
Control de robots móviles

Introducción.....	132
Control empleando métodos geométricos.....	132
Control empleando métodos basados en teoría de control.....	141
Ejemplos.....	154
Referencias.....	154

Introducción

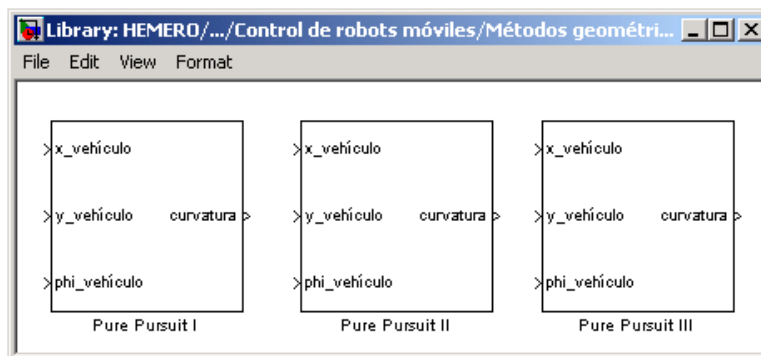
En este Capítulo se presentan una serie de funciones y bloques que pueden facilitar la simulación de diversas técnicas de control de robots móviles. En concreto, se pueden implementar métodos geométricos y métodos basados en la teoría de control para el seguimiento de trayectorias y caminos. Todas estas técnicas aparecen descritas en el Capítulo 9 de Ollero [2].

Los bloques Simulink que se presentan en este Capítulo son relativamente fáciles de comprender, y por tanto cada usuario puede modificarlos a efectos de simular variantes de las técnicas presentadas.

En los ejemplos del Capítulo 9 de Ollero [2] se hace uso de los bloques y funciones que se presentan a continuación.

Control empleando métodos geométricos

Se ha implementado el método de persecución pura y el control mediante polinomios de orden cinco. Para el método de persecución pura se dispone de tres variantes que pueden ser comparadas a efectos de determinar sus ventajas e inconvenientes. Dichas alternativas se discuten en Ollero [2].



contp5

Propósito

Calcular la curva que enlaza la postura del vehículo con la postura del punto objetivo empleando polinomios de orden cinco.

Sintaxis

`[x,y,coef]=contp5(x_v,y_v,phi_v,gamma_v,x_ob,y_ob,phi_ob,gamma_ob,step)`

Descripción

La función **contp5** calcula las coordenadas x e y (vectores columna) en el sistema de coordenadas global de la curva que enlaza la postura del vehículo con la postura del punto objetivo empleando polinomios de orden cinco.

Asimismo, también devuelve los coeficientes (vector fila **coef**) del polinomio de orden cinco que corresponde a la curva en el sistema de coordenadas asociado al vehículo. Hay una columna para cada coeficiente, correspondiendo la primera columna a la potencia quinta y la última columna al término independiente. La ecuación correspondiente es:

$$x = f(y) = a_0 + a_1 y + a_2 y^2 + a_3 y^3 + a_4 y^4 + a_5 y^5 \quad (6.1)$$

Los parámetros **x_v**, **y_v**, **phi_v** y **gamma_v** son las coordenadas (x, y) , la orientación y la curvatura del vehículo respectivamente. Asimismo, **x_ob**, **y_ob**, **phi_ob** y **gamma_ob** son las coordenadas (x, y) , la orientación y la curvatura del punto objetivo respectivamente.

Finalmente, el parámetro **step** permite variar el paso con el que se calculan los puntos de la curva.

Para el vehículo se adopta el modelo de la bicicleta.

Precauciones

El valor de **phi_ob-phi_v** debe pertenecer al intervalo $(-\pi/2, \pi/2)$. Asimismo, la coordenada y del punto objetivo en el sistema de referencia del vehículo debe ser mayor que cero.

Ejemplos

En el siguiente ejemplo se va a ilustrar básicamente el uso de la función **contp5**:

Ejemplo H.6.1 (archivo **ejh61.m**)

Supóngase un vehículo que se encuentra en las coordenadas (2,3) con una orientación de $\pi/3$ rad y una curvatura de 1 m^{-1} . Se pretende que alcance el punto de coordenadas (-2,6) con una orientación de $\pi/2$ rad y una curvatura de 2 m^{-1} .

Para ello se pueden emplear las siguientes líneas de código:

```
[x,y,coef]=contp5(2,3,pi/3,1,-2,6,pi/2,2,0.01);  
plot(x,y)
```

resultando la curva que se representa en la Figura 6.1.

