

DESDE LAS TECNOLOGÍAS INALÁMBRICAS AL ENRUTAMIENTO EN REDES INALÁMBRICAS DE GEOSENSORES



AUTOR

Mauricio Ochoa Echeverría
Estudiante
Maestría en Ciencias de la Información y las Comunicaciones. Universidad Distrital "Francisco José de Caldas"
m.ochoa@uniboyaca.edu.co
COLOMBIA

AUTOR

José Nelson Pérez Castillo
Doctor
Maestría en Ciencias de la Información y las Comunicaciones. Universidad Distrital "Francisco José de Caldas"
jnperez@udistrital.edu.co
COLOMBIA

Fecha de Recepción del Artículo: Febrero 15 de 2008

Fecha de Aceptación del Artículo: Abril 7 de 2008

Artículo Tipo 3

RESUMEN

Al observar el entorno que nos rodea, podemos apreciar un sin número de dispositivos dotados con capacidades de cómputo y comunicación, acoplados plenamente a nuestro hábitat, que nos suministran información relacionada con nuestras necesidades y de fenómenos que suceden en el ambiente. Algunos de esos elementos son los llamados sensores, dispositivos capaces de capturar señales (información) del entorno o del propio usuario, que posteriormente serán transmitidos a una unidad central en la cual mediante hardware y software serán interpretadas con el fin de analizar el comportamiento de un fenómeno o situación.

La infraestructura que soporta la comunicación entre sensores se ha denominado redes de sensores, la cual cuando utiliza como canal de comunicación el aire se denominan Red Inalámbrica de Sensores (RIS) o Wireless Sensor Network (WSN). Las tecnologías inalámbricas que se utilizan en dicho tipo de redes por lo general son las denominadas Wireless Personal Area Network (WPAN).

El aspecto fundamental en una RIS es tratar de optimizar el uso de la fuente energía de cada nodo. El proceso que mas consume energía es cuando el nodo debe enviar datos a un central de procesamiento, por tal motivo se han desarrollado mejoras a los mecanismos involucrados en esta labor. Los algoritmos de enrutamiento permite seleccionar la mejor ruta para ir del nodo origen al nodo destino en las RIS se debe tratar de emplear la ruta más óptima puesto que cada nodo (sensor) se convierte en un nodo de enrutamiento.

PALABRAS CLAVE

Redes Inalámbricas de Sensores (RIS),
Enrutamiento, Tecnologías Inalámbricas

Localización

ABSTRACT

When observing the surroundings that you surround us, we can appreciate one without number of devices endowed with computer capabilities and communication, coupled completely to our habitat that they supply information related with our needs and of the phenomena to us that they happen in the environment. Some of those elements are the so-called sensors, capable devices to capture (information) the surroundings' signs or of the very user, that at a later time they will be transmitted to a central unit which intervening hardware and software will be in interpreted with the aim of analyzing the behavior of a phenomenon or situation.

The infrastructure that bears the communication between sensors has named sensors networks, which when you use like communication channel of air itself name him Wireless Sensor Networks (WSR). The wireless technologies that used in the aforementioned type of networks in general are the named Wireless Personal Area Network (WPAN).

The fundamental aspect in a WSR is to try to optimize the use of the energy source of each node. The process what else consumes energy it is when the node should send data to one improvement have unrolled main station of processing, for such motive themselves to the mechanisms implicated in this work. Routing's algorithms origin allows destination in the RIS to the node to select the best route to go from the node it should be had to do with using the route but optimal since each node (sensor) becomes routing's node.

KEYWORDS

Wireless Sensor Networks, Routing, Wireless technologies, Location

INTRODUCCIÓN

El enrutamiento es un mecanismo que se debe implementar en redes con el fin de poder establecer posibles rutas que sirve para desplazarnos desde un punto a otro, adicionalmente nos permite seleccionar la ruta mas optima para poder llegar al destino [1].

Los seres humanos para desplazarnos de un lugar a otro realizamos dicho proceso de una manera intuitiva, ayudados por nuestra capacidad de análisis. Por ejemplo cuando nos queremos.

desplazar de un punto a otro debemos tener claro lo siguiente: antes de emprender el recorrido se debe establecer el lugar al cual se quiere llegar (destino), tener la información de las diferentes trayectorias (caminos) que unen el punto origen con el punto destino y decidir que camino tomar. Muchas veces no se conoce que

trayectorias existen, por lo tanto se debe consultar a otras personas o en documentos las posible opciones y seleccionar un camino; en otras ocasiones simplemente emprendemos el viaje y en algunos sitios nos detenemos a preguntar cual es el siguiente sitio por el cual podemos llegar a nuestro destino.

El proceso descrito anteriormente cuando se da en redes de comunicaciones se denomina enrutamiento, en el cual lo que se desea transportar es información que se fracciona en segmentos denominados paquetes que se pasan de un nodo a otro hasta alcanzar el destino deseado. Dado que las redes de datos no tiene esa gran capacidad de raciocinio que nos caracteriza a los seres humanos, se les debe dotar de mecanismos que permitan realizar el encaminamiento de forma autónoma. Para esto se han desarrollado algoritmos que se implementan en protocolos de enrutamiento. La gran mayoría de los algoritmos son muy eficientes al implementarse en protocolos de ruteo que funcionan en redes cableadas, las cuales disponen de nodos con buena capacidad de procesamiento y enlaces que ofrecen tasas aceptables de transferencia de datos, pero estos mismos protocolos no son eficientes al emplearlos en redes inalámbricas.

Surge pues la necesidad de elaborar mejoras a los algoritmos de enrutamiento para emplearlos en redes inalámbricas y más aún cuando este tipo de tecnologías de transmisión de datos se emplean para unir sensores (Redes Inalámbricas de Sensores- RIS o Wireless Sensor Netorwk -WSN) [2], los cuales se convierten en fuentes de datos que deben asignar una ruta para transmitir la información capturada a una estación base o a una estación central donde se realiza el procesamiento de los datos recolectados por los diferentes nodos.

El Instituto Tecnológico de Massachusetts (MIT, del inglés Massachusetts Institute of Technology) identificó en Febrero de 2003 las 10 tecnologías emergentes que cambiarán el mundo [3], WIRELESS SENSOR NETWORKS, aparece como la primera; adicionalmente se puede indicar que el número de empresas que fabrican sensores en un país, está considerado como un indicador tecnológico. Son razones que soportan la realización de estudios enmarcados en esta temática.

Este artículo describe el panorama de las tecnologías Inalámbricas para transmisión de información, los elementos relacionados con las redes inalámbricas de sensores y el enrutamiento en redes inalámbricas de sensores.

1. TECNOLOGÍAS INALÁMBRICAS DE TRANSMISIÓN DE INFORMACIÓN

Estas tecnologías se caracterizan por que aprovechan las características del aire (espacio vacío) para realizar propagación de señales electromagnéticas emitidas por una fuente, las cuales pueden ser percibidas por un uno o varios receptores [4].

La tendencia a la movilidad y la ubicuidad hace que cada vez se utilicen más dispositivos portátiles dotados con mecanismos de transmisión inalámbrica que permitan interconectarse con otros dispositivos, para lo cual se han desarrollada diferentes tecnologías inalámbricas que aprovechen el espectro electromagnético para transporte de información en forma de señales [5].

Las tecnologías inalámbricas se pueden clasificar según su cobertura como:

1.1. Redes inalámbricas de área extendida (WWAN)

Son redes en la cuales los nodos que las conforman están distribuidos en una área extensa: ciudades, países, continentes.

