

CARACTERIZACIÓN DE MARCHA DE UN ROBOT HUMANOIDE PARA SEGUIMIENTO DE TRAYECTORIAS

Paula C. Useche M., Rafael Bocanegra Aguirre, Robinson Jiménez Moreno y Olga Lucia Ramos S.

Ingeniería Mecatrónica, grupo GAV

Universidad Militar Nueva Granada – Bogotá, Colombia

{u1802163, u1802087 robinson.jimenez olga.ramos}@unimilitar.edu.co

Resumen—En este artículo se presenta la caracterización e implementación de un sistema de marcha bípeda para un robot humanoide, con el fin de realizar el desplazamiento de un objeto, de forma autónoma, por parte del robot. Dados los múltiples grados de libertad del robot humanoide, se busca simplificar los métodos de movimiento de este para una aplicación particular. En el cuerpo del artículo se presentan la técnica de análisis geométrico usada para caracterizar la marcha del robot y los resultados obtenidos de la prueba de desplazamiento de objeto al validar estabilidad, precisión y velocidad de respuesta en la acción del robot.

Palabras clave— *visión de máquina, interacción humano-robot, Kinect, detección de movimiento, imitación.*

Abstract— This paper presents the characterization and implementation of a system of bipedal gait for a humanoid robot to perform the displacement of an object, independently, by the robot is presented. Given the multiple degrees of freedom humanoid robot, it seeks to simplify this movement methods for a particular application. In the article body geometric analysis technique used to characterize the motion of the robot and the results of the test target shift to validate stability, accuracy and speed of response in the action of the robot are presented.

Keywords— *machine vision, human-robot interaction, Kinect, motion detection, imitation.*

I. INTRODUCTION

Los sistemas robóticos cada vez se encuentran más relacionados con las actividades cotidianas del hombre, no solamente a nivel industrial, sino que hoy día cobran fuerza a nivel doméstico y de entretenimiento. Es por ello que las interacciones humano-robot han sido y siguen siendo motivo de estudio con el objeto de incluirlos cada vez más en todo tipo de actividades de los seres humanos. Parte fundamental de esta inclusión se encuentra en el tipo y entrenamiento del robot para tareas de interacción, como el desarrollo presentado en [1].

La naturalidad en los movimientos de los robots permite no solo una asimilación más fácil por parte del hombre sino el que estos puedan realizar movimientos complejos, lo cual le permite incursionar en campos como la enseñanza [2].

La imitación de los movimientos humanos por agentes robóticos es una tarea compleja y más si se aprecia desde el punto de vista cinemático del robot. Entre las investigaciones relacionadas a este tema se encuentran casos como el presentado en [3], en donde se hace uso de un sistema de

rastreo mediante marcadores infrarrojos para replicar el movimiento del brazo humano en un agente robótico. En [4] se emplea un complejo sistema de navegación inercial para lograr replicar en un robot humanoide los movimientos de un usuario.

Los sistemas de visión de máquina ofrecen una alternativa para la réplica de movimientos humanos en robots, es así como en [5] se presenta un sistema no invasivo para la imitación del movimiento de brazos de un usuario por parte de un agente robótico tipo humanoide, utilizando un sensor de captura de video e infrarrojo (Kinect). Pero cuando se trata de dar autonomía a un agente robótico, este debe operar bajo una secuencia programada o bajo un sistema supervisado y la labor de imitación de movimientos humanos se vuelve más compleja.

En [6],[7] y [8] se presenta el diseño cinemático e implementación de agentes robóticos capaces de desplazarse de forma bípeda, cada uno basado en el análisis de la marcha humana. Como aporte a este tipo de trabajos, en este artículo se presenta la caracterización de marcha de un robot humanoide para seguimiento de trayectorias, empleando una técnica denominada técnica de análisis geométrico (GAT) [9],[10]. Como trabajo previo a esta investigación, al interior del grupo de aplicaciones virtuales (GAV) del programa de Ingeniería en Mecatrónica de la Universidad Militar, se ha venido trabajando con el robot humanoide denominado BIOLOID y desarrollado por ROBOTICS INC y ante la necesidad de darle autonomía a este tipo de robot se planteó la caracterización de la marcha bípeda del mismo. Como aporte, esta investigación desarrolla el seguimiento de una trayectoria para desplazamiento de un objeto en una ruta programada, por parte de un robot humanoide, que no cuenta con la sensorica adecuada para tal fin, donde la mayoría de trabajos se centra solo en el desplazamiento bípedo [11][12][13], dejando a aplicaciones posteriores las consideraciones del efecto del objeto en el centro de masa y demás referentes de estabilidad para la marcha del robot en un ejercicio aplicado.

