



Carlos Franco Beltrán
Ingeniero de Telecomunicación
por la ETSIT de Madrid. Ingenalia it

Wireless Sensor Networks

Durante la última década, las tecnologías de red han revolucionado la manera en que personas, empresas y organizaciones intercambian información y coordinan sus actividades. En esta década, presumiblemente, seremos testigos de otra revolución: la que tiene que ver con la observación y control del mundo físico.

La disponibilidad de micro-sensores y comunicaciones inalámbricas de baja potencia esta permitiendo el despliegue de redes de sensores/actuadores con una alta densidad de distribución y para una multitud de aplicaciones, que van desde las puramente biológicas a las de monitorización medioambiental, tanto en tierra, mar como en la atmósfera.

Las WSN son redes de micro y nano-sensores autónomos capaces de comunicarse entre sí, recoger y distribuir datos e incluso auto-configurarse. A través de estas redes inteligentes, se pueden integrar funcionalidades que antes eran independientes unas de otras, con el fin de lograr una máxima eficiencia.

Las redes de sensores con cable no son nuevas y sus funciones han sido, tradicionalmente, medir niveles de temperatura, líquido, humedad etc. La diferencia entre

Los nuevos avances en la fabricación de microchips, los nuevos estándares de comunicaciones inalámbricas, las nuevas funcionalidades de *routers* y equipamientos de red, los nuevos desarrollos de *software* y programas informáticos están logrando eliminar los cables de las redes de sensores, multiplicando así su potencial. Éstas pueden utilizar distintas tecnologías inalámbricas, incluyendo IEEE 802.11 en sus distintas variantes (b,a,g,n,s), Bluetooth, RFID, UWB, home RF, IrDA, etc.

seguimiento y control. Algunos de los usos específicos son:

- Control/Supervisión del medio ambiente.
- Detección acústica.
- Detección sísmica.
- Detección/Control actividad nuclear.
- Vigilancia militar.
- Seguimiento de inventario.
- Seguimiento de objetos, personas.
- Supervisión médica.
- Espacios inteligentes.
- Control de procesos operativos.
- Gestión tráfico en ciudades y carreteras.
- Domótica.

.....

“Las WSN son redes de micro y nano-sensores autónomos capaces de comunicarse entre sí, recoger y distribuir datos e incluso auto-configurarse”

.....

estos sensores que todos conocemos y la nueva generación de WSN es que estos últimos son inteligentes, capaces de poner en marcha una acción según la información que vayan acumulando y, además, no están limitados por su conexión a través de un cable e incluso puede ser móviles.

■ Aplicaciones

La lista de aplicaciones donde las WSN encuentran utilidad puede ser ingente y abierta a la creatividad de los innovadores. Los usos más típicos están relacionados con tareas de supervisión,

■ Características y Arquitectura

Las características comunes y más relevantes de una WSN son:

- Sensores de reducidas dimensiones y bajo coste.
- Nodos con reducido consumo de energía y memoria.
- Soportar condiciones ambientales extremas.

- Soportar fallos de nodos de la red.
- Posible movilidad de nodos.
- Topología de red dinámica.
- Localización de los nodos.
- Fallos de comunicación de/entre nodos.
- Heterogeneidad de nodos.
- Despliegue “ad hoc” y a gran escala.
- Enrutamiento de la información.
- Funcionamiento no atendido.
- Estructura de red distribuida.
- Sincronización de tiempos.
- Capacidad de auto-configuración de los nodos.

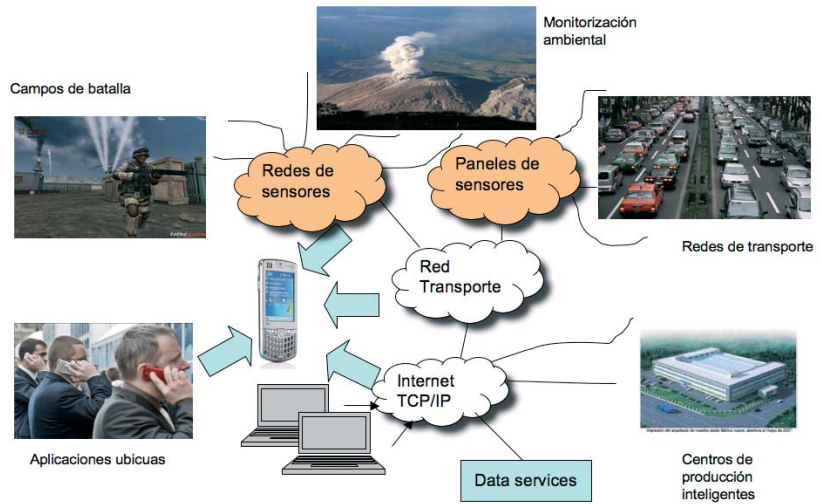


Figura 1: Aplicaciones típicas de las WSN.

