

MECANISMO DE CONTROL DE ROTACIÓN DE UNA RUEDA ESFÉRICA

G. EJARQUE¹, R. HAARTH¹, M. DISTEFANO¹

¹*Instituto de Automática y Electrónica Industrial (IAEI).
Facultad de Ingeniería. Universidad Nacional de Cuyo.
Mendoza. Argentina.*

gonzalo.ejarque@yahoo.com.ar rhaarth@uncu.edu.ar mdistefa@uncu.edu.ar

Se describe el diseño de un mecanismo capaz de controlar el movimiento de rotación de una rueda esférica. Por definición, una rueda convencional gira sobre un solo eje de rotación, pero si ésta fuese una esfera y se pudiera controlar su movimiento, se tendría una rueda esférica capaz de girar sobre un eje de rotación variable, logrando desplazamientos controlados en cualquier dirección. Se trata de un prototipo simulado por computador que no ha sido fabricado aún por estar en fase de desarrollo.

Palabras clave: Mecatrónica, robótica móvil, sistemas holonómicos omnidireccionales.

1. Introducción

Los sistemas mecánicos evolucionan constantemente gracias a los cambios tecnológicos que se producen en sus elementos constituyentes. En el caso de la rueda encontramos un componente, que a pesar de las mejoras tecnológicas introducidas a lo largo de la historia, no ha cambiado radicalmente en cuanto a su definición: una rueda convencional gira siempre sobre un único eje, perpendicular al plano de rotación de la rueda.

El presente trabajo, que actualmente se encuentra en fase de desarrollo, generaliza el concepto de rueda motriz, mediante la representación de un mecanismo de transmisión de potencia que controla el movimiento de una rueda esférica en todas las direcciones de un plano denominado plano de locomoción [1].

Por definición, una rueda convencional puede girar sobre un eje perpendicular a la misma, pero si ésta fuese una esfera y se pudiera controlar su movimiento, se tendría una rueda esférica capaz de girar sobre un eje variable. Es por esto que el sistema en cuestión transmite movimientos a una esfera controlando el giro y orientación de una rueda en contacto directo con aquella, respecto de un eje de referencia paralelo al plano de locomoción. Este diseño permite el desplazamiento controlado de la rueda esférica en cualquier dirección de una superficie plana, horizontal o inclinada.

La idea original fue presentada por los autores, en un concurso de invenciones realizado en Estados Unidos por la revista NASA Tech Briefs y SolidWorks. Actualmente se ha comenzado el desarrollo del prototipo y la obtención de resultados que confirmen o introduzcan cambios al diseño inicial.

Este mecanismo puede ser de gran utilidad en ciertas aplicaciones como son los vehículos omnidireccionales, robots manipuladores holonómicos y articulaciones para prótesis médicas (ver sección 4).

1.1. Objetivos

A continuación se detallan los principales objetivos implicados en el desarrollo de este mecanismo omnidireccional:

- Incorporar diseños tecnológicos innovadores que potencien los valores diferenciadores en la enseñanza y capacitación académica de grado y posgrado, logrando competencias en el área de Robótica y Mecatrónica.
- Mediante el desarrollo de proyectos tecnológicos por parte de los futuros egresados, nuevos modelos motrices podrán ser realizados aplicando principios mecánicos que modifiquen la forma de transmitir movimientos en un sistema móvil dado.
- Estudiar la cinemática y la dinámica de un nuevo sistema de transmisión, con la finalidad de comprobar el funcionamiento y analizar ventajas y limitaciones.

1.2. Interés en la docencia

Por otro lado, concretar este proyecto podría ser de gran interés para la Facultad de Ingeniería perteneciente a la Universidad Nacional de Cuyo (Mendoza, Argentina) en su nueva carrera “Ingeniería en Mecatrónica”, dentro de la asignatura “Cadena Cinemática”. Ya que una vez desarrollada la plataforma, ésta puede ser utilizada para el estudio de sistemas holonómicos en prácticas de laboratorio de dicha asignatura. Así como también, considerando el grado de complejidad del diseño, puede motivar la realización de proyectos tecnológicos innovadores, los cuales pueden ser desarrollados por parte de grupos de alumnos avanzados e interesados en el estudio de sistemas holonómicos no convencionales, que puedan lograr aportes en el estado del arte de la robótica móvil, siempre bajo el marco de un ambiente de trabajo colaborativo.

