

Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas

Facultad de Ingeniería Eléctrica

Departamento de Automática y Sistemas Computacionales



TRABAJO DE DIPLOMA

Análisis de las Redes de sensores inalámbricos.

Consideraciones para su aplicación.

Autor: Yonder López González

Tutor: Dr. Iván Santana Ching

Santa Clara

2014

"Año 56 de la Revolución"

Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas

Facultad de Ingeniería Eléctrica

Departamento de Automática y Sistemas Computacionales



TRABAJO DE DIPLOMA

Análisis de las Redes de sensores inalámbricos.

Consideraciones para su aplicación.

Autor: Yonder López González

ylgonzalez@uclv.edu.cu

Tutor: Dr. Iván Santana Ching

Profesor Titular, Departamento de Automática, Facultad de
Ingeniería Eléctrica, ching@uclv.edu.cu

Santa Clara

2014

"Año 56 de la Revolución"



Hago constar que el presente trabajo de diploma fue realizado en la Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas como parte de la culminación de estudios de la especialidad de Ingeniería en Automática, autorizando a que el mismo sea utilizado por la Institución, para los fines que estime conveniente, tanto de forma parcial como total y que además no podrá ser presentado en eventos, ni publicados sin autorización de la Universidad.

Firma del Autor

Los abajo firmantes certificamos que el presente trabajo ha sido realizado según acuerdo de la dirección de nuestro centro y el mismo cumple con los requisitos que debe tener un trabajo de esta envergadura referido a la temática señalada.

Firma del Autor

Firma del Jefe de Departamento
donde se defiende el trabajo

Firma del Responsable de
Información Científico-Técnica

PENSAMIENTO

"El futuro tiene muchos nombres. Para los débiles es lo inalcanzable. Para los temerosos, lo desconocido. Para los valientes es la oportunidad."

Victor Hugo

DEDICATORIA

A mis padres y mis abuelos que tanto han anhelado este momento y que sé cuan orgullosos están, les dedico este trabajo, pues a ustedes, más que a nadie, les debo estar hoy aquí.

AGRADECIMIENTOS

Después de varios meses de investigación, considero que esta es una de las páginas más importantes de este trabajo, pues para mí, es la mejor manera de gratificar a las personas que me han posibilitado llegar hasta aquí.

Quiero comenzar agradeciendo todos los profesores, por haber brindado sus conocimientos pacientemente durante estos cinco años, en especial a mi tutor Ching, por guiarme en esta etapa final.

Quiero dar gracias a toda mi familia por el apoyo moral y material que me han brindado toda la vida. A mi hermana, por confiar tanto en mí, espero seguir siendo tu guía.

De manera especial agradeceré a todos mis amigos, mis hermanos, a esos que han compartido todo lo que han tenido desinteresadamente y han estado en las buenas y malas. A ellos les debo los mejores momentos de estos años y quiero darles las gracias donde quiera que estén.

No puedo dejar de mencionar a Leya, mi compañera de todo, has sido un motivo de inspiración por tu constancia y dedicación. Gracias por compartir casi todo tu tiempo conmigo.

RESUMEN

Las investigaciones acerca de las redes de sensores inalámbricos (WSN) han alcanzado un fuerte auge en los últimos años. Como resultado se han desarrollado aplicaciones de sistemas de monitoreo, diagnóstico y control con una considerable flexibilidad y confiabilidad. Al mismo tiempo, se disminuyen los costos de la implementación, y se posibilita el desarrollo de otras aplicaciones.

Con este trabajo se inicia un nuevo campo de investigación en el departamento de Automática, pues constituye la primera investigación acerca del tema. Entre las cuestiones abordadas, se analizan un gran número de posibles aplicaciones de estas redes y se establecen una serie de clasificaciones según estas aplicaciones. También se abordan elementos relacionado con la arquitectura, los principales requisitos del software (Sistemas Operativos, Protocolos, etc.) y hardware (microprocesadores, memorias, sensores, etc.) asociados. Además se realiza un análisis acerca de varios factores que permiten responder a la pregunta: ¿cómo y dónde deben ser colocado estos dispositivos?

Finalmente se propone el hardware y software necesario para instalar un sistema de vigilancia usando precisamente WSN. Además, se deja el camino trazado para realizar las simulaciones de estos sistemas luego de analizar y comparar las potencialidades de los softwares existentes para este fin.

TABLA DE CONTENIDOS

PENSAMIENTO.....	i
DEDICATORIA	ii
AGRADECIMIENTOS.....	iii
RESUMEN	iv
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO 1. REDES DE SENSORES INALÁMBRICOS.....	6
1.1 Clasificación de las redes de sensores inalámbricos	7
1.1.1 Recolección de datos del medio ambiente.....	8
1.1.2 Monitoreo para el cuidado de la salud	9
1.1.3 Monitoreo de seguridad.....	9
1.1.4 Seguimiento de objetivos específicos	10
1.1.5 Redes Híbridas.....	10
1.2 Aplicaciones de las redes de sensores inalámbricos	11
1.2.1 Temas de Investigación en Aplicaciones Militares.....	11
1.2.2 Aplicaciones Industriales.....	12
Control de proceso de refinación de petróleo	13
1.2.3 Monitoreo Estructural, de Edificios y Puentes	13
1.2.4 Monitoreo Ambiental	14

Observación Ambiental y Sistema de Pronóstico	14
Monitoreo de Invernaderos	15
Detección de incendios forestales	15
Detección de deslizamientos de tierra	15
Glaciares	15
Volcanes.....	16
Calidad del agua potable.....	16
1.2.5 Aplicaciones en la Agricultura	16
Agricultura de precisión.....	17
1.2.6 Monitoreo de hábitats.....	18
1.2.7 Aplicaciones en hogares y oficinas.....	19
Hogares Inteligentes	19
Edificios Inteligentes	20
1.2.8 Aplicaciones para automóviles	20
Aparcamiento Inteligente.....	21
Transporte	21
1.2.9 Aplicaciones Logísticas.....	21
1.2.10 Aplicaciones para el cuidado de la salud.....	22
Cuestiones de investigación en salud y bienestar.....	23
1.3 Consideraciones del capítulo	24
CAPÍTULO 2. COMPONENTES Y ARQUITECTURA	26
2.1 Arquitectura de los nodos individuales	26
2.1.1 Controlador (CPU).....	26
2.1.2 Memoria	27

2.1.3	Dispositivo de Comunicación.....	28
2.1.4	Fuente de Alimentación.....	30
2.1.5	Sensor	32
2.1.6	Sistema de Geo-posicionamiento.....	32
2.2	Arquitectura de la red	33
	Nodos fuentes y sumideros	33
	Redes Single-hop contra redes multi-hop	33
	Estrella single-hop	33
	Malla multi-hop y la cuadrícula	34
	Agrupamiento jerárquico de dos niveles	34
2.3	Despliegue de la red	35
2.4	Localización.....	36
2.5	Estándares para la radiocomunicación	37
	IEEE802.11x	37
	Bluetooth (IEEE802.15.1 y .2).....	38
	IEEE 802.15.4	38
	ZigBee.....	39
	IEEE1451.5.....	39
2.6	Sistemas Operativos	39
	Bertha (pushpin computing platform)	40
	Nut/OS	41
	Contiki	41
	eCos: (embedded Configurable operating system).....	42
	MANTIS (Multimodal NeTworks In-situ Sensors)	42

TinyOS	42
FreeRTOS (Free Real Time Operative System)	43
Mate	43
EYESOS	43
MagnetOS	44
2.7 Evaluación de las propiedades de las WSN como sistema	45
Tiempo de vida	45
Cobertura.....	46
Costo y fácil desarrollo	46
Tiempo de respuesta	47
Precisión temporal	47
Seguridad	47
Tasa de muestreo efectiva	48
2.8 Consideraciones del capítulo	48
CAPÍTULO 3. PROPUESTA DE APLICACIÓN Y SIMULADORES	50
3.1 Sistema de vigilancia mediante detección de movimientos	50
3.2 Sistema de vigilancia en la UCLV	51
Integración de la WSN y la red TCP/IP.....	53
3.3 Hardware	55
Sensor de movimiento	57
Utilizando sensores PIR (Passive InfraRed) comerciales.....	58
RFID	59
RFID activos	59
RFID pasivos.....	60

3.4	Software.....	60
3.5	Simuladores	61
	Prowler.....	62
	NS-2.....	63
	J-Sim	64
	TOSSIM.....	65
	OMNeT++.....	66
3.6	Análisis económico	67
3.7	Consideraciones del capítulo	68
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		69
	Conclusiones	69
	Recomendaciones	69
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS		71
ANEXOS		74
	Anexo I Empresas que comercializan soluciones WSN.....	74
	Anexo II Ventana del prowler donde se pueden modificar los parámetros de las operaciones de radio.	78

INTRODUCCIÓN

El campo de las Redes de Sensores Inalámbricos o WSN (Wireless Sensor Networks) combina medición, computación y comunicación en un único y pequeño dispositivo. Gracias a los avanzados protocolos de comunicación de estas redes, los distintos nodos pueden cubrir una región muy amplia del mundo físico. La información es transmitida de un nodo a otro sin importar la cantidad de estos, en busca de alcanzar los objetivos deseados. Aunque las capacidades de un dispositivo, independiente de los demás, son muy limitadas, una integración de los mismos proporciona un sistema con grandes posibilidades tecnológicas.

La potencialidad de las WSN radica precisamente en la posibilidad de desplegar un gran número de dispositivos que se ensamblen y se configuren por ellos mismos, además de la minimización de los costos al eliminar todo el cableado necesario anteriormente para montar una red de sensores. Otro elemento que influye en la reducción de costos es que se adaptan dinámicamente a cambios ambientales. Los mecanismos de adaptación pueden responder a cambios en la topología de la red o pueden inducir a la red a cambiar drásticamente a diferentes modos de operación (**Hill**, 2003).

Actualmente los sistemas inalámbricos solo explotan un pequeño por ciento de todos los beneficios que puede ofrecer la integración de comunicación de bajo consumo, medición, almacenamiento de energía y capacidad de cómputo (**Chinh** and **Tan**, 2010). Generalmente cuando se habla de dispositivos inalámbricos las personas se ubican en teléfonos inteligentes, laptops, tabletas y otros artefactos cuyo costo es de cientos de dólares, pero además apuntan a aplicaciones especializadas y dependen de un desarrollo previo de toda una extensa infraestructura. En contraste con esto, las WSN usan pequeños dispositivos

empotrados de bajo costo, con un amplio rango de aplicaciones y que no dependen de esta infraestructura que mencionábamos antes.

A diferencia de los dispositivos inalámbricos tradicionales, los nodos inalámbricos no necesitan comunicarse con ninguna torre cercana de alta potencia, ni radio bases, sino que lo hacen con sus semejantes cercanos (**Hill**, 2003). En lugar de depender de una infraestructura desarrollada previamente, cada nodo por separado pasa a ser parte de una infraestructura general. Los protocolos de red para dispositivos de un mismo nivel permiten crear una malla por la que los datos viajan a través de cientos de dispositivos. Esta red presenta una arquitectura flexible, lo cual le permite una adaptación dinámica ante la inclusión de nuevos nodos y así puede expandirse a través de grandes áreas geográficas, lo cual representa una de sus principales fortalezas, también el sistema se adapta para compensar la falta de alguno de estos nodos.

Contrario de los sistemas de telefonía celular, que inhabilitan el servicio cuando existen demasiados dispositivos conectados en la misma región, la interconexión de las WSN solo se hace más fuerte mientras más dispositivos se añadan, mientras haya densidad suficiente, una sola red de nodos puede cubrir áreas ilimitadas (**Iyer et al.**, 2008).

Las redes de sensores inalámbricos constituyen un puente entre el mundo virtual de la tecnología de la información y el mundo físico real. Representan un cambio trascendental de la comunicación tradicional entre los humanos a una comunicación entre dispositivos autónomos. Estas redes prometen nuevas posibilidades sin precedentes para observar y comprender los fenómenos del mundo real a gran escala con una muy buena resolución espacio-temporal. Como resultado, las redes de sensores inalámbricos tienen también el potencial de engendrar nuevos avances en las investigaciones científicas.

Las primeras nociones de redes de sensores distribuidos datan de la década del 70 con fines militares fundamentalmente, aunque también algunos trabajos las ubicaban en entornos industriales. Los primeros sistemas eran cableados y de pequeña escala. No fue hasta la década de los 90, cuando las tecnologías inalámbricas y los diseños de bajo consumo se hicieron factible, que las investigaciones comenzaron con una visión de redes sensoriales inalámbricas a gran escala enclavadas en aplicaciones concretas (**Krishnamachari**, 2005).

Uno de los primeros trabajos de investigación en esta dirección fue un proyecto desarrollado en la UCLA¹ llamado LWIM (por sus siglas en inglés Low Power Wireless Integrated Microsensors). Este proyecto como su nombre lo indica se enfocó en el desarrollo de dispositivos con electrónica de bajo consumo que permitiera habilitar grandes redes sensoriales inalámbricas y compactas (**Krishnamachari**, 2005).

A este proyecto lo sucedió uno llamado WINS (de las siglas en inglés Wireless Integrated Networked Sensors) que fue una colaboración de la UCLA con el Centro de Ciencia Rockwell, cuyo objetivo principal fue desarrollar algunos de los primeros sensores inalámbricos. Otros proyectos pioneros comenzaron alrededor del año 2000 en varios lugares, entre ellos el MIT², la Universidad de Berkeley y USC³. Los investigadores de Berkeley desarrollaron dispositivos sensores inalámbricos integrados que los llamaron “motes”, los cuales estuvieron disponibles comercialmente, junto con “TinyOS”, un sistema operativo asociado que facilitaba el uso de estos dispositivos (**Krishnamachari**, 2005). La disponibilidad de estos, así como una plataforma fácilmente configurable, funcional y relativamente barata para la experimentación y despliegue real, jugó un rol significativo en el progreso de las redes de sensores inalámbricos.

En el departamento de Automática y Sistemas Computacionales de la Universidad Central Marta Abreu de Las Villas se desarrollan varias líneas de investigación en materias como la robótica, el control, la automatización y la instrumentación. Sin embargo, no se han realizado estudios enfocados a las Redes de Sensores Inalámbricos.

Estas redes constituyen una tecnología novedosa, la cual se desarrolla a nivel mundial y mediante esta investigación se pretende incursionar en el tema en el Departamento de Automática y Sistemas Computacionales de nuestra universidad. Por todo lo anterior con este proyecto se aspira responder las siguientes preguntas científicas:

- ¿Cuáles son las características principales, requisitos y componentes de las Redes de Sensores Inalámbricos?

¹Universidad de Los Ángeles

² Instituto Tecnológico de Massachusetts

³ Universidad del Sur de California

- ¿Cuáles son las ventajas y desventajas de la utilización de las Redes de Sensores Inalámbricos?
- ¿Qué arquitectura de las Redes de Sensores Inalámbricos es más factible a utilizar para cada aplicación?
- ¿Es factible o no usar las Redes de Sensores Inalámbricos para aplicaciones específicas en el departamento?

Para la elaboración de este trabajo se establecido como objetivo específico evaluar las características, componentes, arquitecturas y aplicaciones de las redes de sensores inalámbricos para posibles usos de las mismas en el departamento.

De manera más específica, se han planteado una serie de objetivos específicos, que pretenden responder a las principales interrogantes de esta investigación.

- Clasificar la bibliografía recopilada acerca del tema.
- Estudiar las posibles aplicaciones de la WSN encontradas en esta bibliografía.
- Investigar acerca de los componentes específicos de los nodos.
- Comparar las posibles arquitecturas de estas redes.
- Investigar acerca de los softwares relacionados con las WSN.
- Analizar los principales parámetros que caracterizan a las WSN.
- Precisar los elementos necesarios para implementar una aplicación específica.

Como posibles resultados con este trabajo será posible tener una documentación detallada acerca de las redes de sensores inalámbricos, indagando acerca de elementos específicos que sean de interés. Además será posible realizar un análisis de factibilidad del uso de estas redes para las aplicaciones a las que están destinadas, teniendo en cuenta factores económicos.

Con el desarrollo de esta investigación se recopilará una vasta documentación acerca del tema desarrollado. Se podrá conocer cuáles son los principales elementos que caracterizan y determina el funcionamiento de las Redes de Sensores Inalámbricos y se tendrá una visión más amplia acerca de los posibles escenarios de utilización de esta nueva tecnología. Además se tendrán elementos suficientes para determinar la factibilidad del uso de estas redes en nuestro país. Por otra parte este trabajo podrá ser un material de estudio para

futuras investigaciones lo cual se espera que inicie un proceso de desarrollo acerca de este tema en el Departamento de Automática.

El informe de la investigación se estructurará en introducción, tres capítulos, conclusiones, recomendaciones, referencias bibliográficas y anexos.

En el desarrollo los capítulos se distribuirán de la siguiente manera:

CAPITULO I: Se dedicará a la clasificación de las redes de sensores inalámbricas (WSN) según sus aplicaciones y modo de funcionamiento. Además se realizará un estudio de las aplicaciones que tienen las WSN en la actualidad.

CAPITULO II: Se utilizará para analizar las diferentes estructuras de WSN, así como los diseños y componentes que la integran. También se profundizará en los sistemas operativos desarrollados y en otros elementos que caracterizan estas redes.

CAPITULO III: Se realizará un estudio de las posibles aplicaciones en el contexto de nuestro país, especificando en una aplicación determinada que permita esclarecer los elementos que se necesita tener en cuenta a la hora de montar una red de sensores inalámbricos.

CAPÍTULO 1. REDES DE SENSORES INALÁMBRICOS.

En muchos sistemas como aviones y automóviles, cientos de sensores son colocados en lugares específicos para monitorear una gran cantidad de variables en tiempo real tanto dentro como fuera de las entidades en cuestión. Estos permiten advertir a los usuarios de cualquier condición anormal en el sistema y evita daños mayores. Estos sensores cableados son relativamente grandes y caros para cubrir todas las áreas que se desean. Cada uno de ellos necesita una fuente de alimentación y comunican los datos hasta un punto en el extremo de la red cableada. La organización de esta red debe ser pre-planificada. Se debe tener en cuenta por donde se pasarán los cables para que no interfieran con otros sistemas, por ejemplo, mecánicos; y luego colocar los sensores apropiadamente. La salida de funcionamiento de uno solo de los sensores podría colapsar todo el funcionamiento de la red o en el mejor de los casos dejar desatendida el área donde estaba conectado.

Durante la última década, ha habido un rápido desarrollo y un gran avance en las tecnologías de comunicación y de sensores que ha resultado en el crecimiento de una nueva, atractiva y desafiante área de la investigación: las redes de sensores inalámbricos (WSN).

Estas redes son capaces de funcionar, hasta cierto punto, de manera desatendida, con tolerancia a fallas y capaz de configurarse de manera autónoma. Constituyen, sin dudas, un tema de gran interés para muchos sectores actualmente.

Una WSN típicamente consiste en un número grande de nodos sensores inalámbricos que forman una red personalizada. Se despliega en grandes áreas para brindar varias aplicaciones de medición, no solo para registrar datos, sino también respondiendo a través de dispositivos actuadores. Estos nodos consisten en un sensor, un microcontrolador, una memoria y una batería junto a un módulo de radio.

