Práctica 6
Control de posición y seguimiento de trayectorias

M.I. Marco Negrete

Robots Móviles y Agentes Inteligentes

Objetivos

- Implementar un control de posición y de seguimiento de trayectoria.
- Probar el control tanto en simulación como experimentalmente.
- 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.

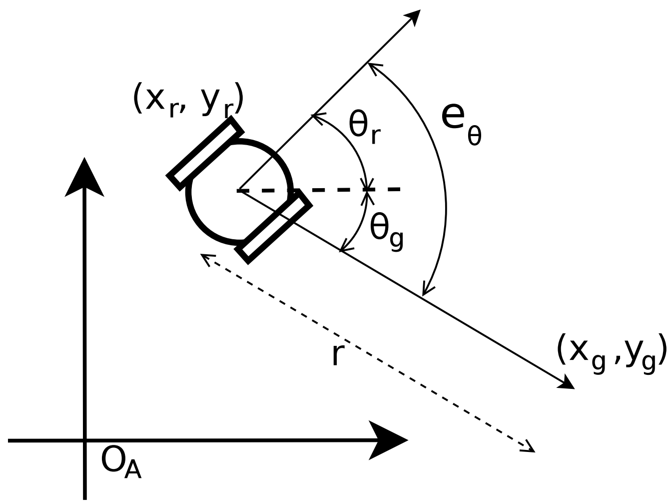

Figura 1: Posición del robot y posición deseada.

1.2. Control de posición

La idea 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 implementarán dos leyes de control, pero antes es necesario definir un par de variables.

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

$$\theta_g = \operatorname{atan2}(y_g - y_r, x_g - x_r)$$

de donde se define el error de ángulo

$$e_\theta = \theta_g - \theta_r = \operatorname{atan2}(y_g - y_r, x_g - x_r) - \theta_r$$

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

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

En la primera ley de control las velocidades se calculan tomando en cuenta tanto el error de posición como el de ángulo:

$$v_l = -k_\theta e_\theta + k_d r e^{-\psi e_\theta^2} \quad (4)$$

$$v_r = k_\theta e_\theta + k_d r e^{-\psi e_\theta^2} \quad (5)$$

Nótese que los primeros términos tienen igual magnitud pero signo opuesto, lo que provoca una velocidad angular que es proporcional al error de ángulo. Los segundos términos, al tener el mismo signo y misma magnitud, provocan una velocidad lineal que es proporcional al error de distancia, es decir, el robot se irá deteniendo conforme se acerque al punto meta. La exponencial sirve para hacer pequeña la velocidad lineal cuando el error de ángulo es grande, es decir, este término logra que el robot comience a avanzar hasta que esté apuntando en la dirección correcta.

En esta ley de control se tienen tres parámetros de diseño: $k_\theta > 0$, $k_d > 0$ y $\psi > 0$. Las dos primeras determinan la rapidez con que el robot girará y avanzará hacia el punto meta. La tercera es muy importante. Un valor de ψ muy grande hará que la velocidad lineal decrezca muy rápido cuando crece el error de ángulo, es decir, el robot comenzará a avanzar hasta que esté apuntando casi sin error hacia la meta. Por el contrario, una ψ muy pequeña hará que el robot describa curvas muy grandes.

La segunda ley de control sólo toma en cuenta el error de ángulo:

$$v_l = v_{max} e^{-\frac{e_a^2}{\alpha}} + \frac{D}{2}\omega_{max}\left(\frac{2}{1+e^{-\frac{e_a}{\beta}}} - 1\right) \tag{6}$$

$$v_r = v_{max} e^{-\frac{e_a^2}{\alpha}} - \frac{D}{2}\omega_{max}\left(\frac{2}{1+e^{-\frac{e_a}{\beta}}} - 1\right) \tag{7}$$

1.3. Perfil de velocidad

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.

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.