

Técnicas de Optimización de Consumo Energético en Redes de Sensores Inalámbricos y Modelado Energético Básico de Nodos Sensores

Para citar este artículo /
To reference this article /
Para citar este artigo.
Mora, R. Carlos E., &
Ferro, E. Roberto (2014).
Técnicas de Optimización
de Consumo Energético
en Redes de Sensores
Inalámbricos y Modelado
Energético Básico de Nodos
Sensores. Ingenio Magno.
Vol 5, pp.41-51

TECHNIQUES FOR ENERGY OPTIMIZATION OF WIRELESS SENSOR NETWORKS AND BASIC NODE SENSOR ENERGY MODELLING

Mora Rodríguez, Carlos Eduardo, M.Sc. (E)
Universidad Distrital Francisco José de Córdova
e_mail: cemorar@correo.udistrital.edu.co.

Ferro Escobar, Roberto. PhD.
Universidad Pontificia de Salamanca
e_mail: rferro@cdistrital.edu.co.

Martínez, Carlos Andrés, M.Sc. (E)
Universidad Distrital Francisco José de Córdova
e_mail: camartineza@correo.udistrital.edu.co.

Recepción: 2014 - 06 - 30 \ Aceptación: 2014 - 12 - 22

RESUMEN

Uno de los temas de estudio e investigación que más se ha tratado en los últimos años, se refiere a las redes de sensores inalámbricas (WSN), en la búsqueda de la literatura se puede observar que la mayoría de publicaciones y estudios se centra en el mejoramiento de la eficiencia energética y el tiempo de vida de la red, atacando varios puntos esenciales de la misma. En este artículo se abordarán las principales técnicas para lograr este cometido, se define además, un modelo básico de consumo y se introduce el concepto de "Energía por ciclo" en WSN.

Palabras Claves: Eficiencia Energética, Energía Por Ciclo, Especialización De Hardware, Modelo De Consumo, Traducción Ip, Wsn.

ABSTRACT

Over the last years, WSN's (Wireless Sensor Networks) have become a really common topic for investigation and study, researching the literature reveals that the majority of publications deal with improvements in energy efficiency and network lifespan, dealing with essential issues around this topic. This paper will explore the most important techniques to improve network lifespan, propose a basic consumption model and introduces the "Energy by cycle" concept in WSN's.

Keywords: Consumption Model, Energy by Cycle, Energy Efficiency, Hardware Specialization, Ip Translation, Wsn.

INTRODUCCIÓN

Una red WSN puede definirse como una infraestructura comprendida por elementos de medida, computación y comunicación, que se encuentran desplegados en una zona de interés que puede estar en espacios abiertos (Daozong, Sheng, Weixing, Jingchi. 2010) (Sun J. Jin H. 2011) o cerrados (Baghyalakshmi, Jemimah E. Satyamurty. 2011) (Tongjuan L. Jun L. Bingwu L. 2010) y permiten al usuario la capacidad de observar y reaccionar frente a eventos que se detecten dentro de dicha área. Entre las aplicaciones de las redes WSN se encuentran la seguridad, la investigación, el monitoreo (Song, Jihong. 2011), el control y muchas otras que necesiten la obtención de datos rápidos y a bajo costo.

Generalmente las redes WSN se encuentran en sitios remotos o de difícil acceso (Vieira F. 2010), lo que hace casi imposible realizar mantenimiento a los nodos, e inclusive, cambiar las fuentes de alimentación (Didioui A. Bernier C. Morche D. Sentieys O. 2013) que les proveen energía. Es por esta razón que al realizar el diseño de una red WSN es prioritario utilizar elementos que sean eficientes en términos de consumo de energía y así la vida útil de la red sea lo más larga posible (Di Pietro R. Mancini L. Mei A. 2006).

También se han desarrollado investigaciones que permiten proveer la energía de las redes WSN a través de fuentes alternativas (Leander B. Philipp M. Christian S. Reinhold W. 2001) (Castagnetti A. Pegatoquet A. Belleudy C. Auguin M. 2012) mejorando aún más el desempeño energético de las redes, y en la planeación de los números de elementos necesarios para desplegar una red WSN (Zhong H. Qian Z. Liu Y. Wang X. Wang Y. 2012)

Este artículo se encuentra definido de la siguiente forma: En la parte 1, se describen los objetivos y la metodología de la investigación realizada en este artículo de revisión, en las partes 2,3 y 4 se realizará una revisión de cada una de las técnicas más ampliamente utilizadas para optimizar el consumo de energía en las redes WSN, posteriormente en la parte 5 se definirá

un modelo básico de consumo de energía para un nodo sensor, en la parte 6 se realizará una discusión acerca de cómo lograr la optimización del consumo energético en una red WSN y en la parte 7 se entregarán las conclusiones de la revisión y la discusión realizada, así como los proyectos futuros que se plantean sobre el tema desarrollado.

1. OBJETIVOS Y METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

En los últimos años, dos temas se han convertido en temas de estudio bastante frecuentes. Uno de los temas son las energías renovables, y el otro son las redes de sensores inalámbricos en conjunto el internet de las cosas. Debido a la importancia que se ha dado en la actualidad a estos temas, y la posibilidad de realizar nuevas investigaciones sobre los mismos, se ha publicado una extensa literatura, entre la que se encuentran estudios sobre el ahorro de energía en las redes de sensores y el uso de energías renovables como fuentes de alimentación de dichas redes.