2. Conceptos previos

Antes de comenzar el desarrollo del trabajo propiamente dicho es importante conocer los siguientes conceptos previos:

2.1 Ruedas omnidireccionales

Una rueda omnidireccional es una rueda capaz no solo de girar en un plano como las ruedas convencionales, sino también de desplazarse en un plano [2]. Existen distintos modelos de ruedas omnidireccionales, un ejemplo de ellos es el que se muestra en la Fig. 1. Los rodillos pasivos presentes en el perímetro de lo que sería una rueda convencional, permiten el desplazamiento lateral de la rueda, otros modelos proponen rodillos motrices [3, 4].



Figura 1. Rueda omnidireccional utilizada en robots holonómicos (ver sección 2.2).

2.2 Sistemas holonómicos

Un sistema es holonómico cuando el número de grados controlables es igual al número de grados de libertad de dicho sistema [3]. En otras palabras, un sistema holonómico, controla cada uno de sus grados de libertad de forma independiente. Por lo tanto, un robot móvil puede o no ser un sistema holonómico.

2.3 Robots móviles omnidireccionales

Un robot móvil es considerado omnidireccional cuando es capaz de controlar de manera independiente cada uno de sus n grados de libertad, siendo $n=3$ para una plataforma capaz de desplazarse sobre un plano (Fig. 2). En los últimos años, el desarrollo de plataformas holonómicas forma parte de una nueva generación de robots móviles.

Entre los prototipos más conocidos encontramos bases con tres ruedas omnidireccionales: es el caso de una plataforma omnidireccional de tres ruedas capaz de desarrollar un movimiento en cualquier dirección del plano. El bajo valor de momento de vuelco, limita al robot en sus valores de aceleración y desaceleración máximos [1].

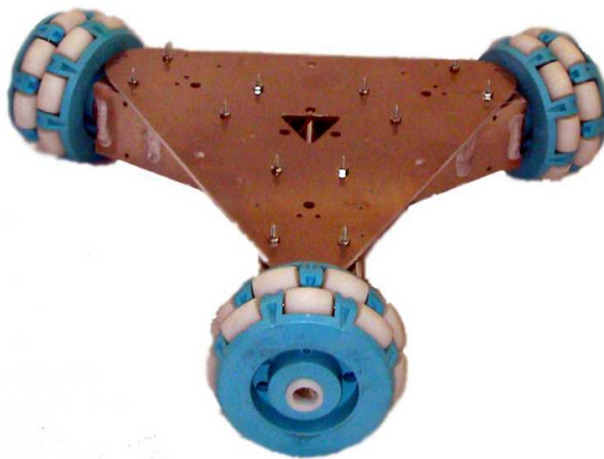


Figura 2. Robot móvil equipado con tres ruedas omnidireccionales [5].

2.4 Rueda esférica motriz (REM)

Según los autores de este trabajo, la rueda esférica motriz constituye un nuevo tipo de rueda omnidireccional. Se trata de un sistema mecánico de transmisión de potencia capaz de controlar el movimiento de rotación de una esfera. En la Fig. 3 se muestra la transmisión de potencia para una rueda esférica. Se observa a la esfera en contacto con un plano de locomoción, la rueda convencional en contacto pseudo-puntual con la esfera y parte del sistema de motorización de la rueda esférica REM.

Principio de funcionamiento: el sistema descrito transmite movimientos a una esfera controlando el giro y orientación de una rueda en contacto directo con aquella, respecto de un eje de referencia paralelo al plano de locomoción. Este diseño permite el desplazamiento controlado de la rueda esférica en cualquier dirección de una superficie plana, horizontal o inclinada.

