

## SEGUIMIENTO DE TRAYECTORIA EN ROBOTS MÓVILES DE RUEDAS TIPO DIFERENCIAL

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

*Instituto Politécnico Nacional, CIDETEC.*

### **Abstract**

*Este trabajo muestra diversas técnicas empleadas para la solución a la problemática del seguimiento de trayectorias aplicadas a robots móviles de ruedas (RMR) de tipo diferencial.*

### **Introducción**

Durante muchos años, la robótica ha tenido un gran impacto en el desarrollo humano. Su importancia es tal que actualmente los robots están presentes en áreas de importancia para el desarrollo humano así como aquellas en las cuales es necesario realizar tareas repetitivas, actividades de riesgo para el ser humano o simplemente aquellas en las que un robot es más eficiente. Como resultado de esto, los robots están presentes en áreas como el cuidado médico, construcción, exploración planetaria, etc. Así, existen diversas tareas de control derivadas de las aplicaciones de los robots móviles tales como el posicionamiento, regulación, posicionamiento, 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. Siguiendo este rumbo, algunas de las técnicas empleadas para la solución a la problemática de la tarea de seguimiento de trayectorias son presentadas en este trabajo. La estructura de este trabajo es de la siguiente manera: En la sección II se muestran algunas generalidades de los robots móviles de ruedas (RMR) mientras que en la sección III se presentan algunas técnicas empleadas en la solución del seguimiento de trayectoria. Finalmente en la sección IV se presentan las conclusiones.

### **Generalidades de los RMR**

Diversos robots móviles han sido reportados a lo largo de la historia. RMR como los presentados en [1], con piernas [2]-[4], híbridos [5] y tipo oruga [6] comenzaron a ser diseñados y a ser motivo de estudio. A pesar de la diversidad de robots existentes, los RMR son los más estudiados por su autonomía y simplicidad de construcción. Los RMR pueden ser clasificados en diferentes tipos de acuerdo a la disposición de sus ruedas [7], tales como triciclo clásico, asíncrono, diferencial, skid steer, omnidireccional, entre otras.

El diseño de un robot es más que su construcción mecánica y eléctrica; es necesario tomar en cuenta el modelo cinemático [8]-[9], el cual analiza la posición, velocidad y aceleración del robot sin tomar en cuenta las fuerzas involucradas. Asimismo, no solo el modelo cinemático debe ser considerado, sino también el modelo dinámico del robot [10], el cual relaciona el movimiento del robot con las fuerzas involucradas en el mismo. Cabe destacar, que los modelos mencionados anteriormente, están directamente relacionados con el arreglo de las ruedas que presenta cada RMR [10]. Es importante mencionar que los modelos antes mencionados 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 [11] se muestran diversos modelos matemáticos que consideran este fenómeno.

## **Técnicas empleadas a la solución al seguimiento de trayectoria**

Los problemas de control más importantes en RMR [7] son posicionamiento, regulación o estabilización, seguimiento de trayectoria, seguimiento de sendas y evasión de obstáculos. Sin embargo, la literatura referente a dichos problemas de control, se encuentran comúnmente relacionados a la solución del seguimiento de trayectoria, esto debido a la flexibilidad de las técnicas de control asociadas a esta tarea.

En [12] se presenta un esquema de control de estructura variable, mediante un control externo y un control interno; el primero, se asocia al modelo cinemático del móvil que se encarga de generar los perfiles de velocidad angular deseados por los motores, a través de un esquema de linealización entrada-salida; el segundo, compuesto de dos controles PID para los motores, se encarga de reproducir las velocidades impuestas por el control externo. Haciendo uso de los modelos cinemático y dinámico, en [13] se presenta un controlador adaptivo basado en primera instancia en el modelo cinemático del robot, ya que se muestra que un controlador adaptivo puede ser diseñado para el modelo dinámico si es posible diseñar un controlador adaptivo para el modelo cinemático. Para lograr este objetivo, se hace uso de un enfoque de backstepping adaptivo, así como la integración de un controlador cinemático y un controlador de torque para el modelo dinámico.