Inicialmente las redes de sensores inalámbricos fueron desarrolladas para propósitos militares de vigilancia y seguimiento (**Cordeiro and Agrawal, 2006**), como casi todas las investigaciones tecnológicas, pero la flexibilidad de estos sistemas condujo a los investigadores a indagar en varios campos donde pudiesen ser empleadas, como en ambientes industriales, dentro de las casas y oficinas, aplicadas a los medios de transporte, en temas relacionados con la salud y para cuestiones medioambientales.

Este capítulo se dedicará fundamentalmente a abordar estas aplicaciones, y otras que no se han mencionado, pero que también resultan de interés; describiéndolas y en algunos casos citando ejemplos concretos de algunos proyectos llevados a cabo por diferentes entidades.

1.1 Clasificación de las redes de sensores inalámbricos

Varias han sido las clasificaciones que se le han dado a las redes de sensores inalámbricos en la literatura consultada. Una de estas clasificaciones brindada por (**Cordeiro and Agrawal, 2006**) en su libro *Ad Hoc & Sensor Networks*, las define de acuerdo a su modo de operación como redes proactivas, reactivas e híbridas. Las proactivas son redes que intercambian las funciones de medición y transmisión. Monitorean el medio y envían datos al transcurrir períodos de tiempo definidos. En las redes reactivas los sensores están propensos a cambios bruscos en el parámetro que monitorean, por lo tanto son ideales para aplicaciones que requieren de tiempos de respuesta críticos. Las híbridas, como su nombre lo dice, constituyen una fusión de las características de las anteriores. Otra clasificación similar es dada por (**Verdone and Dardari, 2007**), donde las divide en dos categorías según sus aplicaciones: aplicaciones de detección de eventos y aplicaciones de estimación espacio-temporal de eventos aleatorios.

Otra clasificación, es dada por (**Hill, 2003**) en su tesis doctoral, donde las separa en cuatro tipos de aplicaciones fundamentales: de recolección de datos del medio ambiente, de monitoreo de seguridad, de seguimiento de objetivos específicos y las híbridas.

Este trabajo se basará en la propuesta desarrollada por Hill en su tesis doctoral. Se considera esta clasificación la más adecuada para el estudio y análisis de las WSN, por lo que la mayoría de las aplicaciones existentes entran en una de estas clasificaciones.

Además, se ha decidido agregar una nueva clasificación relacionada con el uso de las WSN para el cuidado de la salud y es la dada por (**Yang, 2006**). Se plantea que los diseños

implementados para WSN no son ideales para satisfacer las aplicaciones de monitoreo del cuerpo humano. Por lo tanto propone una variante de las WSN. Estas redes son conocidas como BSN (de sus siglas en inglés Body Sensor Network)

1.1.1 Recolección de datos del medio ambiente

Una aplicación de recolección de datos ambientales es en la que un científico investigador necesita recolectar la información leída por varios sensores desde un conjunto de lugares del entorno por un período de tiempo para determinar tendencias e interdependencias. Sería bueno para estos científicos poder recolectar datos de cientos de puntos dispersos por todo el terreno para poder analizarlos luego. También sería de interés recolectar estos datos por períodos de meses e incluso años para analizar tendencias a largo plazo y por temporadas. Para que los datos sean significativos las muestras deben recogerse a intervalos regulares y los nodos deben permanecer en lugares conocidos.

Las aplicaciones de recolección de datos ambientales utilizan típicamente la topología de enrutamiento tipo árbol. En estas, una serie de nodos transmiten sus datos directamente o través de otros nodos a un nodo determinado. Este nodo es llamado sumidero, y presenta capacidades superiores a los demás. Cada nodo puede transmitir los datos de los nodos descendientes de él, por ello es conveniente tener un árbol pequeño pero amplio hacia los lados. En muchos escenarios el tiempo de esta transmisión es de algunos minutos (1-15 minutos típicamente) (Hill, 2003). Aunque es posible lograr tasas de comunicación mucho más altas, los parámetros ambientales medidos generalmente (temperatura, intensidad de la luz y humedad), no sufren cambios lo suficientemente rápido para demandar altos índices de comunicación.

Las aplicaciones de monitoreo ambiental no tienen requerimientos estrictos de latencia⁴. Las muestras de los datos pueden tener un retardo de tiempo moderado a través de la red sin causar afectaciones significativas al desempeño de la aplicación (Iyer et al., 2008), pues los datos son recogidos generalmente para analizarlos posteriormente, no para trabajar con ellos en tiempo real.

⁴ Retardo de tiempo desde que se envía un paquete de datos hasta que se recibe.

1.1.2 Monitoreo para el cuidado de la salud

El cuerpo humano constituye un complicado entorno que responde e interactúa con el ambiente externo, pero a la vez es un sistema separado e independiente. El monitoreo del cuerpo humano usando redes de sensores inalámbricos se puede lograr fijando estos sensores a la superficie corporal o también implantándolos dentro de tejidos.

El cuerpo humano no es solo de una escala reducida, sino que también requiere de diferentes tipos y frecuencias de monitoreo, según la aplicación que se le desee dar a los mismos. Los diseños implementados para WSN no son ideales para satisfacer las aplicaciones de monitoreo del cuerpo humano, lo cual ha inducido al desarrollo de plataformas inalámbricas para esta finalidad conocidas como BSN (por sus siglas en inglés *Body Sensor Network*) (Yang, 2006).

En el campo de la salud son muchas las investigaciones que se llevan a cabo por varias instituciones como por ejemplo, la Universidad de Harvard. Con estas aplicaciones es posible desde el cuidado remoto de pacientes, hasta la implantación de chips en el interior del organismo para el monitoreo de parámetros específicos.

1.1.3 Monitoreo de seguridad

Estas redes están compuestas por nodos sensores que se ubican en lugares específicos dentro del terreno y se encuentran monitoreando de forma continua para detectar anomalías. Estas redes se diferencian de las anteriores fundamentalmente en que no es necesario almacenar los datos, este elemento es significativo para una arquitectura óptima de la red. Cada nodo chequea frecuentemente el estado de sus sensores pero va a transmitir un reporte solo cuando exista una violación de la seguridad. Por lo tanto el requerimiento fundamental es una comunicación inmediata y confiable de los mensajes de alarmas. Estas son redes de “Reporte por excepción” (Hill, 2003).

Por otra parte, es necesario confirmar que cada uno de los nodos está presente y funcionando. Si uno de ellos se deshabilitara o fallara por algún motivo, hay que reportarlo como una violación de seguridad. La topología óptima para las redes de monitoreo será considerablemente diferente a las de recolección de datos. Para las redes de seguridad es conveniente que tengan una topología lineal (Iyer et al., 2008).

Los usuarios demandan que las alertas de las violaciones ocurran con apenas pocos segundos de retraso. Esto significa que los nodos de la red deben responder rápidamente a los requerimientos de sus vecinos de enviar datos.

En estas aplicaciones, la mayor parte de la energía, será empleada para confirmar la funcionabilidad de los nodos vecinos y para estar preparados para transmitir instantáneamente un aviso de alarma (Iyer et al., 2008). La transmisión de datos solo consumirá una pequeña fracción de la energía de la red.

1.1.4 Seguimiento de objetivos específicos

Otro uso que se le puede dar a las WSN es el seguimiento de objetivos específicos dentro de una región del espacio, monitoreado precisamente por una red de nodos sensores. Existen muchas situaciones donde es necesario conocer la ubicación exacta de objetos valiosos. Los sistemas de control de seguimiento actuales se atienen a esperar que los objetos monitoreados pasen por un punto de control, ya sea escaneando un código de barra o de otra manera, determinando así la ubicación del último lugar por donde pasó, pero no pueden determinar la ubicación entre un punto de inspección y otro, lo cual es impráctico, pues el sistema colapsa cuando el objeto no fluye por las vías establecidas.

Con las WSN, los objetos pueden ser rastreados simplemente etiquetándolos con un pequeño nodo sensor. Todos los movimientos que realice el objeto (con el nodo incluido), serán rastreados a través de un terreno lleno de otros nodos sensores desplegados y de ubicación conocida. A diferencia del monitoreo ambiental, estos nodos seguirán una señal de radiofrecuencia emitida por el nodo adherido al objeto o a los objetos que se quieren rastrear (Hill, 2003).

Contrario de las aplicaciones analizadas anteriormente, las aplicaciones de seguimiento tendrán una topología continuamente cambiante, según el movimiento de los nodos a través de la red. La cantidad de nodos a seguir será también cambiante, según los nodos que entren o salgan del sistema (Iyer et al., 2008).

1.1.5 Redes Híbridas

En general, un escenario real donde se usen estas redes, contiene elementos de todos estos tipos de aplicaciones mencionados anteriormente. Por ejemplo en una red destinada al

seguimiento de vehículos, la red debe cambiar entre ser una red de monitoreo para alarma o una de recolección de datos. Durante largos períodos de inactividad, en los que no pase ningún vehículo, se comportará como una red de monitoreo de seguridad, cada nodo solo monitoreará su sensor esperando por la detección de un vehículo. Una vez que uno de ellos de una señal de alarma, toda o parte de la red cambia a ser una red de recolección de datos, transmitiendo los datos a una base de datos donde se recoge el trayecto recorrido por el vehículo. Debido a este comportamiento multimodal de estas redes, es importante desarrollar una única arquitectura que maneje cualquiera de estos posibles escenarios (Hill, 2003).

1.2 Aplicaciones de las redes de sensores inalámbricos

Una vez planteadas las posibles clasificaciones de las Redes de Sensores Inalámbricos, se analizarán las aplicaciones detalladamente, indagando en sus características de despliegue, gestión de los recursos y otros elementos de interés. Se presentarán también aplicaciones específicas desarrolladas por varios investigadores o grupos de investigación.

1.2.1 Temas de Investigación en Aplicaciones Militares

Las redes de sensores pueden proporcionar diversos servicios a los militares y a la fuerza aérea como la recolección de información, la vigilancia del campo de batalla, detección de intrusiones y detección de ataques. Estas aplicaciones requieren una alta probabilidad de detección, baja tasa de falsas alarmas y de un retardo de detección definido (Gilbert et al., 2012)

Los posibles usos de WSN en el ámbito militar son:

1) Detección de intrusiones: las redes de sensores pueden ser utilizadas como un sistema de detección de intrusiones. En lugar de utilizar minas, las intrusiones pueden ser detectadas mediante el establecimiento de una red de sensores en esa zona (Sunita et al., 2012).

2) Seguimiento del enemigo y clasificación de los blancos: los objetos en movimiento con contenido metálico significativo pueden ser detectados por medio de sensores especialmente diseñados. De esa manera las tropas armadas y los vehículos enemigos pueden ser diferenciados de los civiles (Sunita et al., 2012).

3) Evaluación de los daños en el campo de batalla: Las redes de sensores pueden ser desplegadas después de la batalla o ataque para recopilar información de evaluación de daños (**Sunita et al., 2012**).

4) Detección de ataques nucleares, biológicos y químicos: Las redes de sensores pueden ser utilizados como sistemas de aviso de armas nucleares, biológicas y químicas. Si algún agente biológico, químico o nuclear puede ser detectado por los sensores, un sistema de alerta incrustado puede enviar un mensaje de advertencia (**Sunita et al., 2012**).

5) Sistema de Focalización: Los sensores se pueden incrustar en armas. La información exacta sobre el objetivo como la distancia o el ángulo puede ser recogida y enviada al tirador para una mejor evaluación del objetivo (**Sunita et al., 2012**).

1.2.2 Aplicaciones Industriales

Hoy en día, las aplicaciones industriales se basan en arquitecturas distribuidas y se requiere que sean de bajo costo, flexibles y confiables. El rendimiento del sistema se puede mejorar mediante la interconexión de sensores y actuadores directamente a la red de comunicación industrial.

Algunas de las aplicaciones de WSN en ámbitos industriales desarrolladas en la actualidad son:

- un sistema remoto en línea para la Lectura Automática de Contadores (AMR).
- un sistema de monitoreo de la energía a distancia y en tiempo real y que a su vez permite el diagnóstico de fallas en el sistema de motores industriales.

El acceso directo o la lectura física de metros, con el fin de transmitir datos acerca del uso de utilidades como la electricidad, el gas o el agua, no siempre es posible. Por lo tanto, las soluciones aportadas por las WSN han cambiado notablemente la forma en que las empresas, organizaciones e individuos monitorean el agua, el gas y otros recursos (**Gilbert et al., 2012**).

Las redes de sensores inalámbricos se han desarrollado para el mantenimiento basado en la condición de la maquinaria (CBM). El estado de la Máquina es monitoreado a través de la determinación de la vibración o desgaste y los niveles de lubricación. Con los sensores inalámbricos se puede llegar hasta lugares previamente inaccesibles, maquinaria rotatoria y

zonas peligrosas o restringidas. Ejemplos de dichas máquinas podrían ser los ejes de los trenes (**Sunita** et al., 2012, **Bokare** and **Ralegaonkar**, March 2012, **Karl** and **Willig**, 2005).

Control de proceso de refinación de petróleo

Chevron (compañía petrolera americana centralizada en San Francisco, EEUU) utiliza redes inalámbricas para monitorear las instalaciones de extracción de petróleo y refinación. Estas redes a menudo se implementan en entornos difíciles (debido a temperaturas peligrosas, productos químicos o riesgo de explosión) en las que es imposible instalar conductos para sensores cableados (**Doherty et al.**, August 2012).

1.2.3 Monitoreo Estructural, de Edificios y Puentes

El proceso de detección de daños para sistemas de ingeniería civil, aeroespacial y otros se conoce como monitoreo de la salud estructural. Cualquier cambio en las propiedades de los materiales o geometrías de estos sistemas, debido a factores internos (envejecimiento) o factores externos (desastres naturales, contaminación) se denomina daño. Durante los eventos críticos, como los terremotos y otros desastres naturales, la detección rápida y en tiempo real de las condiciones estructurales es posible gracias a estos sistemas (**Gilbert et al.**, 2012).

Se han propuesto sensores basados en fibra óptica para el monitoreo de grietas en la superficie de puentes de hormigón así como para detectar tensiones y corrosión en estas estructuras de hormigón (**Cordeiro** and **Agrawal**, 2006).

La idea es comprobar un edificio en busca de un funcionamiento estructural degradado: daños por fatiga, fugas de gases, intrusión, incendios, etc. para proceder a su control estructural, mantenimiento, asesoramiento, evacuación, alarmas y la alerta. Así como tomar las medidas de seguridad necesarias (**Cordeiro** and **Agrawal**, 2006).

Una red de sensores inalámbricos para presas ha sido desarrollada. La arquitectura agrupada se adopta para reducir el consumo de energía. El sistema se compone de una serie de nodos inteligentes (los nodos cabecera y los demás nodos se denominan colectivamente nodos inteligentes), un nodo receptor, y un centro de administración de equipos (**Miao et al.**, 2012).

Los nodos inteligentes supervisan parámetros tales como la temperatura, el nivel del agua, la lluvia, las filtraciones y el desplazamiento de las secciones de la presa. El nodo receptor es responsable de la creación y el control de la red, indicando la situación actual, y alertando a los servicios externos y de emergencia. La alerta a los servicios de emergencia se puede implementar a través de Internet o GPRS. La comunicación dentro de la red se implementa con el estándar IEEE 802.15.4, y los datos se transmiten a través del protocolo ZigBee (Miao et al., 2012).

1.2.4 Monitoreo Ambiental

El término Redes de Sensores Ambientales ha evolucionado para cubrir muchas aplicaciones de redes inalámbricas de sensores para la investigación de la geología. Esto incluye monitoreo de volcanes, océanos, glaciares, bosques, etc. (Bokare and Ralegaonkar, March 2012).

El uso de sensores para el monitoreo de vertederos y la calidad del aire, ha surgido recientemente. Los residuos sólidos de los hogares y los residuos industriales no peligrosos, como residuos de construcción y lodos de los alcantarillados se vierten en más de 6.000 vertederos en EE.UU. y los componentes orgánicos asociados experimentan una reacción química y biológica, que hace que se produzcan gases nocivos contaminantes del aire e irritantes para nuestro sistema respiratorio (Cordeiro and Agrawal, 2006).

La idea es interconectar sensores de gases con los dispositivos inalámbricos y transmitir los datos para su posterior análisis y así tomar las medidas pertinentes. El despliegue de un gran número de sensores permite la monitorización en tiempo real de los gases emitidos por el material de desecho o de los vertimientos industriales y permite un control remoto rentable (Cordeiro and Agrawal, 2006).

Observación Ambiental y Sistema de Pronóstico

Es un sistema distribuido que se extiende por grandes áreas geográficas que monitorea, modela y predice procesos físicos, tales como la contaminación ambiental, inundaciones, entre otros (Cordeiro and Agrawal, 2006).

The Automated Local Evaluation in Real-Time (ALERT) es probablemente la primera red inalámbrica de sensores conocidos desplegada en la mayor parte del oeste de Estados

Unidos. Se utiliza mucho para las alarmas de inundaciones en California y Arizona. Fue desarrollado por el Servicio Meteorológico Nacional proporcionando información importante en tiempo real acerca de las precipitaciones y del nivel del agua para evaluar la posibilidad de peligro de inundaciones (**Cordeiro and Agrawal**, 2006).

Monitoreo de Invernaderos

Para asegurar que el sistema de automatización en un invernadero funciona correctamente, es necesario medir los parámetros climáticos locales en varios puntos del mismo. Para esto, si se hace uso de una red de cables, hará que el sistema sea torpe y costoso. Sin embargo, una aplicación basada en WSN para el mismo fin, usando varios nodos sensores de tamaño pequeño equipados con radio sería una solución rentable (**Gilbert et al.**, 2012).

Detección de incendios forestales

Millones de nodos sensores se pueden desplegar, que utilicen detección distribuida y que a su vez colaboren entre sí para proporcionar información. Así, el fuego puede ser detectado rápidamente y se puede proporcionar la ubicación exacta del origen antes de que este sea incontrolable (**Sunita et al.**, 2012).

Los nodos pueden ser equipados con sensores para medir la temperatura, la humedad y los gases que son producidos por los incendios en los árboles o la vegetación (**Bokare and Ralegaonkar**, March 2012).

Detección de deslizamientos de tierra

Un sistema de detección de deslizamiento de tierra hace uso de una red inalámbrica de sensores para detectar los movimientos ligeros del suelo y cambios en varios parámetros que pueden ocurrir antes o durante un derrumbamiento. A través de los datos recogidos, puede ser posible conocer la ocurrencia de deslizamientos mucho antes de lo que realmente sucede (**Bokare and Ralegaonkar**, March 2012).

Glaciares

Glacsweb 4 es un proyecto con el objetivo de supervisar el comportamiento de los glaciares a través de diferentes sensores, uniéndolos en una red inteligente. Los sensores se colocan sobre y bajo los glaciares y los datos son recogidos en una estación en la superficie. Las mediciones incluyen la temperatura, la presión y el movimiento subglacial, el objetivo es

comprender lo que pasa por debajo de los glaciares y la forma en que se ven afectados por el clima (**Verdone and Dardari**, 2007).

Volcanes

MVE-WSN es una red de sensores inalámbricos para monitorear erupciones volcánicas con sensores acústicos de baja frecuencia desarrollados por las universidades de Harvard y la Universidad del Norte de California. La WSN se desplegó en julio de 2004 en el volcán Tungurahua, un volcán activo en el centro de Ecuador. La red recogió las señales infrasónicas (acústica de baja frecuencia) a 102 Hz, transmitiendo datos a través de una red inalámbrica de 9 kilómetros a una estación base remota (**Verdone and Dardari**, 2007).

