

## Control de movimiento en robots móviles de ruedas tipo diferencial

C. Y. Sosa-Cervantes,  
C. Márquez-Sánchez,  
R. Silva-Ortigoza,  
M. Marcelino-Aranda,  
M. Antonio-Cruz,  
J. R. García-Sánchez,  
J. A. Rodríguez-Meza.

1 Instituto Politécnico Nacional,  
CIDETEC. Área de Mecatrónica.  
Unidad Profesional Adolfo López

### ABSTRACT

Este trabajo presenta un panorama general en el control de movimiento de robots móviles de ruedas (RMR), mostrando algunas de las tareas de control que se presentan en los RMR.

## 1. Introducción

El desarrollo de la robótica tuvo sus inicios en robots manipuladores debido a su fuerte presencia en el campo industrial, sin embargo, a medida que el tiempo avanzaba, los robots móviles, sobre todo los de ruedas (robots móviles de ruedas RMR), empezaron a ganar un amplio terreno dada la simplicidad de su construcción, en comparación con los robots manipuladores, y sus variadas aplicaciones. Como consecuencia, el control de este tipo de robots comenzó a ser el tema de múltiples estudios de investigación, particularmente aquellos con restricciones no-holonomicas dado el desafío que implica el desarrollo de técnicas de control. Cabe destacar, que el control de RMR se generalmente es basado en el modelo cinemático del mismo siendo la velocidad lineal y angular del robot las entradas de control. De igual manera, existen técnicas de control basadas en el modelo dinámico del robot, la elección del modelo a emplear dependerá de la técnica de control a emplearse.

Existen diversas tareas de control derivadas de las aplicaciones de los robots móviles tales como el posicionamiento, regulación, evasión de obstáculos, seguimiento de sendas y seguimiento de trayectorias.

Siendo el seguimiento de trayectoria, una de las problemáticas más significativas a solucionar debido a que es la que dota de mayor autonomía al robot, además de que el hecho de que el robot se mueva a través de una trayectoria planeada reduce el riesgo de colisiones. A continuación se muestran algunas consideraciones necesarias para el desarrollo de técnicas de control para el movimiento del robot, específicamente en los RMR tipo diferencial. La estructura de este trabajo es de la siguiente manera: En la sección II se muestra el modelo cinemático y dinámico de los RMR tipo diferencial, posteriormente en la sección III se presentan algunas tareas de control de los RMR. Finalmente en la sección IV se presentan las conclusiones.

## 2. Modelo cinemático y dinámico

El modelo cinemático de un RMR tipo diferencial relaciona la posición, velocidad y aceleración del robot sin tomar en cuenta las fuerzas involucradas [1]-[2]:

---

$$\begin{aligned}\dot{x} &= v \cos \theta, \\ \dot{y} &= v \operatorname{sen} \theta, \\ \dot{\theta} &= \omega,\end{aligned}$$

---

Donde  $(x,y)$  representan las coordenadas del robot en el espacio de trabajo,  $\theta$  representa el ángulo de orientación del robot, mientras que  $v$  y  $\omega$  representan la velocidad lineal y angular, respectivamente, del robot. Como se puede observar, para aquellos métodos de control que hacen uso del modelo cinemático las entradas de control son las velocidades lineal y angular,  $(v, \omega)$ . Estas velocidades están a su vez asociadas con la velocidad angular de cada rueda.

Asimismo, no solo el modelo cinemático debe ser considerado, sino también el modelo dinámico del robot [3], el cual relaciona el movimiento del robot con las fuerzas involucradas en el mismo.

---

$$H(q)\ddot{q} + C(q, \dot{q})\dot{q} + \tau_g(q) = \tau,$$

---

Donde  $H(q)$  es la matriz de inercia,  $C(q, \dot{q})\dot{q}$  es el vector de Coriolis y las fuerzas centrífugas,  $\tau_g(q)$  el vector de las fuerzas gravitacionales y  $\tau$  es el vector de los torques de entrada de control. Usualmente los modelos empleados para el control de movimiento en RMR no consideran el deslizamiento, fenómeno causado por el suelo irregular en el que se encuentran los robots. El deslizamiento afecta principalmente la posición del robot causando un error de posicionamiento. En [4] se muestran diversos modelos matemáticos que consideran este fenómeno. Usualmente los métodos de control son desarrollados para RMR tipo diferencial, sin embargo estos pueden ser extendidos o adaptados para otro tipo de configuraciones.

