

Una propuesta robusta e de bajo costo para ejecutar Robótica Educativa

Marilza A. Lemos, Marcio A. Marques, Galdenoro Botura Jr., Felipe G. Soares

Ingeniería de Control y Automatización – Campus Experimental de Sorocaba –
Universidad Estadual Paulista “Julio de Mesquita Filho” (UNESP)
18.087-180 – Sorocaba – SP – Brasil

{marilza,marciomq,galdenoro}@sorocaba.unesp.br felipe.guerrasoares@hotmail.com

Abstract. *This article describes a proposal for construction of low cost robots and a methodology for developing programs and sharing just one robot to a group of students. The hardware of the robot is discussed in terms of the resources of the Raspberry pi board, highlighting the advantages of the operating system. The working method that enables the sharing of a single robot among students is based on a local wireless network where the student develops robotic application in a PC connected to the wireless local network and downloads it to the robot.*

Resumo. *En este artículo se describe una propuesta para la construcción de robots de bajo costo y una metodología para el desarrollo de programas y el intercambio de un robot a un grupo de estudiantes. El hardware del robot se discute en términos de las características de la tarjeta Raspberry pi, destacando las ventajas del sistema operativo. El método de trabajo que permite el intercambio de un solo robot entre los estudiantes se basa en una LAN wireless donde el estudiante desarrolla la aplicación robótica en un PC y lo descarga en el robot, ambos conectados a la red local.*

Keywords: *raspberry pi, robotica educativa.*

1. Introdução

Las contribuciones de la utilización de la robótica en la enseñanza de diferentes niveles escolares han sido ampliamente reportadas en la literatura. La principal de ellas se refiere al desarrollo del razonamiento lógico a través de la práctica con los artefactos creados por los estudiantes, ya sea mediante la construcción de hardware del robot o la creación de programas que, en última instancia, dan vida a los artefactos. Otras contribuciones incluyen la posibilidad de un trabajo interdisciplinario, la experiencia de trabajo en equipo, fomentar la creatividad y la cooperación entre los estudiantes. Una cuestión importante en discusión en el medio siempre se refiere a los costos implicados con la aplicación de la enseñanza de la robótica, ya que requiere de la disponibilidad de los kits robóticos y su mantenimiento en el tiempo. En este sentido, varias propuestas que se pueden encontrar, desde kits ya consagrados como *Legó Mindstorms* a las propuestas académicas de bajo costo. La reducción de costos a menudo termina por simplificar la plataforma robótica y reducir los recursos que podrían ser aprovechados por los estudiantes. Una relación equilibrada entre recursos y costos de los kits de robótica no siempre está disponible en las propuestas de bajo costo. Esto es

comprensible, ya que se reduce la tecnología incorporada en el kit, sin embargo, los estudiantes de hoy en día vienen cada vez más preparados para absorber tecnologías más complejas, ya que son parte de una generación que temprano experimenta el mundo tecnológico. Manipulación de interfaces es parte de lo común para esta generación. De acuerdo con Miranda et. al (2010), hay reducido número de productos disponibles para la venta en Brasil, con una buena relación entre recursos y costos. Los modelos importados tienen un alto costo para el nivel económico de las instituciones nacionales. Los fabricados en Brasil tienen limitaciones en hardware o software para algunas aplicaciones, por ejemplo, la incapacidad del hardware permanecer desconectado de la computadora mientras esté en funcionamiento. Algunos trabajos muestran comparaciones entre costos de kits robóticos (Silva y Barreto, 2011), pero no tienen en cuenta un análisis más profundo de sus recursos. Este artículo tiene como objetivo motivar la comunidad académica para desarrollar kits robóticos basados en tarjetas *Raspberry pi* (Raspberrypi, 2012) explorando todo el potencial que ofrece la tarjeta y el uso de un poderoso ambiente de desarrollo, el Matlab/Simulink (Mathworks, 2013).

2. Raspberry Pi como base para la creación de kits robóticos

Raspberry pi es una tarjeta de microprocesador lanzada a principios de 2012 a un costo de alrededor de \$ 35. Desarrollado por la Fundación Raspberry Pi y la Universidad de Cambridge en el Reino Unido, el objetivo inicial era fomentar la enseñanza de la programación y de la ciencia en las escuelas. Lanzado en dos modelos - Modelo A (1 USB) y B (2 USB y Ethernet) - hay varios recursos que ofrece esta tarjeta y que son útiles para la construcción de una plataforma robusta para la educación robótica (Schmidt, 2012):

- SoC Broadcom BCM2835, que incluye una CPU de la familia ARM11, lo procesador ARM1176JZF-S, una GPU (*Graphics Processor Unit*), un procesador DSP (*Digital Signal Processor*) y 512 MBytes SDRAM;
- Salidas de vídeo HDMI y RCA compuesto y conversión HDMI-HDMI-DVI o VGA a bajo costo se pueden utilizar para la conexión a los monitores;
- Permite el almacenamiento de datos y la instalación del sistema operativo a través de tarjeta de memoria SD (*Secure Digital*). Raspbian es el sistema operativo oficial, que se basa en SO Debian/Linux, pero otras versiones se pueden encontrar en la literatura. En el sitio web de proyecto *Raspberry pi* se puede descargar desde el sistema operativo;
- Controlador de red Ethernet 10/100;
- Interface USB y Serial;
- Dimensiones: 85,60 mm x 56 mm x 21 mm;
- Peso: cerca de 45 gramos.