Su desarrollo se da entorno a los servicios de transmisión de voz por sistemas telefonía móvil celular. Estas redes conocidas como redes xG (generación). Tecnologías como GSM en la 2G, están dando paso a las denominadas redes 2.5G como GPRS, y a las 3G como UMTS y actualmente en la literatura ya están apareciendo trabajos de investigación sobre lo que será la siguiente generación, las 4G [6].

La distribución de la utilización de las tecnologías móviles celulares por cada generación puede estar dada por [7]:

Europa

- 1G: NMT y TACS
- 2G: GSM900 y 1800. DECT
- 2.5G: GPRS
- 3G: UMTS (WCDMA), EDGE

Estados Unidos y Latinoamérica

- 1G: AMPS
- 2G: TDMA, cdmaOne, GSM850 y 1900
- 2.5G: CDMA2000, 1xRTT, GPRS
- 3G: EDGE, CDMA2000, 1xEV-DO

Japón

- 1G: IMTS
- 2G: PHS, cdmaOne, PDC
- 2.5G: CDMA2000, 1xRTT

- 3G: FOMA, WCDMA, CDMA2000, 1xEV-DO

China

- 2G: GSM, cdmaOne
- 2.5G: CDMA2000, 1xRTT
- 3G: TD-SCDMA

La evolución técnica de los sistemas móviles se dirige a conseguir que soporten simultáneamente mayores tasas binarias y mayor movilidad. Para ello, el enfoque técnico se orienta, más que hacia el desarrollo de nuevas interfaces radio, hacia la convergencia entre los distintos tipos de redes radio que atienden a los servicios y requisitos existentes actualmente.

Las tasas de transferencia de datos en los sistemas de WWAN paulatinamente han aumentado desde los 9.6 kbit/s hasta llegar al 2 Mbit/s y en desarrollo se encuentra la cuarta generación que espera conseguir tasas cercanas a las 100 Mbit/s.

1.2. Redes inalámbricas de área metropolitana (WMAN)

Se caracterizan por que su radio de cobertura es de una ciudad o distancias similares.

Este tipo de redes se estandarizó por el IEEE en el comité IEEE 802.16 y comercialmente se conoce con el nombre de WiMAX (Worldwide Interoperability for Microwave Access) [8] , [9].

El estándar IEEE 802.16 fue aprobado en el 2003 algunas de las características de esta tecnología son [10]:

- No requiere línea de vista dado que utiliza antenas omnidireccionales
- Tasas de transmisión hasta de 75 Mbit/s
- Distancia de 48 kilómetros. Nota tanto las máxima tasa de velocidad como la distancias se consiguen en condiciones ideales en la practica esta no ha sido posible.
- Modulación OFDM
- Topología punto-multipunto y de malla.
- Se puede implantar en Bandas con y sin licencia
- Aplicaciones de voz, video y datos
- El estándar IEEE 802.16e defines características para dispositivos clientes móviles

WiBRO (Wireless Broadband), es una mejora al estándar IEEE 802.16e. Desarrollado en Corea, permite mantener el enlace a Internet desde un

dispositivo en movimiento continuo, y lejos del hot spot. Conexiones de hasta 30Mbps con zonas de cobertura entre 1 y 5 kilómetros y con el Terminal en movimiento hasta unos 60 Km/h, utilizando una banda de frecuencias de 2.3 Ghz. En la mitad del año 2006 se hicieron las primeras implantaciones en Corea [11].

1.3. Redes inalámbricas de área local(WLAN)

Corresponde al estándar IEEE 802.11 [12] y comercialmente se conoce con el nombre WiFi (Wireless Fidelity).

Los estándares establecidos por IEEE son:

- 802.11a [13]: Espectro de frecuencia, Entre 5.15 GHz y 5.35 GHz. Transmite a 54, 48, 36, 24, 18, 12 o 6 Mbps,
- 802.11b [14]: es el estándar que mas ampliamente se suele emplear. Utiliza la banda de frecuencias de 2.4 GHz y proporciona 11 Mbps
- 802.11g [15]: utiliza la banda de 2.4 GHz Compatible con 802.1 b
- 802.11n: En proceso de estandarizar. Velocidades de 135 y 300 Mbps. Bandas de frecuencia 10 Ghz, 20Ghz o 40 Ghz.

Todos los productos son verificados y certificados por la alianza WiFi (Wi-Fi Alliance) [16].

La norma IEEE 802.11 permite el monitoreo de la portadora en forma física a través de la interferencia aérea de las ondas radio y de forma virtual a través de la subcapa MAC. El monitoreo físico de la portadora detecta la presencia de otros usuarios WLAN IEEE 802.11 analizando todos los paquetes detectados y monitoreando la actividad del canal via medición de la potencia relativa de la señal proveniente de otras fuentes, para lo cual emplea el protocolo Carrier Sensing Multiple Access/Collision Avoidance (CSMA/CA) [17].

1.4. Redes inalámbricas de área personal (WPAN)

Son redes que operan con dispositivos móviles con alcances de menos de 10 metros, están definidas por el IEEE 802.15 [18].

1.4.1 Bluetooth

En 1994 Ericsson Mobile Communications puso en marcha una iniciativa para estudiar el desarrollo de interfaces de radio de bajo costo y baja potencia entre los teléfonos móviles y sus accesorios[19] hoy en día es una tecnología incorporada en millones de productos de diversas empresas que adoptaron el estándar . Permite utilizar múltiples medios, RF, celular, punto a punto, etc opera en la banda de frecuencias ISM de 2.45GHz y

es la tecnología definida por el grupo de trabajo IEEE 802.15.1. [20].

Utiliza salto en frecuencia (frequency hopping, FH) que divide el espectro disponible en 79 canales. Los transceptores saltan de una frecuencia a otra siguiendo una secuencia pseudoaleatoria determinada por el nodo maestro con una tasa de 1600 saltos por segundo. En Noviembre de 2004 se aprobó la version 2.0 del estándar que soporta mecanismos de coexistencia con WiFi, así como EDR (Enhanced Data Rate), que permite alcanzar velocidades de hasta 2,1 Mbps

Un dispositivo Bluetooth constad de: Una unidad de radio (Bluetooth Radio), una unidad de control de enlace (Bluetooth Link Controller), una unidad de soporte a la gestión de enlaces (Bluetooth Link Manager) y funciones de interfaz con el host (HCI)

Se han desarrollado diversas aplicaciones de la tecnología como por ejemplo el diseño de un sistema para monitoreo remoto de la actividad cardiaca [21].

1.4.2 UltraWide Band (UWB)

Base de las redes de área personal inalámbrica de alta velocidad. Su objetivo es soportar velocidades de más de 100 Mbps a distancias similares soportadas por Bluetooth (10 metros).

En teoría puede utilizarse sobre el espectro asignado a otras aplicaciones, ya que no es distinguible del ruido de fondo. Consiste en la transmisión de pulsos de muy poca duración (del orden de pico segundos). Estandarizada por el IEEE 802.15.3 [22], con dos posibilidades de capa MAC: por secuencia directa o multibanda OFDM[23]

1.4.3 ZigBee

En redes de sensores es muy utilizado el estándar IEEE 802.15.4, esta tecnología esta enfocada minimizar el consumo de energía. En particular muchos grupos de ingenieros tenían la necesidad de diseñar redes ad-hoc de interfaz radio digital que pudieran organizarse automáticamente sin la necesidad de configuración externa o administración de la red. El estándar IEEE 802.15.4 se completó en 2003 y fue ratificado a finales de 2004 [24].

Por otro lado, ZigBee Alliance es una asociación formada en 2002, sin ánimo de lucro, de más de 175 empresas, la mayoría de ellas fabricantes de semiconductores, con el objetivo de auspiciar el desarrollo e implantación de una tecnología inalámbrica de bajo coste.