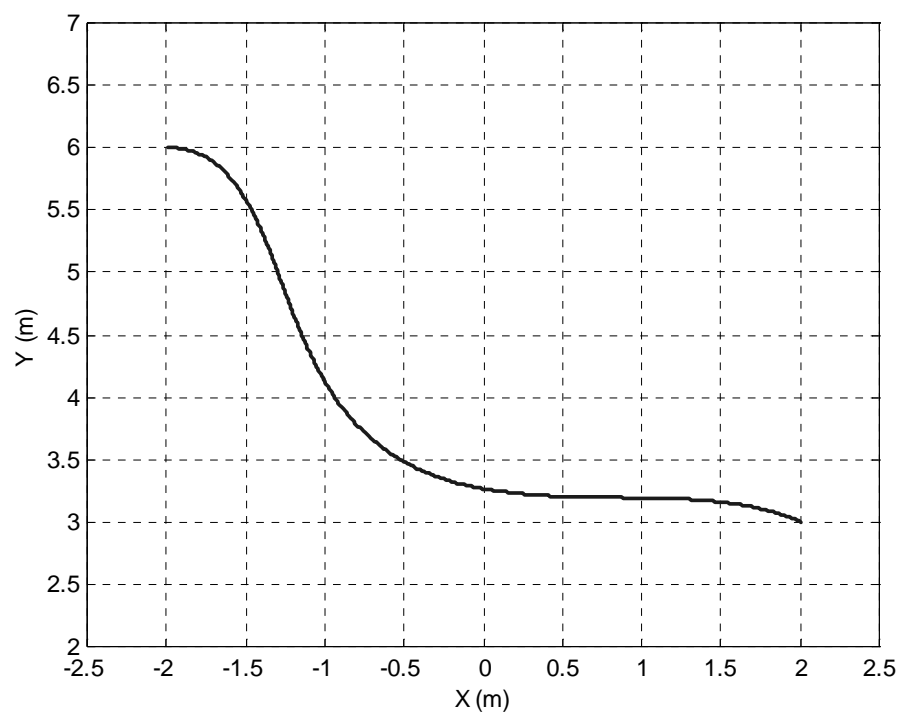
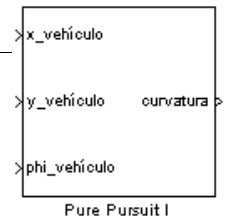


Figura 6.1: Curva generada mediante polinomios de orden cinco.

Referencias

Ollero, A., *Robótica: Manipuladores y robots móviles*, Marcombo-Boixareu editores, 2001.

Pure Pursuit I



Propósito

Calcular la curvatura que es necesario suministrar al vehículo cuando se emplea la técnica de persecución pura con el parámetro *look-ahead* (L) fijo.

Descripción

Este bloque se encarga de obtener la curvatura que hay que suministrar al vehículo según la ecuación:

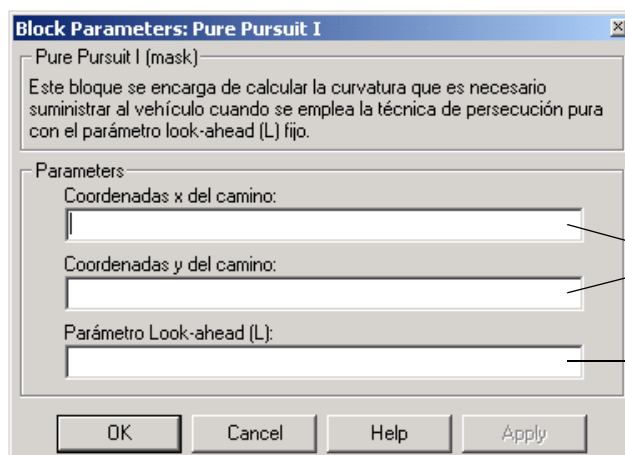
$$\gamma_r = \frac{1}{r} = -\frac{2(\Delta x)}{L^2} \quad (6.2)$$

donde el signo viene dado por el sentido de giro necesario para alcanzar el punto objetivo, L es la distancia a la que se encuentra el punto objetivo y Δx es el desplazamiento lateral del vehículo respecto al punto objetivo.

Las entradas de este bloque son las coordenadas (x,y) del vehículo y la orientación ϕ del vehículo.

Parámetros

Es necesario suministrarle como parámetros dos vectores con las coordenadas x e y del camino. Por comodidad se pueden introducir los nombres de dos vectores creados y almacenados previamente en el espacio de trabajo.



Vectores con las coordenadas (x,y) del camino que se pretende seguir

Valor constante para el parámetro *look-ahead*

Precauciones

Se debe tener en cuenta que este bloque emplea una variable global denominada K_ANT .

Asimismo, la longitud del vector con las coordenadas x del camino debe ser idéntica a la del vector con las coordenadas y .

También hay que tener presente que el camino se sigue solamente en un sentido y que la bondad de los resultados depende de que el camino esté representado por un número suficientemente elevado de puntos.

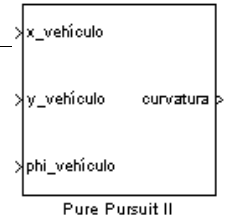
Ejemplos

Ver Ejemplo 9.1 de Ollero [2].

Referencias

Ollero, A., *Robótica: Manipuladores y robots móviles*, Marcombo-Boixareu editores, 2001.

Pure Pursuit II



Propósito

Calcular la curvatura que es necesario suministrar al vehículo cuando se emplea la técnica de persecución pura con el parámetro *look-ahead* (L) variable en función del punto objetivo.

Descripción

Este bloque se encarga de obtener la curvatura que hay que suministrar al vehículo según la ecuación:

$$\gamma_r = \frac{1}{r} = -\frac{2(\Delta x)}{L^2} \quad (6.3)$$

donde el signo viene dado por el sentido de giro necesario para alcanzar el punto objetivo, L es la distancia a la que se encuentra el punto objetivo y Δx es el desplazamiento lateral del vehículo respecto al punto objetivo.

