

Propuesta de Diseño de un Robot Bípedo de Arquitectura Abierta

González Trejo José Enrique, Reyes Cruz Luis Ángel, Pedraza Ortega Jesús Carlos, Vargas Soto José Emilio, Aceves Fernández Marco Antonio y Tovar Arriaga Saúl.

Facultad de Informática, Universidad Autónoma de Querétaro.
Av. de las Ciencias S/N Campus Juriquilla, Juriquilla, Querétaro, Qro.
C.P. 76230 México. Tel. 1921200 EXT. 5900
en_gt@hotmail.com

Resumen

Este trabajo propone una estrategia experimental para la construcción de un robot bípedo de 6 grados de libertad, de forma que se logra la manipulación total de los parámetros de diseño del robot bípedo, tanto de sus componentes de hardware como de software, a fin de contar con una arquitectura abierta que permita adquirir conocimientos experimentales en las áreas de la robótica, programación, telemando y control, entre otras. Se pretende que el robot sea una herramienta que permita desarrollar trabajos de investigaciones futuras en dichas áreas.

La primera parte de la estrategia se basó en analizar trabajos realizados de robots bípedos con los mismos grados de libertad del robot propuesto. Analizar la forma de caminar humana para comprender sus diferentes fases y la relación que tienen con las partes del cuerpo que se involucran en este proceso biomecánico.

La segunda parte de la estrategia se refiere al análisis de los materiales y piezas necesarias para construir el robot, tales como los servomotores, el micro-controlador y los componentes electrónicos, así como el diseño de las piezas que componen el robot bípedo y su ensamble.

Se diseñó un algoritmo básico para generar el movimiento de los servomotores y realizar pruebas exhaustivas de estabilidad.

Palabras clave: Robot bípedo, humanoide, biomecánica.

1. Introducción

La robótica está tomando un papel muy importante en el desarrollo de la sociedad ya que cada vez hay más robots que desempeñan tareas que realiza el ser humano, mediante movimientos y acciones similares como la locomoción humana. En esta línea de estudio de la robótica, la parte más difícil es la de mantener el equilibrio de robot, ya que se necesita de una gran cantidad de sensores para realizar la tarea, además de que se sabe que la forma de caminar de las personas no es similar al igual que en los diferentes tipos de robots bípedos, pero gracias al desarrollo e innovación de este proceso por parte de los investigadores, se han generado conocimientos sobre la biomecánica asociada a la forma de caminar y los patrones de movimiento de los músculos.

Entre más articulaciones tenga un robot, más destreza y capacidad tendrá para realizar tareas [1]. Para poder construir un robot útil, podemos seguir dos enfoques: construir un robot especializado para una tarea específica o construir un robot universal que pueda realizar una amplia variedad de tareas.

En la actualidad existe una amplia variedad de robots humanoides y bípedos tanto prototipos desarrollados por distintas Universidades, como robots construidos por empresas con tecnología de punta y que algunos han salido al mercado.

El E0 en el año 1986 fue el primer intento de Honda de crear un robot humanoide con capacidad de caminar. Este robot era capaz de caminar en línea recta poniendo una pierna después de la otra, sin embargo su desplazamiento era muy lento, requiriendo de cinco segundos entre cada paso [2].

Más adelante, en el 2000, ASIMO, el robot humanoide más avanzado del mundo hace su debut.

Este menudo robot es el resultado de catorce años de investigación por parte de la empresa japonesa Honda Co. Su desarrollo marca un conocimiento innovador sobre la mecánica de la locomoción bípeda.

El nuevo ASIMO (Año 2005) se crea para aplicaciones profesionales tales como repartir café, entregar mensajes, empujar carritos, entre otras tareas, además de su nueva capacidad de correr a la velocidad de 6 Km/h [3].

El robot humanoide “HRP-4C”, desarrollado por un equipo científico del Instituto Nacional de Ciencia y Tecnología Industrial Avanzada de Japón, mide 1,58 centímetros, pesa 43 kilogramos y tiene un rostro de silicón. Este robot reconoce la voz y puede imitar los movimientos del cuerpo humano, por lo que se podría utilizar tanto en la industria del entretenimiento, como sustituyendo a trabajadores humanos en las pruebas de seguridad. El robot puede simular alegría, sorpresa o enfado gracias a los ocho motores ocultos bajo su rostro, que obedecen a las órdenes humanas. El humanoide mueve su cuerpo articulado de aluminio negro y plateado, gracias a otros treinta motores, que le permiten mover los brazos y las piernas, además de caminar [4].

