

Arquitectura Android-Arduino para robots móviles

Android-Arduino architecture for mobile robots

Peniel Ruiz López, Francisco Aguilar Acevedo* , Silvia Reyes Jiménez , Ernesto Cortés Pérez

Ingeniería en Computación, Universidad del Istmo, Campus Tehuantepec.
Ciudad Universitaria S/N, Barrio Santa Cruz, 4ª. Sección, Santo Domingo Tehuantepec, Oaxaca, México,
C.P. 70760

Correos-e: penielruiz@gmail.com; aguilar.afco@sandunga.unistmo.edu.mx*; chivisza9@sandunga.unistmo.edu.mx; cope144@gmail.com

PALABRAS CLAVE:

Android; Arduino; bluetooth;
acelerómetro; robot móvil.

RESUMEN

Los avances en materia de robótica y el auge de los dispositivos móviles inteligentes son dos líneas de desarrollo que indican el creciente avance de la tecnología. En este artículo se presenta una propuesta de arquitectura para sistemas basados en una plataforma electrónica Arduino y un dispositivo Android. La utilidad de la arquitectura es mostrada a través del desarrollo de una aplicación que hace uso de las lecturas del acelerómetro del dispositivo, para enviar órdenes por medio de una conexión bluetooth a un robot móvil basado en una tarjeta Arduino Due. La aplicación permite el control de la dirección y velocidad del movimiento del robot a través de una interfaz que muestra facilidades de uso.

KEYWORDS:

Android; Arduino; bluetooth;
accelerometer; mobile robot.

ABSTRACT

The progressive developments in robotics and in smartphones indicates development lines have increased technology. This article presents an architecture scheme for systems based on an Arduino electronic platform and on an Android device. The practicality of the architecture is shown through the development of an application that uses the accelerometer readings of the device to send commands via a bluetooth connection to a mobile robot based on an Arduino Due card. The application allows controlling of the direction and speed of the robot's movement through an interface that shows a good usability.

Recibido: 5 de marzo del 2017 Aceptado: 16 de junio de 2017 Publicado: 30 junio de 2017

1 INTRODUCCIÓN

En la actualidad, los dispositivos móviles inteligentes cuentan con sensores, medios para la conectividad y una capacidad computacional importante para el desarrollo de soluciones a diversas problemáticas a través de las llamadas apps.

El lenguaje de programación, el manejo de información y las técnicas de ingeniería de software usadas en el diseño de aplicaciones móviles, están determinadas por el sistema operativo (SO) del dispositivo. Los SO más comunes son: Android® de Google, iOS® de Apple y Windows Phone® de Microsoft, siendo en la actualidad el SO Android el de mayor cobertura en el mercado global. Android es una plataforma de desarrollo libre basada en Linux y de código abierto (open source) que permite su uso y adecuación sin pagar regalías [1].

A nivel de hardware, existen plataformas que han dado impulso al movimiento denominado Open Hardware, el cual ha permitido el desarrollo de proyectos que anteriormente requerían del empleo de hardware y software propietario. Dentro de estas alternativas se encuentra la plataforma electrónica Arduino. Los productos Arduino son tarjetas basadas en microcontroladores Atmel, cuya versatilidad ha atraído a usuarios no familiarizados con el desarrollo de sistemas con microcontroladores [2].

Un empleo particular de los sistemas Android-Arduino es la operación de robots móviles. En [3] se presentan un sistema de monitoreo de humedad y temperatura mediante un prototipo de robot móvil Arduino y un dispositivo Android para reunir información del ambiente. El robot emplea un módulo bluetooth que permite su operación adecuada a 12 metros de distancia, en presencia de algunos obstáculos. En [4] se muestra el desarrollo de un sistema de asistencia en procesos agrícolas usando un dispositivo Android y un robot móvil basado en la tarjeta Arduino Mega 2560. La aplicación presenta al usuario información sobre las condiciones meteorológicas, a partir de las mediciones realizadas por los sensores de humedad, pH y temperatura montados en el robot móvil, el cual es controlado a través de una conexión bluetooth. De manera más general, en [5] se presenta una arquitectura simple para el desarrollo de un robot móvil conformado de una tarjeta Arduino, un módulo bluetooth y sensores. Una aplicación Android es desarrollada para el monitoreo y control de la operación de robot vía bluetooth. El robot es programado para detectar objetos y prevenir colisiones, usando sensores ultrasónicos. Sensores digitales de temperatura y humedad también forman parte de la instrumentación del móvil.

