

WEB SERVER EMPOTRADO EN FPGA PARA MONITORIZACION DE UNA RED DE SENSORES INALAMBRICOS

M. RODRIGUEZ VALIDO¹, M. GUTIERREZ CASTAÑEDA¹, A. CARDELL BILBAO², A. AYALA ALFONSO¹, J. J. DIAZ GOPAR², C. SOBOTA RODRIGUEZ², E. MAGDALENO CASTELLO¹.

¹Dpto. de Física Fundamental y Experimental, Electrónica y Sistemas. Universidad de La Laguna. La Laguna, Tenerife, España

²GoparSoft SL. La Laguna, Tenerife, España

mrvalido@ull.es, mgc0001@gmail.com, acardell@ull.es, aayala@ull.es, jjdiaz@goparsoft.com, csobota@ull.es, emagcas@ull.es .

Internet, hoy día nos proporciona un soporte económico, rápido y seguro para la realización de casi cualquier tarea de monitorización y control en cualquier ámbito industrial. Esta nueva forma de gestión de procesos industriales además de complementar los ya existentes, mejora en el sentido que no es necesario estar presente para realizarlos. Por otro lado, desde el punto de vista de desarrollo tecnológica, los sensores inalámbricos mas concretamente las redes de estos dispositivos es una tecnología emergente que cada vez mas la encontramos mas cerca de nosotros, y en la industria, están sustituyendo a las técnicas e instrumentación clásica de medida. Y por último, otro elemento tecnológico emergente son las FPGA (Field Programable Gate Array), actualmente estos dispositivos, no solo brindan un soporte para procesado y/o control digital sino que son capaces de soportar micro controladores Hard-Soft que les hace mas competitivos y atractivos que los microcontroladores de propósitos general ya que dota al sistema de reconfigurabilidad además de reprogramabilidad.

El objetivo de este trabajo es diseñar e implementar un servidor web empotrado sobre una FPGA que nos proporcione una interfaz remota para monitorizar un red de sensores inalámbrico que controle un proceso industrial. El desarrollo de este sistema proporciona a los alumnos de ingeniería una visión en, además de la experiencia práctica, el diseño de un sistema empotrado completo, redes de sensores y diseño con FPGA, protocolos e interfaces de sistemas de comunicaciones.

Palabras clave: FPGA, Web Server, redes de sensores inalámbricas, sistemas empotrados, uclinux, TinyOS,

1. Introducción

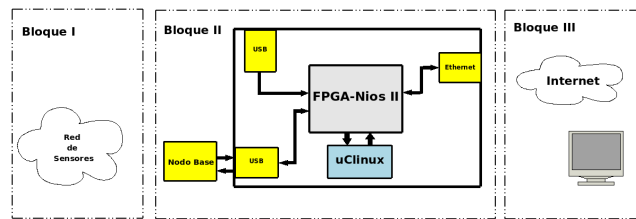
Hoy en día, el avance de la tecnología y las nuevas necesidades de obtener información hacen que las redes de sensores inalámbricas sean tecnología emergente a implantar en los distintos sectores de la sociedad (agricultura, industria, construcción, etc.). Por este motivo, podemos encontrar sensores en un gran número de sistemas y dispositivos, en grupos de cientos e incluso miles, recogiendo información del medio que les rodea y comunicándose entre sí. Estas

características junto con el bajo consumo, el trabajo colaborativo de los nodos, pequeñas dimensiones y fácil reubicación, hacen que la redes de sensores inalámbricas sean un soporte ideal para adquirir datos del entorno y poder extraer modelos de comportamientos del mismo [1]. Estos modelos pueden ser utilizados para enviar señales de alerta en determinadas situaciones, o incluso generar información del entorno de aplicación o planta industrial para posteriormente ser enviada al usuario. Pese a estas ventajas los nodos sensores, individualmente, están limitados para procesar y analizar los datos obtenidos, limitándose normalmente a enviar o recibir datos a un nodo gateway o estación base. La función de este último es la de recolectar toda la información de la red, y dependiendo de su capacidad procesar y tomar decisiones, “in situ”.