Este importante estándar define el hardware y el software, el cual ha sido descrito en los términos de conexión

de redes, como las capas físicas (PHY), y la capa de control de acceso al medio (Mac). La alianza ZigBee ha añadido las especificaciones de las capas red (NWK) y aplicación (APL) para completar lo que se llama la pila o stack ZigBee.[25]

Algunas de las propiedades de ZigBee son:

Bandas de frecuencia y tasas de transferencia

- 868MHz / 20 kbps
- 915 Mhz / 40 kbps
- 2.4 Ghz / 250 kbps

Alcance: 50 m a 10 m

Canales:

- 868/915 Mhz: 11 canales
- 2.4 Ghz: 16 canales

Red: Hasta 2⁶⁴ dispositivos

Rango de Temperatura: - 40 °C a +85°C

Soporta múltiples topologías para su conexión en red, entre ellas la topología tipo "Estrella", la topología "Punto a Punto" y "Punto a Multipunto". La red puede tener un coordinador de red (PAN) y múltiples RFDs/FFDs [26]:

• **FFD (Full Function Device):** Es un dispositivo de función completa que se puede usar en cualquier topología. Tiene la capacidad de poder ser coordinador de red y puede hablar con cualquier dispositivo.

• **RFD (Reduced Function Device):** Es un dispositivo de función reducida. Limitado a una topología en estrella. No puede ser coordinador de red, solo puede hablar con un coordinador y es muy fácil de implementar.

La versatilidad y flexibilidad de las redes inalámbricas es el motivo por el cual la complejidad de una LAN implementada con esta tecnología sea tremendamente variable. Esta gran variedad de configuraciones ayuda a que este tipo de redes se adapte a casi cualquier necesidad.

Estas configuraciones se pueden dividir en dos grandes grupos, las redes Peer to Peer y las que utilizan puntos de acceso.

Configuración en modo Peer to Peer

También conocidas como redes ad-hoc, es la configuración más sencilla ya que en ella los únicos elementos necesarios son terminales móviles equi-

pados con los correspondientes adaptadores para comunicaciones inalámbricas [27].

En este tipo de redes, el único requisito deriva del rango de cobertura de la señal, ya que es necesario que los terminales móviles estén dentro de este rango para que la comunicación sea posible. Por otro lado, estas configuraciones son muy sencillas de implementar y no es necesario ningún tipo de gestión administrativa de la red.

Algunos de los nombres que reciben estas redes son redes móviles Ad-Hoc (Mobile Ad-Hoc Networks, MANET), redes inalámbricas multi-salto (multi-hop wireless networks) o redes en malla (mesh networks) [28].

Configuración en modo Punto de Acceso

También conocidas como configuraciones en modo Infraestructura, utilizan el concepto de celda, ya utilizado en otros sistemas de comunicación inalámbrica como la telefonía móvil. Una celda podría entenderse como el área en el que una señal radio-eléctrica es efectiva. A pesar de que en el caso de las redes inalámbricas esta celda suele tener un tamaño reducido, mediante el uso de varias fuentes de emisión, es posible combinar celdas para cubrir de forma casi total un área más extensa.

La estrategia empleada para aumentar el número de celdas, y por lo tanto el área cubierta por la red, es la utilización de los llamados puntos de acceso, que funcionan como repetidores, y por tanto son capaces de doblar el alcance de una red inalámbrica, ya que ahora la distancia máxima permitida no es entre estaciones, sino entre una estación y un punto de acceso.

Un único punto de acceso puede soportar un pequeño grupo de usuarios y puede funcionar en un radio de al menos treinta metros y hasta varios cientos de metros.

Otras configuraciones: Interconexión de redes, las posibilidades de las redes inalámbricas pueden verse ampliadas gracias a la interconexión con otras redes, sobre todo con redes no inalámbricas. De esta forma los recursos disponibles en ambas redes se amplían mediante el uso de antenas (direccionales u omnidireccionales) es posible conectar dos redes separadas por varios cientos de metros, como por ejemplo dos redes locales situadas en dos edificios distintos. De esta forma, una LAN no inalámbrica se beneficia de la tecnología inalámbrica para realizar interconexiones con otras redes, que de otra forma serían más costosas, o simplemente imposibles.

2. REDES INALÁMBRICAS DE GEOSENSORES

Una red inalámbrica de de geosensores puede considerarse como: miles, millones de dispositivos pequeños, autónomos, distribuidos geográficamente, llamados nodos sensores instalados alrededor de un fenómeno objeto para monitorizarlo, con capacidad de cómputo (realizar mediciones), almacenamiento y comunicación en una red conectada sin cable.

Los orígenes [29] de las WSNs se remontan a los años cincuenta donde en mitad de la guerra fría se desarrollo el Sistema de Vigilancia Sónica (Sound Surveillance System, SOSUS). En SOSUS, sensores acústicos desplegados en el fondo del océano detectaban y seguían el rastro a los submarinos soviéticos. Posteriormente se aplicó esta tecnología para aplicaciones civiles como fueron redes de radares para control del tráfico aéreo o el despliegue de sensores en la red eléctrica. Estas primeras redes de sensores generalmente adoptaban una estructura jerárquica, donde el procesamiento ocurría en niveles consecutivos antes de que la información recolectada para la aplicación específica llegase al usuario. Los nodos eran grandes estaciones distantes espacialmente y su comunicación tendía lugar a través de una infraestructura cableada.

De hecho las redes de sensores son redes Ad-Hoc. La diferencia fundamental radica en el origen y composición de de las WSNs. Estas están pensadas como un todo. Una red Ad-Hoc es algo que surge de forma espontánea, como consecuencia de la posibilidad de comunicación entre terminales. Una WSN se diseña y despliega con un fin concreto, como una unidad. Es cierto que los componentes de la red, los nodos sensores, se van a comunicar de forma inalámbrica y la propia red no va a tener una estructura predefinida, pero desde su definición, la red tiene un objetivo como entidad, normalmente extraer información, procesarla o semiprocesarla y llevarla a entidades externas a la propia red pero que están en contacto con ella. El objetivo de las redes Ad-Hoc, por el contrario, es permitir la comunicación entre los propios nodos de la red.

En una red típica de sensores, cada nodo del sensor funciona libremente y tiene un microprocesador y una cantidad pequeña de memoria para el proceso de señal y programar una tarea específica. Cada nodo del sensor se comunica inalámbricamente con algunos otros nodos locales dentro de su gama de la radiocomunicación. [30]

Una WSN se puede ver como el grupo de nodos sensores que forman lo que sería la red propiamente dicha, que está inmersa en la zona sobre la que se pretende hacer una medición, monitorización o, en general, captación de información.

Por otro lado se encuentra el usuario de la información que captura la red, que bien puede ser un centro de control o un usuario móvil situado cerca del área monitorizada. La conexión entre la red y los elementos externos se produce mediante diversos enlaces intermedios que pueden ser de múltiples tipos. En general, la información es captada por los nodos sensores. Estos y otros nodos colaboran para realizar la transmisión de esta información hacia el elemento, o elementos que hacen de puente con el usuario final. Normalmente la información fluye en sentido red - usuario y los comandos en sentido contrario, usuario - red.

2.1. Descripción del hardware del nodo sensor

Los requisitos de uso juegan evidentemente un factor decisivo con respeto al costo, y el consumo de energía de los nodos.

