

Actualización de arquitectura para robot educativo KROTIC

Marcelo Sánchez Solano
Área académica de Ingeniería en Computadores
Instituto Tecnológico de Costa Rica

Resumen—En este documento se describe el proceso de diseño de la solución para la actualización de la arquitectura del robot educativo KROTIC. Se plantea que el robot ahora tiene dos niveles de funcionalidad separados y que realizan acciones distintas. El nivel superior maneja la transmisión en vivo, procesamiento de programas y mecanismos de control, mientras que el nivel inferior maneja funciones asociadas al movimiento y al uso de sensores. Para la solución se analizan los factores fundamentales que se deben tener en un robot, que son: costo, comunicación, sensores, autonomía y capacidad de procesamiento y luego, con base a los resultados se exponen las limitantes que el diseño tiene, que están relacionadas al espacio físico, consumo energético y calidad de transmisión en vivo de video.

Palabras clave—arquitectura, robot, costo, comunicación, sensores, autonomía y capacidad de procesamiento.

I. INTRODUCCIÓN

El laboratorio LuTec, que forma parte del Área Académica de Ingeniería en Computadores en el Te, tiene el proyecto KROTIC, donde el objetivo es enseñar fundamentos de robótica a estudiantes que residen zonas rurales donde el acceso a internet es limitado o de difícil acceso.

El robot KROTIC, es un pequeño cubo que debe ser programado por los estudiantes para que cruce una pista de obstáculos. Entonces, el robot puede ser programado a través de una aplicación móvil para que el proceso sea lo más sencillo posible.

En primera instancia el proyecto se practicaba de forma presencial, donde se visitaban distintas escuelas y los niños tenían interacción directa con el robot que se programaba, pero a raíz de la pandemia estas visitas se suspendieron, lo que llevó al surgimiento de nuevas necesidades de modo que estos estudiantes no suspendan sus estudios en robótica.

La solución que se propone en este documento viene a solucionar parte de las necesidades que surgieron debido a la pandemia. Es decir, la solución abarca aspectos como conexión inalámbrica y despliegue de una visualización a distancia de la vista del robot. Además de más capacidad de procesamiento y mayor soporte para más dispositivos como sensores, que viene a dar más posibilidades para la creación de programas de los estudiantes.

II. ANTECEDENTES

Actualmente, los robots están presentes en muchas áreas de aplicación, desde sistemas robóticos complejos como los usados en exploraciones espaciales hasta los más simples, como los utilizados en aplicaciones de limpieza del hogar

[1]. Con el paso del tiempo, la capacidad de procesamiento de microcontroladores o dispositivos similares ha aumentado, mientras al mismo tiempo, su tamaño se ha reducido. Esto hace que cada vez se puedan construir robots de menor tamaño y más baratos.

Asimismo, tales facilidades hacen que sea más accesible la implementación de sistemas más complejos como robots cooperativos; que son múltiples robots que tienen una tarea en común, pero que la misma tarea es distribuida entre la red ya que sería muy difícil si no imposible de ser ejecutada por un solo robot [2], o enjambres de robots; donde un conjunto de robots forman estructuras similares a las encontradas en la naturaleza (abejas, aves, peces, entre otros) para resolver un problema específico [3], y por supuesto los robots educativos también han tenido sus avances debido a todas las facilidades que se mencionaron que se han desarrollado a lo largo de los últimos años.

En [4], se desarrolla una aplicación de robots enjambre de propósito educativo, donde señalan que cualquier robot educativo debe cumplir los siguientes requisitos:

1. **Costo.** Los robots deben ser los más baratos posibles.
2. **Autonomía.** La batería debe ser suficiente para que los robots puedan operar por un largo tiempo.
3. **Sistema de sensores.** Deben estar equipados por componentes que permitan interactuar con su ambiente y captar eventos en el mismo.
4. **Comunicación.** Debe ser capaz de comunicarse con otros robots o con otros agentes externos.
5. **Capacidad de procesamiento.** Deben ser capaces de procesar la información captada por el sistema de sensores mencionado.

Todas estas variables se consideraron para el diseño y selección de componentes y se va a detallar en la sección de resultados.