A diferencia del bloque anterior, L en este caso es variable y se calcula en función del punto objetivo según la ecuación:

$$L = \sqrt{(x_{ob} - x)^2 + (y_{ob} - y)^2} \quad (6.4)$$

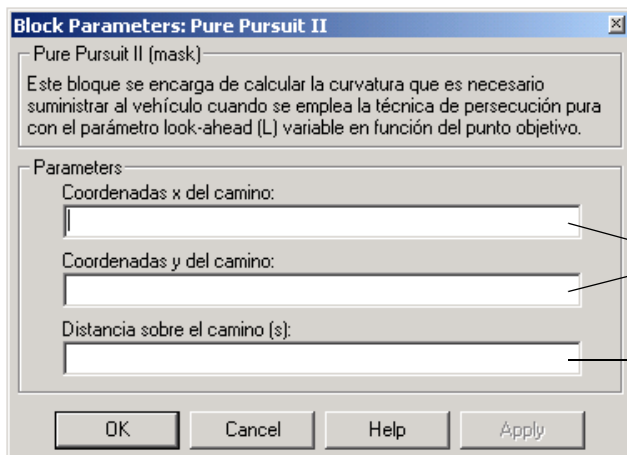
donde (x_{ob}, y_{ob}) son las coordenadas del punto objetivo sobre el camino y (x, y) son las coordenadas del vehículo.

El punto objetivo se elige a una distancia fija (s) sobre el camino tomada en el sentido de avance a partir del punto del camino más cercano al vehículo.

Las entradas de este bloque son las coordenadas (x, y) del vehículo y la orientación ϕ del vehículo.

Parámetros

Es necesario suministrarle como parámetros dos vectores con las coordenadas x e y del camino. Por comodidad se pueden introducir los nombres de dos vectores creados y almacenados previamente en el espacio de trabajo.



Vectores con las coordenadas (x,y) del camino que se pretende seguir

Valor constante para la distancia s medida sobre el camino

Precauciones

Se debe tener en cuenta que este bloque emplea dos variables globales denominadas INDEX y K_ANT.

Asimismo, la longitud del vector con las coordenadas x del camino debe ser idéntica a la del vector con las coordenadas y .

También hay que tener presente que el camino se sigue solamente en un sentido y que la bondad de los resultados depende de que el camino esté representado por un número suficientemente elevado de puntos.

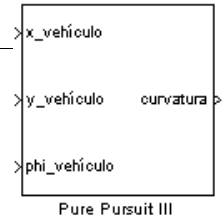
Ejemplos

Ver Ejemplo H.6.2.

Referencias

Ollero, A., *Robótica: Manipuladores y robots móviles*, Marcombo-Boixareu editores, 2001.

Pure Pursuit III



Propósito

Calcular la curvatura que es necesario suministrar al vehículo cuando se emplea la técnica de persecución pura con el parámetro *look-ahead* (L) variable en función del punto objetivo. Es posible fijar un valor máximo para L .

Descripción

Este bloque se encarga de obtener la curvatura que hay que suministrar al vehículo según la ecuación:

$$\gamma_r = \frac{1}{r} = -\frac{2(\Delta x)}{L^2} \quad (6.5)$$

donde el signo viene dado por el sentido de giro necesario para alcanzar el punto objetivo, L es la distancia a la que se encuentra el punto objetivo y Δx es el desplazamiento lateral del vehículo respecto al punto objetivo.

L es variable y se calcula en función del punto objetivo según la ecuación:

$$L = \sqrt{(x_{ob} - x)^2 + (y_{ob} - y)^2} \quad (6.6)$$

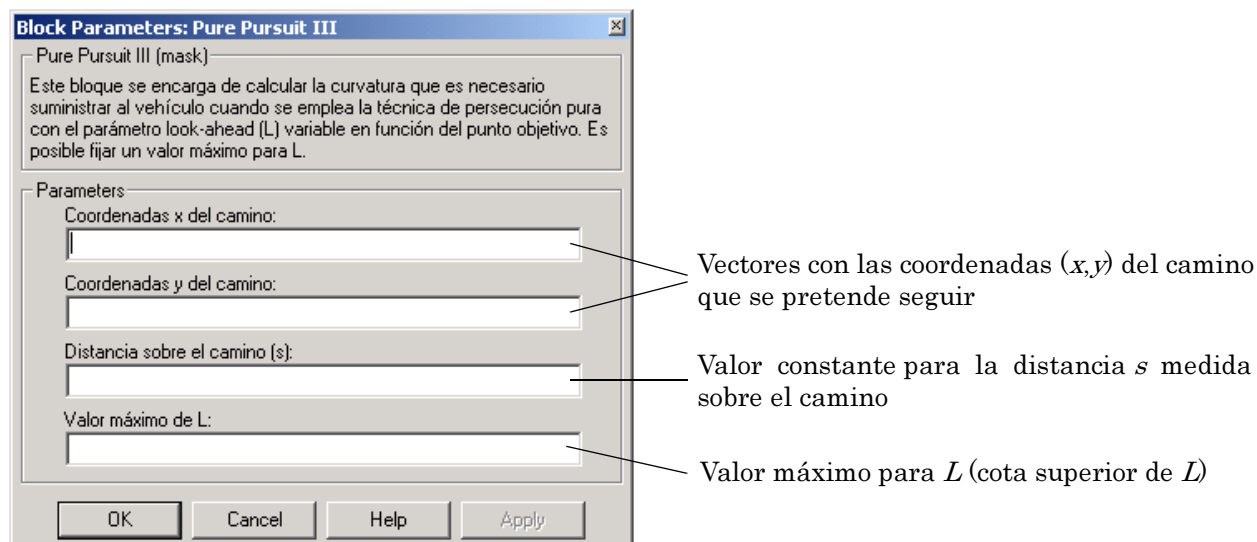
donde (x_{ob}, y_{ob}) son las coordenadas del punto objetivo sobre el camino y (x, y) son las coordenadas del vehículo. En el cuadro de diálogo de este bloque se solicita un valor máximo para L , que permite acotar los valores de L a efectos de evitar señales de actuación pequeñas.

