Práctica 6
Control de posición y seguimiento de rutas

Laboratorio de Bio-Robótica

Robots Móviles y Agentes Inteligentes

Objetivos

- Implementar un control de posición y de seguimiento de rutas.
- Probar el control tanto en simulación como en el robot real.
- Utilizar como referencia la ruta calculada en la práctica 5.

1. Marco Teórico

1.1. Modelo cinemático del robot

Considérese un robot diferencial como el de la figura 1 en el que la configuración está dada por tres valores $[x_r, y_r, \theta_r]$. Considerando sólo la parte cinemática y asumiendo que no existe deslizamiento en las llantas, el modelo del robot está dado por

$$\dot{x_r} = \frac{v_l + v_r}{2}\cos\theta_r \tag{1}$$

$$\dot{y_r} = \frac{v_l + v_r}{2}\sin\theta_r \tag{2}$$

$$\dot{\theta_r} = \frac{v_r - v_l}{L} \tag{3}$$

donde v_l y v_r son las velocidades lineales de las llantas izquierda y derecha respectivamente, consideradas como señales de entrada, y L es el diámetro del robot medido de eje a eje de las llantas. Se considera que el centro del robot está en el centro de dicho eje.

Nótese que no se está modelando la parte dinámica del robot, esto es, se considera que el estado del robot está dado por los mismos tres valores $[x_r, y_r, \theta_r]$ y que las velocidades de las llantas se pueden fijar de manera arbitraria. En realidad, esto no sucede así. La verdadera señal de control es el voltaje que se fija en las terminales de los motores, sin embargo, se puede considerar que las dinámicas tanto eléctrica como mecánica de dichos motores son lo suficientemente rápidas para suponer que un voltaje en el motor se reflejará *rápidamente* en una velocidad angular.

Para lidiar con las incertidumbres que provocan todas estas dinámicas no modeladas y con perturbaciones, se implementará un control realimentado.

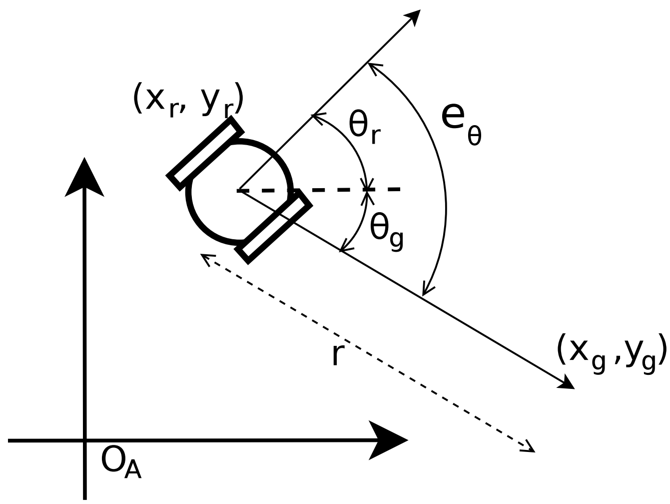

Figura 1: Posición del robot y posición deseada.

1.2. Control de posición

El objetivo del control es diseñar las señales v_l y v_r de modo que se garantice que el robot llegue a la posición (x_g, y_g) aun en presencia de incertidumbres (como las dinámicas no modeladas) y perturbaciones. En esta práctica se implementará un control no lineal para lo cual es necesario definir algunas variables.

Considérese el esquema de la figura 1. El ángulo deseado θ_g corresponde al ángulo del vector de error de posición $[x_g - x_r, y_g - y_r]^T$, esto es

$$\theta_g = \text{atan2}\left(y_g - y_r, x_g - x_r\right)$$

de donde se define el error de ángulo

$$e_\theta = \theta_g - \theta_r = \text{atan2}\left(y_g - y_r, x_g - x_r\right) - \theta_r \tag{4}$$

Es importante que e_θ, al igual que cualquier otra medida angular, se encuentre siempre en el intervalo $(-\pi, \pi]$. Si la diferencia dada en (4) resulta en un ángulo mayor que π o menor que $-\pi$, se debe hacer el ajuste correspondiente para que $e_\theta \in (-\pi, \pi]$ y así se asegure el buen funcionamiento de las leyes de control.

