

Redes de Sensores Inalámbricos

Chio Cho Nayibe *, Tibaduiza Burgos Diego Alexander †, Aparicio Zafra Laura Cristina ‡
Caro Ortiz Luis Miguel ‡+

RESUMEN

Este documento resume la información sobre las redes de sensores inalámbricas. El documento tiene como intención ser una guía y base para proyectos futuros. El desarrollo del documento se extiende a lo que es una red de sensores, normativas, protocolos, proveedores y simuladores.

Palabras Clave: Normativa, Protocolos, Red, Sensor, Topologías

I. INTRODUCCIÓN

Después de casi una década de intensas investigaciones, las redes de sensores inalámbricos están en medio de la transición hacia el despliegue industrial en los diversos ámbitos de aplicación, tales como el automóvil, monitoreo del ambiente, la atención de la salud, la gestión de la energía, la construcción y la automatización industrial.

Debido al auge que está presentando, la Universidad Autónoma de Bucaramanga presentó un proyecto de investigación acerca del tema, para lo cual era necesario llevar a cabo un Estado de Arte sobre todas las investigaciones que se han realizado a partir de las bases ya establecidas y así aportar para nuevos desarrollos en las redes de sensores inalámbricos.

De acuerdo con lo anterior, este documento trata de una recopilación de la información más destacada e importante acerca de las redes de sensores inalámbricos. El lector podrá conocer aspectos básicos y complejos. Entre los primeros, podrá saber qué es una red de sensores inalámbricos, cómo está compuesta.

Chio Cho Nayibe * Universidad Autónoma de Bucaramanga (nchio@unab.edu.co), Tibaduiza Burgos Diego Alexander † Universidad Autónoma de Bucaramanga (dtibaduiza@unab.edu.co), Aparicio Zafra Laura Cristina Universidad Autónoma de Bucaramanga (laparicio@unab.edu.co), ‡ Caro Ortiz Luis Miguel ‡+ Universidad Autónoma de Bucaramanga (lcaro@unab.edu.co)

Entre los segundos, con base a qué normativa funcionan, métodos de posicionamiento, topologías de la red, métodos de sincronización, protocolos de comunicación, routing y transporte e identificación de interferencias entre otros.

II. DESARROLLO

A. QUÉ ES UNA RED DE SENSORES INALÁMBRICOS

Un sistema WSN (Wireless Sensor Network) de sensores inalámbricos es una red con numerosos dispositivos distribuidos espacialmente, que utilizan sensores para controlar diversas condiciones en distintos puntos, entre ellas la temperatura, el sonido, la vibración, la presión, el movimiento o los contaminantes. Los dispositivos son unidades autónomas que constan de un microcontrolador, una fuente de energía (casi siempre una batería), un radio transceptor y un elemento sensor (Fig 1).

B. COMPONENTES DE UNA RED DE SENSORES INALÁMBRICOS

En su forma más simple, una Red de Sensores Inalámbricos puede basarse en una estación base en la que se realiza la recogida de datos que se han sentido en todos los otros dispositivos (nodos) de una manera sincronizada y estructurada. La funcionalidad de la red, es decir, las rutas y protocolos de comunicación se implementan en software y se ejecuta generalmente en microcontroladores de gama baja.

Sensores y actuadores

Un sensor es un dispositivo físico que detecta propiedades físicas, biológicas, químicas de su ambiente y convierte estas propiedades en una señal eléctrica. Un actuador normalmente acepta una señal eléctrica y la convierte en una acción física para actuar sobre el medio en el que se encuentra.

Transceptor

Cada uno de los nodos de un sistema de redes de sensores inalámbricos comprende una unidad de

La primera es la transformación de las vibraciones en electricidad a través de efectos de inducción piezoeléctricos, electrostáticos y magnéticos, con la cual se puede proporcionar hasta 300uW/cm³.



Fuente: Autor

transceptor, que está a cargo de la comunicación inalámbrica con sus compañeros [2].

La segunda es la transformación de un flujo de calor en electricidad y puede proporcionar hasta 40uW/cm³.

Microcontrolador

Un microcontrolador es un ordenador en un chip, autosuficiente y de bajo costo que se utiliza para controlar la funcionalidad y el flujo de datos de dispositivos electrónicos para almacenar y/o procesar datos [2].

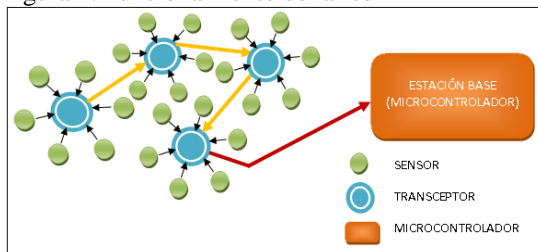
La tercera recupera la energía de la luz - a niveles de hasta 15000uW/cm³ al aire libre y de interior a 10uW/cm³ - o de la radiación de RF de hasta decenas de milivatios en el caso de una fuerte fuente como un lector de etiquetas RFID.

De manera conjunta la red funciona de la siguiente manera: los dispositivos sensores detectan un cambio en la magnitud física que están midiendo, esa información la transmiten al transceptor de cada nodo quien a su vez envía la información al microcontrolador el cual contiene el programa de la red y es el que se encarga de decidir que sucede en la red. Una vez se procese esta información, el microcontrolador enviar la señal de respuesta al transceptor de cada nodo y éste a los dispositivos últimos que son los sensores y/o actuadores (Figura 2).

C. NORMATIVAS

Todo sistema u organización de elementos se debe regir según normas que reglamenten su funcionamiento y aplicación. Las Redes de Sensores Inalámbricos no son la excepción. Este tipo de sistema se comunica a través de señales de radio, por lo cual tiene asignado un espectro de la señal electromagnética para conseguir la comunicación entre los dispositivos de la red. El estándar que fija las condiciones para que este enlace se produzca es el IEEE 802.15.4.

Figura 2. Funcionamiento de la red



Fuente: Autor

Administración de la energía

Existen técnicas para hacer buen uso de la energía y obtenerla a través de diferentes fuentes además de las baterías.

Este estándar IEEE fue definido para la tecnología de la información, Telecomunicaciones e intercambio de información entre sistemas locales y redes de área metropolitana. En la parte 15-4: trata sobre Wireless Medium Access Control (MAC) y la capa física (PHY).

