

Sistemas Embebidos en Red con Requerimientos de Tiempo Real

Guillermo Friedrich, Guillermo Reggiani, Ricardo Cayssials, Christian Galasso, Sergio Pellegrino,
Lorena Cofre y Gabriela Velasquez

*Grupo de I+D en Sistemas y Tecnologías de la Información y las Comunicaciones (Grupo SiTIC)
Universidad Tecnológica Nacional – Facultad Regional Bahía Blanca –
Departamento de Ingeniería Electrónica
11 de Abril 461
(8000) Bahía Blanca*

*{gfried, ghreggiani, rcayssials, spellgrino}@frbb.utn.edu.ar,
christian_galasso81@yahoo.com.ar, {stonietti, cofrelorena}@gmail.com,
gabrielavelasquez2112@hotmail.com*

Resumen

Los sistemas embebidos están presentes en la mayoría de los dispositivos con los que interactuamos en la vida cotidiana: desde teléfonos celulares, computadoras de mano, electrodomésticos, juguetes, hasta aplicaciones aeroespaciales, industriales, instrumental médico, equipamiento del automóvil, etc.

Por la naturaleza de las aplicaciones y sus inherentes ventajas, existe un creciente interés en utilizar redes inalámbricas (WLAN/WPAN) para la comunicación en redes de sistemas embebidos. En el marco de este proyecto, y siguiendo la línea de trabajo de los anteriores Proyectos de I+D (PID) homologados: 25/B021 y 25/B024, se propone modelar, ensayar, simular y plantear esquemas en los niveles de Control de Acceso al Medio (MAC) inalámbrico y de enrutamiento, para que en función de las condiciones particulares y restricciones impuestas por el entorno de operación (restricciones temporales, calidad de servicio, robustez, consumo, movilidad, distribución geográfica, etc.) se puedan mejorar determinados aspectos de su desempeño, tales como factor de utilización, retardo, "jitter", pérdida de paquetes, tasa de transferencia, etc.

Se propone continuar utilizando simuladores consolidados, como ns-2[1], y otras herramientas de hardware y software que permitan modificar y/o implementar algoritmos sobre sistemas embebidos con el fin de realizar ensayos sobre los medios físicos. Como parte del trabajo se tiene previsto el desarrollo, a nivel de prototipo, de interfaces de red inalámbrica que implementen alguno de los modelos propuestos.

Palabras Clave: Sistemas Embebidos, Redes Inalámbricas, ns-2, MAC inalámbrico.

Contexto

La línea de investigación presentada se encuentra en ejecución en el marco del proyecto titulado: “*Sistemas embebidos en red con requerimientos de tiempo real. Modelado, simulación e implementación práctica de protocolos de comunicación*”. El mismo es financiado por la Universidad Tecnológica Nacional, está incorporado al Programa de Incentivos y su ámbito de realización es el Grupo SiTIC (Grupo de I+D en Sistemas y Tecnologías de la Información y las Comunicaciones), de la UTN - Facultad Regional Bahía Blanca.

Introducción

La investigación y desarrollo sobre redes inalámbricas continúa siendo un área muy activa, por la aparición de nuevos escenarios de aplicación, por lo general basados en dispositivos embebidos móviles.

Las redes inalámbricas presentan diversos desafíos: mejorar su desempeño para requerimientos específicos (performance para tráfico multimedia; robustez y tolerancia a fallas para ambientes industriales); reconfiguración de la topología para redes de sensores; privacidad y seguridad para aplicaciones administrativas, financieras y de gestión; bajo consumo; optimizar el tamaño de tramas en función de las condiciones del canal; arquitectura multi-hop en redes ad-hoc para favorecer la movilidad[2].

Se puede ver la constante aparición de nuevos estándares o modificaciones a los existentes, a fin de adaptarse a nuevos requerimientos impuestos a las redes

debido a la evolución tecnológica. Hay cada vez más aplicaciones que requieren del uso de redes, con exigencias y restricciones específicas, que obligan a una evolución permanente de los estándares y tecnologías de red. Cabe mencionar los estándares 802.22 (WRAN: Wireless Regional Area Network), 802.11p (WAVE: Wireless Access Vehicular Environment) entre otros.

Por otra parte, se puede ver la proliferación de trabajos de investigación y desarrollo orientados a optimizar el uso de distintos tipos de redes [3][4] para operar en diferentes contextos, como las aplicaciones que requieren una Calidad de Servicio (QoS) confiable que van desde la voz sobre IP (VoIP) hasta Sistemas de Control basados en Red (NCS)[5]. Uno de los principales requerimientos para tales tipos de aplicaciones es disponer de vínculos de comunicación confiables. Por ejemplo, en sistemas de automatización en tiempo real (RT) los datos de control deben transmitirse periódicamente entre sensores, controladores y actuadores cumpliendo con estrictos tiempos de transferencia.