El punto objetivo se elige a una distancia fija (s) sobre el camino tomada en el sentido de avance a partir del punto del camino más cercano al vehículo.

Las entradas de este bloque son las coordenadas (x, y) del vehículo y la orientación ϕ del vehículo.

Parámetros

Es necesario suministrarle como parámetros dos vectores con las coordenadas x e y del camino. Por comodidad se pueden introducir los nombres de dos vectores creados y almacenados previamente en el espacio de trabajo.



Precauciones

Se debe tener en cuenta que este bloque emplea dos variables globales denominadas INDEX y K_ANT.

Asimismo, la longitud del vector con las coordenadas x del camino debe ser idéntica a la del vector con las coordenadas y .

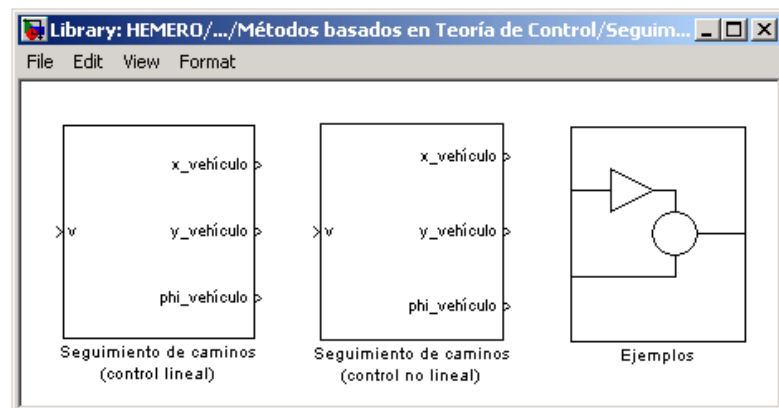
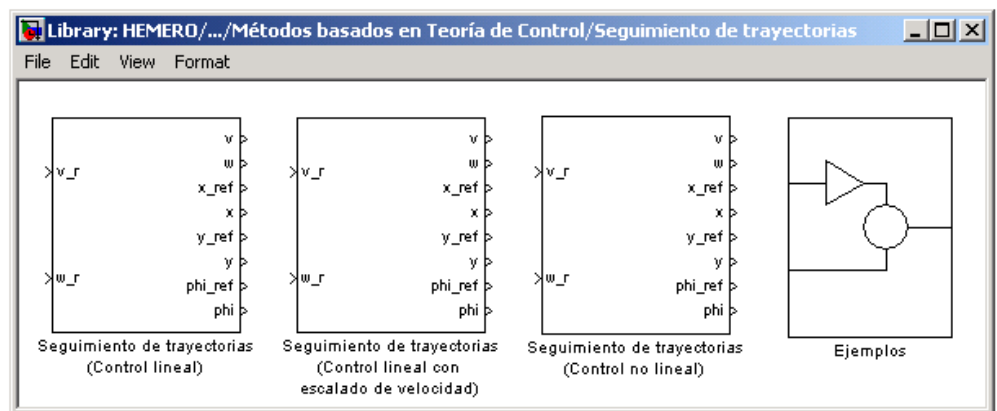
También hay que tener presente que el camino se sigue solamente en un sentido y que la bondad de los resultados depende de que el camino esté representado por un número suficientemente elevado de puntos.

Referencias

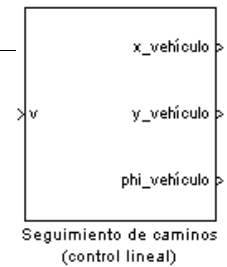
Ollero, A., *Robótica: Manipuladores y robots móviles*, Marcombo-Boixareu editores, 2001.

Control mediante métodos basados en teoría de control

Se han implementado una serie de métodos basados en teoría de control para el seguimiento de trayectorias y caminos. Estos métodos aparecen descritos en Canudas [1], y en Ollero [2], es posible encontrar diversos ejemplos ilustrativos de su uso.



Seguimiento de caminos (lineal)



Propósito

Calcular las coordenadas y orientación de un vehículo que sigue un determinado camino guiado mediante un controlador lineal.

Descripción

Este bloque calcula las coordenadas (x, y) y la orientación de un vehículo a partir de las coordenadas del camino que se pretende seguir y de la velocidad instantánea $v(t)$ de dicho vehículo.

La ley de control que se aplica es lineal y viene dada por la ecuación (ver Canudas [1] y Ollero [2]):

$$u = -k_1 v \xi - k_2 |v| \tilde{\phi} \quad (6.7)$$

donde ξ es la distancia con signo entre la proyección del punto de guiado sobre el camino y el punto de guiado, y $\tilde{\phi}$ es la diferencia $\phi - \phi_c$ entre la orientación del vehículo y la orientación del camino. Es posible variar la respuesta mediante las constantes k_1 y k_2 .

Se supone que tanto la velocidad del vehículo como su derivada $v'(t)$ están acotadas.

