

Mejora de las Capacidades de un Robot Mini-Humanoide en la Tarea de Subir y Bajar Escaleras

Wilmer Cardenas Pilatuña (wcardeba@pa.uc3m.es)

Félix Rodríguez Cañadillas (ferodrig@ing.uc3m.es)

Alberto Jardón Huete (ajardon@ing.uc3m.es)

Resumen

En este artículo se presenta el diseño hardware y software de un sistema para el control de un robot mini-humanoide en la tarea de subir y bajar escaleras. Estos robots son utilizados en varios centros de investigación de todo el mundo, y también son ampliamente utilizados en competiciones de robots, como por ejemplo, el concurso español CEABOT, en el cual esta basado este artículo. Este campeonato abarca varias pruebas como la que se estudia en este proyecto, en concreto la prueba de subir y bajar escaleras. Por tanto, en este artículo se describirá de forma detallada la prueba de este campeonato. En el trabajo aquí presentado, se describe el diseño para un robot mini-humanoide de un sistema para abordar la tarea de subir y bajar escaleras. Este sistema abarca el desarrollo de elementos hardware necesarios para la mejora de las capacidades con las que el robot ya contaba. Además será necesaria la implementación de un nuevo software de control acorde con los nuevos elementos hardware introducidos en el sistema, de tal forma que se dote al robot mini-humanoide de un sistema autónomo y fiable para realizar la tarea de subir y bajar escaleras.

Palabras clave: Robot mini-humanoide, sensor infrarrojo, CEABOT, detección de escalones, centro de gravedad.

1. INTRODUCCIÓN

Uno de los principales desafíos en robótica humanoide es el abordar tareas de la vida cotidiana de una forma sencilla. Tareas como el desplazamiento por el entorno, subir y bajar escaleras o agarrar objetos de una forma correcta, son unas de las muchas tareas que se estudian en este campo.

Una manera de iniciarse en este campo es mediante la participación en concursos de robótica mini-humanoide, los cuales permiten a estudiantes de ingeniería realizar una primera toma de contacto con los dispositivos utilizados en estas pruebas, como se subrayó en [6] y [13]. Estos concursos son

una manera fácil y activa de introducirse en el desarrollo de sistemas para abordar los principales desafíos que estas tareas cotidianas nos plantean, además de una forma de comparar el desarrollo de nuestros sistemas con los del resto de participantes de estas competiciones. Un ejemplo es la competición española CEABOT [1], que se celebra anualmente, donde los equipos de estudiantes pueden probar sus robots mini-humanoides en tres pruebas diferentes. Esto se describe con más detalle en la sección II.

Se están realizando numerosos estudios sobre cómo debe abordar un robot humanoide la tarea de subir y bajar escaleras, los cuales abren un amplio abanico para la mejora de un robot mini-humanoide a la hora de realizar esta tarea. Uno de estos trabajos, es el que se muestra en [9], donde se propone abordar esta tarea a través del control de la fuerza aplicada a cada articulación y un acelerómetro. Aunque esta propuesta es una buena forma de controlar el robot en esta tarea, ésta depende de que la escalera sea conocida ya que no se realiza una detección de la posición de los escalones. Algo similar ocurre con el artículo mostrado en [8], en el cual se plantea el control de la cinemática del robot mediante la sensorización de la fuerza y el torque aplicado a cada articulación.

Existen otros estudios que utilizan detección del entorno para localizar la escalera, su tamaño, altura y demás características relevantes. Uno de estos estudios es el planteado en [11], donde se plantea la utilización de un sistema de visión apoyado por un láser para la detección de los escalones. Otro sistema que utiliza visión para determinar la posición de las escaleras, es el mostrado en [5], el cual a través de un sistema estereoscópico de visión es capaz de determinar la longitud, posición y tamaño de los escalones que desea subir. Estos sistemas basados en visión por computador son una buena opción a la hora de desarrollar un sistema de detección de escaleras, aunque con la capacidad de computación del controlador utilizado en este proyecto no es viable la creación de un sistema de este tipo.