Debido al interés de los autores, de comenzar futuras investigaciones sobre éstos dos temas, se ha escrito este artículo, el cual hace una extensa revisión de diversas publicaciones académicas, intentando encontrar el punto de encuentro de éstos dos temas y tratando de definir un modelo que permita comprender el funcionamiento de las redes WSN y el consumo energético de las mismas, de acuerdo a las funcionalidades que realiza. Obteniendo de esta forma, amplias posibilidades de temas de investigación, que abarcan desde la creación de hardware para realizar mediciones, hasta la definición de modelos de software para simulación y modelos matemáticos que permitan realizar un ahorro de energía importante al momento de realizar despliegues de redes de este tipo.

Este artículo realiza una profunda revisión de todas las técnicas encontradas en más de 50 artículos de investigación publicados en revistas y eventos académicos, sobre redes de sensores inalámbricos, enfocándose con gran empeño en el consumo energético de los nodos y de la red en general.

2. ESPECIALIZACIÓN DE HARDWARE Y SOFTWARE

Una de las técnicas más utilizadas para el diseño de una red WSN longeva, se centra en crear o modificar el hardware que va a formar parte de la misma, algunos autores (Muhammad P. Steven D. Olivier S. 2010) (Yang T. Lian-yong Y. 2008) proponen que el hardware del nodo sea dividido para ser utilizado en intervalos de tiempo diferentes, mediante una técnica conocida como micro-tasking. Esta técnica permite el ahorro mediante la puesta en modo inactivo de las partes del hardware del nodo que no se necesita usar en un tiempo dado.

El hardware de uno nodo sensor, se puede descomponer en 5 partes principales: El procesador, el sensor, el módulo de almacenamiento, el transmisor (Zigbee. Bluetooth. (Hongyu C. Zhijiang X. Yanhua S. Qin L. Zengzhen M. 2010), Wi-fi, 3G (Moreira N. Venda M. Silva C. Marcelino L. Pereira A. 2011)) y la fuente de alimentación. Como se puede ver, todos los elementos del sensor se encuentran haciendo uso de la fuente de alimentación en forma simultánea.

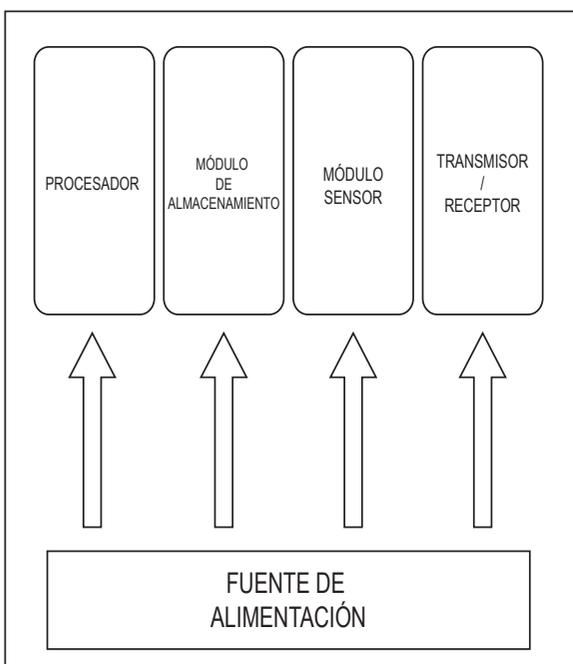


FIGURA 1. Esquema básico de un nodo sensor.

Lo que se busca con el micro-tasking, es que ese esquema se modifique, dando lugar al que vemos a continuación.

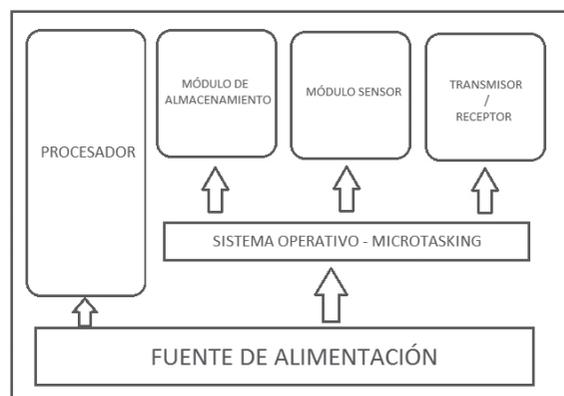


FIGURA 2. Nodo sensor optimizado con micro-tasking.

Este esquema permite incluir en el procesador un sistema operativo que gobierne los tiempos activos de las otras partes del nodo (Zhong H. Qian Z. Liu Y. Wang X. Wang Y. 2010), de tal forma que no se consuma energía en mantener encendidos módulos que no se están utilizando en el momento.

Este método de mejoramiento del consumo de energía ya empieza a ser ampliamente utilizado para el diseño de las redes WSN ya que es un principio simple que puede verse incluso en los módulos zigbee utilizados en la actualidad.

