

Redes Inalámbricas de Sensores Inteligentes

D'Agostino E, Corti R, Martínez R., Giandoménico E., Belmonte J.
Departamento de Sistemas e Informática – Facultad de Ciencias Exactas
Ingeniería y Agrimensura - Universidad Nacional de Rosario

Pellegrini 250

4802650

estelad@fceia.unr.edu.ar

Resumen

La línea de investigación abarca diversos aspectos relacionados con el diseño, simulación y prototipado de redes inalámbricas de sensores. El dominio de interés se enfoca en las actividades de supervisión ambiental.

El desarrollo de una Red Inalámbrica de Sensores Inteligentes implica el estudio de aspectos relacionados con elementos software y también de la plataforma hardware de soporte. Por este motivo el equipo de trabajo integra docentes de las áreas digital e informática.

Palabras clave: Algoritmos de encaminamiento, Agregación de datos, Codiseño HW/SW, Redes de Petri, FPGA

Contexto

El Grupo de Redes Inalámbricas de Sensores Inteligentes (GRISI) inicia sus actividades en 2006 trabajando en cinco proyectos acreditados por la UNR, dos de los cuales continúan en ejecución.

El desarrollo de una Red Inalámbrica de Sensores Inteligentes (RISI) implica el estudio de aspectos relacionados con elementos software y también de la plataforma hardware de soporte, particularidad que es tenida en cuenta por los dos proyectos de I+D vigentes, a saber:

IING271: “Redes inalámbricas de sensores para adquisición periódica de datos de baja tasa. Diseño, simulación y prototipado de un algoritmo de encaminamiento jerárquico”

IING278: “Implementación en FPGA de controladores de sistemas secuenciales mediante traducción directa de redes de Petri a código VHDL”

Introducción

El gran avance en comunicaciones y nanotecnologías ha permitido el desarrollo y aplicación de las RISI. Estas redes están constituidas por un conjunto de nodos que adquieren información sobre el ambiente en el que se los despliega y se auto-organizan, adaptándose a topologías cambiantes, para hacer llegar sus mediciones hasta una/s estación/es base. Los dispositivos utilizados deben ser de tamaño reducido y bajo costo, debiendo trabajar bajo fuertes restricciones de energía tratando de maximizar el tiempo de vida útil de la red [1] [2]. Los algoritmos de encaminamiento son un área de trabajo muy importante en redes de comunicaciones, pero las características de las RISI exigen desarrollos específicos que las contemplen. Los algoritmos de encaminamiento jerárquicos basados en clusters [3], proporcionan importantes ventajas para las RISI, respecto a su escalabilidad y eficiencia en la comunicación entre los nodos [4]. En este tipo de redes, los nodos asumen roles diferenciados, ya que en cada cluster existe un nodo coordinador o cabecera (CH) encargado de reunir los datos adquiridos por los nodos miembros del cluster y enviarlos hacia la estación base. Las RISI se utilizan para adquirir información en ambientes de características muy diversas. En particular se las incorpora en aplicaciones

industriales, médicas, agrícolas, de preservación del medio natural o creación de ambientes inteligentes [5]. En las aplicaciones de supervisión ambiental, es usual realizar una adquisición periódica de datos, con el fin de mantener un estado de situación actualizado del fenómeno bajo estudio [6]. En el dominio mencionado las variables de interés están fuertemente correlacionadas tanto espacial como temporalmente, por lo que aplicar alguna técnica de agregación de datos puede resultar muy provechoso. Al incorporar agregación, los algoritmos prolongan la vida útil de la red, reduciendo la cantidad de mensajes a difundir. Asimismo se mejoran las condiciones generales de funcionamiento del sistema, ya que al disminuir la congestión de la red, se reduce la probabilidad de colisiones que ocasionan pérdida de la información colectada.

Los nodos sensores están constituidos por cuatro módulos: adquisición de datos, procesamiento, comunicación y potencia [7]. Cada nodo, de acuerdo a las tareas que realice, puede estar en uno de los siguientes estados: transmisión, recepción, en escucha y apagado. Cuando se apaga, no realiza actividad alguna consumiendo el mínimo de energía posible. Por lo tanto, cuanto más tiempo permanezca un nodo en este último estado, consumirá menos y su tiempo de vida será más prolongado [8].