Ahora, la pregunta es ¿Por qué los robots pueden llegar a ser tan relevantes en el área educativa? Los robots son herramientas muy flexibles que pueden colaborar a mejorar el entendimiento de muchas áreas, no solo robótica, puede utilizarse para aprender matemáticas, física, inteligencia artificial, visión por computadoras, entre muchas otras. La ventaja del aprendizaje asistido por robots es que ayuda a los estudiantes a fortalecer sus conocimientos a través de ejercicios prácticos [5].

De hecho, Benitti [6], al realizar un estudio sistemático de literatura relacionada al aprendizaje a través de robots, concluyó que el uso de robots con fines educativos tiene mayor

influencia en los estudiantes en dos áreas: contribuciones para entender o asimilar conceptos y el desarrollo de habilidades.

Por un lado, los descubrimientos de Benitti señalan que, a través de ejercicios auto dirigidos promovieron el entendimiento de conceptos relacionados a la ciencia e ingeniería principalmente. Por otro lado, entre las habilidades desarrolladas se encuentran: i) el desarrollo de pensamiento, que se asocia al observación, estimación y manipulación, ii) resolución de problemas, a través de evaluación, generación de hipótesis, verificación de hipótesis y control de variables y iii) desarrollo del trabajo en equipo.

III. SOLUCIÓN DESARROLLADA

La solución propuesta tiene dos niveles de funcionalidad, que se derivan de los nuevos requerimientos mencionados al inicio, ya que se requiere mayor capacidad de procesamiento y extender las funcionalidades del robot KROTIC. A manera de resumen, el nivel superior de funcionalidad tienen las siguientes funciones:

- Capturar videos e imágenes utilizando cámara USB.
- Transmitir vía WiFi lo capturado por el módulo de cámara hacia los estudiantes en tiempo real.
- Controlar las luces utilizadas por los programas de los estudiantes.
- Llevar control de luces indicadores de algún evento. Por el momento solo se contempla nivel bajo de batería y alta temperatura.
- Manejar la petición de datos de sensores al nivel inferior cuando los programas así lo requieran.

Y el nivel inferior realiza las siguientes funciones:

- Controlar la captura de datos de sensores.
- Controlar el movimiento de los robots a través de servos.
- Proveer de los valores leídos por los sensores al nivel superior cuando se requiera.

Un diagrama de bloques de la solución final planteada se muestra en la siguiente figura.

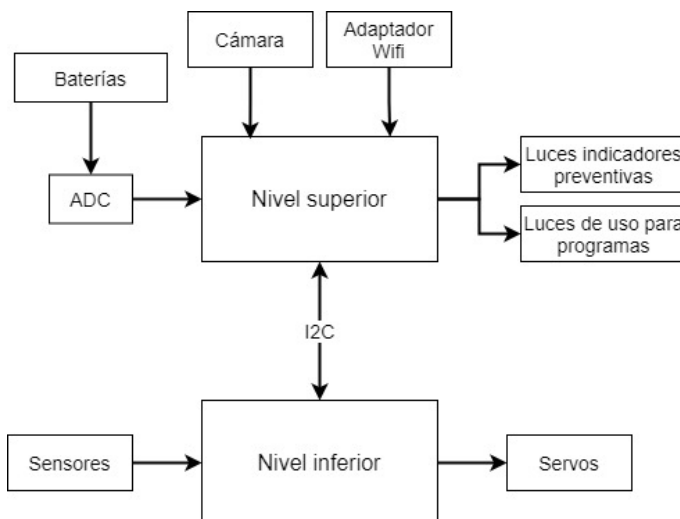


Fig. 1. Diagrama de bloques de la solución

III-A. Nivel superior

El componente principal de este nivel es la Raspberry Pi que se utiliza para controlar las funciones mencionadas. La Raspberry tiene bajo su control tres LEDs que son los que pueden ser controlados por los estudiantes, y 2 LEDs que son indicadores de batería baja. Cuando alguna de las baterías utilizadas baje de cierto nivel, el LED correspondiente empezará a parpadear para indicar que necesita un cambio.

También tiene consigo un mecanismo de auto protección que, al detectar una alta temperatura, detenga operaciones y apague la tarjeta.

