

## Control de acceso usando FPGA y RFID

### Access control using FPGA and RFID

Emmanuel Ortiz López\*, Mario Alberto Ibarra-Manzano\*, José Amparo Andrade-Lucio\*, Dora Luz Almanza Ojeda\*\*

#### RESUMEN

Este trabajo presenta el diseño e implementación de un sistema de control de acceso mediante Identificación por Radiofrecuencia (RFID, *Radio Frequency Identification*) controlado por una Matriz de compuertas programables (FPGA, *Field Programmable Gate Array*). El sistema está constituido por un par de dispositivos de adquisición de radiofrecuencia, una FPGA, un juego de etiquetas y tarjetas pasivas de identificación. Mediante una interfaz gráfica de usuario es posible controlar todo movimiento dentro de una zona determinada, desde los accesos hasta la disponibilidad de equipo; utilizando los dispositivos de adquisición de radiofrecuencia se puede acceder a la información de los usuarios autorizados, así como al control del equipo. Con este sistema es posible monitorear, administrar y reportar todo acceso de personal, movimiento de equipo o plagio de manera eficiente y evitando un gran número de errores humanos.

#### ABSTRACT

This paper presents the design and implementation of an access control system using Radio Frequency Identification (RFID) controlled by a Field Programmable Gate Array (FPGA). The system consists of a pair of radio frequency readers, an FPGA, a set of passive tags and identification cards. Through a Graphical User Interface (GUI), it is possible to take control of all movement in a given area, from access to availability of equipment; using radio frequency readers, the user is able to access to information of authorized users and to control the equipment. With this system is possible supervise, manage and report all personnel access, movement of equipment or plagiarism efficiently and avoiding a large number of human errors.

#### INTRODUCCIÓN

La Identificación por Radiofrecuencia (RFID, *Radio Frequency Identification*) es una tecnología que emplea las señales de radio para transferir datos entre un dispositivo de adquisición de radiofrecuencia y un elemento móvil. La información enviada en las señales de radio es procesada con fines de identificación, categorización, seguimiento u otros. Los sistemas de RFID son rápidos, confiables y no necesitan de señales físicas o contacto entre ellos. Un sistema mínimo de RFID está integrado por un dispositivo de adquisición de radiofrecuencia para identificar el *transponder* (tag), un par de antenas, una computadora y, opcionalmente, baterías para alimentar el *transponder* activo.

El proceso en la RFID comienza cuando el dispositivo de adquisición de radiofrecuencia envía pulsos mediante las antenas hacia el *transponder*; si la frecuencia de operación de éste se encuentra dentro del rango de frecuencia del dispositivo de adquisición, el *transponder* responde al dispositivo de adquisición. Al ocurrir ello, luego de algunos segundos, la localización del *transponder* es identificada. La mayoría de estos sistemas son controlados por computadoras, pero un sistema así brindaría mejor desempeño y menor

Recibido: 8 de agosto de 2011

Aceptado: 7 de julio de 2012

#### Palabras clave:

FPGA; RFID; LabVIEW; control de acceso.

#### Keywords:

FPGA; RFID; LabVIEW; access control.

\*Laboratorio de Procesamiento Digital de Señales. División de Ingenierías. Campus Irapuato-Salamanca. Universidad de Guanajuato. Carretera Salamanca-Valle de Santiago km 3,5+1,8 km, Comunidad Palo Blanco, C. P. 36885, Salamanca, Guanajuato, México. Tel. (464) 6479940, ext. 2373; fax (464) 6479940, ext. 2311. Correo electrónico: e.ortizlopez@ugto.mx, ibarram@ugto.mx, andrade@ugto.mx

\*\*Departamento de Robótica. Universidad Politécnica de Guanajuato. Av. Universidad norte s/n, Comunidad Juan Alonso, Cortazar, Guanajuato, México. Tel. (461) 4414300; fax (461) 4414328. Correo electrónico: luzdora@ieee.org

costo si se controla por un sistema embebido (como puede ser un microcontrolador). Un Circuito Integrado para Aplicaciones Específicas (ASIC, por sus siglas en inglés) o una Matriz de Compuertas Programables (FPGA, por sus siglas en inglés) son, actualmente, dos de las mejores opciones con las que se cuenta para el desarrollo e implementación de un sistema de este tipo. En este trabajo se optó por la última opción, ya que una FPGA es un dispositivo lógico de propósito general programable por los usuarios compuesto de bloques lógicos comunicados por conexiones programables. Asimismo, entre las numerosas ventajas que proporciona el uso de FPGAs dos destacan principalmente: el bajo costo y el corto tiempo de producción en comparación con los ASICs.

