

## Kit didactico para la enseñanza de sistemas embebidos

**S. Roatta, G. Minnucci, G. Gennai, S. Geninatti**

Escuela de Ingeniería Electronica,  
Facultad de Ciencias Exactas, Ingeniería y Agrimensura,  
Universidad Nacional de Rosario.  
sroatta@eie.fceia.unr.edu.ar

### Resumen

Este artículo presenta un modelo de herramienta didáctica para el abordaje de los sistemas digitales embebidos en cursos universitarios. Se comienza estudiando el estado del arte con una visión crítica, analizando las estrategias utilizadas en el ámbito profesional y académico. Se evalúan distintas alternativas para implementación, entre ellas el impacto que los dispositivos lógicos programables han producido en la disciplina. Finalmente se presentan algunas ideas para la construcción de una herramienta didáctica útil y eficiente.

**Palabras claves:** sistemas embebidos, computadoras embebidas.

### 1. Introducción

Un sistema embebido, también conocido como sistema dedicado, es una combinación de hardware, software y, eventualmente componentes mecánicos diseñados para realizar una función específica. El hardware puede estar basado en un microcontrolador, un microprocesador de uso general, o un microprocesador de uso específico (por ejemplo un dsp). Completan el circuito otros componentes electrónicos de acuerdo a la aplicación que se está implementando. Dentro de estos otros elementos de hardware podemos contar con componentes digitales (circuito digital que cumple una función específica sin tener su propio software de control), componentes analógicos (circuito analógico que cumple una función específica sin tener su propio software de control), bloques de lógica combinatoria y componentes en general (que realizan una función específica y que tienen su propio software de control). El tipo y la cantidad de componentes de hardware de un sistema dependen exclusivamente de la aplicación que se está implementando. El software del sistema es el encargado de hacer que los distintos componentes de éste realicen las funciones en los tiempos definidos y de acuerdo a sus requerimientos. Este software está asociado al microprocesador, microcontrolador o DSP e interactúa con los otros componentes a través de buses de datos, buses de control, sistemas DMA y puertos de control. Esta enorme diversidad de aproximaciones al momento del diseño de un sistema embebido plantea las mismas alternativas en la construcción de una herramienta didáctica. Es posible elegir entre dos líneas perfectamente definidas, cada una de ellas con sus ventajas e inconvenientes. Es indudable que el abordaje mediante microprocesadores o sistemas abiertos permite estudiar la problemática de manera general y amplia. Los microcontroladores ofrecen una perspectiva más restringida, ocultando aspectos importantes para la formación de los alumnos como por ejemplo la conexión de dispositivos a buses. La evolución tecnológica de los kits de desarrollo, con el objeto de proveer herramientas de diseño práctico y económico, profundizaron su evolución sobre sistemas basados en microcontroladores. Estos sistemas, buscando economía y rapidez en el proceso de desarrollo priorizaron la facilidad de uso y la rápida obtención de resultados por encima del valor conceptual que brindaban aquellos basados en sistemas abiertos. La ausencia de kits didácticos para la enseñanza de sistemas embebidos con microprocesadores ha obligado a muchos docentes a resignarse a la enseñanza

mediante sistemas cerrados, privando a los alumnos de una visión más completa y de mayor valor conceptual. Un primer objetivo de este trabajo fue diseñar y construir un kit de desarrollo de sistemas abiertos para utilizar como herramienta didáctica en cursos avanzados de electrónica digital. Los alcances del proyecto incluyen la incorporación de dispositivos lógicos programables para toda la lógica que rodea al microprocesador. Dos son los motivos que impulsaron esta decisión. Primero, generar un sistema flexible, capaz de ser modificado, actualizado y/o rediseñado. Segundo, presentar a los alumnos un sistema de microcómputo construido con FPGAs y PLDs, tecnología que ya comienza a prevalecer en el mercado y que sin duda será dominante en los próximos años. El proyecto permite a los alumnos abordar desde conceptos básicos como la organización y arquitectura de sistemas de microcómputo abiertos del modelo de John Von Neuman hasta la computación reconfigurable, una nueva disciplina que ha nacido a partir de la existencia de la tecnología de lógica programable y el diseño mediante lenguajes de descripción de hardware. La estructura general de este artículo presenta en orden cronológico las etapas concluidas hasta el momento. Se muestran los modelos de implementación de herramientas didácticas disponibles en otras universidades y la solución que hemos elegido en el área digital de la carrera de Ingeniería Electrónica de la Universidad Nacional de Rosario.

