

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

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

iealimen@criba.edu.ar, {gfried, ghreggiani}@frbb.utn.edu.ar, {rcayssials, christian_galasso81}@yahoo.com.ar, {damiangomezdemarco}@gmail.com, {fedemaidana_mail}@yahoo.com.ar, stonietti@gmail.com

Resumen

Los Sistemas de Instrumentación y Control basados en red (NCS: Networked Control Systems) disponen de un controlador que interactúa con los instrumentos, sensores y actuadores por medio de una red de comunicaciones. Por las ventajas inherentes, existe un creciente interés en utilizar redes inalámbricas como base para la implementación de NCS, a pesar de que estas redes introducen latencias de transmisión impredecibles y una potencial pérdida de paquetes, que tienden a degradar la performance del sistema de control. En el marco de este proyecto se propone modelar, ensayar, simular y plantear esquemas experimentales en el nivel de Control de Acceso al Medio (MAC) inalámbrico, para que, en función de las condiciones particulares y restricciones impuestas por el entorno de operación (restricciones temporales, calidad de servicio, robustez, etc.) se puedan mejorar determinados aspectos de su desempeño tales como factor de utilización, retardo, jitter, pérdida de paquetes, tasa de transferencia, etc., que impactan sobre el desempeño de los NCS.

Palabras Clave: Redes Inalámbricas, Prioridades, NCS, Determinístico, MAC.

Contexto

La línea de investigación presentada se encuentra inserta en el proyecto denominado; “*Redes y Protocolos para Comunicación de Datos en Aplicaciones de Instrumentación y Control: Modelado, Simulación y Desarrollos Experimentales*”. La misma se encuentra coordinada y financiada por la Facultad Regional Bahía

Blanca de la Universidad Tecnológica Nacional. El proyecto está acreditado en el Programa de Incentivos.

Introducción

Las distintas variantes de redes inalámbricas representan un área actualmente muy activa en lo que hace a investigación y desarrollo [1] [9].

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 en 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.

Se puede ver la constante aparición de nuevos estándares y/o modificaciones a los existentes, con el fin de adaptarse a nuevos requerimientos. Cada vez hay más aplicaciones que hacen uso de redes, con distintas exigencias y restricciones, que obligan a una evolución permanente de las tecnologías de red.

Por otra parte, hay una importante cantidad de trabajos de investigación y desarrollo orientados a optimizar el desempeño de distintos tipos de redes para operar en diferentes contextos. Hay aplicaciones con diversos requerimientos de Calidad de Servicio (QoS), que van desde la voz sobre IP (VoIP) hasta los Sistemas de Control basados en Red (NCS). Un requisito básico para tales aplicaciones es disponer de vínculos de comunicación confiables. Por su parte, en sistemas de automatización en tiempo real, la transmisión de datos

entre sensores, controladores y actuadores, debe cumplir con estrictos tiempos de transferencia.

El estándar IEEE 802.11e [3] intenta ofrecer un nivel diferenciado de calidad de servicio para dar soporte a distintos tipos de aplicaciones. La mayoría de los estudios han evaluado el comportamiento de esta norma teniendo en cuenta las necesidades típicas del tráfico multimedia (voz y video) [5] [6] [7]. Sin embargo, cuando los servicios de comunicaciones se utilizan para soportar aplicaciones de tiempo real, se deben considerar requerimientos de comunicación específicos y más estrictos.

Si bien existen diversas opciones de conectividad inalámbrica, se ha fijado el interés en las redes inalámbricas de área local (WLAN) basadas en IEEE 802.11 [4] y en particular en aquellas que soportan QoS, como por ejemplo las que se basan en el estándar IEEE 802.11e.

El interés se centrará en los mecanismos de Control de Acceso al Medio (MAC) de redes inalámbricas, ya que éstos son decisivos en el rendimiento de la red.