Los esquemas de manejo de tiempo que existen para sistemas distribuidos no se adaptan directamente a las redes inalámbricas de sensores, ya que no tienen en cuenta las restricciones de las mismas. Cada nodo sensor tiene su propio reloj interno y su propio manejo del tiempo. En las RISI es necesario tener de alguna forma los relojes sincronizados, ya sea para algún esquema TDMA que se planteó, para hacer agregación de datos, o para decidir cuando un conjunto de nodos deben apagarse [9].

Numerosos investigadores trabajan para obtener una implementación hardware del

nodo sensor, orientada a reducir el consumo de energía. El módulo de la unidad de proceso y almacenamiento de cada nodo, se ocupa de realizar todas las tareas inherentes a la implementación del algoritmo de encaminamiento y la elaboración de los mensajes asociados, para transferirlos al módulo de comunicaciones. Por lo tanto, su funcionalidad es fundamental, e involucra una carga de procesamiento potencialmente importante. La misma se reparte entre módulos software y hardware de acuerdo con la naturaleza de las tareas a abordar. La implementación de estos módulos es variada y la comunidad explora distintas opciones.

En aplicaciones donde es preciso modelar evoluciones paralelas y/o recursos compartidos, las Redes de Petri (RdeP) presentan notorias ventajas frente a otras formas de modelado. Se puede asegurar incluso que es posible especificar un sistema mediante una representación por RdeP con mayor claridad y precisión que en muchas otras alternativas de especificación formal [10].

Por otro lado, en el diseño de circuitos digitales electrónicos, la aparición de los lenguajes de descripción de hardware (HDLs, Hardware Description Languages) ha orientado el desarrollo a las técnicas de diseño 'Top-Down' que permiten la descripción del sistema al más alto nivel de abstracción y tienen actualmente una utilización muy difundida en la síntesis automática de circuitos[11]. A partir de estas dos técnicas hoy extensivamente desarrolladas, surge la idea de utilizar como base para la síntesis en dispositivos reconfigurables (Complex Programmable Logic Device-CPLD, Field Programmable Gate Array- FPGA) a las RdeP en forma inmediata, esto es, mediante la traducción, lo más directa posible de la Red a HDL [12].

Los altísimos niveles de integración existentes, y la heterogeneidad de las arquitecturas de los dispositivos reconfigurables actuales, convierten a las

FPGA en integrados dotados de grandes capacidades de cómputo [13]. Actualmente existen numerosos IP cores de procesadores que pueden ser embebidos en dichos dispositivos. Entre ellos se pueden mencionar Nios de la empresa Altera [14], CoreMP7 de Actel [15], y MicroBlaze de Xilinx [16]. En este sentido, se nota un incremento significativo del uso de dispositivos reconfigurables con cores de procesadores embebidos, que en opinión de varios autores parece consolidarse como tendencia firme para el diseño electrónico [17] [18]. Esta perspectiva permite realizar una partición de tareas Hardware/Software (codiseño Hw/Sw) en un mismo integrado (Sistema en un Chip SoC), eliminando las conexiones entre chips y los inconvenientes que traen aparejados [19].

Líneas de investigación y Desarrollo

El trabajo en el área de redes de sensores involucra, como se ha mencionado, el estudio de aspectos software y hardware del sistema. Por lo tanto, los ejes de investigación que contemplan los proyectos del equipo de trabajo son los siguientes:

- Algoritmos de encaminamiento
- Clustering en redes de sensores
- Agregación de datos
- Sincronización de relojes en RISI
- Codiseño HW/SW
- Traducción directa de controladores modelados mediante RdeP a VHDL

Resultados y Objetivos

El objetivo general de los proyectos de investigación encarados consiste en el desarrollo e implementación de un algoritmo de encaminamiento jerárquico en una red de sensores, para aplicaciones de supervisión ambiental, con adquisición

periódica de datos. Los dos proyectos vigentes se enfocan en distintos aspectos .