Con respecto a la captura de video, se utiliza una cámara USB pequeña GEMBIRD y para su manejo se utilizan las bibliotecas `fswebcam` y `motion`. Esta última siendo la más relevante, ya que es la responsable de la transmisión en tiempo real. Para la transmisión también es necesario el adaptador EDUP EP-N8508GS USB 150 Mbps, ya que la versión de Raspberry que se está utilizando no trae conexión inalámbrica por defecto.

Finalmente, toda comunicación con el nivel inferior, se realiza a través del protocolo I²C. La comunicación con el nivel inferior se hace para instruir a este nivel sobre las acciones a realizar, porque el nivel superior es el que maneja el programa de los estudiantes, pero esto es una característica que está fuera del alcance. Sin embargo, se definieron las instrucciones y la codificación para cada una de las instrucciones o acciones que están disponibles con el diseño propuesto.

La figura 2 muestra una imagen más específica sobre la distribución de pines en la tarjeta para las funcionalidades descritas.

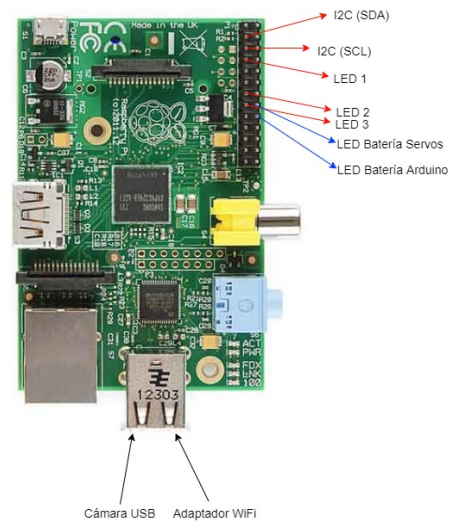


Fig. 2. Distribución de pines en la Raspberry Pi.

III-B. Nivel inferior

Este nivel es controlado por una tarjeta Arduino UNO. El Arduino controla dos servos Parallax de rotación continua, que permite al robot desplazarse hacia adelante, atrás y rotar hacia la derecha e izquierda. También, utiliza cuatro entradas analógicas que están destinadas a los sensores, aunque también

se pueden utilizar los pines digitales en modo de entrada, si fuera necesario. Las entradas analógicas restantes son utilizadas para los dos cables que requiere el protocolo I²C para comunicarse con la Raspberry (SDA y SCL).

Mencionar que, la Raspberry es el dispositivo maestro por lo que la conexión entre la Raspberry y el Arduino puede ser directa. Si en otro caso se tuviera el Arduino como maestro se necesitaría un convertidor lógico bidireccional para transformar los 5 V que utiliza Arduino a un nivel de 3.3 V con el que trabaja Raspberry Pi, si se omite este detalle, se puede llegar a dañar la tarjeta, ya que la Raspberry no está equipada para aguantar más de 3.3 V en sus pines. Pero como Arduino aguanta hasta 5 V, una entrada de 3.3 V no causa ningún daño.

Una imagen detallada de la distribución de pines para el Arduino se encuentra en la figura 3

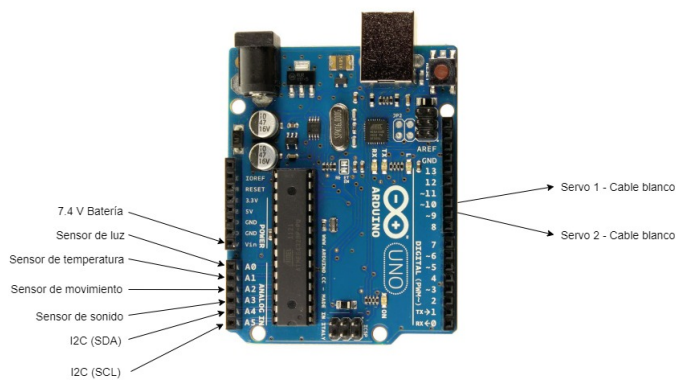


Fig. 3. Distribución de pines en Arduino.

IV. RESULTADOS

Cuando se establecieron los requerimientos, se especificó que las opciones de diseño deben tomar en cuenta las variables que se mencionaron en la sección de antecedentes: costo, comunicación, autonomía, capacidad de procesamiento y sistema de sensores.