Sin embargo, otros autores (Baoquian K. Li C. Lei Z. Yongjun Xu. 2007) van incluso más lejos, realizando un análisis completo del desgaste energético que representa cada uno de los módulos, determinando otros factores tales como la velocidad de transmisión, la potencia de transmisión y el tiempo de muestreo. Sin embargo estos factores varían además dependiendo del tipo de medición que estén realizando, por lo que su análisis se vuelve algo más complicado y específico.

Esta creación de hardware especializado debe complementarse con rutinas de software que permitan sacar un mayor provecho de los elementos incluidos. Una muestra de esto, es la propuesta de F. Lavratti, L. Bolzani y F. Vargas (2010) en la cual se presenta un sistema de transmisión con potencia autoajustable y con respuesta a ambientes ruidosos, con el que se logra reducir el consumo de potencia por sobre-transmisión.

Otra rutina de software que se debe tener en cuenta al momento de realizar el diseño de un hardware especializado, es la rutina de OLST (On Line Self Test), en la cual se hace una revisión de todos los elementos de hardware del nodo para indicar el estado del mismo, este OLST se debe realizar de forma periódica para así mantener una información actualizada de cada uno de los nodos. Sin embargo, cada revisión tiene un costo energético y por eso la periodicidad de estos auto-test se ha venido revisando, buscando aumentar los períodos entre ejecuciones (Merentitis A. Paschalis A. Gizopoulos D. N. Kranitis, 2010).

3. ALGORITMOS DE POSICIONAMIENTO DE NODOS

Generalmente las redes WSN se componían de los nodos sensores y de un receptor que en la mayoría de los casos se encuentra fuera del rango de medición, todos los nodos transmitían hacia el mismo receptor, y ya que cada nodo se encontraba a una distancia distinta, cada nodo hacía un consumo energético distinto. Se puede decir que la vida útil de los nodos dependía de la distancia a la que se encontraba del receptor (sink node).

De esta forma, los nodos sensores que se encuentran en la Zona 3 se apagarían primero que los de la Zona 2 y estos a su vez funcionarían menos tiempo que los de la Zona 1.

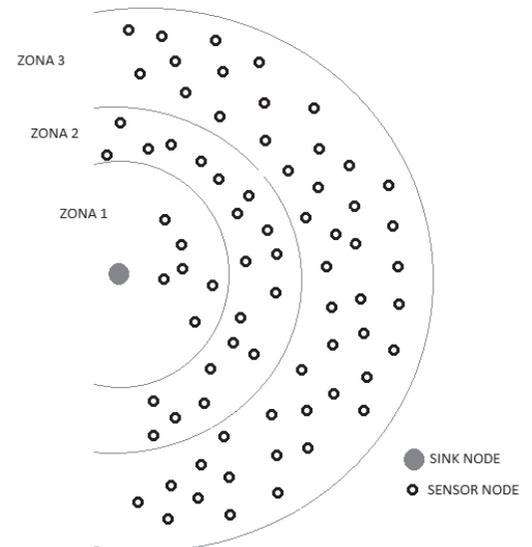


FIGURA 3. Esquema de posicionamiento de nodos.

Teniendo en cuenta este problema y además otros como la interferencia y el tiempo de respuesta del receptor, se comenzó a trabajar agrupando los nodos en clústeres y asignando un nodo como CH (Cluster Head), siendo este, el nodo encargado de recoger toda la información de los nodos del clúster y enviarla al receptor.

Tal como se puede apreciar en la figura 4, los nodos sensores no deben transmitir ahora hasta el receptor, sino que envían sus datos al CH, que es el único que se comunica con el receptor y entrega la información de todos los nodos que pertenecen al cluster. Con este modelo, se evita el desgaste de energía de los nodos sensores al evitar transmitir a distancias más largas.

Así como los nodos sensores evitan un desgaste de energía, el CH realiza un gasto de energía mayor al tener que transmitir más información y a una distancia mayor, hay que recordar que el CH es un nodo común y corriente, el cual se adapta para realizar funciones especiales. Con el concepto de nodos en clústeres, se encontró también el primer algoritmo para definir el nodo que iba a tomar esta función, dando lugar a LEACH, el primer algoritmo para elección de los CH, en el cual, esta función va trasladándose desde un nodo a otro mediante algunos parámetros como el tiempo que ha ejercido anteriormente como CH.

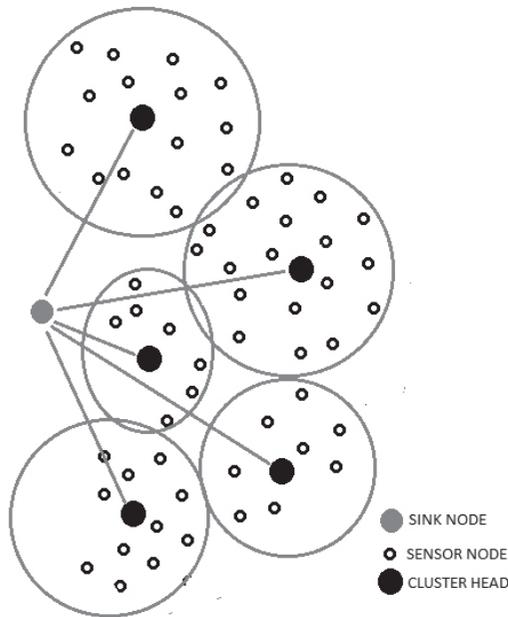


FIGURA 4. Esquema de posicionamiento en clústeres.