Este estándar se encuentra en el nivel 2 (Enlace de datos) del modelo OSI (Figura 3). Aquí las unidades de la información digital (bits) son gestionados y organizados para convertirse en impulsos electromagnéticos (ondas) en el nivel inferior, el físico.

Las frecuencias definidas por el estándar IEEE 802.15.4 se reparten entre los 27 canales disponibles que se muestran en la tabla 1.

Tabla 1. Frecuencias IEEE 802.15.4

Frecuencia	Número de canales	Cobertura	Velocidad bits (Kb/s)
868.0 – 868.6 MHz	1	Europa	20/100/250
902.0 – 928.0 MHz	10	Estados Unidos	40/250
2.40 – 2.48 GHz	16	Mundial	250

Fuente: [13]

Este estándar utiliza dos técnicas para evitar que todos los nodos emitan al mismo tiempo: CSMA-CA y GTS

En CSMA-CA: Cada nodo debe analizar la red antes de transmitir. Si la energía más alta se encuentra en un nivel específico, el nodo espera al transceptor durante un tiempo al azar e intenta de nuevo.

GTS: La segunda es una garantía de tiempo. Este sistema utiliza un nodo central (PAN coordinador), que da las franjas horarias de tiempo para cada uno de los nodos de modo que cualquier nodo sabe cuando tiene que transmitir.

D. METODOS DE POSICIONAMIENTO

El posicionamiento de los nodos en una red de sensores inalámbricos cobra importancia en la medida que dependiendo de este acomodamiento se pueden implementar protocolos de comunicación más eficientes y mejores algoritmos con mayor escalabilidad. Entre estos, como se puede ver en la figura 5 existen dos tipos de métodos: centralizados y los distribuidos. (Fig 3)

Optimización convexa

Las ventajas de métodos basados en optimización convexa son que es simple modelar el hardware para proveer rangos o ángulos y conectividad sencilla; además hay métodos computacionales eficientes disponibles para resolver problemas acerca la programación convexa [4].

MDS-MAP

Es un método que solo hace uso de la conectividad para proveer posiciones en una red con o sin puntos destacados. Éste método opera en tres etapas. La primera etapa calcula los caminos más cortos entre todos los pares de nodos en la red. Estas distancias son usadas para inicializar una matriz de distancias para MDS. La segunda etapa es la aplicación clásica MDS en esta matriz, y retener a los dos mayores valores propios y vectores propios con el fin de construir un mapa en 2D. La tercera y última etapa tiene una complejidad lineal en el número de nodos.

La ventaja de los mapas MDS es que tienen un amplio rango de aplicabilidad, teniendo la habilidad de trabajar tanto con conectividad simple como con rangos de medición para proporcionar posicionamiento absoluto o relativo [4].

Posicionamiento One-Hop

Esta clase de posicionamiento tiene una característica principal que es la posibilidad de que los nodos contacten a los puntos estratégicos marcados. El ejemplo más visible de este tipo de posicionamiento es el sistema GPS [4].

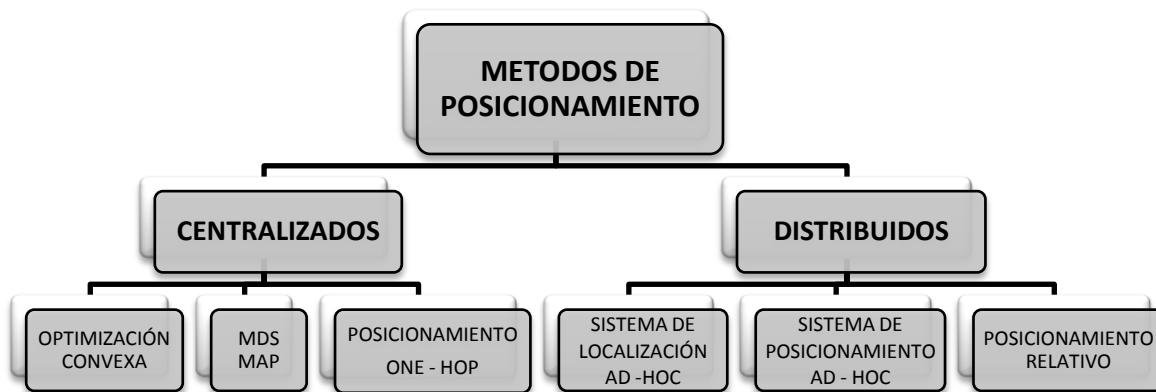
Sistema de localización Ad-Hoc

Define varios tipos de multilateralidad: atómica, iterativa y colaborativa. En la multilateralidad atómica la densidad del punto estratégico es suficientemente alta que un nodo tiene suficientes nodos vecinos para aplicar lateralidad triple. Una vez conocidas las distancias de tres puntos conocidos, un nodo es capaz de calcular su ubicación. Con la multilateralidad iterativa, los nodos que tratan de establecer su posición sirven de puntos marca para otros nodos, aunque con menor precisión. La multilateralidad colaborativa identifica grupos de nodos que solo pueden conocer su posición mediante colaboración grupal. En este caso particular, las distancias están indicadas con líneas, el grupo de nodos es capaz de construir un sistema no lineal usando ecuaciones para cada extremo de la gráfica. [4].

Sistema de posicionamiento Ad-Hoc

Aplica un método que transmite la orientación/rango a fin de que los nodos que no están en contacto directo con los puntos marca, puedan inferir su orientación/rango con respecto a éstos. Orientación significa transporte o ángulo entre ejes de cada nodo y otro objeto. Rango significa distancia en línea recta o una estimación de la misma. [4]

Figura 3. Métodos de Posicionamiento



Fuente: Autor

Fuente: [1]

Posicionamiento Relativo

Encuentra posiciones en un sistema coordinado determinado por un grupo llamado Ubicación de Referencia. Las posiciones obtenidas son coherentes a través de toda la red [4].

Después de organizar la red en la topología adecuada y así tener los nodos posicionados según alguno de los métodos descritos es conveniente sincronizar cada uno de los dispositivos de la red. La sincronización permite que cada evento suceda en el tiempo preciso. De esta manera el flujo de información no se ve perjudicado y estará en continuo funcionamiento.