El estándar IEEE 802.11e intenta ofrecer un nivel diferenciado de calidad de servicio para dar soporte a distintos tipos de aplicaciones [6]. La mayoría de los estudios han evaluado el comportamiento de esta norma teniendo en cuenta las necesidades típicas del tráfico multimedia (voz y video). Sin embargo, cuando los servicios de comunicaciones se utilizan para soportar aplicaciones de RT, se deben considerar requerimientos de comunicación específicos y más estrictos [7][8].

El estándar 802.11p[9] establece un marco de referencia para el desarrollo de redes y aplicaciones de comunicaciones inter-vehicular, en las que el tiempo de establecimiento de conexión entre vehículos, previo a la habilitación de la comunicación, debe ser muy acotado.

La inserción del estándar 802.15.4 (ZigBee) en ambiente industriales "sucios", donde se requiere desempeño de tiempo real de alta calidad, diagramación determinística, confiabilidad y bajo consumo, requiere de cambios en el control de acceso al medio, basado en CSMA/CA, para evitar consecuencias desastrosas en el campo industrial.

Líneas de Investigación y Desarrollo

El Proyecto propuesto es una continuación del PID 25/B021 "Redes, protocolos y sistemas para la comunicación de datos. Estudio, modelado, simulación y desarrollo para aplicaciones con elevadas exigencias" y del PID 25/B024 "Redes y protocolos para comunicación de datos en aplicaciones de instrumentación y control: Modelado, simulación y desarrollos experimentales".

Las tecnologías inalámbricas son una buena elección para trabajar en ambientes industriales, donde es necesario interconectar sistemas móviles o bien se desea evitar el cableado de sensores y controladores en planta.

Sin embargo estas tecnologías presentan problemas de confiabilidad y temporizado inherentes a las características de los canales de radio, a los mecanismos de acceso al medio, etc. El estándar 802.11e provee dos alternativas de acceso al medio (EDCA y HCCA) con cuatro niveles de Calidad de Servicio (QoS) diferenciados. En el PID 25/B021 se propuso un mecanismo de control de acceso al medio, denominado WRTMAC (Control de Acceso al Medio Inalámbrico para Tiempo Real)[10], desarrollado a partir del esquema EDCA del estándar 802.11e, optimizado empleando clases de prioridades. El manejo de los espacios entre tramas para arbitraje (AIFS) fue modificado a fin de que el tiempo de respuesta de la red sea predecible. Esto provee un mecanismo de control de acceso al medio (MAC) libre de colisiones en redes inalámbricas. En la última etapa del proyecto se realizaron trabajos comparativos de WRTMAC con respecto a EDCA, simulado en ns-2. El PID 25/B024 propone configurar los parámetros de EDCA para eliminar los factores probabilísticos y garantizar una latencia máxima de transmisión, a fin de que sea apto para implementar sistemas de control basado en red (NCS) sobre redes inalámbricas (WNCS). El nuevo protocolo fue denominado RT-EDCA[11][12].

Resultados y Objetivos

La evaluación del desempeño del modelo RT-EDCA fue realizada por medio de simulaciones. Se utilizaron mensajes periódicos de pequeño tamaño similar a las tramas empleadas en los sistemas de control sobre redes inalámbricas (WNCS).

En la Fig. 1 se presentan resultados comparativos obtenidos en las simulaciones, tanto para RT-EDCA como para EDCA estándar. Se observa que RT-EDCA presenta un mejor desempeño hasta 28 nodos (con paquetes de 50 bytes) y hasta 40 nodos (con paquetes de 500 bytes). A partir de allí es superado por EDCA, debido a que los valores crecientes de AIFS aumentan la duración del ciclo de transmisión de cada trama.

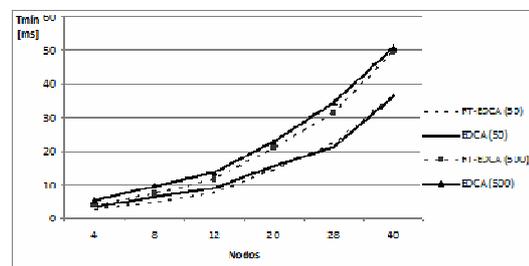


Fig. 1. Período mínimo comparativo entre RT-EDCA vs EDCA

Las características determinísticas de RT-EDCA mejoran notablemente el desempeño respecto a EDCA

(hasta un cierto número de nodos) al eliminar las colisiones.