A la vista de los estudios mostrados anteriormente y de las capacidades de computación de nues-

tro robot, se ha decidido utilizar una sensorización sencilla basada en sensores infrarrojos, debido a que el robot que se utiliza en este proyecto no tiene suficientes capacidades para desarrollar sistemas de visión. Además los motores de este robot no están capacitados para realizar un control fuerza-par.

En el resto de este artículo se describe el entorno de la competición CEABOT con una descripción detallada de la prueba de escaleras en la cual se basa este artículo, seguido del diseño tanto hardware como software del sistema propuesto para realizar la tarea de subir y bajar escaleras con un robot mini-humanoide. Este diseño está basado en la incorporación de sensores infrarrojos posicionados en los pies del robot, en el re-posicionamiento de las baterías y en la creación de un software de control apropiado para las nuevas incorporaciones hardware.

2. ENTORNO DE TRABAJO

Las mejoras que se plantean en este artículo tienen como objetivo dotar a un robot mini-humanoide con la capacidad para subir y bajar escaleras de una forma sencilla y fiable. Para comprobar estas capacidades, se participa en el concurso CEABOT de robótica mini-humanoide, el cual se realiza anualmente dentro de las jornadas de automática desarrolladas por el Comité Español de Automática (CEA). Podemos observar la normativa de este concurso en [1].

Para la elección de una plataforma de robot mini-humanoide en la que basar nuestro proyecto, debemos tener en cuenta las restricciones que se determinan en la normativa CEABOT, sobre todo la altura y las restricciones de peso. Las restricciones más relevantes son un peso máximo de 3 kg, una altura máxima de 50 cm con el robot completamente extendido y una longitud máxima de la base de 11 cm. Además no está permitido que los concursantes realicen instrucciones una vez que el robot está encendido y puesto en marcha, por lo que es necesario que los robots mini-humanoides sean totalmente autónomos.

Observando las plataformas de robótica mini-humanoide que se encuentran en el mercado, vemos que no todas las plataformas cumplen con estos requisitos. Por ejemplo, plataformas como DARwinOP[4] y HOAP-3[7], no pueden participar en este torneo, ya que superan el peso y/o las limitaciones de altura. Hay otras plataformas en el mercado que cumplen con estos requisitos y que se utilizan habitualmente en los torneos de este tipo. Plataformas como Robonova[12] y Bioloid[3] han sido las más utilizadas en ediciones anteriores de

CEABOT. El trabajo aquí presentado está basado en el robot mini-humanoide Bioloid, el cual se observa en la figura 1.



Figura 1: Robot Bioloid.

El campeonato CEABOT está compuesto por tres pruebas con las que se determinan las capacidades de los robots mini-humanoides participantes. Estas pruebas son las siguientes:

- Carrera de obstáculos: Consiste en hacer que el robot cruce un escenario con una trayectoria de ida y vuelta desde un punto de partida previamente establecido. El campo estará provisto de varios obstáculos esparcidos por toda la superficie, por lo que el robot deberá ser capaz de detectarlos y esquivarlos.
- Escalera: Esta prueba se basa en superar varios escalones tanto de subida como de bajada. El robot deberá recorrer todos los escalones sin caerse y en el menor tiempo posible para superar la prueba de una forma óptima. En esta prueba es en la que se basa este proyecto y por tanto se describirá posteriormente de una forma más detallada.
- Prueba de lucha (Sumo): En esta prueba, dos robots se enfrentan en una lucha similar al Sumo, dentro de un área de combate. El escenario consiste en un círculo de color verde de 1.5 m de diámetro delimitado por una línea amarilla de 5 cm de ancho, denominada área exterior. El objetivo de la prueba es localizar y derribar al robot rival, sin que el robot propio sea derribado.