2. Estrategia

El objetivo es diseñar y desarrollar un prototipo de un robot bípedo experimental de arquitectura abierta (utilizando plataformas como Arduino), que permita la libertad de modificar tanto el software como el hardware del robot bípedo, permitiendo hacer una réplica sin restricciones del prototipo, dando así a conocer la mecánica del robot, utilizando componentes comerciales y de fácil adquisición así como software abierto a modificaciones y posibles mejoras; que sea capaz de mantener el equilibrio y realizar una caminata básica para un posterior análisis que nos permita construir una estrategia de locomoción heurística que sirva como ayuda para trabajos futuros en esta misma rama de la robótica.

2.1 Análisis de la locomoción humana

Lo primero que hay que entender es que el caminar es un proceso cíclico, por lo tanto se puede dividir en fases. La manera como se determinan las fases que componen el proceso, depende de la forma como se esté analizando el proceso de caminar: a) Se puede analizar haciendo referencia a todo el cuerpo y como es soportado por cada pierna, o b) se puede analizar el movimiento que realiza cada pierna por separado [5].

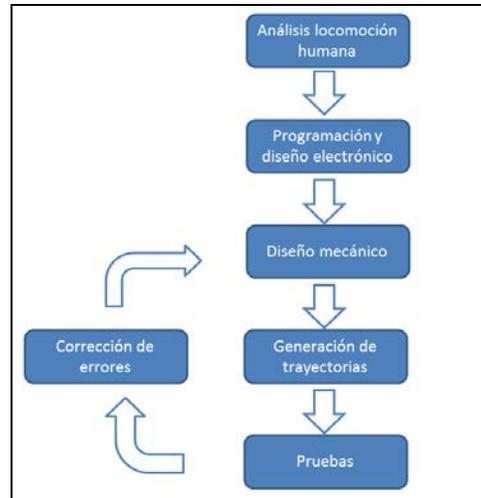


Fig. 1. Estrategia propuesta utilizada.

Al analizar el proceso de cada pierna por separado, se tiene que el ciclo del caminado consta de 2 fases: fase de soporte doble y fase de soporte único. La fase de soporte doble consta del movimiento que hacen las dos piernas cuando están apoyadas al suelo, mientras que en la fase de soporte único solo una pierna a la vez está apoyada al suelo y la cual se encarga de mantener el peso del cuerpo.

El prototipo del robot bípedo se basa en un diseño, en el cual se sigue una secuencia de movimientos para lograr una forma de caminar con un enfoque similar a la locomoción humana. Los movimientos son poses en diferentes estados que permite al robot moverse y al ser repetitivo este proceso permite desplazarse al robot bípedo.

Para el planteamiento del equilibrio en la locomoción del robot bípedo se planteó el criterio de estabilidad estática, al momento de dar un movimiento con la pierna derecha y no perder el equilibrio, movemos el peso del cuerpo hacia la izquierda. La pierna izquierda se convierte en el apoyo del cuerpo y se puede levantar la pierna derecha sin caerse, de esta forma se compensa el centro de gravedad. A este proceso se le conoce como fase de soporte único en el cual el pie a que se hace referencia del soporte, es que se encuentra apoyado sobre el suelo y relativamente estacionario y es el encargado de mantener el peso del cuerpo. El inicio de esta fase se observa cuando la pierna que se va a levantar deja el suelo siendo la punta del pie lo último que está en contacto con él; termina cuando se toca el suelo con el talón de la misma pierna, como se muestra en la figura 2.

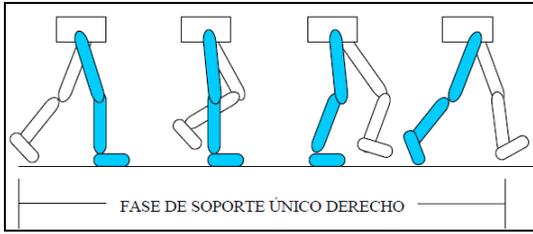


Fig. 2. Fase de soporte único derecho [4].

El sistema para el movimiento de las piernas del robot consiste en un péndulo doble invertido, que se puede representar en un sistema de referencia de dos dimensiones [6][7] mediante las siguientes ecuaciones:

$$x_1 = l \cos(\theta) \quad (1)$$

Dónde:

$$x_2 = x_1 + l \cos(\alpha) \quad (3)$$

$$y_2 = y_1 + l \sin(\theta) \quad (4)$$

l = Es la longitud de los actuadores.

x_1 = Es la posición final del primer actuador respecto al eje horizontal.