Una cámara web IP montada en el móvil es empleada para la transmisión de una señal de video. Ejemplos de la versatilidad de estos sistemas se observan en [6] y [7], donde se realiza el control inalámbrico por voz de un robot móvil usando la aplicación BT Voice Control for Arduino y una tarjeta Arduino Uno, mientras en [8] se presenta el diseño e implementación del control inalámbrico de un robot móvil Arduino a través de gestos de la mano que el usuario realiza al sostener el dispositivo Android, para lo cual la aplicación hace uso del acelerómetro como elemento sensor. En [9] se aborda el diseño de robot móvil educativo de bajo costo con capacidades de conexión a Internet, donde la comunicación Android-Arduino se realiza mediante la modulación de una señal de audio.

Otro uso de los sistemas Android-Arduino es el presentado en [10], donde son empleados para el control de una silla de ruedas motorizada, como respuesta a la necesidad de desplazamiento que enfrentan niños y niñas con discapacidad motriz. Este sistema, se vale de un dispositivo móvil Android montado (a manera de palanca) en una silla de ruedas motorizada convencional, el cual envía órdenes típicas como adelante, atrás, izquierda, derecha y alto, a través de bluetooth a un Arduino UNO que controla los motores de la silla. En [11] se establecen dos parámetros para el diseño de sistemas de control para sillas de ruedas robóticas: la seguridad del ocupante y la interacción efectiva del sistema con el usuario. Estos dos parámetros son usados para el desarrollo de una silla de ruedas basada en un dispositivo Android que permite la navegación en ambientes cerrados mediante una interfaz gráfica simple basada en botones. Para el control de los motores de corriente directa (cd) con los que cuenta la silla, se emplea una tarjeta Arduino Nano. En [12] se incorporan sensores en un prototipo de silla de ruedas para monitorear el estado de salud del usuario. El sistema Android-Arduino es capaz de evadir obstáculos, operar la silla a distancia y enviar información mediante Wi-Fi a un servidor ThingSpeak.

No obstante la diversidad de sistemas Android-Arduino como los ya mencionados, no es posible identificar una arquitectura general para el desarrollo de estos sistemas. Por lo anterior, el presente trabajo se centra en una propuesta de arquitectura para sistemas Android-Arduino empleados en el control de robots móviles. Los resultados del planteamiento se muestran a través de la implementación de una aplicación que mediante el acelerómetro y la conexión bluetooth del dispositivo, controla la dirección y velocidad de un robot móvil basado en una tarjeta Arduino Due.

2 PROPUESTA METODOLÓGICA

En la Figura 1, se muestra un diagrama general de la arquitectura planteada. El sistema de interacción (dispositivo móvil) constituye el mecanismo para el intercambio de información con el usuario, el procesamiento de señales y la comunicación con la plataforma de ejecución (robot móvil).

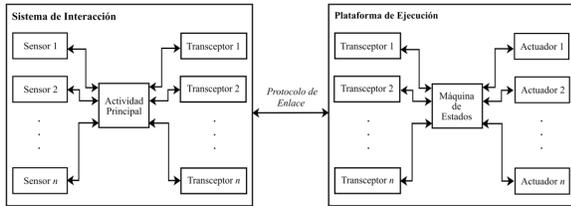


Figura 1. Propuesta de arquitectura general. Fuente: elaboración propia.

El sistema de interacción cuenta con un conjunto de sensores que son evaluados de manera secuencial por la Actividad Principal, la cual se encarga de determinar la acción sobre la plataforma de ejecución. Una vez establecida la acción a ser enviada a la plataforma de ejecución, se emite la orden correspondiente a través de transceptores como la conexión bluetooth o Wifi. Se considera transceptor todo aquel elemento que permita la conectividad a dos vías entre dispositivo y algún módulo de hardware homónimo en la plataforma de ejecución.

Por su parte, la plataforma de ejecución cuenta con una serie de transceptores que reciben las órdenes enviadas por el sistema de interacción y que son interpretadas como eventos por una máquina de estados finitos o FSM (Finite State Machine) [13]. Las FSM tienen la característica de extensibilidad, de modo que es posible añadir nuevos estados y definir transiciones según sea el caso. Las salidas de la FSM resultan en señales necesarias para la activación de uno o más actuadores montados en la plataforma de ejecución.

