

# ALGORITMO DE PLANEACIÓN DE CAMINOS PARA UN ROBOT MÓVIL TIPO CARRO

*Blanca Rosa Briseño Tepepa,*

*Hugo Rodríguez-Cortés*

*Depto. de Ingeniería*

*UPIITA- IPN*

## Resumen

*En este trabajo se presenta una solución para el problema de planeación de caminos definidos por puntos de referencia, en un robot móvil tipo carro. Se utiliza el algoritmo de línea de vista para reducir el número de estados a controlar de tres a dos, en conjunto con un control basado en Lyapunov para controlar el error de orientación. La definición del error de orientación se realiza en forma particular para evitar el fenómeno de desenrollado. Un control proporcional derivativo en velocidad translacional complementa la estrategia de control.*

**Palabras Clave;** *Robots móviles, Modelo no holonómico, Seguimiento de Caminos, Diseño por Lyapunov, Desenrollado.*

## Abstract

*In this paper a solution to the path following problem, where the path is defined by waypoints, for the car-like mobile robot is presented. The line of sight algorithm is used to reduce the number of states to be commanded from three to two; and a Lyapunov based control is proposed to command the attitude of the vehicle. The attitude error is defined in such a way that the unwinding phenomenon is avoided. The control strategy is completed by a PD velocity control*

**Keywords;** *Mobile robots Nonholonomic models Path Following Lyapunov design Unwinding.*

## I. Introducción

La robótica móvil es un tema de investigación fascinante por varias razones, una de ellas es que su funcionamiento requiere de la aplicación y estudio de varias disciplinas como son: física, matemáticas, mecánica, electrónica, control automático y computación. Con el auxilio de estas disciplinas se ha logrado que los robots móviles cumplan con tareas, tales como navegación autónoma tanto en ambientes controlados, al interior de laboratorios de investigación, como en ambientes no controlados, al exterior de los laboratorios de investigación. La navegación autónoma de robots móviles tipo carro en ambientes no controlados constituye un importante reto en el campo de la robótica móvil, para aplicaciones tales como transporte de personas y agricultura.

Algunos de los retos para lograr la navegación autónoma del robot móvil tipo carro son: el modelo cinemático del robot móvil tipo carro se describe por un conjunto de ecuaciones diferenciales no holonomas subactuadas. Como se demuestra en el artículo de Brockett and Sussmann (1983) los sistemas no holonomos subactuados no pueden controlarse con leyes de control continuas e invariantes en el tiempo. Se ha realizado un esfuerzo considerable para encontrar leyes de control variantes en el tiempo Murray (1993), Pomet (1992) y leyes de control discontinuas Bloch (1992), Canudas (1992). El problema de varias de estas leyes de control, aunque elegantes desde el punto de vista de la teoría de control, es que son extremadamente complejas, convergen muy lentamente, no aseguran estabilidad local exponencial, e inducen transitorios oscilantes. Por otro lado, aunque el fenómeno de desenrollo había sido documentado por décadas, ver por ejemplo Barba and Wie (1985), el término desenrollo fue introducido en Bhat (2000) para describir un fenómeno que aparece en controladores diseñados en espacios de configuración que no son, al menos localmente, difeomórficos al espacio euclidiano; en particular en los robots móviles la orientación evoluciona sobre el círculo unitario que no es un subespacio abierto de  $R$ .

Notar que, en el caso del robot móvil tipo carro, la orientación en cero grados puede también representarse por  $2n\pi$ ,  $n \in Z$ . Este problema puede ocasionar el fenómeno de desenrollo haciendo que el robot móvil rote sin necesidad para encontrar la referencia deseada. Finalmente, en Aguiar (2007) se abordan los problemas de seguimiento de trayectorias y seguimiento de caminos para vehículos subactuados con incertidumbre en el modelo. La estrategia de control propuesta combina un control supervisorio adaptable conmutado con técnicas de control basadas en Lyapunov.