Técnica de Agrupación de Nodos

Esta topología se presenta con el fin de apoyar la recolección de datos de una manera eficiente. Cada Agrupación por nodos tiene un coordinador conocido como Cabeza de Grupo y un número de nodos miembros. Este tipo de agrupación da lugar a una jerarquía de nos niveles, en la cual el nodo Cabeza de Grupo forma el nivel alto y los nodos miembros forman el nivel bajo. Así los nodos miembros reportan su información a su respectivo Cabeza de Grupo. Éste reúne todos los datos que ha recibido y los envía a la Base Central a través de otro Cabeza de Grupo (Ver Figura 5).

E. TOPOLOGIAS DE LAS REDES DE SENSORES INALÁMBRICOS

Las redes de sensores inalámbricos se agrupan de diferentes formas en busca de la mejor ubicación entre nodos para el envío y recepción de información. Estas agrupaciones se denominan topologías de la red, algunas de éstas se pueden ver en la figura 4.

Figura 5. Agrupación de Nodos

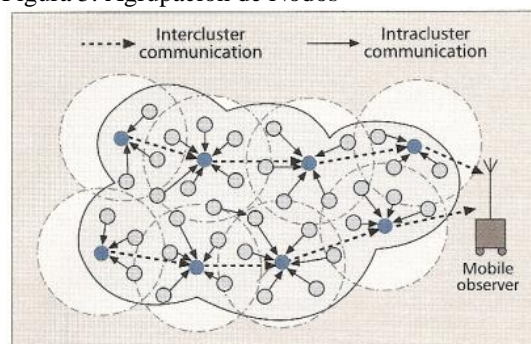
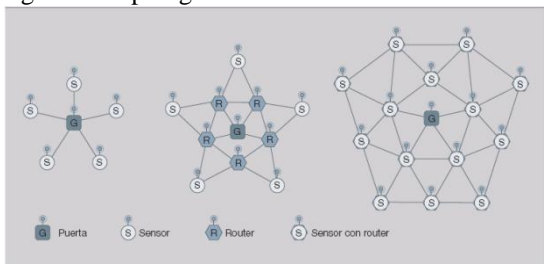


Figura 4. Topologías de red



Fuente: [3]

F. METODOS DE SINCRONIZACIÓN

Protocolo Timing-Sync para redes de sensores

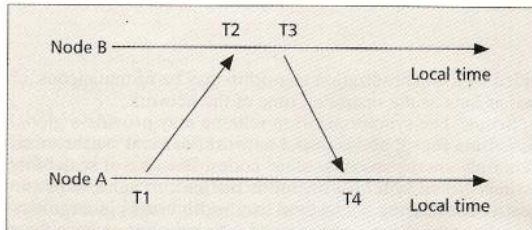
Trabaja en dos fases: Nivel de descubrimiento y Sincronización. La idea de la primera fase es crear una topología jerárquica en la red, en donde a cada

nodo se le asigna un nivel. Solo a un nodo se le asigna el nivel 0 o también conocido como el Nodo Raíz. En la segunda fase, un nodo de nivel “x” se sincroniza con un nodo del nivel “x-1”. Al final de la fase de sincronización, todos los nodos están sincronizados al Nodo Raíz, y así se realiza la sincronización en toda la red.

Fase Nivel de Descubrimiento: Esta fase se ejecuta una vez en el despliegue de la red. Primero se determina un nodo como Nodo Raíz que deberá tener un receptor GPS y el algoritmo sincronizará todos los nodos en un tiempo externo. Si no se dispone del GPS, los nodos de sensores pueden periódicamente funcionar como el Nodo Raíz. A este nodo se le asigna el nivel ‘0’ e inicializa la fase de Nivel de Descubrimiento emitiendo un paquete de datos de nivel de descubrimiento. El paquete contiene la identidad y el nivel del nodo emisor. Una vez se recibe este paquete el nodo vecino del Nodo Raíz se asigna el nivel ‘1’ y así sucesivamente hasta que todos los nodos de la red tienen un nivel.

Fase de Sincronización: Básicamente se construye con dos vías de intercambio de mensajes entre un par de nodos. Los autores del protocolo asumen que la diferencia del reloj entre el par de nodos es constante en el pequeño periodo de tiempo durante el intercambio de un solo mensaje. El retardo de la propagación también se asume como constante en ambas direcciones.

Figura 1. Intercambio de información entre un par de nodos



Fuente: [5]

En la figura 6, el Nodo A inicia la sincronización enviando un paquete de pulso de sincronización en el tiempo uno (T1). El paquete enviado incluye el nivel del nodo A y el valor de T1. El nodo B recibe este paquete en el tiempo dos (T2). $T2 = T1 + \Delta + d$, donde Δ es la desviación del reloj entre los dos nodos y d es el retardo de la propagación del pulso. B responde en el tiempo tres T3 con el reconocimiento del paquete que incluye el nivel de B y los valores de T1, T2 y T3. Luego el nodo A puede calcular Δ y d y sincronizarse con B. [5]

Para ello se utilizan las siguientes fórmulas:

$$\Delta = ((T1 - T2) - (T4 - T3)) / 2$$

$$d = ((T2 - T1) + (T4 - T3)) / 2$$

G. PROTOCOLOS DE COMUNICACIÓN, ROUTING Y TRANSPORTE

En la tabla 2 se hace una comparación entre éstos definiendo su función.

Tabla 2. Comparación protocolos

PROTOCOLO COMUNICACIÓN	PROTOCOLO ROUTING	PROTOCOL O DE TRANSPORTE
Se encarga de generar un código básico de envío/recepción de información. Crea el lenguaje por el cual todos los dispositivos conectados a la red se van a comunicar.	Se encarga de generar las vías para comunicar los dispositivos que se encuentran distribuidos en la red.	Se encarga de facilitar el tránsito de información de un nodo a otro, entre sensores, entre éstos y la estación base o entre los demás dispositivos activos en la red.

Fuente: Autor

Protocolos de Comunicación

WISA

Es un protocolo de Salto simple y multiplexación por división en el tiempo. El primer factor evita demoras en los nodos intermedios, el segundo garantiza que solo habrá un nodo en el canal para que no existan colisiones.