La puntuación final se realiza sobre 100 puntos siendo el 35% de los puntos para la prueba de obstáculos, otro 35% la prueba de la escaleras y el 30% restante correspondiente a la prueba de sumo.

2.1. Descripción detallada de la prueba de escaleras

Como se ha mencionado anteriormente, este proyecto se basa en la consecución de la prueba de escaleras del campeonato CEABOT, de tal forma que, para diseñar un sistema que dote al robot de tales capacidades, es conveniente el estudio detallado de la prueba mencionada.

Esta prueba consiste en subir y bajar ciertos escalones con un robot mini-humanoide totalmente automatizado. La puntuación depende del número de escalones superados y del tiempo que se tarde en recorrerlos. Como se comprueba en la tabla 1, es conveniente que el robot supere el máximo de escalones posibles sin penalización aunque el tiempo que emplee en ello sea mayor, ya que el número de puntos es superior por completar los escalones que por hacerlo en poco tiempo.

Llegada parcial	Puntos	Número de escalones superados	Puntos
1	10	1	3
2	8	2	5
3	7	3	10
4	6	4	18
5	5	5	22
6	4	6	25
7	3		
8	2		
9	1		

Tabla 1: Puntuación de la prueba de escaleras

La escalera tiene una forma predeterminada, tiene un total de 1.4 m de longitud y 1 m de ancho y esta compuesta por seis escalones, tres de subida y tres de bajada. Estos escalones son de 3 cm de altura y su longitud puede variar entre 15 cm, 25 cm y 50 cm. El escalón más extenso, de 50 cm, está colocado en la parte superior de la escalera y el resto se distribuyen como se aprecia en la figura 2.

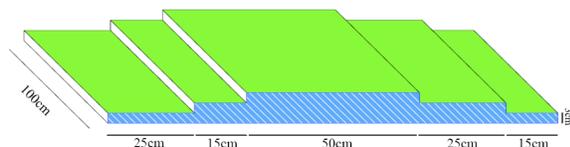


Figura 2: Esquema de las escaleras del campeonato CEABOT.

Como se comprueba en la figura 2, el recorrido es diferente en función del extremo por el que se comience la prueba. Esto es algo a tener muy en

cuenta ya que no se podrá realizar un sistema basado en la distancia de los escalones.

El tiempo límite de la prueba es de cinco minutos, que se empieza a contabilizar a partir de que el robot se ponga en movimiento, previa pausa de 5 segundos. El cronómetro se parará una vez que el humanoide haya cruzado totalmente la línea de llegada.

Como se ha visto en esta sección, en el diseño de un sistema que ofrezca la capacidad de subir y bajar escaleras a un robot mini-humanoide, se deben tener en cuenta varios factores referentes al entorno de trabajo y forma de la escalera. La detección correcta de los escalones, un buen posicionamiento previo al abordaje del movimiento de bajada o subida, así como que dichos movimientos sean fiables y robustos, son los principales objetivos que se persiguen en este proyecto.

3. DESCRIPCIÓN DEL HARDWARE DEL SISTEMA PROPUESTO

La mejora de las capacidades de subida y bajada de escaleras de un robot mini-humanoide, conlleva realizar varios ajustes tanto en el software como en el hardware del robot. En esta sección se describen los elementos hardware utilizados para la mejora de las capacidades del robot mini-humanoide en dicha tarea.

Con el fin de mejorar la detección de las escaleras, se ha determinado utilizar sensores de menor tamaño que los utilizados anteriormente, con el fin de poder posicionar mayor número de sensores de tal modo que se aumente el número de puntos a localizar. De esta manera aumentará la precisión de la posición en el entorno, lo cual será de ayuda tanto a la hora de localizar la escalera dentro de nuestro entorno, como de colocar el robot de manera correcta antes de abordar el movimiento de subir o bajar escaleras.