En el seguimiento de caminos se trata de anular los errores de seguimiento de las variables ξ (distancia al camino) y $\tilde{\phi}$ (diferencia de orientación). Para ello se cuenta con la variable de control ω .

Parámetros

Es necesario suministrarle como parámetros dos vectores con las coordenadas x e y del camino. Por comodidad se pueden introducir los nombres de dos vectores creados y almacenados previamente en el espacio de trabajo.

Block Parameters: Seguimiento de caminos (control lineal)

Seguimiento de caminos empleando una ley de control lineal (mask)

Este bloque permite simular una estrategia de control lineal para el seguimiento de caminos.
A la entrada se dispone de la velocidad del vehículo en cada instante y mediante los parámetros es posible introducir las coordenadas (x,y) del camino. A la salida se obtienen las coordenadas y orientación del vehículo en cada instante.

Parameters

Coordenada x inicial del móvil:

Coordenada y inicial del móvil:

Valor inicial de la orientación del móvil (rad):

Parámetro K1:

Parámetro K2:

Vector con las coordenadas x del camino:

Vector con las coordenadas y del camino:

OK Cancel Help Apply

Valores de las coordenadas y orientación iniciales del vehículo

Valores de las constantes k_1 y k_2 de la ley de control

Vectores con las coordenadas (x,y) del camino que se pretende seguir

Ejemplos

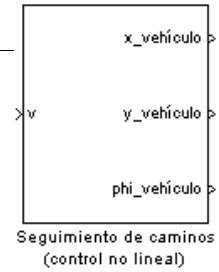
Ver Ejemplo H.6.4.

Referencias

Canudas de Wit, B. Siciliano y G. Bastin, *Theory of robot control*, Springer, 1997.

Ollero, A., *Robótica: Manipuladores y robots móviles*, Marcombo-Boixareu editores, 2001.

Seguimiento de caminos (no lineal)



Propósito

Calcular las coordenadas y orientación de un vehículo que sigue un determinado camino guiado mediante un controlador no lineal.

Descripción

Este bloque calcula las coordenadas (x, y) y la orientación de un vehículo a partir de las coordenadas del camino que se pretende seguir y de la velocidad instantánea $v(t)$ de dicho vehículo.

La ley de control que se aplica es no lineal y viene dada por la ecuación (ver Canudas [1] y Ollero [2]):

$$u = -k_1 v \xi \frac{\sin \tilde{\phi}}{\tilde{\phi}} - k(v) \tilde{\phi} \quad (6.8)$$

$$k(v) = k_2 |v|$$

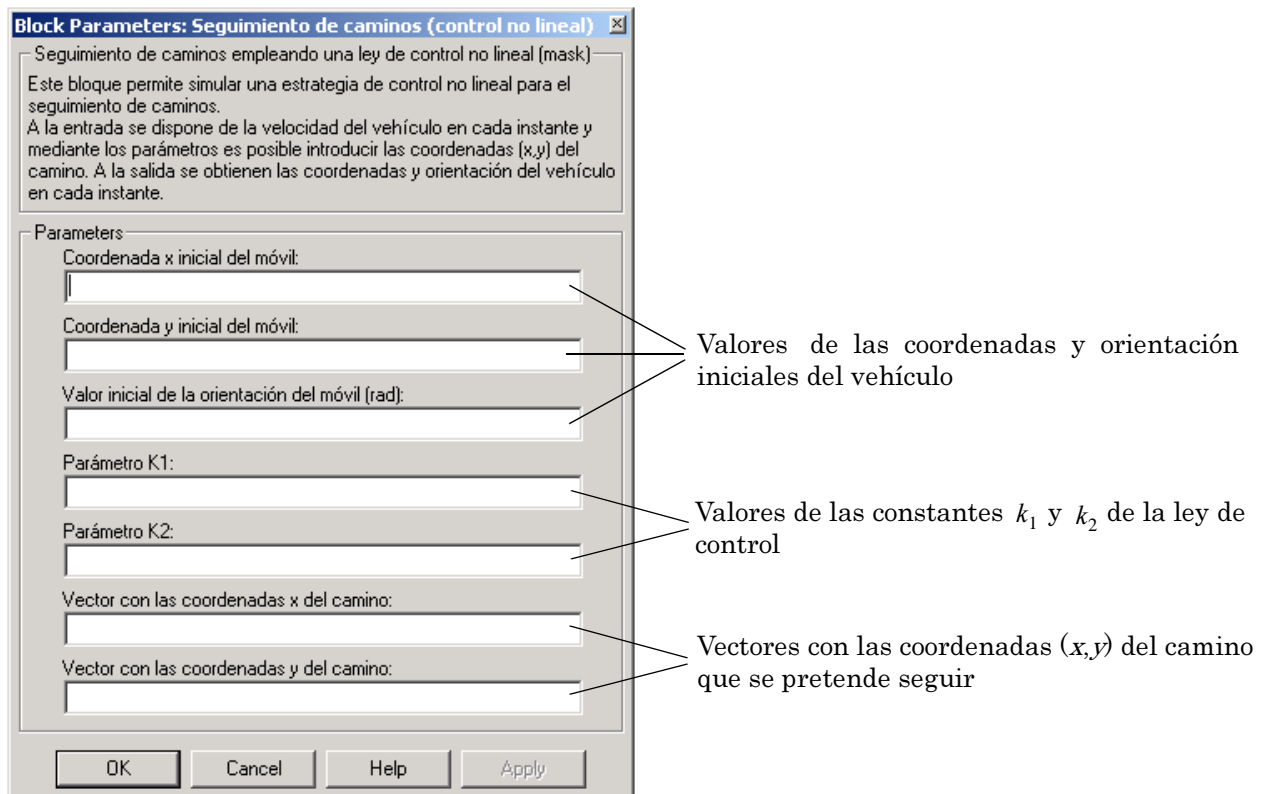
donde ξ es la distancia con signo entre la proyección del punto de guiado sobre el camino y el punto de guiado, y $\tilde{\phi}$ es la diferencia $\phi - \phi_c$ entre la orientación del vehículo y la orientación del camino. Es posible variar la respuesta mediante las constantes k_1 y k_2 .

