

Técnicas de Optimización de Soluciones en Sistemas Embebidos

Marcelo Tosini, Lucas Leiva, Martín Vázquez, Oscar Goñi, Juan Toloza

LabSET - INTIA - UNICEN, Tandil, Argentina

{mtosini, lleiva, mvazquez, oegoni, jmtoloza}@labset.exa.unicen.edu.ar

RESUMEN

Se presentan los aspectos relevantes de un proyecto de investigación y desarrollo abordado en el Laboratorio de Sistemas Embebidos -LabSET- del Instituto INTIA de la UNCPBA. Este proyecto fue oportunamente aprobado en el marco de los incentivos a la investigación y busca como objetivos generales el trabajo conjunto tendiente a desarrollar técnicas para optimizar soluciones de hardware y software aplicadas a sistemas embebidos.

Conjuntamente se realiza la formación de parte de los integrantes del laboratorio quienes se encuentran realizando sus estudios de posgrado en temas afines al proyecto.

El proyecto busca desarrollar tareas de investigación y desarrollo en temas relacionados a los sistemas embebidos, tanto en aspectos de software como de hardware. De este modo se busca desarrollar soluciones a problemas en áreas como visualización, aritmética de computadoras, sensores, etc. no solo desde el punto de vista algorítmico sino a partir de su implementación en sistemas de hardware programable como FPGAs.

Palabras clave: sistemas embebidos, tiempo real, procesamiento de imágenes, aritmética decimal.

CONTEXTO

La presente propuesta continúa la línea de trabajo del proyecto de Incentivos “Diseño de sistemas Embebidos de alto Rendimiento” (03/C257) llevado adelante por el grupo de Sistemas Digitales del INTIA durante el período 2015 a 2017 y financiado por SeCAT de UNICEN. La presente propuesta busca extender y especializar a la original con una permanente filosofía de trabajo orientada a la

generación de soluciones informáticas para la resolución de problemas en sistemas digitales en general, y embebidos en particular; fuertemente relacionados con la lógica programable.

El contexto tecnológico de esta propuesta es la generación de soluciones informáticas que resuelvan problemas en el ámbito de los llamados sistemas embebidos, en general, y relacionados en particular con la lógica programable basada tanto en FPGAs como en SoC FPGAs.

El objetivo principal de la nueva propuesta es continuar con el estudio de soluciones de hardware (sensores, operaciones aritméticas, procesadores dedicados y coprocesadores) y software (aplicaciones de control y procesamiento digital de señales – imágenes, audio, video) orientados al desarrollo de sistemas dedicados de alta performance para su uso en sistemas de control, procesamiento e IoT (Internet of Things).

1. INTRODUCCIÓN

Se define como sistema embebido [1] a todo equipo o dispositivo electrónico que permite realizar algún procesamiento de datos, pero que, a diferencia de una computadora de propósito general, se diseña para cumplir una función determinada. El mercado global de sistemas embebidos ha evolucionado considerablemente en los últimos años. Esto incluye la tecnología y las industrias atendidas. Con el advenimiento de IoT y el IoT industrial (IIoT), la tecnología de sistemas embebidos se ha convertido en un facilitador para la rápida expansión mundial de ecosistemas IoT inteligentes y conectados [2]. El mercado de sistemas embebidos

incluye comunicaciones, industria automotriz, aeroespacial, electrónica de consumo, sistemas militares, controles industriales y otros sectores, como las ciudades inteligentes (Smart Cities).

Los sistemas embebidos ofrecen soluciones transparentes en situaciones comunes, resolviendo problemáticas y tomando decisiones de acuerdo a las condiciones de entrada. Un sistema embebido es una máquina que emplea una combinación de Hardware y Software para realizar una función específica. Es parte de un sistema más grande y trabaja en un ambiente reactivo con restricciones temporales. En estos sistemas el software proporciona flexibilidad y funcionalidad; y el hardware proporciona desempeño y seguridad fomentando la transformación digital de la industria 4.0.

Componentes fundamentales de un sistema embebido son la arquitectura de hardware subyacente (FPGAs [3], SoC FPGAs [4], IPs, ICs), los dispositivos de acceso (fundamentalmente sensores) y el software de control, en general un sistema operativo de tiempo real de altas prestaciones y optimizado para funcionar en sistemas de tiempos óptimos de respuesta, bajo consumo y alta fiabilidad.

