

UN ESTUDIO ACERCA DE LAS REDES INALÁMBRICAS DE SENSORES

A STUDY ON THE WIRELESS SENSOR NETWORKS

Libis del Carmen Valdez Cervantes

Ingeniero Electrónico-Especialista en Sistemas de Telecomunicaciones

Ms. En Educación E-learning

Ms(c) en Ingeniería Electrónica

libis.valdez@tecnar.edu.co – @lidecavace

ABSTRACT

With the advancement of nanotechnology has led to many applications for the benefit of human endeavor, one of them are Wireless Sensor Networks - RIS-(WSN or by its English translation Wireless Sensor Network) networks used in an application specific, may allow very close observation and analysis of phenomena that was previously impossible to intervene. Despite their important and varied applications, these networks present major constraints especially on issues such as energy consumption and looking to solve these constraints have emerged protocols designed to reduce these limitations showing significant results MACGSP6 example of this is a layer protocol MAC has been tested only in low traffic conditions, assuming that the entire sensor network node only generates new information at a specific time.

Keywords

Sensor networks, protocols, MAC, energy

RESUMEN

Con el avance de la nanotecnología se ha dado origen a muchas aplicaciones en beneficio del quehacer humano, una de ellas son las Redes Inalámbricas de Sensores – RIS- (ó WSN por su traducción en inglés Wireless Sensor Network), redes que utilizadas en una aplicación específica, pueden permitir la observación y análisis muy cercano de fenómenos en los que antes era imposible intervenir. A pesar de sus importantes y variadas aplicaciones, estas redes presentan grandes condicionamientos sobretodo en temas como el consumo de energía y en busca de solucionar estas restricciones han surgido protocolos diseñados para disminuir estas limitaciones mostrando resultados importantes, ejemplo de ellos es MACGSP6, un protocolo capa MAC que solo ha sido probado en condiciones de bajo tráfico, asumiendo que en toda la red de sensores solamente un nodo genera información nueva en un momento específico.

Palabras clave

Redes de sensores, protocolos, MAC, energía

1. INTRODUCCIÓN

Las Redes Inalámbricas de Sensores (RIS) constituyen hoy día una de las áreas más promisorias para investigación, pues su aplicación se centra en temas que atienden necesidades muy importantes en campos como la seguridad, salud, la prevención y la producción. Estas redes están compuestas por sensores de tamaño pequeño conectados entre sí, que a su vez están formados por un procesador, una memoria, una batería, una antena y un sensor propiamente dicho, que recogen información de un medio específico y la envían a un sistema que la almacena para darle el uso correspondiente.

Aunque las RIS, están siendo usadas en diversos campos, todavía hay mucho por mejorar, por eso es necesario trabajar de acuerdo con los requerimientos de cada aplicación, en soluciones tecnológicas como protocolos, algoritmos, etc., que permiten observar el comportamiento de las RIS, para luego realizar análisis y conclusiones acerca de aspectos tan importantes como son el consumo de energía, la entrega de información al destino, el retardo, entre otros aspectos relevantes.

En la actualidad, existen opciones que representan verdaderos adelantos en cuanto a protocolos se refiere, todos ellos buscando mejores alternativas en ahorro de energía, localización, fiabilidad de comunicación, utilización de ancho de banda, etc. Tal vez el problema más importante, el de consumo de energía, se disminuye poniendo a dormir al nodo mientras no esté en acción, puesto que las actividades en las que el nodo consume mayor energía son en las que hay transmisión de información y los nodos deben estar alimentados por baterías, luego su tiempo de vida depende de su fuente de energía. En general, las RIS, cuentan con múltiples propuestas para comunicación, pero cada una de ellas desarrolladas para cumplir requerimientos en una aplicación o grupo de aplicaciones particular, por lo que aún no hay un estándar totalmente aceptado en RIS.

Las redes de sensores inalámbricas, son hoy día uno de los tópicos más atractivos a nivel mundial, ya que suponen una mezcla entre productividad y aplicabilidad. En estos momentos hay mucho trabajo por delante, las investigaciones en torno a esta área se centran en el estudio de problemas específicos tales como, seguridad, monitoreo, rescate, producción y salud, pero en torno a estas aplicaciones existen necesidades y las investigaciones que actualmente se desarrollan en esta área tienden a diseñar Redes Inalámbricas de Sensores que sean escalables, adaptables, tolerantes a fallas, autónomas, software más pequeño, con bajo costo de producción y con un limitado consumo energético.