En general, cualquier situación imprevista o las simples tareas diarias de un proceso industrial gobernado por una red de sensores inalámbrica requieren de la presencia, en la planta, de un operario. Como una alternativa y mejora a este hecho y como principal objetivo de este trabajo se optó por el diseño e implementación de un servidor Web empotrado sobre una FPGA que le agregue a la forma clásica de interactuar con el proceso una forma remota de monitorizar y controlar al mismo. Éste nueva forma proporciona al operario las siguientes ventajas:

- Monitorizar el estado de la planta e incluso la de la propia red desde cualquier lugar.
- Configurar las tareas diarias de funcionamiento.
- Estar en continuo contacto con el proceso mediante un sistema de aviso (alarma).
- Reducir coste de producción y aumentar la calidad de los productos.

Desde el punto de vista Hardware un servidor Web para sistemas empotrados debe estar formado por procesador, memoria y periféricos de entrada y salida de propósito general (tales como controlador Ethernet). Los avances en el diseño de sistemas empotrados muestran que los diseños basados en arquitecturas flexibles presentan ventajas respecto a sus homólogos (basados en arquitecturas fijas tales como microprocesadores). Esto es debido a que dichas arquitecturas hacen que los diseños sean flexibles a la hora de realizar cambios en los mismos, es decir, sean reprogramables y reconfigurables [2]. En este sentido, las FPGAs son una alternativa válida para la implementación de arquitecturas flexibles añadiendo ventajas adicionales a las arquitecturas tradicionales [3]. Según esto, el uso de las mismas como soporte tecnológico permite integrar todo el sistema junto con el procesador aprovechando esa flexibilidad. Además, los procesadores soft-core existentes tales como NIOS II de Altera [4], permiten ser configurados a medida con interfaces de comunicaciones estándar y/o definidas por el usuario para integrar lógica específica al sistema. Por otro lado, los servidores Web en sistemas empotrados están cada vez más presentes en nuestra vida cotidiana a través de la electrónica de consumo y de las aplicaciones industriales. A diferencia de los servidores Web de propósito general, que están pensados por un lado para correr sobre servidores, estaciones de trabajo o PC y por otro para dar soporte a gran número de aplicaciones, una interfaz Web para sistemas empotrados tienen recursos limitados con lo cual ofrecen un conjunto de características que sólo son requeridas para la aplicación específica. Actualmente, y por lo comentado anteriormente, el uso de soft-core sobre FPGA para la implementación de una interfaz tienen igual o mayores prestaciones que otras alternativas [5]. Desde un punto de vista académico, este trabajo ha sido desarrollado en un proyecto de fin de carrera de ingeniería Técnica Industrial en Electrónica. El alumno, además de adquirir la experiencia práctica, ha adquirido una visión de cómo conjugar tecnologías tan emergentes como las que se tratan en este trabajo, es decir uso de la red *Internet* para monitorización remota, diseño sistemas empotrados en *lógica reprogramable* y *redes de sensores inalámbricas*.



2. Descripción del Sistema

Como comentamos en la sección anterior en este trabajo se pretende desarrollar una interfaz Web para monitorizar una red de sensores inalámbricos. En nuestro caso, además de implementar todo el

Figura 1. Diagrama de bloques del sistema implementado

soporte Hardware-Software mínimo del sistema implementaremos una aplicación real para el procesamiento de los datos y configuración de la red sensores inalámbrica.

La figura 1 muestra el diagrama de bloques de todo el sistema. El primer bloque está compuesto por la red de sensores inalámbrica, constituida por nodos sensores y controlados por un nodo gateway. Este nodo, también llamado nodo base, hace de enlace entre el servidor Web y la red (bloque II).

En el segundo bloque de la figura, lo podemos dividir en una parte hardware y otro software. La primera está compuesta por la placa Altera DE2 Development and Education Board, la cual posee una FPGA de la familia Cyclone II, así como una interfaz Ethernet y un puerto USB entre otras. El procesador embebido en la FPGA, es el Nios II (soft-core suministrado por Altera). Como soporte software distinguimos el Sistema Operativo (SO) y la aplicación desarrollada. Como SO se optó por uno de uso libre denominado uClinux basado en el kernel de Linux 2.0 que posee un conjunto de herramientas que permite migrar Linux sobre procesadores sin soporte MMU. Éste, se encargará de gestionar la parte hardware, así como la de alojar las aplicaciones para el desarrollo de la actividad establecida. De dichas aplicaciones destacamos el servidor web *Boa* y la aplicación implementada para la lectura y escritura de los datos obtenidos de la red de sensores así como la configuración de la misma.