Componentes básicos de un nodo sensor:

- **Controlador:** Procesa todos los datos relevante, capas de ejecutar código arbitrario.
- **Memoria:** Para almacenar programas y datos intermedios, generalmente se usan diferentes tipos de memoria para los programas y datos.
- **Sensores y/o Actuadores:** Dispositivos que pueden observar o controlar los parámetros físicos del ambiente.
- **Dispositivos de comunicación:** la comunicación requiere un dispositivo para enviar y recibir la información sobre un canal wireless.
- **Fuente de Alimentación:** necesaria para proporcionar energía, una forma de recargar energía del ambiente son las células solares [31].

Los sensores se diseñan y fabrican para que tengan, entre otras, las siguientes características:

- Deben ser pequeños para no interferir con el entorno en el que se encuentren.
- Su fabricación debe resultar económica ya que el número de nodos sensores de una WSN puede ser muy elevado, del orden de miles.
- Deben poder funcionar de manera totalmente autónoma ya que la mayoría de las veces va a ser imposible acceder hasta donde estén situados.
- Deben ofrecer la funcionalidad de captación de datos requerida (temperatura, humedad, presión, aceleración, sonido, etc).
- Deben tener interfaces de comunicación para establecer comunicaciones entre ellos y con el

exterior.

- Deben tener un consumo de energía reducido.

En la actualidad, la universidad de Berkeley en California es líder en el diseño y desarrollo de hardware y software de nodos sensores [32]. En concreto, los últimos sensores desarrollados son los denominados Telos. Estos son el modelo más evolucionado de una familia cuya historia comienza por dispositivos compuestos por componentes estándar o COTS del inglés commercial off-the-shelf, (COTS). Estos prototipos iniciales eran caros, ineficientes y difíciles de utilizar dado que no tenían interfaces comunes o bien definidos.

Con el objetivo de conseguir nodos sensores baratos, sencillos, con bajo consumo energético y con interfaces de programación más claramente definidos, la familia de sensores de Berkeley ha aumentando a medida que aparecían nuevos modelos que mejoraban a los anteriores. En la actualidad se pueden encontrar desde los primeros Mica, Mica2, Mica2Dot hasta los más recientes MicaZ y Telos. Las mejoras introducidas con las distintas evoluciones consisten fundamentalmente en ampliar la funcionalidad de los sensores al mismo tiempo que se reduce su consumo y se mejora el interfaz de programación. Así pues, los primeros Mica desarrollados dentro del proyecto SmartDust tenían 4KByte de memoria RAM y 128KByte de memoria flash para alojar programas así como una primitiva interfaz de comunicaciones basado en el RFM TR1000.2 Los siguientes modelos de Mica solucionaban problemas de robustez, alcance y consumo excesivo. Por ejemplo en el Mica2, la interfaz de radio pasa a ser el Chipcon CC1000 que permite configurar la frecuencia de uso en un rango de entre 300 y 900 Mhz y soporta modulación FSK. Los más recientes MicaZ incorporan un nuevo chip de comunicaciones también desarrollado por Chipcon, el CC2420 que ya soporta el estándar de comunicaciones IEEE 802.15.4. Además, su CPU está optimizada para agilizar los cambios de contexto lo que, según diferentes análisis de rendimiento, le permiten ser hasta 1000 veces más efectivo que los originales Mica. El desarrollo de los Telos se ha realizado partiendo de cero pero reutilizando todo el conocimiento desprendido de los trabajos anteriores. Este sensor de última generación tiene un consumo de energía aún más reducido y también soporta el estándar IEEE 802.15.4.

2.2. Elementos a considerar en una red inalámbrica de sensores

- Sensor: Un transductor que convierte un fenómeno físico tal como calor, luz, sonido, o movimiento en eléctrico u otras señales que se pueden manipular más a fondo por el otro aparato.

- Nodo del sensor: Una unidad básica en una red del sensor, con los sensores a bordo, el procesador, la memoria, el módem inalámbricos, y la fuente de alimentación.

- Topología de la red: Un gráfico de la conectividad donde están los nodos y los bordes del sensor son puentes de comunicaciones.

- Encaminamiento: El proceso de determinar una trayectoria de la red de un nodo de la fuente del paquete a su destino.

- Detección: El proceso de descubrir la existencia de un fenómeno físico.

- Clasificación: La asignación de las etiquetas de la clase a un sistema de fenómenos físicos que son observados.

2.2.1 Establecimiento de la Infraestructura

En el momento de establecer una red de sensores se debe establecer la infraestructura necesaria que permita realizar un trabajo de colaboración. Cada nodo detecta o descubre con cuales nodos puede comunicarse directamente de acuerdo al radio de conectividad adecuado, los nodos se unen entre si y se organizan en clusters para evitar redundancia y rehusarse recursos escasos como la frecuencia. Los nodos del sensor se colocan en una estructura temporal y geográfica común.

Existen técnicas para establecer la infraestructura, como: topología, agrupamiento, sincronización de tiempos, localización de los nodos de la red, servicios de localización, asignación de rutas geográficas, localización de algoritmos y localización del nodo que usa la contención del triangulo múltiple.

2.3. Consideraciones a tener en cuenta al diseñar una WSN

Tolerancia a fallos. Algunos nodos sensores pueden fallar o bloquearse debido a la falta de energía, o recibir daños físicos o interferencias medioambientales. El fallo de nodos sensores no debe comprometer el funcionamiento global de la red de sensores [33].

Escalabilidad. Los nuevos diseños deben ser capaces de trabajar con un número de nodos del orden de centenares, millares, e incluso, dependiendo de la aplicación, millones. También deben tener en cuenta la alta densidad, que puede llegar hasta algunos centenares de nodos sensores en una región que puede ser menor de 10 metros de diámetro [34].

Costos de producción. Dado que las redes de sensores consisten en un gran número de nodos sensores, el costo de un nodo individual es muy importante para justificar el costo completo de la red.

Topología. Una red de sensores está compuesta por una gran cantidad de nodos sensores posiblemente con una alta densidad por unidad de superficie. El despliegue y posterior mantenimiento de tal cantidad de nodos se puede dividir en tres etapas. El despliegue puede hacerse lanzando sensores en masa desde un avión, o bien uno a uno a mano o incluso por medio de robots. Tras el despliegue, la topología puede sufrir cambios debido a errores de funcionamiento, cambios de posición involuntarios de los nodos sensores, interferencias con objetos del entorno, etc. Posteriormente, se puede proceder a una reparación, sustitución o ampliación de la red.

Entorno. Las redes de sensores se ven afectadas por su entorno. Normalmente están desplegadas sobre áreas remotas, de difícil o imposible acceso para estar lo más cerca o dentro del fenómeno que se desea medir.

Limitaciones hardware. Un nodo sensor está constituido por cuatro componentes básicos: una unidad sensora, una unidad procesadora, una unidad transmisora, y una unidad de energía los cuales tiene gran limitaciones en cuanto a su capacidad [35].

3. LOCALIZACION Y ENRUTAMIENTO EN RIS

3.1. Algoritmos de enrutamiento en redes AD HOC

La movilidad de los nodos, inestabilidad de la topología, falta de organización preestablecida y funcionamiento de las comunicaciones inalámbricas hacen que en estas redes no se puedan utilizar los algoritmos de encaminamiento desarrollados para redes fijas. En una red Ad-Hoc, los algoritmos de encaminamiento tienen que crear las estructuras de encaminamiento de una forma distribuida y automática.

Los protocolos de enrutamiento para redes móviles inalámbricas los podemos clasificar por: componentes de core (núcleo) y componentes auxiliares [36].

3.1.1 Componentes de Core

Descubrimiento de ruteo: proactivos, reactivos y combinados.

Selección de ruta: nodos que envían, nodo destino y nodo intermedio.

Representación y métrica de la ruta: ruteo exacto (estático) y ruteo guiado (dinámico).