Calidad del agua potable

Recientemente se ha propuesto un sistema de monitoreo basado en sensores para el seguimiento y modelación de la calidad del agua. Con énfasis en la colocación y utilización de las tecnologías de detección in situ. Esto ayuda en el control de adición de cloro al agua tratada antes de liberarla al sistema de distribución (**Cordeiro and Agrawal**, 2006).

1.2.5 Aplicaciones en la Agricultura

El uso de redes de sensores inalámbricos dentro de la industria agrícola es cada vez más común, esto libera al agricultor del mantenimiento del cableado en entornos difíciles. Los sistemas de alimentación de agua por gravedad pueden ser monitoreados mediante transmisores de presión para controlar los niveles de agua en los tanques, las bombas se pueden controlar utilizando dispositivos inalámbricos y el uso del agua se puede medir de forma inalámbrica también y transmitirlos a un centro de control para la facturación (**Bokare and Ralegaonkar**, March 2012).

Las WSN se pueden utilizar para estudiar el medio ambiente local, que es útil en la agricultura. Los sensores se utilizan para controlar las siguientes condiciones (**Sunita et al.**, 2012):

- Temperatura
- Humedad Relativa
- Humedad del suelo
- Velocidad y dirección del viento

- Precipitaciones
- Intensidad del Sol
- Nivel de CO₂

Agricultura de precisión

El concepto de agricultura de precisión ha sido establecido desde hace algún tiempo. Se define como un sistema integral, destinado a optimizar la producción agrícola mediante el cuidado del suelo y manejo del cultivo para que corresponda con la condición única que se encuentra en cada campo, manteniendo la calidad del medio ambiente (**Keshtgari and Deljoo, 2012**).

La aplicación de las WSN a la agricultura permite una gran precisión en el riego y la fertilización mediante la colocación de sensores de composición de humedad del suelo en los campos. Se afirma que un número relativamente pequeño es suficiente, alrededor de un sensor en un área de 100 m cuadrados. También, la cría de ganado, al conectar un sensor a cada cerdo o vaca, que controla el estado de salud del animal (mediante la comprobación de la temperatura corporal, por ejemplo) y envíe alarmas si se exceden los umbrales indicados (**Karl and Willig, 2005**).

En Europa, el proyecto Lofar Agro es un estudio de la agricultura de precisión que se centra en la gestión a la medida de un cultivo. Esto implica el seguimiento de las condiciones del suelo, el cultivo y del clima en un campo. Permite generalizar el resultado y proporcionar un sistema de apoyo para tomar decisiones tales como la variación en tiempo real de los fertilizantes o la aplicación de plaguicidas (**Keshtgari and Deljoo, 2012**).

Otro ejemplo de esto es un proyecto que se desarrolló en colaboración con Falke Agrícola Automation, situado en Porto Alegre. El sistema se ejecuta en la plataforma TELOSB que utiliza el procesador MSP430F5418 (**Shubeita et al., april 2012**). La Figura 1.1 muestra los dispositivos de hardware utilizados para construir la WSN. En la primera imagen tenemos la imagen de una antena y el sensor ya situado sobre el suelo; la segunda figura presenta sólo una parte del dispositivo que está conectado a la parte superior del eje; el tercero incluye una imagen del concentrador de datos.



Figura 1.1. Hardware utilizado

1.2.6 Monitoreo de hábitats

Otras actividades estudiadas con la ayuda de las redes de sensores son los patrones de migración de las aves y otros animales, los hábitos alimentarios, el comportamiento de la caza, la cría y la población. Por ejemplo la red de monitoreo de Great Duck Island. Investigadores de la Universidad de California en Berkeley (UCB) y el Laboratorio de Investigación de Intel desplegaron en agosto de 2002 una red de nodos sensores en Great Duck Island, Maine, cuyo objetivo fue monitorear el comportamiento del “storm petrel”, una pequeña ave marina similar a la gaviota (**Cordeiro and Agrawal, 2006**).

Un total de 32 nodos fueron colocados en el área monitoreada y agrupados en conjuntos para transmitir los datos detectados a una estación base remota a través de una red de tránsito local. La estación base ejecutaba el registro de datos replicándolos cada 15 minutos a una base de datos en Berkeley a través de un enlace satelital (**Cordeiro and Agrawal, 2006**).

Este método tiene varias ventajas sobre los métodos tradicionales de investigación de la fauna. Un investigador humano constituye un elemento invasivo del medio, a diferencia de las WSN. Estas son una buena opción en comparación con los antiguos métodos. Otras ventajas de WSN sobre los métodos tradicionales son:

- Amplia cobertura
- Períodos de monitoreo a largo
- Seguimiento no individualizado
- Los datos disponibles directamente
- Cobertura Terrestre y Acuática

- Monitoreo continuo.

El ZebraNet es un Proyecto de Princeton, una red dinámica de sensores fue creada colocando collares especiales equipados con un sistema GPS de bajo consumo a los cuellos de las cebras para monitorear sus movimientos y su comportamiento. Dado que la red estaba diseñada para funcionar en un entorno independiente de infraestructuras. Se utiliza el intercambio de información entre los dispositivos para producir las bases de datos repetidas, por lo que los investigadores sólo tenían que encontrar algunas cebras con el fin de recoger los datos (**Puccinelli and Haenggi**, 2005).

PODS es un proyecto de investigación realizado en la Universidad de Hawái. Se construyó una red inalámbrica de sensores ambientales para investigar por qué las especies amenazadas de plantas crecen en un área pero no en las áreas vecinas. Desplegaron nodos sensores camuflados, (llamado Pods), en el Parque Nacional de Volcanes de Hawái. Se recogieron dos tipos de datos de los sensores. Los usuarios utilizaban Internet para acceder a los datos desde un servidor de la Universidad de Hawái en Manoa (**Cordeiro and Agrawal**, 2006).

1.2.7 Aplicaciones en hogares y oficinas

Las redes de sensores a nivel de la sociedad pueden mejorar en gran medida la eficiencia del sistema de suministro de energía (**Cordeiro and Agrawal**, 2006).

Hoy en día, somos testigos de más y más aparatos electrónicos en un hogar promedio. Por lo tanto, existen grandes oportunidades comerciales para la automatización del hogar y con ello la creación de un ambiente inteligente dentro de hogares y oficinas (**Cordeiro and Agrawal**, 2006).

Hogares Inteligentes

Una casa inteligente funciona de manera similar a un hogar normal. Donde se diferencia es en la infraestructura de comunicación instalada que permite a varios dispositivos y sistemas en el hogar comunicarse entre sí. Proporciona un control adaptativo del ambiente en el hogar variando condiciones como la calefacción, el alumbrado y la ventilación. Se crea un ambiente interactivo, sostenible y adaptable para satisfacer las necesidades de las personas

de todas las edades. En resumen, su objetivo principal es proporcionar una vida fácil y mejorar el entorno social (**Verdone and Dardari, 2007**).

La Figura 1.2 muestra cómo las redes de varios tipos podrían interactuar en el entorno de un hogar inteligente. Existen muchos protocolos disponibles para la creación de las redes de los hogares inteligentes, y no es necesario el desarrollo de nuevos protocolos para sistemas comercialmente aceptables (**Lewis, 2004**).

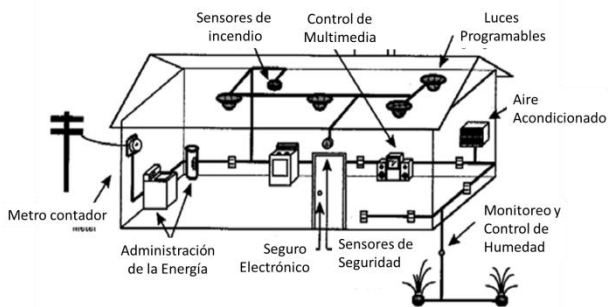


Figura 1.2. Ejemplo de controles en un Hogar Inteligente.

Otras aplicaciones de Automatización de los hogares son sensores que se pueden configurar con aparatos electrodomésticos como lavadoras, aspiradoras, hornos, etc. Esto hará el fácil manejo de estos dispositivos y así, se podría acceder a los aparatos a través de Internet y controlarlos de forma remota (**Sunita et al., 2012**).

Edificios Inteligentes

Los edificios desperdician grandes cantidades de energía por usos ineficientes en sistemas de control de Humedad, Ventilación y Aire acondicionado (HVAC). Un mejor monitoreo de alta resolución en tiempo real, de temperatura, flujo de aire, humedad y otros parámetros físicos de un edificio por medio de una WSN puede aumentar considerablemente el nivel de confort de los habitantes y reducir el consumo de energía (**Karl and Willig, 2005**).

1.2.8 Aplicaciones para automóviles

Los sensores pueden ser empleados en vehículos para proporcionar mecanismos avanzados de seguimiento, así como la persecución por la policía de los vehículos robados.

Las redes de sensores se han utilizado para el monitoreo y control del tráfico de vehículos desde hace un tiempo. La mayoría de las intersecciones de tráfico tienen sensores ya sean aéreos o enterrados para detectar vehículos y controlar los semáforos. Además, las cámaras

de vídeo se utilizan con frecuencia para controlar los segmentos de carretera con mucho tráfico (**Sunita et al.**, 2012).

Aparcamiento Inteligente

Las WSNs son utilizadas en las aplicaciones de estacionamiento inteligente para propósitos tales como el uso eficaz de los estacionamientos existentes, en lugar de hacer costosas inversiones en nuevas instalaciones.

La detección de los vehículos en un estacionamiento mediante sensores magnéticos junto con sensores de ultrasonido ha sido investigada y desarrollada. Se demostró que la detección vehicular exacta era posible con el uso combinado de estos dos sensores (**Gilbert et al.**, 2012).

Transporte

Las aplicaciones de esta clase tienen por objeto proporcionar a las personas condiciones más cómodas y más seguras de transporte. Los sensores ofrecen valiosos datos en tiempo real para una variedad de servicios gubernamentales o comerciales. El objetivo principal de este tipo de aplicaciones es la obtención de un sistema de transporte autónomo. Estas aplicaciones, es muy necesario que se ejecuten en tiempo real, por lo tanto, la sincronización de los componentes y el retardo de extremo a extremo de todo el sistema son temas de suma importancia para tales sistemas (**Verdone and Dardari**, 2007).

1.2.9 Aplicaciones Logísticas

En muchas aplicaciones de logística diferentes, es concebible equipar a los bienes (bultos individuales, por ejemplo) con sensores simples que permiten un sencillo seguimiento de estos objetos durante el transporte o facilitan el inventario en las tiendas o almacenes (**Karl and Willig**, 2005).

En estas aplicaciones, a menudo no hay necesidad de un nodo sensor para comunicarse de manera activa. La lectura pasiva es mucho más simple y más barata que el procesamiento de la comunicación y la información activa discutido en los otros ejemplos, esto se realiza por las llamadas etiquetas identificadoras de radiofrecuencia (RFID) (**Karl and Willig**, 2005).

Por otra parte, una simple etiqueta RFID no puede soportar aplicaciones más avanzadas. No se puede almacenar fácilmente la información sobre la historia del objeto que se rastrea (Karl and Willig, 2005). Una WSN resolvería estos problemas si fuese necesario con una red para el seguimiento de objetivos específicos.

1.2.10 Aplicaciones para el cuidado de la salud

En la Figura 1.3 se muestra un paciente con un determinado número de sensores adheridos a su cuerpo, cada sensor, además, está conectado a un pequeño procesador, un transmisor inalámbrico, y una batería y todo esto forma un nodo complejo de BSN (Body Sensor Network), capaz de usarse en la casa, oficina o ambientes hospitalarios. El nodo BSN, asegura la correcta captura de los datos desde el sensor, lleva a cabo bajos niveles de procesamiento de datos e inalámbricamente transmite esta información a una unidad local de procesamiento (Yang, 2006).

De esta manera se pueden recoger los datos de todos los demás sensores, procesarlos y fusionarlos antes de ser transmitidos inalámbricamente a un servidor central mediante LAN, Bluetooth o redes de teléfonos móviles (GPRS o 3G) (Yang, 2006).



Figura 1.3. Representación de una arquitectura de BSN, con sensores externos “onbody”

Las aplicaciones de esta categoría incluyen la tele-monitorización de los datos fisiológicos humanos, el seguimiento y la supervisión de los médicos y los pacientes dentro de un hospital, la administración de medicamentos en los hospitales, y otras. Un ejemplo de tal aplicación es una retina artificial desarrollada que usa sensores inteligentes y microsistemas integrados (SSIM). Algunas otras aplicaciones similares incluyen monitoreo de nivel de

glucosa, monitoreo de órganos, detectores de cáncer y monitoreo general de salud. La idea de la incorporación de sensores biomédicos inalámbricos dentro del cuerpo humano es prometedora, aunque existen muchos retos adicionales: el sistema debe ser ultra-seguro y confiable; y debe requerir un mantenimiento mínimo (**Cordeiro and Agrawal, 2006**).

Cuestiones de investigación en salud y bienestar

Las tecnologías basadas en WSN han revolucionado las aplicaciones de cuidados de enfermos en el hogar y de personas mayores. Los parámetros fisiológicos de los pacientes pueden ser controlados de forma remota por los médicos y cuidadores sin afectar las actividades de los pacientes. Esto ha resultado en la reducción de costos, la mejora de los equipos y un mejor manejo de los pacientes obteniendo enormes beneficios comerciales. Estas tecnologías han minimizado significativamente los errores humanos, permitiendo una mejor comprensión del origen de las enfermedades y ha ayudado en el diseño de los métodos para la rehabilitación, la recuperación y el impacto de la terapia con medicamentos (**Gilbert et al., 2012**).

Para la monitorización continua y en tiempo real de la salud, varios investigadores han desarrollado una camiseta inteligente que mide ECG (Electrocardiograma) y las señales de aceleración del corazón. La camisa fue hecha con tejidos conductores para obtener la señal del cuerpo como electrodos y consiste en sensores para la supervisión de los datos de salud en línea (**Fisal and Rashid, 2008, Keeratiwintakorn and Nopparat, 2007**). Otros proyectos similares se han desarrollado en (**Prakash and Venkatesh, 2013, Rotariu et al., 2012**).

Los datos de los signos vitales, como la el nivel de oxígeno en la sangre y el pulso, están poco integrados con registros pre-hospitalarios y de atención de pacientes en los hospitales. La Universidad de Harvard y otros, han desarrollado un pequeño oxímetro, portable e inalámbrico y un electrocardiograma (EKG) con las mismas características (Figura 1.4). Estos dispositivos recogen la frecuencia cardíaca, la saturación de oxígeno, y los datos del ECG, integrándolos en el registro pre-hospitalario de atención al paciente (**Sohraby et al., 2007**).

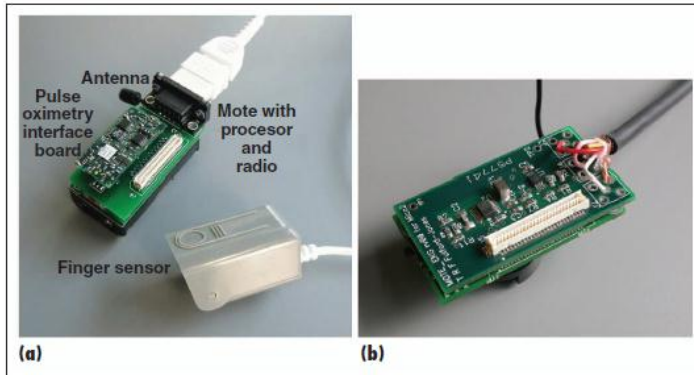


Figura 1.4. Oxímetro y Electrocardiograma desarrollados por la Universidad de Harvard.

Además la Universidad de Harvard desarrolló una infraestructura de software llamada CodeBlue, para dispositivos médicos inalámbricos. PDAs, PCs y otros dispositivos se pueden utilizar para monitorear y tratar a los pacientes (Figura 1.5). CodeBlue está diseñado también para escalar a través de una red de diferentes densidades que van desde despliegues dispersos en las clínicas y hospitales a despliegues muy densos en un sitio de gran cantidad de heridos (Sohraby et al., 2007).

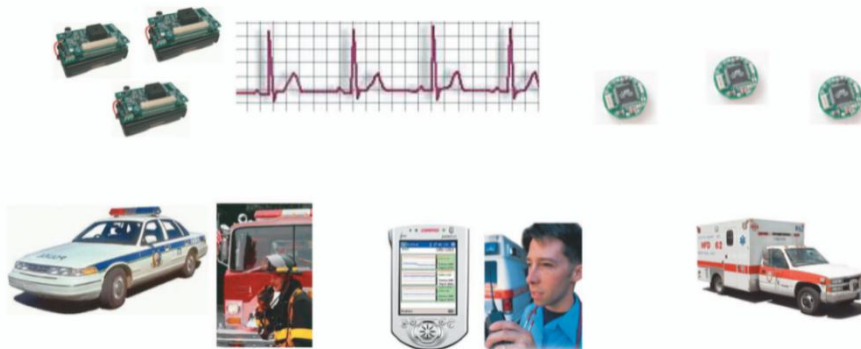


Figura 1.5. Motes, PDAs y ambulancias son los principales componentes de la infraestructura del CodeBlue.

1.3 Consideraciones del capítulo

Como se ha podido apreciar existen una gran cantidad de posibles escenarios de aplicaciones de las WSN, desde el interior de un volcán hasta el propio cuerpo humano. Se clasifican según sus aplicaciones. Para las redes de recolección de datos podemos decir que los aspectos más importantes a tener en cuenta son: el largo período de vida de la red, una sincronización precisa de emisión-recepción de datos, bajas tasa de transmisión y una topología relativamente estática. En las de monitoreo de seguridad no es necesario

almacenar los datos y el requerimiento fundamental es una comunicación inmediata y confiable de los mensajes de alarmas. La mayor parte del consumo de energía está asociada al estricto requerimiento de latencia. En las de seguimiento de objetivos los nodos seguirán una señal de radiofrecuencia emitida por el nodo adherido al objeto que se quieren rastrear. Tendrán una topología continuamente cambiante y es importante que la red esté preparada para detectar eficientemente la presencia de los nodos nuevos que entren en ella.

Otra de las clasificaciones que se incluyó fue las de las redes para el monitoreo del estado de la salud, que presenta grandes ventajas en los temas relacionados con la rehabilitación de pacientes, cuidado de personas hospitalizadas y sistemas de respuestas a accidentes de la manera más rápida posible. Sin duda este es un tema de gran interés para mejorar la calidad de vida de cualquier país del mundo.

CAPÍTULO 2. COMPONENTES Y ARQUITECTURA

Una vez establecidos los posibles escenarios de aplicación de las redes de sensores inalámbricos, se analizarán la arquitectura específica de cada nodo individual y de la red en general. También se analizarán los posibles protocolos de comunicación y se profundizará en la importancia que tiene la localización de los nodos individuales. Otro punto que se pretende abordar en este capítulo es lo relacionado con los sistemas operativos que se ejecutan en los nodos. Además se analizarán los elementos que permiten evaluar estas redes. La arquitectura de los nodos que conforman una WSN así como de la red misma está directamente influenciada por el tipo de aplicación para la cual se desarrolla.

2.1 Arquitectura de los nodos individuales

Estos nodos tienen que cumplir una serie de requisitos que dependen de los requisitos específicos de una determinada aplicación: en la gran mayoría de las aplicaciones deben ser pequeños, baratos y energéticamente eficientes, tienen que estar equipados con los sensores adecuados, los recursos de cómputo y memoria necesarios, y necesitan una adecuada facilidad de comunicación. Cada uno de estos componentes por un lado tiene que operar para lograr el menor consumo de energía posible, y por otro la necesidad de cumplir sus tareas.

