

Plataforma robótica móvil para prácticas basada en el principio del péndulo invertido

Gary S. Servin Cardozo¹, Luis M. Sandoval Vera¹

¹Club de Robótica – Facultad Politécnica
Universidad Nacional de Asunción (FP-UNA)
San Lorenzo – Paraguay

garyservin@gmail.com, lsandovalvera@gmail.com

Abstract. *This work presents the design, technical considerations and implementation of a mobile robotics platform for practices of control and embedded systems, based in the principle of the inverted pendulum. This platform aims to provide an opportunity for university level students and teachers to implement theoretical knowledge of control systems to a mobile robotic platform as well as providing the opportunity to enter the world of embedded systems. The platform consists of a mechanical structure based on the principle of the inverted pendulum and controlled by a Mbed microcontroller. In addition, an on board computer, the BeagleBone Black, allows real-time visualization and control of the most important parameters of the platform, using a web interface.*

Resumen. *Este trabajo presenta el diseño, consideraciones técnicas e implementación de una plataforma robótica móvil para prácticas de sistemas de control y sistemas embebidos, basada en el principio del péndulo invertido. Dicha plataforma pretende brindar una oportunidad a estudiantes de nivel universitario para aplicar conocimientos teóricos de sistemas de control a una plataforma robótica móvil y de adentrarse en el mundo de los sistemas embebidos. La plataforma consiste en una estructura mecánica y controlada mediante un microcontrolador Mbed. Además, una computadora a bordo, basada en la placa BeagleBone Black, permite la visualización y control en tiempo real de los parámetros de la plataforma mediante una interfaz web.*

1. Introducción

El problema del péndulo invertido es uno de los más comúnmente utilizados para la enseñanza, diseño y prueba de sistemas de control en robótica a nivel mundial debido a su inherente inestabilidad y a la complejidad que el mismo presenta para ser controlado.

Los sistemas embebidos ocupan una cada vez mayor parte de nuestro qué hacer diario, desde teléfonos y televisores inteligentes a equipamiento de manejo de redes de gran porte, artículos electrónicos de consumo, entretenimiento, entre otros.

El objetivo principal de este trabajo fue diseñar y construir una plataforma robótica que permita a estudiantes y docentes de la Facultad Politécnica de la Universidad Nacional de Asunción (FP-UNA) profundizar los conocimientos teóricos acerca de los sistemas de control adquiridos durante la carrera de Ingeniería en Electrónica, mediante la aplicación de los mismos de manera práctica a la plataforma robótica; así como también conocer y utilizar plataformas de sistemas embebidos de alto desempeño y bajo costo. Esto debido

a que la facultad no cuenta aún con laboratorios dedicados a las áreas mencionadas. Así mismo, se provee toda la información acerca de la estructura mecánica, placas de circuito impreso y código a fin de que la plataforma pueda ser construida por cualquier persona.

Algunos trabajos similares comprenden los de [Hollis 2006], [Grasser et al. 2002], [Anderson 2003], [Hassenplug 2002], [Ooi 2003] y [Jespersen 2013].

2. Estructura mecánica

Se utilizó una arquitectura de tres niveles, hechos de placas acrílico transparente con dimensiones de 100 mm × 200 mm × 5 mm, en los cuales el nivel que se encuentra más cercano al suelo sirve de base para el montaje de los motores DC, los sensores, la placa de control de motores y la placa de control principal.

El tipo de diseño elegido permite la fácil instalación de los componentes en cada nivel, además de permitir incrementar o disminuir la altura del prototipo, a fin de variar el comportamiento dinámico del sistema.

Los actuadores utilizados son motores de corriente continua *HN-GH35GMB* con reducción mecánica, los cuales proveen 200 revoluciones por minuto para una tensión de 12 V. Para la etapa controladora de motores se utilizó la placa *Pololu Dual MC33926 Motor Driver Carrier* fabricada por la empresa Pololu.

3. Unidad de Medición Inercial (IMU)

En la Unidad de Medición Inercial se encuentran ubicados los sensores que permiten la medición de las fuerzas inerciales utilizadas en el proyecto.

Se utilizó acelerómetro MMA7361L de la empresa Freescale Semiconductors, el cual es un acelerómetro de tres ejes del tipo MEMS (Sistemas Micro-Electro-Mecánicos) y provee rangos de 1.5 y 6 g con resoluciones de 800 mV/g y 206 mV/g respectivamente. Además, se utilizó un giroscopio LPY550AL de la empresa ST Microelectronics; el mismo es un giroscopio de dos ejes y posee una escala completa de ± 500 °/s.