La elección de esta ley de control está determinada por la propiedad de conseguir la estabilidad.

En el seguimiento de caminos se trata de anular los errores de seguimiento de las variables ξ (distancia al camino) y $\tilde{\phi}$ (diferencia de orientación). Para ello se cuenta con la variable de control ω .

Parámetros

Es necesario suministrarle como parámetros dos vectores con las coordenadas x e y del camino. Por comodidad se pueden introducir los nombres de dos vectores creados y almacenados previamente en el espacio de trabajo.



Ejemplos

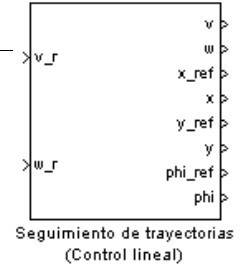
Ver Ejemplo H.6.5.

Referencias

Canudas de Wit, B. Siciliano y G. Bastin, *Theory of robot control*, Springer, 1997.

Ollero, A., *Robótica: Manipuladores y robots móviles*, Marcombo-Boixareu editores, 2001.

Seguimiento de trayectorias (lineal)



Propósito

Calcular las coordenadas y orientación de un vehículo que sigue una determinada trayectoria guiado mediante un controlador lineal. También se calculan sus velocidades lineal y angular.

Descripción

Este bloque calcula las coordenadas (x, y) y la orientación de un vehículo a partir de unas referencias de velocidades lineal y angular deseadas. Se utiliza el siguiente modelo para el vehículo:

$$\begin{aligned} \dot{x} &= -v \sin \phi \\ \dot{y} &= v \cos \phi \\ \dot{\phi} &= \omega \end{aligned} \quad (6.9)$$

y se trata de seguir las referencias en velocidades lineal y angular marcadas por el modelo de referencia:

$$\begin{aligned} \dot{x}_{ref} &= -v_{ref} \sin \phi_{ref} \\ \dot{y}_{ref} &= v_{ref} \cos \phi_{ref} \\ \dot{\phi}_{ref} &= \omega_{ref} \end{aligned} \quad (6.10)$$

En este bloque se efectúa el siguiente cambio de coordenadas (ver Canudas [1] y Ollero [2]):

$$\begin{pmatrix} e_1 \\ e_2 \\ e_3 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -\sin \phi & \cos \phi & 0 \\ -\cos \phi & -\sin \phi & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_{ref} - x \\ y_{ref} - y \\ \phi_{ref} - \phi \end{pmatrix} \quad (6.11)$$

La ley de control que se aplica es lineal y viene dada por la ecuación:

$$\begin{aligned} u_1 &= -k_1 e_1 \\ u_2 &= -k_2 \operatorname{sgn}(v_{ref}) e_2 - k_3 e_3 \end{aligned} \quad (6.12)$$

Este bloque puede ser modificado por el usuario al objeto de efectuar el seguimiento de las coordenadas y orientación de una determinada trayectoria (y no el de las velocidades lineal y angular).

Parámetros

Block Parameters: Seguimiento de trayectorias (Control lineal) ✕

Seguimiento de trayectorias empleando una ley de control lineal (mask)

Este bloque permite simular una estrategia de control lineal para el seguimiento de trayectorias. A la entrada se dispone de las velocidades lineal y angular de referencia. Se supone un cierto modelo para el vehículo.

El usuario puede modificar este bloque para introducir como referencia las coordenadas (x,y) y la orientación deseadas.

Parameters

Parámetro K1:

Parámetro K2:

Parámetro K3:

Coordenada x inicial del robot:

Coordenada y inicial del robot:

Valor inicial de la orientación del robot (rad):

Coordenada x inicial de la referencia:

Coordenada y inicial de la referencia:

Orientación inicial de la referencia (rad):

OK Cancel Help Apply

Valores de las constantes k_1, k_2 y k_3 de la ley de control

Valores de las coordenadas y orientación iniciales del vehículo

Valores de las coordenadas y orientación iniciales de la referencia

Ejemplos

Ver Ejemplo H.6.6.

Referencias

Canudas de Wit, B. Siciliano y G. Bastin, *Theory of robot control*, Springer, 1997.

Ollero, A., *Robótica: Manipuladores y robots móviles*, Marcombo-Boixareu editores, 2001.

Seguimiento de trayectorias(lineal y escalado)



Propósito

Calcular las coordenadas y orientación de un vehículo que sigue una determinada trayectoria guiado mediante un controlador lineal con “escalado en velocidad”. También se calculan sus velocidades lineal y angular.