2.1.1 Controlador (CPU)

El controlador es el núcleo de un nodo sensor inalámbrico. Recoge los datos de los sensores, procesa estos datos, decide cuándo y dónde enviarlos, recibe datos de otros nodos sensores, y decide sobre el comportamiento del actuador. Tiene que ejecutar varios programas, que van desde el procesamiento de señales de tiempo crítico y los protocolos de comunicación hasta los programas de las aplicaciones específicas.

Algunos ejemplos de Controladores

Dentro de los microcontroladores que encontramos en muchos de los prototipos de nodos diseñados, se destacan el MSP 430 de Texas Instruments y el Atmel. Existen otros tipos de microcontroladores como por ejemplo el AT90LS8535, el C8051F016 y el PXA225, pero los dos anteriores son los más comunes (**Karl and Willig**, 2005).

Texas Instruments MSP 430

Texas Instruments ofrece toda una familia de microcontroladores bajo la designación de MSP 430, diseñados específicamente para las aplicaciones abordadas. Consecuentemente, tienen un núcleo RISC⁵ (Reduced Instruction Set Computer) de 16 bits, que trabaja a frecuencias de hasta 4 MHz pero tiene una amplia variedad de posibles interconexiones. Presenta una cantidad variable de chips de RAM con tamaños de 2 a 19 Kb, varios conversores análogo-digital de 12 bits y un reloj de tiempo real. Este microcontrolador es suficientemente poderoso para manejar las tareas computacionales típicas de un nodo sensor típico (**Karl and Willig**, 2005).

Atmel Atmega 128L

Este es un microcontrolador de 8 bits, concebido también para su uso en aplicaciones como para las que se usan las WSN. Está equipado con las interfaces pertinentes para el manejo de periféricos habituales (**Karl and Willig**, 2005).

2.1.2 Memoria

Existe una necesidad de memoria de acceso aleatorio (RAM) para almacenar las lecturas intermedias de los sensores, los paquetes de otros nodos, etc. A pesar de que la RAM es rápida, su principal desventaja es que pierde su contenido si se interrumpe la fuente de alimentación. El código del programa puede ser almacenado en memorias de sólo lectura (ROM) o, típicamente, en Memorias EEPROM (eléctricamente borrables) o en memorias flash (permitiendo que los datos sean borrados o escritos en bloques en lugar de sólo un byte a la vez). La memoria flash también puede servir para el almacenamiento intermedio

⁵ Microprocesador con un número de instrucciones reducidas, lo cual le permite lograr una frecuencia de trabajo más alta.

de los datos en caso de que la RAM sea insuficiente o cuando la fuente de alimentación de la RAM deba ser apagada por algún tiempo (**Karl and Willig, 2005**).

2.1.3 Dispositivo de Comunicación

El dispositivo de comunicación se utiliza para intercambiar datos entre nodos individuales. En algunos casos, la comunicación por cable puede ser el método de elección y se aplica con frecuencia en muchos escenarios (utilizando buses de campo como Profibus, LON, CAN, y otros).

El caso de la comunicación inalámbrica es considerablemente más interesante. La primera elección a hacer es la elección del medio de transmisión. Las opciones habituales incluyen frecuencias de radio, comunicación óptica, y ultrasonido; otros medios como la inductancia magnética se utilizan sólo en casos muy específicos (**Castro, 2008**).

De estas opciones, la comunicación por Radio Frecuencia (RF) es la más relevante y la que mejor se ajusta a los requisitos de la mayoría de las aplicaciones de las WSN: proporciona un relativamente largo alcance, alta velocidad de transmisión de datos, tasas de error aceptables, un gasto de energía razonable, y no requiere de una línea directa entre emisor y receptor. Las WSN suelen utilizar frecuencias de comunicación entre aproximadamente 433 MHz y 2,4 GHz (**Castro, 2008**).

Transceptores

Para la comunicación real, en un nodo sensor se requieren tanto un transmisor como un receptor. Para fines prácticos, por lo general es conveniente utilizar un dispositivo que combina estas dos tareas en una sola entidad. Tales dispositivos combinados se llaman transceptores. Por lo general, se realiza la operación half-duplex⁶ ya que transmitir y recibir al mismo tiempo en un medio inalámbrico es poco práctico en la mayoría de los casos (el receptor sólo escuchará al propio transmisor).

Existe un grupo de transceptores de bajo costo disponible comercialmente. Estos incorporan toda la circuitería requerida para transmitir y recibir: moduladores, demoduladores, amplificadores, filtros, mezcladores, etc.

⁶ Comunicación que se ejecuta en una sola dirección a la vez, enviar o recibir.

Comunicación inalámbrica sin radiofrecuencia

Mientras que la mayoría de los trabajos de WSN se han centrado en el uso de ondas de radio como medio de comunicación, existen otras opciones. En particular, han sido considerados como alternativas la comunicación óptica y por ultrasonido.

Comunicación Óptica

Su principal ventaja es la muy pequeña energía por bit requerida tanto para generar como para detectar luz, los diodos emisores de luz (LEDs) son buenos ejemplos para los emisores de alta eficiencia. La circuitería necesaria para un transceptor óptico es también más sencilla y el dispositivo en su conjunto puede ser más pequeño que su homólogo en dispositivos de radiofrecuencia. Además, la comunicación puede tener lugar con una interferencia insignificante. La desventaja, sin embargo, es que para la comunicación, el emisor y el receptor necesitan estar en línea y a la vista (**Karl and Willig, 2005**).

Comunicación por ultrasonido

Tanto la comunicación por radiofrecuencia como la comunicación óptica son apropiadas para ambientes al aire libre. En algunos escenarios, sin embargo, los nodos sensores se utilizan en entornos donde estas no son aplicables debido a que este tipo de ondas no penetran en el medio circundante. Un ejemplo de esto es bajo el agua. En tal ambiente, el ultrasonido es un medio de comunicación atractivo, ya que viaja a distancias relativamente largas con un consumo relativamente bajo de energía (**Karl and Willig, 2005**).

Algunos ejemplos de los transceptores de radio

Algunos ejemplos de transceptores de radio que se utilizan comúnmente en diversos prototipos se mencionan en (**Sohraby et al., 2007**) y (**Karl and Willig, 2005**). No hay un "mejor producto" disponible, sino que cada uno de ellos tiene sus ventajas y desventajas particulares.

Familia RFM TR1000

La familia TR1000 de transceptores de radio de RF Monolithics² está disponible para el rango de frecuencias de 916 MHz y 868 MHz. Está destinado a la comunicación de radio de corto alcance de hasta 115,2 kbps. Es atractiva por su bajo consumo de energía, tanto en modo de emisión como de recepción y sobre todo en el modo de suspensión ("sleep").

Familia Chipcon CC1000 y CC2420

Chipcon ofrece una amplia gama de transceptores que son atractivos para su uso como hardware de WSN. El CC1000 opera en un rango de frecuencias más amplio, entre 300 y 1000 MHz.

El CC2420 es un dispositivo más complicado. La compañía afirma que este es el primer transceptor disponible en el mercado para IEEE 802.15.4. Como consecuencia de la aplicación de este estándar, el transceptor opera en la banda de 2,4 y con una velocidad de datos de 250 kbps. Logra esto con un consumo de potencia relativamente bajo, aunque no tanto como los anteriores.

Familia Infineon TDA 525x

La familia Infineon TDA 525x ofrece transmisores-receptores de bajo consumo y flexibles. La TDA 5250, por ejemplo, es un transceptor de 868-870 MHz que proporciona tanto modulación ASK como FSK, que tiene un amplificador de potencia de alta eficiencia, un oscilador de cristal sintonizable, un filtro de datos “on board”, y una función de apagado inteligente. En comparación con algunos otros transceptores, también tiene una excelente función de bloqueo que hace que sea muy resistente a las interferencias.

National Semiconductor LMX3162

El LMX3162 opera en la banda de 2,4 GHz y ofrece seis diferentes niveles de potencia radiadas desde 0 dBm hasta 20 dBm. Para la transmisión de datos, se utiliza FSK con una velocidad de datos de 1 Mbps.

Conexant RDSSS9M

El nodo sensor WINS de Rockwell5 lleva un transceptor ConexantRDSSS9M, que consiste en la parte de RF que trabaja entre 902 y 928 MHz y un microcontrolador (un65C02), responsable de procesar las señales. La tasa de datos es de 100 kbps.

2.1.4 Fuente de Alimentación

El almacenamiento de energía se realiza convencionalmente usando baterías. Aproximadamente, una batería AA normal almacena alrededor de 2.2 a 2.5 Ah a 1,5 V (Karl and Willig, 2005). Sin embargo un tema que ha sido motivo de muchas

investigaciones es lo relacionado con la obtención de energía del medio para que la red tenga una vida útil prolongada. A continuación se mencionan diversas formas de lograr obtener esta energía.

La energía fotovoltaica: las células solares conocidas se pueden utilizar para los nodos de sensores de potencia. La potencia disponible depende de si los nodos se utilizan al aire libre o en interiores, y de la hora del día.

Gradientes de temperatura: las diferencias de temperatura se pueden convertir directamente en energía eléctrica. Teóricamente, incluso pequeña diferencia de, por ejemplo, 5 K puede producir una cantidad de energía considerable (**Verdone and Dardari, 2007**).

Vibraciones: Una forma casi generalizada de la energía mecánica es la vibración. La energía disponible depende tanto de la amplitud como de la frecuencia de la vibración. La conversión de las vibraciones a la energía eléctrica puede ser realizada por diversos medios, basados en principios electromagnéticos, electrostáticos o piezoeléctricos (**Karl and Willig, 2005**).

Las variaciones de presión: algo parecido a las vibraciones, una variación de la presión también se puede utilizar como fuente de alimentación. Los generadores piezoeléctricos ya son utilizados. Un bien conocido ejemplo es la inclusión de un generador piezoeléctrico en el tacón de un zapato, para generar energía cuando un ser humano camina (**Karl and Willig, 2005**).

Flujo de aire o líquido: Otra fuente de energía utilizada a menudo es el flujo de aire o líquido en los molinos de viento o de turbinas. El reto aquí es otra vez la miniaturización.

La captación de energía por lo general tiene que ser combinada con baterías secundarias debido a que las fuentes de energía actuales no son capaces de proporcionar energía constantemente, sin interrupción, y a un nivel requerido, sino que tienden a fluctuar con el tiempo. Esto requiere circuitería adicional para la recarga de baterías, posiblemente la conversión a niveles de potencia más altos, y una tecnología de batería que pueda ser recargada con bajas corrientes (**Karl and Willig, 2005**).

2.1.5 Sensor

Muchas aplicaciones demandan la medición de varios parámetros, por lo que cada dispositivo debe tener varios sensores “on board”. Los sensores usados dependen de la aplicación que se le dé al dispositivo; por ejemplo, pueden incluir sensores de temperatura, luminosidad, humedad, presión, acelerómetro, magnetómetros, sensores químicos o acústicos (**Krishnamachari**, 2005).

2.1.6 Sistema de Geo-posicionamiento

En muchas de las aplicaciones de las WSN, es importante para las mediciones sensoriales tener una marca local, es decir que se sepa desde dónde fue medido el dato. La forma más fácil de lograr esto es pre-configurando la localización del sensor al desplegarlo, pero esto solo puede ser factible en algunos casos. Para aplicaciones externas donde la red es distribuida sin una configuración previa, es más fácil obtener la información de la localización vía satélite (GPS) (**Krishnamachari**, 2005).

Tabla 2.1. Algunas plataformas y sus componentes (CPU, Transceptor, Memoria y Fuente de alimentación)

Plataformas	CPU	Comunicación	Memoria externa	Fuente de alimentación
WesC (UCB)	AT90LS8535	TR1000	32 Kb Flash	Batería de litio
MICA (UCB,Xbow)	ATMega128L	TR1000	512 Kb Flash	AA
MICA2 (UCB,Xbow)	ATMega128L	CC1000	512 Kb Flash	AA
MICA2Dot (UCB,Xbow)	ATMega128L	CC1000	512 Kb Flash	Batería de litio
MICAz (UCB,Xbow)	ATMega128L	CC2420	512 Kb Flash	AA
Telos (Moteiv)	MSP430F149	CC2420	512 Kb Flash	AA
iMote (Intel)	ARM7TDMI Core	Bluetooth	64 kB SRAM, 512 Kb Flash	AA
Medusa MK-2 (UCLA)	ATMega103L AT91FR4081	TR1000	4 Mb Flash	Batería de ion de litio
iBage (UCLA)	ATMega128L	Bluetooth, TR1000	4 Mb Flash	Batería de ion de litio
DIY (Lancaster University)	PIC18F252	BiM2	64 Kb FRAM	AAA y de ion de litio
Particle (TH)	PIC18F6720	RFM TR1001	32 Kb EEPROM	AAA y de litio tipo moneda
BT Nodes (ETHZ)	ATMega128L	Bluetooth, CC1000	244 Kb SRAM	AA
ZebraNet (Princeton)	MSP430F149	9XStream	4 Mb Flash	Batería de ion de litio
Wins 3.0 (Sensorial)	PXA225	802.11b	64 Mb SDRAM, 32 Mb	Baterías

2.2 Arquitectura de la red

La red de comunicación se puede configurar en varias topologías diferentes. La decisión de qué topología utilizar depende de las características de la aplicación que se desee implementar. A continuación se explican algunos conceptos fundamentales y se describen las posibles topologías de estas redes.

Nodos fuentes y sumideros

Una fuente es cualquier entidad en la red que puede proporcionar información, por lo general un nodo sensor. Un sumidero, es la entidad a donde se dirige la información. Hay esencialmente tres opciones para un sumidero: podría pertenecer a la red de sensores como tal y no ser más que otro nodo sensor/actuador o podría ser una entidad fuera de esta red. Para este segundo caso, el sumidero puede ser un dispositivo portátil, por ejemplo, una PDA que permitiese interactuar con la red o podría ser simplemente una puerta de entrada a otra red mayor, tal como Internet (**Karl and Willig, 2005**).

Redes Single-hop contra redes multi-hop

Existe una limitación de la distancia posible entre un emisor y un receptor en las radiocomunicaciones. Debido a esta distancia limitada, la comunicación simple y directa (Single-hop) entre la fuente y el sumidero no siempre es posible. Las redes inalámbricas de sensores, no están excluidas de estos problemas. Fundamentalmente debido a que estas redes están destinadas a cubrir grandes áreas o que operan en entornos de radio difíciles con una fuerte atenuación. Para superar estas distancias limitadas, una salida obvia es utilizar estaciones repetidoras, pasando los paquetes de datos desde la fuente hasta el sumidero a través de estas estaciones (multi-hop).

Estrella single-hop

La ventaja de este tipo de redes es en su sencillez y la capacidad de mantener en el nodo de control remoto el consumo de energía al mínimo. También permite comunicaciones de baja latencia entre el nodo remoto y la estación base (**Townsend and Arms, 2005**).

La topología de WSN más simple es la estrella de un solo salto que se muestra en la Figura 2.1 (a). Cada nodo en esta topología comunica sus mediciones directamente a la puerta de

enlace. Este modo puede simplificar significativamente el diseño. Sin embargo, la limitación de esta topología es su mala escalabilidad⁷ y robustez (**Krishnamachari**, 2005).

La desventaja que tienen es que la estación base debe estar dentro del alcance de transmisión de todos los nodos y no es tan robusto como otras redes debido a su dependencia de un solo nodo para dirigir la red (**Townsend and Arms**, 2005).

Malla multi-hop y la cuadrícula

Para áreas y redes de mayor tamaño, es necesario el enrutamiento multi-hop. Dependiendo de cómo se colocan, los nodos podrían formar un gráfico de malla arbitraria como en la Figura 2.1 (b) o pueden formar un gráfico de comunicación más estructurado tal como la estructura de cuadrícula 2D que se muestra en la Figura 2.1 (c) (**Krishnamachari**, 2005).

Esta topología de la red tiene la ventaja de la redundancia y la escalabilidad (**Townsend and Arms**, 2005). Si un nodo individual falla, un nodo remoto puede comunicarse con cualquier otro nodo en su área de acción, que a su vez, puede enviar el mensaje a la ubicación deseada. Además, el alcance de la red no está necesariamente limitado por el alcance entre los nodos individuales, simplemente se puede extender por la adición de más nodos al sistema.

La desventaja de este tipo de red es que el consumo de energía en los nodos que implementan las comunicaciones multi-salto es generalmente más alto que para los nodos que no tienen esta capacidad (**Townsend and Arms**, 2005), lo que limita a duración de la batería. Además, como el número de saltos de comunicación a un destino aumenta, el tiempo para entregar el mensaje también se incrementa.

Agrupamiento jerárquico de dos niveles

Quizás la arquitectura más convincente para una WSN es donde varios nodos dentro de una región informan localmente para diferentes nodos cabeceras. Hay varias maneras en que una arquitectura jerárquica puede ser implementada. Este enfoque se hace especialmente atractivo en redes heterogéneas donde los nodos cabeceras son más potentes en términos de computación y comunicación.

⁷Propiedad que indica la habilidad de la red de hacerse más grande, agregando más nodos sin perder calidad en los servicios ofrecidos.

La ventaja de este enfoque es que una red de gran tamaño se descompone de forma natural en zonas separada en las que el procesamiento de datos y la agregación se pueden realizar localmente (**Krishnamachari**, 2005). Un híbrido entre la red en estrella y malla proporciona una red robusta y versátil, manteniendo al mismo tiempo la capacidad de mantener el consumo de energía al mínimo (**Townsend and Arms**, 2005).

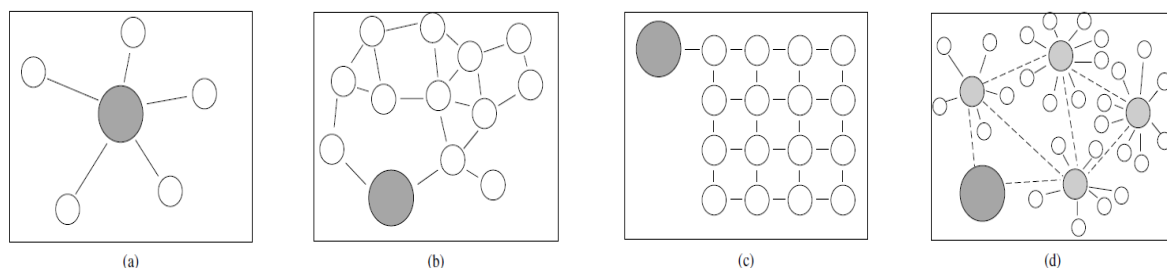


Figura 2.1. Diferentes topologías de las redes: (a) Estrella single-hop, (b) Malla multi-hop, (c) cuadrícula estructurada, y (d) agrupamiento jerárquico de dos niveles

2.3 Despliegue de la red

El problema del despliegue de una red de sensores inalámbricos podría formularse como sigue: dado un contexto de aplicación particular, una región operativa, y un conjunto de dispositivos sensores inalámbricos, ¿cómo y dónde deberían ser colocado estos dispositivos?

La red debe implementarse teniendo en cuenta dos objetivos principales: la cobertura y la conectividad (**Krishnamachari**, 2005). La cobertura se refiere a la calidad de la información obtenida del medio ambiente por los dispositivos sensores en una aplicación específica. La conectividad se refiere a la topología de la red sobre la que puede tener lugar el enrutamiento de la información.

