

Uso de Hardware Reconfigurable a través de Servicios Web en Aplicaciones Distribuidas

Javier Sanchez-Pastor, Ivan Gonzalez, Jorge L. Hernandez-Ardieta,
Francisco J. Gomez-Arribas y Javier Martinez

Escuela Politécnica Superior, Universidad Autonoma de Madrid, Cantoblanco E-28049
Madrid, España
{Javier.Sanchez, Ivan.Gonzalez, Jorge.Lopez, Francisco.Gomez,
Javier.Martinez}@ii.uam.es

Resumen. Este artículo propone una solución sencilla para la utilización de *hardware* reconfigurable en el contexto de aplicaciones distribuidas. Se ha elegido la tecnología de Servicios Web para proporcionar el acceso remoto a la plataforma reconfigurable. El objetivo es aprovechar las características propias de este tipo de servicios que facilitan el desarrollo de aplicaciones distribuidas junto con las ventajas de utilizar *hardware* específico para acelerar el tiempo de ejecución de una tarea crítica. En particular, se ha desarrollado un servicio web para ofrecer, de forma remota, toda la funcionalidad de la plataforma RC1000PP a través de Internet. Además de las funciones básicas se propone una metodología para el desarrollo de rutinas especializadas de alto nivel, que una vez publicadas, se ofertan para su integración como elemento de proceso en una aplicación distribuida. Con un ejemplo se comprueban las ventajas de esta metodología y se presentan los resultados preliminares del desarrollo de una aplicación.

1 Introducción

Internet ha permitido que se extienda el uso en remoto de plataformas reconfigurables integradas en laboratorios Web [1, 2] accesibles desde cualquier lugar y en cualquier momento. La funcionalidad que se ofrece al usuario facilita el uso de la plataforma y permite por ejemplo que estudiantes puedan realizar prácticas de laboratorio relacionadas con la docencia en el área de la electrónica digital.

Un proyecto más ambicioso trata de extender la utilización del hardware reconfigurable, accesible desde Internet, en el entorno de aplicaciones distribuidas. Tanto la computación distribuida como la computación reconfigurable aportan cada una sus propias ventajas y el objetivo final es explotar la sinergia de estas dos tecnologías complementarias.

En la actualidad, gran parte de las aplicaciones distribuidas se basan en PCs organizados como clusters embebidos en una infraestructura de comunicaciones. Recientemente, también se han dado a conocer implementaciones de clusters basados en hardware reconfigurable [3, 4]. Sin embargo estos trabajos presentan arquitecturas muy complejas. En este artículo se presenta una solución sencilla para usar hardware

reconfigurable en el proceso de desarrollo de aplicaciones distribuidas. Se ha seleccionado la tecnología de Servicios Web para usar en remoto la plataforma RC1000PP de Celoxica. Este primer paso proporciona toda la funcionalidad de la plataforma mediante un Servicio Web. De este modo cualquier usuario con conexión a Internet y con una librería de acceso a Servicios Web, muy extendidas hoy en día, puede diseñar y ejecutar aplicaciones en la plataforma remota.

El paso siguiente consiste en aprovechar las ventajas de los Servicios Web y del hardware reconfigurable para usarlo dentro del ámbito de las aplicaciones distribuidas. En este trabajo se propone una metodología de desarrollo y se presenta un ejemplo de su utilización para finalizar con las conclusiones y nuevas propuestas para trabajo futuro.

2 Servicios Web

Un servicio web es un conjunto de rutinas relacionadas que pueden ser invocadas remotamente a través de la red, normalmente Internet. Hay dos entidades en la tecnología de los servicios web, un servidor que ofrece la colección de rutinas y un cliente que solicita dicho servicio mediante un programa remoto. El cliente buscará un servicio específico que implemente la funcionalidad requerida. Este servicio puede ser ofertado por un único servidor o por varios servidores distribuidos a través de Internet. Esto es posible gracias a que todas las entidades (tanto clientes como servidores) usan el mismo protocolo para comunicarse entre ellos.

La principal ventaja de los Servicios Web frente a otras tecnologías similares como CORBA o RPC es la interoperabilidad entre clientes y servidores. Esto permite no sólo independencia en el lenguaje de desarrollo utilizado para generarlos sino también independencia en el sistema operativo usado y el hardware sobre el que se ejecutan. Esta interoperabilidad es posible debido al uso de un protocolo estándar para el intercambio de información, SOAP [5]. SOAP es un protocolo para el intercambio de información estructurada en un entorno distribuido. Como protocolo de transporte utiliza HTTP, lo cual le hace idóneo para ser usado en Internet.