Y_1 = Es la posición final del primer actuador respecto al eje vertical.

θ = Es ángulo del primer enlace respecto al centro de referencia.

x_2 = Es la posición final del segundo actuador respecto al eje horizontal.

Y_2 = Es la posición final del segundo actuador respecto al eje vertical.

α = Es ángulo del segundo enlace respecto al centro de referencia.

Posteriormente se realizó la simulación con las ecuaciones obtenidas donde se observó el comportamiento que tiene los actuadores y se tomó como referencia para el algoritmo de la locomoción del robot. En la Figura 3 se muestra de un color diferente las posiciones de referencia que tomamos de una pierna para el algoritmo de caminata.

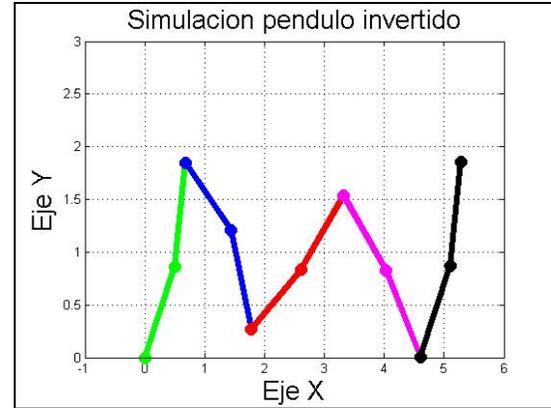


Fig. 3. Simulación péndulo doble (SCILAB).

Una vez realizado el análisis anterior, se procedió a diseñar el algoritmo a implementar en la caminata del robot, el cual se muestra a continuación:

1. Flexionar y levantar la pierna hacia delante mientras que el tobillo de la otra pierna gira hacia el costado opuesto de la pierna levantada para que el peso sea soportado por esa pierna y equilibrar el cuerpo.
2. Desplazar hacia delante la cadera de la parte de la pierna que está levantada y flexionar un poco la rodilla de la otra pierna.
3. Flexionar un poco más la pierna de apoyo, girar hacia delante el tobillo de la otra pierna y estirla hasta tener apoyo con el suelo y así queda distribuido el peso en las dos piernas.
4. Estirar y desplazar hacia delante la parte de la cadera de la pierna que soportaba todo el peso y girar el tobillo hacia delante para que siga apoyado en el piso y flexionar un poco la rodilla de la otra pierna.

Como se mencionó anteriormente, la caminata es un proceso cíclico y se analizó con cada pierna por separado, por lo tanto el algoritmo es el mismo para cada pierna del cuerpo pero los movimientos realizados se van rotando dependiendo de la pierna que esté realizando el soporte único.

2.2 Diseño y construcción del robot

El diseño del robot bípedo se efectuó considerando la locomoción humana constante, la cual consiste en caminar en una sola dirección. El esquema del exoesqueleto está representado como

una cadera articulada que incluye las dos piernas constituidas por: un pie, una rodilla y un muslo; la cadera se encarga de unir las dos piernas por los muslos, como se muestra en la figura 4.



Fig. 4. Robot bípedo de 6 grados de libertad.

Cada pierna consta de 3 grados de libertad conformados por la unión de las articulaciones rotacionales del tobillo, la rodilla y la cadera. Las piernas solo tienen movimiento sobre un plano, lo que las limita moverse solo en dos ejes representado en el plano como X y Y. Figura 5.

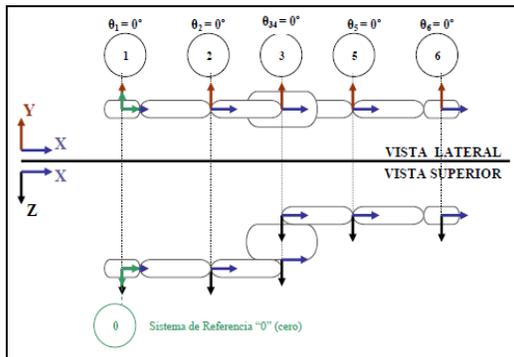


Fig. 5. Cadera articulada con sus marcos de referencia [5].

Para la elaboración del prototipo del robot bípedo se realizaron comparaciones de materiales como se muestra en la tabla 1.

Material	Maleabilidad	Resistencia	Peso
Madera	Baja	Media	Medio
Acrílico	Media	Media	Baja
Aluminio	Alta	Alta	Medio
Plástico	Alta	Medio	Bajo

Tabla 1. Comparación de materiales.