IV-A. Costo

En el plan de proyecto se establece un presupuesto total de \$400, el diseño planteado apenas alcanza un porcentaje de alrededor un 40 %, tal y como se muestra en el desglose de la tabla I.

De hecho, el precio fue mucho menor, ya que muchos componentes ya se tenían disponibles en el laboratorio. Sin embargo, la idea es dar una perspectiva clara del costo total del diseño contra el presupuesto planteado desde un inicio.

Cuadro I
Componentes de la arquitectura y su costo.

Componente	Cantidad	Costo conjunto
Raspberry Pi Model B.	1	\$44.93
Arduino UNO.	1	\$11.92
Módulo de cámara de RPi.	1	\$19.74
Paquete de baterías 4xAA	1	\$2.22
Baterías 18650 2000 mAh	2	\$13.86
Holder para baterías 18650	2	\$2.19
Adaptador AC/DC 5V@3A	1	\$6
Adaptador WiFi USB	1	\$14.95
LEDs	7	\$1.13
Resistencia de 220 Ohmios.	7	\$1.13
Servo de rotación continua	2	\$37.78
Convertidor analógico a digital	1	\$6
Total		\$161.85

IV-B. Comunicación

Como ya fue establecido, la comunicación entre los dispositivos es a través de I²C, donde el nivel superior transmite comandos, que representan acciones y además, permite obtener los valores de los sensores en algún instante. La idea es que, eventualmente, estos valores sean transmitidos también a los estudiantes, por lo que se quería que fueran lo más pequeños posibles. En este caso el tamaño máximo que necesitan los datos es de 10 bits, lo cual representa un dato muy liviano, incluso con la información adicional que se envía a la hora de transmitirse.

El otro medio de conexión es a través de WiFi con los estudiantes, que desean ver el robot ejecutar el programa que ellos diseñaron. Para la transmisión se ajustaron los parámetros de modo la transmisión sea lo más fluida posible, es decir, la resolución no es de gran tamaño (640x480) y los fotogramas se limitan a 15 fps. Recordar que los estudiantes pertenecen a zonas con limitado acceso a internet. y se quiere que el proceso de enseñanza de fundamentos de robótica con una modalidad remota no implique una disminución en la calidad de la enseñanza.

IV-C. Autonomía

Autonomía se refiere al nivel de capacidad de utilización de baterías en un tiempo determinado para que el robot funcione sin ayuda externa. Se aseguró que cada uno de los componentes tenga suficiente alimentación para poder cumplir sus funciones sin provocar inestabilidad debida a alimentación insuficiente. Específicamente, los servos utilizan un paquete de cuatro baterías AA en serie. Lo que significa que si cada batería da 1.5 V, se tendrán 6 V para alimentarlos, que es lo recomendado por el fabricante. Además, las baterías soportan los picos de corriente que producen los servos cuando se encuentran bajo algún tipo de carga.

Para el Arduino se utilizan dos baterías 18650 de 3.7 V en serie, produciendo 7.4 V a 2000 mAh. Si se utilizaran los nueve pines a su máxima capacidad de carga de forma continua, que sería a 40 mA cada uno. Daría un total de 360 mA, lo que significa que no se descargaría la batería incluso después de una hora de utilización continua máxima. Que es un escenario poco posible, porque el robot no va a estar en ejecución continua, sino que está activo solo cuando

los estudiantes envían algún programa, y la duración de esta interacción no es de más de diez minutos.

Finalmente, para la Raspberry Pi se tiene planteado utilizar una batería de litio de 3.7 V a 2000 mAh, con un *booster* para llevar los 3.7 V a 5 V constantes que son los necesarios para que la tarjeta funcione correctamente. A 2000 mAh y en utilización máxima, probablemente se logró que dure poco menos de una hora, ya que este es el componente con mayores requisitos de alimentación, de igual forma recordar que una ejecución máxima continua durante una hora, no es un escenario probable.

IV-D. Sensores

Aunque la implementación de los sensores que se quieren utilizar en el robot no están dentro del alcance de este proyecto, se aseguró que las tarjetas de desarrollo tuvieran la capacidad de integrar a los sensores en un futuro, como se mostró en la figura 3, ya se tiene definido que entradas pueden ser utilizadas. Los sensores que se tiene pensando implementar en el futuro son cuatro: temperatura, sonido, movimiento y luz.