Este presente documento consta de 4 secciones: en la sección 2 se desarrolla la técnica de análisis geométrico para desplazamiento del agente humanoide; en la sección 3 se presentan los resultados obtenidos de la implementación del algoritmo de marcha y la ruta a seguir y finalmente las conclusiones alcanzadas se presentan en la sección 4 junto con posibles trabajos futuros.

II. CARACTERIZACION DE LA MARCHA

El entorno de desarrollo está basado en la caracterización de las posiciones de marcha del robot, para ello se emplea el software del desarrollador del Bioloid, el RoboPlus. El esquema básico de programación consta de dos partes, la captura y análisis geométrico de las posiciones angulares de cada pose implicada en la marcha y la posterior programación de la secuencia de poses en el robot. La figura 1 ilustra el esquema de programación.



Fig 1. Esquema de caracterización de marcha

El RoboPlus permite capturar las posiciones actuales de los servomecanismos con los que está construido el robot y que corresponden a la referencia dynamixel AX-12a, los cuales poseen una alta velocidad de comunicación y alto torque. Las características principales de estos servomotores son:

- Par motor: 1.52 N.m (a 12.0 V, 1.5 A)
- Velocidad sin carga: 59 rpm (a 12 V)
- Grados de giro: 0° ~ 300°.
- Rotación continua en el rango de giro.
- Temperatura de trabajo: -5°C ~ +70°C
- Voltaje de operación: 9 ~ 12 V.
- Tipo de protocolo: comunicación serie asíncrona.
- 254 ID's, rango de 0~253 (Identificador de servo).
- Velocidad de comunicación: 7343 bps ~ 1 Mbps.
- Feedback: posición, temperatura, carga, tensión de entrada, etc.

La comunicación entre el software y el robot es bidireccional, de forma tal que al ubicar en una pose determinada que hace parte del proceso de marcha en el robot, basta con pulsar la flecha que se resalta en el cuadro rojo en la Figura 2. Este proceso permite, por cada servomotor identificado con un ID de 1 a 18, conocer el valor del grado de giro en el rango 0 a 300°, para ser almacenado en una secuencia de paso.

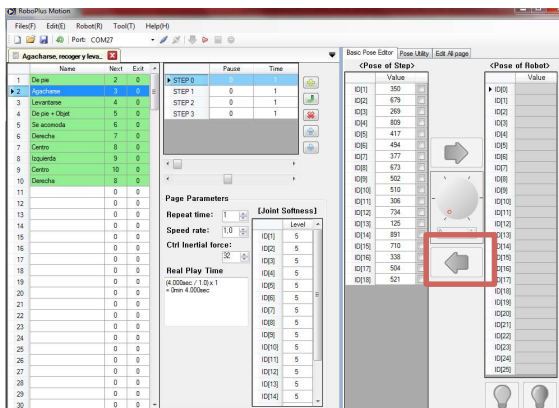


Fig 2. Captura por software pose del robot.

La técnica de análisis de desplazamiento a utilizar para el proceso de marcha en el robot Bioloid, se basa en el análisis geométrico del mismo. Los movimientos son preprogramados en función a las diferentes poses caracterizadas y permiten equilibrar el Robot y delimitar el movimiento de cada servomotor en la transición entre pose y pose. En la Figura 3 se aprecia el análisis geométrico que deriva en el desplazamiento de la pierna izquierda del robot hacia adelante, en el cual se parte de una posición de equilibrio o reposo (A) y se ejecutan los movimientos en los rangos de equilibrio dada la estructura geométrica del robot (pasos B, C y D).

Mediante la ecuación 1 se establece el rango de variabilidad del centro de gravedad adoptado por el robot en la secuencia de movimiento para un grupo de poses F que generan la secuencia de marcha. Si por razones de fricción o un obstáculo, el robot pierde estabilidad, regresa a la posición previa e intenta de nuevo el paso siguiente.

$$y_a = \frac{\sum_{j=1}^F \mu_{B'}(y_j) \cdot y_j}{\sum_{j=1}^F \mu_{B'}(y_j)} \quad (1)$$

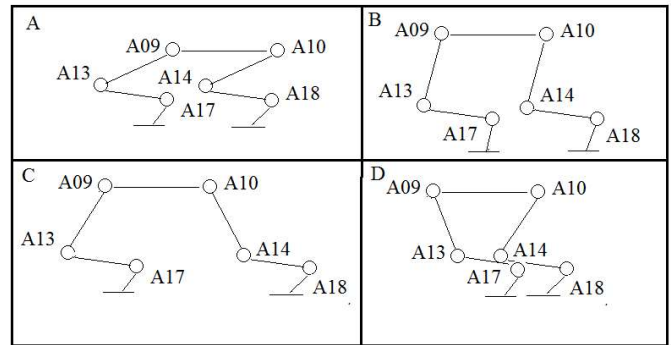


Fig 3. Análisis geométrico marcha robótica.