Un factor común en esta breve revisión bibliográfica es que los controladores se diseñan teniendo en cuenta el resultado de Brockett and Sussmann (1983), en ninguno de estos resultados se aborda el problema de desenrollo y además los esquemas de localización del vehículo son precisos ya que en seguimiento de trayectorias se tiene como objetivo llevar al robot móvil desde un determinado punto a otro, en instantes de tiempo definidos. Si el sistema de localización no es preciso, el error de seguimiento puede aumentar sin tener en cuenta la posición real del robot móvil. En este trabajo se aborda el problema de seguimiento de caminos, definidos por puntos de referencia, para un robot móvil tipo carro impulsado por un motor de combustión interna en un ambiente exterior. Para resolver este problema, se utiliza el algoritmo de línea de vista propuesto en Skjetne et al. (2002) para reducir el número de estados a controlar de posición Cartesiana y orientación a distancia y orientación. El algoritmo de línea de vista transforma el problema de seguimiento de caminos en dos tareas: la tarea geométrica y la tarea dinámica.

La tarea geométrica consiste en orientar al robot móvil en la dirección del punto de referencia deseado y hacer que la distancia al punto de referencia deseado disminuya. El modelo cinemático del robot móvil en términos de la distancia y orientación es discontinuo. Debido a esta discontinuidad, se propone un umbral de aproximación al punto de referencia deseado,

esto es equivalente al círculo que rodea al vehículo en Fossen et al. (2003), y se diseña un control basado en Lyapunov para asegurar que el error en orientación converja a cero. Con el fin de evitar el problema de desenrollo, el error de orientación se define de manera que siempre se encuentre entre ciento ochenta grados y menos ciento ochenta grados. Si el error de orientación converge a cero el robot móvil se aproximará al punto de referencia deseado siempre y cuando la tarea dinámica se satisfaga.

La tarea dinámica consiste en mantener a la velocidad translacional constante. Esta tarea se logra con un control proporcional-derivativo para el modelo dinámico del robot móvil. Finalmente, se describe cómo es que esta estrategia de control se utiliza para seguir un camino definido por varios puntos de referencia mediante la utilización del umbral de proximidad al punto de referencia deseado. Es importante señalar que el modelo cinemático discontinuo que resulta del algoritmo de línea de vista ha sido explotado para diseñar controladores que aseguran convergencia exponencial local Astolfi (1996), Aicardi et al. (1995). Sin embargo, en estos diseños se mantiene un modelo de tres estados por lo tanto conservan el problema de controlar tres estados con dos entradas de control.

El algoritmo de línea de vista ha sido utilizado en Leedy et al. (2007) en un vehículo de la competencia DARPA Grand Challenge y en Morales et al. (2009) ambos resultados son validados experimentalmente en ambientes exteriores utilizando GPS diferencial y en Song et al. (2010) con un control difuso los Autores muestran resultados experimentales en ambiente interior con un robot móvil Pioneer 3. Aunque los experimentos mostrados en Leedy et al. (2007); Song et al. (2010); Morales et al. (2009) no presentan el fenómeno de desenrollo, el problema de evitar este fenómeno no es abordado.

## **II. Desarrollo y/o campo teórico**

El robot móvil tipo carro considerado en este trabajo es un robot tipo (1,1), Morin (2008) es decir, con un grado de movilidad y un grado de maniobrabilidad. Este robot móvil tiene ruedas delanteras paralelas orientables y ruedas traseras paralelas fijas. La postura del robot móvil se define como sigue: las coordenadas  $x$ ,  $y$  representan el punto medio del eje que une a las ruedas traseras,  $\psi$  es el ángulo de orientación del robot móvil con respecto a los ejes inerciales  $X$ ,  $Y$  y  $l$  es la distancia entre los ejes de las ruedas, ver Figura 1. En este robot móvil las ruedas delanteras son orientables mientras que las ruedas traseras se mantienen paralelas y no son orientables. Asumiendo que el robot móvil tiene un sistema de dirección tipo Ackermann, las cuatro ruedas pueden sustituirse por dos ruedas centrales Sotelo (2003), ilustradas en línea discontinua en la Figura 1. Asumiendo que las restricciones cinemáticas de no deslizamiento y rodamiento puntual se satisfacen, el modelo cinemático del robot móvil se describe por las ecuaciones siguientes Kachroo and Mellodge (2005)