El primer paso para implementar un Servicio Web es definir toda la funcionalidad que queremos ofrecer al cliente. A continuación se implementan los métodos que serán invocados por los clientes a través de Internet. El servicio web implementado puede ser publicado en un registro donde los clientes pueden buscar aquellos métodos que les interesen, independientemente del servidor que los ofrezca. El cliente, a través de una librería SOAP, puede conectarse con el servidor directamente o mediante el registro invocando el método correspondiente.

Una de las características más importantes de un Servicio Web es que es posible publicarlo y acceder a él desde cualquier lugar a través de Internet. UDDI [6] es el registro donde se almacena la información referente al servicio web en forma de documento WSDL [7]. A través de este registro, un usuario o una aplicación pueden acceder a cualquiera de los métodos de cualquier servicio publicado en él. Para ello, se realiza una petición al UDDI en la que se indicará el método que se quiere ejecutar, y éste, buscará en cada uno de los documentos WSDL que tiene almacenados, devolviendo la url del servicio más apropiado, que incluya dicho método.

3 Uso remoto de una plataforma reconfigurable a través de Servicios Web

Con el objetivo de controlar en remoto una plataforma reconfigurable a través de Servicios Web, es necesario resolver dos cuestiones. En primer lugar, se requiere tener disponibles las herramientas de diseño específicas para el dispositivo reconfigurable, que permiten generar el fichero de configuración. Por otro lado, es necesario ofrecer la funcionalidad de manejo de la plataforma, que permite cargar el fichero de configuración, configurar el reloj, el intercambio de datos, etc.

3.1 Herramientas remotas para el diseño

Uno de los objetivos principales de este trabajo es ofrecer al usuario un acceso remoto a todos los recursos reconfigurables. Para ello las herramientas de diseño de los fabricantes para el manejo de dichos recursos deben ser también accesibles remotamente [2]. Por este motivo se ha desarrollado un servicio web que ofrece a través de Internet dichas herramientas. Este servicio permite además cerrar el ciclo de trabajo en el diseño, puesto que para ello el usuario ya tiene disponible todo lo necesario. Los métodos que componen el servicio devuelven los ficheros de salida del diseño y los de “log” de cada etapa.

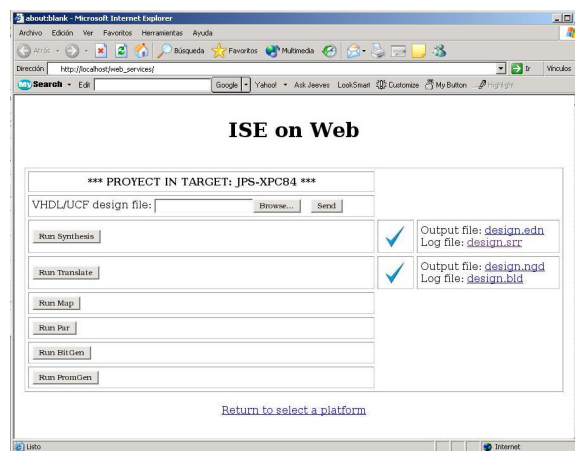


Fig. 2. Interfaz para el manejo remoto de las herramientas de diseño

Para facilitar la labor al usuario final, se ha desarrollado una interfaz web (figura 2) mediante la cual se pueden realizar todas las operaciones que son ofrecidas remotamente por el servicio¹. Actualmente dichas operaciones son las siguientes: seleccio-

¹ Debido a restricciones en la licencia, el servicio web para el manejo de las herramientas de diseño no está disponible para acceso externo.

nar la plataforma reconfigurable con la que trabajar, enviar los ficheros de diseño .vhd y los ficheros de restricciones .ucf y, por último, ejecutar las diferentes etapas de diseño para dichos ficheros. Estas etapas se muestran en la figura 2. La plataforma disponible en nuestro laboratorio está basada en diferentes tipos de tarjetas reconfigurables: Virtex/E y Spartan II.

3.2 Control remoto de una plataforma reconfigurable

La tarjeta de hardware reconfigurable seleccionada es la RC1000PP de Celoxica. Es una placa PCI, que incluye una librería C que permite realizar todas las operaciones necesarias sobre la plataforma, desde el PC: configurar la FPGA, ajustar la frecuencia de reloj, intercambiar datos entre el diseño hardware y el PC usando memoria compartida,...