Objetivos Específicos de 1ING271:

- 1- Definición de las características del algoritmo (CLUDITEM) en base a los requerimientos de las aplicaciones.
- 2- Incorporación de agregación y definición detallada de las rondas de funcionamiento de CLUDITEM
- 3- Análisis y selección de tecnologías de RF en la red de sensores que se adecuen a la aplicación seleccionada
- 4- Determinación de métricas para evaluar el desempeño del algoritmo, mediante simulación en el ambiente NS2.
- 4- Análisis de los métodos de sincronización de relojes existentes, adopción y adecuación del método seleccionado .
- 5- Refinamiento de la arquitectura del nodo aplicando técnicas de codiseño HW/SW.
- 6- Análisis de opciones de implementación de un nodo sensor y prueba de un prototipo reducido de una red inalámbrica de sensores

Objetivos Específicos de 1ING278:

- 1- Desarrollar un método sistemático de traducción RdeP-VHDL
- 2- Desarrollar un compilador en lenguaje de alto nivel, que permita la traducción automática de una RdeP a código VHDL.
- 3- Definir métricas para comparar la síntesis circuital, en una FPGA, obtenida a partir del método desarrollado, con la síntesis que se logra a partir de modelos FSM (máquina de estados).
- 4- Realizar una evaluación cuantitativa y cualitativa del método desarrollado.

Los resultados obtenidos se presentaron en distintos congresos nacionales e internacionales. Además algunos de los

temas relacionados con la carrera de Ingeniería Electrónica se volcaron en las currículas de las asignaturas del área digital.

- “Experiencia Académica sobre incorporación de la metodología de diseño en HDL en una carrera de Ingeniería Electrónica”, Proceedings del FPGA Designer Forum 2010. 6th Southern Programmable Logic Conference. Ipojuca, Porto de galinhas Beach, Brasil 2010.
- "Clustering Dinámico para Tiempo de Encendido Mínimo en Redes Inalámbricas de Sensores (CLUDITEM). Análisis de las fases de envío de datos", Anales de la 36° Conferencia Latinoamericana de Informática, CLEI 2010, Asunción, Paraguay, 2010.
- "Desarrollo de una red inalámbrica de sensores para medición de radiación ultravioleta de aplicación en la salud humana", Revista electrónica de la Universidad Nacional de Rosario. <http://e-universitas.edu.ar/journal/index.php/journal/article/view/38>, 2010.
- “Descripción en VHDL de un Sistema Digital a partir de su Modelización por medio de una Red de Petri”, aceptado para su publicación en los Proceedings del FPGA Designer Forum. 5th Southern Conference on Programmable Logic. Sao Carlos, Brasil 2009.
- “Arquitectura de un nodo con tiempo de encendido mínimo para una red de Sensores Inalámbrica. Prototipo basado en FPGA, aceptado para su publicación en los anales de las Jornadas de Computación Reconfigurable y Aplicaciones. Alcalá de Henares, España, 2009
- “Descripción en VHDL de un Sistema Digital a partir de su Modelización por medio de una Red de Petri”, aceptado para su publicación en los Proceedings del FPGA Designer Forum. 5th Southern Conference on Programmable Logic. Sao Carlos, Brasil 2009.

- “Redes inalámbricas de sensores inteligentes: implementación con FPGA de un algoritmo de establecimiento del árbol de encaminamiento”. Proceedings Southern Conference on Programmable Logic, SPL2008 III, Bariloche, marzo 2008.
- "Algoritmo de encaminamiento para redes inalámbricas de sensores inteligentes". Reporte Técnico, RT-ID-08/04, Universidad Nacional de Rosario, 2008. http://www.fceia.unr.edu.ar/secyt/rt/2008/rtid08_04.pdf
- “Algoritmo de encaminamiento para redes de sensores inalámbricas utilizando técnicas de agregación”. En los Anales del XIII Congreso Argentino de Ciencias de la Computación, Corrientes, Argentina 2007.
- “Experiencia didáctica en una carrera de ingeniería electrónica. Actualización de los contenidos del área digital” Revista Argentina de Enseñanza de la Ingeniería, Año 7, N° 13, Córdoba, 2006.

Finalmente se entregó al Grupo de Energía Solar, FCEIA-IFIR, un prototipo de nodo sensor de radiación UVI para su evaluación y uso en los proyectos que llevan a cabo.

Formación de Recursos Humanos

El grupo de trabajo se formó originalmente con docentes de las áreas de informática y digital del Dpto. de Sistemas e Informática. Dos de las docentes cursaron la Maestría en Ingeniería del Software en la Universidad Nacional de La Plata, una de las cuales envió su tesis “Clustering dinámico para tiempo de encendido mínimo en redes de sensores inalámbricas (CLUDITEM)” para la revisión final.