### 3. Tareas de control

Los problemas de control más importantes en RMR [5] regulación o estabilización, seguimiento de sendas, seguimiento de trayectorias y evasión de obstáculos. A continuación se presenta una breve explicación de estas tareas.

Regulación: Esta tarea de control es también conocida como punto a punto debido a que el objetivo es llevar al robot de una posición inicial  $P_0$  a una posición final  $P_d$ . Esta tarea no presenta trayectorias definidas por lo que el trayecto que se realice entre  $P_0$  y  $P_d$  no es de interés.

Seguimiento de sendas: El seguimiento de senda tiene como objetivo el seguimiento de una ruta predefinida en la superficie del espacio de trabajo, por lo que en esta tarea lo que se busca es encontrar el ángulo de orientación que el robot deberá seguir.

Seguimiento de trayectorias: A diferencia del seguimiento de senda, el seguimiento de trayectoria no tiene una ruta predefinida en la superficie del espacio de trabajo, sino que se tiene una trayectoria de referencia que se define como una función en el tiempo, la cual deberá seguir el robot. Esto quiere decir que el robot deberá moverse a una velocidad adecuada para poder realizar la trayectoria deseada.

Evasión de obstáculos: Esta tarea generalmente va ligada al seguimiento de trayectoria, ya que consiste en métodos de planeación de rutas para evitar obstáculos las cuales el robot debe seguir para así evitar una colisión.

### 4. Conclusiones

El estudio de los RMR ha crecido de tal manera que hoy en día es uno de los principales factores para el crecimiento y evolución de la sociedad. Sus aplicaciones van desde la exploración planetaria hasta el cuidado médico, por esta razón y a fin de llevar a cabo el objetivo de cada aplicación, los RMR necesitan enfrentar diversos problemas de control. Los problemas de control más importantes son regulación o estabilización, seguimiento de trayectoria, seguimiento de sendas y evasión de obstáculos. El control de movimiento de un robot depende no solo de la tarea que se pretende realizar, sino también del modelo matemático con el que se trabajara. De esta manera se definen las entradas de control para el

movimiento del robot, ya que si lo que se pretende es seguir una senda lo conveniente es encontrar el ángulo de orientación del robot pero si lo que se hará será seguir una trayectoria, se deberá encontrar las velocidades adecuadas para la realización de dicha trayectoria.

## 5. Referencias

[1] P. F. Muir y C. P. Neuman, "Kinematic modeling of wheeled mobile robots", *Journal of Robotic Systems* vol. 4, no. 2, pp. 281-340, Abr. 1987

[2] P. F. Muir, "Modeling and control of wheeled mobile robots", Ph.D. dissertation, The Robotics Institute Carnegie Mellon University, Pittsburgh, Aug. 1988.

[3] G. Campion, G. Bastin y B. D'Andréa-Novel, "Structural properties and classification of kinematic and dynamic models of wheeled mobile robots," *IEEE Transactions on Robotics and Automation*, vol. 12, no. 1, pp. 47-62, Feb. 1996.

[4] L. Gracia y J. Tornero, "Kinematic modeling of wheeled mobile robots with slip", *Advanced Robotics*, vol. 21, no. 11, pp. 1253-1279, Nov. 2007.

[5] R. S. Ortigoza, M. M. Aranda, G. S. Ortigoza, V. M. H. Guzmán, M. A. M. Vilchis, G. S. González, J. C. H. Lozada y M. O. Carbajal, "Wheeled mobile robots: a review", *IEEE Latin America Transactions*, vol. 10, no. 6, pp. 2209-2217, Dic. 2012.