En base a las especificaciones de los fabricantes de los sensores, se diseñó, fabricó y ensambló un circuito impreso para esta unidad, la cual se puede observar en la Figura 1. Esta placa se ubica en la parte inferior del nivel inferior de la estructura mecánica a fin de mantener los sensores lo más cercanos posible al eje de rotación y así reducir el ruido debido a la vibración de la plataforma.

4. Unidad de control

La unidad de control de la plataforma está basada en el microcontrolador Mbed. Los microcontroladores Mbed son una serie de placas de desarrollo diseñadas para prototipados rápidos, flexibles, de bajo riesgo y profesionales [ARM Ltd. 2012], los cuales proveen un microcontrolador ARM Cortex-M3 a 96 MHz. Esta unidad de control se conecta a la unidad de medición inercial, procesa los datos obtenidos por ésta y controla los motores en base al firmware desarrollado a fin de mantener la plataforma en la posición vertical. En la Figura 2 se puede observar el diagrama de conexiones de la placa Mbed al resto de la plataforma.

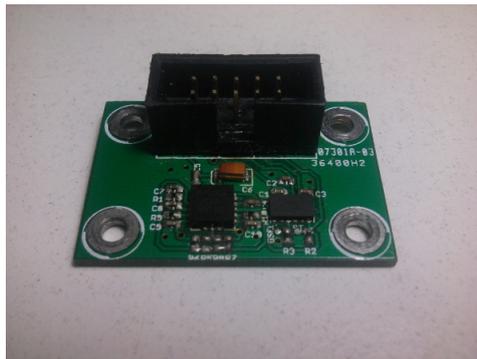


Figura 1. Unidad de medición inercial.

4.1. Computadora de a bordo

La computadora de a bordo utilizada es la BeagleBone Black [Coley 2013]. La misma utiliza el SoC Sitara XAM3359AZCZ100 de 1 GHz de la empresa Texas Instruments, basado en un núcleo de procesador ARM Cortex-A8, utilizando la arquitectura ARMv7-A, y fue lanzada oficialmente el 23 de abril del 2013.

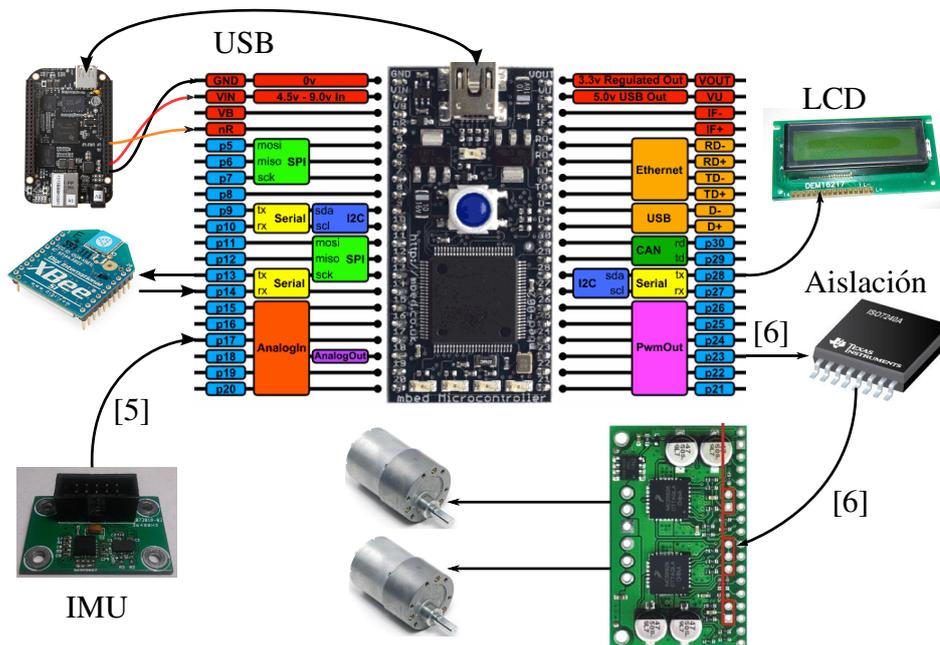


Figura 2. Diagrama de conexiones del Mbed.