2.1 ADAPTACIÓN DE LA ARQUITECTURA A LA TELEOPERACIÓN DE UN ROBOT MÓVIL

Bajo la arquitectura general planteada, es posible desarrollar adaptaciones a diferentes problemáticas. A continuación, se muestra la utilidad de la arquitectura en el desarrollo de una aplicación que haciendo uso del acelerómetro de un dispositivo Android, regula los movimientos de un robot móvil. El robot es conformado

por un sistema de electrónica basado en una tarjeta Arduino Due y un mecanismo actuado por motores de cd. La conectividad es establecida a través de bluetooth.

En la Figura 2 se muestra un diagrama de arquitectura aplicada al control del robot móvil, en donde las tareas del sistema de interacción son asumidas por el dispositivo móvil Android, mientras la plataforma de ejecución se presenta como el robot móvil.

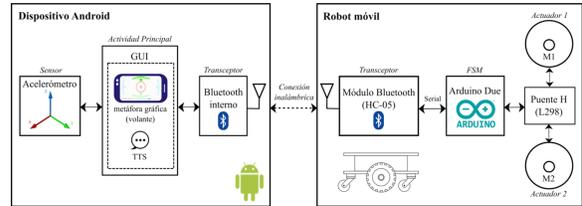


Figura 2. Arquitectura para la operación de un robot móvil. Fuente: elaboración propia.

SISTEMA DE INTERACCIÓN

El sistema de interacción (dispositivo Android) se conforma de una interfaz gráfica de usuario (GUI, Graphic User Interface) que emplea elementos visuales en pantalla y el módulo de texto a voz (TTS, Text to Speech) como elementos de la Actividad Principal, el acelerómetro como sensor, y el módulo bluetooth como transceptor.

La Actividad Principal crea y actualiza las instancias de los objetos que conforman los elementos visuales (en pantalla) y auditivos (a través del TTS) de la interfaz de usuario. El acelerómetro permite obtener los valores de aceleración en los ejes x, y y z. El acelerómetro es un sensor que utiliza alrededor de diez veces menos energía que otros sensores de movimiento.

El transceptor bluetooth permite la conexión entre el dispositivo Android y el robot móvil. El envío de información desde el dispositivo Android se realiza a través de un socket de comunicación bluetooth. Cada vez que surge un evento provocado por el cambio de los valores del acelerómetro, la aplicación compara estos con la referencia asignada al estado de reposo (sin movimiento) tanto en eje x como en el eje y, definiendo la dirección de movimiento para el robot (alto, adelante, derecha, izquierda y atrás). Los cambios en el eje z no son considerados en esta aplicación. Una vez definida la dirección, se ejecuta una escritura en el flujo de datos de salida del socket bluetooth siguiendo una estructura definida por un carácter inicial '>', el parámetro de velocidad y la dirección. El parámetro velocidad puede tomar valores de 51, 102, 153, 204, 255 de acuerdo con la posición actual de la barra de velocidad en la GUI. Las acciones sobre el socket bluetooth se llevan a cabo por medio del objeto btSocket, el cual es un atributo

de la clase MainActivity.

En la Figura 3, se presenta la arquitectura de la información relacionada con el sistema de interacción planteado. La arquitectura de la información define la organización conceptual de la aplicación.

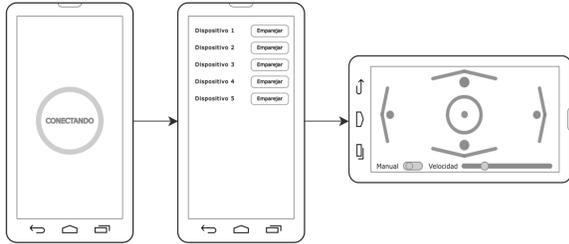


Figura 3. Arquitectura de la aplicación. Fuente: elaboración propia.

El primer elemento de interacción (un círculo animado), muestra una etiqueta que indica que la pulsación de círculo iniciará el proceso de conexión, una vez realizada esta acción por parte del usuario, la aplicación cambia la etiqueta indicando que la aplicación se encuentra realizando una búsqueda de dispositivos bluetooth. Una vez concluida la búsqueda, se despliega una lista de los conexiones bluetooth disponibles donde el usuario tiene la opción de emparejar el dispositivo Android con un nuevo elemento bluetooth o quitar uno previamente emparejado. Cuando el usuario selecciona un dispositivo, la aplicación realiza la conexión bluetooth en segundo plano y muestra la pantalla de controles (en orientación horizontal) para permitirle manipular el dispositivo mediante un “volante”, convirtiendo la inclinación del dispositivo Android en movimientos del robot. El uso de una metáfora gráfica (volante) como elemento de navegación permite al usuario una fácil equiparación con aquello que conoce, puede comprender o interpretar [14]. Las opciones de control de velocidad y cambio a modo manual también aparecen en esta última pantalla.