$$\begin{aligned} \dot{x} &= V \cos(\psi) \\ \dot{y} &= V \sin(\psi) \\ \dot{\psi} &= \frac{V}{\ell} \tan(\zeta) \end{aligned} \quad (1)$$

Donde  $\zeta$  es el ángulo de dirección de la rueda delantera y  $V$  es la velocidad translacional del robot móvil. Asumiendo que la energía térmica del motor de combustión se transforma proporcionalmente en una fuerza puntual que se aplica sobre el robot móvil en la dirección de su velocidad translacional y no tomando en cuenta las fuerzas laterales, un modelo de la dinámica translacional del robot móvil puede describirse por la ecuación siguiente Kachroo and Mellodge (2005)

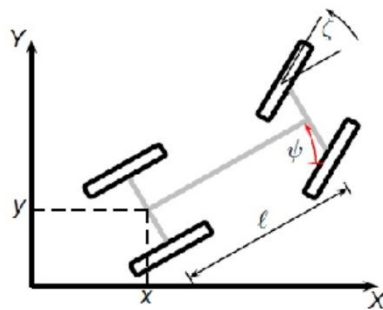
$$\left( m + J_z \frac{\tan(\zeta)^2}{\ell^2} \right) \dot{V} = - \frac{J_z \tan(\zeta)}{\ell^2 \cos(\zeta)^2} V + F_0 \delta_a \quad (2)$$

donde  $F_0$  es una constante de proporcionalidad entre la energía térmica del motor de combustión interna y la fuerza de propulsión que produce,  $\delta_a$  es la posición del acelerador del motor de combustión interna,  $m$  es la masa del robot móvil y  $J_z$  es el producto de inercia alrededor del eje Z del robot móvil.

La estrategia de control para seguimiento de caminos que se propone está basada en el algoritmo de línea de vista. Los objetivos del algoritmo de línea de vista pueden establecerse en la forma siguiente Fossen et al. (2003)

- Tarea geométrica. Forzar a la posición Cartesiana del robot móvil  $(x, y)$  a converger al punto de referencia deseado forzando al ángulo de guiñada a converger al ángulo de línea de vista, ver Figura 2:

$$\psi_d = \arctan\left(\frac{y_w - y}{x_w - x}\right) \quad (3)$$



**Figura 1:** Robot móvil tipo carro

- Tarea dinámica. Forzar a la velocidad translacional del robot móvil  $V$  a converger a la velocidad deseada  $V_d$ , esto es

$$\lim_{t \rightarrow \infty} (V - V_d) = 0$$

De la misma forma que en Fossen et al. (2003) durante la implementación se utiliza la función atan2 para garantizar que  $\psi_d \in [-\pi, \pi]$ . Primeramente se aborda el problema de satisfacer la tarea dinámica. Debido a que la plataforma experimental utilizada en este trabajo es impulsada por un motor de combustión interna y que los experimentos se realizaron en un campo de futbol soccer con una superficie bastante irregular, controlar la velocidad translacional no es un problema trivial.