Se ha determinado utilizar ocho sensores, cuatro para la detección de un escalón de subida y los otros cuatro para la detección de escalones de bajada. Como se muestra en la figura 3, los sensores de escalones de subida se posicionarán de tal forma que la línea de detección sea paralela al suelo. En los sensores de detección de escalón de bajada la línea de detección será perpendicular al suelo, lo cual se observa en la figura 4.

Los sensores frontales funcionan como detectores de escaleras a la vez que miden la distancia. Esta configuración de cuatro sensores permite determinar el ángulo con el que se aproxima el robot al escalón, lo cual nos es de gran ayuda a la hora de

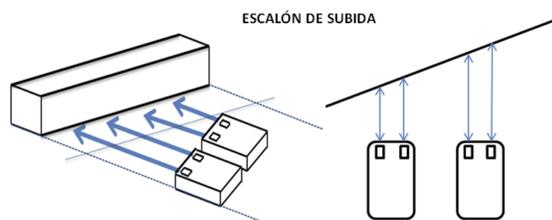


Figura 3: Esquema del posicionamiento de los sensores de detección de escalones de subida.

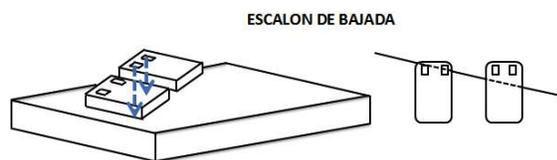


Figura 4: Esquema del posicionamiento de los sensores de detección de escalones de bajada.

posicionar el robot de forma correcta antes de comenzar el movimiento de subida de las escaleras. Mediante este sistema se evita que el robot pueda tomar un escalón de lado, lo cual puede producir caídas. Los sensores de detección de escalón de bajada, gracias a su posicionamiento similar a los anteriores, también permitirán realizar un posicionamiento correcto del robot antes de comenzar el movimiento de bajada.

Por otra parte, se ha decidido bajar el centro de gravedad del robot, de tal forma que a la hora de realizar un movimiento de subida o de bajada, éste sea más estable y fiable. Para ello se eliminará la batería que el robot Bioid tiene incorporada en el cuerpo y se pondrán nuevas baterías situadas en las bases del robot, con lo cual la posición del centro de gravedad se verá reducida en altura.

A la vista de los cambios en el posicionamiento de las baterías y de la gran cantidad de sensores que se van a colocar en los pies del robot, se ha determinado crear un soporte para el robot que contenga tanto las baterías como los sensores.

3.1. Descripción del sensor a utilizar

Para hacer una correcta elección del sensor es necesario tener en cuenta varios aspectos como la distancia que es capaz de medir, la precisión, la rapidez con la que detecta, el modo de lectura de los datos, el tamaño, etc.

Debido a que se colocarán cuatro sensores, con su respectivo circuito acondicionador, en cada pie (dos sensores de detección de escalón de subida y dos de escalón de bajada), es importante que el tamaño de dichos sensores sea lo más reducido posible.

Tras realizar un análisis de los posibles sensores a utilizar para esta tarea, se ha determinado la utilización de sensores infrarrojos ya que la mayoría de ellos se adaptan bien a las necesidades de este proyecto. Entre la gran variedad de sensores infrarrojos que existen, se ha decidido utilizar el sensor desarrollado por compañeros de la Universidad Carlos III, en concreto, el sensor desarrollado en [10], el cual se muestra en la figura 5.

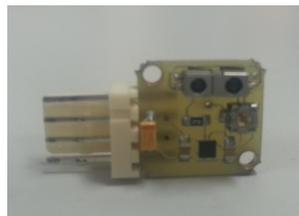


Figura 5: Imagen del sensor utilizado en este proyecto.

Este sensor nos permite recoger medidas del rango de 20mm a 100mm, ya que como se comprueba en la gráfica 6 existe una zona, entre 5mm y 20mm, en la cual las medidas podrían dar cabida a una lectura errónea de la distancia. Su funcionamiento está basado en un circuito que consta de un emisor que convierte una señal eléctrica en una señal óptica y que es emitida al receptor o fotodiodo mediante reflexión con los objetos. En función del tiempo que tarda en recibir esta señal óptica, el circuito acondicionador produce una variación de tensión, la cual es convertida a distancia.

