

Universidad Católica del Norte
Departamento de Ingeniería de Sistemas y Computación
Proyecto: Control Inteligente

1. Introducción

En esta Sección se hace una breve descripción de los conceptos y técnicas involucradas en el desarrollo del proyecto para la asignatura, luego en la Sección II se describe en detalle el proyecto a realizar y en la Sección III se describe el método de evaluación, entregas y características de estas entregas durante el proyecto.

1.1. Controlador PID

El controlador PID (*Proporcional-Integral-Derivativo*) es uno de los métodos más utilizados en ingeniería de control debido a su simplicidad y efectividad en sistemas donde es posible modelar matemáticamente la dinámica. Este controlador genera una acción de control proporcional al error actual, a la suma acumulada de errores pasados y a la tasa de cambio del error, permitiendo corregir errores presentes, eliminar errores residuales y anticipar cambios futuros. En el contexto de seguimiento de trayectoria y seguimiento de línea, el PID busca minimizar el error de posición y orientación con respecto a la referencia deseada, ajustando las velocidades o direcciones de movimiento del robot de forma continua.

1.2. Controlador Difuso

El controlador difuso (*Fuzzy Logic Controller*) representa una estrategia alternativa que no requiere un modelo matemático exacto del sistema. En lugar de utilizar relaciones algebraicas precisas, este método emplea reglas lingüísticas del tipo "SI-ENTONCES" que reflejan el conocimiento experto sobre el comportamiento deseado del sistema. Las variables de entrada y salida son tratadas mediante conjuntos difusos, lo que permite una transición suave entre diferentes acciones de control y una mejor tolerancia ante incertidumbres o no linealidades en el proceso. En los proyectos desarrollados, la lógica difusa se aplicó tanto al seguimiento de trayectoria como al seguimiento de línea, ajustando las acciones del robot en función de la magnitud y dirección del error detectado.

1.3. Seguimiento de trayectoria

El seguimiento de trayectoria en robótica móvil se refiere al problema de guiar un robot para que recorra una ruta prefijada en el espacio, minimizando los errores de posición y orientación en todo momento. Este tipo de control permite al robot seguir trayectorias complejas, como curvas o rutas dadas en función del tiempo, alcanzando puntos previstos con precisión temporal. En sistemas autónomos avanzados, como vehículos omnidireccionales, el desafío radica en gestionar la dinámica completa del robot y garantizar una respuesta rápida frente a perturbaciones o incertidumbres del ambiente.

1.4. Seguimiento de línea

el seguimiento de línea se basa en la capacidad de un robot móvil para mantenerse sobre una pista visual (usualmente una línea negra sobre fondo blanco). Los sensores detectan la desviación lateral, midiendo un error que puede variar a lo largo del recorrido. El controlador actúa ajustando la dirección o velocidad de las ruedas para corregir dicho error.

