



UNIVERSIDAD
COMPLUTENSE
MADRID

Proyecto de Innovación y Mejora de la Calidad Docente

Convocatoria 2014

Proyecto nº 50

Diseño y desarrollo de una placa de periféricos no convencionales para incentivar el aprendizaje autónomo sobre sistemas empotrados basados en FPGA y SoC ARM

Responsable: Juan Carlos Fabero Jiménez

Facultad de Informática

Dpto. de Arquitectura de Computadores y Automática

Índice

1. Objetivos propuestos en la presentación del proyecto	1
2. Objetivos alcanzados una vez finalizado el proyecto	2
3. Metodología empleada en el proyecto	3
4. Recursos humanos	3
5. Desarrollo de las actividades	4
5.1. Resultados y productos	5
5.2. Relación de gastos	7

1. Objetivos propuestos en la presentación del proyecto

Este año se plantea la adaptación y ampliación de la placa de periféricos desarrollada el curso anterior para su uso en otras asignaturas impartidas en nuestra Facultad, como son “Sistemas Empotrados Distribuidos” y “Programación de Sistemas y Dispositivos”.

En estas nuevas asignaturas se adopta el uso de microcontroladores basados en arquitectura ARM, por lo que se hace necesaria una adaptación de los controladores para poder emplear los periféricos que incorpora la placa. Asimismo, se ha planeado la ampliación de la placa de expansión para que incorpore, de manera integrada, los sensores analógicos y el motor paso a paso, así como nuevos dispositivos (detector de proximidad por ultrasonidos, por ejemplo) y otros controlados mediante el bus I2C, actualmente muy utilizado en la industria.

Esta placa expandida permitirá generar un entorno adecuado para la programación de los distintos dispositivos de entrada/salida que pueden formar parte de un sistema empotrado, como los sensores y actuadores antes mencionados que, al ser dispositivos no convencionales, atraerán de manera especial la curiosidad del alumno.

Por otra parte, al emplear microprocesadores ARM, muy extendidos actualmente en el mercado de los dispositivos móviles y sistemas empotrados, podemos conseguir claramente aumentar el interés de los alumnos por la asignatura, facilitar el aprendizaje autónomo de la misma e incentivar la creatividad, al permitir aplicar los conocimientos adquiridos a un enorme conjunto de posibilidades.

En los laboratorios de la Facultad de Informática se dispone de medios apropiados para permitir el desarrollo de un entorno donde programar y utilizar múltiples dispositivos de entrada/salida, bien usando placas basadas en FPGA o bien en SoC ARM. La conexión y control de una placa de periféricos, sin embargo, no es nada trivial y requiere el esfuerzo de un grupo de profesores con amplios conocimientos sobre diseño de sistemas para la puesta a punto de la misma.

Durante el desarrollo de este proyecto se diseñarán los conectores y controladores adecuados para adaptar la placa desarrollada a la placa base del ARM. De esta forma será posible programar y utilizar múltiples dispositivos de entrada/salida y que los alumnos, usando la documentación que les proporcionamos, puedan diseñar sistemas complejos, utilizar su imaginación y creatividad, y así aprender de forma fácil y atractiva cómo funcionan.

En particular, los objetivos concretos de este proyecto son los siguientes:

- Desarrollo de un entorno que permita programar y probar distintos tipos de periféricos para favorecer el aprendizaje autónomo de los alumnos. Este entorno constará de una placa basada en un SoC (System on Chip) ARM, formada por el procesador, buses, una conexión serie para utilizar el terminal y el entorno de desarrollo y depuración de las

aplicaciones.

- Desarrollo de conectores apropiados para la conexión a dicho entorno de los distintos dispositivos.
- Ampliación de la placa de periféricos para incorporar los sensores analógicos, los dispositivos controlados por el bus I2C y otros adicionales.
- Desarrollo de manuales que faciliten al alumno la comprensión del modelo de programación de cada uno de los periféricos, tales como sensores de luz, temperatura, proximidad y contacto, motor de corriente continua, LEDs, altavoces, convertidores analógico/digital y digital/analógico, moduladores de pulsos, expansores de entrada/salida, bus I2C, etc.
- Desarrollo de prácticas básicas que permitan al alumno asimilar el funcionamiento de los periféricos anteriormente descritos.
- Conseguir que el alumno sea capaz de desarrollar un sistema empotrado completo a partir de los conocimientos adquiridos durante las prácticas.
- Favorecer la iniciativa del alumno para que éste aporte su creatividad.