El comportamiento de una FPGA es descrito de manera tradicional utilizando el lenguaje VHDL -siglas que vienen de VHSIC (Very High Speed Integrated Circuit) Hardware Description Language. Tal es un lenguaje de descripción y modelado diseñado para describir la funcionalidad y la organización de sistemas digitales en hardware, placas de circuitos y componentes. Ahora bien, este lenguaje requiere un amplio conocimiento y una alta especialización técnica en diseño para obtener el desempeño requerido de la mayoría de las aplicaciones, por lo cual no es fácil de manipular. Además, si el algoritmo es complejo y/o los requisitos de la aplicación implican muchas restricciones, el desarrollo del sistema puede tomar varios años. Por ello, recientemente diferentes herramientas han sido desarrolladas con el objetivo de transformar algoritmos desarrollados en lenguaje C o hasta otros lenguajes de alto nivel en hardware; estas herramientas son conocidas como "herramientas de síntesis en alto nivel" [1].

## MATERIALES Y MÉTODOS

Las aplicaciones de biometría y de tecnología RFID dirigida a control de acceso y monitoreo han mostrado un gran avance en los últimos años. Entre estas aplicaciones encontramos el trabajo "A Design of Bi-verification Vehicle Access Intelligent Control System Based on RFID" [2], en el cual se propone la gestión de acceso de vehículos controlado por un sistema embebido que consta de un procesador S3C2440 de la compañía Samsung. Otro trabajo orientado al control y gestión de acceso de vehículos es "A New Approach for Vehicle Access Control using Active RFID Tags" [3], enfocado en el *middleware* de un Indicador de Fuerza de Señal de Recepción (RSSI) para mejorar la seguridad de los dispositivos de adquisición RFID. Este tipo de trabajos

aún son posibles de mejorar tomando en cuenta que el campo de la cibernética permite optimizar el estilo de vida humano, alcanzando utilidades más amplias como la posibilidad de dar una solución de seguridad y control (no solo en el acceso a instituciones u hogares, sino incluyendo el control total de los sistema eléctrico y electrónico de éste -que puede a su vez ser monitoreado mediante la tecnología RFID- [4, 5]).

Para el presente proyecto se desarrolló una aplicación de un sistema de RFID a través de un sistema embebido FPGA, todo esto implementado con LabVIEW como herramienta de síntesis de alto nivel. El sistema será descrito en las siguientes secciones.

### Descripción del sistema

El sistema implementado está constituido por dos dispositivos de adquisición RFID: uno de baja frecuencia (LF) marca Texas Instruments (TI) modelo RI-STU-MB2A y uno de alta frecuencia (HF) marca Alien Technology modelo ALR9800. El primero está designado para que el usuario sea reconocido al lugar donde quiera acceder con una tarjeta identificadora. Por otra parte, el segundo dispositivo de adquisición es para identificar el equipo dentro de la zona a controlar, así como para prevenir robos en esta zona mediante etiquetas identificadoras (cada etiqueta es llamada *transponder*) colocadas en los equipos. El *transponder* usado en ambos dispositivos de adquisición es del tipo pasivo. Se considera que para nuestra aplicación el *transponder* pasivo es suficiente, ya que también ha sido usado en aplicaciones semejantes como "Passive RFID Integrated Transponders for Automotive Applications" [6]. En dicha aplicación, cada *transponder* pasivo fue usado para un vehículo en movimiento que se acercó a un sistema de carreteras de peaje; se buscó que el vehículo no se detuviera frente a la caseta y avanzara con una velocidad relativamente lenta. A la vista de esto, en el presente trabajo se recurrió al *transponder* del tipo pasivo porque no requiere baterías para funcionar, puesto que éste se energiza a partir de la misma radiofrecuencia del dispositivo de adquisición. Los dispositivos de adquisición RFID son controlados por una FPGA de Xilinx modelo Spartan 3E y tienen, a su vez, la base de datos necesaria para todo este proceso, pudiendo mostrar una interfaz gráfica en una computadora personal o solamente un desplegado dentro de un display de cristal líquido (LCD).