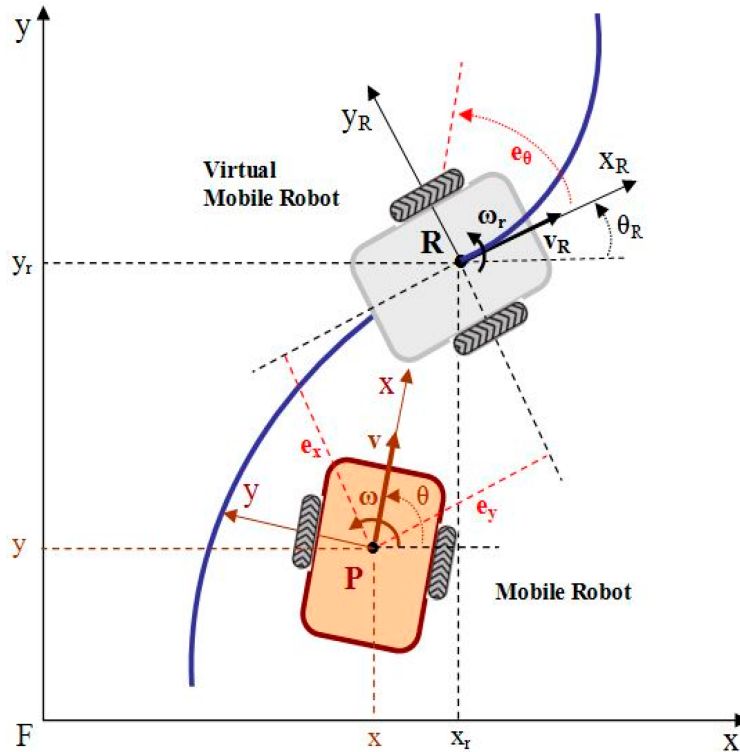


Figura 1: Seguimiento de trayectoria con un robot móvil

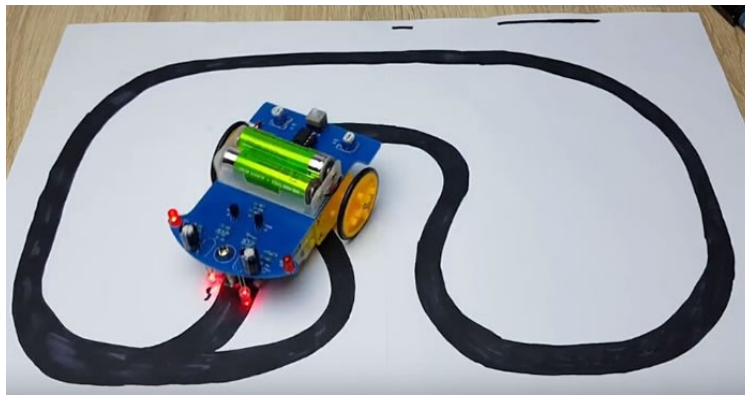


Figura 2: Seguimiento de línea de un robot móvil

2. Descripción del proyecto

El presente trabajo comprende el desarrollo de cuatro proyectos aplicados a la asignatura de Control Inteligente, enfocados en el diseño, implementación y comparación de distintos esquemas de control para un robot móvil. Los proyectos se dividen en dos grandes categorías: **seguimiento de trayectoria** y **seguimiento de línea**, abordándose en cada caso mediante dos tipos de controladores: el **clásico PID** (Proporcional-Integral-Derivativo) y el controlador basado en **lógica difusa** (Fuzzy).

- Los dos primeros proyectos tienen como objetivo el control de un robot para el **seguimiento de trayectoria**. En este caso, el sistema debe seguir una trayectoria previamente definida en el espacio, minimizando errores de posición y orientación respecto a la trayectoria deseada. Se implementa, por un lado, un controlador PID, que ajusta las señales de control en función de la magnitud y variación del error; y, por otro lado, un controlador

difuso, cuyo diseño se basa en un conjunto de reglas lingüísticas que permiten una acción de control más flexible, tolerante a incertidumbres o imprecisiones en el modelo del sistema.

- Los otros dos proyectos se centran en el **seguimiento de línea**, una tarea clásica en robótica móvil donde el robot debe desplazarse siguiendo una pista visual (línea oscura sobre superficie clara), corrigiendo continuamente su orientación para mantenerse sobre ella. Similar al caso anterior, se evalúa el desempeño de un controlador PID, que calcula la acción correctiva a partir del error lateral medido por sensores, así como un controlador difuso que, mediante inferencia lógica basada en reglas, determina la acción de control más adecuada considerando tanto el error actual como su tendencia.

El propósito global de estos proyectos es analizar comparativamente las ventajas y limitaciones de cada esquema de control en términos de precisión de seguimiento, estabilidad, capacidad de adaptación y robustez ante posibles perturbaciones o cambios en el entorno. La metodología aplicada permite evidenciar las diferencias en desempeño entre un enfoque clásico, basado en modelos matemáticos explícitos (PID), y uno inteligente, sustentado en conocimiento experto y reglas heurísticas (Fuzzy).

2.1. Resultados

Para este trabajo se toma en cuenta las siguientes tareas y consideraciones:

1. Diseño e implementación de los controladores PID y Fuzzy en Python, utilizando bibliotecas estándar como NumPy y Matplotlib, así como posibles librerías específicas para lógica difusa como scikit-fuzzy. Los controladores se programarán para generar señales de control (velocidad lineal y angular).
2. Comunicación entre Python y CoppeliaSim utilizando la API remota proporcionada por CoppeliaSim (V-REP Remote API). Se deberán considerar aspectos como la correcta inicialización de la conexión, la sincronización temporal entre el simulador y el script de control, y la gestión de posibles interrupciones de comunicación.
3. Obtención y procesamiento de las variables de estado del robot móvil desde CoppeliaSim, tales como la posición cartesiana (x, y) , el ángulo de orientación θ y la lectura de sensores infrarrojos (en el caso del seguimiento de línea).
4. Durante la fase de pruebas, se deberán realizar varias simulaciones para evaluar el desempeño de cada controlador en condiciones diversas como:
 - Para el seguidor de trayectoria se debe probar en al menos 3 tipos de trayectoria, como una trayectoria recta, circular y cuadrada. Para el seguidor de línea se debe probar con al menos 3 diferentes tipos de pistas plasmadas sobre una superficie, de manera similar puede ser una pista recta, circular y cuadrada.
 - Los resultados deben ser registrados y analizados, considerando las siguientes métricas: IAE (Integral of absolute error) (Eq. 1), ISE (Integral of square error) (Eq. 2), Suavidad de la acción de control (TVu) (Eq. 3) para todas las acciones de control.

$$IAE = T_s \sum_{k=0}^N |e[k]| dt \quad (1)$$

$$ISE = T_s \sum_{k=0}^N e[k]^2 dt \quad (2)$$

$$TVU = \sum_{k=0}^{N-1} |u_{k+1} - u_k| \quad (3)$$

Donde N es el número total de pasos; $e[k]$ es el error en un instante de tiempo discreto k ; $u[k]$ es la señal o acción de control; y T_s es el tiempo de muestreo.

Tener en cuenta que a medida de que los valores numéricos de estas métricas son mas cercanas al cero, indica un mejor controlador en términos de suavidad y robustez.

3. Evaluación

La evaluación de la actividad considera 40 % el trabajo funcional, 40 % el documento escrito, y 20 % la presentación oral del mismo.

4. Fechas

- Fecha de la presentación: Viernes 4 de Julio de 2025
- Fecha de la entrega del escrito: Lunes 7 de Julio de 2025
- Consulta: christian.camacho@alumnos.ucn.cl