En el tercer bloque de la figura nos encontramos en el lado de Internet. La forma de presentar los datos al usuario será mediante una página web. Debido a las limitaciones de sistema operativo y el servidor de páginas, hemos usado un mecanismo de comunicación entre el servidor web y la aplicación externa basado en la tecnología CGI (Common Gateway Interface).

2.1. Red de sensores inalámbricas

Gracias a los avances tecnológicos y la reducción de costes en dispositivos electrónicos y de comunicación, han permitido construir nodos de sensores multifuncionales y multipropósito que operan con poca energía, de pequeño tamaño, y con una capacidad de comunicación inalámbrica.

Básicamente, un nodo de estas características consta de una unidad de procesamiento con un poder de cómputo mínimo, una pequeña memoria, una unidad de comunicación inalámbrica y uno o varios transductores que capturan parámetros tales como temperatura, humedad, luminosidad, etc. En nuestro caso hemos usado tanto como nodo base de la red y nodos sensores Tmote Sky. La figura 2 muestra el circuito del nodo inalámbrico fabricado por Sentilla [6].

Se trata de un modelo inalámbrico de muy baja potencia que permite utilizar los estándares IEEE 802.15.4 como medio de comunicación inalámbrica. El modelo utilizado integra sensores de humedad, temperatura, luz, así como un puerto de expansión y una interfaz USB que le permite ser programado y poder transferir datos. La programación de estos sensores se ha realizado mediante la integración en los mismos de un SO libre llamado TinyOS [7]. Éste sistema operativo cuenta con una arquitectura basada en

componentes que proporciona a los nodos sensores todo el soporte de comunicaciones, gestión de memoria y planificación de tareas (tales como adquisición, temporización, etc.) permitiendo al diseñador la abstracción del hardware del sensor. El proyecto está desarrollado por un consorcio liderado por la Universidad de Berkeley en California, en cooperación con Intel Research.



Figura 2. Mote TMote-Sky. Nodo sensor de la Red, se basan en una arquitectura compatible con telos-b

En nuestro caso, hemos implementado una aplicación software que permite a los nodos poder adquirir el valor de sus sensores y poder realizar funciones de ruteo que permitan la entrega de paquetes a la estación base. El nodo gateway contará además con las funciones de enlace entre la red inalámbrica y el sistema empotrado a través de la interfaz USB.

2.2. Sistema Empotrado. NIOS II

Como soporte tecnológico para implementar el sistema empotrado hemos usado la placa de Altera DE2 (gama media de la familia). Altera nos proporciona todas las herramientas para diseñar tanto el sistema hardware como el software. En esta FPGA mediante el *System Builder* y *Quartus II* hemos configurado un sistema hardware a medida, formado por un Núcleo Nios II 32 bits a una frecuencia de reloj de 100Mhz, 4Mbytes de Memoria Flash, 8Mbytes, memoria SDRAM, interfaz para USB, Ethernet, y puertos de entrada salida

Este sistema hardware nos proporciona el soporte tecnológico necesario para la instalación del SO uClinux.

El proceso de instalación del SO es un proceso muy sensible a las características del soporte hardware. Para generar la imagen de nuestro sistema operativo compatible con nuestro procesador y periféricos, además de nuestras aplicaciones, necesitamos crear un entorno de compiladores cruzados.

2.3. Interfaz Web y Aplicación Software

Como lenguaje de programación para el desarrollo de las aplicaciones se optó por C, aunque también es posible implementarlas en C++ y Perl. Antes de desarrollar las aplicaciones hemos instalado en el sistema el servidor de páginas Web ligero, de código libre y con soporte CGI que comentamos anteriormente. Este servidor, denominado BOA [8], se implementó con el fin de poder aportar comunicación con el exterior al sistema empotrado con recursos limitados. Para su configuración recurrimos a la edición manual del archivo de configuración en el cual definimos básicamente donde alojaremos nuestras páginas HTML, el directorio donde alojaremos el CGI, así como mensajes de error entre otros.