Se utilizó un sistema de prueba y error en la manipulación de materiales de bajo costo (acrílico y madera) para la construcción del prototipo del robot bípedo, porque los parámetros determinados para la construcción deberían ser de costo bajo, fácil maleabilidad y ligeros, ya que se trata de un prototipo sencillo.

Como resultado final se utilizó la madera por su resistencia y maleabilidad para la construcción y durabilidad de las piezas.

La estructura del robot bípedo es propia ya que el diseño de las piezas se adaptó a las dimensiones de los servomotores Power-HD 1160 (28 x 13.2 x 29.6 mm), los cuales se escogieron por su fácil implementación y bajo costo. Las dimensiones de las piezas se muestran en la siguiente figura.

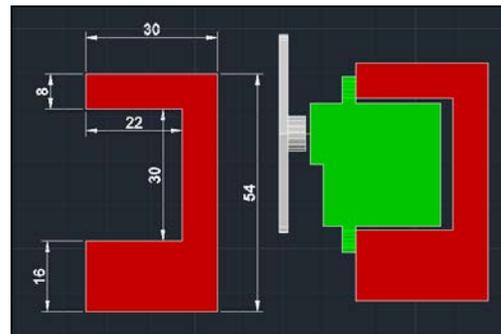


Fig. 6. Diseño de pieza para sujeción del servomotor Power-HD 1160.

Las piezas están diseñadas de forma prismática para la sencilla unión entre las articulaciones: muslo, rodilla y pie, que conforman la pierna del robot bípedo (Figura 6), facilitando el óptimo movimiento entre las piezas.

El diseño particular de la pieza que une los servomotores del muslo y rodilla del robot bípedo es una adaptación propia que se implementó de acuerdo al tipo de movimiento que el robot tiene que generar como se muestra en la figura 6, permite una mejor estabilidad al permanecer los servomotores en una posición rígida y las aspas realicen el movimiento de las piezas hacia arriba y abajo; Esto mismo fenómeno sucede con los servomotores que están unidos a la cadera, que al realizar el servo el movimiento de rotación levanta toda la pierna del robot hacia delante y atrás; El servomotor que se encuentra en medio de la estructura se encarga de flexionar la pieza que conforman la rodilla y el pie del robot bípedo; simulando el punto de unión entre

Servomotor	1era posición	2da - posición	3ra posición
Cadera D.	40°	90°	40°
Rodilla D.	140°	90°	140°
Pie D.	100°	90°	100°
Cadera I.	140°	90°	140°
Rodilla I.	40°	70°	40°
Pie I.	110°	80°	110°

el primer y segundo péndulo que conforman un péndulo doble invertido.



Fig. 7. Diseño de la pierna del robot bípedo

Característica	Valores
Peso	410 gr
Altura	20 cm
Ancho	16 cm
Grosor	6.5 cm
Grados de libertad	6
Torque	0.5 Kg- cm
Voltaje	5 Voltios
Amperaje	40 mA por servomotor

Tabla 2. Características del robot bípedo.

2.3 Diseño electrónico y programación.

Se construyó el robot con un sistema de arquitectura abierta, los dispositivos electrónicos comerciales y open source, permiten modificar tanto el hardware como el software de manera parcial o total. El hardware está basado en el microcontrolador de la placa Arduino UNO y los servomotores Power

HD-1160, con un torque de 2Kg-cm y un consumo de 160 mA a 4.8 V [8].

Los servomotores permite controlar la velocidad y posición de 0-180° y permite mantener una posición. Los servomotores se controlan usando una Modulación Por Ancho de Pulso (PWM) que genera una onda cuadrada en donde cambia la frecuencia de pulso y al variar este ancho de pulso se consigue modificar el ángulo de giro del servomotor.

Arduino es una plataforma de electrónica abierta para la creación de prototipos basado en software y hardware flexibles y fáciles de utilizar, el software está basado en el lenguaje de programación propio de Arduino (basado en Wiring) y el entorno de desarrollo Arduino (basado en Processing) [9]. La tarjeta Arduino tiene 14 pines digitales de entrada / salida (de las cuales 6 se puede utilizar como salidas PWM) y 6 entradas analógicas.

Se diseñó una placa para la alimentación y control de los servomotores que va unida a la placa de Arduino UNO.

