Control
de Robots Móviles

CONTROL Y PROGRAMACIÓN DE ROBOTS

Grado en Electrónica, Robótica y Mecatrónica

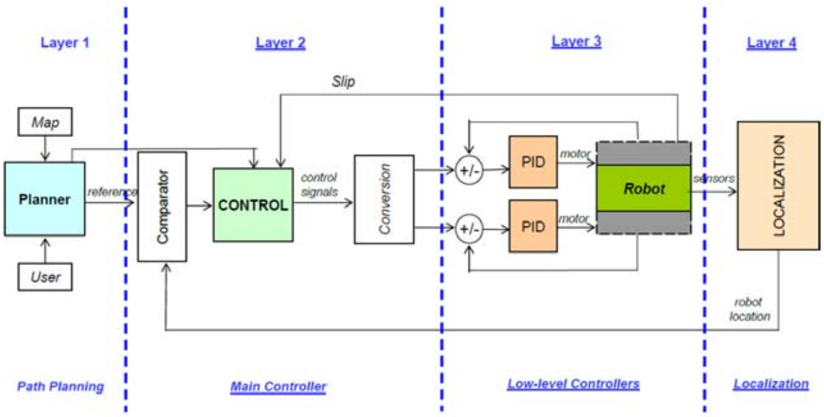
Introducción

– idea de hacer que el vehículo siga una trayectoria de referencia
  - seguimiento de postura
$$\rho_{ref} = (x, y, \varphi_{ref})$$
  - seguimiento de posición de referencia
$$\rho_{ref} = (x, y)$$

$\Rightarrow$ *control de la dirección del robot*

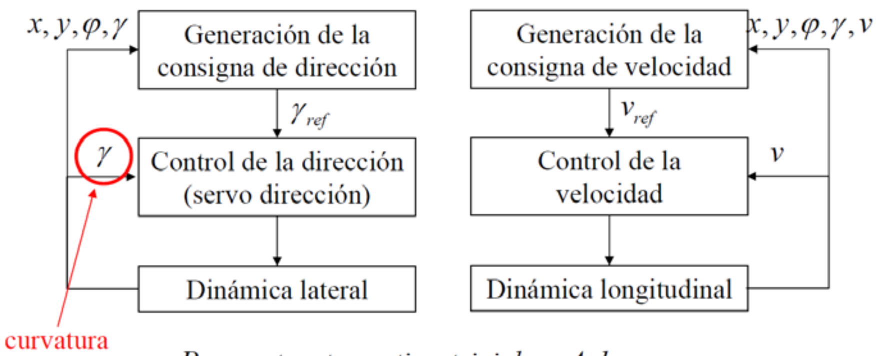
– la trayectoria puede ser espicificada en función o no del tiempo
  - en función del tiempo, implica *control de la velocidad*
  - no en función del tiempo, no es necesario controlar la velocidad

Arquitectura de robot móvil



Arquitectura de control

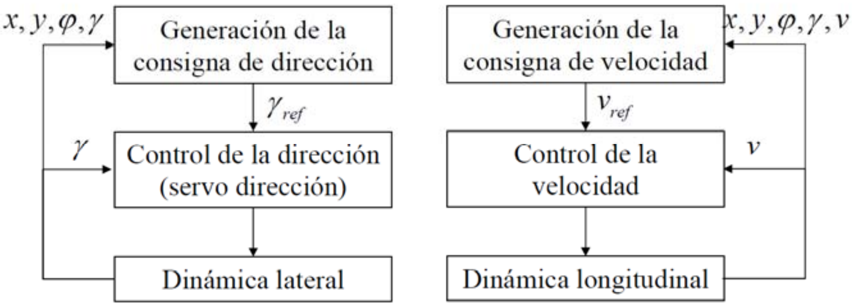
– La estructura del robot influye mucho en el control y el conocimiento de un modelo preciso es fundamental



Para estructuras tipo triciclo o Ackerman, los bucles son fuertemente acopladas

Arquitectura de control

– La estructura del robot influye mucho en el control y el conocimiento de un modelo preciso es fundamental



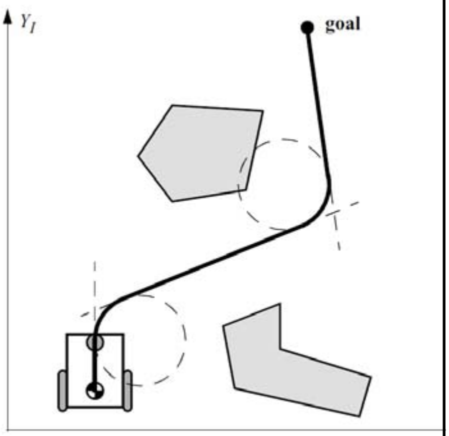
El uso de técnicas como la del filtro Kalman permite combinar informaciones de varios sensores para mejorar la estimación de posición y orientación corriente del robot.