Primero, modelar la dinámica de la plataforma experimental es un problema complicado y sale del alcance de este trabajo. Segundo, no se cuenta con los sensores adecuados para realizar una estrategia de control basada en el modelo del motor de combustión interna. Para resolver este problema se asume que la ecuación que describe la dinámica translacional (2) puede aproximarse como

$$m\dot{V} = k\delta_a$$

con  $k$  una constante positiva que asumiremos desconocida y que representa el acoplamiento entre la energía térmica del motor de combustión interna y la fuerza que se aplica a las ruedas del robot móvil. En las primeras pruebas, con un control proporcional, cuando el robot móvil llegaba a una irregularidad salía disparado o se quedaba atorado. Para resolver este problema se propone una estrategia de control proporcional derivativa, de la forma

$$\delta_a = K_{pV}\tilde{V} + K_{dV}\dot{\tilde{V}}, \quad \tilde{V} = V - V_d \quad (5)$$

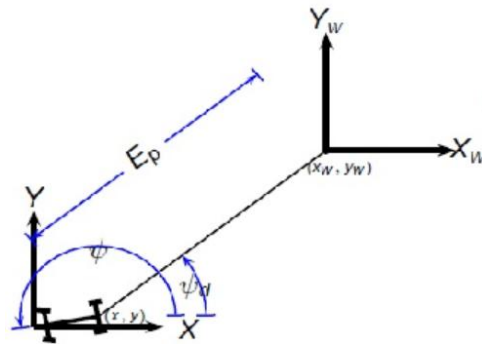
con  $V_d$  la velocidad deseada. Debido a que el GPS que se utiliza tiene una frecuencia de muestreo bastante baja, el lazo de control de velocidad se cierra con una medición de velocidad obtenida de un sensor óptico instalado en la flecha de transmisión de potencia del robot móvil. La aceleración se obtiene utilizando una derivada numérica. Dado que (5) es prácticamente un control sin modelo, la sintonización de las ganancias requiere de un número considerable de pruebas. Para satisfacer la tarea geométrica se definen las nuevas coordenadas de interés como: la distancia del robot móvil al punto de referencia  $E_p$  y el error de orientación  $e_\psi$  definido por la diferencia entre la orientación del robot móvil con respecto al sistema inercial  $\psi \in [-\pi, \pi]$  y  $\psi_d$ , es decir,

$$E_p = \sqrt{(x - x_w)^2 + (y - y_w)^2} \quad (6)$$

$$e_\psi = \psi - \psi_d$$

Derivando a  $E_p$  con respecto al tiempo, asumiendo que las coordenadas del punto de referencia son constantes se tiene

$$\dot{E}_p = \frac{1}{E_p} [(x_w - x) V \cos(\psi) + (y_w - y) V \sin(\psi)] \quad (7)$$



**Figura 2:** Para un punto de referencia

De la Figura (2) es fácil verificar que

$$\begin{aligned} \sin(\psi_d) &= \frac{y_w - y}{E_p} \\ \cos(\psi_d) &= \frac{x_w - x}{E_p} \end{aligned} \quad (8)$$

En las nuevas coordenadas las ecuaciones dinámicas que describen la cinemática del robot móvil quedan expresadas como sigue

$$\begin{aligned} \dot{E}_p &= -V \cos(e_\psi) \\ \dot{e}_\psi &= \frac{V}{\ell} \tan(\zeta) + \frac{V}{E_p} \sin(e_\psi) \end{aligned} \quad (9)$$

Planteando el problema de seguimiento de trayectorias, a nivel cinemático, con el algoritmo de línea de vista hemos pasado de un problema de controlar tres estados  $x$ ,  $y$  y  $\psi$  con dos entradas de control  $V$  y  $\zeta$  a un problema de controlar dos estados  $E_p$  y  $e_\psi$  con dos entradas de control  $V$  y  $\zeta$ . El precio que se paga por esta simplificación es que se tiene control de  $E_p$  pero no de la posición exacta  $(x, y)$  del robot móvil.