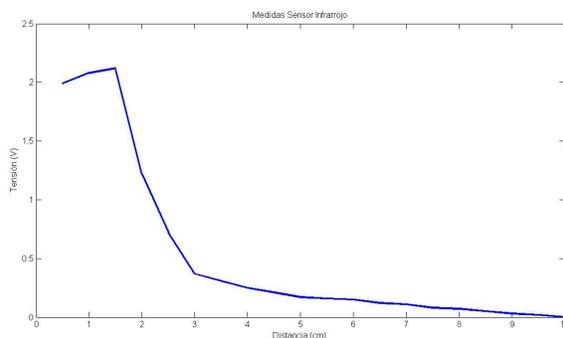


Figura 6: Gráfica tensión[V]/distancia[cm] del sensor infrarrojo.

Para que el fotodiodo sea capaz de emitir la señal es necesario introducirle a través del circuito acondicionador una señal PWM de 100us de periodo, una amplitud en la señal de 3V y un ciclo de trabajo del 20%. Esto excita al emisor que envía la señal óptica que es captada por el receptor y procesada posteriormente por el circuito de acondicionamiento.

Dependiendo del puerto del chip de acondiciona-

miento que se utilice como salida, se obtendrá un comportamiento distinto en el sensor. Si la salida es el pin 6 (PFLIT) obtendremos un sensor de distancia cuya tensión de salida varía dependiendo de la longitud a la que se encuentre el objeto. Este comportamiento se puede ver en la figura 6, donde se muestra la gráfica tensión/distancia de este sensor. Por otro lado, si la salida elegida es el pin 3 (DOUT), el sensor tiene un comportamiento todo o nada, es decir, proporciona un pulso a nivel alto si capta un objeto; por tanto se obtendrá una señal binaria.

3.2. Descripción del posicionamiento de las baterías

Las baterías son los componentes primordiales a la hora de dotar de autonomía a los robots, aunque también son uno de los elementos más pesados de un robot. Esto supone que un posicionamiento elevado de las baterías genera un centro de gravedad elevado, lo cual no es conveniente a la hora de realizar movimientos que pueden comprometer la estabilidad del robot.

Por defecto, el robot Bioloid tiene una batería instalada a una altura media, cerca del controlador. Para tener una mayor estabilidad y dotar al mini-humanoide de mayor equilibrio es necesario cambiarlas a una posición más baja. El lugar escogido para tales efectos son los pies, con lo que se varía su centro de masas, situándose más bajo y obteniendo así un momento de inercia menor. Además para equilibrar el peso es necesario que se coloquen de manera simétrica con respecto a la estructura del robot, para lo cual, se utilizarán dos baterías en lugar de una, cada una de ellas colocadas en un pie. Además, se obtendrá una mayor autonomía al aumentar la capacidad de sistema de alimentación del robot.

Las baterías con las que cuenta el robot Bioloid, que se observan en la figura 7 son de tipo LIPO de 1000 mAh y proporcionan un voltaje de 11.1 V. Tienen un tamaño de 70mm de largo, 35mm de ancho, 15 mm de espesor y su peso es de 83 gramos. Estas medidas son de gran ayuda a la hora de diseñar un soporte para la colocación de las baterías en los pies, así como para saber la magnitud de peso que se va a bajar.

A continuación se describe el soporte donde se situará la batería y los sensores. Como ya se ha comentado con anterioridad, este soporte se realiza para ser colocado en los pies y albergará tanto las baterías como los sensores.



Figura 7: Imagen de la batería del robot Bioloid.