Figura 1: Aplicaciones de las Redes de Sensores
Tomado de <http://examenso-fefy.blogspot.com/> - marzo de 2014

Las primeras investigaciones acerca de redes de sensores inalámbricas fueron motivadas por aplicaciones militares, en esos tiempos las RIS eran utilizadas en los sistemas acústicos de vigilancia marina y para monitorear objetivos terrestres, hoy día, por la disponibilidad de las redes de sensores (y en general, las redes de comunicación), el resultado se ve reflejado en el desarrollo de muchas otras aplicaciones potenciales, de seguridad para infraestructura industrial y en general para detección.

2. CARACTERÍSTICAS DE LAS REDES DE SENSORES INALÁMBRICAS

En los últimos años, han sido los laboratorios de investigación, las universidades, multinacionales como INTEL, y organizaciones como DARPA (Defense Advanced Research Projects Agency), las que han apostado fuertemente por la tecnología de las redes inalámbricas de sensores, pues estas se proyectan como una de las tecnologías inalámbricas más importantes del siglo 21. Actualmente, DARPA, trabaja en dos programas para desarrollo de RIS, Redes de Sensores Distribuidas (DSN) y Tecnología de Información de Sensores (SensIT) [3].

Bajo este punto de vista, se hace necesario crear protocolos de comunicación que cubran las necesidades de estas aplicaciones, en busca de eficiencia y competitividad. Uno de los requerimientos más urgentes para los investigadores a nivel mundial y que hoy por hoy se convierte en la principal dificultad, es el consumo energético, la solución radica en crear un sistema de red inalámbrica que tenga un mínimo costo energético con el fin de que la batería de cada nodo tenga mayor duración

En relación con este punto, varios protocolos MAC han sido desarrollados para enfrentarse al agotamiento de las baterías. Por ejemplo, S-MAC[1], es un protocolo diseñado específicamente para RIS, de fácil implementación, probado en redes inalámbricas de sensores con varios nodos

transmitiendo al mismo tiempo, donde la reducción del consumo de energía es el principal objetivo de su diseño, S-MAC, presenta buenas características de escalabilidad, autoconfiguración y capacidad de prevención de colisiones. Para reducir el consumo de energía en los periodos de escucha en un canal inactivo, los nodos periódicamente entran en periodos de sueño. TMAC [4], fue propuesto para mejorar los deficientes resultados de S-MAC bajo tráfico con carga variable. WiseMAC [5], protocolo que para algunas simulaciones muestra mejores rendimientos que algunas variantes de S-MAC, todos sus nodos son definidos por dos canales de comunicaciones. TRAMA [6], basado en TDMA y propuesto para incrementar el uso de TDMA de una manera eficiente. SIFT [7], quien se caracteriza por su baja latencia en aplicaciones de alto tráfico, DMAC[8], muy fuerte cuando se aplica en escenarios en los que la latencia es fundamental y XMAC [2], protocolo MAC diseñado para baja potencia, probado en RIS, con varios nodos transmitiendo al mismo tiempo.

Sin embargo, no existe un protocolo MAC preestablecido para trabajar con WSN. En la actualidad, hay una gran variedad de protocolos, que fueron desarrollados con anterioridad para otros tipos de redes, y que ahora han sido implementados sobre redes inalámbricas de sensores. Según el acceso al medio estos pueden ser divididos así:

Protocolos de Acceso Múltiple por Detección de Portadora (CSMA. Carrier Sense Multiple Access) o ranurados: Berkeley-MAC (B-MAC) [9], Power-Aware Multi-access protocol with signaling (PAMAS) [10]

Protocolos de Acceso multiplexado por división de tiempo (TDMA. Time Division Multiplex Access):Low-Energy Adaptive Clustering Heirarchy(LEACH) [11], Power Aware Clustered TDMA (PACT) [12], Bit-Map Assisted (BMA) [13], Proposed Gateway MAC (G-MAC) [14], SPRIME (SupSlot Period Reservation & Inter-Master Estimation) [15], SMACS (Self-Organized MAC for Sensor networks) [16].

Además, diversos grupos de trabajo han creado protocolos para este tipo específico de redes, ellos son entre otros: CMAC (Spatial Correlation-based Collaborative) [17], DSMAC (Dynamic Duty Cycle for WSN) [18], STEM (Sparse Topology and Energy Management) [19], DPMS (Dynamic Power Saving Mechanism) [20], MACA (MultiAccess Collision Avoidance) [21], ZMAC (Hybrid MAC for WSN) [22].