Esta placa permite realizar varias funciones de alto nivel en la plataforma, entre las cuales se pueden citar: lectura de los valores leídos de los sensores por el Mbed, lectura de los valores relacionados al controlador; visualización de estos valores mediante una interfaz web, grabado de firmware sin cables y reinicio automático del Mbed; y por último, control remoto de las variables del controlador de la plataforma a través de la red WiFi.

4.2. PCB

A fin de interconectar las partes de la unidad de control, se diseñó, fabricó y ensambló una placa de circuito impreso, la cual se ubica encima de la BeagleBone Black, conectándose a la misma mediante los headers de expansión. En esta placa se monta además el microcontrolador Mbed y los conectores para la IMU, los motores y el LCD. La placa puede ser observada en la Figura 3.

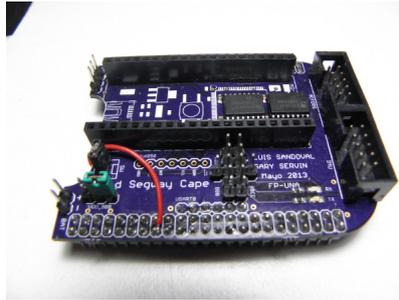


Figura 3. Placa para la unidad de control.

5. Firmware

En la Figura 4 se puede observar el diagrama en bloques para la implementación del firmware en el microcontrolador Mbed. Como se puede observar, el firmware se encarga de realizar la lectura de los sensores y convertirlos al valor de ángulo de inclinación mediante la utilización del filtro de Kalman. Una vez obtenido el ángulo, se procede a calcular el valor de la acción de control mediante un controlador PID. La acción de control es aplicada a los motores en forma de una señal PWM.

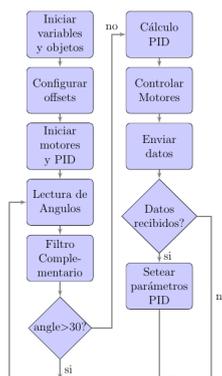


Figura 4. Diagrama en bloques del firmware.

El código se encuentra escrito en lenguaje C++ y se utiliza el compilador offline gcc4mbed; además, se puede utilizar el compilador online proveído por Mbed.

6. Software

En la Figura 5 se puede observar la interfaz web desarrollada para la visualización de los datos en tiempo real y el control de los parámetros de controlador de la plataforma.

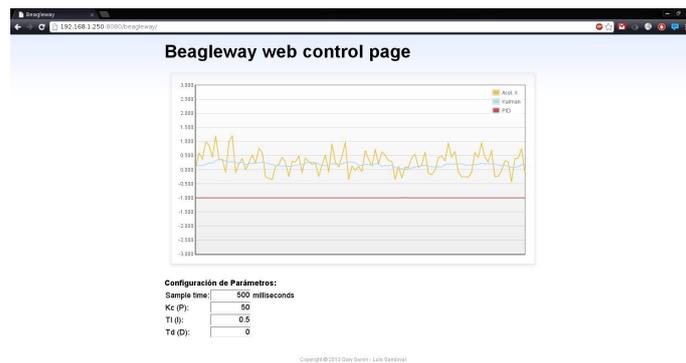


Figura 5. Vista de la interfaz web desarrollada.

El diagrama en bloques del funcionamiento del software que corre para proveer la interfaz web se puede observar en la Figura 6. En la misma se puede apreciar que la comunicación con el microcontrolador Mbed se realiza mediante una comunicación serial, llevada a cabo por un script escrito en lenguaje Python, el cual se encarga de establecer la conexión entre los dos nodos, leer los datos recibidos por el puerto serial, procesarlos y guardarlos en la base de datos local mediante una conexión TCP al puerto 3306.

Además, una página web en lenguaje HTML fue desarrollada. A fin de proveer contenido dinámico para graficar en tiempo real los parámetros de aceleración, ángulo filtrado mediante el filtro de Kalman y salida del controlador PID, y de permitir el control de los parámetros internos de la plataforma, se utilizó el lenguaje JavaScript. Para el gráfico en tiempo real se utilizó la librería *flot*.

