

# Redes de Sensores en ambientes domóticos usando el protocolo ZigBee/IEEE 802.15.4

José A. Bueno  
Universidad Autónoma de Bucaramanga

*Fecha de Recepción: 05/04/15 – Fecha de Aceptación: 18/09/15*

## Resumen

Es una realidad que las redes de sensores han ganado un espacio en los últimos años en la solución de diversos problemas asociados con redes cableadas. No obstante, su desarrollo no se ha detenido y han pasado de la industria y el gobierno en campos tan diversos como la domótica. Esta tecnología por sus capacidades de red, permite no sólo tener un sensor, sino una red de sensores que pueden ser enrutados y comunicarse con otras tecnologías. Las grandes aplicaciones que están en desarrollo, así como su inmunidad al ruido, han hecho su rápido progreso y rápido crecimiento desde 2004, año en el que se lanzó oficialmente el primer estándar ZigBee compatible con la norma IEEE 802.15.4. Nunca se pensó que una tecnología de altas velocidades como el Bluetooth sería desplazada por la tecnología ZigBee que es un lento, pero la realidad de su bajo costo en comparación con sus beneficios y el apoyo de la comunicación han hecho posible para todos los días obtener más Seguidores en diferentes campos de la tecnología, unos pocos desarrollados y otros para explorar. El presente artículo pretende mostrar un resumen de las principales aplicaciones de las redes de sensores asociadas a la tecnología ZigBee que existen actualmente en diversos campos, sin tratar de reunir todas y cada una de las aplicaciones, trabajo que sería imposible dado Complejidad de dicho objetivo.

**Palabras clave:** *Redes de sensores inalámbricos, Hogares inteligentes, Zigbee, IEEE 802.15.4, Servicios orientados al contexto*

## Abstract

It is a reality that the networks of sensors have won a space in the last few years in the solution of various problems associated with wired networks. But its development has not stopped and have gone from industry and government in fields as diverse as domotics. This technology by their network capabilities, allows not only to have a sensor but a network of sensors that can be routed and communicate with other technologies. The great applications that are in development, as well as their immunity to noise, have made their rapid progress and rapid growth since 2004, the year in

which it was officially launched the first ZigBee standard compatible with the IEEE standard 802.15.4. It was never thought that a technology of high speeds as the Bluetooth would be displaced by ZigBee technology that is a slow, but the reality of their low-cost compared to its benefits and support of communication have made it possible for all the days get more followers in different fields of technology, a few developed and others to explore. The present work is intended to display a summary of the main applications of the networks of sensors associated with ZigBee technology that there are at the moment in various fields, without trying to gather each and every one of the applications, work that would be impossible given complexity of such objective.

**Keywords:** *Wireless sensor networks, Smart homes, Zigbee, IEEE 802.15.4, Context-aware services*

## I. INTRODUCCION

El rápido avance de las comunicaciones inalámbricas y las tecnologías de sistemas microelectromecánicos y de microsensores embebidos (MEMS) han hecho posible las redes de sensores inalámbricos (WSNs), que surgen como una alternativa para dar soluciones de comunicación en situaciones en las cuales las redes cableadas presentan dificultades e inconvenientes. La acelerada expansión de las WSNs ha iniciado con una gran cobertura en los sectores industrial, transporte y salud, culminando en los entornos residenciales debido al gran auge y la creciente incorporación de la domótica en la sociedad.

Los productos y servicios para el hogar inteligente presentarán un dramático crecimiento en los próximos años debido principalmente a tres tendencias: a la expansión de la infraestructura IP con dispositivos móviles, al incremento de servicios y aplicaciones en la nube y a la penetración de las tecnologías WSN [1].