Para ahorrar energía los nodos se ponen en modos de bajo consumo hasta que ocurra un suceso. Cuando se activa de nuevo el nodo se establece un enlace de radio con una señal de sincronización que emite la estación base. Un protocolo WISA tiene un consumo de energía aproximadamente de 1 mA en modo de reposo y unos 45 mA durante la transmisión/recepción.

La estación base opera en modo full-duplex, y es capaz de recibir señales de los nodos con un rango dinámico superior a 60 dB. La estación base dispone de dos conectores para las antenas de transmisión y recepción para proporcionar alto aislamiento entre las vías de transmisión y recepción.

WirelessHART

HART® Communication Foundation (HCF) ha publicado la especificación HART 7 en la que se incluye WirelessHART™, el primer estándar abierto de comunicaciones inalámbricas diseñadas específicamente para atender las necesidades de la industria en cuanto a simpleza, fiabilidad y seguridad de este tipo de comunicaciones. HCF autorizó la actualización de esta nueva norma el 7 de septiembre de 2007 y los productos certificados disponibles a partir de 2008 [7].

También tiene definida su arquitectura básica. HART es un protocolo de comunicación tipo half-duplex en el modo estándar. Para WirelessHART se tienen otras especificaciones. De modo que una red WirelessHART consiste en una puerta de enlace y un gestor de red. Estos dispositivos se conectan en una red tipo malla para soportar la comunicación bidireccional entre la estación y los dispositivos de campo.

Protocolos de Routing

Los nodos no tienen un conocimiento de la topología de la red, deben identificarla. Esto se hace de la siguiente manera: cada nodo debe anunciar su presencia en la red, así conocerá cuántos son, qué cantidad están al alcance de cada uno y cómo podría enrutarse con ellos o servir de comunicador entre nodos. Después de un tiempo cada nodo conocerá su situación. Para ello se utilizan los protocolos que se ven en la figura 10.

Los protocolos se dividen en Routing plano, jerárquico o adaptativo. En el ruteo plano a todos los nodos se les asigna la misma función. En el ruteo jerárquico los nodos pueden tomar diferentes funciones según se necesite. En el ruteo adaptativo se controlan ciertos parámetros para que se puedan adaptar a la situación de la red y a las condiciones de energía. (Tabla 3)

Tabla 3. Protocolos de ruta según estructura de red

Protocolos Planos	Protocolos Jerárquicos	Protocolos Adaptivos	Protocolos Basados en Localización

			ión
SAR	LEACH	SPIN	GAF
Difusión Directa	PEGASIS		GEAR
Rumor	TEEN Y APTEEN		MFR
MCFA	MECN Y SMECN		DR
Ruteo Basado en gradiente	SOP		GEDIR
Ruteo de uso eficiente de energía	Sensor Aggregates Routing		GOAFR
COUGAR	Cluster de Tamaño Fijo		SPAN
Random Walks	Arquitectura de malla Virtual		
CADR	HPAR		
ACQUIRE	TTDD		

Fuente: Autor

Protocolos de Transporte

Los protocolos de transporte se utilizan para mitigar la congestión y reducir la pérdida de empaquetamiento de datos, proporcionar equidad en la asignación de ancho de banda y garantizar la fiabilidad de extremo a extremo en la red.

Para el control de congestión hay tres mecanismos Detección de Congestión, Notificación de Congestión, Ajuste de proporción que se llevan a cabo uno tras otro. [8]

H. INTERFERENCIAS

Debido a que las redes de sensores inalámbricos se basan en la transmisión de señales vía radio frecuencia, es muy común que señales de este tipo penetren la red y distorsionen a información que los dispositivos están enviando y recibiendo. Este tipo de ataques se han analizado y se tienen identificados los más comunes.

Interferencia constante

Emite una señal de radio constante, y puede ser implementada utilizando un generador de señales

que constantemente envía una señal de radio o un dispositivo inalámbrico que continuamente envía bits aleatoriamente a un canal sin seguir ninguna etiqueta o capa MAC (Control de Acceso al Medio). [10]

Interferencia engañosa

En lugar de enviar aleatoriamente bits, este tipo de ataques agrega paquetes de datos en un canal sin ningún espacio entre el siguiente paquete transmitido. Como resultado, un comunicador normal será engañado pues no sabrá si deba enviar un paquete de datos, no podrá identificar si es información legal o interferencia. [10]

Interferencia aleatoria

Alterna entre modo SLEEP e interferencias. Específicamente después de emitir interferencias, deja de emitir señales de radio y entra en modo SLEEP. Mientras está en la fase de interferencias se comporta como Interferencia Constante o Engañosa. [10]

Interferencia reactiva

No emiten cuando el canal está inactivo, pero empiezan a transmitir una señal de radio cuando detectan actividad en el canal. Este tipo de interferencias son más difíciles de detectar, lo que se convierte en una ventaja. [10]

A partir de esta identificación de interferencias y ataques, se han desarrollado una serie de estrategias para la detección de alguna de estas irregularidades de la red.

Detección de interferencias

En el momento se cuentan con cuatro estrategias para conocer qué tipo de interferencia está afectando el buen funcionamiento de la red.

Fuerza en la señal

La distribución de la fuerza de la señal se verá afectada en caso de una interferencia. Dos enfoques que se aproximan a la detección de interferencias usando este método, comparan la magnitud promedio de la señal con el umbral calculado del ruido del ambiente y así clasificar la forma de la señal, así tenerla como referencia en caso que se presente de nuevo ese tipo de señales de interferencia.

Tiempo de detección de envío de información

Esta estrategia resulta provechosa cuando se cumplen dos condiciones: la interferencia no es

reactiva ni aleatoria y el protocolo MAC determina cuando un canal está inactivo comparando el nivel de ruido con un umbral fijo.

Proporción de entrega de paquetes de datos

Puede utilizarse para detectar la presencia de perturbaciones, como el dispositivo que emite estas interferencias corrompe las transmisiones, lleva a que éste indicador sea menor, es decir, a que se entren menor proporción de paquetes de datos en un tiempo dado.

