

## Evaluación de la tarjeta Raspberry Pi como herramienta en sistemas de rehabilitación motriz

### Evaluation of the Raspberry Pi card as a tool in motor rehabilitation systems

BAUTISTA-BAUTISTA, Alberto Nicolas†\*, SANCHEZ-CORONADO, Eduardo Mael, HERRERA-ARELLANO, María De Los Ángeles y GALVÁN-CHÁVEZ, Jorge Moisés

*Universidad Tecnológica del Centro de Veracruz, Departamento de Mecatrónica, Av. Universidad 350, C.P. 94910, Cuitláhuac Veracruz, México.*

ID 1<sup>er</sup> Autor: *Alberto Nicolas, Bautista-Bautista* / ORC ID: 0000-0002-7742-7200, Researcher ID Thomson: H-2039-2018, arXiv Author ID: alberto\_nicolas, CVU CONACYT ID: 662045

ID 1<sup>er</sup> Coautor: *Eduardo Mael, Sanchez-Coronado* / ORC ID: 0000-0002-7593-4524, Researcher ID Thomson: H-1668-2018, arXiv Author ID: EduardoSanchez, CVU CONACYT ID: 308648

ID 2<sup>do</sup> Coautor: *María De Los Ángeles, Herrera-Arellano* / ORC ID: 0000-0001-8893-7882, Researcher ID Thomson: H-1779-2018, arXiv Author ID: Mariaherrera, CVU CONACYT ID: 630325

ID 3<sup>er</sup> Coautor: *Jorge Moisés, Galván-Chávez* / ORC ID: 0000-0003-1739-2971, Researcher ID Thomson: H-6028-2018, arXiv Author ID: JorgeGalvan, CVU CONACYT ID: 482786

Recibido Marzo 30, 2018; Aceptado Junio 30, 2018

---

#### Resumen

El presente artículo presenta los resultados del desarrollo de una interfaz gráfica aplicada a un sistema de rehabilitación motriz para muñeca de la mano, utilizando un sistema de cómputo mínimo basado en una tarjeta Raspberry Pi 3. La programación de la tarjeta Raspberry Pi 3 se realiza en un lenguaje de programación bajo un sistema de licencia de software libre con la ventaja de ser utilizado, modificado y distribuido a necesidad del programador. Además, se realiza y presenta una evaluación comparativa del procesador y hardware de la tarjeta con respecto a otros dispositivos que incorporan procesadores de diferente arquitectura para validar sus capacidades en adquisición y procesamiento de señales. Así mismo se utiliza un actuador inercial acoplado a un diseño electrónico capaz de convertir los movimientos físicos a señales eléctricas mostradas a través de una aplicación computacional a disposición del operador, lo anterior se realiza de manera interactiva.

**Microprocesadores, Rehabilitacion, Programación orientada a objetos**

#### Abstract

This article presents the results of the development of a graphic interface (GI) applied to a motor rehabilitation system for hand wrist using a minimal computer system based on a Raspberry Pi 3 card. The programming of the Raspberry Pi 3 card is done in a programming language under a free software license system with the advantage of being used, modified and distributed to the programmer's needs. In addition, a comparative evaluation of the processor and hardware of the card is made and presented with respect to other devices that incorporate processors of different architecture to validate their capabilities in acquisition and signal processing too. Likewise, an inertial actuator coupled to an electronic design capable of converting physical movements to electrical signals online shown through a computer application is used at the operator's disposal, the former is performed interactively.

**Microcomputer, Graphical user interfaces, Monitoring**

---

**Citación:** BAUTISTA-BAUTISTA, Alberto Nicolas, SANCHEZ-CORONADO, Eduardo Mael, HERRERA-ARELLANO, María De Los Ángeles y GALVÁN-CHÁVEZ, Jorge Moisés. Evaluación de la tarjeta Raspberry Pi como herramienta en sistemas de rehabilitación motriz. Revista de Cómputo Aplicado. 2018, 2-6: 1-5.

---

\* Correspondencia al Autor (Correo Electrónico: alberto.bautista@utcv.edu.mx)

† Investigador contribuyendo como primer autor.

## Introducción

En el ámbito médico la rehabilitación de pacientes para recuperar las funciones motoras que perdieron o se degradaron es un área emergente. El seguimiento y evaluación durante el proceso de rehabilitación del paciente es un aspecto muy delicado, complejo y de gran relevancia. De acuerdo con datos proporcionados por la INEGI existen en México una gran cantidad de personas que sufren algún tipo de discapacidad motriz. Una solución innovadora para ayudar a resolver este tipo de discapacidades es el tratamiento por medio de sistemas de rehabilitación innovadores.