Control de movimiento

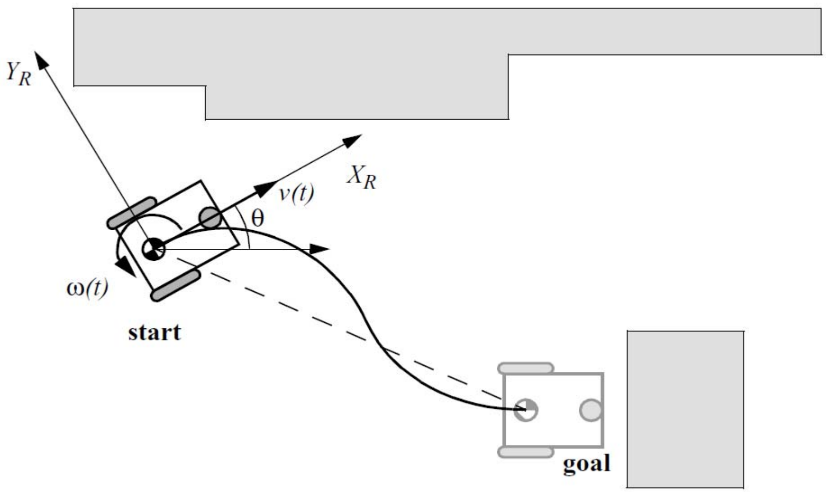
- El objetivo de un controlador cinemático es seguir una trayectoria descrita por su posición y/o por el perfil de velocidad en función del tiempo.
- El control de movimiento no es sencillo porque los robots móviles son típicamente sistemas MIMO no holonómico y,
- La mayoría de los controladores no consideran la dinámica del sistema.

Control de movimiento: Bucle abierto

- La trayectoria se divide en segmentos: En líneas rectas y trozos de círculos.
- Problema de control: Se pre-calcula una trayectoria suave basándose en las líneas y círculos
- Desventajas:
  - No es fácil el cálculo.
  - Existen limitaciones de velocidades y aceleraciones.
  - No corrige la trayectoria si hay cambios.
  - La trayectoria resultante generalmente no es suave.



Control de movimiento: Bucle cerrado



Control de movimiento: Bucle cerrado

- El objetivo es encontrar una matriz de control K, si existe,

$$K = \begin{bmatrix} k_{11} & k_{12} & k_{13} \\ k_{21} & k_{22} & k_{23} \end{bmatrix}$$

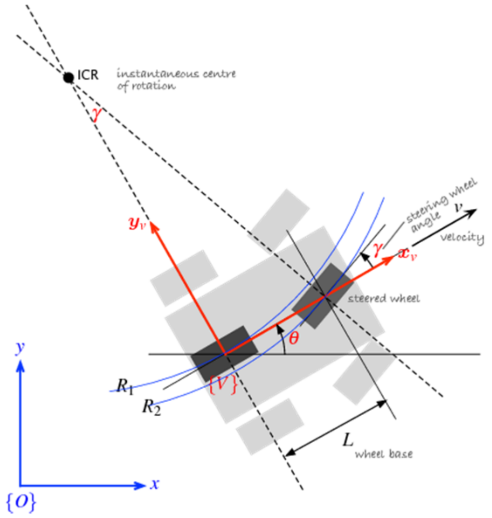
- tal que se cumpla,

$$\begin{bmatrix} v(t) \\ \omega(t) \end{bmatrix} = K \cdot e = K \cdot {}^{R}\begin{bmatrix} x \\ y \\ \theta \end{bmatrix}$$

- Con el error tendiendo a cero.
- El problema es multivariable y acoplado.

9

Modelo de un coche. Biciclo



- Postura del vehículo, representada por el sistema V : $q = (x, y, \theta)$
- La velocidad es: ${}^{V}\dot{x} = v,\ \ {}^{V}\dot{y} = 0$
- La velocidad angular es: $\dot{\theta} = \dfrac{v}{R_1}$
- Siendo: $R_1 = L / \tan\gamma$
- Modelo :

$$\begin{aligned} \dot{x} &= v\cos\theta \\ \dot{y} &= v\sin\theta \\ \dot{\theta} &= \frac{v}{L}\tan\gamma \end{aligned}$$

10

Mover a un punto.

- Supongamos que el punto objetivo es: (x^*, y^*)
- Utilizando una ley de control proporcional:

$$v^* = K_v \sqrt{(x^* - x)^2 + (y^* - y)^2}$$

$$\gamma = K_h(\theta^* \ominus \theta), \quad K_h > 0$$

- Siendo θ* el ángulo relativo del vehículo al objetivo:

$$\theta^* = \tan^{-1} \frac{y^* - y}{x^* - x}$$

11

Seguimiento a una línea.