Estrategias avanzadas de detección

Tiene que ver con estrategias multimodales como combinaciones de la anterior (Proporción de entrega de paquetes y Fuerza en la señal). En un escenario sin interferencias, una gran Fuerza en la Señal corresponde a un alto PDR (Proporción de entrega de paquetes). Sin embargo un PDR bajo además que puede ser también una señal con poco fuerza, también puede ser que existan interferencias y la señal sea fuerte pero las perturbaciones dificultan la detección de la señal. [10]

I. SIMULADORES

Castalia

Es un simulador para redes de sensores inalámbricos para comprobar algoritmos y protocolos básicos. Fue construido por el programa (Networks and Pervasive Computing) de National ICT Australia. Este simulador está basado en la plataforma OMNet++ que puede ser utilizada por investigadores y desarrolladores que necesitan probar el comportamiento del algoritmo, del protocolo de una manera real utilizando canales inalámbricos y modelos de radio frecuencia también con un comportamiento caso real de los nodos.

J-SIM

J-Sim (anteriormente conocido como JavaSim), es un simulador orientado a objetos, basado en componentes, de simulación escritos en Java. Los principales beneficios de J-Sim son módulos que pueden ser fácilmente añadidos y eliminados de forma plug-and-play y también es útil tanto para la simulación y la emulación de la red mediante la incorporación de uno o más dispositivos sensores reales. J-Sim proporciona apoyo objetivo, los nodos de sensor y sumideros, canales de sensores inalámbricos y canales de comunicación, medios físicos, y modelos para el consumo de energía [15].

GloMoSim

GloMoSim (Global Mobile Information Simular sistema) es un entorno de simulación escalable escrito en C y Parsec, es capaz de simular en forma paralela el evento de simulación discreta. GloMoSim es una colección de módulos de biblioteca, cada uno de los cuales simula un protocolo de comunicación inalámbrica en la pila de protocolos. GloMoSim es ampliamente utilizado para simular ad hoc y las redes inalámbricas móviles [15].

OMNeT++

OMNeT ++ (Red Objetivo modulares de lecho de prueba en C ++) es un simulador de red de sensores inalámbricos que se basa en el evento de simulación. Como el modelo OMNeT++ recoge la jerarquía de los módulos, es posible captar la complejidad del sistema. Estos módulos están separados en dos tipos que son simples y compuestos. Los módulos Simple están programados en C++, mientras que los módulos Compuestos se componen de módulos que se programan en un lenguaje de alto nivel (NED). OMNeT ++ ayuda a los usuarios para estudiar el efecto de escala, la arquitectura a nivel de nodo, la eficiencia energética, la arquitectura de las comunicaciones, la arquitectura del sistema, protocolos, etc. [15].

SIMULADOR NS-2

NS-2es elegido como el entorno de simulación de este documento, ya que es el simulador de red más utilizado. NS-2 es un simulador de redes, que está escrito en C++. La simulación se escribe en lenguaje Otcl, que es un lenguaje orientado a objetos de tipo interprete, es decir, que las instrucciones del código se va traduciendo una a una conforme se van ejecutando, dándole una flexibilidad durante el desarrollo del código para hacer la simulación. De esta forma los enlaces entre los nodos (links), son objetos OTcl que influyen y que se pueden programar situaciones como: Retraso, Gestión de colas, Módulos de pérdidas, etc.

J. PROVEEDORES

En la tabla 4 se tiene la comparación entre los proveedores más importantes de dispositivos para redes de sensores inalámbricos.

K. INVESTIGACIONES EN UNIVERSIDADES DE COLOMBIA Y EL MUNDO

En esta sección se recopila información sobre investigaciones realizadas en otras universidades del mundo. El tema se abordó de la siguiente manera: primero se buscó en otras universidades reconocidas del país y se consultó qué tipos de investigaciones han hecho en el área. Segundo se buscó en las mejores universidades del mundo y se eligió la mejor de cada continente, de lo cual se obtuvo el siguiente resultado:

UNIVERSIDADES DE COLOMBIA

Universidad del Valle:

Esta universidad tiene un grupo de investigación en sistemas de telecomunicaciones llamado SISTEL-UV encargado de investigar en el área de sistemas de comunicaciones móviles y tecnologías inalámbricas. En este momento se están llevando algunos avances en redes inalámbricas para conectar dispositivos multimedia móviles.¹

No presentan algún tipo de investigación en redes de sensores inalámbricos.

Universidad Nacional:

En la universidad nacional ya se han hecho investigaciones en el tema. Algunos de los proyectos están enfocados en la programación de entornos GUI en java utilizando la herramienta netbeans²[21].

Uno de los proyectos más recientes se llama: Integración de instrumentos virtuales y redes de sensores inalámbricos creadas a partir de unidades ZigBee y sistemas embebidos TinyOS, pero no obtuvo los recursos para poder llevar una investigación a fondo puesto que la universidad solo patrocinó un proyecto de cada categoría de grupo de investigación. Este proyecto estaba listo para empezar el día 30 de mayo del 2008.³

Otro proyecto reciente es: Análisis, diseño e implementación de instrumentos virtuales para monitorear in-situ y remotamente variables físicas en ambientes controlados usando redes de sensores inalámbricos. Este proyecto tuvo como presupuesto cuarenta millones de pesos. El

1. <http://sistel-uv.univalle.edu.co/>

2. <http://www.bogota.unal.edu.co/buscar.html?cx=015779202118420744272%3Aqk5u5rpebla&cof=FORID%3A11&q=redes+de+sensores+inalambricos&submit.x=0&submit.y=0&submit=Buscar#1258>

3.

<http://www.unal.edu.co/viceinvestigacion/normatividad/Reso52008.pdf>

proyecto se empezó desarrollar el 25 de julio del 2007.⁴

América

Harvard

Tiene un laboratorio especializado para el estudio de las redes de sensores. Allí se hacen las investigaciones especializadas en el tema, siendo una de las áreas más importantes en este laboratorio. Entre los proyectos que se están adelantando están:

Hacer una red de sensores inalámbricos para la escala de una ciudad⁵

4. http://www.unalmed.edu.co/~ciencias/Documentos_Investigacion/ficha_Alcides_Montoya.pdf

5. <http://www.fas.harvard.edu/home/news-and-notices/news/press-releases/release-archive/releases-2007/network-04052007.shtml>.