Otro docente cursó su Doctorado en Ingeniería en el área de Análisis Simulación y Control de Sistemas, en la Universidad de Córdoba, España estando

su tesis “Modelo del planteo de una sembradora neumática. Mapa de siembra implementado con lógica configurable utilizando técnicas de codiseño SW/HW” en desarrollo. En el año 2011 se incorporó al equipo un docente que colabora en los trabajos de programación sobre NS2. Los integrantes del grupo han dirigido distintos proyectos de fin de carrera en temas afines a la línea de investigación.

Actualmente el proyecto final relacionado al tema es “Implementación de un Filtro Digital de Imágenes en FGPA”

Referencias

- [1]. Aboelaze M., Aloul F., “Current and Future Trends in Sensor Networks: A Survey”. In: Proceedings of Wireless and Optical Communications Networks. WOCN05, Dubai (2005).
- [2]. Cook D., Das S., “Smart Environments: Technologies, Protocols, and Applications”. Wiley-Interscience, ISBN 0-471-54448-5, (2004).
- [3]. Heinzelman W., Application-specific Protocol Architectures for Wireless Networks, PhD Thesis, Massachusetts Institute of Technology (2000)
- [4]. Al-Karaki J. N., Kamal A. E., “Routing techniques in Wireless Sensor Networks: a Survey”. IEEE Wireless Communications, vol. 11, IEEE (2004)
- [5] Yick J., Mukherjee B., Ghosal D.:Wireless sensor network survey, *Computer Networks*, Elsevier,Vol. 52, (2008)
- [6] Suri A., Iyengar S.S., Cho E., “Ecoinformatics using wireless sensor networks: An overview”. Ecological Informatics 1 (2006) pp 287 – 293 Elsevier B.V.
- [7]. D’Agostino E., Giandomenico E., Corti R., Martinez R., Belmonte J., “Algoritmo de encaminamiento para redes inalámbricas de sensores inteligentes”. In: 36° Jornadas Argentinas de Informática 36 JAIIO. Mar del Plata, Argentina (2007).
- [8]. Boukerche A., Cheng X., Linus J., “A Performance of a Novel Energy-Aware Data-Centric Routing Algorithm in Wireless Sensor Networks”. Wireless Networks, vol. 11, pp 619--635. Springer (2005)
- [9]. Sichertiu M., Veerarittiphan C., “Simple, Accurate Time Synchronization for Wireless Sensor Networks” en www4.ncsu.edu/~mlsichert/Research/Publications/synchro.pdf
- [10]Broy M. and Denert E. (ed.) , Software Pioneers. Springer-Verlag, 2002
- [11]Andreu D., Bouquet G., Gil T., “Petri Net based rapid prototyping of digital complex system”, IEEE Computer Society Annual Symposium on VLSI, pp 405-410, 2008
- [12]Andreu D. et al., Petri Net Based Rapid Prototyping of Digital Complex System, isvlsi, pp. 405-410, 2008 IEEE Computer Society Annual Symposium on VLSI, 2008.
- [13]. Ou J., Prasanna V. K., “Rapid energy estimation for hardware-software codesign using fpgas”, EURASIP Journal on Embedded Systems, V 2006, Article ID 98045, pp 1–11, 2006
- [14]. Altera Corp, Nios Embedded Processor Software Development Reference Manual, 2007, en www.altera.com
- [15]. Actel Inc. CoreMP7, Users Guide, 2006, en www.actel.com
- [16] Xilinx Inc., Microblaze Processor Reference Guide, 2007, en www.xilinx.com
- [17] Guccione S., “Microprocessors: The New LUT”, Proceedings of The 2005 International Conference on Engineering of Reconfigurable Systems and Algorithms, ERSA 2005, Nev, USA, CSREA Press, ISBN 1-932415-74-2, 2005
- [18] Olokotum K., Hammond L., “The future of microprocessors” Stanford University, Q focus: multiprocessors: 2005, ACM Press, N Y, USA, 2005
- [19]. Wolf W., “A Decade of Hardware/Software Codesign”, IEEE Computer Magazine, V 36 N°4 , pp. 38.43, 2003