El error de distancia r es simplemente la magnitud del vector de error de posición:

$$r = \left[(x_g - x_r) + (y_g - y_r)\right]^{1/2}$$

Si se considera un robot diferencial cuyo modelo está dado por (1)-(3), entonces la ley de control dada por

$$v_l = v_{max} e^{-\frac{e_\theta^2}{\alpha}} + \frac{L}{2}\omega_{max}\left(\frac{2}{1 + e^{-\frac{e_\theta}{\beta}}} - 1\right) \tag{5}$$

$$v_r = v_{max} e^{-\frac{e_\theta^2}{\alpha}} - \frac{L}{2}\omega_{max}\left(\frac{2}{1 + e^{-\frac{e_\theta}{\beta}}} - 1\right) \tag{6}$$

asegura que el robot alcance la posición deseada $(x_g, y_g)^T$. Estas ecuaciones también se pueden

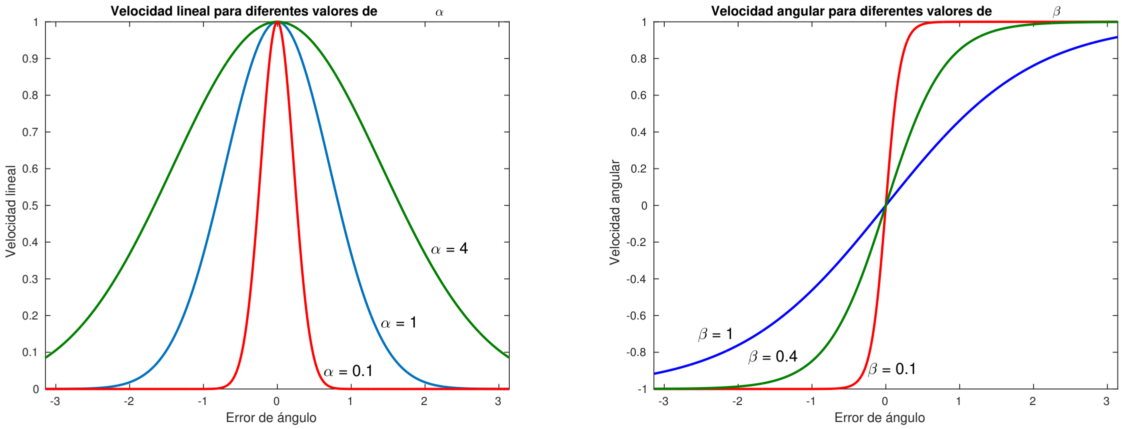

Figura 2: Velocidades lineal y angular para diferentes parámetros α y β

escribir en términos de las velocidades lineal y angular del robot dadas por:

$$\begin{aligned} v &= v_{max} e^{-\frac{e_\theta^2}{\alpha}} \\ \omega &= \omega_{max} \left(\frac{2}{1 + e^{-\frac{e_\theta}{\beta}}} - 1 \right) \end{aligned}$$

En la ley de control (5)-(6) se tienen cuatro parámetros de diseño. v_{max} y ω_{max} son las velocidades lineales y angulares máximas respectivamente que el robot alcanzará durante su movimiento. Estos parámetros, en principio, se pueden fijar arbitrariamente, sin embargo, al implementarse en un robot real, deberán ser congruentes con las capacidades de los actuadores del robot.

Para comprender mejor el funcionamiento de las constantes α y β, considérese la figura 2.

Como se puede observar, la constante α determina qué tan rápido decrece la velocidad lineal v cuando el error de ángulo aumenta. Un α muy pequeña hará que la velocidad decrezca rápidamente, esto es, el robot no avanzará hasta que esté "apuntando directamente" hacia el punto meta. En otras palabras, primero girará hasta que el error de ángulo sea muy pequeño y hasta entonces avanzará.

La constante β determina qué tan rápido crece la velocidad angular cuando crece el error de ángulo. En general, una β pequeña hará que el robot se mantenga siempre "apuntando" hacia el punto meta, es decir, ayudará a seguir mejor una ruta deteminada, sin embargo, si β es demasiado pequeña, puede generar oscilaciones.

La ley de control (5)-(6 tiene la desventaja de que sólo depende del error de ángulo, es decir, que el robot no disminuye su velocidad conforme se acerca al punto meta. Esto provocará que el robot presente fuertes oscilaciones cuando se encuentre en una región pequeña alrededor del punto meta.

Hay dos formas de abordar este problema. La más sencilla consiste en ejecutar la ley de control sólo si la distancia $r = \sqrt{(x_g - x_r)^2 + (y_g - y_r)^2}$ es mayor que una tolerancia ϵ, es decir:

$$\begin{bmatrix} v_l \\ v_r \end{bmatrix} = \begin{cases} \begin{bmatrix} v + \frac{L}{2}\omega \\ v - \frac{D}{2}\omega \end{bmatrix} & \text{si} \quad \sqrt{(x_g - x_r)^2 + (y_g - y_r)^2} > \epsilon \\ \\ \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \end{bmatrix} & \text{en otro caso} \end{cases}$$

En este caso, el robot se detendrá bruscamente cuando la magnitud del error de posición sea menor que ϵ, lo cual no es deseable, pues el robot debería disminuir su velocidad conforme se acerca al punto meta.