Por otro lado, en [14] se presenta una estrategia de control basada en la velocidad y los lazos de corriente interno dados por controladores proporcionales, dicho control hace uso tanto del modelo cinemático como del modelo dinámico del robot, presentando una justificación formal para dicha estrategia. En [15] se muestra un controlador diseñado en base al modelo cinemático y dinámico, el cual utiliza la técnica de backstepping para desarrollar una ley de control que combina tanto el modelo cinemático como el torque. Para lograr esto, es necesario tomar en cuenta el modelo dinámico completo del RMR. En [16] se describe un controlador adaptivo que incluye el modelo cinemático, generando la velocidad lineal y angular para el robot, los cuales son procesados a fin de ser seguidos por los actuadores del mismo. En [17] se hace uso de los campos artificiales para minimizar el error casado por la posición del robot, utilizando un método adaptivo basado en el modelo cinemático para dar solución a la problemática del seguimiento de trayectoria.

## **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 posicionamiento, regulación o estabilización, seguimiento de trayectoria, seguimiento de sendas y evasión de obstáculos. Sin embargo, el problema de control más estudiado en la literatura es el seguimiento de trayectoria en RMR de tipo diferencial. Por esta razón, una breve presentación de algunas de las técnicas empleadas en la solución de dicha tarea se muestran en el presente trabajo.

## Referencias

- [1] 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.
- [2] Disponible en: <http://asimo.honda.com/asimo-history/>
- [3] M. H. Raibert, H. B. Brown, M. Chepponis, E. Hastings, J. Koechling, K. N. Murphy, S. S. Murthy, and A. J. Stentz,, "Dynamically stable legged locomotion", Technical Report No. CMU-RI-TR-83- 20, The Robotics Institute and Department of Computer Science, Carnegie Mellon University, Pittsburgh, PA, Dic. 1983.
- [4] M. H. Raibert, H. B. Brown y M. Chepponis, "Experiments in balance with a 3D one-legged hopping machine", *International Journal of Robotics Research*, vol. 3, pp. 75-92, 1984.
- [5] E. Ottaviano y P. Rea, "Design and operation of a 2-DOF leg-wheel hybrid robot", *Robotica*, vol. 31, no. 8, pp. 1319-1325, Jun. 2013.
- [6] T. Iwamoto, H. Yamamoto y K. Honma, "Transformable crawler mechanism with adaptability to terrain variations", *Proceeding of the International Conference on Advanced Robotics*, pp. 285-292, Tokyo, 1983.
- [7] 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.
- [8] 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
- [9] P. F. Muir, "Modeling and control of wheeled mobile robots", Ph.D. dissertation, The Robotics Institute Carnegie Mellon University, Pittsburgh, Aug. 1988.
- [10] 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.
- [11] L. Gracia y J. Tornero, "Kinematic modeling of wheeled mobile robots with slip", *Advanced Robotics*, vol. 21, no. 11, pp. 1253-1279, Nov. 2007.
- [12] E. Aranda-Bricaire, T. Salgado-Jiménez y M. Velasco-Villa, "Control no lineal discontinuo de un robot móvil", *Computación y Sistemas*, Número Especial, pp. 42-49, 2002.
- [13] T. Fukao, H. Nakagawa y N. Adachi, "Adaptive tracking control of a Nonholonomic mobile robot", *IEEE Transactions on Robotics and Automation*, 16, pp. 609-615, 2000.
- [14] J.L. Avendaño, V.M. Hernández-Guzmán y R. Silva-Ortigoza, "Velocity and current inner loops in a wheeled mobile robot", *Advanced Robotics*, 24, pp. 1385-1404, 2010.

- [15] R. Fierro y F.L. Lewis, "Control of a nonholonomic mobile robot: backstepping kinematics into dynamics", in Proc. 34th Conference on Decision and Control, New Orleans, pp. 3805-3810, 1995.
- [16] F. N. Martins, W. C. Celeste, R. Carelli, M. Sarcinelli-Filho y T. F. Bastos-Filho, "An adaptive dynamic controller for autonomous mobile robot trajectory tracking", Control Engineering Practice, vol. 16, no. 11, pp. 1354-1363, Nov. 2008.
- [17] J. Wang, Z. Lu, W. Chen y X. Wu, "An adaptive trajectory tracking control of wheeled mobile robots", 2011 6th IEEE Conference on Industrial Electronics and Applications (ICIEA), Beijing, pp. 1156-1160, Jun. 2011.