3. PROTOCOLO MACGSP6

MACGSP6 es un protocolo complemento de Gossip-based Sleep (GSP) [23] con bajo consumo de energía, al integrar funciones de capa física, MAC y de enrutamiento y que ha sido probado bajo condiciones de simulación en redes con más de 100 nodos con diferentes topologías y permitiendo el ahorro de energía, disminuyendo el retardo. Es simple, al no tener requerimientos de información de enrutamiento adicional.

Las investigaciones que se llevan a cabo en el momento están girando en torno a analizar el comportamiento de MACGSP6 con diferentes fuentes (nodos transmitiendo) ya que para futuras implementaciones puede ser utilizado emitiendo una mayor cantidad de información desde diferentes nodos de origen.

Se hace necesario su estudio bajo la perspectiva de alto tráfico, manteniendo los niveles de consumo de energía reducidos, sin el aumento del tamaño de la información y evitando en general los gastos adicionales.

Por lo anterior, se estudia la evolución de los protocolos MACGSP1, MACGSP2 y MACGSP6, lo que muy seguramente llevará a la implementación del protocolo MACGSP6 con diferentes fuentes transmitiendo. Actualmente y con ayuda de la información provista (COMPLEMENTING THE GSP ROUTING PROTOCOL IN WIRELESS SENSOR NETWORKS), se enlazan algunos aspectos relevantes de las reglas del protocolo MACGSP6, inmersos en el código teniendo en cuenta que el código existente es de bajo tráfico, este análisis permitirá concluir acerca del rendimiento del protocolo MACGSP6 bajo condiciones reales de alto tráfico.

4. ANÁLISIS DE PROTOCOLOS MAC

En el siguiente cuadro se analizan 11 protocolos MAC, usados en múltiples aplicaciones de RIS, se puede observar que las pruebas e investigaciones sobre MACGSP6 bajo condiciones de alto tráfico siguen siendo viables y muy pertinentes. De los protocolos estudiados, el 63% fue probado bajo simulación al igual que MACGSP6, el 64% de ellos uso menos de 100 nodos a diferencia de MACGSP6, lo que muestra al protocolo en estudio como un protocolo con altas características de rendimiento y eficiencia. En la siguiente tabla se muestra un resumen de los protocolos consultados:

Table 1: Algunos protocolos MAC de alto tráfico

INFORMACIÓN DEL FUNCIONAMIENTO DE PROTOCOLOS MAC EN RIS CON VARIAS FUENTES DE INFORMACIÓN										
N°	ARTÍCULO	AUTORES	FUENTE		PROTOCOLO (MAC - ROUTING)	N° DE FUENTES SIMULTÁNEAS (ALTO TRÁFICO)	PROBADO EN		NODOS EN LA RED	DESCRIPCIÓN DEL PROTOCOLO
			REVISTA	AÑO			SIMULACIÓN	HARDWARE		
1	PW-MAC: An Energy-Efficient Predictive-Wakeup MAC Protocol for Wireless Sensor Networks	Lei Tang, Yanjun Sun, Omer Gurewitz y David B. Johnson	INFOCOM, 2011 Proceedings IEEE- ieeexplore.ieee.org	2011	PW-MAC	2		X	15 motes MICAz	Protocolo MAC de eficiencia energética basado en un ciclo de trabajo asincrónico. Minimiza el consumo de energía del nodo sensor al permitir a los transmisores predecir los tiempos de activación del receptor. PW-MAC introduce un mecanismo de corrección de error sobre demanda que aborda de manera efectiva los retos de tiempo, tales como hardware y retrasos del sistema operativo y sincronización del reloj. También introduce un mecanismo eficiente de retransmisión basado en predicción para lograr una alta eficiencia energética, incluso cuando se producen colisiones inalámbricas y los paquetes deban ser retransmitidos. Fue comparado con X-MAC, RI-MAC y WiseMAC, superandolos significativamente.
2	EM-MAC: A Dynamic Multichannel Energy-Efficient MAC	Lei Tang, Yanjun Sun, Omer Gurewitz y David B. Johnson	Proceeding MobiHoc '11 Proceedings of the Twelfth ACM International Symposium on Mobile Ad Hoc Networking and Computing	2011	EM-MAC	1		X	15 motes MICAz	Protocolo MAC Multicanal de energía eficiente, que supera sustancialmente otros protocolos MAC para sensores inalámbricos estudiados particularmente en casos con interferencia inalámbrica. Es un protocolo predictivo, tiene ciclo de trabajo asincrónico que utiliza múltiples canales de radio comunes ortogonales con muchos tipos de dispositivos inalámbricos, incluyendo los radios IEEE 802.15.4 (ZigBee), ampliamente usados sobre dispositivos nodos sensores. Logra una alta eficiencia energética permitiendo a los emisores predecir con precisión el 'despertar del canal' y el momento de despertar de un receptor. Según el artículo, en comparación con S-MAC, B-MAC, X-MAC, DW-MAC, RI-MAC y PW-MAC, EM-MAC no sólo es más robusto frente a canales con interferencia, sino también capaz de manejar grandes y dinámicas cargas de tráfico para utilizar múltiples canales de manera eficiente.
3	EE-RI-MAC: An energy-efficient receiver-initiated asynchronous duty cycle MAC protocol for dynamic traffic loads in wireless sensor networks	Yueh-Tiam Yong, Chee-Onn Chow, Jeevan Kanesan y Hiroshi Ishii	International Journal of the Physical Sciences	2011	EE-RI-MAC	4 nodos contendientes		X	En una parte de la simulación se usaron 8 Nodos cercanos entre sí en una red de 7 x 7. También fueron usadas redes aleatorias con 100 topologías diferentes con 50 Nodos usadas para comparar EE-RI-MAC con RI-MAC	Protocolo MAC de receptor iniciado de eficiencia energética para manejar cargas de tráfico dinámico en RIS. Es una versión mejorada del protocolo RI-MAC con ciclo de trabajo asincrónico y que logra mejor eficiencia energética que el original, mediante la optimización del transmisor y el uso alternado de períodos de sueño y activación durante la escucha inactiva. El retardo en el protocolo EE-RI-MAC es mayor que RI-MAC, pero aún así es aceptable especialmente en sistemas de vigilancia donde el retardo no es crítico, como en aplicaciones de monitoreo del tiempo y control del nivel de agua. Estas aplicaciones requieren nodos de sensores que funcionan durante un largo período de tiempo, pero donde el retardo es de menor importancia.

Twelfth LACCEI Latin American and Caribbean Conference for Engineering and Technology (LACCEI'2014)
 "Excellence in Engineering To Enhance a Country's Productivity" July 22 - 24, 2014 Guayaquil, Ecuador.