Producción del Grupo:

- "Supertrama de Duración Variable en MAC 802.15.3 Utilizando MCTA Dinámicos", Reggiani, O. Alimenti, R. Cayssials y E. Ferro, Clei 2009, Pelotas, Brasil, ISBN: 857669247-3, del 22 al 25 de Septiembre de 2009.

- "Improvements in the Superframes Generation in MAC 802.15.3 Using Dynamic MCTA", Reggiani, O. Alimenti, R. Cayssials y E. Ferro, WIP 27th Edition The Symposium on Computer Networks and Distributed Systems (SBRC), Recife, ISBN:978-85-7669-226-3, pp:153-158, May 25 – 29, 2009, Brasil.

- "Un modelo para el análisis de la confiabilidad de Ethernet Industrial en topología de anillo", Guillermo R. Friedrich y Jorge R. Ardenghi, RIAII Revista Iberoamericana de Automática e Informática Industrial, ISSN: 1697-7912 (edición impresa), ISSN 1697-7920 (edición web), vol 6, N° 3, pp. 101-109, julio de 2009.

- "Propuesta en MAC de Redes de Area Personal (WPAN) para Optimizar el Tiempo de Respuesta", G. Reggiani, O. Alimenti y G. Friedrich, XV Congreso Argentino de Ciencias de la Computación - CACIC 2009 - III Workshop de Arquitecturas, Redes y Sistemas Operativos (WARSO) 2009, pp:, ISBN: 978-897-24068-4-1, San Salvador de Jujuy - Jujuy, Argentina, 5 al 9 de octubre de 2009.

- "A Free-Collision MAC Proposal for 802.11 Networks", O. Alimenti, G. Friedrich and G. Reggiani, 28th Edition The Symposium on Computer Networks and Distributed Systems (SBRC 2010) and 12th Brazilian Workshop on Real-Time and Embedded Systems (WTR 2010), Gramado, ISSN: 2177-496X, pp: 89 – 100 (cd), May 24 – 28, 2010, Brasil.

- "Una Variante al Control de Acceso al Medio de 802.11e para Tiempo Real", G. Friedrich, O. Alimenti y G. Reggiani, XVII International Congress Of Electronic, Electrical And Systems Engineering" XVII INTERCON 2010. ISBN: 9 al 13 de agosto de 2010. Puno, Perú.

- "WRTMAC: A MAC Proposal for 802.11 Networks in Factory Automation", G. Friedrich, O. Alimenti and G. Reggiani, 15th IEEE International Conference on Emerging Technologies and Factory Automation (ETFA '2010), ISBN:978-4244-6849-2. IEEE Catalog Number CFP10ETF-CDR. September 13-16, 2010, Bilbao, Spain. Publicado en IEEE Xplore Digital Library: <http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=5641191>.

- "Evaluación de una Variante de Control de Acceso al Medio Inalámbrico para Tiempo Real Basada en 802.11e", G. Friedrich, O. Alimenti, G. Reggiani, F. Maidana, S. Tonietti y D. Gómez De Marco, XVI Congreso Argentino de Ciencias de la Computación -

CACIC 2010 - III Workshop de Arquitecturas, Redes y Sistemas Operativos (WARSO) 2010, Buenos Aires - Argentina, 18 al 22 de octubre de 2010.

- "Una Adaptación del Protocolo EDCA para Tiempo Real", Omar Alimenti, Guillermo Friedrich, Guillermo Reggiani, Santiago Tonietti, Federico Maidana, Damián Gómez De Marco, Brazilian Symposium on Computing System Engineering (SBESC) and XIII Real-time Systems Workshop (WTR 2011), Florianópolis, ISSN: 978-0-7695-4641-4/11, pp: 145-150, Nov 7 – 11, 2011, Brasil. Publicado en IEEE Xplore Digital Library: http://ieeexplore.ieee.org/xpls/abs_all.jsp?arnumber=6114849.

- "Redes Inalámbricas y Protocolos para Comunicación de Datos en Aplicaciones de Instrumentación y Control", Omar Alimenti, Guillermo Friedrich, Guillermo Reggiani, Ricardo Cayssials, Christian Galasso, Damián Gomez de Marco, Federico Maidana y Santiago Tonietti, XIII Workshop de Investigadores en Ciencias de la Computación (WICC 2011), Rosario, Santa Fe, los días 5 y 6 de mayo de 2011.