2. Objetivos alcanzados una vez finalizado el proyecto

Podemos decir que se han cumplido todos los objetivos propuestos en el proyecto. A continuación pasamos a detallar los hitos conseguidos:

- Se ha desarrollado un entorno de programación que permite la programación y depuración de sistemas hardware/software basados en una placa SoC ARM.
- Se ha diseñado una placa de expansión de periféricos con LCD, teclado matricial, matriz de leds, leds RGB, emisor/receptor de infrarrojos, controlador de motor paso a paso, controlador de relés, convertidor analógico digital y bus I2C. El bus I2C, a su vez, da acceso a un expansor de entrada/salida, un convertidor analógico/digital y digital/analógico, un sensor de temperatura, una memoria eeprom, un reloj en tiempo real, un acelerómetro, un giróscopo y un magnetómetro. Se dispone también de un sensor de proximidad por ultrasonidos.
- Se ha diseñado y fabricado la placa de conexión para permitir el uso de la placa de expansión desde la placa ARM.

- Se ha desarrollado el controlador del bus I2C para su uso desde una placa basada en FPGA para la asignatura de Sistemas Empotrados.
- Se han escrito los manuales de uso tanto del entorno de programación de la placa ARM como de los periféricos de la placa de expansión.
- Se han escrito los guiones de las prácticas básicas que permitan al alumno asimilar el funcionamiento de los periféricos anteriormente descritos.

3. Metodología empleada en el proyecto

La metodología que se ha seguido durante el desarrollo de este Proyecto de Innovación Educativa ha constado de los siguientes pasos:

1. Estudio y compra de los diferentes sensores y actuadores que se querían incorporar a la placa de expansión: dispositivos I2C, sensores de flexión y presión, acelerómetro, magnetómetro, giróscopo, sensor de ultrasonidos...
2. Desarrollo del entorno de programación para la placa SoC basada en ARM.
3. Diseño del conexionado entre la placa SoC ARM y la placa de expansión.
4. Desarrollo de las librerías básicas para el manejo de los periféricos de la placa de expansión desde el microprocesador ARM.
5. Puesta en funcionamiento del módulo controlador I2C para las placas FPGA.
6. Preparación de los manuales de uso de cada dispositivo periférico.
7. Elaboración de los guiones de prácticas que se entregarán a los alumnos.
8. Propuesta de proyectos alternativos para permitir a los alumnos desarrollar su creatividad.

4. Recursos humanos

Este grupo de trabajo está formado por 5 profesores doctores. Todos los miembros son expertos diseñadores de sistemas hardware.

- Juan Carlos Fabero tiene una amplia experiencia en la asignatura de Sistemas Operativos (SO) y Estructura de Computadores (EC), ambas fundamentales para el desarrollo de los objetivos de este proyecto. Fue profesor durante 8 años de la asignatura Laboratorio de Estructura de Computadores, impartida en la antigua titulación de Ingeniería Superior en Informática, donde se utilizaba un microprocesador Motorola 68K para el control de diversos dispositivos de entrada/salida.
- José Manuel Mendías Cuadros ha sido profesor de las asignaturas Programación de Sistemas y Dispositivos, y Diseño Automático de Sistemas, ambas impartidas en el Grado en Ingeniería Informática. Tiene amplia experiencia en la programación de procesadores ARM.
- Carlos González y Juan Antonio Clemente son jóvenes doctores cuyas tesis doctorales han estado muy relacionadas con los sistemas empuotrados. Han impartido las asignaturas relacionadas: Laboratorio de Tecnología de Computadores (LTC), Laboratorio de Estructura de Computadores (LEC) y Ampliación de Estructura de Computadores (AEC), de la titulación "Ingeniero en Informática", así como las asignaturas: Tecnología y Organización de Computadores (TOC), Fundamentos de Computadores (FC) y Sistemas Empotrados (SE) del nuevo Grado en Ingeniería de Computadores.
- Hortensia Mecha ha sido la profesora coordinadora de la asignatura Laboratorio de Tecnología de Computadores (LTC), donde se utilizaba como base para las prácticas el hardware reconfigurable. En esta asignatura se desarrollaron un conjunto de prácticas de diseño sobre hardware reconfigurable. También fue la profesora de las asignaturas Diseño de Circuitos Integrados I y Diseño de Circuitos Integrados II de la Ingeniería en Informática. En la actualidad es la profesora de la asignatura de Sistemas Empotrados (SE).
- Además se ha contado con la inestimable ayuda del técnico del Departamento de Arquitectura de Computadores y Automática, Carlos Roa, que se ha encargado del diseño de las placas.