- Supongamos que la línea objetivo es: $ax + by + c = 0.$
- Utilizando una ley de control proporcional a la distancia a la línea y al error de orientación (La velocidad se considera constante en este caso):

$$\gamma = -K_d d + K_h(\theta^* \ominus \theta)$$

- Distancia a la recta:

$$d = \frac{(a, b, c) \cdot (x, y, 1)}{\sqrt{a^2 + b^2}}$$

- Siendo θ* el ángulo relativo del vehículo a la recta:

$$\theta^* = \tan^{-1} \frac{-a}{b}$$

12

Seguimiento de una trayectoria.

- Similar a ir a un punto. El punto se cambia con el tiempo → Seguimiento puro. Seguir a una distancia d*.

$$(x^*\langle t\rangle, y^*\langle t\rangle)$$

- Utilizando una ley de control proporcional más integral (PI) en la velocidad y proporcional en la orientación:

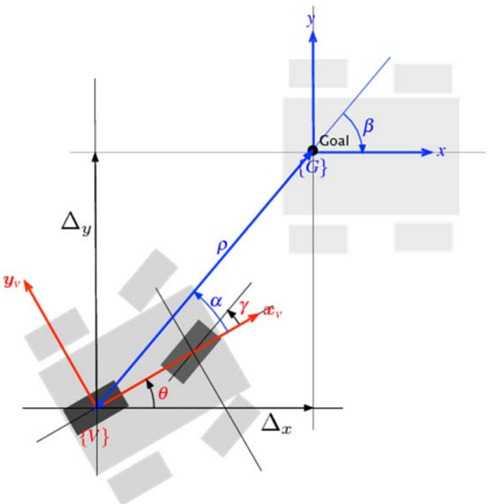
$$e = \sqrt{(x^* - x)^2 + (y^* - y)^2} - d^*$$

$$v^* = K_v e + K_i \int e\mathrm{d}t \qquad \gamma = K_h(\theta^* \ominus \theta), \;\; K_h > 0$$

- Siendo θ* el ángulo relativo del vehículo al objetivo:

$$\theta^* = \tan^{-1}\frac{y^* - y}{x^* - x}$$

Control a una postura. M. Biciclo



- Objetivo: (x^*, y^*, θ^*)
- Modelo:

$$\begin{pmatrix} \dot{x} \\ \dot{y} \\ \dot{\theta} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos\theta & 0 \\ \sin\theta & 0 \\ 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} v \\ \gamma \end{pmatrix}$$

- Cambio de variables:

$$\rho = \sqrt{\Delta_x^2 + \Delta_y^2}$$

$$\alpha = \tan^{-1}\frac{\Delta_y}{\Delta_x} - \theta$$

$$\beta = -\theta - \alpha$$

Control a una postura. M. Biciclo

- Sistema resultante:

$$\begin{pmatrix}\dot\rho\\ \dot\alpha\\ \dot\beta\end{pmatrix}=\begin{pmatrix}-\cos\alpha & 0\\ \frac{\sin\alpha}{\rho} & -1\\ -\frac{\sin\alpha}{\rho} & 0\end{pmatrix}\begin{pmatrix}v\\ \gamma\end{pmatrix},\ \text{if } \alpha\in\left(-\frac{\pi}{2},\frac{\pi}{2}\right]$$

- Aplicando una ley de control lineal: $\Rightarrow$ $v=k_\rho\rho$
- Sistema en bucle cerrado: $\gamma=k_\alpha\alpha+k_\beta\beta$

$$\begin{bmatrix}\dot\rho\\ \dot\alpha\\ \dot\beta\end{bmatrix}=\begin{bmatrix}-k_\rho\rho\cos\alpha\\ k_\rho\sin\alpha-k_\alpha\alpha-k_\beta\beta\\ -k_\rho\sin\alpha\end{bmatrix}$$

Estable para:

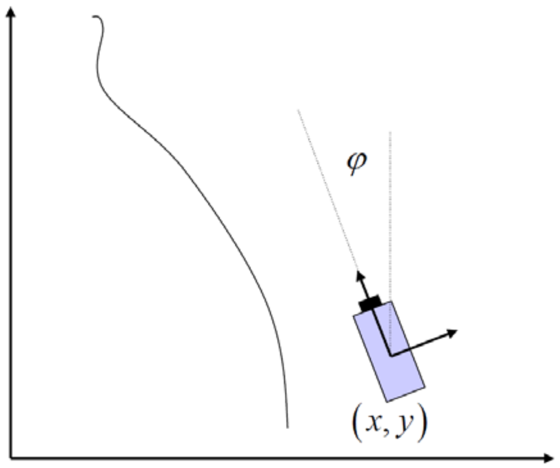
$$k_\rho>0,\ k_\beta<0,\ k_\alpha-k_\rho>0$$

