

SISTEMAS DIGITALES RECONFIGURABLES: IMPLEMENTACIÓN Y EXPERIENCIAS DE LABORATORIO

J. GÓMEZ PULIDO, J. SÁNCHEZ PÉREZ, G. GALEANO GIL, M. VEGA RODRÍGUEZ

Departamento de Informática. Escuela Politécnica. Universidad de Extremadura. Campus Universitario s/n, 10071 Cáceres. España

En este artículo se describe la configuración de un laboratorio de sistemas reconfigurables, dotado de material software y hardware especializado, y las experiencias de docencia e investigación que han podido ser llevadas a cabo gracias a él.

1. Introducción

En los últimos años se ha producido grandes avances en la industria de los dispositivos lógicos reconfigurables (FPGA y CPLD), propiciando la existencia de unos productos cada vez más rápidos, de mayor capacidad y con más asequibles. Empresas como Xilinx y Altera han puesto en el mercado unos dispositivos que reúnen dos características muy atractivas:

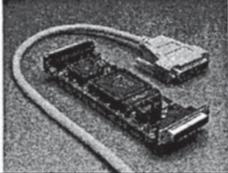
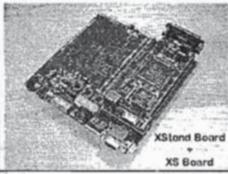
- Son dispositivos lógicos reconfigurables, con lo que se puede diseñar una gran cantidad de sistemas digitales diferentes, e implementarlos en cualquier momento en el mismo chip. El aumento de las prestaciones de las FPGA en los últimos años permite prototipar muchos sistemas, tales como microprocesadores, DSP, filtros, circuitos aritméticos, etc.
- Las herramientas para definir el circuito son fáciles de usar, pues incorporan lenguajes HDL, captura de esquemas, máquinas de estados finitos, etc. La síntesis se realiza de forma automática (las etapas de emplazamiento y encaminado son invisibles al diseñador).

2. Planteamiento de un laboratorio avanzado

La tecnología basada en FPGA supone una novedad en la enseñanza clásica de la Electrónica. En la titulación de Ingeniería Informática de la Universidad de Extremadura se imparten asignaturas a las que se les ha dado un fuerte contenido electrónico, tales como "Diseño de Circuitos Integrados" y "Diseño Automático de Sistemas", además de asignaturas de doctorado tales como "Herramientas para la Síntesis Lógica". Desde esta perspectiva, se ha ofrecido por primera vez en el curso 1999/2000 una asignatura optativa de libre elección, dirigida a las titulaciones de Ingeniería Informática e Ingeniería Electrónica, titulada "Diseño de Sistemas Digitales Reconfigurables". Esta asignatura, eminentemente de carácter práctico, ofrece al alumno el aprendizaje de todo el ciclo de diseño, desde el planteamiento del modelo hasta la síntesis física del mismo y su prototipado en hardware reconfigurable, pasando por la simulación, verificación, etc.

La columna vertebral de esta asignatura es el Laboratorio de Sistemas Reconfigurables (LSR). Este laboratorio consta de tantos puestos de trabajo como alumnos, de forma que las prácticas puedan ser desarrolladas individualmente. Cada puesto de trabajo consta de:

- PC Pentium con WindowsNT. Todos los PCs del LSR están conectados en red ethernet a través de un servidor central.
- Xilinx Foundation 2.1i. Este software licenciado proporciona entrada de diseño (VHDL, Abel, captura de esquemas, máquina de estados finitos), simulador, síntesis para FPGA y/o CPLD de Xilinx, etc.
- Plataforma hardware reconfigurable. El LSR dispone de una amplia variedad de tarjetas reconfigurables, todas ellas conteniendo al menos una FPGA, y con distintas características de funcionamiento y programación. Esto introduce diversidad, además de posibilitar la realización de prácticas diferenciadas para los alumnos. En la tabla 1 se lista el equipamiento existente en hardware reconfigurable.

