

Robots en Almacén

Kevin Garcia Sotelo, Ricardo Chapa Pérez, Rodrigo Gonzalez Treviño, Adrian Alejandro Galvan Salgado, Rogelio Marcelo Garza Carillo

Equipo 6, TC2008B.302

Tecnológico de Monterrey,

Monterrey 64700, Mexico,

E-mails: {A01198951, A01722755, A00837024, A01285442, A01722763}@tec.mx

Resumen—Este proyecto simula un sistema logístico interno en un almacén utilizando robots LGV para optimizar el transporte de pallets. La solución, desarrollada en Unity y MESA, coordina eficazmente a los robots, logrando métricas clave de eficiencia, como la utilización óptima de la flota y la reducción de tiempos de espera de los pallets.

Index Terms—Multiagentes, Modelado Gráfico, Simulación, Unity, Sistemas Multiagentes.

I. INTRODUCCIÓN

El equipo tiene la tarea de desarrollar una simulación para un sistema de intralogística automatizado en un almacén abandonado. La compañía propietaria de este almacén busca optimizar el manejo de paquetes mediante el uso de vehículos guiados por láser (LGV) que transportan pallets de productos entre diferentes estaciones dentro de la planta. El almacén tiene racks selectivos y racks de flujo por gravedad, con una entrada única para los pallets y tres racks de salida. La tarea principal es coordinar los robots para que transporten pallets de manera eficiente entre las estaciones de entrada y salida, teniendo en cuenta las limitaciones de espacio y batería de los robots, así como las restricciones del almacén.

I-A Contexto y Problema

La empresa busca aprovechar un espacio de almacén en sus instalaciones para la gestión de paquetes mediante un sistema automatizado de intralogística. Este espacio incluye racks selectivos y sistemas de flujo por gravedad para el almacenamiento y despacho de pallets. Para mover los pallets, se utilizarán vehículos guiados por láser (LGVs) que pueden realizar maniobras en cualquier

dirección gracias a sus ruedas omnidireccionales. El sistema debe optimizar el flujo de materiales desde un punto de entrada hacia los racks y de los racks a los puntos de salida (sistemas de flujo por gravedad). El desafío principal es gestionar las operaciones de los LGVs, evitando colisiones o bloqueos en el flujo de trabajo. Todo esto debe modelarse en Unity y usando mesa para emular a los agentes.

El problema de la gestión de LGVs en un almacén automatizado se alinea con investigaciones en áreas como:

- **Vehicle Routing Problem (VRP):** Se refiere a la optimización de rutas que los vehículos deben seguir para entregar y recoger pallets de manera eficiente.
- **Job-shop Scheduling Problem:** Asignación de recursos (LGVs) a tareas de forma óptima para maximizar la productividad.
- **Algoritmos de Navegación Autónoma:** Como A* y Dijkstra para la planificación de rutas.

El objetivo es diseñar un sistema que simule el manejo de paquetes con múltiples LGVs, logrando eficiencia en la operación y evitando interrupciones debido a colisiones o falta de energía.

I-B Objetivos Generales

A continuación se presentan los objetivos generales del proyecto:

- Diseñar un sistema multiagente que permita el transporte eficiente de pallets entre áreas de almacenamiento y racks de salida.
- Implementar una simulación 3D en Unity que permita visualizar y analizar el comportamiento de los

agentes en tiempo real.

I-C Restricciones

El sistema debe operar bajo las siguientes restricciones:

- Capacidad limitada de los racks: tres pallets por nivel.
- Un único punto de entrada de pallets y tres racks de salida de gravedad.
- Solo se permite un movimiento de pallet a la vez por robot.
- Los robots no pueden realizar misiones de carga con un nivel de batería inferior al 50%.