Además de tarjeta tiene un costo relativamente bajo y el buen desempeño, ofrece reducido consumo de energía. La tarjeta proporciona una interface de propósito general para entradas y salidas digitales (GPIO) para la conexión de hardware adicional y recursos para la conexión de dispositivos serie y USB. El lenguaje *Python* es promovido por los creadores de la tarjeta, pero todos los lenguajes que ARMv6 compile también se pueden utilizar en esta minicomputadora.

3. Ejecución del Robótica Educativa com Raspberry Pi y MATLAB

La propuesta que se hace aquí surgió de la experiencia de trabajar con *Raspberry pi* y Matlab/Simulink en la disciplina “*Sistemas Microprocesados*” do curso de Ingeniería de Control y Automatización de la Universidad Estadual Paulista (UNESP), Campus

Sorocaba. MATLAB es un ambiente de desarrollo estándar en más de 5.000 universidades de todo el mundo (Matworks, 2013), que proporciona recursos para la simulación y el diseño basado en modelo (*Model-Based Design*), con la generación automática de código. La versión para estudiantes de la herramienta se puede obtener por un costo unitario de \$89, que incluye el modelo de hardware del Arduino, Lego Mindstorms NXT y *Raspberry pi*, además de muchas otras características, ampliamente conocido en la comunidad académica. El modelo de hardware para *Raspberry pi*, está constituida por un conjunto de bloques funcionales, como se muestra en la Figura 1.

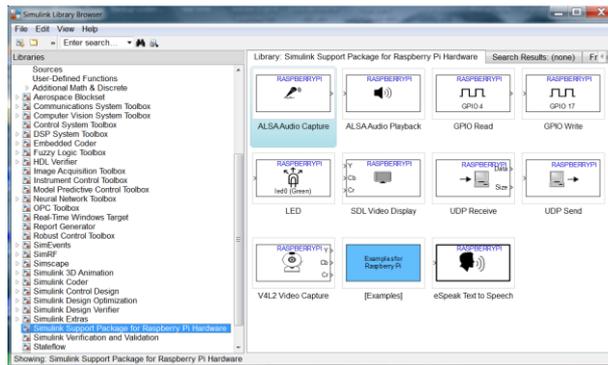


Figura 1. Biblioteca Simulink para Raspberry Pi

El propósito de este artículo no es presentar cualquier construcción de robot, que se puede obtener de varias fuentes publicadas, sino proponer un método de trabajo que reduce los costos sin perder robustez y potencial. La configuración mínima de esta propuesta sólo incluye un robot *Raspberry pi*, que se comparte entre la clase o grupo de estudiantes. De acuerdo a la disponibilidad de recursos financieros, el número de robots puede crecer a un robot por estudiante. La idea es implementar una WLAN (*Wireless Local Area Network*), donde el robot y las computadoras de los estudiantes constituyen de los nodos *wireless* da WLAN, como se muestra en la figura 2.

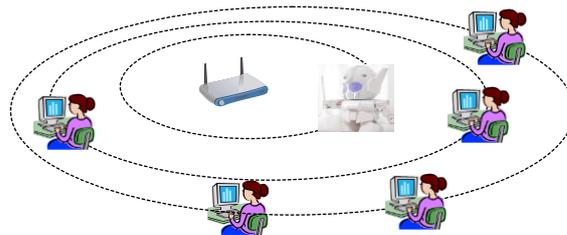


Figura 2. Estudiantes descargan su aplicación en robot a través de WLAN accesible en Matlab/Simulink. *Se refiere a la robot Rapiro basado en Raspberry Pi y lanzado en julio de este año por \$ 350 (Ishiwatari, 2013).

En las estaciones de trabajo (*desktops* ou *notebooks* con interface *wireless*), el ambiente Matlab/Simulink se deben configurar con la información asignada a la *Raspberry pi* (robot) en la WLAN, como se muestra en el ejemplo en la figura 3. En este ejemplo, el robot tiene IP **192.168.1.100** y el usuario del sistema operativo Raspbian es **pi**, accesible por contraseña **rasp2013**. Las aplicaciones desarrolladas por los estudiantes son transferidos por Matlab/Simulink en el directorio **/home/pi**.