Este algoritmo ha sufrido múltiples modificaciones, y varios desarrollos (Deqiang C. Yu J. 2008) se han centrado en crear un algoritmo que optimice el consumo de energía y se reduzcan los costos de la red (Xuefeng L. Jiannong C. Steven L. Chao Y. Hejun W. You L. 2011) (Cüneyt S. Altan K. 2009); así, se encuentran varios autores que muestran diversos caminos para determinar el CH y el número de clústeres que se deben crear en una red WSN, (Yang T. Lian-yong Y. 2008) (Jiong W. Sirisha M. 2007) (Raghuvanshi A. Tiwari S. Tripathi R. Kishor N. 2010) (Pellenz M. Jamhour E. Pereira M. Souza R. 2013) así como la posición del CH (Alageswaran R. Usha R. Gayathridevi R. Kiruthika G. 2012).

Se debe tener en cuenta que un fallo en el CH hace perder la información de ese nodo y de todos los nodos del clúster que se están comunicando a través de él, por lo cual aumentar la disponibilidad y el tiempo de vida del CH es vital para mantener la red activa y entregando la información necesaria. Thandar T. Sung-Do C y Jong S. (2008) proponen un método para aumentar la vida útil de los CH mediante el uso de regeneración de software y haciendo uso de una estrategia de redundancia para que en caso de fallos del primer CH, entre en operación el que se encuentra como refuerzo y se evite que los nodos conectados pierdan la comunicación con la estación base.

Otros autores, ya han tomado en cuenta la necesidad de la variación en la elección de los CH en la redes WSN móviles (Samar S. Alia I. Pignato E. Larsson T. 2011), sin embargo, en este redes no se varían los CH, sino que se realizan variaciones en los nodos transmisores para que se conecten al CH más cercano y eviten transmisiones a largas distancias.

4. EFICIENCIA EN PROTOCOLOS DE COMUNICACIÓN

Otro de los puntos clave en el diseño de una red WSN, es definir cómo se va a realizar la comunicación entre la red WSN y otros equipos que manejen el protocolo IP. Se trabajan generalmente dos formas de realizar esta comunicación, las cuales se muestran en la figura 5. La primera consiste en dotar directamente a los nodos sensores con hardware capaz de entregar la información siguiendo el protocolo IP, mientras que la segunda consiste en una solución de Gateway en la cual un elemento externo recoge toda la información de la red y realiza la traducción correspondiente IP-WSN y viceversa.

En búsqueda de una optimización en el consumo de energía, la opción de dotar a los nodos con más hardware no es compatible, ya que esto supondría un mayor consumo, además la traducción se haría por cada nodo y no sería eficiente en la transmisión, es por esto que las soluciones de tipo Gateway (Hänninen M. Suhonen J. Hämäläinen D. Hännikäinen M. 2001) se han vuelto más populares y han surgido varios modelos (Karim A. Mohammad A. Mohammad H. 2009) (Cao H. Chen J. 2010) que mejoran el rendimiento energético en las soluciones de este tipo.

Para realizar este tipo de transmisión se han desarrollado varios protocolos, como el μ IP y el lwIP, sin embargo hoy en día el más importante y referenciado es el protocolo 6LOWPAN, que es un protocolo IPv6 diseñado para redes personales (PAN) de bajo consumo. La optimización en la traducción IP-WSN puede lograrse por dos caminos, reduciendo la cantidad de bits transmitidos, o reduciendo la cantidad de transmisiones.

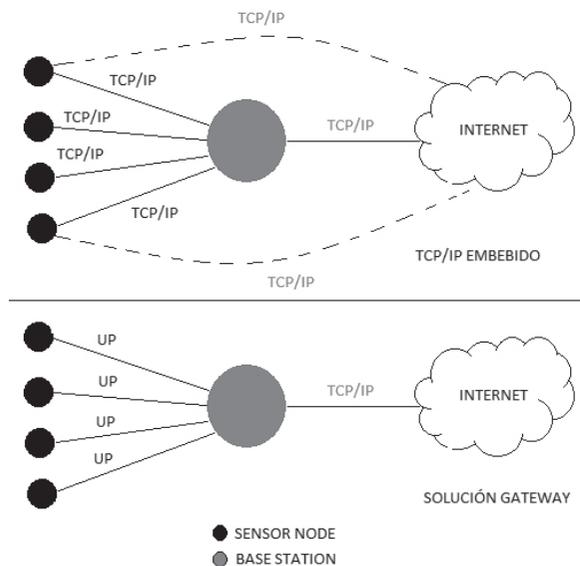


FIGURA 5. Esquemas de comunicación WSN-IP.