I-D Resumen de la solución de propuesta

La solución propuesta es un sistema automatizado de intralogística en un almacén abandonado, donde robots LGV (Laser-Guided Vehicles) manipulan pallets de manera eficiente. El sistema gestiona racks selectivos y racks de gravedad, con flujos de pallets definidos para almacenamiento y envío. Los robots, que se mueven omnidireccionalmente, colaboran entre sí para evitar colisiones y optimizar rutas de transporte. El sistema también incluye una gestión de batería que recarga los robots cuando su carga baja del 70%, garantizando su funcionamiento continuo.

Se implementa un algoritmo de planificación de rutas para que los robots elijan el camino más eficiente y minimizar tiempos de inactividad. Además, se recopilan métricas como la utilización de la flota, el número de pallets entregados y el consumo energético. Todo esto se visualiza en 3D, lo que permite mejorar el rendimiento del sistema y ajustar la distribución del almacén en tiempo real. En conjunto, la solución busca optimizar la operación del almacén y garantizar una mayor eficiencia en el manejo de los pallets.

II. FUNDAMENTOS

En este proyecto, se emplearon diversos fundamentos teóricos y metodológicos clave para diseñar y simular un sistema automatizado de intralogística en un almacén.

II-A Ecuación de Bellman

La ecuación de Bellman, dada por

$$Q(s, a) = r(s, a) + \gamma \sum_{s'} P(s'|s, a) \max_{a'} Q(s', a'), \quad (1)$$

La ecuación de Bellman expresa el valor esperado de tomar una acción a en un estado s , seguida de la mejor política posible en los estados futuros. En esta ecuación, $r(s, a)$ representa la recompensa inmediata al realizar la acción a en el estado s , γ es el factor de descuento que pondera las recompensas futuras, $P(s'|s, a)$ es la probabilidad de transición del estado s al estado s' dado que se toma la acción a , y $\max_{a'} Q(s', a')$ es el valor máximo futuro esperado del mejor valor de acción Q posible en el estado s' .

Esta ecuación es fundamental en los métodos de optimización de políticas, como Q-learning, donde se busca maximizar la suma de recompensas futuras.

II-B Sistema Multiagentes

II-C Reinforcement Learning

II-D Simulación 3D

III. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA MULTIAGENTE

III-A Modelo de los Agentes

En la simulación de un sistema automatizado de intralogística con LGVs, es fundamental definir los agentes que interactúan en el entorno, así como sus características y relaciones. A continuación, se describe el listado detallado de los agentes.

- LGVs: Inician en posiciones aleatorias uniformemente distribuidas en la planta, con baterías completamente cargadas. En cuestión de movilidad cuentan con ruedas omnidireccionales permiten movimientos en todas las direcciones con una velocidad máxima de 1400 mm/s en línea recta. Su capacidad de carga es un pallet por viaje. Cuenta con sensores ultrasónicos y láser para evitar colisiones y detectar obstáculos. Cuando el estado de la batería baja al 70%, los LGVs deben dirigirse a una estación de carga si está disponible; abajo de

un 50% en el estado de la batería, no pueden recoger pallets y deben priorizar la carga. Se carga a una tasa del 20% cada 5 minutos y se detiene al alcanzar el 90% de carga.

- Racks: Almacenan pallets, con capacidad de tres paquetes por nivel. Pueden comenzar con una ocupación parcial definida por un valor k (incluso $k=0$). Cada operación de recogida o entrega tarda 60 segundos. Los LGVs realizan operaciones de entrega y recogida de pallets y colaboran para evitar congestiones.
- Sistema de Carga de Batería: Dos estaciones de carga disponibles inicialmente (con posibilidad de expansión).Carga al 20% cada 5 minutos. Los LGVs se dirigen a estas estaciones cuando el SoC es inferior al 70% y prioriza su uso si el SoC baja del 50%.