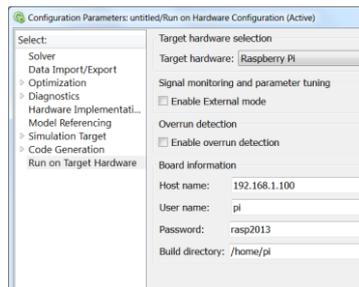


Figura 3. Configuración de Matlab/Simulink para el acceso al hardware destino

El sistema operativo *Raspbian* instalado en la tarjeta SD del robot, se debe configurar con un IP válido para la WLAN, así como la máscara de red y *gateway default* obtenido del rotador utilizado. Entre otras posibilidades, la instalación del sistema operativo en la tarjeta SD se puede hacer durante la instalación del soporte de hardware (*Support Package Installer*) en Matlab. En este caso, la configuración puede ser realizada por una pantalla Matlab (Figura 4).

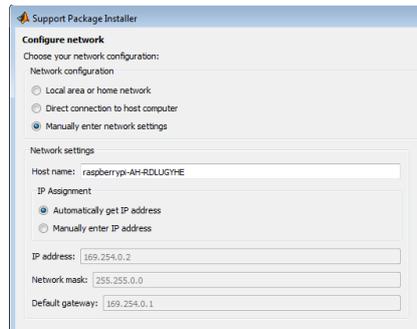


Figura 4. Configuración del Sistema Operativo en Matlab/Simulink

Cada estudiante desarrolla su aplicación en su estación de trabajo, por la construcción de conexiones y configuraciones de bloques Simulink. Valida su modelo, lo compila y descarga el programa ejecutable en el robot por el WLAN. Al final, el programa se ejecuta inmediatamente en el robot, desencadenado por la Matlab. Estas operaciones requieren que el estudiante esté conectado a la LAN. Suponiendo que el modelo de la figura 5 se desarrolló, las figuras 6 y 7 muestran la secuencia de pasos para construir el modelo y descarga la aplicación en robot *Raspberry pi*.

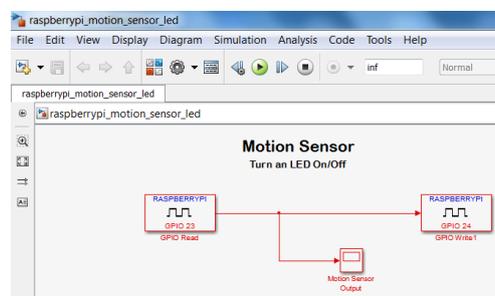


Figura 5. Modelo Motion Sensor para Raspberry pi (Mathworks, 2013)



Figura 6. Menú de selección para aplicar la configuración de red

La selección **Tools → Run on Target Hardware → Prepare to Run**, en el menú que se muestra en la figura 6, lo que desencadena la configuración que debe realizar Matlab para ejecutar el modelo en el robot. En la continuación, la opción *External* debe ser seleccionada en la pantalla y la selección de **Tools→Run on Target Hardware→ Run**, del figura 7, realiza automáticamente los últimos pasos descritos anteriormente.