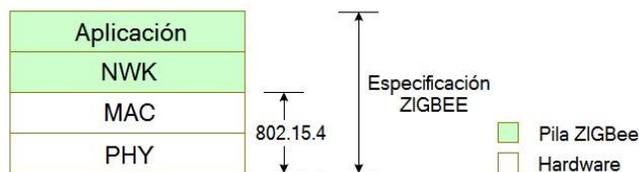
En el presente documento se exponen, de manera detallada, los aspectos esenciales para una mejor comprensión del protocolo ZigBee/IEEE 802.15.4, de mayor uso y aceptación en WSNs para entornos domóticos. Además, se presentan las principales aplicaciones residenciales que utilizan ZigBee, desarrolladas a la fecha y con referencia en casos de éxito de gran aceptación como los proyectos

ViCare, BeeHouse y HDMRSE. Por último, se desarrolla un análisis de las principales tendencias y el impacto futuro en redes de sensores para hogares inteligentes.

## II. ARQUITECTURA ZIGBEE / IEEE 802.15.4

El protocolo ZigBee/IEEE 802.15.4 es un estándar global diseñado para WSNs que requieren alta confiabilidad, bajo costo, escalabilidad, bajo consumo de energía y poca velocidad de transferencia de datos. La Alianza ZigBee se encuentra trabajando en aspectos de interoperabilidad de las plataformas ZigBee e IEEE 802.15.4 con la finalidad de unificar estándares y delimitar las fronteras de su respectiva aplicación. En la figura 1. se presenta la relación entre las pilas de protocolos de acuerdo con el modelo OSI.

Figura 1. La Pila de Protocolos ZigBee/IEEE 802.15.4



La pila de protocolos ZigBee está compuesta de 4 capas principales: la capa física (PHY), la capa de control de acceso al medio (MAC), la capa de red (NWK) y la capa de aplicación (APL). Las capas PHY y MAC de ZigBee están definidas por el estándar IEEE802.15.4, mientras que el resto de la pila de protocolos se encuentra definida por la especificación ZigBee.

La versión inicial de IEEE 802.15.4, sobre la cual se basa ZigBee, opera en la banda de los 868 MHz en Europa, 915 MHz en Norte América y 2.4 GHz en el resto del mundo. La tecnología utiliza tasas de transferencia de datos del orden de los 20 kbps, 40 kbps y 250 kbps respectivamente.

La capa de red ZigBee/IEEE 802.15.4 soporta enrutamiento y direccionamiento para las topologías de malla y árbol. El desarrollo de aplicaciones ZigBee se basa en perfiles de aplicación. Los perfiles de aplicación más importantes son el ZigBee *Home Automation Public Automation Profile* [2] y el ZigBee *Smart Energy Profile* [3]. Las principales áreas de aplicación para el *Home Automation Profile* son control y operación de los sistemas de calefacción, ventilación, aire acondicionado, supervisión de la seguridad y detección de los eventos de emergencia. El *Smart Energy Profile* está relacionado con respuestas a demandas de energía y aplicaciones de administración de carga para las redes de energía (*power grids*) [4]

Actualmente empresas como Chipcon, Ember y Freescale

proveen soluciones *system-on-chip* que aplican ZigBee/IEEE 802.15.4. y cuentan con una gran aceptación y crecimiento, especialmente para la implementación de WSNs en hogares e industrias alrededor del mundo.

## III. APLICACIONES DE REDES DE SENSORES EN DOMÓTICA

A continuación se presentan algunos de los campos de aplicación más relevantes para la implementación de tecnologías de WSNs y ZigBee:

### A. Confort

El principal aspecto considerado por los desarrolladores de hogares inteligentes se relaciona con proporcionar a las personas un ambiente altamente cómodo donde se interactúe con la mayoría de variables ambientales (temperatura, iluminación, sonido, etc). Debido a ello, es importante destacar el proyecto **BeeHouse**, desarrollado en la Universidad de Australia, donde se ha implementado una WSN que integra la tecnología ZigBee con una tarjeta microcontroladora (Arduino) la cual reúne datos de los diferentes sensores desplegados en el hogar y permite generar información relacionada con el control de cada uno de los parámetros ambientales. Los sensores utilizados, que pueden desarrollar funciones de monitoreo y comportarse como actuadores, permiten controlar la temperatura ambiental, los niveles de iluminación de acuerdo con la presencia de personas y el monitoreo centralizado de las variables ambientales [5].