La ubicación manual de cada pose para la marcha replica el comportamiento de enseñanza guiada para nado en niños, en donde se suele ubicar al infante sobre una tabla al aire para tomar sus piernas e indicar el movimiento a realizar. De esta forma cada posición de marcha equilibrada es establecida manualmente, almacenada y secuencializada para posterior programación.

La figura 4 ilustra la ejecución del análisis geométrico sobre el robot humanoide, en el que se aprecia un desplazamiento hacia la izquierda, primer paso corresponde a la posición inicial (A), segundo paso corresponde al cierre por medio del movimiento de la pierna derecha hacia la izquierda (B), tercer paso separación de piernas mediante movimiento de la pierna izquierda hacia afuera (C) y por último la posición final (D).

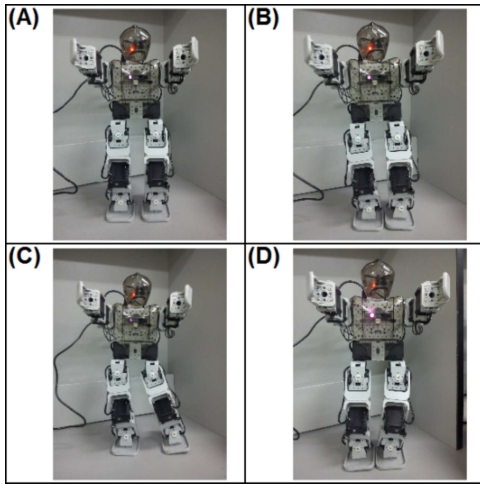


Fig 4. Desplazamiento lateral del robot.

La tabla 1 presenta las limitaciones de ángulo para los principales servomotores que se involucran en la marcha. Se realiza la diferenciación del efecto de marcha sin objeto y con objeto.

TABLA I. Limitaciones angulares

ID SERVO	ANGULO SIN OBJETO (°)	ANGULO CON OBJETO (°)
9	40 -120	40 -140
10	40 -120	40 -140
13	45-90	50-75
14	45-90	50-75
17	0-50	0-50
18	0-50	0-50

III. RESULTADOS

El desarrollo presentado hace parte de una prueba piloto para caracterización de marcha en agentes robóticos de múltiples grados de libertad, donde el modelado geométrico da una opción a la complejidad del modelo cinemático propio de un robot antropomórfico. Una vez establecidos los movimientos de marcha bajo dicho modelo geométrico y restricciones angulares, se realiza una prueba de desplazamiento del robot transportando un objeto, la Figura 5 ilustra el proceso seguido en la implementación del algoritmo de prueba.

Debido a que la marcha robot con el objeto implica avance en línea recta, se presentan dos efectos esperados en el desplazamiento final del robot, el primero referente al tiempo de desplazamiento, el cual sin considerar el acelerómetro es más rápido, pero con probabilidad de perder el equilibrio y el segundo referente a una desviación de posición.

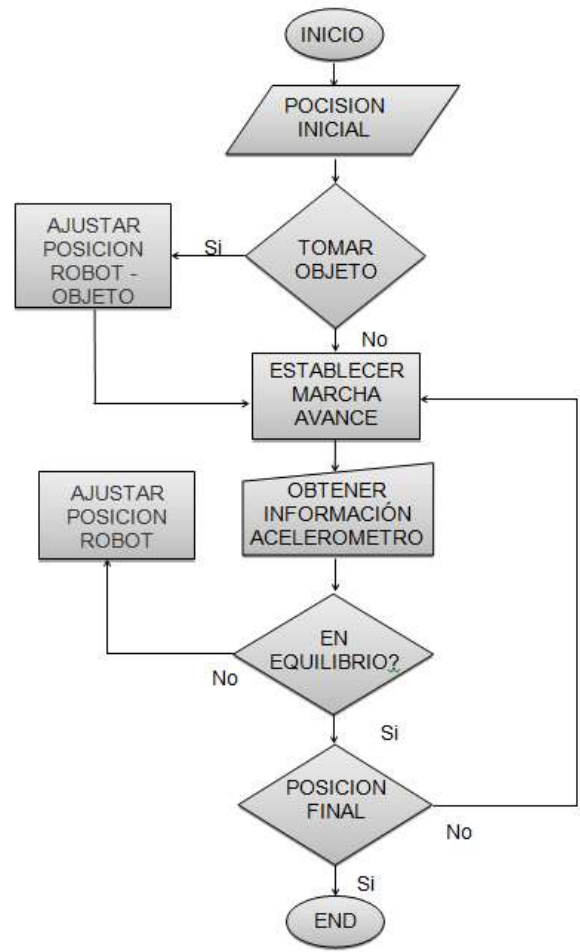


Fig 5. Diagrama de flujo de desplazamiento.

