



Revista Internacional de Métodos Numéricos para Cálculo y Diseño en Ingeniería

www.elsevier.es/rimni



Síntesis óptima de un mecanismo para la marcha bípeda utilizando evolución diferencial

J.S. Pantoja-García, M.G. Villarreal-Cervantes*, J.C. González-Robles y G. Sepúlveda Cervantes

Departamento de Posgrado, Instituto Politécnico Nacional, Centro de Innovación y Desarrollo Tecnológico en Cómputo, Unidad Profesional Adolfo López Mateos, 07700, Ciudad de México, México

INFORMACIÓN DEL ARTÍCULO

Historia del artículo:

Recibido el 22 de enero de 2016

Aceptado el 4 de abril de 2016

On-line el xxx

Palabras claves:

Síntesis dimensional
Diseño óptimo
Optimización numérica
Evolución diferencial
Robot bípedo

R E S U M E N

El diseño de la extremidad de un robot bípedo es un punto clave para mejorar la locomoción y el desempeño de robots bípedos. El empleo de mecanismos que reproduzcan la marcha no es una tarea sencilla ya que se requiere generar un movimiento en el espacio Cartesiano con más grados de libertad que los considerados en un mecanismo. En este trabajo se propone un mecanismo planar de ocho eslabones con un grado de libertad como extremidad bípeda y se analiza su comportamiento en el seguimiento de una trayectoria similar a la marcha. Para el diseño del mecanismo propuesto se establece formalmente la síntesis dimensional como un problema de optimización numérica. Con el propósito de obtener diseños viables dentro del espacio de las soluciones reales en el problema de optimización, se incorpora un mecanismo de manejo de restricciones en el algoritmo de evolución diferencial (ED) y se analiza el comportamiento del algoritmo bajo diferentes parámetros de cruce. Resultados experimentales comprueban el enfoque de diseño en un prototipo de laboratorio.

© 2016 CIMNE (Universitat Politècnica de Catalunya). Publicado por Elsevier España, S.L.U. Este es un artículo Open Access bajo la CC BY-NC-ND licencia (<http://creativecommons.org/licencias/by-nc-nd/4.0/>).

Optimum synthesis for the biped gait mechanism using differential evolution

A B S T R A C T

The limb design for a biped robot is a key issue to improve the locomotion and the performance of biped robots. The use of mechanism for tracking the gait is not an easy task because the degree of freedom (*d.g.f*) of the Cartesian space movement does not correspond to the *d.g.f* of the mechanism. Hence in this paper, an eight-bar planar mechanism with a one *d.o.f* is proposed as biped limb and the biped gait tracking behavior in the mechanism is analyzed. A numeric optimization problem is formally stated to design the proposed mechanism based on dimensional synthesis. A constraint handling mechanism is included into the differential evolution algorithm (DE) algorithm in order to obtain mechanism design with real solutions in the optimization problem and the behavior of the algorithm with different crossover parameters is analyzed. Experimental results verify the design approach in a laboratory prototype.

© 2016 CIMNE (Universitat Politècnica de Catalunya). Published by Elsevier España, S.L.U. This is an open access article under the CC BY-NC-ND license (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

Keywords:

Dimensional synthesis
Optimum design
Numeric optimisation
Differential evolution
Biped robot

1. Introducción

Durante los últimos años, la investigación en la locomoción de robots bípedos se ha incrementado debido a que su estudio puede ayudar a la detección de trastornos de la marcha, identificación de factores de equilibrio, evaluación clínica de la marcha en los programas de rehabilitación [1] así como al diseño de exoesqueletos y prótesis robóticas. Sin embargo, el modelado exacto de la marcha de robots bípedos es una tarea compleja porque existe un

* Autor en correspondencia.

Correos electrónicos: salosono23@hotmail.com (J.S. Pantoja-García), mvillarreal@ipn.mx (M.G. Villarreal-Cervantes), jgrobles@ipn.mx (J.C. González-Robles), gsepulvedac@ipn.mx (G. Sepúlveda Cervantes).

URL: <http://www.miguelgabrielvillarrealcervantes.com> (M.G. Villarreal-Cervantes).