3.3. Descripción del soporte de sensores y batería

Para poder alojar los nuevos sensores y las baterías, es imprescindible modificar la estructura de los pies del robot Bioloid. Para ello, se ha diseñado un soporte mediante el cual se fija la batería al pie del robot y que además permite anclar los nuevos sensores de una forma sólida. En la figura 8 se muestra el diseño de dicho soporte, en la cual se observa la nueva pieza de color verde. En esta figura se puede observar también la posición de los sensores sobre los pies del robot.

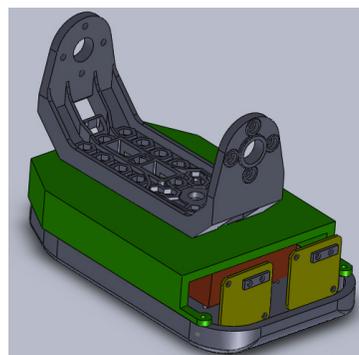


Figura 8: Imagen del diseño del soporte necesario para la nueva configuración.

Como se comprueba en la figura 8, este soporte satisface las necesidades para la configuración propuesta en este artículo, aunque también se comprueba que el robot tendrá algo más de altura y por tanto, se deberá realizar una nueva cinemática de movimientos de subida y bajada acorde con la nueva altura y configuración del robot.

4. DESCRIPCIÓN DEL SOFTWARE DE CONTROL DEL SISTEMA

En esta sección se describe el sistema software encargado de controlar el robot en la tarea de subir y bajar escaleras. Este sistema está basado en el flujograma que se muestra en la figura 9, el cual se describirá en esta sección.

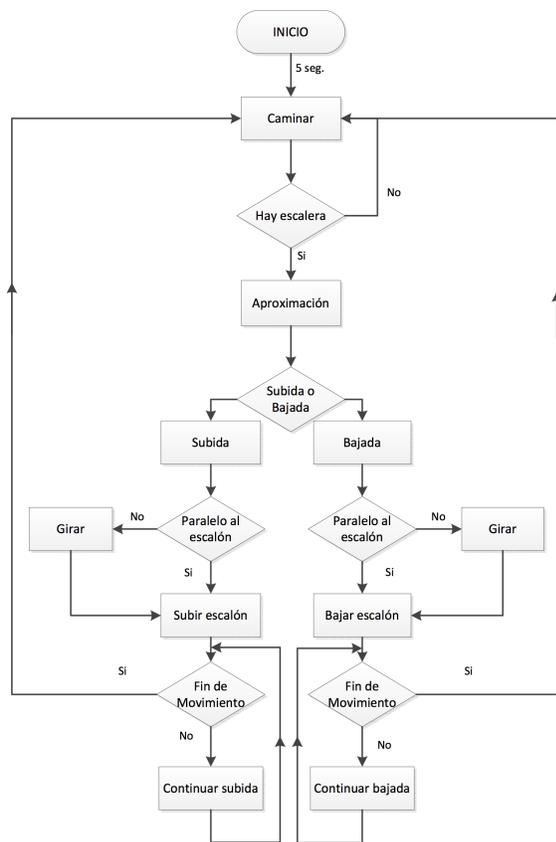


Figura 9: Flujograma del sistema de control del robot mini-humanoide para la prueba de escaleras.

Una vez que se pone en marcha el robot permanecerá parado durante cinco segundos, tiempo establecido por las reglas del concurso. Cuando transcurra ese tiempo, el robot comenzará a caminar hasta que consiga detectar un escalón. Cabe destacar que el movimiento de caminar debe realizarse de forma lenta y segura, ya que si se realizan los movimientos demasiado rápido, el robot podría no detectar a tiempo el escalón y podría producirse una caída. La condición para realizar la siguiente acción es la detección de un escalón, que aunque como se sabe por la normativa de CEABOT será de subida, el robot podría perfectamente detectar un escalón de bajada. Para ello, los sensores están siendo leídos en todo momento tratando de detectar el escalón.