Solo se necesitan dos parámetros angulares para determinar la posición de un punto de referencia arbitrario sobre la superficie de la esfera.

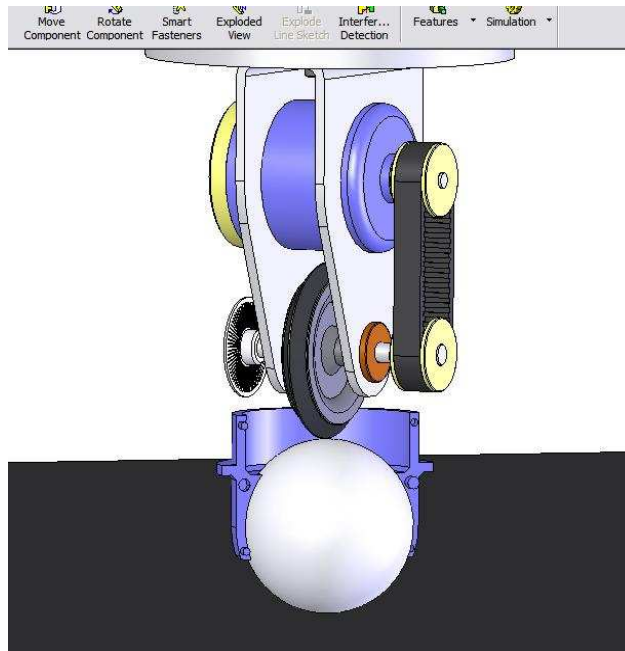


Figura 3. Diseño original de la rueda esférica motriz presentado por los autores en agosto de 2008. Realizado en SolidWorks para el concurso de invenciones organizado por la revista NASA Tech Briefs y SolidWorks.

2.5. Antecedentes

En el año 2006, el Robotics Institute de Carnegie-Mellon University presenta el robot móvil “Ballbot”. Se trata de una plataforma de investigación reconfigurable que fue construida para verificar la noción de un robot móvil dinámicamente estable, capaz de quedar detenido en la cumbre de una rueda esférica. La Fig. 4 muestra la plataforma experimental “Ballbot”, el esquema de transmisión se muestra en la Fig. 5.

La transmisión de este robot es esencialmente la inversión del mecanismo de un “mouse” de bola. En lugar de que la bola maneje los rodillos para proveer las entradas correspondientes a la computadora, son los rodillos los que manejan la bola para producir el movimiento. Los rodillos están posicionados ortogonalmente a la altura del ecuador de la esfera. Estos rodillos se encuentran vinculados mediante correas dentadas a dos servomotores DC de alto torque. Opuestos a los rodillos conducidos por los motores se encuentran otros dos rodillos pasivos que aseguran el contacto de la bola con los rodillos motrices. El cuerpo del robot reposa sobre tres dispositivos comerciales de transferencia por bolillas de baja fricción, también omnidireccionales.

Esta configuración presenta ciertas limitaciones, se puede observar una asimetría en la actuación de este dispositivo debido a la fuerza ejercida por el rodillo motriz a un costado de la esfera. Cuando el actuador gira en un sentido dado, la bola es empujada hacia dentro del cuerpo del robot, incrementando la fricción entre la bola y el cuerpo. Cuando el actuador gira en el sentido opuesto, la bola tiende a ser despedida fuera del cuerpo del robot, disminuyendo la fricción. Es justamente en este punto en el que el sistema REM presenta una notable ventaja respecto al “Ballbot”.

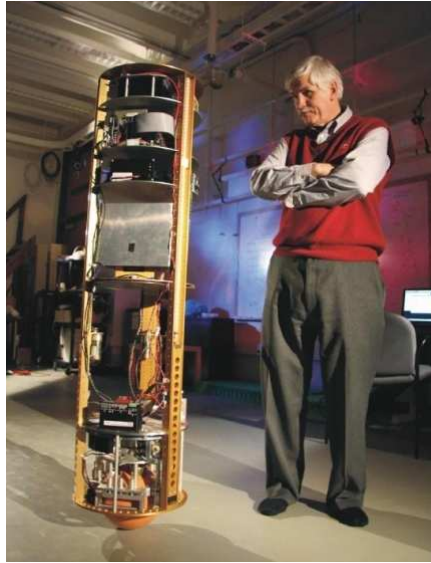


Figura 4. Robot Ballbot desarrollado por el profesor R. Hollis del Robotics Institute.