Tabla 4. Comparación de Proveedores

ASPECTO	SIEMENS	INVENSYS	HART
FIABILIDAD	<p>Tráfico de datos cíclico y predecible</p> <p>Entrega rápida de estaciones móviles de una célula de radiotransmisión a la siguiente mediante cable radiante RCoax Cable</p> <p>Supervisión de la conexión inalámbrica.</p> <p>Conexión inalámbrica estable gracias al cambio de antenas (diversidad de antenas)</p>	<p>Diseño flexible. Una unidad puede ser programada como transmisor o receptor o repetidor.</p> <p>Incluye software</p>	<p>Salto de canal para evitar interferencias</p> <p>Tiempo sincronizado comunicación</p> <p>Redundante red de auto-sanación</p>
ROBUSTEZ	<p>Diseño hermético que impide la entrada de agua y polvo</p> <p>Robustez mecánica</p> <p>Resistencia a la condensación</p>	<p>Empaquetamiento tipo riel</p> <p>Suministro de energía 10-48 VDC o 18-30 VAC</p> <p>Versiones disponibles para frecuencias 2.4Ghz y 900MHz</p>	<p>-</p> <p>-</p> <p>-</p>
SEGURIDAD	<p>Mecanismos estándar para el reconocimiento de usuario (autenticación)</p> <p>Codificación de los datos</p> <p>Alta seguridad contra accesos no autorizados gracias a WPA y al cifrado (AES)</p>	<p>Transmisión segura con una encriptación de 256 bits</p> <p>Rango de temperatura para operar: -40 °- 85 °C</p>	<p>Robusto, de varios niveles, siempre en la seguridad</p> <p>Dispositivos de autenticación y contraseñas</p> <p>Industria aprobó el cifrado de datos creado por HART</p> <p>Soporta topologías estrella y malla. Si se presenta una obstrucción en la malla de red, dispositivos encontrará automáticamente la mejor ruta de comunicación alternativa.</p> <p>Este camino alternativo se creará y la información seguirá fluyendo.</p>

COSTO	-	Altamente rentable	-
FLEXIBILIDAD	-	Compatible con Modbus y Profibus	-
	-	Modulo de Entradas/Salida expandible hasta 6.	-
	-	Integración con Controladores	-

Elaborado por: Autor

El proyecto consiste en más de 100 sensores inalámbricos instalados en los semáforos siendo el primero proyecto con redes de sensores inalámbricos en llegar a una escala tan grande. El objetivo del proyecto es monitorear factores meteorológicos, tráfico, ruido y polución. El proyecto lo financió la Fundación de Ciencia Nacional (National Science Foundation), siendo un proyecto de Open-Source, es decir, investigadores externos a la universidad podrían entrar a participar en este proyecto.

Monitoreo de actividad volcánica mediante redes de sensores inalámbricos⁶

Para este proyecto se monitorearon 2 volcanes en Ecuador, Tungurahua y Reventador. Para Reventador se utilizaron 16 sensores inalámbricos distribuidos a través de 3 km. Cada uno de estos sensores transmite al más cercano construyendo un camino de información hasta el nodo transmisor a la central.

Redes medicas de sensores Inalámbricos en respuestas de emergencia⁷

Se inició este proyecto pensando en la gran pérdida de información sobre pacientes cuando un desastre ocurría. Cuando el desastre y la cantidad

6 . <http://www.iic.harvard.edu/seminars/iic-seminar-series-fall-2006/monitoring-volcanic-eruptions-wireless-sensor-network>

7.<http://www.hbs.edu/units/tom/conferences/docs/Wireless%20Sensor%20Networks%20for%20healthcare%20Applications.pdf>

de personas en peligro excedían la capacidad de los rescatistas, era difícil encontrar información sobre un paciente en particular cuyos datos podrían ser en donde se encuentra, ritmo cardiaco, temperatura, etc. Se diseñaron los sensores para que no tuviera un costo muy elevado y tuviera una gran facilidad de reproducción.

Europa

Universidad de Oxford

Se ha centrado más en diseñar algoritmos para facilitar la comunicación de datos en las redes de los sensores inalámbricos. Entre sus publicaciones más sobresalientes están:

“Collaborative Localization for Wireless Sensor Networks”⁸

Este proyecto se enfoca en la realización de un algoritmo autosuficiente que pueden encontrar la ubicación de los sensores inalámbricos sin necesidad de una infraestructura externa que le de las coordenadas de cada nodo.

El sistema utiliza medidas de distancia de inter-nodo para generar un sistema de coordenadas local de los nodos y convertirlo a un sistema global de traslación, rotación y reflexión. Este procedimiento solo consume 0.1% de la batería del sensor y tiene un menor porcentaje de error en

8 .

<http://web.comlab.ox.ac.uk/people/Sarfraz.Nawaz/webpage/papers/pimrc07.pdf>

la localización de los nodos. El artículo fue publicado en septiembre del 2007.

“CaVi – Simulation and Model Checking for Wireless Sensor Networks”⁹

Este es un simulador desarrollado para monitorear la actividad de la red de sensores inalámbricos. Este simulador describe el escenario que está simulando y el mejor y peor de los casos como se podría comportar la red. Este simulador usa una interfaz amigable para el usuario y usa un modelamiento unificado con el simulador Castalia, que es un simulador de open-source. Se publicó el 20 de enero del 2009.

A biomimetic ranking system for energy constrained mobile wireless sensor networks¹⁰

El enrutamiento en redes de sensores inalámbricos con alta movilidad y limitaciones de energía sigue siendo un área de investigación abierta, puesto que la mayoría de protocolos que se desarrollaron en bajo consumo de energía se pensaron en redes de sensores inalámbricos estáticos y los protocolos móviles ad hoc raramente incorporan información acerca de la energía del nodo.

Obtener información global sobre la distribución de energía sobre toda la red es un gasto de recursos grande, entonces se ideó un sistema de ranking con información local y se clasifica dependiendo del uso del nodo.

Una aplicación que puede tener este dispositivo son collares para la ubicación de animales salvajes. Se publicó el 4 de marzo del 2009.