Generalmente es fácil encontrar trabajos sobre desarrollo de nuevos protocolos, que establecen nuevos formatos de trama para realizar la transmisión (Yu X. Xiaoyan C. Hang L. Teng X. 2010) (Jari K. Juntunen M. 2006), estos formatos generalmente tratan de dar una solución óptima al problema de la identificación de los nodos de la red WSN, que es uno de los problemas de red más complicado, ya que los nodos transmisores no cuentan con un número de identificación único, tal como una dirección MAC.

En la actualidad, el concepto de WSN se ha extendido a redes móviles, teniendo que adaptar los protocolos utilizados en redes móviles IP a protocolos WSN (Motaharul I. Mohammad H. Eui-Nam H. 2010), así se encuentra el surgimiento de protocolos como HIP y NEMO, que han sido modificados buscando una mejor cobertura, eficiencia y una administración menos compleja (Quian-Bin C. Hai-Jun H. Ya-Lai Z. Rong C. 2010).

Además de la traducción, otra parte importante en la comunicación se refiere a la seguridad con la que la información de la red llega al destino deseado (Mohamed M. Satta S. Rao G. M Sajitha. 2011). Es por esto que también se han realizado varios estudios para determinar cuál método de cifrado permite un menor consumo energético y a cuánto asciende este consumo. Generalmente la discusión en este tema, se centra en establecer cuando es realmente necesario realizar una

encriptación de los datos, es decir, cuando los datos deben ser confidenciales y por lo tanto, transmitidos de forma segura.

Sin embargo, ya que las redes WSN son utilizadas frecuentemente en aplicaciones militares y médicas (María C. Juan N. Jesús L. 2009), la confidencialidad deja de ser una opción para convertirse en una necesidad, es por eso que se han realizado varios estudios para determinar cuál método de encriptación tiene un mejor rendimiento energético (Jongdeog L. Krasimira K. Sang H. 2010), en este punto, es importante revisar que generalmente cada protocolo de comunicación tiene un método de encriptación definido.

5. DEFINICIÓN DE UN MODELO DE CONSUMO PARA UN NODO WSN.

El realizar un modelo del nodo sensor para redes WSN, permite que puedan desarrollarse y simularse nuevos métodos de optimización de energía para los mismos, (Walravens C. Dehaene W. 2011) (Madureira H. Medeiro J. Da Costa J. Bessera S. 2011) así como métodos de medición de redes WSN. Actualmente los simuladores no son lo suficientemente flexibles para probar nuevos métodos, lo que nos lleva a definir nuestro propio modelo para posteriormente poder realizar simulaciones en herramientas como Matlab, o desarrollar un simulador que permita variar más parámetros e incluir rutinas de software para mejorar los procesos de micro-tasking.

El simulador más utilizado para redes WSN, es Omnet ++, el cual permite una mayor versatilidad y escalabilidad en las redes de gran tamaño (Xiaodong X. Weiren S. He H. 2008) (Peng L. Zeng Jiazhi, Yuan H. Li H. 2007) (Kamarudin L. Ahmad R. Ong B. Zakaria A. Ndzi D. 2010), sin embargo muchos otros autores (Antoine-Santoni T. Santucci J.F. De Gentili. E. Costa B. 2008) (Baghyalakshmi D. Jemimah E. Satyamurty S. 2011) han realizado desarrollo de sus propios simuladores para redes WSN.

Tomando en cuenta el uso de técnicas de micro-tasking para mejorar el consumo de energía de

los nodos sensores, y que para esto es necesario definir rutinas de software adecuadas, se desarrolló un modelo básico de consumo de un nodo sensor, basado en el tiempo de consumo de cada elemento del nodo, introduciendo así un concepto que se define como “Energía por Ciclo”, y que se refiere al consumo de energía por parte del nodo sensor durante un ciclo de ejecución de la rutina pre-programada.

Tomando en cuenta los componentes del nodo sensor definidos anteriormente en la figura 2, se encuentra una ecuación de consumo para el nodo sensor en un intervalo de tiempo determinado.

$$E_T = E_P + E_M + E_S + E_C \quad (1)$$

En la que la energía total E_T es la suma del consumo de energía de todos los elementos que conforman el nodo sensor, siendo E_P el consumo de energía por parte del procesador, E_M el consumo de energía por parte del módulo de almacenamiento (Memoria), E_S el consumo de energía por parte del sensor, y E_C el consumo de energía por parte del módulo de comunicaciones.

El modelo planteado, modifica la ecuación teniendo en cuenta el impacto del micro-tasking en el consumo energético, para lo cual se tienen en cuenta las siguientes consideraciones:

- El tiempo total, es el tiempo que toma llevar a cabo toda la rutina de medición y envío de la información hacia el destino (CH o Receptor).
- El procesador mantiene un consumo de energía constante durante todo el intervalo de la rutina.
- El consumo de energía de un elemento cuando se encuentra en estado de inactividad, siempre debe ser menor al consumo de energía cuando el elemento se encuentra activo.
- Otros aspectos que incidan sobre el consumo de cada elemento, no serán tenidos en cuenta para el modelo.
- Todos los elementos se encontrarán activos un tiempo t menor que el tiempo completo de rutina τ .