Para la implementación de sistema de interacción, se hizo uso de un dispositivo móvil inteligente (smartphone) con sistema operativo Android v3.2.x Honeycomb. La aplicación fue programada empleando el entorno oficial de desarrollo Android Studio bajo un sistema operativo Linux.

PLATAFORMA DE EJECUCIÓN

La plataforma de ejecución (robot móvil), se conforma de una tarjeta Arduino donde se implementa una máquina de estados, dos motores como actuadores y un módulo bluetooth como transceptor. Un puente H es usado como elemento de potencia, facilitando la variación de velocidad

y sentido de giro de los motores.

El módulo de bluetooth HC-05, es un módulo maestro-esclavo que permite conectar dos módulos bluetooth y formar una conexión punto a punto para transmitir datos entre dispositivos. Este módulo HC-05 cuenta con una interfaz serial para su comunicación con un microcontrolador o dispositivo que requiera enviar/recibir datos a través de la conexión Bluetooth. Para este caso en particular, el módulo fue conectado a la tarjeta Arduino en uno de los recursos UART (Universal Asynchronous Receiver-Transmitter) de su microcontrolador Atmel.

En la Figura 4 se muestra la máquina de estados o FSM implementada en el microcontrolador de la tarjeta Arduino. La evolución de los estados corresponde al parámetro de dirección enviado por el dispositivo Android, representado en el diagrama en valor hexadecimal (0x01, 0x02, 0x03 y 0x04). El parámetro de velocidad es considerado un atributo de la dirección por lo que tendrá efecto en el sistema una vez que este asume un estado. A nivel de programación, el valor de velocidad es almacenado de manera global para ser usado como argumento en las funciones asociadas a las salidas PWM (Pulse Width Modulation) del Arduino. La modulación por ancho de pulso o PWM, es una de las técnicas más recurridas para el control de velocidad de motores de cd. Para la codificación de la máquina de estados se hizo uso de una biblioteca escrita en C++ difundida en el foro oficial para desarrolladores Arduino. Dicha biblioteca contiene las estructuras de datos necesarias para la creación de máquinas de estados.

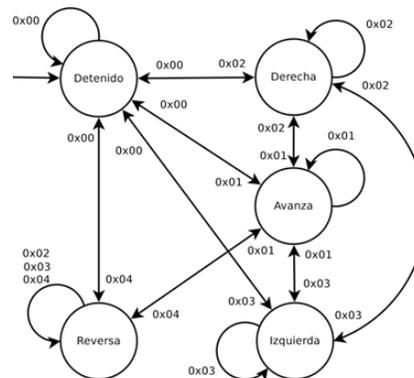


Figura 4. Diagrama de estados de la FSM. Fuente: elaboración propia.

3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Bajo un enfoque incremental, se obtuvieron dos resultados: el primero consistente en el ensamble de un prototipo de robot móvil y el segundo en una adaptación a una estructura de robot móvil de mayores dimensiones. El prototipo inicial se basó en la tarjeta Arduino Nano, dos

motores de cd a 9V, un chasis compuesto de acrílico, una batería de 9V como fuente de voltaje, un circuito integrado L293 como puente H, cuatro baterías tipo AA como voltaje de alimentación del Arduino y el módulo bluetooth HC-05 como transceptor. El prototipo y su correspondiente aplicación Android son mostrados en la Figura 5. La aplicación en una primera versión consistió en el despliegue de los valores del acelerómetro y el envío de datos al robot para generar movimiento. La velocidad de transmisión/recepción fue establecida en 9600 baudios (bits por segundo).

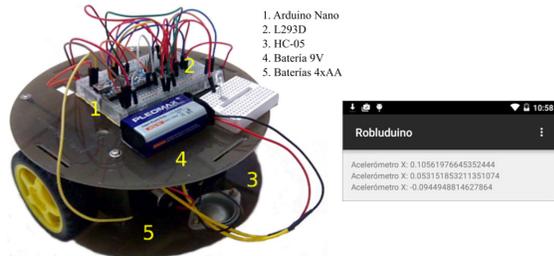


Figura 5. Prototipo del robot móvil. Fuente: elaboración propia.