Australia

Australian National University

La Universidad Nacional de Australia enfoca todas sus investigaciones y las agrupa de acuerdo a su área de investigación. En el caso de las redes de sensores inalámbricos, están agrupados bajo el grupo “Algoritmos y Datos” (Algorithms and Data) el cual está dirigido por el profesor Brendan McKay y tiene a su cargo de los siguientes proyectos. 1. Energy-efficient routing protocol

9 .

<http://web.comlab.ox.ac.uk/files/1129/Boulis2008cavi.pdf>

10 .

http://web.comlab.ox.ac.uk/files/2109/Markham_SATNAC_Sept_2007.pdf

design and analysis for wireless ad hoc/sensor networks (Liang and McKay; also 3rd year student Yuzhen Liu). 2. Query optimization for energy-constrained sensor networks (Liang; also 1st year student Baichen Chen). 3. Data gathering and sensing coverage in wireless sensor networks (Liang)

Sin embargo no hay acceso a los artículos que han publicado puesto que se recopilan en una revista y ésta tiene un valor comercial.

Asia

Universidad de Tokio

Se enfocan en las siguientes aplicaciones

“Actual Application of Ubiquitous Structural Monitoring System using Wireless Sensor Networks”¹¹

Es una aplicación para monitorear sismos de un edificio determinado, para minimizar el daño sísmico. Todos los sensores usados se probaron en una tabla en constante vibración. Se publicó en octubre del 2008

“Decentralized Intrusion Detection in Wireless Sensor Networks”¹²

Como los ambientes en donde se hacen las redes de sensores inalámbricos son abiertos y no protegidos y se constituyen de materiales de poca inversión y pequeños, se pueden crear mecanismos para prevenir los ataques, sin embargo estos ataques tienen diversas formas de dañar el sistema, por lo que no hay métodos de prevención de ataques, por esto es necesario un sistema de detección de intrusos, pero además de esto el IDS (intrusion detection system) puede detectar las técnicas que se están utilizando en el ataque. El artículo se publicó en el año 2005.

“A Quantitative Error Analysis of Synchronized Sampling on Wireless Sensor Networks for Earthquake Monitoring”¹³

Técnicas para mejorar el muestreo de las redes de sensores inalámbricos. Estas técnicas se

11 <http://www.mlab.t.u-tokyo.ac.jp/attachment/file/58/14WCEE-Kurata.pdf>

12 <http://www.mcl.iis.u-tokyo.ac.jp/~martins/papers/q2swinet05-wsnids.pdf>

13 . <http://www.mlab.t.u-tokyo.ac.jp/attachment/file/79/sensys08-makoto.pdf>

desarrollaron gracias a que la adquisición de datos depende de la distribución y muestreo de los sensores, entonces se necesitan mejorar las técnicas.

III. CONCLUSIONES

Las investigaciones realizadas en el tema evidencian que el ahorro de energía es un tema importante y de constantes cambios.

Los protocolos de routing y las técnicas de agrupación y posicionamiento de los nodos y las redes deben diseñarse con el menor gasto de energía.

Las aplicaciones más sobresalientes se dan en el campo militar, en el control del ambiente y en la automatización industrial.

Las interferencias presentadas en las redes debidas a otras señales de radio son los problemas más frecuentes de fallos de funcionamiento de la red de sensores inalámbricos.

La redundancia de las vías de comunicación aumenta el consumo de energía de la red pero permite que la información se transmita adecuadamente.

El tiempo de transmisión y el canal son indicadores importantes que deben conocer todos los nodos para evitar atascos de información y confusiones.

El gestor de red es el encargado de asignarle a cada nodo el tiempo de emisión/transmisión y el canal respectivo de transmisión.

Es conveniente que las redes de sensores inalámbricos funcionen a una frecuencia de 2.4GHz que es el ancho de banda aceptado en todo el mundo. Esto con el fin que las redes y dispositivos sean flexibles y no tengan problemas de interconexión.

Hacia un enfoque en el área de Ingeniería Mecatrónica es conveniente realizar desarrollos concretos acerca de automatización industrial, es decir, este tipo de redes aplicadas a procesos que aún se hagan manualmente. Aquellos en los que

un operario deba desplazarse hasta el lugar donde se debe realizar la medición, con esto ahorrar tiempo y eliminar el cableado que generaría la implementación de dispositivos no inalámbricos.

Como se dijo anteriormente, una aplicación común es la monitorización del ambiente. Esto sería útil en industrias como la avícola en la que se deben tener parámetros físicos como temperatura, humedad, ventilación, entre otros, en márgenes específicos para que la producción se mantenga estable y en buenas condiciones.

Este tipo de redes es propicia para industrias con grandes instalaciones y pueda ser controlada y monitoreada por secciones. Cada estación base de cada sección tendrá la información disponible para todas las divisiones de la planta.

IV. REFERENCIAS

[1] NIELS, Aakvaag y FREY, Jan-Erik. Redes de sensores inalámbricos. Nuevas soluciones de interconexión para la automatización industrial. PDF. 2006 [En línea]. <[http://library.abb.com/GLOBAL/SCOT/scot271.nsf/VerityDisplay/A019E9833DCF2819C1257199004E5DD2/\\$File/39-42%202M631_SPA72dpi.pdf](http://library.abb.com/GLOBAL/SCOT/scot271.nsf/VerityDisplay/A019E9833DCF2819C1257199004E5DD2/$File/39-42%202M631_SPA72dpi.pdf)> [Citado el 10 de Abril de 2009]

[2] CHALARD Laurent, HELAL Didier, VERBAERE Lucille, WELLIG Armin, ZORY Julien. ST JOURNAL OF RESEARCH - VOLUME 4 - NUMBER 1 - WIRELESS SENSOR NETWORKS. Wireless Sensor Networks Devices: Overview, Issues, State-of-the-art and Promising Technologies. PDF [En línea] <<http://www.st.com/stonline/press/magazine/stjournal/vol0401/pdf/art01.pdf>> [Citado el 10 de Abril de 2009]

[3] YOUNIS Osama, KRUNZ Marwan, RAMASUBRAMANIAN Srinivasan. Node Clustering in Wireless Sensor Networks: Recent Developments and Deployment Challenges. En: IEEE NETWORK. Wireless Sensor Networking. Vol 20, No 3, Mayo/Junio 2006; Páginas 20 – 25.