Respecto al primero, se realiza la prueba con la consideración del centro de gravedad determinado mediante el acelerómetro y sin este, la diferencia temporal es de en promedio 5 segundos, pero la repetitividad de la acción permite completar el recorrido sin caerse, en el caso de no uso del acelerómetro, el 60% de las pruebas realizadas.

Para el caso de desviación espacial se presenta en promedio 0,6 cm por cada 10 cm de avance, como se puede apreciar en la Figura 7.

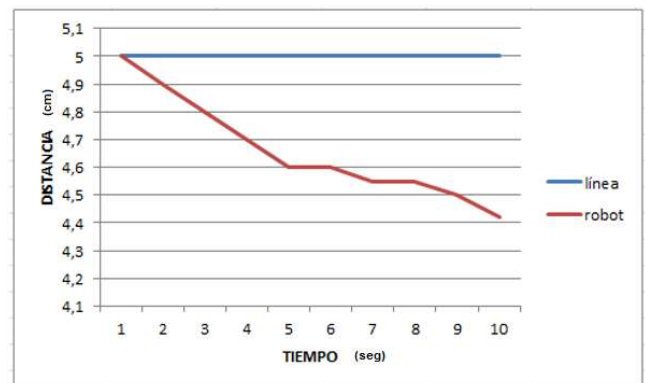


Fig 6. fluctuaciones en el desplazamiento de avance

La figura 8 ilustra el robot desplazándose con diferentes objetos. Esta prueba también presenta una variación temporal en el recorrido, de cerca de 2 segundos menos respecto al objeto más pesado.

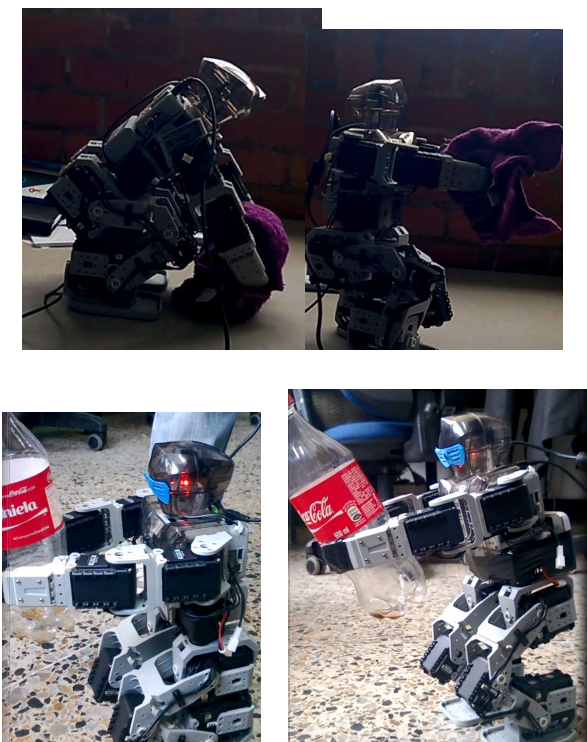


Fig 8. Pruebas de marcha con diferentes objetos.

Como es de esperar se presenta una desviación significativa de la trayectoria del robot, que se incrementa con el tiempo de desplazamiento y aumento del peso del objeto. Esta desviación no tiene forma de ser compensada bajo la sensorica del robot, una posible solución es buscar una realimentación mediante sistemas de visión de máquina, de forma que permita la implementación de un controlador de posición.

IV. CONCLUSIONES

Se logró caracterizar el sistema de marcha bípeda para el agente robótico Bioloid, considerando los efectos de carga de un objeto en el proceso. Se logró evidenciar las diferencias en el establecimiento de los ángulos da cada grado de libertad para marcha con y sin objeto, validando la percepción del cambio de ángulo que requería la caracterización de marcha para esta última condición.