Envío de datos: basado en tabla, self-routing y broadcast de datos e inundación.

Mantenimiento de rutas: reorganización de rutas.

3.1.2 Componentes auxiliares

Descubrimiento de vecinos y mantenimiento

Estructura jerárquica

Multicast

Seguridad

Dependiendo del momento en que se cree dicha estructura los protocolos se pueden clasificar en proactivos, reactivos o combinado.

Los algoritmos proactivos son aquellos que, con independencia de las necesidades de encaminamiento, tratan de tener la información más precisa y actualizada posible sobre los distintos caminos posibles para llegar a los distintos nodos de la red. En el extremo opuesto, los algoritmos reactivos solo obtienen la información de encaminamiento cuando es necesario. Normalmente, hasta que no hay necesidad de enviar o recibir un mensaje, no se inician las operaciones de construcción de rutas.

Algunos algoritmos Proactivos son: Bellman y Ford (DBF), DSDV *Highly Dynamic Destination-Sequenced Distance-Vector Routing* es una modificación anterior para eliminar el problema de ciclos y conteo hasta el infinito., WRP es un protocolo basado en vectores de distancia que mejora DBF eliminando el problema del conteo hasta el infinito y reduciendo la sobrecarga de DSDV. OLSR *Optimized Link State Routing Protocol*, optimización directa del algoritmo de estado de enlace adaptado a los requisitos específicos de una WLAN con alta movilidad.

Algoritmos Reactivos: DSR *Dynamic Source Routing protocol*, es un protocolo sencillo y eficiente diseñado específicamente para ser usado en redes Ad-Hoc multi-salto con nodos móviles, permite que la red se autoorganice y autoconfigure completamente sin la necesidad de ninguna infraestructura administrativa. AODV *Ad-hoc On-demand Distance Vector* es un protocolo de encaminamiento que, a diferencia de muchos otros protocolos para redes Ad-Hoc, se puede valer de emisiones de mensajes alertando sobre su presencia a intervalos regulares preestablecidos o de

una técnica denominada *Link Layer Feedback* para conseguir que los nodos perciban a sus vecinos cercanos y mantengan sus tablas de vecinos actualizadas reflejando los cambios en la topología cercana debido a apariciones, desapariciones o movimientos de nodos[37].

TORA Temporally-Ordered Routing Algorithm protocol. se trata de un protocolo de encaminamiento para redes Ad-Hoc en el que se ha intentado desacoplar la generación de mensajes de control con los cambios que se producen en la topología de la red. Construye una estructura multi camino sin ciclos que se usa como base para reenviar tráfico hacia un destino determinado.

DYMO : Dynamic MANET On-demand Se esta trabajando en este nuevo protocolo como una evolución de AODV.

3.2. Que sucede con el enrutamiento en redes WSN?

En todas las aplicaciones de las WSNs se necesita transmitir información entre nodos. Estas transmisiones pueden efectuarse directamente si los nodos participantes se encuentran suficientemente cerca o utilizando comunicaciones multi-salto cuando la distancia es mayor que el radio de cobertura, los algoritmos o protocolos de encaminamiento en WSNs se encargan de tomar decisiones acerca de que hacer con los mensajes recibidos cuando el nodo receptor no es el destinatario del mensaje[38]. A estas decisiones se les conoce como decisiones de encaminamiento y son utilizadas para enviar mensajes entre sensores. Un nodo que recibe un mensaje cuyo destinatario no es él mismo se encarga de reenviarlo para que el mensaje llegue a su destinatario original tras uno o más saltos intermedios. La mayor dificultad del proceso reside en decidir que nodo de entre los que pueden ser alcanzados directamente debe encargarse del mensaje, es decir, que nodo debe ser el siguiente salto en el camino hacia el destino final del mensaje. Los nodos participantes en la comunicación multi-salto se conocen por su nombre en inglés como forwarders o relays.

Las comunicaciones entre nodos de una WSN se pueden clasificar en unicast, broadcast y multicast. El encaminamiento unicast se usa para enviar un mensaje desde un origen hasta un destino. El encaminamiento broadcast se utiliza cuando es necesario que todos los nodos de la red reciban un mismo mensaje. El encaminamiento multicast se utiliza para enviar un mensaje desde un nodo origen a un subconjunto de nodos denominados destinos.

Trata de ser lo más eficiente posible en cuanto al consumo de recursos. Por esta razón, enviar un mensaje a cada destino del conjunto seleccionado usando encaminamiento unicast no se considera multicast. Esta forma de enviar mensajes conocida como multi-unicast consume muchos más recursos que al utilizar encaminamiento multicast nativo.

3.2.1 Georouting en redes inalámbricas de sensores

Recientemente se ha comenzado a utilizar una, no tan nueva, forma de encaminamiento basada en coordenadas y denominada encaminamiento geográfico. Descrita inicialmente por Finn a finales de los ochenta, puede resumirse en lo siguiente: los nodos se identifican por su posición en un espacio de coordenadas de modo que cada nodo, al recibir un mensaje no dirigido a él, elige al vecino que más cerca esté del destino como siguiente relay. De este modo el mensaje discurre de un nodo a otro acercándose cada vez más a su destino final. Como puede deducirse, la única información necesaria para tomar una decisión de encaminamiento siguiendo el esquema del encaminamiento geográfico es la posición del destino y la de los vecinos [39]. Esta característica hace que el encaminamiento geográfico sea muy adecuado para WSNs ya que las decisiones de encaminamiento se toman utilizando sólo información local. Además, la dinamicidad de la topología deja de ser un problema.

Como cada nodo toma la decisión de encaminamiento en base a la información local que tiene en el momento de efectuar la transmisión, las posibles variaciones en la topología de los vecinos son tenidas en cuenta.

Cuando a un nodo le llega un mensaje debe decidir si hay un vecino idóneo para ser el siguiente relay de todos los destinos o si algunos destinos deben ser cubiertos por un relay mientras que otros necesitan ser cubiertos por otro relay distinto, produciéndose una ramificación. Esta decisión es posiblemente la más difícil de tomar ya que de lo buena o mala que sea depende totalmente la eficacia del árbol creado.

Un árbol en el que la ramificación se produce muy cerca de la raíz ahorra muy pocos recursos, ya que los caminos hacia los distintos destinos compartirán muy pocos nodos del camino con lo que se ahorrarían muy pocos recursos. Por otro lado, un árbol en el que las bifurcaciones se produzcan muy cerca de las hojas, genera caminos excesivamente largos. Además hay que tener en cuenta que la creación de este árbol se hace de manera distribuida [40].

En principio, los distintos nodos participantes del encaminamiento no saben qué decisiones están tomando los demás nodos. Cada uno se encarga de tomar la mejor decisión posible para el conjunto de destinos al que va dirigido el mensaje que está procesando.

Los objetivos del movimiento de la localización y ruta es la capacidad esencial para una red sensorial en muchas aplicaciones prácticas, además es un problema que puede ser usado como orientación para estudiar los problemas de procesamiento y organización de la información para las redes sensoriales [41].

La comunicación entre nodos es esencial para agregar datos recolectados al nodo del sensor en diferentes situaciones, para sincronizarse en el tiempo [42] y localizar el nodo durante la inicialización de la red. La comunicación por radio es la más costosa que un nodo puede realizar, en lo que se refiere al uso de energía (como se demuestra en [43]), razón por la cual debe ser utilizada en forma escasa y solo se debe hacer uso de esta para lo necesario.

Cada nodo habla directamente solamente con sus vecinos inmediatos. La mayoría de los nodos ligeros no tienen movilidad pero aun así pueden fallar por el gasto de energía u otras razones.