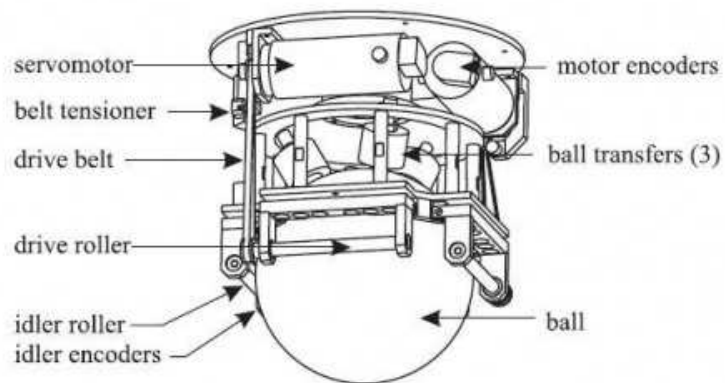


Figura 5. Transmisión de potencia de la plataforma móvil.

3. Resultados

En esta sección se darán a conocer los resultados obtenidos hasta el momento, desarrollando brevemente una aplicación particular de la rueda esférica motriz REM:

3.1. Plataforma omnidireccional basada en rueda esférica motriz REM

Como aplicación del concepto de rueda esférica, se presenta el diseño de una plataforma omnidireccional que utiliza una rueda esférica motriz como elemento de propulsión y tres ruedas esféricas pasivas convencionales que acompañan el movimiento y dan estabilidad a la plataforma. Se busca analizar la cinemática y verificar el funcionamiento frente a otros sistemas convencionales de transmisión de movimientos, determinando características, ventajas y limitaciones que permitan realizar mejoras en nuevos desarrollos de sistemas holonómicos.

Diseño de la plataforma: La Fig. 6 muestra un esquema simplificado de la transmisión esférica. Se observa la denominación de cada una de sus partes, así como los dos parámetros angulares que definen el movimiento de la rueda esférica motriz REM. El motor A es el encargado de controlar el ángulo “yaw” de la plataforma que infiere en la orientación de la rueda convencional, que direcciona de esta manera a todo el mecanismo. El motor B es el encargado de obtener el ángulo “pitch-roll”, equivalente a la rotación de la rueda convencional y por contacto directo, de la esfera. Entonces, ambos motores pueden estar girando al mismo tiempo de manera independiente, o bien por separado, todo esto según la trayectoria que se quiera obtener de parte de la plataforma.

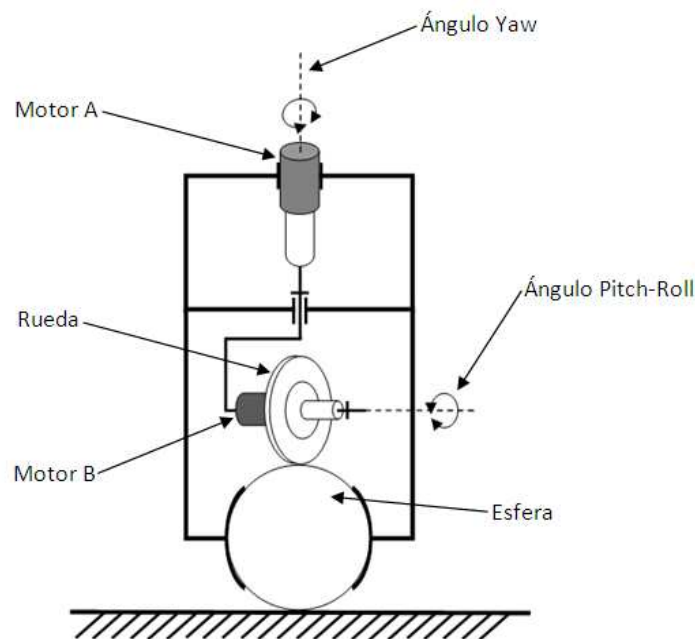


Figura 6. Esquema cinemático simplificado de la transmisión mecánica.