<http://dx.doi.org/10.1016/j.rimni.2016.04.004>

0213-1315/© 2016 CIMNE (Universitat Politècnica de Catalunya). Publicado por Elsevier España, S.L.U. Este es un artículo Open Access bajo la CC BY-NC-ND licencia (<http://creativecommons.org/licencias/by-nc-nd/4.0/>).

gran número de variables involucradas, tales como las variables antropométricas que incluyen la altura, el peso, y la longitud de las extremidades; datos espacio temporales que comprenden las variables como la velocidad al caminar, longitud de paso o tiempo de fase; variables cinemáticas que involucra los ángulos de unión, desplazamiento o aceleraciones a través de los ejes; variables cinéticas que incluyen fuerza y par en el pie. Los resultados presentados en [2], con máquinas de caminado dinámico pasivo, establece que los parámetros mecánicos de un robot bípedo (variables antropométricas, espacio-temporales, cinemáticas y cinéticas) tienen gran impacto en la existencia y calidad de la marcha, es decir, no sólo se requiere entender desde un punto de vista de sistemas de control la marcha bípeda, sino también se necesita estudiar el mecanismo de locomoción desde un punto de vista mecánico.

Mientras más grados de libertad (g.d.l.) se presenten en un robot bípedo, más suave es su movimiento. Sin embargo, resulta en un sistema más complejo de controlar por lo que se requerirá de un análisis de movimiento humano para optimizar la marcha del robot bípedo [3]. Varios estudios han reducido la complejidad del caminar bípedo implementando uniones no actuadas [4], resortes en el pie, eslabones flexibles [5] o incluso mecanismos en algunas partes del robot bípedo como por ejemplo en las rodillas [6]. En este artículo se está interesado en el diseño de un mecanismo para la extremidad inferior de un robot bípedo, que reproduzca el movimiento de marcha en el plano sagital. Para este propósito, se diseña un mecanismo de ocho eslabones con un grado de libertad para reproducir la marcha bípeda. La obtención de las dimensiones cinemáticas de mecanismos que satisfacen un movimiento deseado está con base en la síntesis dimensional [7]. Los métodos gráficos y analíticos no son apropiados para resolver varios puntos de precisión en la síntesis dimensional, por lo que se ha optado por el uso de métodos numéricos los cuales están comúnmente combinadas con técnicas de optimización y el establecimiento de problemas de optimización. Sin embargo, no resulta conveniente utilizar técnicas de optimización basados en el gradiente [8,9] debido a que convergen a soluciones cercanas al punto inicial, i.e., no presenta buen desempeño en problemas altamente no lineales, divergen en problemas discontinuos, entre otros. Por tal motivo se necesitan otro tipo de técnicas para resolver problemas complejos (de ingeniería) como es el caso de las técnicas meta-heurísticas [10,11]. Es así que en la última década se ha optado por utilizar algoritmos evolutivos para realizar la síntesis de mecanismos [12-15]. En [13] se utiliza el algoritmo de búsqueda de Cuckoo para resolver el problema de síntesis dimensional de mecanismo de seis barras Stephenson III. Se observó que el algoritmo puede aproximar el ángulo de rotación deseado con el actual con una desviación máxima de 1.77% considerando dos casos de estudio. Así mismo, se han estado comparando el desempeño de algoritmos meta-heurísticos en la síntesis de mecanismos, como en [14] en donde se propone un enfoque dinámico para la síntesis de un mecanismo de cuatro eslabones y se utiliza el algoritmo de evolución diferencial, algoritmo de forrajeo de bacterias modificado y el algoritmo de tormenta de ideas para resolverlo. Los resultados muestran que el algoritmo de evolución diferencial presenta una mejor búsqueda de la solución óptima a pesar de que los otros dos algoritmos presentan resultados competitivos. Debido a la complejidad de encontrar soluciones dentro del espacio de búsqueda en la síntesis dimensional de mecanismos, se han propuesto enfoques nuevos de algoritmos heurísticos para resolver dichos problemas como en [15], en donde se implementa el algoritmo competitivo imperialista para la síntesis dimensional de generación de trayectoria de un mecanismo de cuatro barras, así como se han propuesto esquemas auto-adaptables para la sintonización de los parámetros de control del algoritmo de evolución diferencial [16].