Al implementar una red inalámbrica de sensores plantea (**Krishnamachari**, 2005), que deben ser consideradas una serie de preguntas básicas como:

1. Despliegue estructurado frente a despliegue aleatorio: ¿Exige la red la colocación estructurada, ya sea manual o por medio de nodos robóticos autónomos, o dispersos aleatoriamente?

2. Un gran despliegue o una implementación incremental: Para mayor robustez frente a fallos en los nodos y el agotamiento de la energía, ¿se debe desplegar la red, a priori, con

nodos redundantes, o se pueden añadir o sustituir nodos de forma gradual al surgir la necesidad?

3. Topología de red: ¿La topología de la red va a ser una topología en estrella simple, una cuadrícula, una malla multi-hop arbitraria o una jerarquía de grupos de dos niveles? ¿Qué tipo de garantías de conectividad se desean?

4. Despliegue Homogéneo frente despliegue heterogéneo: ¿Son todos los nodos sensores del mismo tipo o hay una mezcla de dispositivos de altas y bajas prestaciones? En caso de los despliegues heterogéneos, puede haber múltiples dispositivos que actúen como puertas de enlace o como sumideros a los que los nodos sensores envían sus datos y a través de los que un usuario externo puede acceder a la red.

2.4 Localización

Las redes de sensores inalámbricos están destinadas fundamentalmente a proporcionar información acerca de las características espacio-temporales del mundo físico observado. Cada observación de cada sensor individual puede caracterizarse de la forma $\langle S_T_M \rangle$, donde S es la localización espacial de la medición, T el tiempo de la medición, y M la medición en sí. La información de la ubicación de los nodos en la red es fundamental por varias razones según lo define (Chakrabarty and Iyengar, 2005):

- 1. Para proporcionar marcas de ubicación** a los datos de los sensores individuales que están siendo recopilados.
- 2. Para localizar y rastrear objetos específicos** en el medio ambiente.
- 3. Para monitorizar la evolución espacial de un fenómeno difuso** en el tiempo.
- 4. Para determinar la calidad de la cobertura.** Si se conocen las ubicaciones de los nodos, se puede conocer la extensión de la cobertura proporcionada por los sensores activos en cualquier momento.
- 5. Para lograr el equilibrio de carga** en los mecanismos de control de topología. Si los nodos están densamente desplegados, la información geográfica de los nodos se puede utilizar para selectivamente apagar algún porcentaje de los nodos en cada área geográfica

para conservar energía, y rotar estos después de un tiempo para alcanzar el equilibrio de carga.

6. Para formar agrupación. La información de la ubicación se puede utilizar para definir una fragmentación de la red en grupos separados para el enrutamiento jerárquico y procesamiento colaborativo.

7. Para facilitar el enrutamiento de los datos a través de la red. Hay un número de algoritmos de enrutamiento geográfico que utilizan la información de la ubicación en lugar del código del nodo para proporcionar un enrutamiento eficaz.

8. Para realizar encuesta espacial eficiente. Un nodo sumidero o puerta de enlace puede enviar encuestas de información sobre lugares específicos o regiones geográficas. La información de la ubicación se puede utilizar para enfocar la consulta al área deseada en lugar de rebozar toda la red, lo que sería un desperdicio de energía.

2.5 Estándares para la radiocomunicación

La capa física define la frecuencia de funcionamiento, el esquema de modulación, y la interfaz de hardware de la radio del sistema. Hay muchos propietarios de circuitos integrados de radio de baja potencia que constituyen opciones apropiadas para la capa de radio en redes de sensores inalámbricos, entre ellos empresas como Atmel, Microchip, Micrel, Melexis y Chipcon. Si es posible, es ventajoso utilizar una interfaz de radio basada en las normas. Esto permite la interoperabilidad entre múltiples redes de distintas empresas.

A continuación se discuten los estándares de radio existentes y como se pueden o no aplicar a las redes de sensores inalámbricos según (Townsend and Arms, 2005).

IEEE802.11x

IEEE802.11 es una norma que está destinada a la creación de redes de área local con un relativamente alto ancho de banda y por lo tanto una alta transferencia de datos de entre computadoras u otros dispositivos. Mientras que las tasas de transferencia de datos son sin duda lo suficientemente altas para aplicaciones inalámbricas de sensores, los requerimientos de energía en general se oponen a su uso en aplicaciones de redes de sensores inalámbricos.

Bluetooth (IEEE802.15.1 y .2)

Bluetooth es un estándar red de área personal (PAN) que menos potente que el 802.11. Bluetooth utiliza una topología de red en estrella que permite la comunicación de hasta siete nodos remotos con una única estación base. Sin embargo no han sido recibidos con gran aceptación debido a diversas limitaciones como:

- 1) Relativamente alta potencia para un alcance de transmisión corto.
- 2) Toma mucho tiempo sincronizar los nodos con la red cuando regresan del modo “sleep”, lo que aumenta el consumo de potencia del sistema.
- 3) Bajo número de nodos por red (7 nodos máximo).
- 4) La capa de control de acceso al medio (MAC) es demasiado compleja en comparación con la requerida para las aplicaciones de sensores inalámbricos.

IEEE 802.15.4

El estándar 802.15.4 fue diseñado específicamente para las necesidades de las aplicaciones de detección inalámbricas. Los requisitos de energía son moderadamente bajos; no obstante, el hardware está diseñado para permitir que la radio sea puesta en modo “sleep”, lo que reduce el consumo de potencia a una cantidad mínima. Además, cuando el nodo despierta del modo de reposo, la sincronización a la red es rápida. Esta capacidad permite una corriente de alimentación promedio muy baja cuando la radio está desactivada. La norma cuenta con las siguientes características:

- 1) Las frecuencias de transmisión, 868 MHz/902-928 MHz/2.48-2.5 GHz.
- 2) Las velocidades de datos de 20 Kbps (868 MHz Band) 40 Kbps (banda de 902 MHz) y 250 Kbps (2.4 GHz).
- 3) Soporta conexiones de red tipo estrella y malla.
- 4) El estándar especifica el uso opcional de seguridad AES-128 (Advanced Encryption Standard es uno de los algoritmos más populares usados en criptografía) para el cifrado de los datos transmitidos.
- 5) Indicación de la calidad del enlace, que es útil para los algoritmos de redes de malla multi-hop.

6) Utiliza espectro ensanchado por secuencia directa (DSSS) para una robusta comunicación de los datos.

ZigBee

La Alliance ZigBee™ es una asociación de empresas que trabajan conjuntamente para facilitar productos inalámbricos para el monitoreo y control que sean rentables y de bajo consumo. La alianza ZigBee especifica la IEEE 802.15.4 como la capa física y MAC, y está tratando de estandarizar aplicaciones de más alto nivel como el control de la iluminación y monitoreo de HVAC⁸. La especificación de red ZigBee, admite tanto configuraciones de red en estrella como redes híbridas malla-estrella.

IEEE1451.5

Mientras que el estándar IEEE 802.15.4 especifica una arquitectura de comunicación que es apropiada para redes de sensores inalámbricos, no llega a definir detalles acerca de la interfaz de medición. El grupo de trabajo de sensores inalámbricos IEEE1451.5 se basa en los esfuerzos del grupo de trabajo de sensores inteligentes anterior IEEE1451 para estandarizar la interfaz de sensores a una red inalámbrica. Actualmente, la capa física IEEE802.15.4 ha sido elegida como la interfaz de comunicaciones de redes inalámbricas.

2.6 Sistemas Operativos

Las tareas tradicionales de los sistemas operativos son controlar y proteger el acceso a los diferentes recursos (incluyendo el manejo de las entradas/salidas). También se encarga de administrar la asignación de estos recursos a los diferentes usuarios así como de permitir la ejecución simultánea de varios procesos y la comunicación entre dichos procesos.

Sin embargo, en los sistemas empotrados, estas tareas no son tan importantes, pues el código es mucho más restringido y mucho más armonizado que un sistema de propósito general. Además, estos sistemas no tienen los recursos requeridos para soportar un sistema operativo completamente desarrollado.

⁸ HVAC (Heat, Ventilation and Air Conditioner), Calefacción, Ventilación y Aire Acondicionado.

Un sistema operativo para una WSN, preferiblemente, debe respaldar los requerimientos específicos de estos sistemas y debe cumplir principalmente con las siguientes funciones:

1. Deben ser compactos y de pequeño tamaño debido a las limitaciones de memoria de las WSN que oscilan alrededor de cientos de kilobytes.
2. Deben funcionar en tiempo real, pues existen aplicaciones que lo requieren, especialmente cuando existen dispositivos actuadores.
3. Deben proveer un mecanismo de manejo eficiente de los recursos, teniendo en cuenta las prestaciones del microprocesador y las limitaciones de memoria.
4. Debe contar con mecanismos de manejo de energía que permitan extender al máximo el tiempo de vida de la red y mejorar su funcionamiento.

Para los requerimientos de operaciones energéticamente eficientes, por ejemplo, debe tener en cuenta aspectos como el modo de operación “*sleep*” de los motes, o las técnicas de voltajes dinámicos.

Además, los componentes externos (sensores, radiotransmisores, etc.), deben ser manejados fácil y eficientemente, en particular la información obtenida asincrónicamente (en cualquier momento). Todo esto requiere de un modelo de programación apropiado.

Existe una amplia oferta de sistemas operativos para los microcontroladores de las WSNs. Los principales ejemplos se relacionan a continuación.

Bertha (pushpin computing platform)

Una plataforma de software diseñada e implementada para modelar, testear y desplegar una red de sensores distribuida de muchos nodos idénticos. Sus principales funciones según (Díaz, 2013) se dividen en los siguientes subsistemas:

- Administración de procesos
- Manejo las estructuras de datos
- Organización de los vecinos
- Interfaz de Red

Nut/OS

Es un pequeño sistema operativo para aplicaciones en tiempo real, que trabaja con CPUs de 8 bits (**Mahadik and S.H.Patil**, 2007). Tiene las siguientes funciones:

- Multihilo
- Mecanismos de sincronización
- Administración de memoria dinámica
- Temporizadores asíncronos
- Puertos serie de Entrada/Salida

Está diseñado para procesadores con los siguientes recursos:

- 0.5 Kbyte RAM
- 8 Kbyte ROM
- CPU de velocidad de 1 MIPS⁹

Contiki

Es un pequeño sistema operativo de ordenador de código abierto desarrollado para uso en un número de pequeños sistemas pasando desde ordenadores de 8-bit a sistemas integrados sobre microcontroladores e incluyendo nodos de redes de sensores.

Una configuración típica consta de 2 KB de RAM y 40 KB de ROM. (**Díaz**, 2013).

Características:

- Programación secuencial (C)
- Conectividad TCP/IP
- Sistema de ventanas y GUI
- Cliente remoto usando VNC (*Virtual Network Computing*)¹⁰
- Un navegador web (posiblemente el más pequeño del mundo)
- Servidor web personal
- Salvapantallas

⁹(MillionInstructions Per Second) millón de instrucciones por segundo

¹⁰ es un programa de software libre basado en una estructura cliente-servidor el cual nos permite tomar el control del ordenador servidor remotamente a través de un ordenador cliente.

eCos: (embedded Configurable operating system)

Es un sistema operativo gratuito, en tiempo real, diseñado para aplicaciones y sistemas embebidos que sólo necesitan un proceso. Se pueden configurar muchas opciones y puede ser personalizado para cumplir cualquier requisito, ofreciendo la mejor ejecución en tiempo real y minimizando las necesidades de hardware (**eCos**, 2009).

MANTIS (Multimodal NeTworks In-situ Sensors)

Surge en la Universidad de Colorado en 2003. Es un Sistema operativo de código abierto escrito en C y basado en POSIX (Portable Operating System Interface based on Unix). Es un sistema con facilidad de programación y Multi-threading, con un planificador basado en prioridades (**Díaz**, 2013).

Se puede implementar en múltiples plataformas, entre ellas Mica2, MicaZ y Telos. Una configuración típica consta de 500 bytes de RAM y 14 KB de ROM. Una de las ventajas de este SO es que los procesos largos no bloquean el sistema, y que es un modelo de programación más sencillo que el modelo basado en eventos. Como inconvenientes podemos encontrar que ocurren sobrecargas debida a los intercambios de contexto y que tiene un mayor consumo de memoria debido a la existencia de múltiples pilas (**Díaz**, 2013).

TinyOS

El sistema operativo TinyOS, es el más utilizados en las investigaciones actuales y por lo tanto el más difundido. Es un sistema operativo de código libre, útil para pequeños dispositivos, tales como los nodos. Fue el primero desarrollado específicamente para nodos sensores. Es un sistema operativo “event-driven”, quiere decir que funciona a partir de eventos producidos que llamarán a funciones. Ha sido desarrollado para redes de sensores con recursos limitados. El entorno de desarrollo de TinyOS soporta directamente la programación de diferentes microprocesadores y permite programar cada tipo con un único identificador para diferenciarlo (**Karl and Willig**, 2005).

El sistema TinyOS, sus librerías y aplicaciones, está escrito en nesC, una versión de C que fue diseñada para programar sistemas embebidos. En nesC, los programas están compuestos por componentes que se enlazan para formar un programa completo (**TinyOS**, 2010).

TinyOS tiene las siguientes características:

- Arquitectura basada en componentes
- Amplios recursos para elaborar aplicaciones
- Adaptado a los recursos limitados de los nodes: energía, procesamiento, almacenamiento y ancho de banda
- Dirigido por eventos (Event-Driven): reacciona ante sensores y mensajes
- Implementación en nesC
- Interfaces bidireccionales, con comandos y eventos
- Los comandos los implementa el proveedor
- Los eventos son implementados por el usuario
- No soporta todas las plataformas de nodos sensores

FreeRTOS (Free Real Time Operative System)

Usado típicamente para aplicaciones integradas, tiene las siguientes características (FreeRTOS, 2010):

- No utiliza mucha memoria
- Cualquier evento en el soporte físico puede hacer que se ejecute una tarea
- Multi-arquitectura (puertos de código para otro tipo de CPU)
- Muchos tienen tiempos de respuesta predecibles para eventos electrónicos

Mate

Mate está diseñado para trabajar encima de TinyOS como uno de sus componentes. Su objetivo fundamental es hacer que TinyOS sea accesible para programadores con poca experiencia y permitir una programación rápida y eficiente de una red de sensores inalámbrica completa. Mate también es un sistema operativo basado en eventos (Sohraby et al., 2007).

EYESOS

Se define como un entorno para escritorio basado en Web, permite monitorizar y acceder a un sistema remoto mediante un sencillo buscador (Díaz, 2013).

EYES OS utiliza un modelo basado en eventos y tiene un mecanismo de realización de tareas que le permite cumplir los requerimientos de este tipo de sistemas operativos. Funciona como una simple secuencia: realiza la operación de cómputo, devuelve un valor y pasa al modo “sleep”(Sohraby et al., 2007).

EYES OS provee un mecanismo de distribución de código eficiente con los siguientes objetivos:

- Actualización del código en los nodos, incluido el sistema operativo
- Ser flexible en caso de pérdidas de datos durante la actualización
- Utilizar tan pocos recursos de comunicación y locales como se pueda

MagnetOS

Es un sistema operativo distribuido para redes de sensores, cuyo objetivo es ejecutar aplicaciones de red que requieran bajo consumo de energía, que sean adaptativas y fáciles de implementar.

Los objetivos de MagnetOS según (Sohraby et al., 2007)son:

- Administrar el uso de los recursos de las redes de manera estable
- Ser eficiente con respecto a la conservación de la energía
- Ser escalable para conformar extensas redes

Este sistema operativo además provee dos algoritmos de atención a los recursos de energía (NetPull y NetCenter) para los componentes móviles dentro de la red con el objetivo de disminuir el consumo y extender la vida útil de la red. Estos algoritmos permiten que el transporte de datos dentro de la red sea realmente flexible. Su objetivo es encontrar el punto final más cercano para ahorrar tiempo y energía (Sohraby et al., 2007).

Estos no son todos, además de los ya presentados, existen otros sistemas operativos menos utilizados y menos difundidos. Algunos de estos se mencionan a continuación:

T-Kernel: Es un sistema operativo que acepta las aplicaciones como imágenes de ejecutables en instrucciones básicas. Por ello, no importará si está escrito en C++ o lenguaje ensamblador.

LiteOS: Desarrollado en principio para calculadoras, pero que ha sido también utilizado para redes de sensores.

CORMOS (Communication Oriented Runtime System for Sensor Networks): Específico para redes de sensores inalámbricas como su nombre indica.

PicOS: Escrito en C para microcontroladores con limitada memoria RAM on-chip. Tiene pocos requerimientos de recursos y soporta la multitarea pero no es recomendable para aplicaciones que requieran de funcionamiento en tiempo real (Sohraby et al., 2007).

2.7 Evaluación de las propiedades de las WSN como sistema

En este epígrafe se analizarán las propiedades que caracterizan a estos sistemas y gracias a las cuales será posible evaluarlos. Para esto debemos tener en cuenta los objetivos fundamentales de estas redes, los usos que se les pretende dar y las ventajas sobre las tecnologías existentes.

Los parámetros más relevantes en el diseño son: el tiempo de vida, la cobertura, costo y facilidad de despliegue, tiempo de respuesta, precisión temporal, seguridad y frecuencia de muestreo efectiva (Hill, 2003).

Muchos de estos parámetros están relacionados entre sí. En ocasiones pudiese ser necesario disminuir el desempeño de uno de ellos, como por ejemplo, la frecuencia de muestreo, para así aumentarlo en otro como el tiempo de vida. Teniéndolos en cuenta a todos como un conjunto tenemos los elementos necesarios para evaluar una WSN.

Tiempo de vida

Un elemento crítico para todos los despliegues de redes de sensores inalámbricos es el tiempo de uso que espera que tenga esta red. De las aplicaciones descritas en el capítulo anterior, en el caso específico de las de monitoreo ambiental, las de seguridad y las de monitoreo de la salud, se requiere que se encuentren activas durante períodos de meses e incluso años.

Uno de los factores limitantes para el tiempo de uso de estas redes es la alimentación de energía. En muchos casos lo importante no es el promedio de duración de los nodos lo que importa, sino la duración mínima de cada uno de los nodos (Hill, 2003).

El sistema de radio es el elemento de mayor consumo de energía en un nodo inalámbrico. Este consumo puede ser reducido disminuyendo la potencia de salida de la señal de radio o disminuyendo también el ciclo de trabajo del radiotransmisor (**Chakrabarty and Iyengar, 2005**). Ambas alternativas, como mencionábamos anteriormente, provocan sacrificar otras propiedades de estas redes.

Cobertura

No es más que el área máxima que puede cubrir la red. Es importante aclarar que la cobertura no es lo mismo que el alcance de las comunicaciones inalámbricas entre nodos.

La escalabilidad es un elemento fundamental a la hora de valorar una red de sensores inalámbricos. Un usuario, inicialmente puede desplegar una pequeña red de prueba y posteriormente ir agregando más nodos sensores para recopilar más información, alcanzando una mayor cobertura. Un incremento del número de nodos provocará también una disminución de la vida útil de la red, pues al tener más puntos sensores habrá una mayor cantidad de datos circulando por la red (**Hill, 2003**), aumentando así el consumo de energía.