El desarrollo de este tipo de sistemas se basa en los componentes del mismo, que determinan la función que ha de realizar, pero como todo sistema, debe contener un dispositivo que se encargue de dirigir las actividades o funcionamiento de todos los demás. Para este trabajo se considera la utilización de la tarjeta Raspberry Pi, un sistema de cómputo mínimo comercialmente fácil de adquirir. Se espera que, por medio de la implementación de sistemas de procesamiento y control, sea posible realizar una evaluación de las prestaciones de la tarjeta Raspberry Pi 2 modelo B, para su aplicación como herramienta en sistemas de rehabilitación. Este documento se divide en tres secciones, la primera llamada Desarrollo donde se da explicación del trabajo realizado resaltando los aspectos técnicos tanto a nivel software y hardware, la segunda sección son los Resultados donde se presentan los datos obtenidos de acuerdo con los objetivos planteados al principio del proyecto y la última sección llamada Conclusiones.

## Desarrollo

Se diseñaron y desarrollaron tres diferentes prototipos de sistemas de rehabilitación enfocados a realizar la misma función; el primero utilizando solo la tarjeta Raspberry Pi en conjunto con un sensor inercial, el segundo utilizando una computadora en serie con la tarjeta Arduino y el sensor inercial y el tercero utilizando la tarjeta Raspberry Pi en conjunto con la tarjeta Arduino y el sensor inercial. Con esto se pretende comparar y validar las diferentes propuestas de diseño para verificar que los resultados alcancen los objetivos propuestos para el desarrollo del sistema de rehabilitación motriz.

La interfaz de estos prototipos de sistemas está creada sobre Python un lenguaje de código abierto con altas prestaciones; por lo tanto, pueden ser reprogramados a nivel software adaptándose fácilmente a las necesidades particulares del paciente bajo rehabilitación. Esto permite diseñar sistemas versátiles, multipropósito y aplicables a casi todo proceso en cualquier ámbito. En Python se creó un programa que muestra una interfaz gráfica donde el usuario puede interactuar con el sistema y practicar diferentes rutinas, esto es moviendo el sensor mediante el uso de su mano. En la Figura 1 se muestra la pantalla que observa el usuario al ejecutar el programa; en esta pantalla se da la opción de iniciar la sesión o salir de la aplicación.



**Figura 1** Pantalla principal  
Fuente: Elaboración Propia

En la siguiente pantalla que se muestra en la Figura 2 se le pide al usuario seleccionar la dificultad del ejercicio que realizara, las opciones que puede seleccionar son fácil, normal y difícil.



**Figura 2** Pantalla secundaria  
Fuente: Elaboración Propia

Una vez que se ha seleccionado ingresar a la aplicación y se ha seleccionado la dificultad con que se realizará la sesión, se establece la comunicación entre Arduino el cual servirá de esclavo recibiendo solamente los datos provenientes del sensor y la computadora que fungirá como maestro procesando y mostrando la información, esto por medio del puerto USB "COM5" a una velocidad de transmisión de 115200 baudios.

BAUTISTA-BAUTISTA, Alberto Nicolas, SANCHEZ-CORONADO, Eduardo Mael, HERRERA-ARELLANO, María De Los Ángeles y GALVÁN-CHÁVEZ, Jorge Moisés. Evaluación de la tarjeta Raspberry Pi como herramienta en sistemas de rehabilitación motriz. Revista de Cómputo Aplicado. 2018

Los datos recibidos por Python (*roll*, *pitch* y *yaw*) son separados y almacenados en variables de tipo “float”, estas variables son “xx”, “yy” y “zz”; se establecen límites inferiores y superiores (+5 y -5) para “xx” y “yy” para determinar si el usuario se está moviendo hacia abajo o hacia arriba; también se establecen condicionantes que permiten saber si el objeto dependiendo de los movimientos que realice con su mano está llegando a los límites de la pantalla y si es así, detenga el avance de la imagen del personaje y no traspase los límites.

Cada movimiento que realice con su mano mueve al sensor, el sensor inercial manda los datos (*roll*, *pitch* y *yaw*) que percibe por cada movimiento y estos son interpretados por Python; Python procesa dichos datos y mueve una imagen mostrada en pantalla en la misma dirección que el usuario mueve su mano, permitiéndole practicar diferentes movimientos con sus manos. Estos movimientos se realizan siguiendo determinados mapas creados en Python; los mapas tienen diferentes formas que permiten al usuario realizar una gran variedad de movimientos.