- "Comunicaciones en Tiempo Real adecuando el Protocolo 802.11e (EDCA)", Omar Alimenti, Guillermo Friedrich, Guillermo Reggiani y Santiago Tonietti, 40° Jornadas Argentinas de Informática, 12th AST Argentine Symposium on Technology, ISSN: 1850-2806, pp: 43-54, Córdoba, Argentina, 29/08 al 02/09 de 2011.

- "Análisis de Generación de Supertramas en MAC 802.15.3", G. Reggiani, Lorenzo De Pascuale, O. Alimenti y G. Friedrich, XVII Congreso Argentino de Ciencias de la Computación - CACIC 2011 - VI Workshop de Arquitecturas, Redes y Sistemas Operativos (WARSO) 2011, pp 1066-1075, ISBN 978-950-34-0756-1, La Plata, Argentina, 10 al 14 de octubre de 2011.

- "Adaptación de ns-2 para una Variante del Protocolo 802.11e (EDCA)", Guillermo Reggiani, Omar Alimenti, Guillermo Friedrich, Santiago Tonietti, Federico Maidana, Damian Gomez de Marco, XVII Congreso Argentino de Ciencias de la Computación - CACIC 2011 - VI Workshop de Arquitecturas, Redes y Sistemas Operativos (WARSO) 2011, 1056-1065, ISBN 978-950-34-0756-1, La Plata, Argentina, 10 al 14 de octubre de 2011.

- "Protocolos para Redes Inalámbricas: Simulaciones y modelaje experimental", Omar Alimenti, Guillermo Friedrich, Guillermo Reggiani, Ricardo Cayssials, Christian Galasso, Damián Gomez de Marco, Federico Maidana y Santiago Tonietti, XIV Workshop de Investigadores en Ciencias de la Computación (WICC 2012), Rosario, Santa Fe, los días 26 y 27 de abril de 2012.

- "Análisis del Tiempo de Respuesta en entorno de Tiempo Real sobre el MAC 802.11e", O. Alimenti, G. Friedrich, G. Reggiani, S. Tonietti, G. Velazquez y L. Cofre, 41° Jornadas Argentinas de Informática, 13th

AST 2012 Argentine Symposium on Technology, ISSN 1850-2806 pp 132-142. La Plata, Argentina, 27/08 al 31/08 de 2012.

- "Evaluación de EDCA 802.11e en Tiempo Real con Agrupamiento por Clases de Prioridad", O. Alimenti, G. Reggiani, G. Friedrich, S. Tonietti, G. Velazquez y L. Cofre, XVIII Congreso Argentino de Ciencias de la Computación - CACIC 2012 -VII Workshop de Arquitecturas, Redes y Sistemas Operativos (WARSO) 2012, ISBN 978-987-1648-34-4, Bahía Blanca, Argentina, 8 al 12 de octubre de 2012.

Los objetivos del proyecto son:

Objetivos generales:

- Adaptar estándares y tecnologías de control de acceso al medio inalámbrico existentes, para su aplicación en sistemas de instrumentación y control.

- Desarrollar propuestas de nuevos mecanismos de control de acceso al medio, tratando de aprovechar elementos de las tecnologías existentes.

- Implementar y ensayar uno o más de los mecanismos de control de acceso al medio desarrollados y/o adaptados.

Objetivos específicos:

- Explorar los estándares y tecnologías de control de acceso al medio inalámbrico existentes.

- Identificar fortalezas y debilidades en el contexto del campo de aplicación en el que se lo pretende aplicar.

- Proponer modificaciones a los mecanismos existentes o bien introducir nuevos, tratando de aprovechar y reutilizar elementos de tecnologías existentes.

- Realizar algún desarrollo experimental de hardware y software (firmware) que implemente la capa física y MAC inalámbrica, tanto de algún estándar existente como así también de las variantes propuestas.

- Evaluar los modelos desarrollados mediante simulaciones y ensayos experimentales.

Resultados esperados

La contribución que se pretende realizar desde el punto de vista científico-tecnológico está dada por el desarrollo de variantes a protocolos de control de acceso al medio inalámbrico y enrutamiento, con el fin de mejorar su desempeño en determinados escenarios de interés práctico como ser redes de sensores, NCS, electrónica vehicular, VoIP, etc. En este proyecto se pretende realizar un importante esfuerzo en desarrollos experimentales y a partir de los resultados que se obtengan es de esperar una posible transferencia, aplicable a sistemas embebidos de instrumentación y control, a solucionar problemas de consumo energético, a electrónica vehicular entre otros.