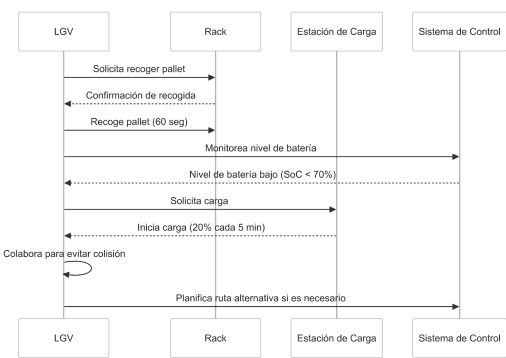


Figura 3: Diagrama de Interacción

III-B Modelo del Entorno

El entorno de simulación es parcialmente observable, ya que cada robot solo tiene acceso a la información local obtenida por sus sensores, y estocástico, dado que existen elementos aleatorios como tiempos de espera, consumo de batería y posibilidad de congestión. Además, es un entorno secuencial y dinámico, pues las acciones actuales afectan decisiones futuras, y el almacén cambia continuamente a medida que los robots se mueven, los pallets cambian de lugar y los niveles de batería varían. La simulación también es multiagente, ya que múltiples robots deben coordinarse para evitar colisiones y optimizar el flujo de trabajo.

El tiempo se maneja de forma discreta, con pasos definidos para actualizar los estados de los robots y gestionar eventos como la descarga de batería o los tiempos de carga. El espacio es continuo, permitiendo a los robots desplazarse con precisión en el almacén. Las áreas clave, como racks y estaciones de carga, están delimitadas en el mapa para que los robots puedan identificar destinos y rutas de manera eficiente, colaborando para cumplir con sus misiones de transporte.

III-C Modelo de la Negociación

III-D Modelo de la interacción

IV. DESCRIPCIÓN DEL MODELADO GRÁFICO

IV-A Escena a Modelar

La escena a modelar para esta problemática es un almacén abandonado que cuenta con racks selectivos, racks de

Diagrama de Estado:

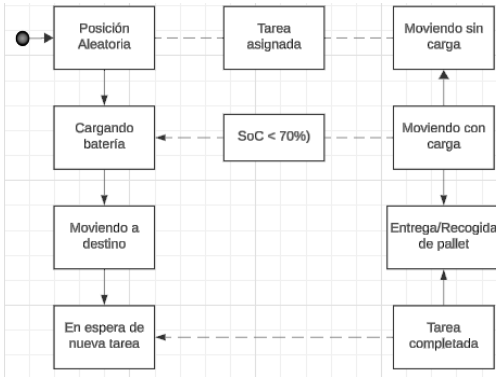


Figura 1: Diagrama de Estado

Diagrama de Clases:

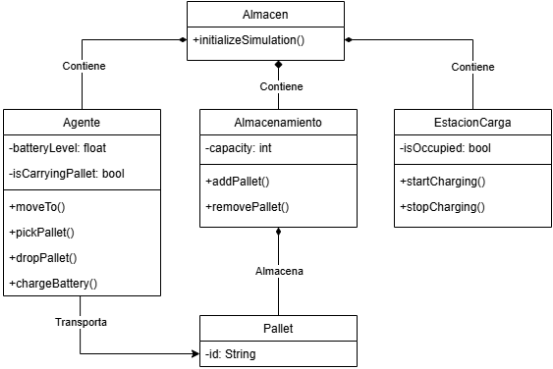


Figura 1: Diagrama de Clases

Diagrama de Interacción:

flujo por gravedad y un conveyor de entrada para el transporte de pallets. La planta debe reflejar una distribución que permita simular el movimiento de los robots LGV y las interacciones con los racks, las estaciones de carga de baterías, y los posibles obstáculos que podrían interferir en las trayectorias de los robots.

Borrador de la escena a Modelar:

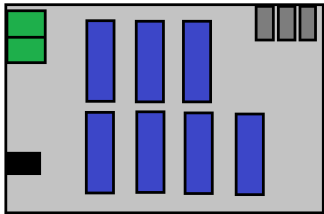


Figura 4: Borrador de la Escena

V. ALGORITMO A*

V-A Componentes Gráficos

V-B Prefabs

V-C Scripts

VI.	ADMINISTRACIÓN DEL PROYECTO
VII.	RESULTADOS
VIII.	CONCLUSIÓN
IX.	TRABAJO FUTURO
	REFERENCIAS

[1]