El modelo desarrollado, teniendo en cuenta las anteriores condiciones, toma entonces la siguiente forma:

$$E_{T(\tau)} = E_{P(\tau)} + EA_{M(tm)} + EI_{M(\tau-tm)} + EA_{S(ts)} + EI_{S(\tau-ts)} + EA_{C(tc)} + EA_{C(\tau-tc)} \quad (2)$$

En la que define todo el tiempo del ciclo de ejecución de la rutina, y ts , tm y tc definen los tiempos durante los cuales cada elemento se encuentra en su estado activo, de la misma forma EA define el consumo de energía del elemento cuando está activo y EI el consumo de energía del elemento cuando se encuentra inactivo.

Este modelo es aplicable para cualquier nodo sensor, y es escalable permitiendo incluir más sensores dentro del nodo, obteniendo el valor del consumo total, calculando nuevamente la ecuación descrita con anterioridad. Igualmente, sobre el modelo se pueden aplicar fácilmente algoritmos que permitan modificar los tiempos de Estados Activos e Inactivos para los componentes del nodo.

Los valores de consumo de energía en estado activo e inactivo generalmente se encuentran en las definiciones eléctricas de cada dispositivo, otro tipo de factores que se utilicen para modelar el consumo de energía, como la potencia de transmisión, [19] pueden desarrollarse de forma paralela y obtener valores promedio para utilizar en el modelo básico descrito.

6. DISCUSIÓN

La optimización energética es el tema que más preocupa a los diseñadores de una red WSN, ya que siempre es importante que la red sea autónoma y lo más longeva posible.

Además de las técnicas descritas en este artículo, se pueden encontrar muchos otros trabajos encaminados a mejorar el consumo de energía de las WSN, así como también trabajos acerca de la inclusión de fuentes alternativas de energía para mejorar el tiempo de vida de las redes,[20]

generalmente se incluyen fuentes fotovoltaicas para mediciones en espacios abiertos, mecánicas para mediciones móviles y termo-eléctricas para mediciones en aplicaciones de e-Health, es importante tener en cuenta estos elementos al momento de diseñar, para así aprovechar estas fuentes de energía alternativa de la mejor forma.

La electrónica está avanzando hacia una era de bajo consumo, cada vez se están creando y utilizando microprocesadores y otros elementos que consumen solo una parte de la energía que consumían anteriormente. Estos avances hacen posible pensar en redes más longevas y en dejar de hacer uso de algunas técnicas que son de difícil implementación.

El diseñador de una WSN, debe tener en cuenta todas las partes que constituyen la red, tratando de ahorrar energía en cada una de los componentes y en cada uno de los procesos necesarios. Utilizar una solución completa entregada por un fabricante, limita la capacidad de ahorro y la capacidad de investigación que puede encontrarse en cada diseño que se realice.

7. CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS

1. Lograr que una red WSN sea eficiente en términos de consumo, requiere de la adopción de varias estrategias, envolviendo cada uno de los puntos clave del diseño.

2. A pesar de todas las técnicas para mejorar el desempeño energético de una red, las empresas productoras de hardware se encuentran también en una carrera tecnológica para desarrollar dispositivos más duraderos y de menos consumo, con lo que próximamente, estas técnicas no serán tan representativas en la reducción de consumo.

3. Dependiendo de las mediciones que realice la red WSN que se vaya a diseñar, se pueden obtener mecanismos de auto-suficiencia energética adecuados, que permitan indefinido de los elementos de la red.

4. Para diseñar una red WSN que sea energéticamente eficiente, se debe optar por

un diseño propio de hardware, ajustado a las necesidades de la red, e implementar en el hardware diseñado un método de comunicación eficiente en términos de consumo.

5. Lograr un desempeño energético óptimo utilizando hardware y protocolos dados por empresas, es prácticamente imposible ya que siempre es posible lograr con diseños propios una reducción de consumo.

Este artículo sienta las bases para realizar trabajos futuros sobre el tema de las redes WSN, entre los trabajos que se pueden relacionar se tiene la modificación del modelo descrito con el fin de incorporar mediciones por eventos y determinar hasta qué punto las mediciones por eventos pueden incurrir en ahorro de energía, o por el contrario, pueden llevar a un mayor consumo.

De igual forma, se está estudiando desarrollar un simulador para redes WSN, enfatizado en el ahorro de energía, permitiendo configurar rutinas de medición por detección de cambios [38] y otros algoritmos que permitan la optimización de la energía en los dispositivos sensores.

AGRADECIMIENTOS

Este artículo y los trabajos futuros planteados se desarrollan gracias al apoyo del programa de Colciencias "Jóvenes Investigadores" en su convocatoria 025 de 2011.