El dispositivo de adquisición de radiofrecuencia para los usuarios es un Texas Instruments modelo RI-STU-MB2A (figura 1), perteneciente a la serie S2000. Este dispositivo de adquisición trabaja en una

frecuencia de identificación de 134 kHz. Se utilizó la antena modelo RI-ANT-S01C. Con ésta, el dispositivo de adquisición tiene un alcance no mayor a 30 cm para el *transponder* pasivo, por lo que es utilizado en la identificación de los usuarios al no requerirse de un mayor alcance, sino de solo acercarse por parte del usuario. El dispositivo de adquisición se comunica por protocolo de comunicación serial RS-232.



Figura 1. Dispositivo de adquisición de Radiofrecuencia TI modelo RI-STU-MB2A.

La identificación de personas se lleva a cabo mediante un *transponder* tipo tarjeta. Dicho *transponder* es pasivo y de solo lectura, evitando que los usuarios puedan modificar su número de registro y funcionando a una frecuencia de 134 kHz. El *transponder* modelo RI-TRP-R4FF, mostrado en la figura 2, cumple con todos los requisitos necesarios para la aplicación.



Figura 2. Tarjetas *transponder* R/O modelo RI-TRP-R4FF.

El dispositivo de adquisición de radiofrecuencia dedicado para la identificación de equipo es el Alien Technology modelo ALR9800 (figura 3), el cual trabaja en un rango de frecuencia de identificación de 902,75 MHz a

927,25 MHz. Las antenas utilizadas son del modelo ALR-9610-BC. Con éstas, el dispositivo de adquisición tiene un alcance aproximado de 2 m, por ello son ideales para ser colocadas en los accesos y así evitar los plagios. El dispositivo de adquisición Alien permite la detección de cada *transponder* por separado, ya que cuenta con la propiedad de anticollisión. El dispositivo de adquisición presenta dos puertos de comunicación, ya sea mediante protocolo RS-232 o por TCP/IP.



Figura 3. Dispositivo de adquisición Radiofrecuencia Alien Technology modelo ALR9800.

La identificación de equipos se lleva a cabo mediante el *transponder* tipo etiqueta modelo ALL-9338 (figura 4). Éste es colocado en los equipos para evitar que puedan ser extraído. El *transponder* seleccionado es pasivo, funciona a una frecuencia de operación superior a 902,75 MHz e inferior a 927,25 MHz y, además, es de tipo lectura/escritura, lo que permite modificar su código sin tener la necesidad de extraerlo del equipo. Estos números están protegidos bajo una clave dinámica para evitar que el usuario pueda modificarlo.



Figura 4. Etiquetas *transponder* R/W modelo ALL-9338.

La elección de dispositivo de adquisición ALR 9800 y de cada *transponder* ALL 9338 para la identificación de equipo se sustenta en varios trabajos como la tesis “Performance Analysis of Effective Range and Orientation for UHF Passive RFID” [7] para el Departamento de Fuerza Aérea de los Estados Unidos de América. Otra característica encontrada en este dispositivo de adquisición es que toma mediciones y analiza el desempeño de lectura de sí mismo. Gracias a ello, se experimentó con los efectos de la orientación del *transponder* en su lectura y se encontró que las orientaciones de 0° y 180° de éste, respecto a la antena del dispositivo de adquisición, tienen mayor índice exitoso de lectura e, inclusive, aumentan la distancia a la cual se puede leer un *transponder*. Otro experimento que se muestra en el trabajo [7] fue la variación de lectura del *transponder* de acuerdo a la distancia a la que se encuentre del dispositivo de adquisición (un sistema RFID de UHF que típicamente tiene un rango de lectura máxima de 6,6 m). También se encontró que el dispositivo de adquisición ALR 9800 puede tener un rango de lectura de hasta 10 m, sin embargo, no obtuvieron lecturas en distancias de 7 m, 8,5 m y 9 m., lo cual se le atribuye a interferencia destructiva.

Es importante, cuando se habla de sistemas RFID, indicar cómo afectan los medios donde existen metales y agua en la lectura del *transponder*. Lo anterior ha sido analizado en el trabajo “RFID Label Tag Design for Metallic Surface Environments” [8], en el que se utilizó el dispositivo de adquisición y el *transponder* empleado en el presente sistema para la identificación de transformadores (superficies metálicas) en condiciones de humedad de entre el 40 % y el 60 % a una distancia de 2 m. En estas pruebas se obtuvo por encima del 80 % de lecturas exitosas, lo cual es muy buen resultado considerando que cada *transponder* usado era comercial y de bajo costo.