Al realizar pruebas de conectividad y operación del prototipo, se determinó que en busca de una mayor eficiencia, los valores del acelerómetro deben ser procesados por el dispositivo Android, puesto que su capacidad es superior a la de los microcontroladores en las tarjetas Arduino.

En una segunda fase se sustituyó el prototipo de robot móvil por una estructura de móvil de mayores dimensiones fabricada en acero y aluminio, con dos ruedas principales de tracción ubicadas sobre un eje transversal y dos secundarias de giro libre (al frente y atrás), y motores de cd a 24V de la marca Pittman serie GM9000. El integrado L293 fue sustituido por el L298 para cumplir con los requisitos de potencia de los nuevos motores, haciendo uso consecuentemente de un batería de gel de 24V.

Con el fin de expandir las capacidades del robot se sustituyó la tarjeta Arduino Nano por un Arduino Due, la cual es una placa electrónica basada en el microcontrolador Atmel SAM3X8E ARM Cortex-M3 de 32 bits a 84 MHz, compatible con módulos de Arduino que trabajan a 3.3V. Entre otras características, la tarjeta Arduino Due dispone de 12 señales de PWM's (implementadas por software) de 8 bits de resolución con una frecuencia aproximada de 980 Hz, y cuatro recursos UART. La gama de recursos y su procesamiento a 32 bits, otorgan a la tarjeta Arduino una ventaja significativa frente a sus homólogos de 8 y 16 bits.

En la Figura 6 se muestra el sistema implementado. La GUI de la aplicación incluye los elementos de interacción

acorde a la arquitectura de la información ya descrita (véase Figura 3).

Número	Recurso electrónico
1	IEEE Explore
2	Springer Link
3	Science Direct
4	Scopus
5	Scholar Google

Figura 6. Sistema Android-Arduino para robot móvil. Fuente: elaboración propia.

Para evaluar este último sistema se definieron dos tipos de valoraciones, una interna por parte del equipo de trabajo, considerando los aspectos técnicos y funcionales, y una externa con potenciales usuarios del sistema. En esta segunda evaluación se estableció una pista de 11.1 metros de recorrido con secciones recta y curvas, sobre las cuales el usuario debía guiar al robot. De los resultados obtenidos con cinco usuarios se observó que un 80% llevaron a cabo la tarea en tiempos similares, realizando el recorrido en aproximadamente un minuto.

Durante las pruebas realizadas no se observó un retraso de tiempo significativo entre el momento en el que el usuario inclina el dispositivo Android y la reacción del robot. En lo referente al cambio de velocidad los usuarios hicieron uso en su mayoría de una velocidad media para realizar el recorrido. En cuanto a la aplicación, el uso de metáforas visuales y la simplicidad de la GUI, permitieron observar cierta facilidad en su uso.

CONCLUSIONES

La arquitectura general planteada muestra un grado de flexibilidad que permite su adaptación a problemáticas como la operación a distancia de robots móviles. El sistema presentado puede ser utilizado como medio didáctico o de investigación al contar con una máquina de estados que facilita el incremento de sus capacidades/funciones. El concepto modular de la arquitectura permite migrar la interfaz hardware con cierta facilidad a diferentes plataformas Arduino o incluso a otras alternativas hardware como chipKIT, BeagleBone y Raspeberry Pi, aprovechando las diversas prestaciones de cada uno de ellas.

La arquitectura puede ser usada como base para diseñar sistemas más complejos. Por ejemplo, por el lado de la aplicación Android es posible programar una interfaz que permita reconocer comandos de voz y de esta manera controlar el movimiento del robot, o bien hacer uso de la pantalla táctil del dispositivo de interacción y trazar rutas para el robot. Otra área de oportunidad se presenta la adaptación de la lógica de control planteada a la navegación de una silla de ruedas motorizada. La incorporación de otros sensores como pueden ser ultrasónicos, de contacto o cámaras, permitirá también incrementar la funcionalidad del sistema.