5. Desarrollo de las actividades

Las actividades se han desarrollado según el cronograma previsto. Actualmente se ha terminado el manual de utilización de los dispositivos periféricos, existe un sistema hardware implementado sobre FPGA que permite probar todos y cada unos de ellos y se ha diseñado la placa de expansión que permite conectar de manera fácil los distintos dispositivos a la placa de

prototipado basada en FPGA y, a través de una placa adaptadora, al sistema ARM. Estamos a la espera de que se termine la fabricación de las nuevas placas de expansión, que incorporan los nuevos periféricos y el bus I2C, para usarlas en el laboratorio en el curso académico actual.

Para la realización de este proyecto se ha contado con los ordenadores personales de todos los miembros del mismo, en los cuales estaba instalado el software de Xilinx ISE Design Suite versión 14.1 (que es la que está instalada en los laboratorios docentes de la Facultad de Informática). Además se han utilizado las placas de desarrollo basadas en FPGA (Spartan-3), disponibles también para las prácticas de los alumnos. Se ha contado también con las placas de expansión desarrolladas el año pasado en el proyecto PIMCD 2013-74. También se han utilizado las placas SoC basadas en ARM utilizadas en la asignatura de Programación de Sistemas y Dispositivos, entre otras asignaturas de la carrera. Además se han comprado los periféricos necesarios (sensores de flexión y fuerza, medidor ultrasónico, giróscopo, magnetómetro, acelerómetro, dispositivos I2C) y los componentes adicionales para su funcionamiento (cables, resistencias, condensadores, puertas lógicas, etc.).

5.1. Resultados y productos

Los resultados de este proyecto son los siguientes:

- 10 nuevas placas de expansión, cada una con un teclado matricial, una matriz de puntos y un display LCD, un conversor AD con bus paralelo, un emisor y un receptor de infrarrojos y tres leds RGB. También se han incorporado, a través del bus I2C, un expansor de entrada/salida y un conversor AD/DA de 4 entradas y 8 bits de profundidad. Además disponen de conectores apropiados para un sensor de luminosidad (LDR), un sensor de temperatura, un zumbador y un altavoz, un motor paso a paso con su driver de corriente correspondiente, así como dos relés que permiten controlar cargas elevadas. Estas placas pueden conectarse de manera sencilla a las placas de prototipado basadas en FPGA tipo Spartan-3 disponibles en el laboratorio de la Facultad de Informática y, a través de un adaptador de conexión, a los sistemas ARM. Puede verse la foto del prototipo de la placa de expansión en la figura 1, y en la figura 2 puede verse el prototipo del adaptador de conexión para el ARM, conectado como se ve en la figura 3.
- Se ha desarrollado una interfaz en VHDL para cada uno de los dispositivos anteriormente descrito, y también para controlador una pantalla (VGA) y un teclado (PS2). Cada uno de estos interfaces se ha integrado dentro de un sistema empujado basado en un procesador Microblaze e implementado en la FPGA. El *hardware* y el *software* necesario para utilizar cada uno de estos controladores se ha guardado por separado en un proyecto, que puede encontrarse en el Campus Virtual y está disponible para los alumnos.