Descripción

Este bloque calcula las coordenadas (x, y) y la orientación de un vehículo a partir de unas referencias de velocidades lineal y angular deseadas. Se utiliza el siguiente modelo para el vehículo:

$$\begin{aligned}x' &= -v \sin\phi \\y' &= v \cos\phi \\ \phi' &= \omega\end{aligned}\tag{6.13}$$

y se trata de seguir las referencias en velocidades lineal y angular marcadas por el modelo de referencia:

$$\begin{aligned}x'_{ref} &= -v_{ref} \sin\phi_{ref} \\y'_{ref} &= v_{ref} \cos\phi_{ref} \\ \phi'_{ref} &= \omega_{ref}\end{aligned}\tag{6.14}$$

En este bloque se efectúa el siguiente cambio de coordenadas (ver Canudas [1] y Ollero [2]):

$$\begin{pmatrix} e_1 \\ e_2 \\ e_3 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -\sin\phi & \cos\phi & 0 \\ -\cos\phi & -\sin\phi & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_{ref} - x \\ y_{ref} - y \\ \phi_{ref} - \phi \end{pmatrix}\tag{6.15}$$

La ley de control que se aplica es lineal y viene dada por la ecuación:

$$\begin{aligned}u_1 &= -k_1 e_1 \\ u_2 &= -k_2 \operatorname{sgn}(v_{ref}) e_2 - k_3 e_3\end{aligned}\tag{6.16}$$

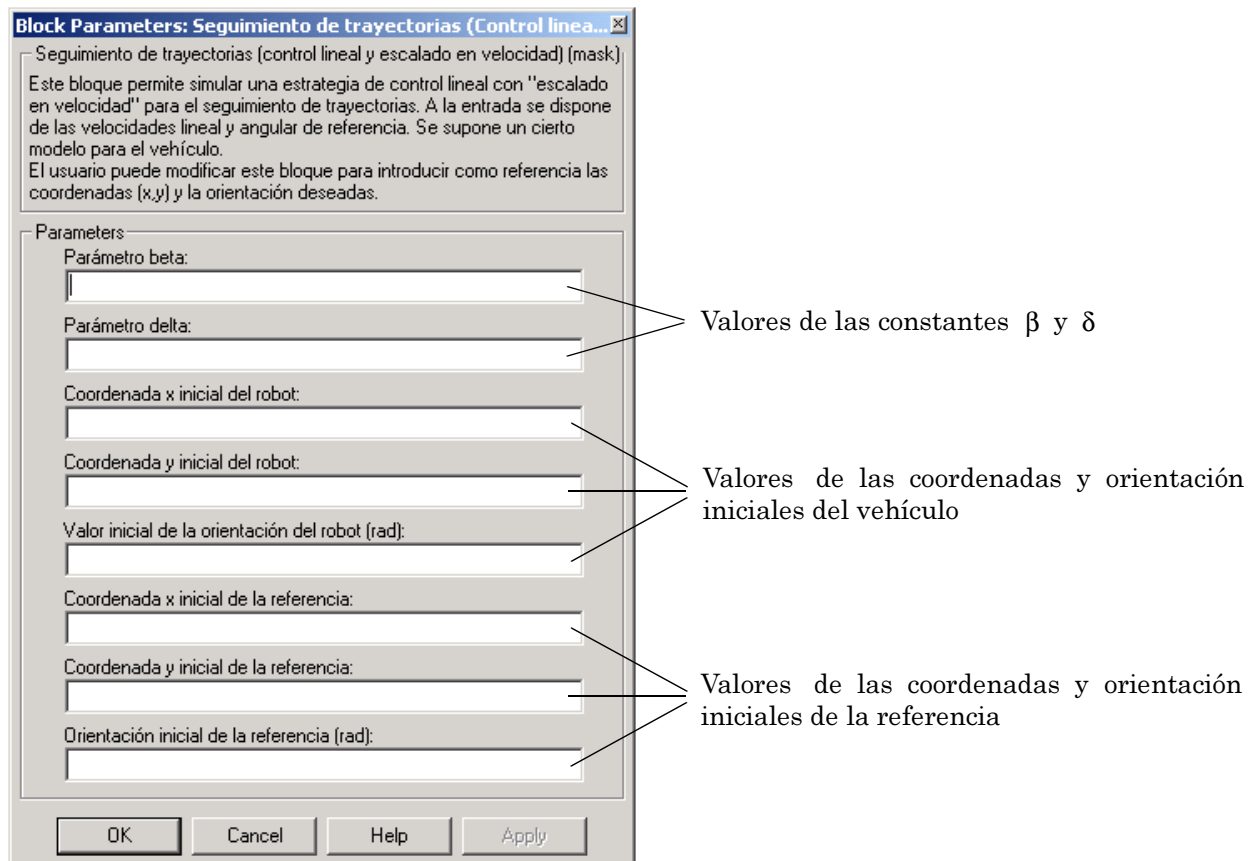
El “escalado en velocidad” consiste en un procedimiento de variación de los polos deseados con la velocidad. Se consigue escogiendo los siguientes valores para las constantes del controlador:

$$\begin{aligned}
 k_1 &= 2\delta(\omega_{ref}^2 + \beta v_{ref}^2)^{1/2} \\
 k_2 &= \beta |v_{ref}| \\
 k_3 &= 2\delta(\omega_{ref}^2 + \beta v_{ref}^2)^{1/2}
 \end{aligned}
 \tag{6.17}$$

donde β es una constante mayor que cero y δ es el coeficiente de amortiguamiento.

Este bloque puede ser modificado por el usuario al objeto de efectuar el seguimiento de las coordenadas y orientación de una determinada trayectoria (y no el de las velocidades lineal y angular).