Para acceder remotamente a la plataforma, se ha desarrollado un servicio web que implementa todas las funciones contenidas en la librería C disponible con la plataforma. El uso remoto de estas funciones es similar al original, manteniendo los mismos parámetros de entrada, de salida y el mismo nombre de la función. Esto permite adaptar de manera sencilla aplicaciones locales que usen la plataforma convirtiéndolas en remotas de forma que en cada función de manejo de la tarjeta, no hay una comunicación directa sino que se invoca remotamente al método correspondiente del servicio web implementado. La Tabla 2 compara algunas de las funciones de la librería original de manejo de la placa, escrita en C, con la implementación correspondiente del servicio web escrito en Python. El servicio web se ha realizado en Python, por su versatilidad y la fácil adaptación de librerías C en módulos Python.

Librería C
- RC1000OpenFirstCard(&card);
- RC1000ConfigureFromFile(card, "../bit/dma_des.bit");
- RC1000SetClockRate(card, RC1000_MCLK, 6000000);
- RC1000RequestMemoryBank(card, 0x1);
Módulo Python- Cliente del Servicio Web
- card = rc1000remote.openFirstCard()
- rc1000remote.configureFromFile(card, "../bit/dma_des.bit")
- rc1000remote.setClockRate(card, "MCLK", 6000000)
- rc1000remote.requestMemoryBank(card, 0x1)

Tabla 2. Funciones de control remoto de la plataforma

Como ejemplo, se ha adaptado una aplicación C que emplea el algoritmo criptográfico DES para cifrar y descifrar imágenes utilizando la plataforma reconfigurable localmente. Esta nueva aplicación cliente nos permite comprobar el servicio web de manejo de la plataforma. Se han implementado dos clientes, uno web escrito en PHP y otro no-web escrito en Python (figura 3). Ambos programas son muy similares, excepto por las diferencias que imponen la sintaxis en ambos lenguajes así como las llamadas a las funciones de la librería SOAP.

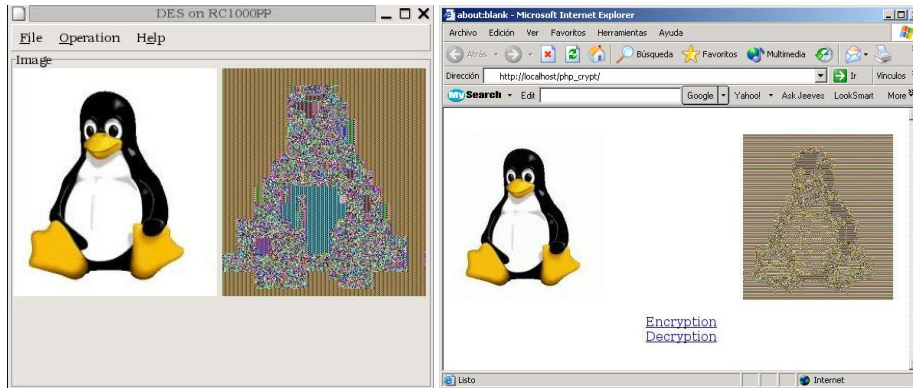


Fig. 3. Cliente visual y cliente web de la aplicación de cifrado

3.3 Metodología para desarrollo de funciones hardware de uso remoto

El uso de la plataforma reconfigurable RC1000 a través de un servicio web permite a cualquier usuario diseñar aplicaciones y verificar su funcionamiento.

Sin embargo, el uso de las funciones remotas que componen el servicio web podría presentar desventajas para algunas aplicaciones. Esto es debido a que cuando una función es invocada, el tiempo de respuesta es la suma del tiempo de la ejecución de la función en el servidor remoto y el tiempo de envío y recepción de los datos. El protocolo SOAP presenta un bajo rendimiento para funciones simples que envían o reciben poca cantidad de bytes de datos. Por lo tanto, la aplicación tiene una gran penalización en tiempo por el hecho de ejecutarse remotamente. Para evitar esta desventaja es necesario considerar una metodología para el diseño de las funciones que componen el servicio web. La metodología propuesta es la siguiente:

- Las funciones elementales del servicio web basadas en la librería C son utilizadas como una primera aproximación con el objetivo de diseñar aplicaciones de manera rápida y comprobar de manera sencilla su correcto funcionamiento.
- Una vez que se comprueba que la aplicación cliente desarrollada en base a las funciones anteriores se ejecuta correctamente, se pueden añadir nuevas funciones al servicio web. Estas nuevas funciones deben implementar un nivel superior del manejo de la plataforma y además ser específicas de la aplicación. Cada nueva función consiste en varias llamadas a funciones elementales pero ejecutadas localmente en el servidor. De alguna forma se reduce la complejidad de la aplicación cliente incrementando dicha complejidad en las funciones del servicio web. Usando estas nuevas funciones disminuye el número de llamadas a funciones remotas que se deben realizar desde la aplicación cliente, por tanto el tiempo de ejecución de la aplicación es menor, consiguiéndose un rendimiento mayor.
- Finalmente, si el rendimiento no es lo suficientemente bueno, es posible añadir una nueva función al servicio, que implemente toda la funcionalidad de la

aplicación, y así únicamente se hará una llamada remota, que ejecutará localmente toda la aplicación. Esta nueva aproximación reduce al mínimo toda la comunicación y permite obtener el mejor rendimiento.

Esta metodología permite crear una librería basada en funciones que utilizan módulos hardware específicos para usarla en diferentes aplicaciones al igual que una librería convencional. Usando esta metodología, se han añadido nuevas funciones al servicio web que han permitido acelerar el proceso de cifrado/descifrado de la aplicación mostrada previamente. Estas nuevas funciones reducen la carga de la comunicación entre la aplicación software y la plataforma de hardware reconfigurable, permitiendo un rendimiento mejor. Otra ventaja es la transparencia del uso de las nuevas funciones hardware en cualquier aplicación software, que permite a los diseñadores de software usar hardware reconfigurable con suma facilidad.

4 Aplicaciones Distribuidas

Un sistema distribuido se caracteriza por tener un conjunto de elementos de procesamiento, intercomunicados a través de una red de comunicación y que cooperan para conseguir un objetivo común. Una aplicación distribuida debe planificarse en tareas independientes de tal forma que cada uno de ellas pueda ejecutarse en un elemento de procesamiento de un sistema distribuido, mediante una estrategia que reparta los datos o la propia funcionalidad.

Teniendo en cuenta las características de los Servicios Web descritos en la sección 2, se propone esta tecnología como una alternativa idónea para la implementación de aplicaciones distribuidas. La principal razón es que intrínsecamente consigue una gran interoperabilidad entre los elementos de procesamiento y una comunicación vía Internet.

Las aplicaciones distribuidas pueden aprovechar todo el potencial del hardware reconfigurable. Una tarea desarrollada en hardware específico alcanza un rendimiento mayor que si ésta se ejecutase en un microprocesador de propósito general. Por lo tanto, la integración a través de servicios web de estas tareas desarrolladas en hardware reconfigurable en una aplicación distribuida es una solución muy apropiada.

El desarrollo de la aplicación sería el siguiente: se parte de un conjunto de plataformas reconfigurables distribuidas a través de Internet y controladas mediante Servicios Web. Cada una de las plataformas registra su funcionalidad en un UDDI que la publica para los usuarios que quieran acceder a ella. De esta forma un usuario que esté implementando una aplicación distribuida simplemente tendrá que acceder al UDDI para obtener las plataformas disponibles para una cierta funcionalidad, repartiendo la aplicación entre tareas ejecutadas en cada plataforma. En este caso, los métodos que componen los servicios web de las plataformas, son métodos de alto nivel desarrollados conforme a la metodología descrita en la sección 3.3 y que son específicos para una determinada aplicación.

4.1 Ejemplo de aplicación distribuida en hardware reconfigurable vía Servicios Web

El ejemplo utilizado como caso de estudio se basa en la aplicación criptográfica tratada con anterioridad, pero convirtiéndola en una aplicación distribuida.

Se plantea que cada una de las plataformas disponible implemente como métodos de alto nivel del servicio Web el cifrado y descifrado de un conjunto de datos con un algoritmo determinado. De este modo, el servicio web está compuesto por métodos de cifrado y descifrado que son publicados dentro del UDDI . La aplicación cliente, accediendo al UDDI y, obteniendo las plataformas disponibles, repartirá la carga computacional del cifrado y descifrado entre ellas sin conocer exactamente qué dispositivo está realizando qué tarea.

El número de recursos reconfigurables en la plataforma RC1000PP de Celoxica existente en nuestro laboratorio utilizados para implementar los métodos de alto nivel descritos anteriormente es sólo una parte del total de recursos de la plataforma. Con el fin de optimizar dichos recursos se han implementado en la FPGA varios servicios que van a ser publicados dentro del UDDI como servicios web independientes. En este caso todos los servicios realizan la misma función consistente en cifrar un conjunto de datos con el mismo algoritmo. De este modo el usuario accede al UDDI y la información referente a todos los servicios que ofrezcan el método de cifrar, enviando a cada uno de ellos un conjunto de datos de la imagen final. Otra prueba se ha realizado cargando dentro de la FPGA diferentes servicios, por ejemplo, cifrando datos con diferentes algoritmos, de forma que el usuario envía parte de los datos de una imagen y obtiene los resultados de haberla cifrado de acuerdo a un determinado algoritmo.