Tarjeta	Características	Ventajas	Desventajas
<p>Xess XS40 [2]</p> 	<p>FPGA Xilinx XC4010XL Microcontrolador Intel 8051 Memoria de 32K. Eeprom serie Display de 7 segmentos Conexión VGA. Comunicación con PC a través del puerto paralelo Alimentación de 9V continúa. Pines de la FPGA libres</p>	<p>Bajo coste. Todos los puestos del LSR cuentan con ella. Abundante software. Buen soporte y mantenimiento. Versatilidad.</p>	<p>FPGA de baja capacidad. La comunicación a través del puerto paralelo la hacen lenta a la hora de utilizarla como tarjeta coprocesadora.</p>
<p>Xess XST-1 [2]</p> 	<p>Extiende las capacidades de la tarjeta XS40 para tareas de prototipado. Proporciona leds, conmutadores, audio, video, conexión con ratón y/o teclado, memoria adicional, y área de prototipado.</p>	<p>Permite una amplia variedad de prototipado electrónico, gracias a su área de prototipado, y elementos de entrada / salida.</p>	<p>No es una tarjeta independiente: necesita de una tarjeta XS40.</p>
<p>Xess XSV-800 [2]</p> 	<p>FPGA Xilinx Virtex 800 4 MB memoria RAM Conexiones VGA, audio, PS/2 Comunicación con PC a través de los puertos paralelo, serie, USB y ethernet. Tensión 9V continúa y/o ATX Pines de la FPGA libres</p>	<p>FPGA de muy alta capacidad. Variedad de sistemas para la comunicación, destacando ethernet. Ideal para prototipado de sistemas de alta densidad Buen mantenimiento, y software asociado.</p>	<p>No lleva microprocesador, por lo que no puede funcionar en modo stand-alone. La carencia de comunicación PCI le resta potencia como plataforma coprocesadora.</p>
<p>Xilinx Demoboard</p> 	<p>2 FPGA Xilinx (1 XC4005E y 1 XC3000A). Comunicación a través del cable X-Checker. Conmutadores, leds, displays. Alimentación 5V continúa.</p>	<p>La comunicación a través del cable X-Checker permite la depuración y programación a través del software Xilinx Foundation. Ideal para enseñanza mediante este software.</p>	<p>Al carecer de microprocesador y de conexión PCI, no tiene capacidad coprocesadora. La comunicación depende en exclusiva del cable X-Checker. FPGA de baja capacidad</p>

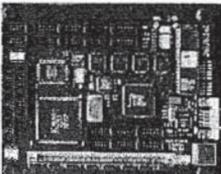
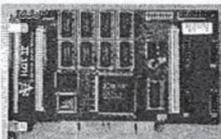
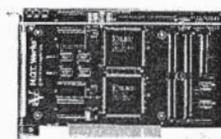
<p>Labomat 3 [3]</p> 	<p>FPGA Xilinx XC4013E FPGA Xilinx XC6200 Microprocesador Motorola 6800 8 MB RAM Puerto ethernet Número IP incorporado. EPROM con sistema operativo en tiempo real RTEMS. Pinout de E/S</p>	<p>La tarjeta es ideal para coprocesamiento. Puede funcionar en modo stand-alone, y comunicarse a través de Internet. Incorpora dos FPGAs, una de las cuales es parcialmente reconfigurable. Tiene software para prácticas de enseñanza.</p>	<p>No es una tarjeta comercial, por lo que su adquisición es difícil. Tiene poco software de codiseño desarrollado.</p>
<p>VCC Hot 2 [4]</p> 	<p>FPGA Xilinx XC4062XLT. 8 MB RAM. Comunicación a través del bus PCI. Drivers para Win95 y software de aplicación.</p>	<p>Tiene un software para un rápido desarrollo de aplicaciones orientadas al coprocesamiento. La comunicación vía PCI es rápida. Soporte aceptable a través de web.</p>	<p>Tarjeta comercial que ha dado algunos errores, posiblemente debidos al diseño físico.</p>
<p>VCC Hot Works [4]</p> 	<p>FPGA Xilinx XC6200. 8 MB RAM. Comunicación a través del bus PCI. Drivers para Win95 y software de aplicación.</p>	<p>Lo más destacable de esta tarjeta es que utiliza una FPGA parcialmente reconfigurable. La comunicación a través del bus PCI y el software para el desarrollo de aplicaciones son interesantes.</p>	<p>La FPGA tiene poca capacidad (en comparación con otras), además que se trata de un modelo que Xilinx ha dejado de fabricar.</p>

Tabla 1: Relación de hardware reconfigurable disponible en el LSR.