### B. Salud

En la Universidad King Saud (Arabia Saudita) han creado el sistema **ViCare** (*Virtual Caregiver*) [6], el cual se fundamenta en WSNs y permite que un paciente pueda ser monitoreado sin importar si se encuentra en su residencia o en el hospital. Para ello se utilizan dos sensores incorporados en la ropa denominados sensor pulsímetro y sensor electrocardiograma que permiten detectar el estado fisiológico del paciente. Los sensores inalámbricos se encuentran integrados con PDAs que pueden desplegar la información tanto a los pacientes como a los rescatistas, y en caso de detectar eventos anormales automáticamente alertan al personal del centro médico más cercano. Además, debido a la incorporación de servicios de localización en las PDAs, el personal paramédico puede ubicar rápidamente a los pacientes.

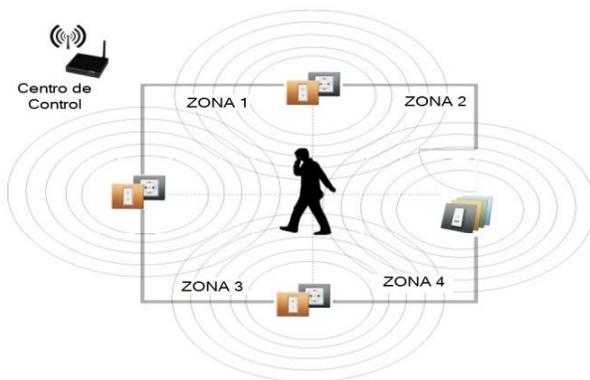
Otra aplicación útil de las WSNs está relacionada con el uso de tecnología RFID, la cual permite identificar medicamentos y sirve para vigilar que los pacientes, en especial los ancianos, tomen la medicina adecuada. Cada medicamento es etiquetado con un único ID y cada paciente

viste un lector RFID conectado a un sensor inalámbrico. En el momento en que se mueva un frasco de medicamentos se detecta la acción mediante un sensor de peso ubicado en la parte inferior del envase y el sistema puede controlar si el paciente se dispone a tomar el medicamento correcto o la cantidad correcta de medicamentos y genera alarmas en caso de ser necesario. Una acción interesante del sistema es que avisa a los pacientes cuando no toman los medicamentos en el momento adecuado [7].

### C. Ahorro de energía

Con el desarrollo de las infraestructuras avanzadas de medición (AMIs) y las WSNs, se están incorporando tecnologías que buscan minimizar el consumo de energía en los hogares, teniendo en cuenta el sensado de actividad y la presencia o no de personas en los diferentes espacios. Un proyecto muy interesante y auspiciado por el Ministerio de Educación y Ciencia de Serbia se denomina **HDMRSE** (*Human Detection Method for Residential Smart Energy*) y tiene por objetivo controlar el consumo de energía mediante la utilización de WSNs y ZigBee.

Figura 2. Método de detección de presencia



Como se aprecia en la figura 2, la red de sensores se encarga de generar la información acerca de la ubicación de las personas en el hogar y esta información es enviada al centro de control, que se encarga de activar o desactivar los dispositivos conectados a la red cableada como tomas de corriente e interruptores inteligentes [8].

## IV. TENDENCIAS E IMPACTO

Los avances tecnológicos tanto en hardware como en software que se han dado en los últimos años, han permitido transformar paulatinamente la vida de las personas, mejorar su entorno y facilitar las condiciones de supervisión principalmente para individuos con discapacidad o ancianos [9].