También se plantea la posibilidad de tener en la plataforma varios servicios que puedan modificarse con mayor flexibilidad. Para ello se han implementado dos servicios Web que implementan dos sistemas de cifrado. Cada servicio utiliza como hardware configurable un microprocesador MicroBlaze [8] que usa un banco de memoria compartida de 2 MBytes para el intercambio de datos con el PC. Continuando con la aplicación de cifrado mostrada previamente, se ha utilizado uno de los microprocesadores para cifrar/descifrar usando el algoritmo DES, y el otro usando el algoritmo IDEA. Esta solución tiene el inconveniente de que el hardware no está optimizado para el algoritmo de cifrado a realizar, sin embargo tiene la ventaja de que permite dinámicamente modificar la aplicación ejecutada por el microprocesador, sin más que cargar en la memoria de código el algoritmo de cifrado que se desee utilizar.

5 Conclusiones y Trabajo futuro

En este trabajo se ha presentado la tecnología de los Servicios Web como una solución para integrar de forma transparente hardware reconfigurable en aplicaciones software típicas.

La primera aproximación para usar la tecnología de los Servicios Web fue diseñar un servicio web que gestionara de forma remota herramientas de diseño de hardware reconfigurable. Para usar este servicio web se ha diseñado una aplicación web. El

siguiente paso ha sido diseñar un nuevo servicio web para gestionar remotamente una plataforma reconfigurable específica, la placa RC1000PP de Celoxica. Este servicio web permite el control de la plataforma mediante el uso de una librería de acceso. Estas dos aproximaciones permiten la gestión de la placa de la misma forma que si se hiciese localmente. Sin embargo, la latencia de transmisión requiere el diseño de funciones específicas a incluir en los servicios web, para acelerar la realización de la aplicación. Para desarrollar estas nuevas funciones se ha propuesto una metodología adecuada.

Finalmente, se ha mostrado la posibilidad del uso de recursos reconfigurables en aplicaciones distribuidas. El uso de funciones hardware en Servicios Web permite a las aplicaciones software usar hardware reconfigurable para acelerar el proceso de ejecución de tareas críticas.

Los servicios web diseñados para implementar las funciones hardware requieren que las plataformas reconfigurables estén incluidas en la arquitectura del PC. Sin embargo, las nuevas plataformas reconfigurables disponibles con microprocesadores embebidos permitirán el uso de servicios web que se ejecutan en la misma plataforma.

Otros trabajos futuros son el desarrollo de una aplicación, que en base a la información registrada en el UDDI, realice la distribución automática de la carga en las diferentes plataformas, abstrayendo así al usuario todo ese proceso.

Agradecimientos

Este trabajo ha sido financiado por la Comunidad Autónoma de Madrid con el número de proyecto 07T/0052/2003-3, y parcialmente financiado por el Programa Europeo No: 100671-CP-1-2002-1-FR-MINERVA-M.

Referencias

1. S. Hauck, "The Future of Reconfigurable Systems", Proceedings of the 5th Canadian Conference on Field Programmable Devices, June 1998.
2. Ivan Gonzalez, Ruben Cabello, Francisco Gomez-Arribas, Javier Martinez "Labomat-Web: A Web Laboratory Based on Reconfigurable Computing Technology" *International Conference on Engineering Education (ICEE 2003)*, July 21–25, 2003, Valencia, Spain.
3. J. M. Lehrter, F. N. Abu-Khzam, D. W. Bouldin, M. A. Langston and G. D. Peterson, "On Special-Purpose Hardware Clusters for High-Performance Computational Grids", *Proceedings International Conference on Parallel and Distributed Computing and Systems*, 2002
4. D. F. Newport and D. W. Bouldin, "Using Configurable Computing Systems", *Computer Engineering Handbook*, V. Oklobdzija, editor, CRC Press, 2001.
5. SOAP Specification (<http://www.w3.org/TR/soap/>)
6. UDDI Web Site (<http://www.uddi.org/>)
7. WSDL Spec. (<http://www.w3.org/TR/wsdl/>)
8. MicroBlaze Spec. (http://www.xilinx.com/xlnx/xil_prodcat_product.jsp?title=microblaze)