La aplicación software implementada la hemos dividido en tres bloques atendiendo a las tareas que realizan, la primera denominada aplicación base, se encargará establecer la comunicación entre el sistema empotrado y el nodo gateway de la red así como el almacenamiento de los datos de la red en el sistema de fichero. La segunda denominada lectura

de CGI, se emplea para visualizar los datos almacenados, para ello recurre al uso de un buscador de archivos que es configurado “on line” vía Web. Por último, se elaboró una aplicación encargada de interactuar con la red de sensores, denominada CGI de configuración, es decir, permite realizar tareas de configuración tales como modificar el tiempo de muestreo, reprogramar los nodos de la red, interactuar de forma puntual sobre algún actuador, detectar la presencia de nodos nuevos en la red así como detectar fallos en los mismo.

La figura 3 muestra el aspecto de la interfaz Web básica implementada, en ella podemos ver dos opciones: consulta de la base de datos y configuración de la red.

Aunque como comentamos anteriormente la entrada de configuración básicamente es utilizada para configurar los nodos de la red. Lo importante a destacar de esta aplicación es que se ha implementando de tal forma que proporcione el enlace o canal de comunicación necesario entre el sistema empotrado y el nodo gateway independientemente de la aplicación y de las características de la red.



Figura 3. Diagrama de bloques del sistema implementado

3. Conclusiones

Hemos comprobado que el sistema diseñado e implementado (Web Server y su aplicación) cumple los objetivos establecidos. Es decir, mediante él podemos acceder a los datos de la red de sensores, interactuar con esta, y modificar parámetros de la misma, permitiendo al usuario controlar la planta donde este instalado esta tecnología.

Como propuesta para la asignatura proyecto de fin de carrera de la titulación de Ingeniero Técnico Industrial, especialidad en Electrónica, hemos comprobado que el alumno es capaz de abordar un proyecto de estas características en los 12 créditos que posee la misma ya que el alumno parte de conocimientos básicos en los temas que se tratan aquí. Desde el punto de vistas del conocimiento adquirido por parte del Alumno este trabajo le brinda una oportunidad practica de conjugar conocimientos, de campos del relevancia, relativos al desarrollo de aplicaciones para Internet, control y monitorización de procesos, lógica programable (FPGA), arquitectura de sistemas empotrados, redes de sensores inalámbricas basadas en el sistema operativo *TinyOS*, protocolos e interfaces de comunicaciones y diseño con VHDL.

Otro punto a destacar teniendo en cuenta que se trata de un trabajo docente, es la solución aportada a través de software libre: TinyOS, uCLinux, servidor web BOA y plataforma hardware de bajo coste: placa de evaluación de DE2 de Altera.

Las prestaciones del sistema pueden mejorarse dotando al sistema de mayor capacidad de memoria, y procesado. También se puede mejorar la presentación de los datos en la interfaz Web, recurriendo a gráficas, valores medios etc...

Por último, se puede diseñar una placa específica para alojar el sistema construido, ya que el sistema que hemos usado como soporte tecnológico placa de evaluación proporcionada por altera (DE2) posee recursos genéricos que no son necesarios para este sistema en concreto. Reduciendo así el consumo y el coste económico

Referencias

- [1] I. F. Akyildiz, W. Su, Y. Sankarasubramaniam and E. Cayirci, Wireless sensor networks: a survey, Broadband and Wireless Networking Laboratory, January 2002, Copyright © 2002 Published by Elsevier Science.
- [2] A. Sangiovanni-Vincentelli, A. Ferrari [System Design - Traditional Concepts and New Paradigms](#). Proceedings of ICCD 99, Austin, pp.2-12, October, 1999.
- [3] S. Cuenca, A. Grediaga, H. Llorens and M. Albeto, Performance Evaluation of FPGA-Embedded Web Servers Electronics, Circuits and Systems, 2007. ICECS 2007. 14th IEEE International Conference on, pp. 1187-1190, 11-14 Dec. 2007.
- [4] Nios Embedded Processor. [Http://www.altera.com](http://www.altera.com)
- [5] Stephan Wong, Stamatis Vassiliadis, Sorin Cotofana, Future Directions of (Programmable and Reconfigurable) Embedded Processors, In Embedded Processor Design Challenges, Workshop on Systems, Architectures, Modeling, and Simulation — SAMOS, January 2002.
- [6] Sentilla fabricante sensores: <http://www.sentilla.com/moteiv-endoflife.html/>
- [7] TinyOS: <http://www.tinyos.net/>
- [8] BOA: <http://www.boa.org/>