUI):** Diseñada con CustomTkinter para ofrecer una experiencia visual intuitiva y responsiva.
- **Evasión de obstáculos reactiva:** Se implementa un algoritmo que detecta y evita obstáculos en tiempo real con prioridad sobre otros comandos.
- **Gestión de base de datos:** Almacena ubicaciones de productos en SQLite y permite su fácil actualización mediante interacción directa con la ubicación actual del robot.

El sistema opera tanto en entornos simulados (mediante Gazebo) como en hardware real utilizando Raspberry Pi 4B, sensores LiDAR, y motores de tracción en un robot con una configuración de locomoción diferencial.

Componentes Principales:

1. Multiplexor de tópicos

El sistema implementa un multiplexor de tópicos de velocidad que permite la alternancia fluida entre diferentes modos de control:

2. Algoritmo de Optimización de Rutas

SARA implementa un algoritmo híbrido para calcular la ruta óptima entre productos:

1. Aplicación inicial del algoritmo del vecino más cercano
2. Refinamiento mediante optimización 2-opt
3. Punto final fijo (caja registradora)

Esta combinación permite generar rutas eficientes incluso con múltiples paradas, reduciendo el tiempo total de compra.

3. Sistema de Evasión de Obstáculos



El módulo de evasión implementa un algoritmo reactivo que:

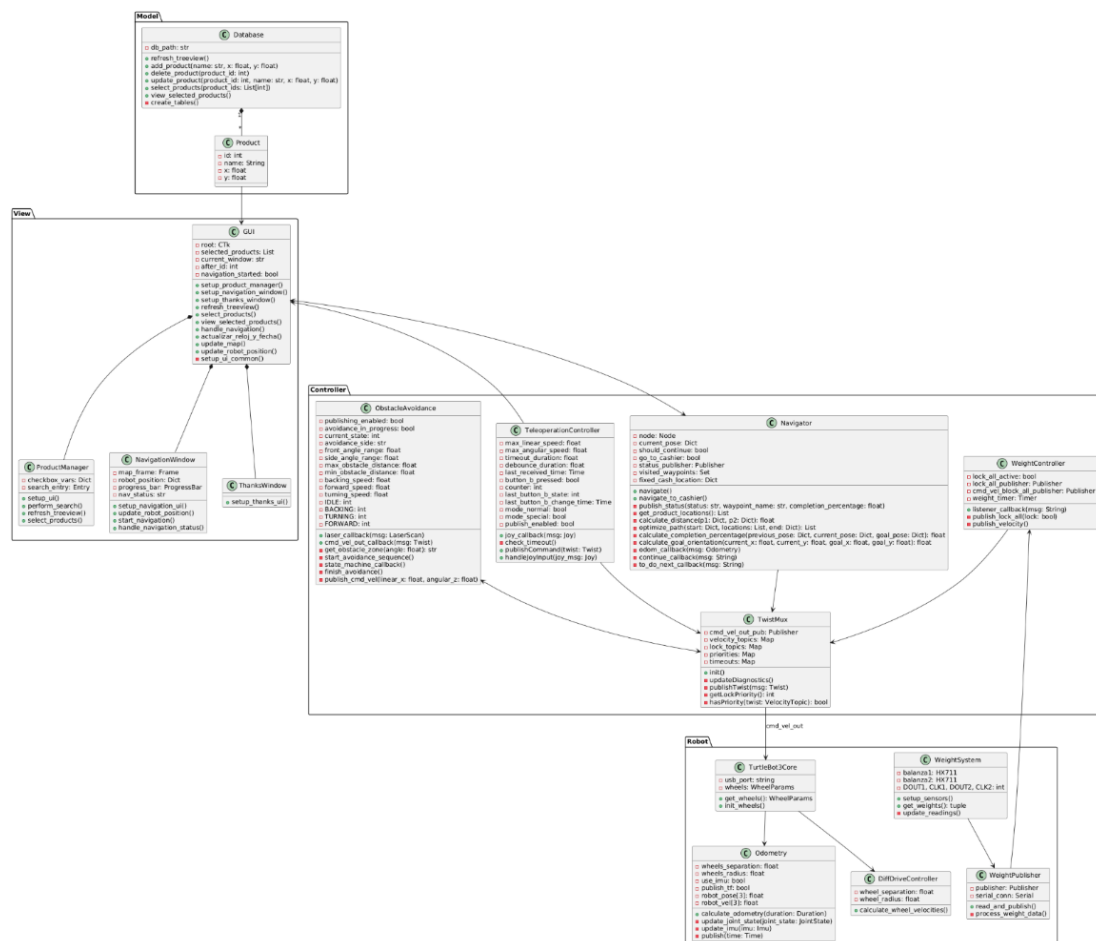
1. Divide el espacio en zonas de detección (frontal, laterales, trasera)
2. Implementa una máquina de estados para maniobras de evasión
3. Se activa automáticamente cuando se detectan obstáculos en la trayectoria

4. Interfaz de Usuario (GUI)

La interfaz de SARA está diseñada con CustomTkinter para ofrecer una experiencia visual moderna e intuitiva:

1. **Panel de selección de productos:** Permite buscar y seleccionar productos disponibles en la tienda.
2. **Visualización del mapa:** Muestra la posición actual, los productos seleccionados y la ruta optimizada.
3. **Indicadores de progreso:** Muestran el estado de la navegación y el porcentaje de completado.

El sistema general se describe mediante el siguiente diagrama de clases:





Áreas de Aplicación

SARA está diseñado principalmente para entornos de tiendas minoristas, pero su arquitectura modular permite adaptaciones a diversos escenarios:

1. **Supermercados y tiendas grandes:** Guía de compras y asistencia para localización de productos.
2. **Centros comerciales:** Orientación para visitantes hacia tiendas específicas.
3. **Hospitales:** Asistencia a pacientes y visitantes para localizar departamentos.
4. **Aeropuertos y estaciones:** Guía hacia puertas de embarque, andenes o servicios.
5. **Almacenes y centros de distribución:** Optimización de rutas para recolección de mercancías.

Implementación Técnica

El sistema se implementa utilizando tecnologías modernas:

- **Lenguaje de programación:** Python 3 para la lógica principal
- **Framework de robotización:** ROS2 (Robot Operating System 2)
- **Interfaz gráfica:** CustomTkinter para una UI moderna y adaptable
- **Visualización:** Matplotlib para representación de mapas y rutas
- **Base de datos:** SQLite para almacenamiento de productos y coordenadas
- **Navegación:** Stack Nav2 para planificación y seguimiento de rutas
- **Hardware soportado:** Robots con ROS2 y tracción diferencial

Se han implementado sistemas de carros inteligentes previamente por empresas multinacionales como Amazon o Instacart, pero estos no presentan las funcionalidades adicionales presentadas en SARA, esto se describe en la siguiente tabla comparativa.

Característica	SARA	Amazon Dash Cart	Caper Cart
Navegación autónoma	Completa con optimización	No disponible	No disponible
Evasión de obstáculos	Reactiva y adaptativa	No disponible	No disponible
Multiplexación de control	Prioridades dinámicas	No aplica	No disponible
Interfaz de usuario	Interfaz para pantalla táctil, para mostrar productos y guía de navegación	Pantalla táctil para mostrar artículos y totales	Pantalla táctil con mapa interactivo
Optimización de rutas	Algoritmos avanzados	No disponible	Mapa en tiempo real para localizar productos de forma manual
Control híbrido	Autónomo y tele operado	No disponible	No disponible
Sistema abierto	Extensible (ROS 2)	Propietario	Propietario