De este modo, un objetivo general de la propuesta es el estudio de soluciones de hardware (sensores, aritmética, procesadores dedicados y coprocesadores) y software (sistemas de control acordes para sistemas embebidos y aplicaciones de control) orientados al desarrollo de sistemas dedicados de alta performance. La aplicación de los desarrollos logrados se realiza, preferentemente, en tareas de análisis, detección y control a partir del procesamiento de imágenes como eje motivador de preferencia, sin perjuicio de otros ejes de estudio en los que la inclusión de un sistema embebido sea apropiada y superadora.

2. LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN Y DE DESARROLLO

Las líneas de investigación y desarrollo se enmarcan en dos ejes principales: referente a plataformas Hardware/Software y respecto a las aplicaciones.

2.1 Plataformas Hardware/Software

Las plataformas utilizadas son placas genéricas con microcontroladores, dispositivos programables FPGAs y SoC (System on a Chip) programables. Este eje comprende:

- *Diseño de cores aritméticos*: estudio, diseño e implementación de unidades aritméticas en dispositivos FPGAs, a través del diseño e implementación hardware eficiente de funciones elementales, tales como logaritmo, raíz cuadrada, exponenciación, potencia, etc.
- *Técnicas y mecanismos de aceleración en SoC programables*: Elaboración de técnicas y mecanismos de identificación de rutinas críticas en cuanto a tiempo de cómputo para posterior aceleración. Profundización del estudio y aplicación de técnicas conocidas en síntesis de circuitos digitales descritos en lenguajes de alto nivel (HLS - High Level Synthesis) para sistemas digitales basados en SoC programables. Desarrollo de núcleos genéricos y específicos descritos en lenguajes de descripción de hardware (HDLs).

2.2 Aplicaciones:

- *Procesamiento de señales*: Utilización y desarrollo de técnicas para el procesamiento digital de señales, imágenes, audio, video, entre otras; en sistemas embebidos sobre las plataformas seleccionadas. Particularmente se propone el estudio de técnicas de *Machine Learning*.
- Internet de las cosas o IoT (*Internet of Things*): estudio, adaptación e implementación de protocolos estándares industrializados. El estudio abarca tanto a los sistemas microprocesados y microcontrolados, así como aquellos basados en lógica programable. Además, se pretende aprovechar la capacidad de procesamiento paralelo de las FPGAs para desarrollar e implementar módulos de encriptación de datos.

3. RESULTADOS OBTENIDOS

En el área de aritmética de computadoras los esfuerzos se centraron en la implementación de soluciones optimizantes para la realización de operaciones aritméticas decimales conformes al estándar IEEE 754-2008[5]. En este sentido, se trabajó en el desarrollo de alternativas para operaciones decimales básicas de suma, resta y multiplicación en punto flotante decimal en formato DPD (Densely Packed Decimal), logrando resultados muy competitivos en la implementación de soluciones en dispositivos programables[6].

También se trabajó en soluciones a operaciones más complejas como funciones logaritmos y métodos de cálculo rápido de raíces cuadradas, siempre en formato decimal DPD [7].

Además, se trabaja actualmente en el análisis de comportamiento de soluciones para el redondeo de resultados en punto flotante decimal codificados en binario, Binary

Integer Decimal (BID). Esta línea de trabajo permitió la obtención de un grado doctoral de uno de los integrantes del proyecto y otro trabajo similar se encuentra actualmente en proceso.

Por otra parte, se lograron avances significativos en el área de IoT, llevando adelante un proyecto que implementa monitoreo de parámetros biométricos y la geolocalización de operarios en instalaciones mineras. El mayor desafío de este proyecto es utilizar la incapacidad que poseen las señales de radio para penetrar muros o rocas como entradas de métodos de estimación de distancia y posición. Como resultado, se implementó un método de mejora de estimación de distancia basado en redes neuronales [8].

Se fortaleció la vinculación con otros centros de investigación, como CIVETAN (UNICEN) en donde actualmente se encuentra en desarrollo un sistema embebido para el conteo automático de huevos de parásitos para su aplicación en veterinaria ganadera. El sistema está basado en un sistema de procesamiento de imágenes desarrollado con herramientas de síntesis de alto nivel (HLS), y participa un alumno de la Universidad Nacional de Tres de Febrero.

Además, se generaron vínculos con el Laboratorio de Investigación y Desarrollo de Tecnología en Informática Forense (InFo-Lab) de la Universidad FASTA, investigando sobre el uso de FPGAs aplicadas a la inteligencia artificial, particularmente en SVM y Deep Learning.