[4] NICULESCU, Dragus. Positioning in Ad Hoc Sensor Networks. En: IEEE NETWORK. Ad Hoc Networking: Data communications and Topology Control. Vol.18, No.4, Julio/Agosto 2004. Páginas 24 -29.

- [5] SIVRIKAYA Fikret, YENER Bülent. Time Synchronization in Sensor Networks: A Survey. En: IEEE NETWORK. . Ad Hoc Networking: Data communications and Topology Control. Vol.18, No.4, Julio/Agosto 2004. Páginas 45-50
- [6] SIKORA, Axel. Wireless Sensor Networks. Wireless Congress 2007. Munich, noviembre 7 y 8. [En línea] <http://www.stzedn.de/stzedn/files/071021_wireless_congres_paper_sa.pdf> [Citado 22 de Abril de 2009]
- [7] HART COMMUNICATION FOUNDATION. HART Communication Protocol. WirelessHART. [En línea] <http://www.hartcomm2.org/hart_protocol/wireless_hart/wireless_hart_main.html> [Citado 22 Abril de 2009]
- [8] WANG Chonggang; COHRABY Kazem; LI Bo; DANESHMAND Mahmoud; HU Yueming. A Survey of Transport Protocols for Wireless Sensor Networks. En: IEEE NETWORK. Wireless Sensor Networking. Vol 20, No 3, Mayo/Junio 2006; Páginas 34 – 40.
- [9] SERNA SANCHIS Jesús. Redes de Sensores Inalámbricas. [En línea] <<http://www.uv.es/montanam/ampliacion/trabajos/Redes%20de%20Sensores.pdf>> [Citado 23 de Abril de 2009]
- [10] XU Wenyuan, MA Ke, TRAPPE Wade, ZHANG Yanyong. Jamming Sensor Networks: Attack and Defense Strategies. En: IEEE NETWORK. Wireless Sensor Networking. Vol 20, No 3, Mayo/Junio 2006; Páginas 41- 47.
- [11] ZIGBEE ALLIANCE. INTRODUCTION [En línea] <<http://www.zigbee.org/About/ZigBeeIntro/tabid/220/Default.aspx>> [Citado 23 de Abril de 2009]
- [12] ZIGBEE ALLIANCE. About. Our mission [En línea] <<http://www.zigbee.org/About/OurMission/tabid/217/Default.aspx>> [Citado 23 de Abril de 2009]
- [13] Wireless Sensor Network. Research Group. [En línea] <<http://www.sensor-networks.org/index.php?page=0823123150>> [Citado 23 de Abril de 2009]
- [14] Australias' Centre of excellence in ICT research. CASTALIA. A simulator of WSN. [En línea] <<http://castalia.npc.nicta.com.au/>> [Citado 20 de Abril de 2009]
- [15] SRIPORAMANONT, Thammakit y LIMING, Gu. Wireless Sensor Network. Simulator Master's Thesis in Electrical Engineering. Technical report. IDE0602. Enero de 2006.
- [16] VINT Project. The NS Manual. (Formerly ns notes and Documentation). Editor: Kevin Fall. PDF. Enero de 2009.
- [17] SIEMENS. Componentes de red. [En línea] <http://www.automation.siemens.com/net/html/7/8/produkte/050_netzkomponenten.htm> [Citado 20 de Abril de 2009]
- [18] SQUIDBEE. [En línea] <http://www.libelium.com/squidbee/index.php?title=Main_Page> [Citado 20 de Abril de 2009]
- [19] HART COMMUNICATION FOUNDATION. WirelessHART Brochure. [En línea] <http://www.hartcomm2.org/hart_protocol/wireless_hart/wirelesshart_brochure.pdf> [Citado 20 de Abril de 2009]
- [20] Resumen-Wireless Sensor Network. Pdf
- [21] OLARIU, Stephan; WADA, Ashraf y WILSON, Larry. Wireless Sensor Networks: Leveraging the Virtual Infrastructure. En: IEEE NETWORK. Ad Hoc Networking: Data communications and Topology Control. Vol.18, No.4, Julio/Agosto 2004. Páginas 51-56.
- [22] LI Yihan, PANWAR Shivendra, MAO Shiwen. A Wireless Biosensor Network Using Autonomously Controlled Animals. En: IEEE NETWORK. Wireless Sensor Networking. Vol 20, No 3, Mayo/Junio 2006; Páginas 6 – 11.
- [23] WANG Qiang; ZHU Yaoyao y CHENG Liang. Reprogramming Wireless Sensor Networks: Challenges and Approaches. En: IEEE NETWORK. Wireless Sensor Networking. Vol 20, No 3, Mayo/Junio 2006; Páginas 48 - 55.
- [24] SHARMA, Sachin; KUMAR, Dharmendra y KUMAR, Rajesh. QoS-Base Routing Protocol in WSN. Advances in Wireless and Mobile

Communications. ISSN 0973-6972. Volume 1, Numero 1- 3. (2008). Pp 51-57. Research India Publications. [En línea] <<http://www.ripublication.com/awmc/1006.pdf>> [Citado 10 de Abril de 2009]

[25] Wireless Sensor Networks (WSN's) (Slides) [En línea] <<http://cgi.di.uoa.gr/~istavrak/courses/WSN-2005-slides.pdf>> [citado 10 de Abril de 2009]

[26] WIRELESS SENSOR NETWORK: WATER DISTRIBUTION MONITORING SYSTEM. [En línea] <<http://www.cl.cam.ac.uk/research/dtg/publications/public/ml406/Wireless%20Sensor%20Network%20Water%20Distribution%20Monitoring%20System.pdf>> [Citado 10 de Abril de 2009]

[27] An Adaptable WSN-based Flood Monitoring System. [En línea] <<http://www.comp.lancs.ac.uk/~geoff/Publications/EUROSSC07.pdf>> [Citado 10 de Abril de 2009]

[28] MACEDO, Mario; NUÑEZ, Mario y GRILO, Antonio. Minimizing Interference in TDMA MAC Protocols for WSN Operating in Shadow-fading Channels. [En línea] <<http://www.inesc-id.pt/ficheiros/publicacoes/4656.pdf>> [Citado 10 de Abril de 2009]