5.1 Resultados y productos Proyecto 50

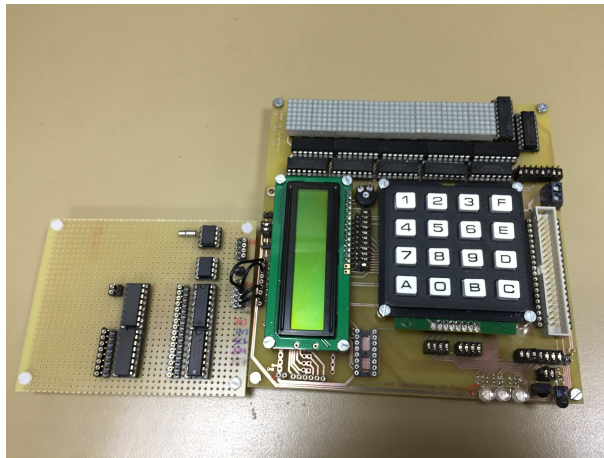


FIGURA 1: Placa de expansión de periféricos con bus I2C

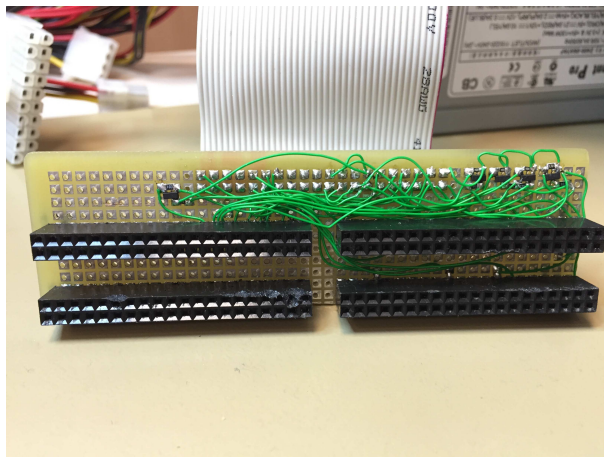


FIGURA 2: Adaptador de conexión para la placa ARM

- Se ha desarrollado un completo entorno de programación para el sistema ARM que permite el desarrollo de software de control de todos los dispositivos periféricos, tanto de los existentes en la placa ARM como los incorporados en la placa de expansión.
- Se han generado los manuales de uso de todos los dispositivos, con ejemplos de cómo utilizarlos, que pueden encontrarse en el Campus Virtual.
- Se adjunta un ejemplo de diseño para cada uno de estos dispositivos que permite su integración en prácticas más complejas.

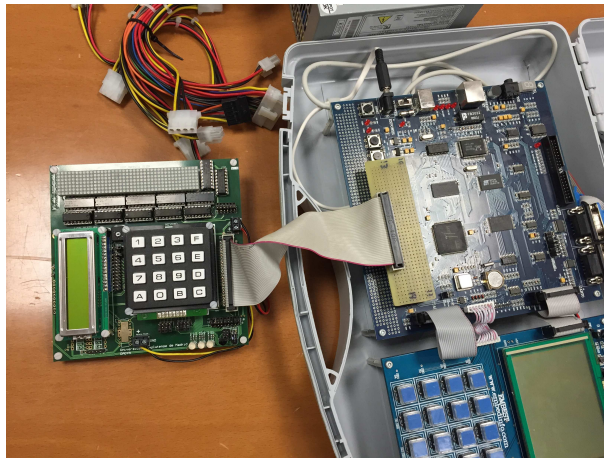


FIGURA 3: Placa de expansión de periféricos conectada a la placa ARM

5.2. Relación de gastos

Componentes electrónicos:

- PCF8591P (8-bits ADC/DAC I2C): 31,46 euros
- Sensores de fuerza y flexión: 18,34 euros
- Sensores LDR, NTC, ultrasonidos, buffer I/O, leds, relés: 16,93 euros
- PCF8583 (RTC I2C): 10,67 euros
- Driver ULN2803 para motor paso a paso y relé: 1,63 euros
- Sensor de proximidad con salida serie, analógica y PWM: 31,21 euros
- Displays LCD, driver, expansor PCF8574, placa de prototipado rápido, zócalos de CI y conectores: 108,66 euros
- Giróscopo, acelerómetro, magnetómetro y sensor de temperatura por bus I2C y transceptor: 50,75 euros
- Conectores 40 pines: 21,94 euros
- Placas de circuito impreso: 418,90 euros

Total: 710,49 euros