## 2. Estado del Arte

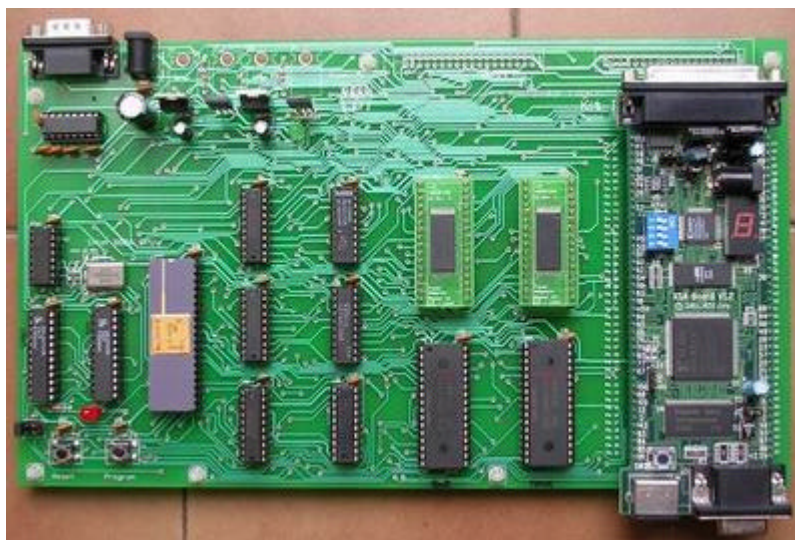
El interés por el desarrollo de kits didácticos para la enseñanza de sistemas de microcómputo es de larga data. Desde los años 70 -en donde aparece el primer microprocesador- es posible encontrar sistemas de desarrollo con el objetivo de iniciar a los ingenieros de entonces en la disciplina que nacía. La ausencia de expertos en el tema obligaba a los fabricantes de microprocesadores a incluir tutoriales, ejemplos de valor didáctico y cursos introductorios. En nuestra facultad el primer antecedente lo encontramos también en los años 70. La asignatura Tecnología de la Informática de la carrera de Ingeniería Electricista con orientación electrónica adquiere kits de desarrollo para el microprocesador 6800 con el cual los alumnos comienzan a tomar contacto con el diseño de sistemas abiertos. Por aquellos años no existía diferencia entre sistemas de desarrollo y sistemas didácticos, ambos conceptos se confundían entre sí. Con el devenir de nuevos planes de estudio y la creación de la carrera de Ingeniería Electrónica, las asignaturas del área digital reemplazaron los viejos kits por actividades sobre circuitos impresos que el mismo alumno diseñaba. Sin embargo, con la puesta en marcha del actual plan de estudios con asignaturas cuatrimestrales ha vuelto impracticable esta última alternativa, por lo que se hace imprescindible retornar a los kits didácticos. El último Workshop on Embedded Systems Educations de la ACM celebrado recientemente en setiembre de 2005 en New Jersey USA, reafirma la importancia que estas herramientas tienen como apoyo a la enseñanza en carreras universitaria de grado y de posgrado. Las referencias bibliográficas resumen la diversidad de criterios existentes en materia de sistemas embebidos tanto desde el punto de vista de los desarrolladores que implementan soluciones para la industria como el desde el ámbito académico. Una aproximación clásica [1] es la que prioriza el estudio del ciclo de vida de un diseño embebido de manera independiente del hardware de implementación elegido: microprocesador, microcontrolador o lógica programable. También se puede presentar la problemática desde un punto de vista tecnológico [2], si se supone que este tipo de problemas son de complejidad superior a los que ofrece el diseño lógico. Algunos autores se limitan a simplemente dar consejos prácticos [3], otros recurren a microprocesadores de arquitectura muy específica, como por ejemplo VLIW [4] y otros presentan la solución a problemas específicos [5].

Por otro lado, con el desarrollo de la computación reconfigurable, el diseño de kits didácticos ha tomado un nuevo rumbo en los últimos años. La aparición de esta tecnología produce un quiebre, revalorizando desde un plano innovador los conceptos básicos relacionados a los sistemas abiertos. Algunas universidades siguen mostrando la tendencia clásica de implementación mediante microprocesadores, la Universidad de Princeton [6] ha empleado en los últimos años el procesador motorola 68020 programado en ensamblador y el Intel i960 programado en C. Con una concepción

totalmente distinta, la Universidad de Columbia [7] desarrolla los sistemas embebidos exclusivamente en FPGAs. Un modelo interesante [8] es el propuesto por el proyecto que llevan adelante la Universidad de Manchester, la Universidad de Londres y la Universidad de Nueva Gales del Sur, que consiste en producir un ambiente que replique las practicas industriales de diseño de sistemas embebidos. En este modelo, el sistema embebido se construye sobre un microcontrolador ARM con sus periféricos desarrollados sobre FPGAs. En la siguiente sección se muestra la arquitectura de un sistema que responde a esta idea.