Una de las limitaciones de estas redes (WSN) es la localización exacta de los sensores en una topología que no se encuentra definida, debido a que la distribución de los sensores puede ser aleatoria en un área geográfica extensa o debido a que los sensores se encuentren en territorios no accesibles al ser humano o a que éstos se encuentren en situaciones que generen peligro para la integridad del ser humano y en general a muchas otras limitaciones; esta limitación es de tener en cuenta ya que la ubicación de los sensores es muy importante para la centralización de los datos captados por éstos; es ahí la importancia de los algoritmos localizadores [44] que se basan en las radiofrecuencias emitidas por los mismos sensores para calcular las distancias a las que se encuentran unos de otros, dicha técnica permite tomar al sensor como un radiofaro que emite señales y de acuerdo a éstas realizando los cálculos pertinentes hallar la ubicación exacta de ellos.

Pero que es un algoritmo localizador; es un cómputo distribuido en el cual los nodos del sensor alcanzan un objeto global deseado [45].

Uno de los recursos a optimizar, es el uso de la energía que suministran las baterías que tiene incorporados a los nodos de la WSN y lo reafirma el Dr. Miguel Labrador investigador de la universidad del sur de la florida, "...los sensores inalámbricos consumen energía cada vez que sensan, procesan o comunican información, esta última

tarea es la que más energía consume...". En el momento de diseñar un WSN de gran Escala uno de los aspectos a considerar es el algoritmo de enrutamiento que se va emplear, esta labor se realiza intercambiando paquetes de control entre los nodos y esta labor consume el preciado recurso (la energía) que provee la batería de cada nodo.

Por lo anterior y considerando que los protocolos de enrutamiento para redes alambradas y para redes inalámbricas móviles consumen energía (aunque en estas últimas redes hoy en día se adelantan investigaciones para ahorrar energía como lo que se plantea en proyecto de investigación [46]) y recursos por encima de la capacidad de los nodos de la WSN, se ha desplegado una intensa investigación para desarrollar algoritmos y protocolos de enrutamiento que sean escalables y eficientes en el uso de la energía. Uno de los desarrollos en esta línea está enfocado a la utilización de enrutamiento basado en localización, pues esta técnica busca que los nodos intercambien el mínimo de información entre sí y por el contrario tomen decisiones de enrutamiento con base en una mínima información que ellos tengan.

El Dr. Labrador ha realizado importantes aportes al desarrollo del protocolo ALS (Anchor Location Service) que es un protocolo basado en una estructura virtual que provee la localización de la estación base en forma escalable y eficiente, y que, por lo tanto, permite la utilización de mecanismos de enrutamiento basados en localización en redes de sensores inalámbricos de gran escala. En ALS, cada estación base construye una estructura global virtual compuesta de servidores de localización que son utilizados por todas las fuentes para encontrar su localización. Debido a que la estructura es global, menos mensajes de solicitud de localización necesitan viajar a través de la red [47].

Con base en la información de la localización de los sensores se puede habilitar mecanismos de enrutamiento geográfico los cuales son eficientes dado que hacen que la labor de enrutamiento se mucho más eficiente en el consumo de energía [48]

Otra de las investigaciones que muestran la importancia que tiene el ahorro de energía en las WSNs es la desarrollada por el Ingeniero Gustavo Adolfo Prieto Obando y el Ingeniero Antonio García Roza en la universidad de los Andes, ellos en su trabajo titulado "Diseño de una Red Inalámbrica IEEE 802.11 FH/CDMA con Protocolo IP para Monitoreo y Control", Mediante simulaciones muestran la importancia de contar con mecanismos que minimicen el consumo de energía en RIS, para lo cual ellos afirman que "...El consumo de energía es un parámetro crítico pues en el diseño se asume que los radiotransmisores son alimentados por una fuente finita de energía como una batería...". [49]

El diseño ideal de un protocolo de comunicación a nivel de la capa de enlace de datos es evitar que el receptor deba pedir retransmisiones de tramas al emisor, puesto que si se debe hacer esto cargaría la red y por ende hace que se emplee más energía en los nodos. Los investigadores Raghu K. Ganti, Praveen Jayachandran_Haiyun Luo, and Tarek F Abdelzaher del departamento de ciencia de la computación de la universidad de Illinois, realizaron una investigación sobre el protocolo del nivel de enlace de datos denominado SEDA [50], el cual tiene como objetivo minimizar la tasa de error de frame. Para lograr el objetivo anterior, el protocolo toma los paquetes entregados por la capa de red y los divide en bloques y cada bloque es referenciado con un número de secuencia de bloque y un byte de CRC, para detección de errores.

Estos bloques son empaquetados en una trama de la Subcapa MAC para su correspondiente transmisión. El receptor recibe la trama y fácilmente puede mediante un algoritmo detectar si hay error un bloque, el trata de corregir los errores y de no ser posible esto, pide la retransmisión únicamente del bloque dañado.

4. APLICACIONES DE LAS REDES INALÁMBRICAS DE SENSORES

Las redes de sensores van a expandir de forma significativa la red Internet existente, hacia los espacios físicos. El procesamiento de datos, almacenamiento, transporte, consultas, así como la interacción entre TCP/IP y las redes de sensores, presentan interesantes retos en la investigación, que deberán ser tratados desde una perspectiva de capas multidisciplinar; dichas redes tendrán aplicación en todas las ramas de la ciencia, a continuación se citan algunas [51].

Una red de sensores se diseña para realizar un sistema de tareas de alto nivel para el tratamiento de la información tales como detección, el seguimiento, o clasificación. Las medidas del funcionamiento para estas tareas están bien definidas, incluyendo la detección de alarmas.

- Control del medio ambiente del (e.j., tráfico, hábitat, seguridad)
- Detección y diagnóstico industriales (e.j., aplicaciones, fábrica)
- Protección de la infraestructura (e.j., rejillas de la energía, distribución del agua)

Proyectos de aplicación de WSNs como los que se dan en China donde se hace un control industrial en cuanto a polución, y control de congestión de

tráfico, son algunas de las aplicaciones de esta tecnología para el mejoramiento de las condiciones de vida [52].

Supervisión del hábitat: Conservación de la fauna con autonomía, Detección de intrusos. Trabajando con los biólogos en la universidad del Atlántico en Estados Unidos, los ingenieros han instalado 190 sensores inalámbricos que se están utilizando para supervisar el hábitat y jerarquía de animales domésticos en la gran isla del pato.

Las áreas de aplicación de las redes de sensores son:

- Los sensores pueden ser usados para monitorear y estar al día con a elementos valiosos como camiones u otros equipos, especialmente en una área sin una red fija, además se pueden utilizar en la infraestructura, también pueden ser utilizados en industrias como aceite y gas, servicio público y espacio aéreo.
- El sistema de tala de árboles automático puede reducir los errores que ocurren ya que se tiene un ingreso de datos. Más importante las empresas como el transporte por carretera, pueden beneficiarse ya que pueden tener información en tiempo real de la ubicación y estado de sus vehículos. Además, la información puede ser unida con otras bases de datos como planificación de recurso de la empresa.
- Otra aplicación interesante está en la colección del tráfico de tiempo real o la otra información que usa automóviles equipados con las conexiones inalámbricas [53]. Teniendo en cuenta un vehículo, automóviles que vendrían desde la dirección opuesta podrían haber intuido la información en el momento oportuno. Más en general la información agregada puede ser usada por automóviles para optimizar rutas y reducir la congestión.
- Observación de edificios y control de sensores empotrados en un edificio pueden cortar costos de energía drásticamente monitoreando la temperatura y encender las condiciones en el edificio y regular la calefacción y enfriar sistemas.
- Si una habitación de conferencia llena de personas se pone demasiado calurosa, aire frío puede ser "prestado" de una

habitación adyacente que está temporalmente vacía. Sensores en un sistema de ventilación también pueden poder notar agentes biológicos o contaminantes químicos.