INFORMACIÓN DEL FUNCIONAMIENTO DE PROTOCOLOS MAC EN RIS CON VARIAS FUENTES DE INFORMACIÓN										
N°	ARTÍCULO	AUTORES	FUENTE		PROTOCOLO (MAC - ROUTING)	N° DE FUENTES SIMULTÁNEAS (ALTO TRÁFICO)	PROBADO EN		NODOS EN LA RED	DESCRIPCIÓN DEL PROTOCOLO
			REVISTA	AÑO			SIMULACIÓN	HARDWARE		
4	EX-SMAC: An Adaptive Low Latency Energy Efficient MAC Protocol	Chinmaya Ku. Mishra, B.M.Acharya, Kaberi Das y Partha Sarathi Pati	International Journal on Computer Science and Engineering (UCSE)	2011	EX-SMAC	2	X		10 Nodos	Protocolo de energía eficiente para WSN basado en contención llamado S-MAC Extendido (EX-SMAC). Está diseñado con tres características principales: bajo ciclo de trabajo, menor número de colisiones y un mínimo overhearing. Como el nombre indica, es la extensión de S-MAC protocolo. Con EX -MAC se elimina la larga latencia de los paquetes para nodos intermedios lo cual es uno de las desventajas de los nodos sensores en SMAC. Los nodos sensores en S-MAC extendida tienen un tiempo muy corto de escucha, por lo tanto, reduce la energía necesaria para comunicarse con otros nodos, es decir escucha inactiva. También el número de colisiones en los casos donde dos o más nodos intenta enviar paquetes al mismo tiempo se minimiza, por lo tanto, el costo de retransmisión de paquetes perdidos y también el overhearing por otros nodos también se minimiza por tener un muy corto el tiempo de escucha para cada nodo de la red de sensores.
5	Evaluation of WiseMAC and extensions on wireless sensor nodes	Phillip Hurri, Torsten Braun y Markus Anwander	TELECOMMUNICATION SYSTEMS Volume 43, Numbers 1-2 (2010)	2010	WiseMAC	2	X	X	90 Nodos	Fue uno de los primeros Protocolos basados en muestreo del Preámbulo o escucha de baja potencia. Es uno de los protocolos más estables y uno de los más eficientes para escenarios con requerimientos de tráfico variable o bajo. Según el artículo, en comparación con S-MAC, B-MAC, X-MAC, DW-MAC, RI-MAC y PW-MAC, EM-MAC no sólo es más robusto frente a canales con interferencia, sino también capaz de manejar grandes y dinámicas cargas de tráfico usando múltiples canales de manera eficiente. WiseMAC. Basa su funcionamiento en un ciclo de trabajo corte asíncrono.
6	MC-LMAC: A multi-channel MAC protocol for wireless sensor networks	Ozlem Durmaz Incela, Lodewijk van Hoeseb, Pierre Jansenc, Paul Havinga	Ad Hoc Networks Volume 9	2011	MC-LMAC Protocolo de Enrutamiento Geográfico Forwarding (GF)	2 Nodos en el mismo timeslot pero sobre diferentes canales	X		100 Nodos	Protocolo MAC multicanal que maximiza el rendimiento de las redes inalámbricas de sensores mediante la coordinación de transmisiones a través de múltiples canales de frecuencia. Se basa en el acceso programado que facilita la coordinación de nodos, cambiando dinámicamente sus interfaces entre los canales y hace que el protocolo funcione eficazmente sin colisiones durante los picos de tráfico.
7	Power Efficient Dynamic MAC Protocol (D-MAC) for Wireless Sensor Networks	S. Swapna Kumar, M. Nandini Kumar, V. S. Sheeba y R. Kashwan	Journal of Information & Computational Science	2012	D-MAC Modelo Simple de Enrutamiento ADDV	1	X		3 Nodos	D-MAC es un protocolo MAC Adaptativo de eficacia energética que selecciona dinámicamente los periodos de preámbulo y apaga los nodos para conservar la energía. El protocolo presenta baja latencia para recopilación de datos y está diseñado para resolver el problema de interrupción dando al horario de sueño de un nodo un desplazamiento que depende de su profundidad en los nuevos procesos. DMAC también ajusta los ciclos de trabajo adaptativamente, según la carga de tráfico en la red. En la actualidad los resultados son proyectados hacia autoaprendizaje y algoritmos de tráfico adaptativo. La simulación muestra que DMAC proporciona un importante ahorro energético y la reducción de la latencia al tiempo que garantiza alta confiabilidad de datos.
8	TP-MAC: Trustable Pass Medium Access Control Protocol Design for Energy Aware Wireless Sensor Networks	C. Venkataramanan y S. M. Giri Rajkumar	European Journal of Scientific Research	2012	TP-MAC DSR (Dynamic Source Routing)	1	X		Se hicieron pruebas con redes de 50, 60, 70, 80, 90 y 100 nodos	En este protocolo cada nodo tiene su propio mecanismo para programar cuando escucha y cuando descanza, con niveles diferentes de ciclos de trabajo. El protocolo disminuye los intervalos de comunicación cuando el tráfico de datos es máximo, minimizando la utilización de la energía en un 95%, sin afectar la calidad del servicio comparado con otros protocolos como S-MAC
9	A Dynamic Traffic-Aware Duty Cycle Adjustment MAC Protocol for Energy Conserving in Wireless Sensor Networks	Tz-Heng Hsu, Tai Hoon Kim, Chao-Chun Chen, and Jyun-Sian Wu	International Journal of Distributed Sensor Networks	2012	TA-MAC	1	X		5 Nodos en una Red de 10 x 10	Protocolo MAC de Ajuste del Ciclo de trabajo para tráfico-consciente dinámico, el cual puede ajustar el ciclo de trabajo del sensor adaptativamente de acuerdo con el estado del bufer de recepción/transmisión, a la carga de tráfico y la vida de la batería. Después de que el sensor obtiene la información, ajusta adaptativamente el ciclo de trabajo para enviar o recibir paquetes. TA-MAC tiene dos objetivos claros: 1. Conservar la energía en el sensor con bajo tráfico y disminuir la latencia de transmisión e incrementar el rendimiento de vios datos sobre el sensor con bajo tráfico pesado. cada Sensor puede tener diferentes ciclo de trabajo para transmitir datos.
10	A Cross-Layer Duty Cycle MAC Protocol Supporting a Pipeline Feature for Wireless Sensor Networks	Fei Yong, Rong Xie, Lei Shu y Young-Chon Kim	Sensors ISSN 1424-6460 www.mdpi.com/journal/sensors	2011	P-MAC	1	X	X	200 Nodos	No necesita un mecanismo extra de enrutamiento independiente que lo soporte, por lo tanto la sobrecarga de comunicación en la red puede reducirse considerablemente sin aumentar la latencia de entrega ni sacrificar la eficiencia energética. Este Protocolo MAC de ciclo de trabajo cross layer totalmente integrado con función de enrutamiento. Usa la división por niveles y los esquemas de programación Asignada (GDSA) en la capa de red para asignar todos los nodos de sensores en diferentes niveles alrededor del sumidero (sink) y asegura que los nodos mantengan la programación escalonada entre dos niveles cualquiera adyacentes.
11	Flip-MAC: A Density-Adaptive Contention-Reduction Protocol for Efficient Any-to-One Communication	Doug Carlson Andreas Terzis	Distributed Computing in Sensor Systems and Workshops (DCOSS), 2011 International Conference on	2011	Flip-MAC	El banco de pruebas de evaluación demuestró que Flip-MAC funciona de manera efectiva con hasta 44 transmisores contendientes, completando negociación con éxito más de 95% del tiempo.	X	X	128 Nodos	El mecanismo de Flip-MAC, toma ventaja de la no destructiva interferencia de múltiples transmisores para reducir la contención a niveles manejables en tiempo logarítmico con respecto al nivel de contención inicial. Los resultados que se muestran en el artículo sugieren que Flip-MAC presenta un buen rendimiento a medida que aumenta la densidad de la red. La simulación indica que Flip-MAC no sólo es robusto para su actuación en enlaces pobres, compensando y favoreciendo el rendimiento de estos enlaces.