1. Jari K. Juntunen MauriKuorilehto. (2006). WSN API: Application Programming interface for wireless sensor networks. *The 17th annual IEEE international Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications*.
2. Thandar Thein, Sung-Do Chi, Jong Sou Park, (2008) Increasing Availability and survivability of Cluster Heads in WSN. *3rd International Conference on Grid and Pervasive Computing*.
3. Deqiang Cheng, Yu Jin. (2008). A Catenulate Hierarchy WSN Topology Control Algorithm in coal face. *Wireless Communications, Networking and Mobile Computing*.
4. Ricardo V. Adilson M. Fábio F. (2010). A WSN energy management architecture applied to the Amazonian region. *7th International conference on Information technology*.
5. Muhammad P. Steven D. Olivier S. (2010). A complete Design–Flow for the generation of Ultra-Low Power WSN Node Architecture based on micro-tasking. *Design Automation Conference (DAC)*.
6. Yang Tao, Lian-yong Yuan. (2008). Optimized coverage algorithm in WSN based on Energy Balance. *11th IEEE Singapore International Conference on Communication Systems*.
7. Cüneyt Sevgi, Altan Kocyigit. (2009). An Optimal Network dimensioning and initial energy assignment minimizing the monetary cost of a heterogeneous WSN. *6th International Symposium on Wireless Communication Systems*.
8. A. Merentitis, A. Paschalis, D. Gizopoulos, N. Kranitis. (2010). Energy Optimal On-Line Self-Test of microprocessor in WSN Nodes. *IEEE International Conference on Computer Design (ICCD)*.
9. Muhammad A. Steven D. Olivier S. (2010). A novel Approach for Ultra-Low Power WSN node generation. *IET Irish Signals and Systems Conference*.
10. Yu Xiao, Xiaoyan Cui, Hang Li, Teng Xi. (2010). A protocol simplifying mechanism for a WSN Module. *International Conference on Electronics and Information Engineering*.
11. Baoqian Kan, Li Cai, Lei Zhao, YongjunXu. (2007). Energy Efficient Design of WSN Based on An Accurate Power Consumption model. *International Conference on Wireless Communications, Networking and Mobile Computing*.
12. Jongdeog Lee, Krasimira K. Sang H. Son. (2010). The price of Security in WSN. *Computer Networks Vol. 54, pag 2967-2978*.
13. Definición de 6lowpan en la página de internet: <http://datatracker.ietf.org/wg/6lowpan/>
14. F. Lavratti, L. Bolzani, F. Vargas. (2010). Evaluating a Transmission Power Self-Optimization Technique for WSN in EMI Environments. *Euromicro Conference in Digital System Desing*.
15. Karim A. Mohammad A. Mohammad H. (2009). A Gateway-based framework for transparent interconnection between WSN and IP Network. *IEEE EUROCON, 2009*.
16. María C. Juan N. Jesús L. (2009). A security and privacy survey for WSN in e-health Applications. *Robotics, electronics and Automotive Mechanics Conference, 2009*.
17. Quian-Bin Chen, Hai-Jun Hu, Ya-Lai Zhao, Rong Chai. (2010). HIP-Based Network Mobility Management for WSN. *IEEE Youth Conference on Information Computing and Telecommunications, 2010*.

18. Motaharul Islam, Mohammad Hassan, Eui-Nam Huh. (2010). Sensor Proxy Mobile IPv6 (SPMIPv6) – A Framework of mobility supported IP-WSN. *13th International Conference on Computer and Information Technology*.
19. Qin Wang, Woodward Yang. (2007). Energy Consumption Model for Power Management in WSN. *IEEE SECON, 2007*.
20. Yan Kheng, Sanjib Kumar. (2010). Review of Energy harvesting Technologies for sustainable WSN. *Sustainable Wireless Sensor Networks, IN-TECH*, Chapter 2.
21. Xiaodong Xian, Weiren Shi, He Huang. (2008). Comparison of OMNET ++ and other simulator for WSN Simulation. *IEEE Conference on Industrial Electronics and applications*.
22. Antoine-Santoni T. Santucci J.F. De Gentili. E. Costa B. (2008). DEVS-WSN: A discrete event approach for WSN Simulation. *IEEE/ACS International Conference on Computer Systems and Applications*.
23. Vieira Duarte, Martins Francisco. (2010). Automatic Generation of WSN Simulations: From Callas Applications to VisualSense Models. *Fourth International Conference on Sensor Technologies and Applications*.
24. D. Baghyalakshmi, Jemimah Ebenezer, S.A.V. Satyamurt. (2011). WSN Based Temperature monitoring for High Performance Computing Cluster. *IEEE- International Conference on recent Trends in information Technology*.
25. Samar Sajadian, Alia Ibrahim, Edison Pignaton de Freitas, Tony Larsson. (2011). Improving Connectivity of Nodes in Mobile WSN. *International Conference on Advanced Information Networking and Applications*.
26. Cao Hua, Chen JiazhonG. (2010). Service-Oriented transparent Interconnection between Data-Centric WSN and IP Networks. *International Conference on Electrical and Control Engineering*.
27. Peng Lei, Zeng Jiazhi, Yuan Hai, Li Huiyun. (2007). WSM: Introduction, Design and Case Study. *International Conference on Wireless Communications, Networking and mobile Computing*.
28. Jiong Wang, Sirisha Medidi. (2007). Energy Efficient coverage with variable sensing Radii in WSN. *IEEE International Conference on Wireless and Mobile Computing, Networking and Communications*.
29. Tongjuan Liu, Jun Liu, Bingwu Liu. (2010). Design of Intelligent warehouse Measurement and control system Based on Zigbee WSN. *IEEE International Conference on Mechatronics and Automation*.
30. Daozong Sun, Sheng Jiang, Weixing Wang, Jingchi Tang. (2010). WSN Design and implementation in a Tea Plantation for Drought Monitoring. *International Conference on Cyber-Enabled Distributed Computing and Knowledge Discovery*.
31. Di Pietro Roberto, Mancini Luigi V. Mei Alessandro. (2006). Energy Efficient node-to-node authentication and communication confidentiality in wireless sensor networks. *Wireless Networks*, Volume 6.
32. Xiaoyan Cui, Xiaodong Zhang, Yongkai Shang. (2007). Energy-saving Strategies of Wireless Sensor Networks. *IEEE 2007 International Symposium on Microwave, Antenna, Propagation, and EMC Technologies for Wireless Communications*.
33. Hongyu Chu, Zhijiang Xie, Yanhua Shao, Qin Liu, Zengzhen Mi. (2010). Design and Implement of WSN Based on Bluetooth and Embedded System. *International Conference on Computer Application and System Modeling*.
34. A. S. Raghuvanshi, S. Tiwari, R. Tripathi, N. Kishor. (2010). Optimal Number of Clusters in Wireless Sensor Networks: An FCM Approach. *International Conference on Computer and Communication Technology*.
35. Leander B. Hormann, Philipp M. Glatz, Christian Steger and Reinhold Weiss. (2011). Designing of Efficient Energy Harvesting Systems for Autonomous WSNs Using a Tier Model. *18th International Conference on Telecommunications*.