Parámetros



Ejemplos

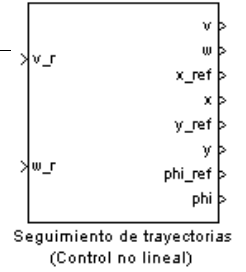
Ver Ejemplo H.6.7.

Referencias

Canudas de Wit, B. Siciliano y G. Bastin, *Theory of robot control*, Springer, 1997.

Ollero, A., *Robótica: Manipuladores y robots móviles*, Marcombo-Boixareu editores, 2001.

Seguimiento de trayectorias (no lineal)



Propósito

Calcular las coordenadas y orientación de un vehículo que sigue una determinada trayectoria guiado mediante un controlador no lineal. También se calculan sus velocidades lineal y angular.

Descripción

Este bloque calcula las coordenadas (x, y) y la orientación de un vehículo a partir de unas referencias de velocidades lineal y angular deseadas. Se utiliza el siguiente modelo para el vehículo:

$$\begin{aligned} \dot{x} &= -v \sin\phi \\ \dot{y} &= v \cos\phi \\ \dot{\phi} &= \omega \end{aligned} \quad (6.18)$$

y se trata de seguir las referencias en velocidades lineal y angular marcadas por el modelo de referencia:

$$\begin{aligned} \dot{x}_{ref} &= -v_{ref} \sin\phi_{ref} \\ \dot{y}_{ref} &= v_{ref} \cos\phi_{ref} \\ \dot{\phi}_{ref} &= \omega_{ref} \end{aligned} \quad (6.19)$$

En este bloque se efectúa el siguiente cambio de coordenadas (ver Canudas [1] y Ollero [2]):

$$\begin{pmatrix} e_1 \\ e_2 \\ e_3 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -\sin\phi & \cos\phi & 0 \\ -\cos\phi & -\sin\phi & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_{ref} - x \\ y_{ref} - y \\ \phi_{ref} - \phi \end{pmatrix} \quad (6.20)$$

La ley de control que se aplica es no lineal y viene dada por la ecuación:

$$\begin{aligned} u_1 &= -k_1(v_{ref}, \omega_{ref}) e_1 \\ u_2 &= -k_2 v_{ref} \frac{\sin e_3}{e_3} e_2 - k_3(v_{ref}, \omega_{ref}) e_3 \end{aligned} \quad (6.21)$$

donde se han escogido:

$$k_1(v_{ref}, \omega_{ref}) = k_3(v_{ref}, \omega_{ref}) = 2\delta(\omega_{ref}^2 + \beta v_{ref}^2)^{1/2} \quad (6.22)$$

siendo β es una constante mayor que cero y δ es el coeficiente de amortiguamiento.

Este bloque puede ser modificado por el usuario al objeto de efectuar el seguimiento de las coordenadas y orientación de una determinada trayectoria (y no el de las velocidades lineal y angular).

Parámetros

Block Parameters: Seguimiento de trayectorias (Control no li...

Seguimiento de trayectorias empleando una ley de control no lineal (mask).
Este bloque permite simular una estrategia de control no lineal para el seguimiento de trayectorias. A la entrada se dispone de las velocidades lineal y angular de referencia. Se supone un cierto modelo para el vehículo.
El usuario puede modificar este bloque para introducir como referencia las coordenadas (x,y) y la orientación deseadas.

Parameters

Parámetro beta:

Parámetro delta:

Parámetro K2:

Coordenada x inicial del robot:

Coordenada y inicial del robot:

Valor inicial de la orientación del robot (rad):

Coordenada x inicial de la referencia:

Coordenada y inicial de la referencia:

Orientación inicial de la referencia (rad):

OK Cancel Help Apply

Valores de las constantes β , δ y k_2 de la ley de control

Valores de las coordenadas y orientación iniciales del vehículo

Valores de las coordenadas y orientación iniciales de la referencia

Ejemplos

Ver Ejemplo H.6.8.

Referencias

Canudas de Wit, B. Siciliano y G. Bastin, *Theory of robot control*, Springer, 1997.

Ollero, A., *Robótica: Manipuladores y robots móviles*, Marcombo-Boixareu editores, 2001.

Ejemplos

Ejemplo H.6.2 (archivos ejh62.m, ejh62a.mdl y ejh62b.mdl): Ver Ejemplo 9.1 en Ollero [2].

Ejemplo H.6.3 (archivos ejh63.m, ejh63a.mdl y ejh63b.mdl)

Ejemplo H.6.4 (archivos ejh64.m y ejh64a.mdl): Ver Ejemplo 9.5 en Ollero [2].

Ejemplo H.6.5 (archivos ejh65.m y ejh65a.mdl)

Ejemplo H.6.6 (archivos ejh66.m y ejh66a.mdl): Ver Ejemplo 9.3 en Ollero [2].

Ejemplo H.6.7 (archivos ejh67.m y ejh67a.mdl): Ver Ejemplo 9.3 en Ollero [2].

Ejemplo H.6.8 (archivos ejh68.m y ejh68a.mdl): Ver Ejemplo 9.4 en Ollero [2].

Referencias

- [1] Canudas de Wit, B. Siciliano y G. Bastin, *Theory of robot control*, Springer, 1997.
- [2] Ollero, A., *Robótica: Manipuladores y robots móviles*, Marcombo-Boixareu editores, 2001.