### 3. Arquitectura del Sistema

El prototipo de la figura 1 está basado en un procesador 8086, su sistema de memoria y la posibilidad de incorporar diversos dispositivos de E/S. No solo es adecuado para testear programas de la familia x86, sino también para desarrollar periféricos con lógica programable tipo CPLD o FPGA, utilizando un kit de desarrollo Xess XSA-50 como periférico programable o un periférico diseñado a medida. Esto trae como consecuencia un importante grado de versatilidad. Una primera aplicación del producto es en cursos iniciales de microprocesadores u organización de computadoras en donde el objetivo es que el alumno ejecute programas en ensamblador x86 sobre un sistema embebido. También es posible utilizarlo en cursos avanzados de lógica programable en donde el alumno diseña su periférico en algún lenguaje de descripción de hardware. Esto cubre prácticamente toda la gama de asignaturas del área de electrónica digital de la carrera de Ingeniería Electrónica de la Universidad Nacional de Rosario.



**Fig. 1.** Kit didáctico para sistemas embebidos.

La operación del sistema es muy sencilla. La comunicación serie RS232 a PC permite el almacenamiento de los programas desarrollados de manera directa sobre la memoria flash del sistema pudiendo el alumno modificarla cuantas veces sea necesario. Se implementaron dos modos de funcionamiento que permiten la prueba de los diferentes programas de manera sencilla y rápida, el modo programación y el modo usuario. En el modo programación se gestiona la comunicación serie a una computadora personal, permitiendo grabar los programas en la memoria de usuario interna del sistema. Incorpora un bootloader y permite además realizar tareas de depuración vía PC. En el modo

usuario es posible acceder a los siguientes dispositivos: 1 Mb Flash ROM paginada para memoria de programa, 256 Kb SRAM de memoria de datos, registros de activación de tick por NMI, registros de paginación, registros del puerto serie RS232 y los periféricos programables mapeados en I/O. Además de la placa de desarrollo mostrada en la fig. 1 el sistema incluye un zócalo de conexión a XSA-50 o periférico a medida, el cable de comunicación RS232 a PC, la fuente de alimentación y un CD-ROM conteniendo el entorno de programación, editores, ensambladores, simuladores, manual de usuario, plano esquemático del circuito y notas de aplicación.

#### **4. Transferencia**

Las perspectivas de transferencia son inmejorables. Es un hecho que la casi totalidad de las carreras de ingeniería de la República Argentina han organizado sus planes de estudios en asignaturas cuatrimestrales, lo que obliga a los docentes a extremar detalles en los cronogramas de actividades, ahora acotados en su extensión. Será de gran utilidad disponer de una herramienta que permita a una asignatura cuatrimestral abordar estos temas con un mínimo esfuerzo de implementación

#### **5. Conclusiones**

El prototipo de la fig. 1 ha superado las pruebas y está completamente operativo. Para el curso 2007 de la asignatura Digital III se espera tener en funcionamiento diez unidades. Las soluciones que este proyecto se plantea como objetivo son cada vez más buscadas por su adaptabilidad de bajo costo, y ponen al alcance de las universidades tecnologías que son y serán en el futuro, cada vez más usuales en el ámbito de acción de los profesionales del campo. El proyecto pretende acercar estas tecnologías al ámbito académico de manera de contribuir al desarrollo profesional de los actores de este ámbito y sobre todo a los alumnos de las carreras de grado ya que les posibilitará ampliar sus conocimientos sobre el campo, brindándoles herramientas útiles para abaratar costos de desarrollo de nuevos sistemas hasta ahora vedados a desarrolladores con poca infraestructura o recursos instrumentales. La reducción creativa de los costos de desarrollo de implementaciones tecnológicas es un factor clave para añadir competitividad e innovación tecnológica en la región.

#### **Referencias**

1. Berger A., Embedded Systems Design: An Introduction to Processes, Tools, and Techniques. CMP Books (2000)
2. Arnold K., Embedded Controller Hardware Design. LLH Technology Publishing (2001)
3. Ganssle J., The Art of Designing Embedded Systems (2000).
4. Fischer J., Faraboschi P., Young, C., Embedded Computing: A VLIW Approach to Architecture, Compilers, and Tools. Morgan Kaufman (2005)
5. Bentham J., TCP/IP Lean, Web Servers for Embedded Systems Second Edition. CMP Books (2002)
6. Madsen J., Embedded Systems Education for the Future W Wolf, Proceedings of the IEEE, vol 88, No 1, January (2000)
7. Edwards S., Experiences Teaching an FPGA-based Embedded Systems Class, Department of Computer Science Columbia University, (2005).
8. Nooshabadi1, S., Garside, J., Teaching Embedded Systems Design. An International Collaborative Project, , 35th ASEE/IEEE Frontiers in Education Conference (2005)