El hogar inteligente del futuro incorporará sensores y

actuadores embebidos en cualquier parte y todos soportarán el protocolo IPv6. Aunque la interoperabilidad de dispositivos será esencial, los desarrolladores se enfocarán en abstraer las aplicaciones de la multitud de tecnologías de protocolos y WSNs. Sin embargo, esto no finalizará la competencia por mejores protocolos de WSNs. De hecho, los líderes actuales en el mercado de las tecnologías de hogar inteligente incluyendo ZigBee, están enfrentando las amenazas, cada vez mayores, de variantes de bajo consumo de potencia como Bluetooth, WiFi, Android@home inalámbrico, protocolos propietarios que usan IPv6 y las tecnologías emergentes de comunicaciones por línea de potencia (Homeplug GP, G.hnem e IEEE 1901.2).

Cambiar la forma de vida y el entorno, se ha convertido en un paradigma. Realizar modificaciones al estilo o forma tradicional de hacer las cosas como el entretenimiento, la automatización residencial o del hogar así como la e-salud o la salud asistida con las tecnologías de la información y comunicaciones, son aspectos cada vez más influyentes en las personas, de tal forma que directa o indirectamente la tecnología involucra, absorbe, y conlleva a su uso de manera consciente o inconscientemente.

Para hacer uso adecuado de las nuevas tecnologías que satisfagan el entretenimiento, es importante considerar un buen ancho de canal de internet con capacidad de *streaming*, operación en tiempo real y baja latencia; en el caso de la automatización de las residencias el bajo consumo de energía y sensores pequeños, y para la e-salud la seguridad de medidas o decisiones únicas para el paciente.

Debido a la heterogeneidad que se presenta con los diferentes sensores y dispositivos, se ha dispuesto de varios protocolos como el DLNA (*Digital Living Network Alliance*) para entretenimiento, ZigBee para la automatización residencial y diferentes formas de interoperabilidad para la e-salud.

Dentro de la domótica el sistema de seguridad o vigilancia inteligente en tiempo real es un componente que debe hacer parte de esta, y se basa en la tecnología ZigBee y GSM/GPRS. El sistema debe tener la capacidad de enviar imágenes o mensajes de advertencia a través de MMS o SMS, recibir instrucciones a distancia y poder monitorear y controlar remotamente todos los dispositivos y electrodomésticos de la residencia. [10]

La introducción de sensores de diferentes tipos y aplicaciones, y el mejoramiento de sistemas pervasivos han permitido garantizar una alta fiabilidad y confianza en el monitoreo o seguridad que proporcionan a las personas para salvaguardar la vida y sus bienes, y de esta manera facilitarles la tranquilidad y el sosiego que merecen.

Las WSNs están jugando un papel muy importante en varias

aplicaciones como la salud, la agricultura, la vigilancia y seguridad, y la medición inteligente. No obstante, las redes WSN tienen un inconveniente y es la alta heterogeneidad debido a que existen soluciones propietarias y no propietarias. [11]

La tendencia actual es alejarse de estándares propietarios y cerrados para utilizar los sensores basados en redes IP que utilizan estándares emergentes como ZigBee y 6LOWPAN/IPV6. Estos permiten la conexión entre la WSN e internet, lo que provee la participación de los objetos inteligentes en el internet de las cosas. [12]

El futuro tiene como objetivo integrar tecnologías de comunicación heterogéneas, tanto cableadas como inalámbricas que permitan crear una red de cosas u objetos interconectados con direccionamiento único basados en protocolos de comunicación estandarizados como IPv6.

La interoperabilidad entre los sistemas heterogéneos de detección o sensado y extracción entre las capas inferiores (hardware) y las capas superiores (aplicaciones del usuario) son retos que deberán superarse para crear una red donde cada dispositivo tenga una identificación única que permita controlarlo, administrarlo y aprovechar su información recaudada desde cualquier punto, utilizando equipos móviles o fijos y gracias a internet.

## V. CONCLUSIONES

Para la implementación de WSNs en hogares inteligentes, la dupla de comunicaciones ZigBee/IEEE 802.15.4 presenta grandes ventajas asociadas con su bajo consumo de energía, precios reducidos, fácil implementación y por ser protocolos basados en estándares, asumen un carácter universal que genera una gran difusión en todas las regiones. Lamentablemente, estas tecnologías poseen una desventaja que se encuentra relacionada con las bajas velocidades de transmisión de datos comparadas con otras tecnologías inalámbricas, lo cual puede convertirse en un inconveniente hacia el futuro para utilizarlas en aplicaciones de alta transferencia de datos como el video.