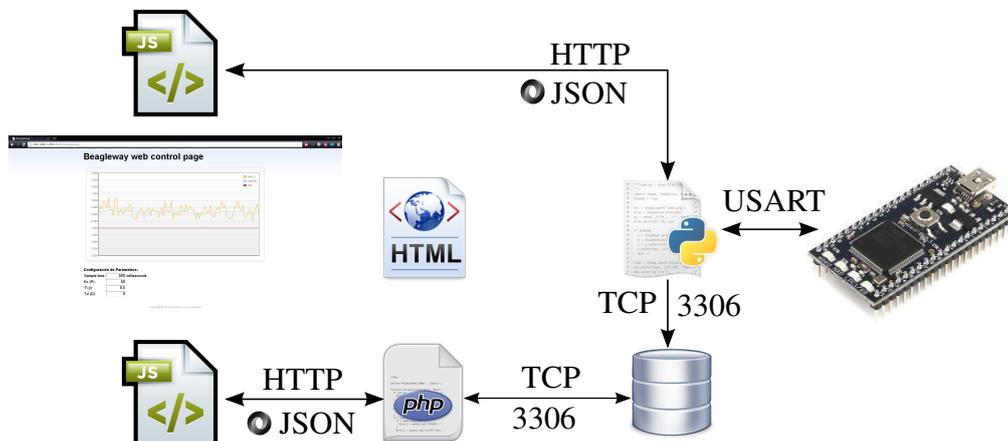


Figura 6. Diagrama en bloques del software.

Una función determinada, escrita en JavaScript, se ejecuta cada unidad de muestreo de tiempo. Cada vez que se realiza un llamado a esta función, se inicia un evento jQuery que realiza un llamado síncrono AJAX, el cual contiene la información acerca de la cantidad de muestras (n) que se deben extraer de la base de datos. La llamada en AJAX ejecuta un script escrito en lenguaje PHP, el cual se encarga de realizar la conexión y la consulta a la base de datos mencionada. Esta consulta devuelve los últimos n registros cargados en la base de datos. Esta comunicación se realiza también mediante una conexión TCP al puerto 3306 mediante la librería *mysql* del lenguaje PHP.

7. Conclusión

Se diseñó e implementó la plataforma robótica móvil, la cual se puede observar en la Figura 7. El costo aproximado de la misma, teniendo en cuenta únicamente el hardware utilizado para su construcción, asciende a 380 dólares americanos.

Mediante este proyecto, se pone a disposición de estudiantes y docentes de la FP-UNA una herramienta que pueda conducir a un aprendizaje significativo, mediante la utilización de la plataforma a fin de brindar oportunidades para profundizar los conocimientos teóricos adquiridos en el área de control de sistemas dinámicos y que, al mismo tiempo, permita adentrarse al mundo de los sistemas embebidos y a la robótica móvil.

El código fuente del firmware, software y los diseños de hardware se pueden encontrar en <https://github.com/garyservin/beagleway>.

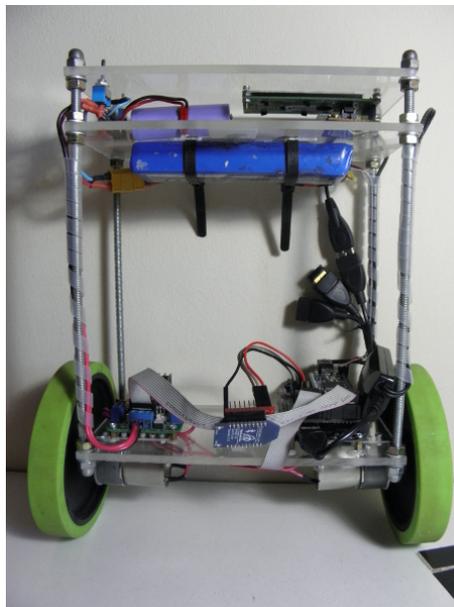


Figura 7. Prototipo Final.

References

- Anderson, D. P. (2003). “nBot Balancing Robot”. <http://www.geology.smu.edu/dpa-www/robo/nbot/>.
- ARM Ltd. (2012). “Mbed — Rapid Prototyping for Microcontrollers”. <http://mbed.org/>.
- Coley, G. (2013). “BeagleBone Black System Reference Manual”. Technical report, Texas Instruments.
- Grasser, F., D’Arrigo, A., Colombi, S., and Rufer, A. (2002). “JOE: A Mobile, Inverted Pendulum”.
- Hassenplug, S. (2002). “Steve’s LegWay”. <http://www.teamhassenplug.org/robots/legway/>.
- Hollis, R. (2006). “Dynamically-Stable Mobile Robots in Human Environments”.
- Jespersen, T. (2013). “Balanduino”. <http://www.balanduino.net/>.
- Ooi, R. C. (2003). “Balancing a Two-Wheeled Autonomous Robot”. Master’s thesis, University of Western Australia.