36. Xuefeng Liu, Jiannong Cao, Steven Lai, Chao Yang, Hejun Wu, You Lin Xu. (2011). Energy Efficient Clustering for WSN-Based Structural Health Monitoring, *IEEE INFOCON*, 2011.
37. Sun Junying, Jin Huilong. (2011). Intelligent Design in Fire Prevention Based on WSN. *2011 International Conference on Uncertainty Reasoning and Knowledge Engineering*.
38. Zheng Zhou, Gang Qu. (2011). An Energy Efficient Adaptive Event Detection Scheme for Wireless Sensor Network. *IEEE International Conference on Application-Specific Systems, Architectures and Processors (ASAP)*.
39. Walravens Cedric, Dehaene Wim. (2012) Design of a Low-Energy Data Processing Architecture for WSN Nodes. *Design, Automation and Test in Europe Conference and Exhibition*.
40. R. Alageswaran, R. Usha, R. Gayathridevi, G. Kiruthika. (2012). Design and Implementation of Dynamic Sink Node Placement using particle Swarm Optimization for Life Time Maximization of WSN applications. *IEEE-International Conference on Advances in Engineering, Science and Management*.
41. Madureira Heider, Medeiro José Edil, Da Costa José C. Bessera Gilmar S. (2011). System-Level power Consumption modeling of a SOC for WSN applications. *International Conference on Networked Embedded Systems for Enterprise Applications*.
42. Song Ping, Chen Chang, Kejie Li and Li Sui. (2008). The Design and Realization of Embedded Gateway Based on WSN. *International Conference on Computer Science and Software Engineering*.
43. Hänninen Markku, Suhonen Jukka, Hämäläinen Timo D. Hännikäinen Marko. (2001). Practical Monitoring and analysis tool for WSN. *Conference on Design and Architectures for signal and Image processing*.
44. Song, Jihong. (2011). The application of WSN Technology in the space location System. *4th International Congress on Image and Signal Processing*.
45. Moreira Nuno, Venda Marco, Silva Catarina, Marcelino Luis, Pereira Antonio. (2011). Sensor – Mobile Application to Monitor a WSN. *6th Iberian Conference on Information Systems and Technologies*.
46. Mubarak T. Mohamed, Satta Syed, Rao G. Appa, M Sajitha. (2011). Intrusion Detection: An Energy Efficient approach in Heterogeneous WSN. *International Conference on Emerging Trends in Electrical and Computer Technology*.
47. Castagnetti Andrea, Pegatoquet Alain, Belleudy Cecile, Auguin Michel. (2012). An Efficient state of charge prediction model for solar harvesting WSN Platforms. *9th International Conference on Systems, Signals and Image Processing*.
48. Zhong Hui, Qian Zhi-hong, Liu Ying, Wang Xue, Wang Yi-jun. (2010). Modeling on Prediction of WSN Sleep Scheduling: A Preliminary Study. *2n International Conference of Software Engineering and Data Mining*.
49. Pellenz Marcelo, Jamhour Edgard, Pereira Marcos, Souza Richard (2013). An Outage-based Method for Planning Wireless Sensor Mesh Networks. *International Symposium on wireless and Pervasive computing*.
50. Didioui Amine, Bernier Carolynn, Morche Dominique, Sentieys Olivier. (2013). HarWSNet: A Co-Simulation Framework for Energy Harvesting Wireless Sensor Networks. *International Conference on Computing, Networking and Communications, Wireless Ad Hoc and Sensor Networks Symposium*.
51. L.M.Kamarudin, R.B.Ahmad, B.L.Ong, A. Zakaria, D. Ndzi. (2010). Modeling and Simulation of near-earth Wireless Sensor Networks for Agriculture based Application using OMNeT++. *International Conference on Computer Applications and Industrial Electronics*.