Líneas de Investigación y Desarrollo

El protocolo de Control de Acceso al Medio (MAC) es decisivo en el rendimiento de una red [2] [8]. El mecanismo MAC de 802.11 puede funcionar de dos modos: Función de Coordinación Puntual (PCF) y Función de Coordinación Distribuida (DCF). El modo PCF, también llamado modo libre de contención, utiliza un Punto de Acceso (Access Point: AP) como coordinador de la red. En el modo DCF, sin control centralizado, los nodos compiten por el acceso al medio. A pesar de las diferencias, ambos modos emplean el mecanismo CSMA/CA ("Carrier Sense Multiple Access with Collision-Avoidance") para lograr el acceso al medio. El protocolo MAC 802.11 original no soporta calidad de servicio (QoS) para diferenciar distintos tipos de tráfico. Por eso fue definido 802.11e [3], que propone dos mecanismos de QoS: Acceso al Canal en Forma Distribuida Mejorada (EDCA) y Acceso al Canal Controlado por Función de Coordinación Híbrida (HCCA). EDCA es una extensión del mecanismo DCF original de 802.11 [4], que diferencia entre cuatro Categorías de Acceso (AC) priorizadas [5]. EDCA mejora la tasa de transferencia y el tiempo de respuesta con respecto a DCF, aunque la reducida cantidad de AC limita la diferenciación de tráfico con restricciones temporales [6]. Incluso, en el mecanismo MAC de EDCA siguen existiendo factores probabilísticos, que resultan desfavorables para aplicaciones de tiempo real.

La presente línea de investigación propone variantes del mecanismo de control de acceso al medio (MAC) inalámbrico para Tiempo Real, controlando adecuadamente la Ventana de Contención (CW), el contador de retroceso (backoff) y los espacios entre tramas para el arbitraje (AIFS) del esquema EDCA, que

evite la pérdida de paquetes y haga predecible la latencia de transmisión. Para ello se desarrollarán modelos y se utilizarán simuladores típicos como ns-2 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.

Resultados y Objetivos

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".

Las tecnologías inalámbricas son una opción deseable para ser utilizadas 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 este proyecto se propuso un mecanismo de control de acceso al medio, denominado WRTMAC (Control de Acceso al Medio Inalámbrico para Tiempo Real), 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.

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, RIAI 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: 978-1-4244-6849-2 September 13-16, 2010, Bilbao, Spain.

- "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, pp., ISBN: en prensa, Buenos Aires - Argentina, 18 al 22 de octubre de 2010.

La utilización de una red de comunicaciones, más aún si es de tipo inalámbrico, para vincular los distintos elementos de un sistema de instrumentación y control (sensores, actuadores y controladores) introduce latencias variables y poco predecibles que, sumados a una cierta probabilidad de pérdida de paquetes, perturban en mayor o menor medida al sistema.

Por otra parte, como la tecnología inalámbrica brinda ventajas en lo referido a movilidad y facilidad de despliegue, y el equipamiento de comunicación inalámbrico basado en estándares comerciales tiene costos accesibles, resulta de interés obtener adaptaciones y mejoras para su aplicación en estas áreas.

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.

Objetivos específicos:

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

- Identificar sus fortalezas y debilidades con respecto al campo de aplicación bajo estudio.

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

- Evaluar los modelos desarrollados mediante simulaciones y desarrollos experimentales.

Formación de Recursos Humanos

Un aspecto importante del proyecto es la formación de recursos humanos. En tal sentido, uno de los integrantes del equipo ha desarrollado su tesis de Magíster, titulada "Redes WPAN - Análisis y Mejoras aplicadas a Sistemas Embebidos", recientemente defendida, bajo la dirección del Director del grupo de investigación y la Codirección de uno de los integrantes. Otros tres integrantes son alumnos avanzados de grado de la carrera de Ing. Electrónica. Tanto el nuevo Magíster como uno de los alumnos de grado se están iniciando como docentes, por lo que su participación en este proyecto también apunta a tener un impacto favorable en la carrera de Ing. Electrónica.

En continuidad con el proyecto precedente, un objetivo prioritario es favorecer la consolidación de un núcleo de docentes-investigadores en el área de las TICs, dentro del Departamento de Ing. Electrónica de la UTN-FRBB. En esa línea fue que, apoyado en los resultados del proyecto precedente, se formalizó la existencia de un grupo de I+D a nivel de la Facultad (Grupo SITIC), y se pretende que el próximo paso sea su reconocimiento como Grupo UTN. Para ello se tiene la firme intención de seguir incrementando tanto la producción como la ampliación del mismo, para lo que se considera de suma importancia la participación de alumnos avanzados y graduados/docentes jóvenes.