Otro de los componentes principales del presente sistema es la tarjeta de desarrollo SPARTAN 3E STARTER KIT (figura 5) de Xilinx, la cual contiene una FPGA de 500 000 compuertas lógicas que es utilizada como dispositivo central de procesamiento. Esta tarjeta contiene todas las interfaces para el control de periféricos necesarios para la realización de proyectos, estando éstos controlados por la FPGA.

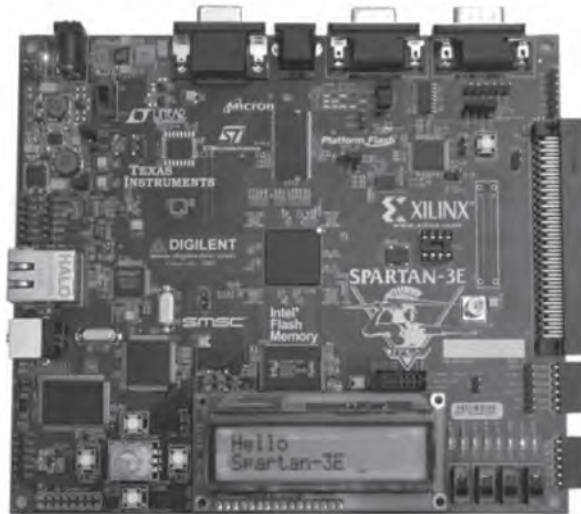


Figura 5. Tarjeta Spartan 3E.

Todo el sistema se desarrolló en LabVIEW, el cual es un entorno de programación desarrollado por la National Instruments (NI). Este entorno está basado en el lenguaje programación llamado “lenguaje G”. Este lenguaje es gráfico, por lo tanto, es más fácil de utilizar que los lenguajes de programación clásicos. El mencionado entorno se basa en Instrumentos Virtuales (VI, por sus siglas en inglés) que describen el comportamiento del sistema y corresponden a un código funcional.

La razón principal para usar LabVIEW fue su módulo LabVIEW FPGA, que es una herramienta de síntesis de alto nivel que utiliza la tecnología de LabVIEW Embedded para ampliar el desarrollo gráfico de LabVIEW y sintetizar FPGAs en hardware de E/S Reconfigurable (RIO). LabVIEW es claramente adecuado para programación del FPGA ya que representa paralelismo y flujo de datos de manera natural.

La comunicación del sistema que se propone fue en modo serial (un protocolo muy común entre dispositivos que está incluido de manera estándar en prácticamente cualquier computadora). Ello es del interés de este trabajo puesto que la tarjeta Spartan-3E incluye dos puertos seriales RS-232 (DCE y DTE). El concepto de comunicación serial es sencillo: el puerto serial envía y recibe bytes de información, un bit a la vez. Aun cuando esto es más lento que la comunicación en paralelo -que permite la transmisión de un byte completo por vez-, este método de comunicación es más sencillo y puede alcanzar mayores distancias.

### Sistema

El sistema es controlado por un panel frontal que muestra el estatus del usuario, así como del equipo dentro del área a controlar. Ambos dispositivos de adquisición RFID tienen protocolo de comunicación serial RS-232; cada uno se controla con distintos comandos, *baud rate* y *transponder*. Sabiendo esto, se hace uso del paralelismo para manejar cada uno de los dispositivos de adquisición de manera independiente, pero ambos siguiendo una arquitectura similar.

El dispositivo de adquisición TI identifica a los usuarios, mientras que el dispositivo de adquisición Alien identifica los equipos utilizando la antena uno. La antena dos es colocada en los accesos para evitar plagios de equipo; así, el sistema es capaz no solo de detectar el equipo, sino también de identificarlo.

La arquitectura en común tanto en el dispositivo de adquisición TI y en el Alien es la siguiente: se inicia enviando un comando de lectura, luego se toma la información del dispositivo de adquisición (que es una cadena de caracteres) y se comparan los caracteres obtenidos con una base de datos guardada en la memoria Intel StrataFlash de la tarjeta Spartan 3E. La comparación nos indica el estatus de validez de un usuario o la presencia de un equipo.