Por otra parte, se establecieron vínculos con los responsables del desarrollo de la plataforma EDU-CIAA-FPGA pertenecientes a la Universidad Tecnológica Nacional (UTN-Haedo), a fin de aportar a este proyecto.

Respecto de la transferencia, se logró una vinculación con empresas interesadas en el desarrollo de microemprendimientos

productivos que involucran la generación de soluciones con soporte de sistemas digitales. En este aspecto, se ejecutó un proyecto referente a la convocatoria Universidades Agregando Valor 2018, financiado por SPU. El proyecto fue ejecutado con Satellogic participando como contraparte, con el objetivo de investigar el consumo en algoritmos de compresión embebidos, específicamente sobre FPGAs. El proyecto involucró el análisis de algoritmos de compresión de imágenes y el desarrollo de su arquitecturas eficientes. Algunos de los resultados logrados se encuentran publicados en [9]. Además, se ejecutó un proyecto financiado por la fundación Dr. Manuel Sadosky en su convocatoria Fase Cero, a través de un convenio tripartito entre la Fundación, Redimec SRL y UNICEN. El objetivo del proyecto fue el desarrollo de un dispositivo que permitiera la detección de malezas en tiempo real, para aplicación selectiva, y los resultados se encuentran publicados en [10].

4. FORMACIÓN DE RECURSOS HUMANOS

El equipo de trabajo está integrado por docentes-investigadores, egresados y alumnos de la Universidad Nacional de Centro de la Provincia de Buenos Aires. Cuenta con cinco docentes investigadores (dos doctores en ciencias informáticas, un doctor en matemática computacional e industrial y dos magísteres en sistemas), 5 alumnos de la carrera de ingeniería de sistemas, y un maestrando de la maestría en ingeniería de sistemas. Hasta la fecha, uno de los investigadores ha concluido su doctorado. Además se han dirigido 5 becas de estímulo a la vocación científica (EVC-CIN) y actualmente dos alumnos se encuentran en proceso de admisión. En el transcurso 6 alumnos finalizaron sus tesis de grado. Se

prevé la finalización de 3 tesis de grado más durante este año.

5. BIBLIOGRAFÍA

- [1] Lee, Edward Ashford, and Sanjit A. Seshia. *Introduction to embedded systems: A cyber-physical systems approach*. Mit Press, 2017.
- [2] Kim, J. H. (2017). A review of cyber-physical system research relevant to the emerging IT trends: industry 4.0, IoT, big data, and cloud computing. *Journal of industrial integration and management*, 2(03), 1750011.
- [3] Kilts, Steve. *Advanced FPGA design: architecture, implementation, and optimization*. John Wiley & Sons, 2007.
- [4] Crockett, Louise Helen, et al. *The Zynq Book: Embedded Processing with the Arm Cortex-A9 on the Xilinx Zynq-7000 All Programmable Soc*. Strathclyde Academic Media, 2014.
- [5] IEEE Working Group of the Microprocessor Standards Subcommittee. *IEEE Standard for Floating-Point Arithmetic*. New York: The Institute of Electrical and Electronics Engineers, 2008.
- [6] Vázquez, Martín. *Análisis e implementación de operaciones aritméticas en base diez sobre dispositivos de lógica programable*. Tesis de Doctorado en Matemática Computacional e Industrial, Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires, 2018.
- [7] Vázquez, Martín & Tosini, Marcelo, *Design and Implementation of Decimal Fixed-Point Square Root in LUT-6 FPGAs*, IX Southern Conference on Programmable Logic (SPL), IEEE, Argentina, 78-1-4799-6848-0, 2014.
- [8] Gerez, Agustín, Oscar Enrique Goñi, Lucas Leiva. "Aumento de Precisión en

- Localización Indoor basado en Redes Neuronales." *Elektron* 4.2 (2020): 74-80.
- [9] Leiva, L., Vázquez, M., Tosini, M., Goñi, O., & Noguera, J. (2020). FPGA based implementation of imagezero compression algorithm. *IEEE Latin America Transactions*, 18(02), 344-350.
- [10] Jose Noguera, Lucas Leiva, Oscar Goñi, Martín Vázquez y Marcelo Tosini, "Prototipo de Sistema de Detección de Malezas en Cultivos Basado en SoC", CASE2020