Otra parte de la programación del sistema consiste en detectar las colisiones entre el personaje y las líneas que forman los senderos a seguir; esto se logra mediante el comando “colliderect” de la librería Pygame, aquí se establece que objeto del tipo “rect” se encuentra en contacto con otro objeto de tipo “rect” y si es que existe alguna colisión entre ellos el programa muestra en pantalla una imagen de advertencia, obsérvese la Figura 3.



**Figura 3** Imagen de advertencia

Fuente: *Elaboración Propia*

Todo lo anterior se repite al seleccionar cada una de las dificultades que se presentan en la segunda pantalla de la aplicación; primero se realiza la conexión serial, posteriormente se separa la información obtenida en diferentes variables, se establecen los valores que determinan el movimiento del objeto del personaje, se programan límites de la pantalla para que el personaje no salga de ella. Después si es que existe alguna colisión entre el personaje y los senderos se muestra una imagen de advertencia. La aplicación funciona así hasta que se decida Salir de ella. A continuación, se muestra la figura 4 de la aplicación funcionando.



**Figura 4** Aplicación en ejecución

Fuente: *Elaboración Propia*

## Resultados

Se experimenta con el sensor minIMU9-v3 y v5 para realizar el movimiento de una imagen (personaje) en pantalla; se optó por construir una misma aplicación varias veces, pero con la característica que cada prototipo de sistema utilizará una tarjeta diferente, uno cuenta con la tarjeta Arduino, otro con la tarjeta Raspberry Pi 2 y uno más con ambas tarjetas las cuales funcionaron en cada sistema como unidades de control para la recepción y procesamiento de la información.

En los tres casos se logró mover la imagen (personaje) en el área de la pantalla, dirigiendo correctamente el desplazamiento de la imagen en todas las direcciones establecidas en el programa ya sea arriba, abajo, izquierda o derecha, incluyendo movimientos intermedios, los cuales se generan de la combinación entre los movimientos ya establecidos.

Se crearon tres circuitos o pistas representativas de cómo podrían ser los recorridos del personaje en una sesión de rehabilitación, el choque entre el personaje y el circuito marcado es correctamente indicado por una imagen de advertencia y el usuario se pueda percatar cuando se ha salido del circuito o se ha acercado demasiado a los límites de él.

El sensor MinIMU9-v5 se montó sobre una peña plataforma móvil para poder manipularlo desde la extremidad de la mano; el sensor queda sobre el dedo índice, esto para que el usuario pueda dirigir fácilmente el movimiento del sensor y éste sea lo menos invasivo con la extremidad del usuario.

Este prototipo de sistema se diseñó de manera que fuera del tipo pasivo, solo nos permite sentir el movimiento del paciente sin ejercer alguna fuerza externa sobre el mismo.

Con ello se valida el prototipo de sistema de rehabilitación que tiene como eje central de funcionamiento un sensor inercial y principalmente el objetivo de recrear esta misma aplicación de tres diferentes maneras con base a la implementación de diferentes tipos de tarjetas y así poder controlar el movimiento de una imagen. Se logró mover una imagen (personaje) en el área de una pantalla teniendo como único control el sensor inercial.

Se simuló satisfactoriamente los movimientos principales de subir, bajar, ir a la izquierda, ir a la derecha y movimientos combinados en cada una de las aplicaciones de los prototipos de rehabilitación de extremidad superior.

La implementación de la aplicación con base a sensor inercial utilizando la tarjeta Arduino proporcionó resultados satisfactorios con la desventaja de que debe ser utilizada una computadora, ya que en sí de manera individual, Arduino no podría implementar correctamente la aplicación ya que solo es capaz de mostrar datos por medio del monitor serial, si no fuera por la utilización de la computadora, ya que sobre Arduino no pueden ejecutarse aplicaciones gráficas complejas y amigables con el usuario.

La implementación de la aplicación de sensor inercial utilizando la tarjeta Raspberry Pi 2 modelo B proporcionó resultados satisfactorios ya que se logró implementar correctamente la aplicación creando un sistema mínimo dedicado a la recepción y procesamiento de la información, sin necesidad de conectar dispositivos innecesarios al sistema, solo utilizando los periféricos necesarios para el buen funcionamiento del prototipo, un monitor, teclado y el sensor MinIMU9, incluyendo la ventaja que la tarjeta cuenta con tecnología Ethernet incorporada, salida de video digital hasta de 1080p, de un tamaño mínimo haciéndola totalmente portátil y si velocidad de trabajo de hasta 1Ghz.