El panorama actual y futuro asociado a las WSNs, así como la acelerada introducción de la domótica en la sociedad y las aplicaciones de computación previsible, permiten garantizar un muy promisorio campo de desarrollo y expansión de estas tecnologías de punta, lo que redundará en un enorme beneficio para la sociedad que disfrutará de hogares cada vez “más inteligentes”.

## REFERENCIAS

- [1] Dan Chalmes: “Sensing and System in Pervasive Computing”, 2011.
- [2] ZigBee Alliance: “ZigBee Home Automation Public Application Profile”, revision 25, v. 1.0, Oct. 2007.
- [3] ZigBee Alliance: “ZigBee Smart Energy Profile Specification”, revision 15, Dec. 2008.
- [4] Janaka Ekanayake, Kithsiri Liyanage, Jianzhong Wu, Akihiko Yohoyama, Nick Jenkins: “Smart Grid”, revision 1, Ed. Wiley, 2012.
- [5] Ali Mohammed, Al-Kuwari, Cesar Ortega-Sanchez, Atif Sharif: “User Friendly Smart Home Infrastructure: BeeHouse”, 5th IEEE International Conference on Digital Ecosystems and Technologies (IEEE DEST 2011), 31 May -3 June 2011, Daejeon, Korea
- [6] M. Anwar Hossain, Dewan Tanvir Ahmed: “An Ambient-aware Elderly Monitoring System”, IEEE Transactions on information Technology in Biomedicine, vol. 10.
- [7] Anuroop Gaddam, Subhas Chandra Mukhopadhyay, Gourab Sen Gupta: “Elder Care Based on Cognitive Sensor Network”, IEEE Sensors Journal, V. 11, 2011.
- [8] Bojan Mrazovac, Milan Z. Bjelica, D ragan Kukolj, Branislav M. Todorovic, Nikola Teslic: “A Human Detection Method for Residential Smart Energy Systems Based on Zigbee RSSI Changes”, IEEE International Conference on Consumer Electronics (ICCE), 13-16 junio, 2012, pp 110 – 111.
- [9] Changsu Suh, Young-Bae Ko†, Cheul-Hee Lee y Hyung-Joon Kim: “The Design and Implementation of Smart Sensor-based Home Networks”, Ubiquitous Intelligence & Computing and 7th International Conference on Autonomic & Trusted Computing (UIC/ATC), 2010, pp 239-243.
- [10] Jun Hou, Chengdong Wu, Zhongjia Yuan, Jiyuan Tan, Qiaoqiao Wang, Yun Zhou: “Research of Intelligent Home Security Surveillance System Based on ZigBee”, Intelligent Information Technology Application Workshops., IITAW '08. International Symposium on, 2008, pp 554-557.
- [11] Zhongmin Pei\*, Zhidong Deng, Bo Yang, Xiaoliang Cheng: “Application-Oriented Wireless Sensor Network Communication Protocols and Hardware Platforms: a Survey”, IEEE International Conference on Industrial Technology, ICIT 2008, pp 1-6.

[12] Luca Mainetti1, Luigi Patrono1, y Antonio Vilei: “Evolution of Wireless Sensor Networks towards the Internet of Things: a Survey”, Software, Telecommunications and Computer Networks (SoftCOM), 19th International Conference on, 2011, pp 1-6.

### BIOGRAFÍA



**Bueno Gualdron José Antonio**, Candidato a Magister en Telemática (Universidad Autónoma de Bucaramanga), Ingeniero de Sistemas, Tecnólogo en electrónica, CAP en electricidad, Ing. Certificado HP en servidores, Ing. Certificado en Windows server 2003 y 2008. Director de tecnología de la empresa Multicómputo.