Por otro lado, debe notarse que en las nuevas coordenadas la cinemática del robot móvil es discontinua, la discontinuidad sucede exactamente cuando el robot móvil llega al punto de referencia, esto es, cuando  $E_p = 0$ . Como primer paso y con el objetivo de evitar que a consecuencia de las condiciones iniciales el robot móvil gire innecesariamente para converger a la orientación deseada, esto es que se produzca el fenómeno de desenrollo, se propone el siguiente algoritmo para lograr que el error de orientación  $e_\psi$  se encuentre en el intervalo  $[-\pi, \pi]$ .

$$\begin{aligned}
 &\text{if } e_\psi < 0 \\
 &e_\psi = e_\psi + 2\pi \\
 &\text{else if } e_\psi > 0 \\
 &e_\psi = e_\psi - 2\pi \\
 &\text{end}
 \end{aligned} \tag{10}$$

Por otro lado, para abordar el problema de la singularidad en la segunda ecuación de (9), cuando  $E_p = 0$  se propone un umbral de cercanía al punto de referencia deseado. Esto es equivalente al círculo virtual que rodea al vehículo en Fossen et al. (2003). Se propone al umbral  $\rho$  tal que

$$E_p > \rho, \forall t > 0 \tag{11}$$

Considerando (11) la ley de control que se propone para resolver la tarea geométrica surge de la estabilización del conjunto invariante siguiente Skjetne et al. (2004)

$$\mathcal{M} = \{(E_p, e_\psi) \in [\rho, \infty) \times [-\pi, \pi] | e_\psi = 0\} \tag{12}$$

con este objetivo se define el ángulo de giro de las ruedas delanteras como

$$\zeta = -\kappa_s \arctan\left(\frac{K_p e_\psi}{\kappa_s}\right) \tag{13}$$

con  $\kappa_s$  una constante para acotar el ángulo de dirección. De tal forma que la dinámica en lazo cerrado de (9) y (13) está escrita por las ecuaciones siguientes

$$\begin{aligned}
 \dot{E}_p &= -V_d \cos(e_\psi) \\
 \dot{e}_\psi &= -\frac{V_d}{\ell} \tan\left[\kappa_s \arctan\left(\frac{K_p e_\psi}{\kappa_s}\right)\right] + \frac{V_d}{E_p} \sin(e_\psi)
 \end{aligned} \tag{14}$$

donde se ha considerado que  $V$  ha convergido a  $V_d > 0$ . Las propiedades de estabilidad del control propuesto para resolver la tarea geométrica pueden enunciarse como sigue

Proposición 1. Asuma que  $V_d > 0$  y considere el algoritmo (10). Existen constantes positivas  $K_p$  y  $\rho$  tales que el sistema en lazo cerrado (14) es asintóticamente estable con respecto al conjunto invariante (12) y la tarea geométrica se satisface.

Prueba. La prueba se basa en el Lema A.1 de Skjetne et al. (2004) con  $x_1 = e_\psi$ ,  $x_2 = E_p$  y la función de Lyapunov

$$V_{e_\psi} = \frac{1}{2} e_\psi^2 + \kappa_0 \ln(1 + E_p) \quad (15)$$

con  $\kappa_0$  una constante positiva. La derivada de (15) con respecto al tiempo a lo largo de las trayectorias del sistema dinámico (14) es

$$V'_{e_\psi} = -\frac{V_d}{\ell} e_\psi \tan \left[ \kappa_s \arctan \left( \frac{K_p e_\psi}{\kappa_s} \right) \right] + \frac{V_d}{E_p} e_\psi \sin(e_\psi) - \frac{\kappa_0 V_d \cos(e_\psi)}{1 + E_p}$$

Agrupando términos se puede escribir

$$V'_{e_\psi} = -V_d \left\{ \frac{e_\psi}{\ell} \tan \left[ \kappa_s \arctan \left( \frac{K_p e_\psi}{\kappa_s} \right) \right] - \frac{e_\psi}{E_p} \sin(e_\psi) - \frac{\kappa_0 \cos(e_\psi)}{1 + E_p} \right\}$$

seleccionando  $\kappa_0$  de tal forma que

$$\left| \frac{\kappa_0 \cos(e_\psi)}{1 + \rho} \right| \approx 0$$

Entonces se tiene que la derivada de la función de Lyapunov es

$$V'_{e_\psi} \leq -|e_\psi| |w(e_\psi)|$$

$$w(e_\psi) = \frac{1}{\ell} \tan \left[ \kappa_s \arctan \left( \frac{K_p e_\psi}{\kappa_s} \right) \right] - \frac{1}{\rho} \sin(e_\psi) \quad (16)$$