Por otra parte, también es deseable que el robot aumente su velocidad poco a poco al inicio del movimiento, lo cual no está considerado hasta el momento, pues de acuerdo con (5)-(6, el robot puede tener una velocidad lineal de v_{max} desde el comienzo de su trayectoria.

1.3. Máquina de estados

Una forma sencilla de lograr que el robot acelere y desacelere lentamente es mediante una máquina de estados finita aumentada (AFSM por sus siglas en inglés) que vaya estableciendo el valor v_max de la ley de control (5)-(6. Sea v_sm la nueva velocidad máxima, de modo que

$$v = v_{sm} e^{-\frac{e_\theta^2}{\alpha}} \tag{7}$$

$$\omega = \omega_{max} \left(\frac{2}{1 + e^{-\frac{e_\theta}{\beta}}} - 1 \right) \tag{8}$$

y

$$\begin{aligned} v_l &= v + \frac{L}{2}\omega \\ v_r &= v - \frac{L}{2}\omega \end{aligned}$$

La figura 3 muestra los pasos para determinar v_{sm}. En general, v_{sm} se incrementa poco a poco hasta alcanzar el valor de v_{max} y comienza a decrementarse cuando el robot está "cerca" del punto meta, es decir, cuando la distancia r es menor que una constante r_d. Los valores de r_d y Δv se determinan dependiendo de qué tan rápido el robot debe acelerar y desacelerar.

2. Tareas

2.1. Prerrequisitos

Antes de continuar, actualice el repositorio y recompile:

```
$  cd ~/RoboticsCourses
$  git pull origin master
$  cd catkin_ws
$  catkin_make
```

2.2. Nodo para el control de bajo nivel

Hacer un nodo de ROS que ... La primera ley de control se debe usar para realizar movimientos del tipo move. La segunda se debe usar para seguir trayectorias, calculadas con A* y con un perfil de velocidad.

2.3. Pruebas experimentales y en simulación

Launch para simulación. Launch para pruebas reales.

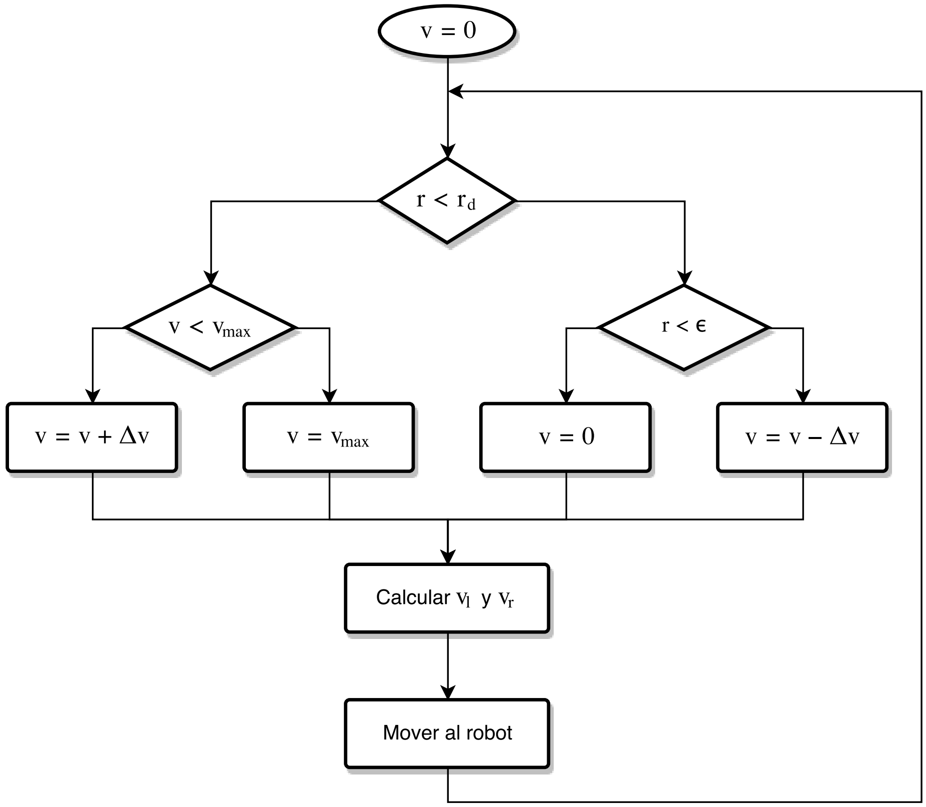

Figura 3: Máquina de estados para generar un perfil de velocidad

3. Evaluación

- El control se probará siguiendo la ruta calculada en la práctica 5.
- Las constantes de las leyes de control deben ser fácilmente modificables.
- El código debe estar ordenado.
- **Importante:** Si el alumno no conoce su código, NO se contará la práctica.