Costo y fácil desarrollo

En muchos casos los usuarios de esta tecnología no tienen conocimientos avanzados en computación, por lo cual se requiere contar con plataformas que faciliten la instalación y el desarrollo de dichas aplicaciones. Además de una fase de configuración inicial, el sistema debe adaptarse a cambios en las condiciones ambientales. A lo largo de toda la vida de la red, los nodos pueden ser reubicados, o grandes objetos pueden ser colocados de forma tal que interfiera la comunicación entre dos nodos. La red debe estar diseñada para reconfigurarse automáticamente con el objetivo de tolerar estos posibles hechos (**Chakrabarty and Iyengar, 2005**).

Adicionalmente, en algunas aplicaciones, tales como las medioambientales, se distribuye un elevado número de nodos que al final no se pueden recuperar en su totalidad, de allí la importancia en disponer de nodos de bajo costo (**Hill, 2003**).

Tiempo de respuesta

Un elemento imprescindible a tener en cuenta en algunas aplicaciones como por ejemplo, en sistemas de alarmas y sistemas de detección de incendios es el tiempo de respuesta. Los nodos deben ser capaces de comunicar mensajes inmediatos y de alta prioridad a través de la red tan rápido como sea posible. Aunque este tipo de eventos es poco frecuente, puede ocurrir en cualquier momento sin un aviso previo.

La capacidad de tener pequeños tiempos de respuesta crea conflictos con la mayoría de los métodos empleados para aumentar el tiempo de vida de la red. Esta duración de la red puede incrementarse teniendo nodos que solo usen sus sistemas de radio durante cortos períodos de tiempo (**Castro**, 2008).

Precisión temporal

Existen aplicaciones en donde es importante correlacionar temporalmente la información suministrada por diferentes nodos, para lo cual es importante dotar las muestras de una marca temporal (**Castro**, 2008). En el caso de determinar el promedio de temperatura de un edificio la relación de las muestras tomadas puede ser de algunos segundos. Sin embargo, para determinar cómo reacciona una construcción a un evento sísmico, se requiere que esta relación sea de milisegundos (**Hill**, 2003).

Seguridad

En estas redes la seguridad es un elemento que ha alcanzado una gran significación, no solo el hecho de mantener la privacidad, sino también que debe ser capaz de autenticar los datos transmitidos. Esto evitaría que se pudieran introducir falsos mensajes de alarmas, o que se pudiesen reenviar viejas alarmas como nuevas, lo cual haría que un sistema no fuese confiable. Además se debe impedir que se pueda evitar la correcta operación del sistema interfiriendo en las señales transmitidas (**Castro**, 2008).

El uso de la encriptación y los mecanismos de autenticación, comprometen el ahorro de energía de la red y la disponibilidad del ancho de banda. Recursos de computo extras deben ser empleados para codificar los datos y bits de más empleados con cada transmisión para autenticar las señales.

Tasa de muestreo efectiva

Se define como tasa de muestreo efectiva el índice de datos tomados por cada sensor por separado que son enviados a un punto de almacenamiento. Afortunadamente las aplicaciones de muestreo ambiental requieren de una tasa de muestreo de apenas 1 o 2 muestras por minuto (**Hill**, 2003).

Un mecanismo para aumentar este índice es explotar el procesamiento interno de la red. El procesamiento interno de la red puede ser usado para determinar cuándo ha ocurrido un evento “interesante” y activar los mecanismos de almacenamiento de datos. Luego los datos pueden ser descargados según lo permita el ancho de banda (**Chakrabarty and Iyengar**, 2005).

2.8 Consideraciones del capítulo

Un nodo está compuesto por varios elementos, una unidad de procesamiento (CPU), memorias para el almacenamiento de datos y códigos de los programas, un dispositivo encargado de la comunicación, una fuente de alimentación, el elemento sensor y en ocasiones sistemas de posicionamiento global (GPS). Existe una gran variedad de estos dispositivos, producidos por varios fabricantes y con características específicas.

Las redes de sensores inalámbricos tienen varias posibles configuraciones. Para muchas aplicaciones, pero no todas, la comunicación multi-hop es la tecnología crucial. Conocer cuál será la configuración deseada a la hora del despliegue de la red es muy importante.

Existen dos metodologías principales para el despliegue. Una es la colocación estructurada para redes de pequeña y mediana escala, donde hay limitaciones de costos de los dispositivos. La otra es la dispersión aleatoria de los nodos, para aplicaciones que implican despliegues a gran escala de miles de nodos de bajo costo. Un elemento significativo una vez dispersa la red es la localización de los nodos. La determinación de la ubicación geográfica de cada nodo en una red de sensores es esencial para muchos aspectos de operación del sistema.

Otro elemento que caracteriza a estos sistemas es el estándar de comunicación que utilizan. Este estándar debe cumplir con las condiciones específicas de las WSN como las

condiciones de bajo consumo de energía y otras que puedan tener una aplicación específica como por ejemplo una gran velocidad de transmisión de datos.

Se ha discutido acerca de los sistemas operativos para WSN y se han expuesto algunos criterios y requerimientos que deben tener los mismos. Los mayores problemas para el diseño de sistemas operativos son los requerimientos de memoria, los requerimientos de eficiencia para el ahorro de energía, la programación de tareas, distribución y actualización de códigos y finalmente la creación de interfaces genéricas de programación de aplicaciones.

Estas redes, además cuentan con una serie de elementos que permiten realizar una valoración del desempeño de las mismas (tiempo de vida, cobertura, seguridad, tasa de muestreo efectiva, costo, tiempo de respuesta, etc.). Uno de los grandes desafíos al desarrollar una aplicación se centra en que la minimización de uno de esos factores puede ocasionar el aumento de otro, por lo cual se debe lograr un compromiso entre los mismos.

CAPÍTULO 3. PROPUESTA DE APLICACIÓN Y SIMULADORES

En este capítulo se realiza una propuesta de una de las muchas aplicaciones de las redes de sensores inalámbricos. Específicamente una aplicación para un sistema de detección de movimientos. Para ello se hace una propuesta del hardware y el software a utilizar teniendo en cuenta sistemas similares desarrollados anteriormente. Una vez realizado esto se analizan varios software que existen para simular estas redes, dejando el camino trazado para iniciar la simulación y posteriormente montar la aplicación en proyectos futuros.

3.1 Sistema de vigilancia mediante detección de movimientos

La seguridad es hoy una de las principales preocupaciones de todo el mundo. Las tendencias recientes muestran que la vigilancia de las zonas tácticamente importantes es una alta prioridad para las organizaciones. Una red de sensores inalámbricos (WSN) es una de las técnicas más modernas y exitosas utilizada para el monitoreo ambiental de ciertos parámetros físicos.

Antes de pasar a la aplicación en sí creemos necesario analizar brevemente las técnicas existentes para la vigilancia y control de locales. Existen diferentes técnicas para ello. Cada una tiene algunas ventajas y desventajas. Las técnicas más utilizadas en el mundo son la vigilancia mediante cámaras y la vigilancia usando elementos biométricos.

Para la vigilancia con cámaras se necesita un centro de mando y control para supervisar todas las actividades grabadas con las cámaras. Todas las cámaras están conectadas al centro de mando y envían sus datos directamente a la ubicación central. Todas las actividades que se están produciendo en la organización o en el interior del edificio se pueden ver en vivo desde el centro de mando. Si encuentran alguna amenaza luego se toman nuevas medidas.

Una técnica reciente es la vigilancia con cámaras distribuidas (**Ahmad and Sharif, 2007**) que utilizan un sistema inteligente para el seguimiento automático de los movimientos.

La vigilancia utilizando la biometría implica el procesamiento de imágenes. Para ello se necesita una base de datos de imágenes. Todos los puntos de entrada o puntos de control están instalados con cámaras o escáneres. Utiliza la técnica de correspondencia comprobando las características físicas del cuerpo humano. Para eso se necesitan imágenes de alta resolución para que coincidan con la base de datos (**Ahmad and Sharif, 2007**). Por ejemplo, algunos sistemas toman fotos del ojo humano y buscan coincidencias del iris con la base de datos.

Entre los principales proyectos que utilizan WSN para este fin, sobresalen dos, "A Line in the Sand" y el Proyecto VigilNet. "A Line in the Sand" fue el nombre dado a un experimento de campo realizado por el equipo NEST de la Universidad Estatal de Ohio. El experimento consistió en el despliegue de una red de sensores inalámbricos de 90 nodos con 78 sensores magnéticos y 12 sensores de radar adicionales (**Kumar and Kumar, 2010**).

El proyecto VigilNet, ejecutado en la Universidad de Virginia, utiliza sensores magnéticos para detectar y seguir la posición de los vehículos en movimiento. Ambos proyectos utilizan motes MICA2 con sistema operativo TinyOS (**Kumar and Kumar, 2010**).

3.2 Sistema de vigilancia en la UCLV

Se propone una aplicación enfocada a implementar una red de vigilancia que cubra los puntos estratégicos del campus de la Universidad Central Marta Abreu. Se montaría la WSN equipada con sensores de movimiento en las distintas áreas determinadas previamente. Para ello es necesario hacer un análisis de las zonas más vulnerables para evitar un sobredimensionamiento de la red. Esta WSN se integrarían con la red TCP/IP de la universidad, siendo posible enviar las señales de alarma hasta el punto de vigilancia principal ubicado en la entrada del centro. Se hizo un análisis de las regiones más importantes en cooperación con las autoridades pertinentes del centro y los resultados se muestran a continuación.

Los puntos atendidos por los encargados de la vigilancia en la Universidad son los siguientes: Base de transporte, casa de visita de Las Antillas, la puerta de acceso principal, la biblioteca, el jardín botánico, la casa de la FEU, la piscina y el almacén ubicado al lado, el Centro de Estudios de Química Aplicada (CEQA), el almacén de misceláneas cerca de la facultad de construcciones, la vaquería y la cochiguera, la puerta de acceso del SEDER, puerta de acceso a los Camilitos, el motel Los Sauces, el almacén y el comedor de los Camilitos. Además existen otras áreas de interés que no son atendidas directamente por ellos pero sí son supervisadas, como las facultades, el edificio administrativo, el rectorado, el SEDER, el Centro de Estudios Informáticos (CEI), el Centro de Estudios de Métodos Computacionales y Numéricos en la Ingeniería (Planetario), el Centro de Investigación y Desarrollo de las Estructuras y los Materiales ubicado en la Facultad de Construcciones, el Instituto Biotecnológico de las plantas (IBP) y el Centro de Investigaciones Agropecuarias.

Se propone una topología de red que sea un agrupamiento jerárquico de dos niveles. Se colocarían pequeñas WSNs, que agrupen puntos cercanos con el objetivo de utilizar menor cantidad de pasarelas (Gateway) y reducir el costo de la red. Cada una de estas pequeñas redes se integrarían a la red TCP/IP de la Universidad y conformarían todo el sistema.



Figura 3.1. Esquema de la UCLV donde se representan los objetivos principales.

LEYENDA

1-10 Edificios Administrativos y de Servicios	11-25 Facultades y Centros Investigativos
1 Rectorado	11 Facultad Matemática-Física-Computación
2 Teatro Universitario	12 Centro de Bioactivos Químicos
3 Edificio Administrativo	13 Sala de Historia
4 Biblioteca Central	14 Facultades Química-Farmacia-Mecánica e Industrial y Turismo
5 Comedor Central	15 Centro de Estudios Informáticos
6 Casa de la FEU	16 Facultades Ciencias Sociales, Humanidades, Derecho y Psicología
7 SEDER	17 Facultad Ciencias Económicas
8 Hotel "Los Sauces"	18 Facultad Eléctrica
9 Comedor	19 Centro de Estudios de Métodos Computacionales y Numéricos en la Ingeniería
10 Policlínico	20 Facultad Construcciones
	21 Centro de Investigación y Desarrollo de las Estructuras y los Materiales
	22 Instituto Biotecnológico de las plantas
	23 Facultad de Ciencias de la Información
	24 Facultad de Ciencias Agropecuarias
	25 Centro de Investigaciones Agropecuarias
26 -38 Edificios de Becas	

Figura 3.2. Leyenda de los puntos representados en la Figura 3.1.

La decisión de dónde colocar los sensores en cada uno de los puntos determinará la cantidad de nodos necesarios y depende mucho de las características individuales de estos lugares. Para ello es necesario convenir con los representantes de estos lugares y determinar cuáles son las posiciones más vulnerables.

Integración de la WSN y la red TCP/IP

Las WSN trabajan con protocolos especialmente diseñados para funcionar sobre plataformas de hardware con recursos limitados de memoria, cómputo y energía (IEEE 802.15.4, ZigBee, etc.). Estos protocolos de WSN, generalmente, no son compatibles con los protocolos de la pila TCP/IP. Esta incompatibilidad implica que para presentar los datos recolectados por las WSN al usuario mediante redes TCP/IP, deban implementarse distintas técnicas de hardware y software.

Para el caso de la red de vigilancia propuesta, es necesario que los mensajes de alarma sean transmitidos en un pequeño período de tiempo y que la red esté activa por el mayor período de tiempo posible. Además que la comunicación de radiofrecuencias sea cero en ausencia de eventos significativos.

En (Lacono et al., 2012) se hace un análisis de diferentes técnicas existentes para la integración de estas redes. En este trabajo se llega a la conclusión de que la técnica más conveniente, está directamente relacionada con los requerimientos del tipo de aplicación que se desee implementar. Se plantea que existen fundamentalmente dos niveles que deben ser resueltos: Arquitectura y Protocolos de Interconexión.

El nivel de Arquitectura toma en cuenta cuál es el elemento WSN que tendrá dirección IP (real o virtual) y se resuelve utilizando dos enfoques: gateway y redes overlay. El más apto para la aplicación propuesta es el enfoque de Gateway. Este enfoque se basa en que los nodos no cuentan con dirección IP, siendo la estación base la que tiene dirección IP y actúa como gateway de la capa de aplicación. El gateway es el único punto de acceso a la red, permite tomar los datos y comandos de cada WSN en el protocolo nativo (p. ej. ZigBee) y los convierte a TCP/IP para luego, por intermedio de alguna red mayor (p.ej. Internet) presentarlos al cliente.

La principal ventaja de este enfoque es que no requiere agregar componentes extras de software en los nodos de la WSN. Luego, los nodos funcionan solo con protocolos diseñados especialmente para WSN, optimizando recursos de hardware y consumo de energía. El gateway permite además reutilizar tecnología existente, ya que la integración se implementa solamente en una máquina y no se debe modificar el software de las WSN previamente instaladas y en funcionamiento.

Uno de los inconvenientes que presenta este enfoque es el desbalance de tráfico debido a que una gran cantidad de datos tienen que ser enviados desde y hacia el gateway, lo que implica que los nodos cercanos al gateway serán los que presentarán un mayor consumo de energía. Sin embargo esto no es de mucha significación para la aplicación propuesta, dado que el volumen de datos que se deben transmitir es considerablemente pequeño. Solo se transmitirá en caso de una violación de las condiciones de seguridad. Otro problema que sí se debe tener en cuenta es la centralización del punto de falla en la estación base, pues si esta presenta una falla, la WSN pierde la conexión al entorno TCP/IP.

El protocolo de interconexión es la implementación que permite el intercambio de mensajes y comandos entre ambas redes, definiendo reglas y sintaxis para lograr la interconexión

entre estas redes. Los enfoques utilizados en este nivel, se pueden clasificar en Ad-hoc y Basados en estándares.

Se plantea que es más adecuado utilizar protocolos ad-hoc cuando se necesita optimizar tiempo de entrega de datos, recursos y consumo de energía. En este caso el protocolo de interconexión es diseñado específicamente para cada propuesta de integración. Las características de cada protocolo varían de acuerdo a la aplicación en particular.

En la mayoría de los casos, esta técnica no necesita cargar funciones extras a los componentes de las WSN, que si se necesitan al momento de utilizar protocolos basados en estándares (IEEE 802.15.4, IEEE 1451, etc.). Por lo tanto, se puede optimizar el consumo de energía y de los recursos de hardware, ya que los nodos solo necesitan procesar el protocolo de la red de sensores, siendo la estación base, la encargada de implementar el protocolo ad-hoc. Este tipo de enfoque se utiliza mayormente en arquitecturas basadas en gateway y en menor medida en redes overlay, las cuáles son más aptas para ser integradas mediante protocolos basados en estándares.

El enfoque ad-hoc, debido a la falta de estandarización en el software, requiere que el programador de las aplicaciones esté familiarizado tanto con la tecnología WSN como con el protocolo de interconexión desarrollado. El mismo deberá, por ejemplo, conocer la forma de la trama utilizada por el protocolo WSN nativo para entregar los datos a la estación base.

Otros problemas que presentan los abordajes ad-hoc son la escalabilidad e interoperabilidad en etapas post-desarrollo del protocolo de interconexión, ya que para integrar plataformas de hardware de WSN se deben agregar nuevos componentes de software tanto en la estación base como en la aplicación final.

3.3 Hardware

Para crear una WSN se necesitan como mínimo los siguientes componentes: una pasarela o “Gateway” para conectar el mote a la PC (usada para la programación y la comunicación), los motes y una placa de sensores (Keithicus, 2011). Un ejemplo de cada uno de estos componentes se muestra en la figura 3.3.



Figura 3.3. Pasarela MIB510, MPR2400 o MICAz Mote y Placa de Sensor MTS300 en este orden.

MIB510: Se comunica con la PC por el puerto serie. Si la PC no tiene puerto serie, se puede utilizar un adaptador USB a Serie. Se usa para comunicarse con los motes y para programarlos.

MPR2400: Conocido como MICAz Mote es el mote comercial insignia diseñado para aplicaciones que se ejecutan en redes de sensores inalámbricos de baja potencia. Cuenta con un microcontrolador de baja potencia Atmel ATMEGA128L con 128K bytes de memoria flash de programa. El dispositivo también tiene un radio MPR2400 a 250 kbps, 2,4 GHz y estándar IEEE 802.15.4. Los motes MicaZ proporcionan un funcionamiento de baja potencia y un alcance de radio de hasta 100 metros. Esto hace que sea una plataforma ideal para el despliegue a gran escala y a largo plazo. El mote MicaZ también tiene un conector de expansión de 51 pines que soporta entradas analógicas, E/S digital, e interfaces I2C¹¹, SPI¹² y UART¹³. Estas interfaces hacen que sea fácil de conectar a una amplia variedad de periféricos externos. El MicaZ funciona con dos pilas AA.

MTS300: Placa de sensores básica que se conecta al MPR400 a través del conector de 51 pines.

En (Hasan and Shah, 2010) se utiliza un nodo sensor personalizado para un sistema de vigilancia. Esta plataforma de hardware está diseñada con el fin de reducir el costo hasta \$50 USD por nodo, lo cual es menos de la mitad del costo de la plataforma MicaZ. Para las comunicaciones de RF, se ha utilizado el módulo Telegesis ETRX2 -PA, que es un potente transceptor basado en el chip Ember EM250. El módulo es pequeño, mide 37.5 x 20.5 x 3.2

¹¹I2C es un bus de comunicaciones en serie. *Inter-Integrated Circuit* (Circuitos Inter-Integrados)

¹² del inglés *Serial Peripheral Interface* es un estándar de comunicaciones

¹³*Universal Asynchronous Receiver-Transmitter*. Controla los puertos y dispositivos serie

mm y es compatible con velocidades de datos de hasta 250 kbps con 16 canales (802.15.4 Canal 11 a 26). Además, el dispositivo soporta cuatro modos diferentes de potencia para extender la vida de la batería.