Cuando se ha detectado el escalón, el robot debe de colocarse de manera que cuando vaya a subir o bajar las escaleras, esté posicionado de forma correcta, es decir, debe abordar la tarea de subir o bajar perpendicular al vértice del escalón. Esto se realiza para evitar que el robot tropiece o roce con el suelo, a causa de un mal posicionamiento en el comienzo del movimiento de subida o bajada de escaleras y así evitar caídas o penalizaciones de los jueces.

Para que el robot se posicione de manera correcta es necesario que los sensores utilizados tanto para la detección de los escalones de subida como para los de bajada tengan aproximadamente la misma medida en la lectura. Esto es posible gracias al posicionamiento de los sensores de los pies el cual se puede observar en la figura 10, donde también se aprecia la nomenclatura con la que se nombran los sensores.

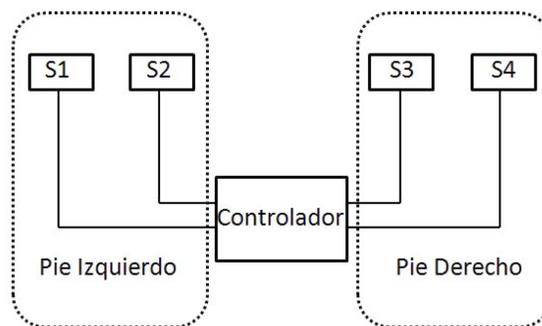


Figura 10: Esquema de conexiones de los sensores con el controlador.

Por tanto, cuando la medida del sensor S1 sea inferior que la medida del sensor S4, el robot se encontrará girado hacia la derecha respecto del escalón de tal forma que deberá girarse hacia la izquierda hasta que la medida de los cuatro sensores sea aproximadamente la misma.

Una vez que los sensores mantienen unas medidas de lectura similares, el robot está preparado para realizar el movimiento de subida o bajada del escalón, en función del tipo de escalón que haya detectado con anterioridad. Estos movimientos de subida o bajada son movimientos predeterminados, ya que, como hemos visto en la descripción de la prueba de escaleras, los escalones son siempre de la misma altura y por tanto se podrán realizar movimientos similares para los escalones de subida, al igual que ocurre para los escalones de bajada.

Cuando el robot ha terminado el movimiento de subida o bajada, éste vuelve al inicio, como se aprecia en la figura 9, de tal forma que volverá a caminar buscando un nuevo escalón para subir o bajar. El proceso que se ha descrito en esta sección se repite cíclicamente lo cual permitirá al robot finalizar la prueba completamente, ya que cuando haya subido y bajado todos los escalones de la prueba el robot continuará caminando hasta sobrepasar la línea que marca el final del campo de trabajo.

5. CONCLUSIONES

En este artículo se ha planteado el diseño de un sistema para que un robot mini-humanoide pueda subir y bajar escaleras de una manera sencilla y fiable. Gracias al estudio de las diferentes formas de abordar esta tarea se han comprendido mejor las dificultades y retos que plantea el desarrollo de un sistema de estas características.

Este proyecto en concreto se ha centrado en desarrollar un sistema para la prueba de escaleras del concurso español de robótica mini-humanoide CEABOT, el cual se ha descrito en este artículo, haciendo especial hincapié en la prueba ya comentada. Gracias a esto, se han podido determinar las principales características del entorno de trabajo, lo cual ha sido vital para poder desarrollar un sistema adecuado a las necesidades.

El diseño del sistema para subir y bajar escaleras ha consistido en la mejora de las capacidades, tanto hardware como software, que tenía el robot mini-humanoide Bioloid. Los principales cambios hardware que se han producido en este robot son la incorporación de varios sensores para una estimación del entorno más adecuada a las necesidades de la prueba. Además, se han desplazado las baterías a la parte baja del robot con el fin de proporcionarle una mayor estabilidad, lo cual ha supuesto el diseño de un nuevo soporte para los pies del robot que albergará tanto las baterías como los nuevos sensores. Por último, se ha desarrollado un nuevo sistema software para el control del robot acorde con los nuevos elementos hardware instalados en el robot.