3.2. Prototipo experimental en desarrollo

Mediante el empleo del programa de diseño asistido por computadora Autodesk Inventor, se desarrolló el modelo simulado de la plataforma omnidireccional (Fig. 7).

Como podemos apreciar en dicha imagen, la plataforma queda contenida en un volumen cilíndrico de aproximadamente 200 mm de diámetro y 300 mm de alto. Los motores A y B (ver sección 3.1) están dibujados de manera esquemática ya que su selección aun no ha sido realizada, ya que en la figura estamos frente a un prototipo en desarrollo. No obstante, se propone un sistema de control basado en dos controladores de tipo proporcional, integral y derivativo (PID) independientes, uno para cada actuador. Los algoritmos de control podrán estar soportados por microcontroladores de tipo PIC/PICAXE entre otros posibles.

Se incluye un sistema de suspensión para garantizar la fricción necesaria entre el plano de locomoción y la rueda esférica. La fricción en la zona de contacto de la rueda convencional con la rueda esférica está garantizada por un subsistema de regulación presente en la estructura interna de este dispositivo.

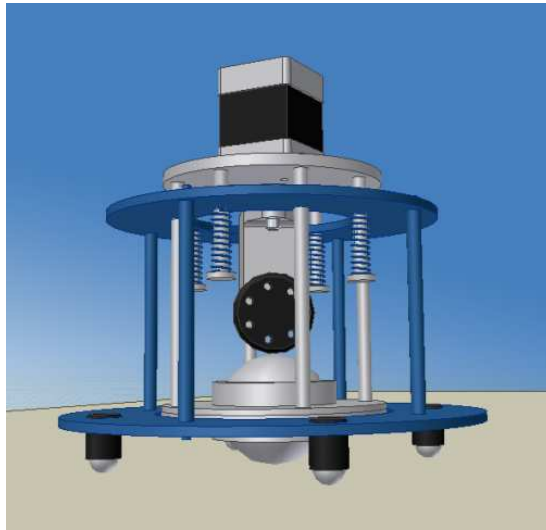


Figura 7. Vista en tres dimensiones del prototipo en desarrollo, realizado por los autores en Autodesk Inventor.

3.3. Dificultades encontradas

Las pruebas de interferencia mecánica y movilidad, realizadas en el modelo simulado por computadora demuestran que la plataforma es capaz de trasladarse en todas las direcciones de un plano o superficie de locomoción. Sin embargo, es importante tener en cuenta las dificultades mecánicas derivadas del hecho que la esfera motriz junto a las otras tres ruedas pasivas constituyen un sistema híper-estático, ya que solo tres puntos de contacto constituirían el caso ideal. Es por ello que el diseño actual contempla un sistema de suspensión para lograr la adaptación del sistema a su entorno. Del punto de vista del control, estamos frente a un sistema no lineal, cuyo modelo dinámico para la zona de fricción es hasta el momento desconocido. Es por esto que no podemos asegurar que los controladores PID vayan a poder ajustarse simplemente, por lo cual no se descarta la posible necesidad de un sistema adaptativo de control en el que las constantes del PID sean reemplazadas por funciones de distintos parámetros mecánicos del mecanismo.

3.4. Trabajos futuros

En una segunda etapa, se estudiará la posibilidad de combinar dos o más sistemas REM para dominar el tercer grado de libertad, sea la rotación de la base alrededor de un eje interno o externo a la plataforma. De esta manera estaríamos frente a un robot móvil omnidireccional y holonómico.