Otra contribución esperada en lo referente a la transferencia al medio, es la posibilidad de introducir modificaciones sobre equipamiento de red inalámbrica estándar, a fin de mejorar su desempeño.

Asimismo, se espera efectuar alguna transferencia con impacto favorable a nivel regional y/o nacional, proponiendo aplicaciones de esta tecnología para resolver problemas de monitoreo y control ambiental, control de riego, etc. En tal sentido, hay en marcha un convenio de colaboración con el Grupo LIHANDO de la UTN Facultad Regional Mendoza, que investiga sobre la posibilidad de favorecer las precipitaciones pluviales bajo ciertas condiciones atmosféricas. La participación del Grupo SiTIC está dada en el diseño y desarrollo de las estrategias, equipamiento y sistemas para el control y la comunicación de los equipos de campo.

Formación de Recursos Humanos

En cuanto a la formación de recursos humanos, en el marco del proyecto está prevista la realización de, al menos, tres tesis de la Maestría en Redes de Datos de la Universidad Nacional de La Plata. Las mismas se encuentran actualmente en la etapa de definición y presentación de los planes de tesis.

También están prevista la participación de alumnos avanzados de la carrera de Ingeniería Electrónica, esperándose la realización de, al menos, cuatro proyectos finales de carrera. Estos alumnos ya han venido participando en proyectos anteriores y son coautores de distintos trabajos ya presentados y/o publicados.

Referencias

- [1] The Network Simulator- ns-2, April 28, 2007. <<http://www.isi.edu/nsnam/ns/index.html/>>
- [2] "Delay Analysis of IEEE 802.11 PCF MAC based Wireless Networks", Biplab Sikdar. Global Telecommunications Conference, 2005. GLOBECOM '05. IEEE.
- [3] "Performance Evaluation of IEEE 802.11 Wireless Networks for Real-time Networked Control Systems", Li Gui, Yu-Chu Tian, Colin Fidge. Proceedings The 2007 International Conference on Embedded Systems and Applications, Monte Carlo Resort, Las Vegas, Nevada, USA.
- [4] "Control and Communication Challenges in Networked Real-Time Systems", Baillieul, J.; Antsaklis, P.J. Proceedings of the IEEE Issue Date: Jan. 2007 Volume: 95 Issue: 1, page(s): 9 – 28, ISSN: 0018-9219.
- [5] "A Survey of Recent Results in Networked Control Systems", Hespanha, J.P. Naghshtabrizi, P. Yonggang Xu, page(s): 138 – 162. Proceedings of the IEEE Issue Date: Jan. 2007 Volume: 95, ISSN: 0018-9219.
- [6] "How to use the IEEE 802.11e EDCA Protocol when Dealing with Real-Time Communication", Ricardo Moraes, Francisco Vasques, Paulo Portugal, José Alberto

- Fonseca. 11th Brazilian Workshop on Real-Time and Embedded Systems (WRT 2009).
- [7] "A Survey on Real-Time MAC Protocols in Wireless Sensor Networks", Zheng Teng, Ki-II Kim. Communications and Network, 2010, 2, 104-112.
- [8] "A Deterministic Scheduling Mechanism for Industrial Wireless Networks", TongBo Li, Heng Wang, Ping Wang and Yeon Kim, IC EMI'2009.
- [9] "IEEE 802.11p: Towards an International Standard for Wireless Access in Vehicular Environments", Daniel Jiang, Luca Delgrossi, ISBN: 978-1-4244-1645-5/08/©2008 IEEE.
- [10] "WRTMAC: A MAC Proposal for 802.11 Networks in Factory Automation", G. Friedrich, O. Alimenti y G. Reggiani, 15th IEEE International Conference on Emerging Technologies and Factory Automation – ETFA 2010 (UPV/EHU) ISBN: 978-1-4244-6849-2 – 13 al 16 de Setiembre de 2010 – Bilbao – España.
- [11] "Evaluación de una Variante de Control de Acceso al Medio Inalámbrico para Tiempo Real Basada en 802.11e", O. Alimenti, G. Friedrich, G. Reggiani, F. Maidana, S. Tonietti y D. Gomez de Marco, XVI Congreso Argentino de Ciencias de la Computación - CACIC 2010 – III Workshop de Arquitecturas, Redes y Sistemas Operativos (WARSO) 2010, Buenos Aires, Argentina, 18 al 22 de octubre de 2010.
- [12] Wietholter S., Hoene C., "Design and Verification of an IEEE 802.11e EDCA", Technical Report TKN-03-19, November 2003, Berlin