Se evidencio la necesidad de generar mayor agarre al suelo para que el agente robótico mantuviese la trayectoria, esto se solvento agregando contrapeso al robot. Sin embargo, no se logra mantener una marcha deseada de forma constante, por lo

que un sistema de lazo abierto no es una solución de desplazamiento para este tipo de robot.

AGRADECIMIENTOS

El artículo fue desarrollado en el marco del proyecto de iniciación científica PIC-ING1704 titulado “Caracterización de marcha de un robot humanoide para seguimiento de trayectorias”. Avalado y financiado por la Vicerrectoria de Investigaciones de la Universidad Militar, y asociado al Grupo de Investigación en Aplicaciones Virtuales (GAV) del programa de Ingeniería en Mecatrónica de la Universidad Militar Nueva Granada.

REFERENCIAS

- [1] C.I Penaloza, Y. Mae, K. Ohara y T. Arai, "Social human behavior modeling for robot imitation learning," *Mechatronics and Automation (ICMA)*, 2012 International Conference on , vol., no., pp.457-462, 5-8 Aug. 2012
- [2] S. Hak, N. Mansard, O. Ramos, L. Saab y O. Stasse, "Capture, recognition and imitation of anthropomorphic motion," *Robotics and Automation (ICRA)*, 2012 IEEE International Conference on , vol., no., pp.3539-3540, 14-18 May 2012
- [3] Hsien-I Lin; Yu-Cheng Liu; Chi-Li Chen; , "Evaluation of human-robot arm movement imitation," *Control Conference (ASCC)*, 2011 8th Asian , vol., no., pp.287-292, 15-18 May 2011
- [4] J. Koenemann y M. Bennewitz, "Whole-body imitation of human motions with a Nao humanoid," *Human-Robot Interaction (HRI)*, 2012 7th ACM/IEEE International Conference on , vol., no., pp.425, 5-8 March 2012
- [5] R. Jimenez, F. Espinosa y D. Amaya, "Control de movimiento de un robot humanoide por medio de visión de máquina y réplica de movimientos humanos" . En: *IngeCUC* ISSN: 0122-5617 ed: v.9 fasc.2 p.44 - 51 ,2013.
- [6] Govea, E.; Gonzalez, G.; Rocha, J.; Hernandez, S.; Chavez, A.; Castillo, J., "Diseño cinemático y construcción de un robot humanoide con movimientos básicos de caminado," *Biennial Congress of Argentina (ARGENCON)*, 2014 IEEE , vol., no., pp.119,124, 11-13 June 2014.
- [7] Xuefeng Zhou; Yisheng Guan; Chuanwu Cai; Li Jiang; Haifei Zhu; Xianmin Zhang, "Modeling and planning for stable walking of a novel 6-DOF biped robot," *Robotics and Biomimetics (ROBIO)*, 2010 IEEE International Conference on , vol., no., pp.7,12, 14-18 Dec. 2010.
- [8] Luo, R.C.; Yi Hao Pu; Chwan Hsen Chen; Jia Rong Chang; Cheng Yen Li, "Design and Implementation of humanoid biped walking robot mechanism towards natural walking," *Robotics and Biomimetics (ROBIO)*, 2011 IEEE International Conference on , vol., no., pp.1165,1170, 7-11 Dec. 2011.
- [9] Akhtaruzzaman, M.; Shafie, A.A.; "Geometrical analysis on BIOLOID humanoid system standing on single leg," *Mechatronics (ICOM)*, 2011 4th International Conference On , vol., no., pp.1-5, 17-19 May 2011.
- [10] Akhtaruzzaman, M.; Shafie, A.A.; "Contriving a turning gait for an anthropomorphous system," *Research and Development (SCORED)*, 2011 IEEE Student Conference on , vol., no., pp.95-100, 19-20 Dec. 2011.
- [11] Luo, R.C.; Hong-Hao Chang; Jun Sheng; Peng-Hsi Chang, "Walking pattern generation with non-constant body height biped walking robot," *Industrial Electronics Society, IECON 2013 - 39th Annual Conference of the IEEE* , vol., no., pp.4318,4323, 10-13 Nov. 2013.
- [12] Rakovic, M.; Borovac, B.; Nikolic, M.; Savic, S., "Realization of Biped Walking in Unstructured Environment Using Motion Primitives," *Robotics, IEEE Transactions on* , vol.PP, no.99, pp.1,15. 2014.
- [13] Atsuta, H.; Sugihara, T., "Sideward locomotion control of biped robots based on dynamics morphing," *Intelligent Robots and Systems (IROS 2014)*, 2014 IEEE/RSJ International Conference on , vol., no., pp.959,964, 14-18 Sept. 2014.