En este trabajo se propone el diseño óptimo de un mecanismo de ocho eslabones con un grado de libertad para ser considerado

como extremidad inferior de un robot bípedo en donde se consideren variables antropométricas y cinemáticas para su diseño. Dichas variables se obtienen a través de la propuesta de un problema de optimización que involucra variables espacio-temporales de la marcha del robot bípedo así como un mecanismo de manejo de restricciones en el algoritmo de ED que guía la búsqueda hacia regiones en donde es factible el diseño. El análisis del factor de cruza en el algoritmo de ED indica que se requiere de a lo más un 45% de información de los parámetros del vector hijo para dirigir la búsqueda hacia regiones con mejores soluciones, en donde el diseño obtenido aproxime su movimiento al de la marcha bípeda.

La estructura del artículo es la siguiente: en la Sección 2 se muestra y explica el mecanismo a utilizar para la locomoción bípeda así como su cinemática. La función objetivo, las variables de diseño y las restricciones en el problema de optimización para la síntesis dimensional se establecen formalmente en la Sección 3. En la sección 4 se detalla el algoritmo de evolución diferencial, así como el mecanismo de manejo de restricciones propuesto. El análisis de los resultados obtenidos por el algoritmo, así como los resultados experimentales, se discuten en la sección 5. Finalmente, en la sección 6 se proporcionan las conclusiones pertinentes y trabajo a futuro.

2. Análisis del mecanismo de marcha en el plano sagital

El mecanismo para realizar un movimiento similar a la marcha humana en el plano sagital se muestra en la figura 1. Este mecanismo se propone como extremidad del robot bípedo y contempla un grado de libertad y diez uniones. Los parámetros cinemáticos del mecanismo están dados por las longitudes $l_i \forall i = 1, 2, \dots, 14$, por los ángulos internos de los dos eslabones con forma triangular $\theta_j, \forall j = 1, 2, \dots, 6$ y por el desplazamiento angular θ_i de las longitudes l_i con respecto al sistema de coordenada inercial $X - Y$.

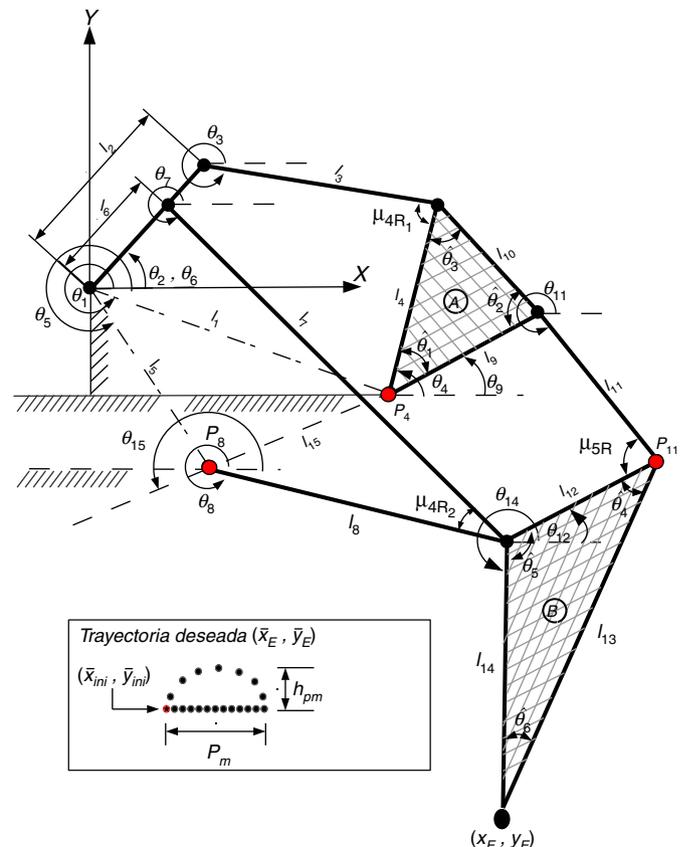


Figura 1. Diagrama esquemático del mecanismo.

Download English Version:

<https://daneshyari.com/en/article/8050812>

Download Persian Version:

<https://daneshyari.com/article/8050812>

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