Para obtener las condiciones bajo las cuales  $w(e_\psi)$  es positiva definida primero resaltamos que es una función impar, de manera que será suficiente con demostrar que es positiva definida en  $[0, \pi]$ . Con este objetivo se definen las funciones

$$f(e_\psi) = \frac{1}{\ell} \tan \left[ \kappa_s \arctan \left( \frac{K_p e_\psi}{\kappa_s} \right) \right]$$

$$g(e_\psi) = \frac{1}{\rho} \sin(e_\psi)$$

del Teorema del valor medio se sabe que una condición suficiente para que  $f(e_\psi) > g(e_\psi)$  en  $e_\psi \in [0, \pi]$  es que la desigualdad siguiente se satisfaga

$$f'(e\psi) > g'(e\psi) \quad (17)$$

con  $f'(e\psi)$  y  $g'(e\psi)$  las derivadas de  $f$  y  $g$  respectivamente. Puede verificarse que (17) se cumple si, dados  $\ell$  y  $K_s$ , las constantes  $\rho$  y  $K_p$  se definen de manera que las desigualdades siguientes se satisfacen

$$\rho > 2\pi \frac{\ell}{k_s} \quad (18)$$

$$\frac{K_p}{\ell \left( \frac{1 + K_p^2 \pi^2}{k_s^2} \right)} > \frac{1}{\rho}$$

De manera que puede concluirse que  $e\psi$  converge asintóticamente a cero satisfaciéndose la tarea geométrica. Finalmente, cuando  $e\psi = 0$  de la primera ecuación en (14) puede concluirse que  $E_p$  decrece y por lo tanto el robot móvil se aproxima al punto de referencia deseado.

Considere ahora una trayectoria definida por  $n$  puntos de referencia, asuma que los puntos de referencia están definidos por el vector WP,

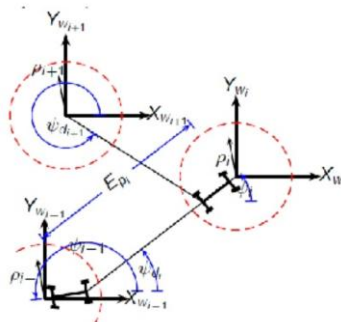


Figura 3.- Múltiples puntos de referencia.

el caso para tres puntos de referencia contiguos  $w_{i-1}$ ,  $w_i$  y  $w_{i+1}$  se muestra en la Figura 3. Para generar un camino a partir de los puntos de referencia se considera que cada componente  $i$  de WP,  $w_i = (x_{w_i}, y_{w_i})$  está conectado al componente siguiente  $w_{i+1} = (x_{w_{i+1}}, y_{w_{i+1}})$  por medio de una línea recta. De esta forma, se define un camino deseado y la orientación de cada segmento del camino.

Para utilizar la estrategia de control propuesta en la Sección anterior en el caso de múltiples puntos de referencia se define

$$E_p^{(i)} = \sqrt{(x_{w_i} - x)^2 + (y_{w_i} - y)^2}$$

$$e_\psi^{(i)} = \psi - \psi_d^{(i)}$$

entre los puntos de referencia  $w_i$  y  $w_{i+1}$ . De esta forma el modelo cinemático del robot móvil entre los puntos de referencia  $W_{P_i}$  y  $W_{P_{i+1}}$  queda descrito por el siguiente conjunto de ecuaciones diferenciales

$$\begin{aligned} \dot{E}_p^{(i)} &= -V_d \cos(e_\psi^{(i)}) \\ \dot{e}_\psi^{(i)} &= -\frac{V_d}{\ell} K_p e_\psi^{(i)} + \frac{V_d}{E_p^{(i)}} \sin(e_\psi^{(i)}) \end{aligned} \quad (19)$$

de forma similar, la ley de control entre los puntos de referencia  $W_{P_i}$  y  $W_{P_{i+1}}$  es

$$\zeta^{(i)} = -\kappa_s \arctan\left(\frac{K_p e_\psi^{(i)}}{\kappa_s}\right)$$