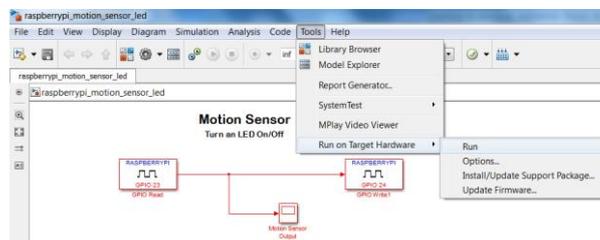


Figura 7. Menú de selección para *download* de la aplicación en *Raspberry pi*

4. Discusiones

La reducción de costos en la robótica educativa se abordan algunas cuestiones que deben ser discutidas, ya que todavía están abiertas debido a los cambios tecnológicos constantes, lo que implica también los costos de los equipos disponibles para el área de estudio. Al pensar en la aplicación de la robótica educativa, el número de equipos es uno de los factores a tener en cuenta con prioridad, así como los recursos de la plataforma elegida. Para una clase de estudiantes existe la posibilidad de trabajar desde un equipo por alumno até un equipo compartido entre todos. Dentro de este intervalo todavía existe la posibilidad de dividir la clase en grupos, donde cada grupo tiene un equipo. En este escenario, surgen las preguntas tales como: (i) ¿propuestas de bajo costo en una relación de un (estudiante) a uno (equipo) cumplen plenamente la propuesta pedagógica, aun con software y hardware simplificados y recursos limitados? (ii) ¿reducción de costos basado en equipo compartido causan pérdidas a la propuesta pedagógica (iii) ¿cuáles son los beneficios y las pérdidas entre los diferentes modos de trabajar con la robótica educativa? Respuestas exactas a estas preguntas requieren incluir el análisis de la pedagogía aplicada y el público objetivo. La base computacional se presenta en este trabajo tiene un gran potencial de recursos para la robótica y se puede utilizar de forma compartida entre los estudiantes, reduciendo los costos. Alguien puede preguntarse si compartir equipo puede afectar el aprendizaje. La experiencia de los autores en el uso del método propuesto fue en las aulas de la disciplina "Sistemas Microprocesador", donde se desarrolló proyectos no robóticos en el curso de Ingeniería del Control y la Automatización de la universidad UNESP, campus Sorocaba. En los dos primeros meses da disciplina sólo se utilizó una tarjeta conectado a la WLAN, que fue compartida entre los grupos de estudiantes. Se puede observar que el tiempo empleado por el grupo para desarrollar o cambiar un programa era mucho mayor que el tiempo requerido para

el grupo compilar, descargar y probar el programa sobre Raspberry Pi. En las actividades de laboratorio con cinco grupos, casi nunca había superposición de intereses, sin ningún tipo de didáctica pérdida. En su lugar, esta forma de trabajo permitió una mayor interacción entre los grupos, ya que fue creada la posibilidad de que todos los estudiantes sigan los éxitos y fracasos de cada grupo. Por otra parte, el abordaje resultó muy útil porque la tarjeta puede ser utilizada por los estudiantes fuera del horario escolar. La tarjeta fue confinada en lugar no accesible para los estudiantes, pero visible para la observación de hardware conectado a GPIO. En la medida que el hardware de los proyectos de los estudiantes se ha especializado, hubo la necesidad de tener una tarjeta *Raspberry pi* para grupos de estudiantes con el mismo tema de diseño. Si la construcción de hardware no es el foco principal de la robótica educativa, hardware del robot no cambia y la situación antes descrita se puede aplicar sin restricciones. La generación automática de código ejecutable en hardware como resultado de la compilación del modelo Simulink, es un atractivo adicional para trabajar con la programación en bloques con los estudiantes de secundaria y los principiantes en cursos de ingeniería. Otra ventaja de este abordaje es que *Raspberry pi* permite que el programa se ejecute en el sistema operativo que reside en la tarjeta de memoria, lo que elimina el uso de dispositivos programadores de micro controladores, además de disponer de los servicios típicos que un sistema operativo pone al alcance de los diseñadores.

5. Conclusiones

Este artículo presenta un método para trabajar con robótica educativa manteniendo los recursos de alto nivel y reduciendo los costos. El método propone utilizar un robot basado en la tarjeta Raspberry Pi, que se comparte entre los estudiantes mediante WLAN y ambiente de desarrollo Matlab/Simulink. Para los estudiantes de ingeniería, la construcción de nuevos bloques Simulink, donde el código C puede ser embebido, es de especial interés. Sin embargo, se cree que los estudiantes de la escuela secundaria pueden tomar ventaja de esta plataforma si un proyecto de robot considerar el desarrollo de una extensión de biblioteca *Raspberry pi* disponible en Simulink. Dependiendo del tamaño de la clase de alumnos, una de las limitaciones que hay que superar o administrar es el hecho de que sólo una aplicación a la vez, puede ser descargado y ejecutado en la tarjeta, que requiere una organización en el uso de hardware compartido entre los estudiantes. Se sugiere explorar la creación de diferentes usuarios en el sistema operativo e investigar cómo establecer permisos apropiados para que Matlab pueda reconocer dichos usuarios.

6. Referencias

- Ishiwatari, S. (2013) "RAPIRO: The Humanoid Robot Kit for your Raspberry Pi", <http://www.kickstarter.com/projects/shota/rapiro-the-humanoid-robot-kit-for-your-raspberry-pi>, July.
- Mathworks (2013) "Raspberry Pi Support from Simulink". <http://www.mathworks.com>, July.
- Miranda, L. C.; Sampaio, F. F.; Borges, J. A. S. (2010) "RoboFácil: Especificação e Implementação de um Kit de Robótica para a Realidade Educacional Brasileira", RBIE V.18 N.3, p. 46-58.
- Raspberry Pi. (2012) "Quick Start Guide", <http://www.raspberrypi.org/quick-start-guide>, July.
- Schmidt, M. (2012) "Raspberry Pi: A Quick-Start Guide", *E-book*, ISBN-13:978-1-937785-04-8, The Pragmatic Programmers Ed.
- Silva, S. R. X. & Barreto, L. P. (2011) Análise Comparativa de Kits de Robótica Educativa. Anais do XXXIX Congresso Brasileiro de Educação em Engenharia (COBENGE), Blumenau, SC.