3. Análisis de resultados

Se logró que el robot realizara movimientos cíclicos que le permitieran caminar sobre una superficie plana al cual denominamos: desplazamiento frontal. El robot mantiene un movimiento constante sin la posibilidad de rotar hacia otra dirección; las piernas se deslizan en la superficie manteniendo en todo momento contacto con el suelo, por lo cual no exista la posibilidad de que el robot bípedo pueda caer. Sin embargo, se percibe que se pueden mejorar dichos movimientos cíclicos efectuando un rediseño de robot para logra mayor movilidad en las piernas, y mejorar la forma de caminar. Lo importante de los resultados de este prototipo es que se pueden analizar y detectar los errores de diseño, elección de material y el análisis para el uso de unos servomotores de uso específico en robótica.

Para lograr la locomoción del robot se utilizaron tres diferentes estados de desplazamiento que se obtuvieron conforme al comportamiento que mostraba la estructura en relación con los movimientos generados por los servomotores. Los estados de desplazamiento del robot y los movimientos realizados por los servomotores (representados por posiciones angulares) se muestran en la tabla 3.

Tabla 3. Representación de posiciones angulares.

La posición inicial de los servomotores es de 90°, el desplazamiento de la posición inicial a la 1era posición se requiere para darle un estado al robot donde pueda ciclar el movimiento de locomoción. Las 3 posiciones mostradas en la tabla 2 son el ciclo de locomoción del robot bípedo que se muestran en la figura 8.

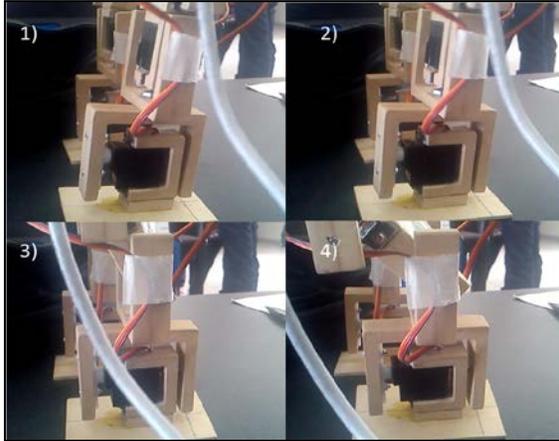


Fig. 8. Secuencia de movimiento de la pierna derecha.

4. Conclusiones

En este trabajo se describió el diseño y el desarrollo un robot bípedo con la finalidad de comprender los aspectos fundamentales de la robótica humanoide y en específico los elementos que intervienen en el desarrollo de un robot bípedo.

Se realizó un modelado matemático simple así como una simulación que sirvió como punto de partida para la construcción del prototipo, aportando conocimientos experimentales para la investigación, siendo de utilidad este prototipo como antecedente para futuros proyectos de esta área.

Se propone como trabajo futuro, diseñar y construir un robot bípedo que realice su locomoción de forma más similar a la humana, implementando un sistema con 12 grados de libertad, tomando como base de desarrollo los resultados aquí expuestos, además de la realización de un modelado matemático

más elaborado que nos permita analizar la cinemática y la dinámica asociada al proceso de caminar en éste tipo de robot.

Referencias

- [1] Aníbal B., “*Robotica (manipuladores y robots móviles)*”, Alfaomega – Marcombo, España, 1ra edición, 2001.
- [2] Historia de los robots de Honda, <http://www.abadiadigital.com/historia-de-los-robots-de-honda-del-proyecto-e0-a-asimo/> [Fecha de consulta: 10 de julio de 2013].
- [3] ASIMO website, <http://asimo.honda.com/> [Fecha de consulta: 10 de julio de 2013].
- [4] Rodríguez A., Cruz C., Vite, A., “*Generación de trayectorias para marcha semi-estática de un robot bípedo: diseño y pruebas experimentales*”, *Ingeniería, Revista Académica de la FIUADY*, 15-2, pp 57-68, ISSN: 1665-529-X, 2011.
- [5] Kajita S., Morisawa M., Miura K., Nakaoka S., Harada K., Kaneko K., Kanehiro F., Yokoi K., “*Biped Walking Stabilization Based on Linear Inverted Pendulum Tracking*”, *Proceedings of 2010 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems*, pp.4489-4496, 2010.
- [6] Craig J., “*Introduction to Robotics Mechanics and Control*”, Pearson Education Inc, United States of America, 3ra edición, 2005.
- [7] Spong M., Hutchinson S., Vidyasagar M., “*Robot Modeling and Control*”, John Wiley Sons, INC. 1st Edition, United States, 2005.
- [8] PoweHD-1160-A datasheet, <http://www.pololu.com/file/0J318/HD-1160A.pdf> [Fecha de consulta: 20 de julio de 2013].
- [9] Arduino website, <http://arduino.cc> [Fecha de consulta: 20 de julio de 2013].