Para realizar la transición entre puntos de referencia se utiliza la vecindad del punto de referencia definida en (11), de tal manera que cuando

$$E_p^{(i)} < \rho_t$$

se hace la conmutación al siguiente punto de referencia, ver la Figura 3.

## Conclusiones

En este trabajo se abordó el problema de planeación de caminos definidos por puntos de referencia para un robot móvil tipo carro. La estrategia de control se propone desde el punto de vista del algoritmo de línea de vista, el cual genera un modelo cinemático discontinuo. En estas nuevas coordenadas se diseña un control basado en Lyapunov que resuelve el problema de la tarea geométrica mediante una retroalimentación del error en orientación. Por medio de una definición adecuada del error en orientación, este se mantiene en el intervalo  $[-\pi, \pi]$  evitando el fenómeno de desenrollado. La tarea cinemática se realiza por medio de un control proporcional derivativo en velocidad translacional. Este control mantiene a la velocidad translacional constante y de signo definido. La estrategia de control se valida experimentalmente en un ambiente exterior no controlado.

## IV. Referencias

- [1] Aguiar, H., 2007. Trajectory-tracking and path-following of underactuated autonomous vehicles with parametric modeling uncertainty. *IEEE Trans. On Automatic Control* 52, 1362–1378. DOI: 10.3923/ijbc.2010.190.202
- [2] Aicardi, M., Casalino, G., Bicchi, A., Balestrino, A., 1995. Closed loop steering of unicycle like vehicles via lyapunov techniques. *Robotics & Automation Magazine, IEEE* 2 (1), 27–35.

- [3] Astolfi, A., 1995. Exponential stabilization of a car-like vehicle. IEEE International Conference on Robotics and Automation 34, 1391–1396. DOI: 10.3923/ijbc.2010.190.202
- [4] Astolfi, A., 1996. Discontinuous control of nonholonomic systems. Systems and Control Letters 27, 37–45. DOI: 10.3923/ijbc.2010.190.202
- [5] Barba, P. M., Wie, B., 1985. Quaternion feedback for spacecraft large angle maneuvers. Journal of Guidance, Control, and Dynamics 8(3), 360–365. DOI: 10.3923/ijbc.2010.190.202
- [6] Bhat, S. P. y. B., 2000. A topological obstruction to continuous global stabilization of rotational motion and the unwinding phenomenon. Systems & Control Letters 39, 63–70. DOI: 10.3923/ijbc.2010.190.202
- [7] Bloch, A. M., R. M. y. M. N. H., 1992. Control and stabilization of nonholonomic dynamic systems. IEEE Trans. on Automatic Control 37(11), 1746 – 1757. DOI: 10.3923/ijbc.2010.190.202
- [8] Briseño-Tepepa, B., Rodríguez-Cortés, H., 2012. Seguimiento de caminos para un robot móvil tipo carro en un ambiente exterior. In: Proc. Congreso Anual de la Asociación de México de Control Automático, Cd. del Carmen, Campeche, México.
- [9] Brockett, R.W., R. S.M., Sussmann, H. J., 1983. Harvard Robotics Laboratory, Birkhauser, Boston.
- [10] Canudas, W., C. y. S. O. J., 1992. Example of piecewise smooth stabilization of driftless nl systems with less inputs than states. Proc. Symp on Nonlinear Control System Design, Symp on Nonlinear Control System Design 7, 57– 61. DOI: 10.3923/ijbc.2010.190.202.