4. Otras aplicaciones

La rueda esférica motriz (REM) puede tomarse como un principio mecánico utilizable como punto de partida para el desarrollo de otras aplicaciones. Entre las cuales podemos citar:

4.1. Vehículos omnidireccionales

En el año 2004 la empresa alemana Audi presentó en el Salón Internacional del Automóvil en Nueva York un vehículo de ruedas esféricas. Si bien por el momento este modelo pertenece más bien al mundo de la ciencia ficción, no tardará en ser realidad. La Fig. 8 ilustra el automóvil en forma general y sin dar muchos detalles de la solución de transmisión de potencia.



Figura 8. El Audi RSQ es un prototipo de automóvil deportivo de ruedas esféricas pensado para el año 2035.

4.2. Robots de articulaciones esféricas

El robot serie industrial más utilizado es el brazo robot de seis articulaciones rotacionales. Combinando sistemas REM en serie puede obtenerse una nueva configuración para estas máquinas. La Fig. 9 muestra un esquema simbólico de dicho robot:

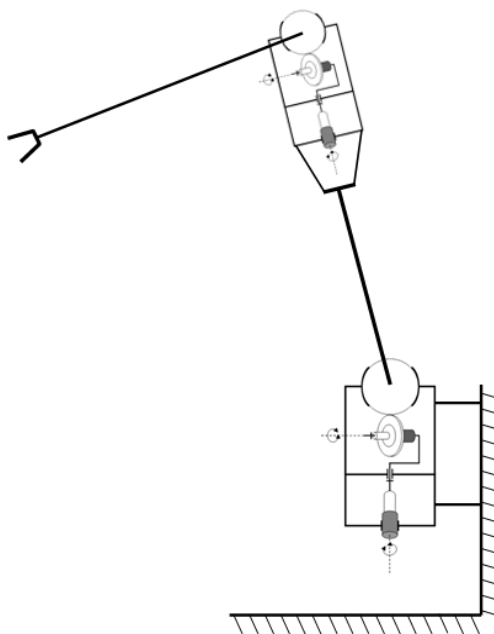


Figura 9. Cadena cinemática serie provista de articulaciones esféricas.

4.3. Prótesis médicas

Si bien este ítem no se ha profundizado aun por parte de los autores, se piensa que la aplicación del sistema REM como articulación en el campo de la medicina, podría ser de interés en el implante de “rodillas móviles” en discapacitados motores.

5. Conclusiones

El desarrollo de nuevos sistemas de transmisión puede cambiar la forma en la que las máquinas funcionan. La rueda esférica motriz puede tomarse como un principio mecánico que aplicado a otros mecanismos, transforma sustancialmente su comportamiento y prestaciones. Además, el desarrollo de nuevos sistemas móviles basados en este principio permitirá extender los límites del estado del arte de los sistemas holonómicos, temas de gran importancia en Robótica y Mecatrónica.

La combinación de dos o más sistemas REM, que tengan por finalidad controlar más grados de libertad, permitirá el desarrollo de sistemas holonómicos, en donde es posible controlar cada uno de sus grados de libertad de forma independiente. Es por esto que el desarrollo de un prototipo inicial puede ser visto como un primer paso para el estudio de la cinemática que gobierna este mecanismo.

Referencias

- [1] Hollis R. *A dynamically stable single-wheeled mobile robot with inverse mouse-ball drive*. IEEE Int'l. Conf. On Robotics and Automation, Orlando, FL, (2006).
- [2] Williams et al. *Dynamic Model with Slip for Wheeled Omni- Directional Robots*. (2002).
- [3] Raul Rojas; Gloye F'Orster A. *Holonomic Control of a robot with an omnidirectional drive*, KI - Künstliche Intelligenz, Böttcher IT Verlag, (2006).
- [4] Song J.; Byun K. *Design and Control of an Omnidirectional Mobile Robot with Steerable Omnidirectional Wheels*, Korea University, Mokpo National University, Republic of Korea.
- [5] Samani, A. H.; Abdollahi, A.; Ostadi, H.; DaneshPanah, M. *Comprehensive Omni-Directional Soccer Player Robots*, International Journal of Advanced Robotic Systems.

