



ELSEVIER



CrossMark

ScienceDirect

Disponible en [www.sciencedirect.com](http://www.sciencedirect.com)



RIAI

Revista Iberoamericana de Automática e Informática industrial 13 (2016) 247–257

[www.elsevier.es/RIAI](http://www.elsevier.es/RIAI)

## Análisis Cinemático de un Novedoso Robot Paralelo Reconfigurable

Róger E. Sánchez-Alonso\*, José-Joel González-Barbosa, Eduardo Castillo-Castañeda,

Mario A. García-Murillo

*Centro de Investigación en Ciencia Aplicada y Tecnología Avanzada, Instituto Politécnico Nacional  
Cerro Blanco, N° 141, Colinas del Cimatario, Querétaro, QRO, México.*

### Resumen

Este trabajo presenta el análisis cinemático de un manipulador reconfigurable integrado por dos sub-manipuladores paralelos que comparten una plataforma móvil. Una solución en forma semi-cerrada para el análisis directo de posición del robot es obtenida tomando ventaja de la geometría no plana de la plataforma móvil, mientras que los análisis de velocidad, aceleración y singularidades son desarrollados por medio de teoría de tornillos. Finalmente se propone una aproximación basada en el índice de manipulabilidad de la matriz jacobiana para determinar la configuración geométrica que optimiza el desempeño del manipulador dada una determinada postura de la plataforma móvil.

*Palabras Clave:* Robot paralelo, Reconfiguración, Cinemática, Teoría de tornillos, Matriz jacobiana, Índice de manipulabilidad.

### 1. Introducción

Actualmente los diversificados requerimientos del mercado y el desarrollo de políticas de optimización de costos en la industria, han conducido a la robótica hacia el diseño de manipuladores más flexibles, enfatizando en los manipuladores paralelos debido a sus ventajas sobre los tipo serie, por ejemplo, mayor capacidad de carga, rigidez, aceleraciones, entre otras.

La reconfiguración de un robot es probablemente la estrategia más factible para incrementar su flexibilidad. En el caso de los manipuladores paralelos, existen dos enfoques para reconfigurar este tipo de arquitectura mecánica (Zhang y Shi, 2012); el diseño modular y el diseño de geometría variable.

Un manipulador paralelo con un diseño modular está integrado por un conjunto de partes estandarizadas que pueden ser fácilmente ensambladas y desensambladas para obtener diferentes configuraciones (Yang *et al.*, 2001; Brisan, 2007; Xi *et al.*, 2011; Yu *et al.*, 2012; Plitea *et al.*, 2013; Carbonari *et al.*, 2014).

Por otro lado, un manipulador paralelo con un diseño de geometría variable es capaz de modificar sus dimensiones para alcanzar nuevas configuraciones. La plataforma Gough-Stewart presentada en (Ji y Song, 1998), el dodecápodo (Bande *et al.*, 2005), el robot planteado en (Zhang y Shi, 2012), la familia de mecanismos introducida en (Ye *et al.*, 2014) y el manipulador de múltiples modos de operación analizado en (Kong, 2014) son ejemplos de este enfoque, sin embargo, son trabajos que se limitan al planteamiento de la arquitectura mecánica, a su análisis

cinemático, al desarrollo de algunas simulaciones dinámicas o bien al análisis del efecto de la variación geométrica sobre el espacio de trabajo del manipulador. Algunos trabajos profundizan más al definir ciertos índices de desempeño como criterios para determinar la configuración geométrica óptima del manipulador, por ejemplo la rigidez (Simaan y Shoham, 2003; Kumar, *et al.*, 2009), el torque requerido por los actuadores (du Plessis y Snyman, 2006) y la capacidad de carga (Chen, 2012).

Hasta el día de hoy el desarrollo de un manipulador paralelo reconfigurable funcional y de alto desempeño sigue siendo un reto. Los prototipos basados en un diseño modular se limitan al planteamiento de arquitecturas que modifican su espacio de trabajo y sus grados de libertad, y en el caso de los basados en un diseño de geometría variable siguen sin definir una metodología efectiva para determinar la configuración adecuada del manipulador dada una tarea. Por lo anterior, todos los esfuerzos que se destinen para el diseño de un manipulador reconfigurable de gran potencial son altamente justificados para la robótica.