Control a una postura. M. Biciclo

- La distancia al objetivo (α, ρ) se supone que son medidas por sensores como una cámara o un laser, β se calcula a partir de α y ϴ se mide por un compas.
- Cuando $\alpha\notin(-\frac{\pi}{2},\frac{\pi}{2}]$, se invierte la dirección del vehículo haciendo negativas v y γ
- Se plantea un problema de regulación a (0,0,0), para hacer el seguimiento hacemos un cambio de variables de la forma:

$$x'=x-x^*,\ y'=y-y^*,\ \theta'=\theta,\ \beta=\beta'+\theta^*$$

Seguimiento de caminos



Seguimiento de caminos

Seguimiento de caminos explícitos

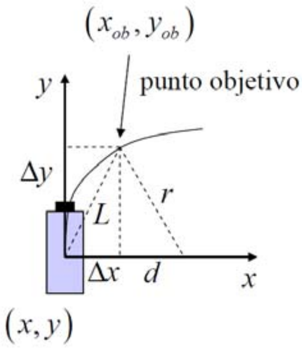
Se trata de seguir un camino determinado.
El camino suele ser determinado de varias maneras:

- especificado directamente mediante coordenadas absolutas
- especificación interactiva mediante teleoperación
- especificación mediante un sistema de planificación de trayectoria
- especificación mediante el sistema de percepción (ex. AGV).

Control reactivo

Se trata de reaccionar a eventos del entorno : detección y evitación de obstáculos, seguimiento de un objeto,...

Persecución pura



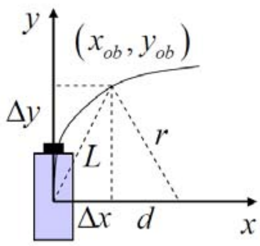
$$\begin{cases} r = d + \Delta x \\ r^2 = d^2 + (\Delta y)^2 \end{cases}$$

$$\Rightarrow r = \frac{(\Delta x)^2 + (\Delta y)^2}{2\Delta x}$$

$$\Rightarrow \gamma_{ref} = \frac{1}{r} = -\frac{2\Delta x}{L^2}$$

19

Persecución pura



Principio de la persecución pura:

- escoger L
- obtener el punto de la trayectoria de referencia

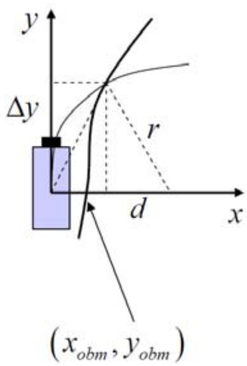
$$(x_{ob}, y_{ob})$$

- calcular la curvatura necesaria

$$\gamma_{ref} = \frac{1}{r} = -\frac{2\Delta x}{L^2}$$

20

Persecución pura



Método practico:

- escoger el punto de la trayectoria más próximo del robot

$$\left(x_{obm}, y_{obm}\right)$$

- obtener el punto objetivo a distancia fija s sobre la trayectoria

$$\left(x_{ob}, y_{ob}\right)$$

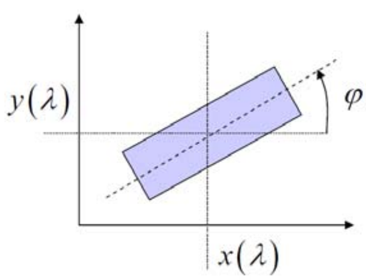
- Determinar L

$$L = \sqrt{\left(x_{ob} - x\right)^2 + \left(y_{ob} - y\right)^2}$$

Planificación de trajectorias

Definición de trajectoria con ecuaciones paramétricas

$$p(\lambda) = \left[x(\lambda), y(\lambda)\right], \text{ con } \lambda(t)$$



$$\varphi(\lambda) = \tan^{-1}\left(\frac{x'}{y'}\right), \text{ con } x' = \frac{dx}{dt} \text{ y } y' = \frac{dy}{dt}$$

$$\text{Ojo cuando } y' = 0, \begin{cases} \varphi = 0 \text{ si } x' > 0 \\ \varphi = \pi \text{ si } x' < 0 \end{cases}$$

Detección de colisiones, evitación de obstáculos

Definición de los obstáculos
- ocupación de celdas
- estructuras jerarquicas
- modelos de los obstáculos como sólidos 3D
- expansión de obstáculos (arcos)
- espacio de configuraciones

Planificación en sí
- en espacio cartesiano
- en espacio de configuraciones

23

Evitación de obstáculos

Sistemas reactivos con reacción a los sensores
- laser
- ultrasonido
- medida de distancias por triangularización
- contacto
- cámaras y procesamiento de imágenes
- radiofrecuencias para afuera y velocidades altas

Reacciones posibles
- reducir velocidad
- desviar
- planificación reactiva de trajectoria (campos potenciales)

24