En general, en estos momentos se trabaja alrededor de protocolos MAC, cuyas características esenciales cubran las necesidades de las aplicaciones RIS. De ahí se desprenden proyectos de investigación para cubrir la diferencia entre lo que se necesita y lo que realmente ofrecen las soluciones RIS actuales:

- 1- Evitar las colisiones siempre que sea posible, ya que la retransmisión produce un innecesario consumo de energía y además posibles retrasos asociados. Por otro lado el evitar las colisiones puede producir un sobrecosto sustancial a la red, lo que consumiría mayor energía.
- 2- El envío de "overhead" en los protocolos a diseñar debe ser disminuida tanto como sea posible, esto incluye los paquetes que se utilizan para el control de acceso a la red y los bits de cabecera de los paquetes de datos. Esto es extremadamente importante para redes, con sensores, en la que el tráfico es lento y los paquetes son normalmente cortos.
- 3- En los sistemas inalámbricos típicos, el receptor está encendido siempre, lo que resulta en un consumo de energía significativo, ya que un gran porcentaje de la energía consumida ocurre cuando la radio está encendida. La situación ideal sería cuando la radio sólo se enciende cuando necesita enviar o recibir paquetes, y minimizar los esfuerzos de monitorización.
- 4- Se requiere investigación en puntos fundamentales del diseño de sistemas inalámbrico entre estos parámetros: eficiencia del uso de ancho de banda, retardo, calidad del canal o BER, y consumo de energía.