Sensor de movimiento

La intrusión humana puede detectarse utilizando muchas modalidades de sensores. Algunos de los más relevantes se enumeran y comparan en la Tabla 3.1. Se incluyen seis tipos de sensores en la tabla. Todos estos son pasivos en el sentido de que, a diferencia de sensores de radar o de ultrasonidos, estos no emiten una señal y analizan cómo los objetos la modifican. Los sensores pasivos son los preferidos en las redes de sensores donde la energía es limitada (**Kumar and Kumar, 2010**).

Tabla 3.1. Tipos de sensores y algunas de sus propiedades en las WSN

Tipo de sensor	Es adecuado para transmisiones de mediano o largo alcance	Complejidad de empaque y montaje	Le afectan las obstrucciones en la línea de transmisión	Detecta la dirección del movimiento	Le es posible recopilar energía	Le afectan las condiciones ambientales
Magnético	No (-)	Baja (+)	No (-)	No (-)	No (-)	No (-)
Sísmico	Sí (+)	Alta (-)	No (-)	Sí (+)	Sí (+)	A veces ($\pm$)
Acústico	Sí (+)	Alta (-)	No (-)	Sí (+)	Sí (+)	A veces ($\pm$)
Óptico	Sí (+)	Baja (+)	Sí (+)	Sí (+)	No (-)	Sí (+)
Térmico	No (-)	Baja (+)	Sí (+)	No (-)	No (-)	Sí (+)
Químico	No (-)	Baja (+)	No (-)	No (-)	No (-)	A veces ($\pm$)

Los criterios para la comparación que se muestran en la Tabla 3.1 se eligieron teniendo en cuenta su uso en una red de sensores inalámbricos. La comparación es subjetiva y depende de las características específicas de los sensores particulares.

Es importante que los sensores tengan un rango de alcance suficientemente amplio de manera que la densidad de nodos sensores se pueda mantener razonablemente baja. Los sensores magnéticos, térmicos y químicos sin embargo, tienen un rango limitado y por lo tanto son menos favorecidos que los otros tipos.

La sensibilidad a la obstrucción de la línea de visión puede ser buena o mala dependiendo de la aplicación. Pero por lo general, un sensor que puede detectar, a pesar de una obstrucción entre el sensor y el intruso se ve favorecido. Un buen ejemplo es un sensor

magnético. Los sensores de vibración tampoco se afectados por obstrucciones en la línea de visión. Todo lo contrario ocurre con los sensores ópticos, térmicos y químicos, que se ven afectados por obstrucciones estacionarias o en movimiento.

Es útil tener un sensor que indica la dirección en la que se ha producido la intrusión. Los sensores magnéticos y térmicos no pueden normalmente percibir esta direccionalidad de la intrusión.

En vista de la limitada energía disponible para un nodo sensor en una red, es beneficioso tener a disposición una fuente para la recolección de energía. Solamente los sensores de vibración son susceptibles a esto. El mismo elemento sensor podría ser utilizado para captar energía de las vibraciones en el caso de sensores sísmicos y acústicos.

El último criterio enumerado en la Tabla 1 es muy importante. Se prefiere que un sensor funcione consistentemente en todas las condiciones ambientales tales como vientos débiles o fuertes, ante luz brillante o en la oscuridad, a la luz solar o en la lluvia, etc. Sólo los sensores magnéticos son buenos en este sentido en comparación con los demás.

Utilizando sensores PIR (Passive InfraRed) comerciales

Teniendo en cuenta el rendimiento, la precisión y la disponibilidad, en (**Kumar and Kumar, 2010**) se selecciona un sensor PIR, en particular el sensor de movimiento analógico Panasonic AMN24111. Este sensor tiene cuatro elementos sensores dispuestos de manera que formen una matriz de 2 x 2 que está rodeada por una lente compuesta de múltiples lentes. El conector de expansión de 51 pines se utiliza para conectar el sensor PIR con el mote MicaZ.

Cada píxel es capaz de capturar las variaciones temporales de la temperatura. Los píxeles están conectados de modo tal que evitan la activación del sensor debido a cambios en la temperatura ambiente. Por lo tanto, cualquier cambio de temperatura común simultáneamente percibida por dos píxeles con polaridades opuestas no dispara el sensor (**Panasonic, 2006**).

En (**Hasan and Shah, 2010**) se utilizada un sensor PIR también. Otra ventaja es que la señal de salida analógica de un sensor PIR, puede dar una indicación de la dirección del movimiento. Se ha utilizado el sensor de movimiento PIR de baja potencia Hygrosens, que

funciona con sensores piroeléctricos y muestra una sensibilidad máxima bajo el efecto de la radiación de calor de los cuerpos vivos.

Una persona que pasa ante el sensor primero activa un elemento y luego el otro, lo que da una diferencia positiva o negativa entre los elementos, dependiendo de qué elemento se activa primero. El sensor se opera con voltaje de 3,5 V de CD con 80 μ A de corriente de entrada. Esto hace al sensor PIR ideal para las operaciones con baterías. El rango de detección del sensor PIR es de 12 m con un ángulo de apertura de 120 grados. Además, el sensor puede funcionar a temperaturas de hasta 70 grados Celsius. Dado que el sensor PIR está hecho como una unidad separada, necesita para interactuar con el conector de expansión de 51 pines de los motes MicaZ.

RFID

Una variante de estos sistemas utilizada para aumentar la seguridad y brindar cierta flexibilidad consiste en utilizar junto con los sensores de movimientos sistemas RFID (Radio Frequency Identifier). Estos sistemas consisten fundamentalmente en un transpondedor y un lector. Los transpondedores son dispositivos que brindan una respuesta automática de un mensaje (predeterminado o no) a la recepción de una señal concreta de interrogación enviada por el lector.

Si en un escenario dado hay una persona sin el transpondedor, los lectores tendrán menor número de transpondedores que de personas vistas por el sensor de movimiento. Así que si el lector no encuentra el mismo número de transpondedores que de personas informará al servidor de base de datos central sobre alguna amenaza.

RFID activos

Este tipo de RFID tiene la capacidad de emitir su información todo el tiempo sin ninguna interferencia exterior. Utilizan baterías o algún otro tipo de energía. Pueden transmitir a mayor distancia que los RFID pasivos. (**Ahmad and Sharif, 2007**).

El uso de este tipo de transmisor es recomendable para transmisiones muy lejanas. Así que el uso puede variar según los escenarios. Pero en lo que se refiere a la técnica propuesta, los RFID activos, según (**Ahmad and Sharif, 2007**) no se recomiendan debido a los siguientes problemas:

- Son de gran tamaño debido a la capacidad de tener baterías.
- Debido a que tienen un gran rango de transmisión pueden ser detectados por más de un lector. Así que habrá conflictos sobre la ubicación en la base de datos.

RFID pasivos

Este tipo de RFID tiene una larga vida, pero su rango de transmisión es muy corto. Sólo transmiten su información a petición del lector. Este tipo de transpondedor es más factible utilizarlo para la aplicación deseada. En este caso, los lectores de RFID pasivos envían una solicitud al transpondedor para que este le envíe su ID en respuesta, enviando la información almacenada en este y luego se envía al servidor para la autenticación. Estos tipos de transpondedores son ideales para la vigilancia en el interior de edificios. Ellos pueden ser detectados desde 6 metros, un rango suficiente en el interior del edificio. Su tamaño es mucho más pequeño que los transpondedores de RFID activos, pues no necesitan baterías (**Ahmad and Sharif**, 2007). La señal que les llega de los lectores induce una corriente eléctrica pequeña y suficiente para operar el circuito integrado CMOS del RFID, de forma que puede generar y transmitir una respuesta.

3.4 Software

1) TinyOS: El software que se ejecuta en los nodos sensores MicaZ está escrito en nesC y se ejecutan en TinyOS.

Las herramientas de TinyOS están disponibles para Linux y Microsoft Windows (con Cygwin) y contienen varias herramientas: compilador nesC, compilador AVR y utilidades (para microcontroladores Atmel), y un simulador de redes de sensores, TOSSIM (**Hasan and Shah**, 2010), en el próximo epígrafe se ampliará acerca de estos simuladores. TOSSIM simula toda la aplicación a nivel de bits, lo que permite la experimentación con los protocolos de bajo nivel.

2) Implementación del Nodo personalizado: El programa de aplicación de nodo personalizado está escrito en lenguaje de programación C y compilado y grabado en el microcontrolador utilizando el Microchip MPLAB IDE y el compilador C18. C fue utilizado como un lenguaje de programación para desarrollar aplicaciones de detección porque proporciona eficiencia en el tiempo y en la gestión del microcontrolador. El

desarrollo de las aplicaciones se realiza utilizando las herramientas disponibles en el MPLAB Integrated Development Environment (IDE), que es un conjunto de herramientas libres para el desarrollo de aplicaciones incorporado con microcontrolador PIC. El editor de MPLAB y la herramienta de debugger se utilizan para escribir el código C para la aplicación y luego son compilados con el compilador C18 (**Hasan and Shah, 2010**).

3) Estación Base de Monitoreo: La aplicación de monitoreo en la estación base se ha desarrollado utilizando el lenguaje de programación C # con Microsoft Visual Studio 2008. C # es un lenguaje orientado a objetos de programación moderno y para propósitos generales, adecuado para el desarrollo de componentes de software en entornos distribuidos. También es adecuado para escribir aplicaciones para sistemas empujados y brinda robustez, durabilidad y productividad del software (**Hasan and Shah, 2010**).

3.5 Simuladores

El desarrollo de herramientas de simulación eficaces ha sido un paso fundamental para muchas áreas de investigación. La simulación brinda una manera de estudiar diversos diseños de sistemas en un ambiente controlado, permite examinar las configuraciones de dichos sistemas y observar las interacciones, lo cual pudiera ser muy difícil con el sistema real.

A menudo nos preguntamos acerca de cuanta precisión será necesaria para simular un fenómeno determinado, y hay que tener en cuenta que generalmente el costo de una simulación aumenta según el nivel de detalles que tenga. Pero sin dudas, una herramienta que sea capaz de capturar los elementos esenciales de un determinado campo de estudio, puede acelerar en gran medida el progreso en una determinada área de investigación.

Estas ideas también se aplican a las WSN, pues el desarrollo de dichas herramientas de simulación ha sido muy importante para las investigaciones en este campo. Estas herramientas deben percibir el comportamiento de las diversas arquitecturas, sistemas operativos, protocolos de red y procesamiento distribuido dentro de la red. Además las redes de sensores están en contacto directo con el mundo físico, donde existen ruidos y variaciones que crean incertidumbres acerca del funcionamiento y que hay que tenerlos en cuenta a la hora de simular una aplicación determinada. Deben manejar un gran número de

nodos con una precisión tal que permita observar la menor interacción causada por cualquier interferencia inesperada.

Un simulador de TinyOS tiene cuatro requerimientos fundamentales según (Levis and Lee, 2004):

- Escalabilidad: El simulador debe estar capacitado para manejar grandes redes de cientos de nodos con muchas posibilidades de configuración. La red de sensores TinyOS más grande desplegada constaba de aproximadamente 850 nodos; y el simulador debe tolerar parámetros como estos.
- Integridad: El simulador debe cubrir tantas interacciones del sistema como sea posible, debe capturar los más diversos comportamientos del sistema con una exactitud aceptable. La simulación de los algoritmos y los protocolos de red puede ser muy provechosa, pero con eso no es suficiente, debido a que las WSN están en contacto con la naturaleza lo cual agrega otros factores que se deben tener en cuenta a la hora de la simulación.
- Fidelidad: El simulador debe capturar el comportamiento de la red lo más exacto posible. La captura de sutiles interacciones en un nodo y entre nodos es importante para la evaluación y la experimentación. Además debe reconocer interacciones inesperadas, no solo las supuestas por los usuarios.
- Bridging: El simulador debe saltar la barrera entre algoritmos e implementación, permitiendo a los desarrolladores probar y verificar el código que correrá en el hardware real. A menudo, los algoritmos son correctos, pero su implementación no.

A continuación se mencionarán algunos de los simuladores de WSNs más conocidos y algunas de sus características.

Prowler

Se ejecuta en MATLAB y permite de manera sencilla de crear un prototipo de aplicación con capacidades de visualización aceptables en una GUI¹⁴. Este simulador se enfoca en simular la transmisión, propagación y recepción de señales de radio, incluyendo las

¹⁴GUI (GraphicalUser Interface) interfaz de usuario gráfica

colisiones y la operación de la capa MAC. Cualquier aplicación puede ser implementada con cualquier número de nodos. Por el momento, brinda 3 definiciones de radio con un grupo de aplicaciones (demo, flood1D, flood2D, collision_demo, spantree) (**Simon**, 2004).

El simulador puede ser colocado en modo de operación determinístico o en modo probabilístico (aún más conveniente para probar algoritmos). El establecimiento de parámetros en la GUI se hace directamente pinchando sobre los botones que en esta aparecen (**Simon**, 2004).

Ventajas:

- Creación de prototipos de forma rápida y sencilla
- Captura la naturaleza de TinyOS de ser un Sistema operativo basado en eventos
- Permite testear algoritmos en:
 1. Ambientes determinísticos
 2. Ambientes probabilísticos
 3. Ambientes dinámicamente cambiantes
- Es fácil encontrar y remover errores de los programas (debugging)
- Áreas de aplicación:
 1. Protocolos de comunicación y enrutamiento
 2. Creación de prototipos de aplicación arbitrarios
 3. Optimización y sintonización de parámetros
- Proporciona visualización

A pesar de que brinda un ambiente de simulación genérico, la plataforma en la que se basa es en el mote Berkeley MICA corriendo TinyOS.

NS-2

Es la abreviación de Network Simulator versión 2. Es un simulador de redes de eventos discretos. Fue desarrollado en C++ y provee una interfaz de simulación a través de OTcl, una variante Orientada a Objetos de "Tool Command Language"¹⁵ o lenguaje de herramientas de comando. El usuario describe una topología de red por medio de scripts

¹⁵es un lenguaje interpretado, y su código puede ser creado y modificado dinámicamente. Se utiliza principalmente para el desarrollo rápido de prototipos, aplicaciones "script", interfaces gráficas y pruebas.

OTcl, y luego el programa principal de NS-2 simula dicha topología utilizando los parámetros definidos. NS-2 está diseñado para sistemas operativos Linux, FreeBSD, Solaris, Mac OS X y puede ejecutarse bajo Windows utilizando Cygwin. La última versión, 2.34, se presentó al público el 17 de junio de 2009 (Díaz, 2012).

Ventajas

- Como un simulador de redes no específico, NS-2 soporta un rango considerable de protocolos.
- El modelo de código abierto disminuye el costo de la simulación, y los documentos online, permiten al usuario modificar y mejorar el código fácilmente.

Desventajas

- Quien vaya a usar este simulador debe estar familiarizado con el lenguaje scripting y las técnicas de modelado. El lenguaje de herramientas de comando es algo difícil de comprender y escribir.
- A veces usar NS-2 es más complicado y requiere más tiempo que otros simuladores para modelar una tarea determinada.
- NS-2 tiene un soporte gráfico débil, no posee GUIs, aunque dispone de una herramienta gráfica, NAM (Network Animator) para visualización de los resultados. Los usuarios tienen que enfrentarse directamente a los comandos de texto de los dispositivos. Además, debido al constante cambio del código base, el resultado pudiese no ser consistente o tener errores.

J-Sim

Es un simulador de eventos discretos construido en Java.

Ventajas

- Los modelos en J-Sim tienen buena reusabilidad e intercambiabilidad, lo que permite una fácil simulación.
- Contiene un gran número de protocolos. Este simulador también soporta la simulación de difusión, enrutamiento y localización de datos en las WSNs con modelos detallados. J-Sim, además, puede simular canales de radio y consumos de energía en la WSNs.

- Brinda una librería de GUI, lo cual puede ayudar al usuario a encontrar y remover errores del programa. En la plataforma es fácil para los usuarios seleccionar componentes específicos para resolver problemas individuales.
- Comparado con NS-2, J-Sim puede simular un gran número de nodos, alrededor de 500, y puede ahorrar gran cantidad de espacios de memoria.

Desventajas

- El tiempo de ejecución es mucho más largo que el de NS-2, debido a que J-Sim no fue diseñado originalmente para simular WSNs, el diseño intrínseco de J-Sim hace difícil para los usuarios agregar nuevos protocolos o componentes de los nodos.

TOSSIM

TOSSIM es un simulador de eventos discretos para redes de sensores con sistema operativo TinyOS. En lugar de compilar una aplicación TinyOS para un nodo, los usuarios pueden compilarla dentro del framework de TOSSIM, el cual se ejecuta en una PC. Esto permite a los usuarios eliminar errores, probar y analizar los algoritmos en un ambiente controlado. Como TOSSIM se ejecuta en la PC, los usuarios pueden examinar su código TinyOS usando debuggers y otras herramientas de desarrollo. Este simulador captura el comportamiento y las interacciones de redes de miles de nodos TinyOS a nivel de bit. Dispone de mecanismos de comunicación vía TCP/IP entre TOSSIM y el PC. (Levis and Lee, 2003a).

Aprovechando varias características de TinyOS y de las redes de sensores, TOSSIM puede brindar una simulación escalable y de alta fidelidad. Como los nodos individuales son de recursos restringidos, TOSSIM puede simular un gran número de ellos. Este utiliza el mismo código que se ejecutará en los motes, esto permite que los desarrolladores puedan probar la implementación de sus algoritmos. Representando una red como un gráfico de bits de error, TOSSIM puede capturar muchas de las sutiles interacciones que ocurren en realidad, mientras mantiene una configuración y simulación simple (Levis and Lee, 2004).

Como cualquier solución de simulación, realiza ciertas asunciones según (Díaz, 2012):

- TOSSIM no modela el mundo real. Proporciona abstracciones de ciertos fenómenos del mundo real (por ejemplo, errores de bit, disipación de energía, etc.).

- Un código que ejecuta en una simulación puede no hacerlo en un mote real.
- Los resultados de TOSSIM son válidos para comparar protocolos o algoritmos, pero no deberían considerarse autoritativos.
- Todas las señales de radio en la red tienen la misma fuerza.

TinyViz es una herramienta de visualización de TOSSIM que muestra las capacidades de los servicios de comunicación. Es una interfaz de usuario gráfica basada en Java, y permite visualizar, controlar y analizar las simulaciones. Brinda una interfaz que permite a los desarrolladores implementar sus propias aplicaciones (**Díaz**, 2012).

El núcleo de TinyViz, por sí solo, no hace mucho más que manejar la interfaz evento-comando por TOSSIM. Los usuarios deben interactuar con la simulación cargando plugins que brinden las funcionalidades deseadas. Esto permite, por ejemplo, con un plugin, visualizar el tráfico de la red y los mensajes recibidos por los nodos. Estos plugins también pueden enviar comandos a TOSSIM, actuando sobre la simulación. Por ejemplo, cuando se apaga un nodo en la simulación, el plugin de control envía el comando correspondiente de power off al TOSSIM. TinyViz trae un grupo de plugins por defecto, para las funciones básicas de debugging y análisis (**Levis and Lee**, 2003b).

OMNeT++

Es un simulador modular de eventos discretos de redes orientado a objetos, usado habitualmente para modelar el tráfico de redes de telecomunicaciones, protocolos, sistemas multiprocesadores y distribuidos, validación de arquitecturas hardware, evaluación del rendimiento de sistemas software y, en general, modelar cualquier sistema que pueda simularse con eventos discretos (**OMNeT**, 2005).