La implementación de la aplicación con sensor inercial utilizando la tarjeta Raspberry Pi y Arduino nos proporcionó resultados satisfactorios, ya que al estar trabajando en conjunto las dos tarjetas una dedica su funcionamiento a la recepción de datos provenientes del sensor y la otra funcionando como unidad de procesamiento de la información. El aspecto que cabe destacar en esta parte del trabajo es que se tiene una pequeña desviación en los movimientos realizados por el sensor y la imagen mostrada en pantalla; el desplazamiento hacia la izquierda y derecha son correctos, pero el desplazamiento de la imagen hacia arriba y hacia abajo sufre una pequeña desviación no siendo correcto el movimiento y provocando errores no deseados al recorrer los carriles de cada sesión.

## Conclusiones

Se diseñó en base a sensores inerciales; esta aplicación consiste en el control del movimiento de una imagen mostrada en un monitor, comunicación serial con la tarjeta Arduino, recepción y tratamiento de datos provenientes del sensor minIMU9-v3 y muestra en pantalla todo lo mencionado anteriormente por medio de un monitor. La implementación de un sistema que basa su funcionamiento en un sensor inercial y sumando esto a una interfaz gráfica amigable con el usuario, permite imaginar un sinnúmero de implementaciones en el campo de rehabilitación, no solo en el área de extremidades inferiores o superiores sino también en la rehabilitación visual incluso vincular el procesamiento de imágenes con la utilización de implantes neuroestimuladores.

La implementación de tarjetas DAQ en este caso la tarjeta de desarrollo Raspberry-Pi trabajando en conjunto con la tarjeta Arduino en algunos casos, permitió crear sistemas de rehabilitación y selección eficientes al trabajar con señales digitales en el área de procesamiento de imágenes, sensores inerciales y control. Como conclusión principal de este trabajo se puede decir que después de evaluar a la tarjeta Raspberry Pi 2 modelo B como herramienta en sistemas de rehabilitación:

- Posee las características necesarias para funcionar como dispositivo central de control.
- Es eficiente al realizar operaciones de control, procesamiento y análisis de información.
- Es capaz de trabajar con procesamiento de señales digitales, lo cual permite trabajar con un amplio campo de situaciones presentes en la medicina principalmente en el área de rehabilitación.
- Incluso si es necesario disponer de un mayor número de pines con los que cuenta la tarjeta, está se puede conectar fácilmente con la tarjeta Arduino y satisfacer las diversas necesidades del programador o diseñador.
- También por su gran facilidad de añadir periféricos externos, permite trabajar con una mayor diversidad de señales, como en este caso el procesamiento de imágenes por medio de una cámara, el control del movimiento de una imagen en pantalla por medio de un sensor inercial y el control de motores CD o motores paso a paso.
- Pero también se debe mencionar que sistemas donde se requiera una gran exactitud y velocidad de respuesta en cuanto a señales de salida y procesamiento de información, podrían presentarse inconvenientes a la hora de trabajar en conjunto con la tarjeta Raspberry Pi, ya que se encuentra limitada por sus características técnicas, que no le permiten funcionar correctamente en estas condiciones específicas.

En función de lo anterior presentado en este trabajo se puede concluir que la tarjeta Raspberry Pi 2 modelo B es recomendable para fungir como unidad de control en diversos sistemas, tanto como de rehabilitación como en otras áreas, esto tomando en cuenta que los requerimientos de los sistemas no precisen una alta de velocidad de respuesta y procesamiento.

### Referencias

Akshay, M., Latt, W., Tan, H., Tan, U., Shee, C., & Ang, W. (2007). Design and Implementation of a Mechatronic Device for Wrist and Elbow Rehabilitation. 1st international convention on Rehabilitation engineering & assistive technology.

Aventaño, J., Arias, M. & Guzmán, E. (2017). Development of a Mechatronic System for Rehabilitation of Injuries in the Radial Nerve. *Revista Mexicana de Ingeniería Biomédica*, 38(1), 589-601.

Liu, W., Mukherjee, M., Tsaur, Kim, M., Liu, H., Natarajan, P. & Agah, A. (2009). Development and feasibility study of a sensory-enhanced robot-aided motor training in stroke rehabilitation. Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society.

Nadas, I., Vaida, C., Gherman, B., Pisla, D. & Carbone, G. (2017). Considerations for desining robotic upper limb rehabilitation devices. AIP Conference Proceedings.