En este trabajo se presenta el análisis cinemático de un robot paralelo reconfigurable basado en un enfoque de geometría variable. El manipulador tiene una estrategia de diseño que simplifica su análisis directo de posición y que además evita algunas singularidades típicas de los robots paralelos. El resto de la contribución es organizada como sigue: en la Sección 2 el manipulador es presentado; en la Sección 3 se propone el modelo de posición, velocidad y aceleración del robot, al igual que se analizan sus singularidades evidentes; en la sección 4 se muestra la aplicación del índice de manipulabilidad para definir la configuración geométrica que optimiza el desempeño del manipulador; y finalmente las conclusiones y trabajos futuros son expuestos en las Secciones 5 y 6 respectivamente.

\* Autor en correspondencia.

Correos electrónicos: [rogersan1984@hotmail.es](mailto:rogersan1984@hotmail.es) (Róger E. Sánchez Alonso)

## 2. Descripción del manipulador propuesto

El manipulador propuesto está basado en la reconfiguración de un robot paralelo de 6-GDL (grados de libertad) que se encuentra en proceso de patentamiento ante el Instituto Mexicano de la Propiedad Industrial (folio: MX/a/2013/011009), el cual de aquí en adelante será llamado modelo base. La descripción del modelo base y la estrategia de reconfiguración implementada se muestra a continuación.

### 2.1. Modelo Base

El robot está integrado por dos sub-manipuladores paralelos tipo 3-RUS que comparten una plataforma móvil en forma de prisma triangular (Figura 1a). R, U y S representan respectivamente articulaciones de revoluta, universales y esféricas, y el subrayado indica la articulación activa. A menos que se especifique lo contrario para referirse a los elementos del sub-manipulador llamado  $M_1$  se utiliza los subíndices  $i = 1, 2, 3$ , por otro lado, se utiliza los subíndices  $i = 4, 5, 6$  para referirse a los elementos del sub-manipulador llamado  $M_2$ .

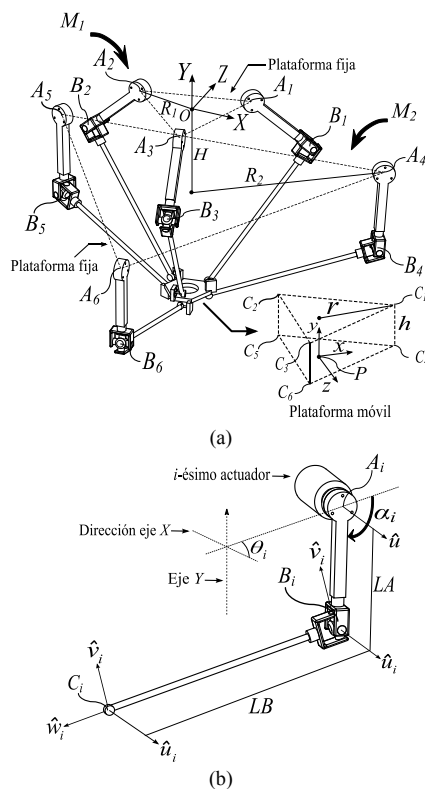


Figura 1: Modelo base para la reconfiguración. (a) Vista general. (b)  $i$ -ésima cadena cinemática.

La plataforma fija del manipulador está definida por los triángulos equiláteros  $A_1A_2A_3$  y  $A_4A_5A_6$ , los cuales son paralelos y están separados entre sí por una distancia  $H$ . En el centro  $O$  del triángulo  $A_1A_2A_3$  es localizado el sistema de referencia global del robot, sus ejes  $X$  y  $Z$  yacen sobre el plano definido por el triángulo y el eje  $Y$  apunta hacia arriba. Los vértices  $A_i = (A_{xi}, A_{yi}, A_{zi})$  de los triángulos  $A_1A_2A_3$  y  $A_4A_5A_6$  denotan las posiciones, definidas por los vectores  $A_i$ , de las articulaciones activas de revoluta del robot, en donde  $R_1$  y  $R_2$  representan los circunradios de estos