Referencias

- [1] Willig A., Matheus K. and Wolisz A. "Wireless Technology in Industrial Networks", Proceedings of the IEEE, Vol. 93, No. 6 (June), pp. 1130-1151 (2005).
- [2] Vanhatupa T., "Design of a Performance Management Model for Wireless Local Area Networks", Tesis Doctoral, December (2008).
- [3] "IEEE Std 802.11e; Part 11: Wireless LAN MAC and Physical Layer (PHY) Specifications and Amendment 8: MAC Quality of Service Enhancements" (2005).
- [4] "IEEE Std 802.11; Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications", 1999, actualización: Junio (2007).
- [5] Vittorio S. and Lo Bello L., "An Approach to Enhance the QoS Support to Real-Time Traffic on IEEE 802.11e Networks", 6th Workshop On Real Time (RTN07) Italy, (2007).

- [6] Ferré P., Doufexi A., Nix A. and Bull D., “Throughput Analysis of IEEE 802.11 and IEEE 802.11e MAC”, WCNC 2004, IEEE Communications Society (2004).
- [7] Pereira da Silva M. and Becker Westphall C., “Performance Analysis and Service Differentiation in the MAC SubLayer of IEEE 802.11e Ad Hoc Networks”, Proceedings of the Advanced Industrial Conference on Telecommunications, IEEE (2005).
- [8] Bensaou B., Wang Yu and Chi Chung Ko, “Fair Medium Access in 802.11 based Wireless Ad-Hoc Networks”, IEEE/ACM The first Annual Workshop on Mobil Ad hoc Networking e Computing (MobiHoc’00), Boston, EUA, August (2000).
- [9] Willing A., “Recent and Emerging Topics in Wireless Industrial Communications: A Selection”, IEEE Transactions On Industrial Informatics, Vol. 4, Nº. 2, May (2008).
- [10] CAN Specification 2.0, Robert Bosch GmbH, can2spec.pdf (1991).
- [11] Liu and Layland, “Scheduling algorithms for multiprogramming in a hard real-time environment”, Journal of the ACM, Vol.20 Nº 1, pp. 46-61 Jan. (1973).
- [12] Lehoczky J., L. Sha, and Y. Ding, “The rate monotonic scheduling algorithm: Exact characterization and average case behaviour”. Proc. IEEE Real-Time Systems Symposium, pp. 166-171 (1989).
- [13] Katcher, D., S. Sathaye, y J. Strosnider, “Fixed priority scheduling with limited priority levels”, IEEE Trans. on Computers, 44, 9, (1996).
- [14] Cayssials R., Orozco J., Santos J. and Santos R., “Rate monotonic scheduling of real-time control systems with the minimum number of priority levels”. Proc. 11th Euromicro Conf. on Real Time Systems, IEEE Computer Society Press, 54-59, York, UK, (1999).
- [15] Rachana Ashok Gupta and Mo-Yuen Chow, “Networked Control System: Overview and Research Trends”. IEEE Transactions on Industrial Electronics, Vol. 57, Nº. 7, July 2010.
- [16] Ricardo Moraes1, Francisco Vasques, Paulo Portugal, José Alberto Fonseca, “How to use the IEEE 802.11e EDCA Protocol when Dealing with Real-Time Communication”. 11th Brazilian Workshop on Real-Time and Embedded Systems, May 2009.
- [17] Li Gui, Yu-Chu Tian, Colin Fidge, “Performance Evaluation of IEEE 802.11 Wireless Networks for Real-time Networked Control Systems”, Proceedings The 2007 International Conference on Embedded Systems and Applications, Monte Carlo Resort, Las Vegas, Nevada, USA.
- [18] The Network Simulator- ns-2, <<http://www.isi.edu/nsnam/ns/index.html>>, April 28, 2007.