- Observación ambiental: Los sensores pueden ser usados para monitorear condiciones y movimientos de animales salvajes o plantas en hábitats de flora y fauna [54] donde el disturbio mínimo para los hábitats es deseado. Los sensores también pueden monitorear la calidad del aire y estar al día con contaminantes ambientales, los incendios arrasadores, o los otros desastres naturales o hechos por el hombre.

- Los sensores sísmicos utilizados en un edificio pueden notar la dirección y la magnitud de un terremoto.

- Atención sanitaria: Se utiliza para los ancianos de cuidado, ya que se puede sacar provecho de usar sensores que monitoreen los signos vitales de los pacientes y estén remotamente conectados con las oficinas de los doctores. Los Sensores en casas también pueden alertar a los médicos cuando un paciente cae o se pone físicamente incapacitado y requiere de asistencia médica inmediata.

- Control de proceso industrial. [55]

5. TRABAJO FUTURO

La esencia de este artículo es servir de punto de partida para investigadores que deseen elaborar proyectos:

Tendientes a mejorar los protocolos de enrutamiento que se deben manejar en redes inalámbricas de sensores, utilizando para ello herramientas de simulación que soporten aplicaciones de las WSNs.

Las redes inalámbricas de sensores se están convirtieron en una tecnología crucial para el monitoreo, seguimiento y prevención de fenómenos o eventos que puedan ocurrir en cualquier ámbito que se desee controlar. Por lo anterior es justificable emprender estudios que ayuden al desarrollo de aspectos como: localización, enrutamiento, control de acceso al medio, optimización de la energía entre otros aspectos a ser mejorados para acercar este tipo de tecnología a un óptimo desempeño.

Igualmente el desarrollo de plataformas de software que permitan el aprovechamiento, explotación y almacenamiento de la gran cantidad de datos que recolectan las redes inalámbricas de sensores; para la aplicación de computación grid es algo fundamental.

6. CONCLUSIONES

Los algoritmos localizadores son altamente escalables y robustos debido a que su grado de escalabilidad no se ve afectado por el área geográfica donde se encuentren los sensores, sino por la densidad, es decir, por la acumulación de sensores en un área geográfica pequeña

El desarrollo de algoritmos y protocolos de enrutamiento para WSN deben ser escalables y eficientes en el ahorro de energía, el cual se constituye en un campo de investigación muy interesante de explotar. Un caso de éxito en este campo es el desarrollo del protocolo ALS que minimiza el consumo de energía y además reduce el número de colisiones en las transmisiones inalámbricas.

7. REFERENCIAS

- [1]WIKIPEDIA. Encaminamiento (o enrutamiento) [en línea]. Wikimedia Foundation, Inc, c2007 Rev. 07 noviembre de 2007 [citado el 07-11-2007]. Disponible en: <http://es.wikipedia.org/wiki/Encaminamiento>.
- [2]CALLAWAY, Edgar H. Wireless Sensor Networks: Architectures and Protocols. Florida, Estados Unidos : AUERBACH PUBLICATIONS A CRC Press Company, 2004. 350 Pags.
- [3]MASSACHUSETTS INSTITUTE OF TECHNOLOGY. 10 emerging technologies that will change the world [en línea]. Estados Unidos. Technology review's, c2007. Rev. 24 nov. 2007. [citado el 24-11-07]. Disponible en : <http://www.technologyreview.com/infotech/13060/?a=f>
- [4]INTEL CORPORATION. Broadband Wireless: The New Era in Communications [en línea]. Estados Unidos. Intel Corporation, c2007. Rev. 27 Nov. 2007. [citado el 27-11-07]. Disponible en: <http://www.intel.com/netcomms/bbw/302026.htm>
- [5]GARY S. Rogers y John Edwards. Introduction to Wireless Technology. Estados Unidos: Prentice Hall PTR, 2003. Paginas
- [6]CAMPO VAZQUEZ, Maria Celeste. Proyecto de tesis doctoral Tecnologías Middleware para el desarrollo de servicios en entornos de computación ubicua. Universidad Carlos III de Madrid. España. 2003.
- [7]TELEFONICA I+D. Las Telecomunicaciones y la Movilidad en la Sociedad de la Información. Albadalejo, S.L. España. 2005.
- [8]INTEL CORP., IEEE 802.16 and WiMAX: Broadband Wireless Access for Everyone, 2003.
- [9]WIMAX FORUM. WiMAXís technology for LOS and NLOS environments [en línea]. Estados Unidos : WiMAX Forum, c2008. Rev. 12 enero 2008. [citado el 12-01-2008]. Disponible en: <http://www.wimaxforum.org/technology/downloads/>
- [10]INTEL CORPORATION. Understanding Wi-Fi and WiMAX as Metro-Access Solutions, 2004.
- [11]WIBRO TM. WiBro Overview [en línea]. Corea. TTA