triángulos, y  $\theta_i$  representa la disposición radial alrededor del eje  $Y$  de la  $i$ -ésima cadena cinemática, la cual es medida a partir de la dirección positiva del eje  $X$  (Figura 1b). Por otro lado, en una misma cadena cinemática, el eslabón de longitud  $LA$  está conectado al de longitud  $LB$  en el punto  $B_i = (B_{xi}, B_{yi}, B_{zi})$  a través de una articulación universal cuya posición está definida por el vector  $B_i$ . De forma similar, la plataforma móvil y cualquiera de los eslabones de longitud  $LB$  están conectados en el punto  $C_i = (C_{xi}, C_{yi}, C_{zi})$  mediante una articulación esférica cuya posición está definida por el vector  $C_i$ . Los puntos  $C_i$  forman un prisma triangular de altura  $h$  definido por los triángulos equiláteros  $C_1C_2C_3$  y  $C_4C_5C_6$ , donde  $r$  representa el circunradio de dichos triángulos. Los ejes de rotación de las articulaciones activas de revoluta, definidos como  $\hat{u}_i$ , son tangentes a la circunferencia circunscrita de los triángulos  $A_1A_2A_3$  y  $A_4A_5A_6$ . Además, los ejes de rotación de las articulaciones universales son  $\hat{u}_i$  y  $\hat{v}_i$ , donde  $\hat{v}_i$  es ortogonal a  $\hat{u}_i$  y a la dirección  $\hat{w}_i$  del eslabón de longitud  $LB$ . En el caso de las articulaciones esféricas los ejes de rotación son  $\hat{u}_i$ ,  $\hat{v}_i$  y  $\hat{w}_i$ . Finalmente, el vector  $P$  define la posición del punto de interés  $P = (P_x, P_y, P_z)$  de la plataforma móvil (efector final), el cual está ubicado convenientemente en el centro del triángulo  $C_4C_5C_6$ , en donde es definido un sistema de referencia móvil  $xyz$ .

### 2.2. Estrategia de reconfiguración

Se selecciona un enfoque de reconfiguración por geometría variable pues éste, a diferencia del enfoque modular, puede implementarse fácilmente sin necesidad de interrumpir el proceso de operación del robot.

Cualquiera de los parámetros que define la geometría del modelo base puede considerarse para la reconfiguración, sin embargo la selección del parámetro adecuado debe estar sujeta a algunos aspectos técnicos. En el caso de los parámetros  $\theta_i$ , seleccionarlos parece implicar un diseño mecánico complicado para modificarlos uno a la vez o de forma simultánea, aparte esto generaría un espacio de trabajo asimétrico, lo cual no es el propósito en este trabajo. Por otro lado, la selección de los parámetros  $h$  o  $r$  no parece tener caso, pues implicaría montar sobre la plataforma móvil una serie de actuadores para modificar estos parámetros, cosa que parece difícil de implementar y que traería consecuencias negativas sobre la capacidad de carga del manipulador, su rigidez y por tanto la exactitud del mismo. Desventajas similares parece implicar la selección de los parámetros  $LA$  o  $LB$ , pues sería necesario montar en cada cadena cinemática los actuadores necesarios para generar la reconfiguración. De igual forma seleccionar el parámetro  $R_2$  parece no viable, pues implicaría un diseño con muchas interferencias mecánicas dentro del espacio de trabajo operable del robot. De esta manera quedan disponibles los parámetros  $R_1$  y  $H$ , los cuales parecen requerir diseños más simples, con mayor utilidad y menos desventajas que las alternativas anteriores.

En la Figura 2 se presenta una estrategia de reconfiguración basada en la modificación simultánea de los parámetros  $R_1$  y  $H$ . La reconfiguración se logra al agregar en las  $i = 1, 2, 3$  cadenas cinemáticas de  $M_1$  un eslabón de longitud  $R_i$ , el cual será llamado eslabón de reconfiguración. El posicionamiento angular definido por  $\beta$  del eslabón de reconfiguración implica un reposicionamiento de los puntos  $A_i$ , lo cual es visto como un redimensionamiento simultáneo de los parámetros  $R_1$  y  $H$  (Figura 2a). La posición  $F_i = (F_{xi}, F_{yi}, F_{zi})$  de la articulación activa de

Download English Version:

<https://daneshyari.com/en/article/1701758>

Download Persian Version:

<https://daneshyari.com/article/1701758>

[Daneshyari.com](https://daneshyari.com)