La diferencia de la arquitectura para los dispositivos de adquisición radica en su objetivo. El dispositivo de adquisición TI se encarga del control del acceso de usuarios permitidos; esto quiere decir que la lectura del *transponder* de usuario se inicia cuando el usuario la pide presionando un botón. Por otra parte, el dispositivo de adquisición Alien es para los equipos dentro de la zona a controlar. Sus características principales de uso son la propiedad de anticolidión -lo cual nos permite la identificación de múltiples equipos en una sola lectura- y ser de HF -lo cual le permite abarcar una gran zona de lectura por antena. Como este dispositivo de adquisición está designado para la vigilancia continua de los equipos, inicia su lectura controlada por tiempo (cada cierto tiempo toma una lectura de la zona). Si un usuario válido quiere retirar algún equipo, puede hacerlo seleccionándolo del panel frontal, así la alarma de la salida no se activará porque el sistema reconoce que es un usuario quien retiró el equipo. La figura 6 describe el funcionamiento del sistema.

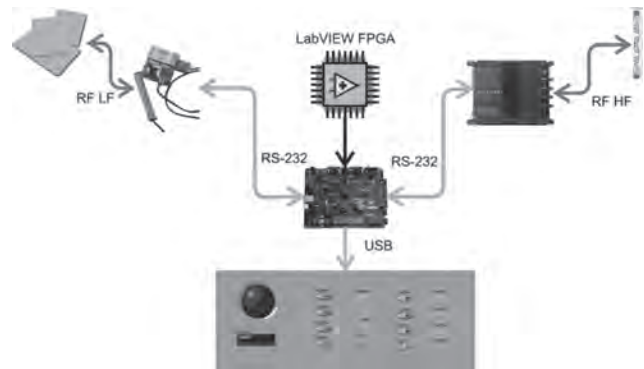


Figura 6. Diagrama general del sistema.

### RESULTADOS

El sistema de control de acceso implementado fue probado en el Laboratorio de Procesamiento Digital de Señales de la División de Ingenierías, Campus Irapuato-Salamanca (DICIS) de la Universidad de Guanajuato, localizada en la ciudad de Salamanca, Guanajuato, México. El sistema pudo ser probado bajo diversas situaciones reales y se logró verificar su correcto funcionamiento. También, como estamos hablando de un sistema diseñado para una FPGA, es importante resaltar el uso de recursos (los cuales son resumidos en la tabla 1).

Tabla 1.  
Recursos usados en la Spartan 3E.

Características	Spartan 3E
Total slices	60,9 % (2 836 de 4 656)
Registros	32,9 % (3 065 de 9 312)
LUTs	45,7 % (4 255 de 9 312)
Bloques de RAM	10 % (2 de 20)



Figura 7. Sistema instalado.



Figura 8. Usuario válido.



Figura 9. Prevención de robo.

## DISCUSIÓN

El sistema presentado bajo condiciones normales muestra un desempeño óptimo. El uso de radiofrecuencia nos permite innovar en la identificación, categorización y administración de equipos y/o personal. De esta manera, se brinda un control de acceso de edificios con una mejor seguridad, tal como se muestra en la tabla 2. Los sistemas RFID ofrecen una mejor solución para identificación. En específico, en este proyecto el beneficio fue tanto para el personal como para el equipo, pues se supera a los sistemas biométricos (éstos solo permiten la identificación del personal) o a los códigos

de barras (que son sistemas vulnerables y solo recomendables para los equipos). Por lo anterior, más otros puntos, este sistema es una alternativa óptima. La automatización de edificios permite evitar la pérdida y el robo de equipos, así como tener control sobre áreas grandes y personal de acceso. También se evita tener que llevar un inventario de un equipo a la vez, debido a que el sistema puede identificar múltiples equipos de una sola lectura. El uso de *transponder* de lectura y escritura en los equipos permite, además, poder reorganizar la numeración de los mismos, sin la necesidad de modificar la constitución de los mismos (como sucede en la lectura del código de barras -que no son reutilizables-).

Tabla 2.  
Comparación de sistemas de identificación.