Cabe destacar que, en estos momentos, el sistema se encuentra en fase de pruebas y afinamiento, aunque la prueba definitiva será cuando se compruebe como se comporta este sistema cuando sea probado y comparado, con otros concursantes, en el campeonato CEABOT 2013, en el cual el grupo de robótica mini-humanoide de la Universidad Carlos III participará este año.

Agradecimientos

Los autores de este artículo quieren agradecer el apoyo al proyecto ARCADIA DPI2010-21047-C02-01, proyecto financiado por el ministerio MINECO del Gobierno de España y a Robocity2030 S2009/DPI-1559 financiado por la Comunidad de Madrid y los fondos estructurales de la Unión Europea. También nos gustaría agradecer a la Asociación de Robótica (ASROB) [2] y al Espacio Abierto de Estudiantes de la Universidad Carlos III por darnos los medios para desarrollarlo.

Referencias

- [1] A. Jardón, J. C. García, G. Alenya, F. Blanes and F. Gómez. CEABOT'13 - Normativa. VII Concurso de Robots Humanoides. Comité Español de Automática (CEA). Vigo, Spain, 2012.
- [2] Asociación de Robótica de la Universidad Carlos III (ASROB). Disponible online [Jul, 2013]: <http://asrob.uc3m.es>
- [3] Bioloid, ROBOTIS. Disponible online [Jul, 2013]: robotis.com/xe/bioloid-en
- [4] DARwinOP, Open Platform Humanoid Robot for Research and Education. Disponible online [Jul, 2013]: romela.org
- [5] Gutmann, J. S., Fukuchi, M., Fujita, M. Stair climbing for humanoid robots using stereo vision. In Intelligent Robots and Systems. IROS Proceedings IEEE/RSJ International Conference on IEEE, Vol. 2, pp. 1407-1413, 2004.
- [6] H. Kitano, M. Asada, Y. Kuniyoshi, I. Noda and E. Osawa. RoboCup: The Robot World Cup Initiative. IJCAI-95 Workshop on Entertainment and AI/Alife, 1995.
- [7] HOAP-3, Miniature Humanoid Robot. Fujitsu. Disponible online [Jul, 2013]: home.comcast.net/jtechsc/HOAP-3-SpecSheet.pdf
- [8] Kim, J. Y., Park, I. W., Oh, J. H. Realization of dynamic stair climbing for biped humanoid robot using force/torque sensors. Journal of Intelligent and Robotic Systems, 56(4), pp. 389-423, 2009.
- [9] Li, T. H., Su, Y. T., Kuo, C. H., Chen, C. Y., Hsu, C. L., Lu, M. F. Stair-climbing control of humanoid robot using force and accelerometer sensors. In SICE, Annual Conference IEEE, pp. 2115-2120, 2007.
- [10] M. González, A. Jardón, S. Martínez, M.F. Stoelen, J.G. Victores and C. Balaguer. Educational initiatives related with the CEABOT contest. In Proc. of 2nd Int. Conf. on Simulation, Modeling and Programming for Autonomous Robots (SIMPACT 2010), Darmstadt, Germany, pp. 649-658.
- [11] Obwald, S., Gorog, A., Hornung, A., Bennewitz, M. Autonomous climbing of spiral staircases with humanoids. In Intelligent Robots and Systems (IROS), IEEE/RSJ International Conference on, pp. 4844-4849, 2011.

- [12] Robonova, Hitec Robotics. Disponible online [Jul, 2013]: robonova.de/store/home.php
- [13] Tena G., Miguel Ángel. "Diseño y desarrollo de un sistema anticolidión con sensores de proximidad sin contacto". Proyecto Fin de Carrera, Departamento de Ingeniería de Sistemas y Automática, Universidad Carlos III de Madrid, Junio 2011.