IV-E. Capacidad de procesamiento.

El objetivo de separar las funciones en dos tarjetas de desarrollo era aumentar las capacidades de procesamiento para que se desarrollen las acciones en dos componentes, cada uno con sus funciones bien definidas e independientes entre sí. Por un lado, en la Raspberry tiene funciones que manejan la cámara, la transmisión en vivo y sistema de protección. Mientras que, el Arduino realiza las acciones de movimiento y sensado principalmente. Entonces tener un mismo dispositivo que haga todas estas actividades puede ser posible, pero conforme surjan nuevos requerimientos puede ser que no se tengan las entradas necesarias disponibles porque ya están ocupadas y se tenga que hacer esta división de todas formas.

Es decir, si se siguen agregando funcionalidades se puede llegar a ocupar la tarjeta en su totalidad, y esto representará una carga muy elevada que se traduciría a un consumo energético alto que no permitiría al robot realizar varios programas sin quedarse sin batería rápidamente, lo que es una inconveniencia al tener que estar recargando o reemplazando las baterías.

V. CONCLUSIÓN

Con este proyecto se tienen aportes, que benefician tanto a los estudiantes que harán uso del robot como para el futuro desarrollo de la arquitectura del robot, estos son:

1. Interacción más directa entre el estudiante y el robot a través de la transmisión en vivo.
2. Aumento considerable en la posibilidad de expansión de funcionalidad del robot. Al tener dos niveles de operación aumentan las posibilidades de agregar otras funcionalidades y dar más flexibilidad a los programas que pueden crear los niños.
3. El diseño incorpora un mecanismo visual que advierte sobre algún evento. Específicamente sobre altas temperaturas y niveles bajos de baterías.
4. Independencia de funciones entre un nivel y otro. La única interacción que existe entre los dos componentes

principales es la transmisión de datos de control y de lectura de sensores.

Asimismo, la solución propuesta tiene sus limitaciones:

1. El espacio físico con los nuevos componentes se ve limitado, al ahora tener dos tarjetas de desarrollo, se necesitan dos baterías para alimentarlos independientemente, sin mencionar el paquete de baterías que utilizan los servos. Esto puede llegar a limitar en cierta medida la movilidad del robot, por el peso que se agrega.
2. Relacionado al anterior, la forma de alimentación puede ser simplificada, se puede buscar una opción que permita compartir alimentación entre dispositivos para disminuir la ocupación de espacio y el consumo energético.
3. La calidad de la imagen que provee la cámara se categoriza como intermedia-baja, permitiendo que el estudiante pueda visualizar lo que ocurre con el robot. Sin embargo, utilizando otras opciones como un módulo de cámara de Raspberry puede mejorarse la calidad de la imagen.

REFERENCIAS

- [1] Araújo, A., Portugal, D., Couceiro, M. S., & Rocha, R. P. (2014). Integrating Arduino-Based Educational Mobile Robots in ROS. *Journal of Intelligent & Robotic Systems*, 77(2), 281–298. doi:10.1007/s10846-013-0007-4
- [2] Lima, P. U., & Custodio, L. M. M. (2004). Artificial Intelligence and Systems Theory: Applied to Cooperative Robots. *International Journal of Advanced Robotic Systems*, 1(3), 15. doi:10.5772/5630
- [3] Schranz M, Umlauf M, Sende M and Elmenreich W (2020) Swarm Robotic Behaviors and Current Applications. *Front. Robot. AI* 7:36. doi: 10.3389/frobt.2020.00036
- [4] Couceiro, M. S., Figueiredo, C. M., Luz, J. M. A., Ferreira, N. M., & Rocha, R. P. (2012). A Low-Cost Educational Platform for Swarm Robotics. *International Journal of Robots, Education & Art*, 2(1).
- [5] López-Rodríguez, F. M., & Cuesta, F. (2015). Andruino-A1: Low-Cost Educational Mobile Robot Based on Android and Arduino. *Journal of Intelligent & Robotic Systems*, 81(1), 63–76. doi:10.1007/s10846-015-0227-x
- [6] Benitti, F. B. V. (2012). Exploring the educational potential of robotics in schools: A systematic review. *Computers & Education*, 58(3), 978–988. doi:10.1016/j.compedu.2011.10.006