Parámetros del sistema	Código de barras	OCR	Reconocimiento de voz	Biometría	Smart card	Sistemas RFID
Cantidad de datos (bytes)	1-100	----	----	----	16 k-64 k	16 k-64 k
Densidad de datos	Baja	Alta	Alta	Alta	Muy alta	Muy alta
Equipo de lectura	Accesible	Caro	Caro	Caro	Accesible	Accesible
Interferencia por polvo y humedad	Muy alta	---	----	----	Posible	No afecta
Legibilidad por personas	Limitada	Simple	Difícil	Difícil	Imposible	Imposible
Interferencia por obstrucción (óptica)	Falla total	----	Posible	Posible	----	No afecta
Interferencia por posición y dirección	Baja	----	----	----	Unidireccional	No afecta
Degradación por uso	Limitada	----	----	----	Al contacto	No afecta
Costo de los dispositivos de adquisición	Muy bajo	Muy alto	Muy alto	Muy alto	Bajo	Medio
Costo de operación	Bajo	Ninguno	Ninguno	Ninguno	Medio	Ninguno
Copias o modificaciones no autorizadas	Fácil	Posible (grabación de voz)	Imposible	Imposible	Imposible	Imposible
Velocidad de lectura (incluye el manejo de acarreo)	Baja 4 s	Muy baja , 5 s	Muy baja , 5 s-10 s	Muy baja , 5 s-10 s	Baja 4 s	Muy rápida 0,5 s
Distancia máxima	0 cm-50 cm	0 cm-50 cm	Contacto directo	Contacto directo	Contacto directo	0 m-5 m

La programación en LabVIEW dio un paralelismo más natural, un tiempo de desarrollo más corto y mayor confiabilidad en su funcionamiento que la programación en texto. Asimismo, da la opción de tener una interfaz gráfica entre el FPGA y cualquier computadora personal (PC, por sus siglas en inglés).

### Perspectivas

La principal perspectiva de este trabajo es llevarlo a una interfaz web, pero de manera distinta a la planteada por el trabajo “Remote Controlling and Monitoring of Safety Devices Using Web-Interface Embedded Systems abstract” [9], en el que, para el control y la monitorización remota de sistemas de control de acceso, integraron una interfaz web a través de Linux. En el caso del presente trabajo, la alternativa podría ser enviar el panel frontal de la aplicación a una red (Internet o red local), esto a través de una herramienta de LabVIEW llamada “Web Server”, supervisando o controlando así el sistema de manera remota.

### REFERENCIAS

- [1] Coussy, P., Gajski, D. D., Meredith, M. and Takach, A. (2009). An Introduction to High-Level Synthesis. *Design & Test of Computers*, IEEE 26(4), pp. 8-17. doi 10.1109/MDT.2009.69.
- [2] Fan, X. H. and Zhang, Y. L. (2009). A Design of Bi-verification Vehicle Access Intelligent Control System Based on RFID. *The Ninth International Conference on Electronic Measurement & Instruments (ICEMI 2009)*. Beijing, China.
- [3] Foina, A. G., Barbin, S. E. and Ramirez Fernandez, F. J. (2007). A New Approach for Vehicle Access Control using Active RFID Tags. *SBMO/IEEE International Microwave and Optoelectronics Conference (IMOC 2007)*: pp. 90-93.
- [4] Almanza-Ojeda, D. L., Hernandez-Gutierrez, A. and Ibarra-Manzano, M. A. (2006). Design and implementation of a vehicular access control using RFID. *Multiconference on Electronics and Photonics (MEP 2006)*: pp. 223-225.
- [5] Ibarra-Manzano, M. A., Almanza-Ojeda, D. L., Aviles-Ferrera, J. J. and Avina-Cervantes, J. G. (2010). Access Control System Using an Embedded System and Radio Frequency Identification Technology. *Electronics, Robotics and Automotive Mechanics Conference (CERMA 2008)*: pp. 127-132.
- [6] Toccafondi, A., Della Giovampaola, C., Braconi, P. and Cucini A. (2010). Passive RFID Integrated Transponders for Automotive Applications. In D. Giusto, A. Iera, G. Morabito, L. Atzori (Eds.). *The Internet of Things*. pp. 263-272. Springer New York.
- [7] Roque, P. N. (2008). *Performance analysis of effective range and orientation of passive UHF RFID*. Air Force Institute of Technology.
- [8] Park, C. R. and Eom, K. H. (2011). RFID Label Tag Design for Metallic Surface Environment. *Sensors 11*: pp 938-948.
- [9] Carrasco, A., Hernández, M. D., Romero, M. C., Sivianes, F. and Escudero, J. I. (2009). Remote controlling and monitoring of safety devices using web-interface embedded systems. *Lecture Notes in Business Information Processing 24*: pp. 737-744.