- Telecommunications Technology Association, c2007. Rev. 05 Dic 2007. [citado el 05-12-2007]. Disponible en: <http://www.wibro.or.kr/new/overview01.jsp>.
- [12]LAN/MAN Standards Committee of the IEEE Computer Society. ANSI/IEEE Std 802.11. The Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc. New York- USA.1999
- [13]LAN/MAN Standards Committee of the IEEE Computer Society. IEEE Std 802.11a-1999. The Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc. New York- USA.2000
- [14]LAN/MAN Standards Committee of the IEEE Computer Society. IEEE Std 802.11b-1999. The Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc. New York- USA.2000
- [15]CARNEY, William. IEEE 802.11g New Draft Standard Clarifies Future of Wireless LAN. Texas Instrumenst. 2002.
- [16]WI-FI ALLIANCE. Get to Know the Alliance [en línea]. Wi-Fi Alliance, c2007. Rev. 21 Dic 2007. [citado el 21-12-2007]. Disponible en: http://www.wi-fi.org/about_overview.php
- [17]INTERNATIONAL STANDARD ISO/IEC 8802-11. ANSI/IEEE std. 802.11. First Edition/Information Technology-Telecommunications & Information Exchange Between Systems-Local and Metropolitan Area Networks-Specific Requirements-Part 11:/ Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications. 2000.
- [18]IEEE. IEEE 802.15 Wireless Personal Area Networks [en línea]. IEEE, c2007. Rev. 22 Dic 2007. [citado el 22-12-2007]. Disponible en: <http://standards.ieee.org/getieee802/802.15.html>
- [19]HENRIK, Arfwedson y ROB, Sneddon. Módulos Bluetooth de Ericsson, Ericsson Review No. 4, 1999
- [20]BLUETOOTH SIG, INC. How Bluetooth Technology Works [en línea]. Estados Unidos : Bluetooth SIG, Inc, c2008. Rev. 26 Dic 2007. [citado el 26-12-2007]. Disponible en: <http://www.bluetooth.com/Bluetooth/Technology/Works/>
- [21]RODRIGUEZ C., Borromeo S., et. Wireless ECG based on Bluetooth protocol: design and implementation. Departamento de Ingeniería Telemática y Tecnología Electrónica, Universidad Rey Juan Carlos, Móstoles, España
- [22]IEEE. IEEE 802.15.3™ GUIDE ADDRESSES UNTAPPED HIGH-RATE WIRELESS PERSONAL AREA NETWORK (WPAN) MARKET [en línea]. IEEE, c2004. Rev. 27 Dic 2007. [citado el 27-12-2007]. Disponible en: http://standards.ieee.org/announcements/pr_802153wpanguide.html
- [23]JAY J. Ely y TIMOTHY W. Shaver. Ultrawideband Electromagnetic Interference to Aircraft Radios. National Aeronautics and Space Administration (NASA). Langley Research Center Hampton, Virginia. 2002.
- [24]IEEE. IEEE 802.15 WPAN™ Task Group 4 (TG4) [en línea]. IEEE, c2006. Rev. 30 Dic 2007. [citado el 30-12-2007]. Disponible en : <http://www.ieee802.org/15/pub/TG4.html>.
- [25]ZIGBEE ALLIANCE. ZIGBEE SPECIFICATION including the PRO Feature Set [en línea]. Estados Unidos : ZigBee Alliance., c2008. Rev. 13 enero 2008. [citado el 13-01-2008]. Disponible en: http://www.zigbee.org/en/spec_download/zigbee_downloads.asp
- [26]IRASTORZA J.A., coque j., Agüero r. Abriendo el camino hacia la cuarta generación: una nueva arquitectura de redes de área personal inalámbricas. Departamento de ingeniería de comunicaciones, universidad de Cantabria. España
- [27]CANO, Juan-Carlos y CALAFATE, Carlos T., et. Redes Inalámbricas Ad Hoc como Tecnología de Soporte para la Computación Ubicua. Departamento de Informática de Sistemas y Computadores, Universidad Politécnica de Valencia
- [28]POOR, Robert y Ember Corp. Wireless Mesh Networks [en línea]. Sensors, Questex Media Group, Inc, c2003. Rev. 3 Enero 2008. [citado el 03-01-2008]. Disponible en : <http://www.sensors-mag.com/articles/0203/38/main.shtml>
- [29]I. F. AKYILDIZ, W. Su, Y. Sankarasubramaniam, and E. Cayirci, "A Survey on Sensor Networks," IEEE Communications Magazine, pp. 102–114, August 2002.
- [30]FENG, Zhao y GUIBAS, Leonidas J. Wireless Sensor Networks: An Information Processing Approach, San Francisco, 2004.
- [31]KART, Holger y WILLIG, Andreas. Protocol and architectures for wireless sensor networks. Jhon Wiley y Sons, Ltd. 2005
- [32]CROSSBOW TECHNOLOGY INC. Wireless Sensor Network Products & Technology [en línea]. Estados Unidos : Crossbow Technology, c2007. Rev. 13 dec. 2007. [citado el 13-12-2007]. Disponible en: <http://www.xbow.com/Home/HomePage.aspx>
- [33]GORCE, Jean-Marie; ZHANG, Ruifeng y PARVERY, Hervé. Impact of Radio Link Unreliability on the Connectivity of Wireless Sensor Networks. supported by the French Ministry of Research under contract ARESA ANR-05-RNRT-01703. Marzo 2007
- [34]N. BULUSU, D. Estrin; L. Girod y J. Heidemann, "Scalable Coordination for Wireless Sensor Networks: Self-Configuring Localization Systems," Proc. 6th IEEE International Symposium on Communication Theory and Application (ISCTA '01), USC/Information Sciences Institute. St. Martin's College, Ambleside, Cumbria, UK: IEEE, Julio 2001. Disponible en <http://www.isi.edu/johnh/PAPERS/Bulusu01c.html>
- [35] BURATTI, Chiara y GIORGETTI, Andrea, et. Cross-Layer Design of an Energy-Efficient Cluster

- Formation Algorithm with Carrier-Sensing Multiple Access for Wireless Sensor Networks. EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking. Mayo, 2005
- [36] LEE, Myung; ZHENG, Jianling, et. A new Taxomy of routing algorithms for wireless Mobile Ad Hoc Network: The component approach. IEEE Communications Magazine Vol 44, No 11. Noviembre 2006.
- [37] MANN, Raminder; NAMUDURI, Kamesh y PENDSE, Ravi. Energy-aware routing protocol for ad hoc wireless sensor networks. Eurasip journal on wireless communications and networking. Abril 2005
- [38] KARAKI, Jamal y KAMAL, Ahmed e. Routing techniques in wireless sensor networks: a survey. IEEE Wireless Communications . December 2004.
- [39] GOLDIN dina, et. Georouting and delta-gathering: efficient data propagation techniques for geosensor network. University of Connecticut. USA.2005
- [40] STOJIMENOVIC, Ivan. Geocasting with guaranteed delivery in sensor networks. IEEE Wireless Communications. December 2004
- [41] BEAVER, Jonathan; SHARIF Mohamed, et. Location-aware Routing for data aggregation in sensor networks. Geosensor Networks. 2005
- [42] OIKONOMOU, Konstantinos y STAVRAKAKIS Ioannis. An Adaptive Time-Spread Multiple-Access Policy for Wireless Sensor Networks. EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking. Volume 2007, Article ID 64238.
- [43] ESCUDERO, Garzas Joaquín; BOUSONO Calzon, et. Energy-Efficient Adaptive Modulation suitable for Wireless Sensor Networks with SER and Throughput Constraints. University Carlos III of Madrid .
- [44] BOUKERCHE, Asedien; Oliveira Horacio, Nakamura Eduardo y Loureiro Antonio. Localization system for wireless Sensor Networks. IEEE wireless Communications. Volumen 14, No 6. Diciembre 2007
- [45] BULUSU, Nirupama et al. Scalable Coordination for Wireless Sensor Networks: Self-Configuring Localization Systems. s.l.: s.n
- [46] COMANICIU, Cristina y POOR, Vincent. On Energy-Efficient Hierarchical Cross-Layer Design: Joint Power Control and Routing for Ad Hoc Networks. EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking. Volume 2007, Article ID 60707
- [47] LABRADOR, Miguel. ALS Servicio de Localización para Redes Inalámbricas de Sensores de Gran Escala. En : CONGRESO NACIONAL DE REDES Y TELEMATICA. (4 : 2006: Cartagena de Indias). MEMORIAS CUARTO CONGRESO NACIONAL DE REDES Y TELEMATICA 2006. Cartagena de Indias: Evenco. 2006.
- [48] ZHAO, iang y LIANG, Filian. Hop-Distance Estimation in Wireless Sensor Networks with Applications to Resources Allocation. Department of Electrical Engineering University of Texas at Arlington. USA
- [49] PRIETO OBANDO, Gustavo Adolfo y GARCÍA ROZO, Antonio. Diseño de una Red Inalámbrica IEEE 802.11 FH/CDMA con Protocolo IP para Monitoreo y Control. Bogota: s.n. 2005. 10 p.
- [50] GANTI, Raghu K et al. Datalink Streaming in Wireless Sensor Networks. Estados Unidos: s. n. 2006. 14 p.
- [51] OROZCO, Luís. et al. Redes inalámbricas de sensores ambientales. s.l.: s.n, s.f. 8 p.
- [52] NI Lionel; LIU Yunhao y ZHU, Yanmin. China´s nacional research Project on wireless Sensor Networks. IEEE Wireless Comunnications. Vol 14 No.6. Diciembre de 2007.
- [53] BARDEAU, Sean; LABRADOR, Miguel, et. A general Architecture in support of interactive, multimedia, location-based mobil applications. IEEE Communications Magazine Vol 44, No 11. Noviembre 2006
- [54] PELUSI, Luciana y PASSARELLA, Andrea. Opportunistis Networking: Data forwarding in disconnected mobile Ad Hoc Network. IEEE Communications Magazine Vol 44, No 11. Noviembre 2006.
- [55] MOSTEO, Chagoyen Alejandro R. y VILLARROEL, José Salcedo. Redes inalámbricas y robótica móvil: técnicas geográficas, Julio 2005