3. Experiencias.

En una parte aislada del LSR se realizan tareas de investigación, en las que se desarrollan trabajos relacionados con tesis doctorales y proyectos de investigación oficiales:

- Desarrollo de coprocesadores para el análisis de imágenes del jamón ibérico para la determinación de su calidad.
- Desarrollo de un entorno de acelerado hardware en el tratamiento digital de imágenes.
- Implementación de un procesador aritmético para operaciones de control digital.
- Desarrollo de un procesador paralelo evolutivo para la Identificación de Sistemas.

Respecto a las actividades docentes, se realizan prácticas relacionadas con las asignaturas "Diseño Automático de Sistemas" y "Diseño de Sistemas Digitales Reconfigurables". Estas prácticas ofrecen una amplia variedad de planteamientos, efectuados de forma progresiva, y que permiten realizar trabajos cada vez más complejos. A continuación mencionamos algunas de estas prácticas de forma resumida:

- **MODEL_LAB:** Conjunto de prácticas cortas de modelación de sistemas digitales mediante programación VHDL, hojas de esquemas y máquinas de estados finitos (FSM).

- SUM4. Tutorial para diseñar y prototipar, mediante tarjetas XS40 y Xilinx Demoboard, un sumador de 4 bits siguiendo, paso a paso, todo el ciclo de diseño. También se estudia el retardo de los circuitos por medio del simulador y mediante prototipado hardware, determinando la frecuencia máxima a la que el circuito puede operar.
- COMP4BIT. Desarrollo de un comparador de 4 bit mediante un diseño modular y jerárquico. Prototipado en hardware reconfigurable. Se abandona el carácter de tutorial para que el alumno ponga en práctica sus conocimientos.
- CNT. Diseño mediante diversos estilos de modelación (VHDL, FSM, esquemas) de un contador, prototipado hardware y programación.
- Práctica adicional. Se ofertan varias prácticas distintas, cada una de ellas de desarrollo único para cada alumno. Permiten estas prácticas calibrar el grado de conocimiento y esfuerzo de cada alumno a la hora de utilizar las tecnologías aprendidas con las anteriores prácticas. Estas prácticas son muy variadas. Citamos como ejemplo: Modelado y síntesis de memorias RAM de puerto dual, Unidades Aritmético Lógicas, etc.
- Modelado y síntesis de microprocesadores y controladores digitales. Se trata de prácticas de mayor envergadura, realizadas por equipos de alumnos, en los que se trata de prototipar e implementar un completo procesador, que puede variar de planteamiento (monociclo, multiciclo, repertorios de instrucciones más o menos complejos, unidades de control cableadas o microprogramadas, etc.).

4. Conclusiones

La configuración y puesta en marcha de un laboratorio de sistemas reconfigurables como el descrito ha requerido de un gran esfuerzo de financiación y de formación del profesorado en estas tecnologías. Estos esfuerzos se ven recompensados a la hora de producir una serie de desarrollos útiles en el campo de la computación, al poner de manifiesto la aceleración por medio del hardware de tareas que se realizaban anteriormente mediante software, todo ello utilizando una tecnología emergente y que cada vez cuenta con más soporte y aceptación.

Referencias

- [1] Xilinx Inc. San José, California, EE.UU. <http://www.xilinx.com>
- [2] Xess Inc. EE.UU. <http://www.xess.com>
- [3] Laboratorio de Sistemas Lógicos. Escuela Politécnica Federal de Lausane (Suiza). <http://lslwww.epfl.ch/labomat>
- [4] Virtual Computer Corp. EE.UU. <http://www.vcc.com>