REFERENCIAS

- [1] Giroñes, J. T. El gran libro de Android. Barcelona: Marcombo, 2013.
- [2] Warren, J. D., Adams, J., Molle, H. Arduino Robotics. New York: Apress Media, 2011.
- [3] Hassan, A., Udeji, L., Kah, H. Temperature and humidity monitoring system using robot via smart phone. International Journal of Research in Engineering & Advanced Technology. 2015, 3(2), 17-20.
- [4] Narechania, A. An Android-Arduino system to assist farmers in agricultural operations. International Journal of Mechanical and Production Engineering. 2015, 3(7), 129-136.
- [5] Chakraborty, D., Sharma, K., Roy, R. K., Singh, H., Bezboruah, T. Android application based monitoring and controlling of movement of a remotely controlled robotic car mounted with various sensors via bluetooth. In: 2016 International Conference on Advances in Electrical, Electronic and Systems Engineering. Putrajaya-Malaysia, 2016, 170-175. Available from: doi: 10.1109/ICAEEES.2016.7888032
- [6] Lodhi, D. K., Vats, P., Varun, A., Solanki, P., Gupta R., Pandey M. K., Butola R. Smart Electronic Wheelchair Using Arduino and Bluetooth Module. International Journal of Computer Science and Mobile Computing. 2016, 5(5), 433-438.
- [7] Mamatha, K.R., Shalini R., Krithika R. D., Susmi Z., Anusha, N. Implementation of voice controlled robot using android application. International Journal of Latest Research in Engineering and Technology. 2016, Special Issue NC3PS-2016, 165-168.
- [8] Chanda, P., Mukherjee P. K., Modak, S., Nath, A. Gesture Controlled Robot using Arduino and Android. International Journal of Advanced Research in Computer Science and Software Engineering. 2016, 6(6), 227-234.
- [9] López, F. M., Cuesta, F. Andruino-A1: low-cost educational mobile robot based on Android and Arduino. Journal of Intelligent & Robotic Systems. 2016, 81(1), 63-76. Available from: doi:10.1007/s10846-015-0227-x
- [10] Morales, J. A., Guerra, H., Morales, N. A. Control de una silla de ruedas por medio de un dispositivo móvil con sistema operativo Android. Revista Tecnología Digital. 2012, 2(1), 1-13.
- [11] Prithviraj, S., Deodeshmukh, V. iWheel - A robotic wheelchair with mobile controlled navigation system. SSRG International Journal of Electronics and Communication Engineering. 2015, 2(2), 15-20.
- [12] Gupta, P., Nayak, S. S., Upasana, Wani, A.B. An Android Based Smart Wheelchair with Health Monitoring using IoT. International Journal of Innovative Research in Computer and Communication Engineering. 2017, 5(5), 9431-9438. Available from: doi:10.15680/IJIRCCE.2017.0505032
- [13] Pedroni, V. A. Finite state machines in hardware: theory and design (with VHDL and SystemVerilog). London: The MIT Press, 2013.
- [14] Hassan, Y., Ortega S. Informe APEI sobre usabilidad.España: Asociación Profesional de Especialistas en Información. Recuperado el 7 de noviembre de 2016, de <http://www.apei.es/wp-content/uploads/2013/11/InformeAPEI-Usabilidad.pdf>, 2009.

Acerca de los autores



Peniel Ruiz López es Ingeniero en Computación por la Universidad del Istmo. Como estudiante participo en eventos de académicos y desarrollo diversos prototipos de hardware y software. Actualmente se desempeña profesionalmente en la industria de servicios de Cómputo Móvil. Sus áreas de interés incluyen: la programación de dispositivos móviles, la robótica, y la electrónica.



Silvia Reyes Jiménez es Licenciada en Administración y Maestra en Administración y Gestión de Negocios por el Instituto Tecnológico de Oaxaca. Actualmente es Profesor-Investigador de tiempo completo adscrito a la carrera de Ingeniería en Computación en la Universidad del Istmo. Su principal área de investigación es la gestión del conocimiento.



Francisco Aguilar Acevedo es Ingeniero en Electrónica por la Universidad Tecnológica de la Mixteca y Maestro en Ciencias en Ingeniería Mecatrónica por el Centro Nacional de Investigación y Desarrollo Tecnológico. Actualmente es Profesor-Investigador de tiempo completo adscrito a la carrera de Ingeniería en Computación en la Universidad del Istmo, y miembro activo del cuerpo académico de Cómputo Aplicación. Sus áreas de interés incluyen: la robótica, los sistemas embebidos y la instrumentación electrónica.



Ernesto Cortés Pérez es Licenciado en Informática y Maestro en Ciencias de la Computación por el Instituto Tecnológico de Apizaco. Actualmente es Profesor-Investigador de tiempo completo adscrito a la carrera de Ingeniería en Computación en la Universidad del Istmo, y miembro activo del cuerpo académico Cómputo Aplicado (CA). Sus áreas de interés incluyen: Redes Neuronales Artificiales, Visión Artificial, Cómputo Evolutivo, Clasificación de Patrones y Análisis de Imágenes Médicas.