Ventajas

- OMNeT++ provee una GUI poderosa. Esta hace que el proceso de depuración de códigos (debugging) sea más fácil que en otros simuladores.
- Inicialmente OMNeT++ no soportaba las bibliotecas modulares propias de las WSNs. Esa deficiencia se resolvió y actualmente no constituye un problema. Este simulador soporta los protocolos MAC igualmente que otros protocolos específicos

de estas redes. Se puede utilizar OMNeT++ para simular el control de los canales en WSNs.

- También puede simular los problemas de consumo de energía en la WSNs.

Desventajas

- La cantidad de protocolos disponibles no es suficientemente grande.
- Los problemas de compatibilidad se incrementan ya que los grupos de investigación desarrollan los modelos de manera separada, esto dificulta la combinación de modelos y crea grandes probabilidades de errores en los programas.

3.6 Análisis económico

La tendencia actual de las investigaciones de redes de sensores inalámbricos apunta a crear dispositivos cada vez más pequeños y mucho más baratos. Se considera que debido al tamaño que pueden alcanzar estas redes y por la gran cantidad de nodos que pueden incluir, estos se pueden llegar a considerar desechables. Para ello se requiere que tengan un precio realmente bajo. En la actualidad, este no es un objetivo que se ha logrado.

En la propuesta realizada se usan tres elementos fundamentales, la pasarela o gateway MIB510, el nodo MPR2400 o MICAz y una placa de sensor. La pasarela tiene un costo de \$95.00 USD cada una, el mote MicaZ cuesta aproximadamente \$130.00 USD y el precio de la placa de sensores que se conecta al nodo variará según las características que tenga. En el ejemplo mostrado en el epígrafe 3.3 se muestra una tarjeta con sensores de luz, temperatura y micrófono y cuesta alrededor de \$120.00 USD. Tarjetas más avanzadas tienen acelerómetros, magnetómetros y GPS, pero su precio es mayor. También, se mencionan distintos autores en cuyos trabajos se han diseñado nodos personalizados de menor precio (\$50.00 USD), y que han construido también sus propias placas de sensores.

Consecuentemente, el costo total de una WSN, dependerá de la magnitud de la aplicación, la cantidad de nodos y plataformas que se requieran y la calidad de los componentes usados (emisores-receptores de radio, sensores, microcontroladores, etc.). Pero sin dudas, será menor que el costo que tendría instalar sistemas similares con cámaras o escáneres biométricos. Además, sería un sistema de mucha menor complejidad pero con la misma eficacia que los demás.

3.7 Consideraciones del capítulo

En el sistema se propone el uso de transpondedores, que pueden localizar fácilmente a la persona en una organización o edificio, así, cualquiera puede controlar fácilmente el dominio de la persona, lo que no se puede hacer con un simple sistema de detección de movimientos que se activaría sin importar quién estuviera en la zona monitoreada. También se sabe dónde está la persona en un momento específico. Los sistemas de identificación biométrica tienen un número de pasos, escaneo, procesamiento y resultado, deteniendo a cada persona para realizar dicho proceso. Esto necesita mucho tiempo para identificar a una persona. Es un proceso muy costoso debido a que implica un procesamiento poderoso; en todas y cada una de las puertas o pasillos de la organización tienen que ser instalados los escáneres y cámaras que son caros.

El sistema propuesto tiene la calidad de ambos sistemas de seguridad conocidos, la vigilancia mediante cámaras y el sistema de seguridad biométrica. Además, es un sistema de bajo costo y de una fiabilidad considerable.

Se ha visto que es posible crear simulaciones escalables y de alta fidelidad de aplicaciones de WSNs completas. El número de errores y defectos encontrados en el funcionamiento de TinyOS en (Díaz, 2012), por ejemplo, como resultado de la simulación, demuestra que esta es una fase importante en el desarrollo de aplicaciones. Los dos simuladores más extensamente utilizados en WSN son TOSSIM y ns-2. También OMNeT++ se ha popularizado mucho en los últimos tiempos.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

- 1 Del análisis de la bibliografía consultada se concluye que existe una amplia variedad de aplicaciones de las redes de sensores inalámbricos, que van desde el interior de un volcán, ciudades, bosques y hasta el propio cuerpo humano, por lo que constituye un tema interesante a investigar en nuestro departamento.
- 2 Estas redes están compuestas por elementos relativamente baratos, el bajo costo que tendría implementar una aplicación usando WSNs las hace una opción realmente atractiva.
- 3 Una red de sensores inalámbricos, por muy grande que sea, está comprendida por elementos sencillos, debido a esto, son sistemas relativamente simples y su montaje no tiene muchas complicaciones.

Recomendaciones

- 1 Se exhorta a continuar investigando sobre otros temas de las Redes de Sensores Inalámbricos que no hayan sido abordados en este trabajo de diploma. Por ejemplo, lo relacionado con la seguridad de las comunicaciones, los algoritmos de enrutamiento, las investigaciones existentes acerca de las diversas maneras de recopilar energía (solar, mecánica, etc), y otros temas que puedan resultar de interés.
- 2 Se recomienda profundizar en el estudio de los temas relacionados con los simuladores, para ampliar el campo de aplicación de los mismos.

- 3 Por último se recomienda continuar trabajando en la propuesta de aplicación realizada en el capítulo 3, con el fin de lograr implementar el sistema de vigilancia propuesto.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AHMAD, B. & SHARIF, M.** 2007. An Approach for Surveillance Using Wireless Sensor Networks (WSN). *Journal of Information & Communication Technology*, Vol. 1, No. 2
- BOKARE, M. & RALEGAONKAR, A.** March 2012. Wireless Sensor Network. *International Journal of Computer Engineering Science (IJCES)*, Volume 2.
- CASTRO, D. M.** 2008. *Aplicaciones de redes de sensores y actuadores inalámbricas en los sectores médico, medioambiental, agrícola e industrial*. Master, Universidad Politécnica de Valencia.
- CORDEIRO, C. D. M. & AGRAWAL, D. P.** 2006. *AD HOC AND SENSOR NETWORKS*, USA, World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd. .
- CHAKRABARTY, K. & IYENGAR, S. S.** 2005. *Scalable infrastructure for a distribute sensor network*, Alemania.
- CHINH, H. D. & TAN, Y. K.** 2010. *Smart Wireless Sensor Networks*, India.
- DÍAZ, S. E.** 2012. *WIRELESS SENSOR NETWORKS Estado del Arte e Investigación*.
- DÍAZ, S. E.** 2013. *Wireless sensor networks: fundamentos, estado del arte y desafíos*. Master en Ciencias Doctorado, Universidad Carlos III de Madrid.
- DOHERTY, L., SIMON, J. & WATTEYNE, T.** August 2012. Wireless Sensor Network Challenges and Solutions. *MICROWAVE JOURNAL*.
- ECOS.** 2009. *Embedded configurable operating system* [Online]. Available: <http://ecos.sourceforge.org> [Accessed Abril 15, 2014].
- FISAL, N. & RASHID, R. A.** 2008. ECG Monitoring System Using Wireless Sensor Network (WSN) for Home Care Environmen.
- FREERTOS.** 2010. *Free real Time operative system* [Online]. Available: <http://www.freertos.org> [Accessed Abril 20, 2014].
- GILBERT, E. P. K., KALIAPERUMAL, B. & RAJSINGH, E. B.** 2012. Research Issues in Wireless Sensor Network Applications: A Survey *International Journal of Information and Electronics Engineering*, Vol 2, No 5.

- HASAN, A. U. & SHAH, G. A.** 2010. Intrusion Detection System using Wireless Sensor Networks. *EJSE Special Issue: Wireless Sensor Networks and Practical Applications (2010)*.
- HILL, J. L.** 2003. *System Architecture for Wireless Sensor Networks* Doctor of Philosophy in Computer Science University of California
- IYER, A., KULKARNI, S. S., MHATRE, V. & ROSENBERG, C. P.** 2008. A Taxonomy-based Approach to Design of Large-scale Sensor Networks. In: SPRINGER SCIENCE+BUSINESS MEDIA, L. (ed.) *Wireless Sensor Networks and Applications* New York.
- KARL, H. & WILLIG, A.** 2005. *PROTOCOLS AND ARCHITECTURES FOR WIRELESS SENSOR NETWORKS*, Chichester, England, John Wiley & Sons Ltd.
- KEERATIWINTAKORN, P. & NOPPARAT, V.** 2007. Wireless ECG for Telemedicine using Wireless Sensor Network and TinyOS.
- KEITHICUS.** 2011. *Beginner's Guide to Crossbow Motes* [Online]. Available: <http://www.xbow.com> [Accessed April 15, 2014].
- KESHTGARI, M. & DELJOO, A.** 2012. A Wireless Sensor Network Solution for Precision Agriculture Based on ZigBee Technology. *Scientific Research*, 25-30.
- KRISHNAMACHARI, B.** 2005. *Networking Wireless Sensors*, New York.
- KUMAR, A. & KUMAR, P. V.** 2010. Wireless sensor networks for human intruder detection. *Journal of the Indian Institute of Science*, VOL 90:3.
- LACONO, L., GODOY, P., MARIANETTI, O., GARINO, C. G. & PÁRRAGA, C.** 2012. Estudio de la Integración entre WSN y redes TCP/IP. *Memoria de Trabajos de Difusión Científica y Técnica*.
- LEVIS, P. & LEE, N.** 2003a. TOSSIM: A Simulator for TinyOS Networks.
- LEVIS, P. & LEE, N.** 2003b. TOSSIM: Visualizing the Real World. UC Berkeley.
- LEVIS, P. & LEE, N.** 2004. TOSSIM: Accurate and Scalable Simulation of Entire TinyOS Applications.
- LEWIS, F. L.** 2004. Wireless Sensor Networks. *Smart Environments: Technologies, Protocols, and Applications* [Online].
- MAHADIK, V. & S.H.PATIL** 2007. Embedded Configurable Operating System. *National Conference on Embedded in Control, Computing and Communication*. International Institute of Information Technology, Pune India.
- MIAO, X., CHU, J., ZHANG, L. & QIAO, J.** 2012. Development of Wireless Sensor Network for Dam Monitoring. *Journal of Information & Computational Science*.
- OMNET.** 2005. *Simulador modular de eventos discretos* [Online]. Available: <http://www.omnetpp.org> [Accessed Mayo 11, 2014].
- PANASONIC** 2006. Motion Sensor (Passive Infrared Type).

- PRAKASH, S. & VENKATESH, V.** 2013. Real time monitoring of ECG signal using PIC and web server. *International Journal of Engineering and Technology (IJET)*, Vol 5 No 2
- PUCCINELLI, D. & HAENGGI, M.** 2005. Wireless Sensor Networks: Applications and Challenges of Ubiquitous Sensing. *IEEE CIRCUITS AND SYSTEMS MAGAZINE*.
- ROTARIU, C., MANTA, V. & CIOBOTARIU, R.** 2012. Remote Cardiac Arrhythmia Monitoring System Using Wireless Sensor Networks. *11th International Conference on DEVELOPMENT AND APPLICATION SYSTEMS*. Suceava, Romania.
- SHUBEITA, F. M., MARCON, C. M., VIT, A. R. D. D., FRANCISCATTO, R. & SPOH, M. A.** april 2012. EVALUATION OF A WIRELESS SENSOR NETWORK APPLIED TO PRECISION AGRICULTURE UNDER ADVERSE WEATHER CONDITIONS *Iberoamerican Journal of Applied Computing*, Volume 2, No 1.
- SIMON, G.** 2004. PROWLER - PROBABILISTIC WIRELESS NETWORK SIMULATOR V1.25.
- SOHRABY, K., MINOLI, D. & ZNATI, T.** 2007. *WIRELESS SENSOR NETWORKS: Technology, Protocols, and Applications*, Chichester, England, JohnWiley&Sons, Inc.
- SUNITA, MALIK, J. & MOR, S.** 2012. Comprehensive Study of Applications of Wireless Sensor Network. *International Journal of Advanced Research in Computer Science and Software Engineering* Volume 2.
- TINYOS.** 2010. *TinyOS Home Page* [Online]. Available: <http://www.tinyos.net> [Accessed Mayo 11, 2014].
- TOWNSEND, C. & ARMS, S.** 2005. Wireless Sensor Networks: Principles and Applications. In: WILSON, J. S. (ed.) *Sensor Technology Handbook*. Oxford: Elsevier Inc.
- VERDONE, R. & DARDARI, D.** 2007. *Wireless Sensor and actuator Networks, technology analysis and design*.
- YANG, G.-Z.** 2006. *Body Sensor Networks*, United States of America, Springer-Verlag London Limited.

ANEXOS

Anexo I Empresas que comercializan soluciones WSN

- En EE.UU

Crossbow (<http://www.xbow.com>): Especializada en el mundo de los sensores, es una empresa que desarrolla plataformas de hardware y software que dan soluciones para las redes de sensores inalámbricas. Entre sus productos encontramos las plataformas Mica, Mica2, Micaz, Mica2dot, telos y telosb.

Moteiv (<http://www.moteiv.com>): Joseph Polastre, antiguo doctorando de un grupo de trabajo de la Universidad de Berkeley formó la compañía Moteiv. Ha desarrollado la plataforma Tmote Sky y Tmote Invent.

SensorWare Systems (<http://www.sensorwaresystems.com>): Desarrollo de sensores acceso TCP/IP e Internet.

Millennial Net, Inc. (<http://www.millennial.net>)

Dust Networks Inc (www.dustinc.com)

Melexis Microelectronic Systems (<http://www.melexis.com>)

Grape Networks, Inc. (<http://www.grapenetworks.com>): Soluciones para viñas de redes de sensores inalámbricos.

- En Europa

Scatterweb (<http://www.scatterweb.com>): Empresa alemana de soluciones de redes de sensores inalámbricos. Colabora con Freie Universität Berlin.

Particle Computer (<http://www.particlecomputer.de>): Redes de sensores inalámbricos, aplicaciones industriales. Spinoff de TecO, del departamento de la Universidad de Karlsruhe with con relaciones con SAP Research.

Shockfish s.a. (<http://www.shockfish.com>): Empresa suiza que desarrolla TinyNode. (<http://www.tinynode.com/>). A partir de este tipo de mota en Laussane han llevado un proyecto en el que implementan una red de sensores en todo el campus de la “Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne”.

- España

Dexma Sensors (<http://www.dexmasensors.com/index.php>): Es una empresa de ingeniería tecnológica especializada en redes de sensores inalámbricas y conexiones M2M inalámbricas en los sectores de la logística/transportes, hospitales, agricultura y emergencias. Dexma Sensors empezó sus operaciones a mediados del año 2006, con fuertes raíces en la Universidad Politécnica de Cataluña, concretamente con el departamento de Arquitectura de Computadores de la Facultad de Informática de Barcelona. Durante el mismo año Dexma Sensors ganó el segundo premio en el Sexto Concurso de Ideas de Negocio organizado por el CIDEM y el Programa Innova, el jurado resalto el alto potencial del equipo emprendedor, así como la innovación y viabilidad técnica del proyecto.

Entre otros productos tiene dexAgro es una solución de monitorización inalámbrica orientada al control medioambiental y sistema de riego inteligente. Características generales:

- Rápido despliegue de decenas de nodos inalámbricos.
- Actuación en zonas de gran extensión de terreno, hasta miles de hectáreas.
- Posibilidad de creación de distintas zonas de monitorización: por cultivo, por riego, por localización, etc.
- Cada nodo incorpora sensores de temperatura y humedad, así como inputs para la conexión con otros sistemas de monitorización o sensores.
- Baterías con una vida útil superior a 1 año con una frecuencia de monitorización de pocos minutos.

- Capacidad de comunicación vía GPRS.
- Conexión opcional: placas solares.

Wireless Sensor Networks Valencia S.L. (<http://www.wsnval.com>): nace en el año 2006 como una spinoff del instituto ITACA de la Universidad Politécnica de Valencia. Su propósito principal se centra en proporcionar a desarrolladores y usuarios finales el acceso a las nuevas tecnologías basadas en redes inalámbricas de sensores. Producto WSN TH Nodo básico dotado de un sensor de temperatura y humedad. Especialmente diseñado para exteriores, es adecuado para aplicaciones de monitorización medioambiental, agricultura de precisión (en la actualidad se está aplicando a viticultura) control de invernaderos, detección de incendios forestales, etc. Asimismo, también es adecuado para aplicaciones domóticas (gestión de calefacción y Aire acondicionado), tanto en entornos domésticos como en oficinas, fábricas, etc.

MiraQuéBien! sl (<http://www.miraquebien.com/mqb/>): una empresa nacida en 2007 para el desarrollo y la comercialización de tecnología destinada a la apicultura. Principal proyecto es el desarrollo de una herramienta de monitorización remota de colmenas basada en el análisis del sonido. Es una empresa que está siendo apoyada para su nacimiento y consolidación por la Fundación Madrid, dentro del marco de su programa de apoyo a emprendedores. Su apoyo fue fundamental para el primer impulso a través de la convocatoria del premio de ideas empresariales de base tecnológica, que ganamos y con cuya dotación pudimos hacer el primer prototipo y el estudio de viabilidad técnica. Por otra parte, el proyecto de monitorización está siendo desarrollado en colaboración con la Universidad de Murcia y La Universidad de Córdoba (España).

OpenGate Systems S.L. (<http://www.opengate.es>): Es una empresa de Tecnologías de la Información presente en el mercado con un objetivo: unir el mundo de las comunicaciones inalámbricas (GSM, GPRS, UMTS) con el mundo industrial del telecontrol y de la telemetría: M2M. Constituida en 2007, OpenGate Systems parte con las referencias de clientes que están haciendo uso de su producto Opengate.

- Otras Empresas

Csiro (<http://www.sensornets.csiro.au/frontpage.htm>): Empresa Australiana especializada en sensores de exterior. Ejemplo de producto FLECK, con 500 m de alcance y paneles solares para dotarlos de energía.

Wiseconn (chile) (<http://www.wiseconn.cl/wisefield.html>): Soluciones para la agricultura. El área Agrícola de WiseConn ofrece productos para el monitoreo integral de predios frutícolas y control de riego y fertirrigación. Actualmente se está trabajando en una nueva aplicación de monitoreo, SIMAP: Sistema Inalámbrico de mantenciones predictivas.

Xsilogy Solutions (<http://www.xsilogy.com/home/main/index.html>): Es una compañía que provee WSN para las siguientes aplicaciones comerciales: organización de inventario de tanques, sistemas de distribución de flujos, edificios comerciales, monitorización medioambiental, defensa del hogar, etc.

ENSCO (<http://www.inqtel.com/tech/dd.html>): Investiga con WSN para aplicaciones meteorológicas.

EMBER (<http://www.ember.com>): Provee soluciones con WSN para automatización industrial, defensa y edificios inteligentes.

H900 Wireless SensorNet System(TM) (<http://www.sensicast.com>): El primer sistema de enrutamiento de malla inalámbrico para sensores, desarrollado por la compañía Snsicast Systems. Sus aplicaciones van desde la electricidad a la seguridad del hogar.

SOFTLINX (<http://www.softlinx.com>): Desarrolla productos de seguridad perimetral basada en sensores.

XYZ (<http://www.cbe.berkeley.edu/research/briefswirelessxyz.htm>): Integra redes de sensores inalámbricas para el control de entornos en el interior de edificios.

Japan's Omron Corp (<http://www.omron.com>): Ha elaborado una red de sensores para naves de carga que provee un sistema de seguridad en los puertos.

Anexo II Ventana del prowlerr donde se pueden modificar los parámetros de las operaciones de radio.