REFERENCIAS

- [1] Wei Ye, John Heidemann y Deborah Estrin. "An Energy-Efficient MAC Protocol for Wireless Sensor Networks"
- [2] Michael Buettner, Gary V. Yee and Eric Anderson, Richard Han. An X-MAC: A Short Preamble MAC Protocol for Duty-Cycled Wireless Sensor Networks. Proceedings of the 4th international conference on Embedded networked sensor systems, Boulder, Colorado, USA, 2006.
- [3] CHEE-YEE CHONG AND SRIKANTA P. KUMAR. Sensor Networks: Evolution, Opportunities, and Challenges. Proceedings of the IEEE, 2003
- [4] RK Thomas, Team-based access control (TMAC): a primitive for applying role-based access controls in collaborative environments. Proceedings of the second ACM workshop on Role-based access control. Pages 13 - 19, 1997.
- [5] A El-Hoiydi, JD Decotignie and C Enz, E Le Roux, "WiseMAC: An ultra low power MAC protocol for the wisenet wireless sensor networks, Proceedings of the 1st international conference on Embedded networked sensor systems, Pages: 302 – 303, 2003.
- [6] T Van Dam and K Langendoen, An adaptive energy-efficient MAC protocol for wireless sensor networks. Proceedings of the 1st international conference on Embedded networked sensor systems, Pages: 171 - 180, Los Angeles, California, USA. 2003
- [7] Kyle Jamieson, Hari Balakrishnan and Y.C. Tay, Sift: A MAC Protocol for Event-Driven Wireless Sensor Networks, MIT Computer Science and Artificial Intelligence Laboratory, The Stata Center, 32 Vassar St., Cambridge, MA 02139.
- [8] Stefano Basagni, Alessio Carosi, and Chiara Petrioli, [Sensor-DMAC: dynamic topology control for wireless sensor networks](#). Vehicular Technology Conference, 2004. VTC2004-Fall. 2004 IEEE 60th, page 2930- 2935 Vol. 4, September 2004.
- [9] J. Polastre, J. Hill, and D. Culler. Versatile low power media access for wireless sensor networks. *SenSys*, November 2005.
- [10] C. S. Raghavendra and Suresh Singh. PAMAS:Power Aware Multi-Access protocol with Signalling for Ad Hoc Networks, ACM Communications Review. Pages 5-26, volume 28, Columbia SC, 1999.

- [11] Wendi Rabiner Heinzelman, Anantha Chandrakasan and Hari Balakrishnan. Energy-Efficient Communication Protocol for Wireless Microsensor Networks. System Sciences, 2000. Proceedings of the 33rd Annual Hawaii International Conference on. page(s): 10 pp. vol.2, January, 2000.
- [12] Suresh Singh and CS Raghavendra Power efficient MAC protocol for multihop radio networks. The Ninth IEEE International Symposium on Personal, Colorado, USA, 1998.
- [13] Jing Li and Georgios Y Lazarou. A bit-map-assisted energy-efficient MAC scheme for wireless sensor networks. Pages 55 – 60, 2004, New York
- [14] Fan Wang, Ossama Younis and Marwan Krunz. [GMAC: A Game-theoretic MAC Protocol for Mobile Ad Hoc Networks](#), Modeling and Optimization in Mobile, Ad Hoc and Wireless Networks, 2006 4th International Symposium on. Page 1- 9, April 2006
- [15] Sheng Zhong, Jiang Chen and Yang Richard Yang. Sprite: A Simple, Cheat-Proof, Credit-Based System for Mobile Ad-Hoc Networks. IEEE INFOCOM, 2003
- [16] K. Sohrabi, J. Gao, V. Ailawadhi, and G. J. Pottie, "Protocols for self-organization of a wireless sensor network," IEEE Pers. Commun., vol. 7, no. 5, pp. 16–27, 2000.
- [17] M. C. Vuran and I. F. Akyildiz, "Spatial correlation-based collaborative medium access control in wireless sensor networks," submitted for publication, 2004.
- [18] P. Lin, C. Qiao, and X. Wang "Medium Access Control With A Dynamic Duty Cycle For Sensor Networks," in WCNC, Mar 2004.
- [19] C. Schurgers, V. Tsitsis, S. Ganeriwal, and M. Srivastava. Topology Management for Sensor Networks: Exploiting Latency and Density. In MobiHoc'02, 2002.
- [20] E.-S. Jung and N. H. Vaidya, "An Energy Efficient MAC Protocol for Wireless LANs," in IEEE Infocom 2002, June 2002.
- [21] P. Karn, "MACA - a new channel access method for packet radio," ARRL/CRRL Amateur Radio 9th Computer Networking Conf., 1990, page. 134-140.
- [22] Injong Rhee , Ajit Warrier , Mahesh Aia , Jeongki Min, Z-MAC: a hybrid MAC for wireless sensor networks, Proceedings of the 3rd international conference on Embedded networked sensor systems, November 02-04, 2005, San Diego, California, USA.
- [23] Torres, María Gabriela Calle. Energy consumption in wireless sensor networks using gsp. Diss. University of Pittsburgh, 2006.

AUTHORIZATION AND DISCLAIMER

Authors authorize LACCEI to publish the paper in the conference proceedings. Neither LACCEI nor the editors are responsible either for the content or for the implications of what is expressed in the paper.