Detrás de cada uno de los puntos citados anteriormente se esconden importantes retos tecnológicos, capacidades de fabricación, así como complejas algorítmicas para dotar de inteligencia a

Otros elementos posibles serían un dispositivo de almacenamiento de energía, ASIC secundario y, posiblemente, dispositivos de comunicación secundarios (p.e. RS232 o USB).

entrada entre los nodos de sensores y el usuario final.

La figura 3 muestra la complejidad de las redes de sensores sin hilos, que constan generalmente de una red de adquisición de datos y una red de distribución de los mismos, supervisada y controlada por un centro de gestión. Aunque muchos aspectos del despliegue de redes de sensores serán específicos de cada aplicación particular, si que hay otros que pueden considerarse como bloques clave de interés para un amplio rango de aplicaciones.

De entre los aspectos críticos relativos a la arquitectura y características generales de una WSN cabe mencionar:

Localización: Es el problema de estimar las coordenadas espaciales de unos nodos que se han desplegado por el terreno de forma errática. La solución inmediata para resolver este problema sería utilizar receptores GPS pero por razones obvias de precio, normalmente de tamaño, de limitaciones para cobertura indoor y de obstrucciones de cobertura por vegetación, edificios, etc. lo hacen inviable. En

“El tamaño de un nodo puede variar desde una caja de zapatos hasta un grano de polvo”

los nodos y que diferencia claramente a estas redes de, por citar a la más universal y conocida red de redes, Internet.

Los nodos de sensores pueden verse como pequeños ordenadores, extremadamente básicos en términos de sus interfaces y sus componentes. Constan generalmente de cuatro subsistemas:

- Una unidad central con consumo de energía y memoria limitada,
- Sensores (incluyendo circuito acondicionador específico),
- Un dispositivo de comunicación (transmisor-receptor o alternativamente óptico), y
- Una fuente de energía, generalmente bajo la forma de batería.

El tamaño de un nodo puede variar desde una caja de zapatos hasta un grano de polvo. El coste de estos nodos es igualmente variable, extendiéndose desde centenas de euros a algunos céntimos, dependiendo del tamaño de la red del sensor y de la complejidad requerida de cada nodo individual. Las limitaciones de tamaño y de coste en el nodo del sensor dan lugar a restricciones en recursos tales como energía, memoria, velocidad de proceso y anchura de banda.

Las estaciones base son uno de los componentes más relevantes de una WSN, con muchos más recursos de cálculo, energía y de comunicación. Actúan como

su lugar se recurre a técnicas de tri/multilateración y a la colocación de balizas o estaciones base.

Enrutamiento: Los protocolos convencionales de distribución de datos o enrutamiento no son eficientes en este tipo de redes con restricciones tan elevadas en el consumo de energía. En su lugar se han desarrollado otros protocolos más específicos que resuelven en parte ese problema. De forma muy sucinta citaríamos los protocolos basados en *negociación* que usan descriptores antes de transmitir la información, evitando así parte de la redundancia; la *difusión directa* basada en enrutamiento reactivo originado en destino; el de *ahorro de energía* también del tipo reactivo pero basado exclusivamente en probabilidades de consumo energético; el *multicamino* basado en incrementar la disponibilidad de la red cuando el camino óptimo no esta disponible; y finalmente *Control de acceso al medio* pero específico para redes de sensores y denominado: S-MAC.

Bajo consumo

En redes donde los sucesos "interesantes" suceden de forma infrecuente, una forma efectiva de ahorrar energía es desconectar los nodos cuando no se necesitan. En una red ideal, la red de sensores estaría completamente dormida durante los largos tiempos de inactividad y cuando algo suceda, solamente una zona limitada de la red y próxima al evento entrará en estado plenamente activo. La zona activa estará centrada en torno al fenómeno que ha ocurrido y que se debe seguir y, naturalmente, ésta deberá moverse conforme lo haga el objetivo. Los nodos que no se encuentren dentro del rango de sensibilidad del evento estarán fuera de la zona y, por lo tanto, no

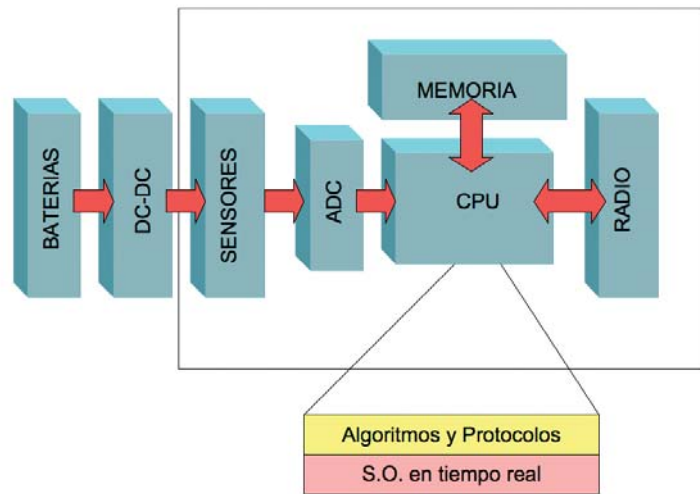


Figura 2: Arquitectura típica de un nodo de red de sensor inalámbrico.

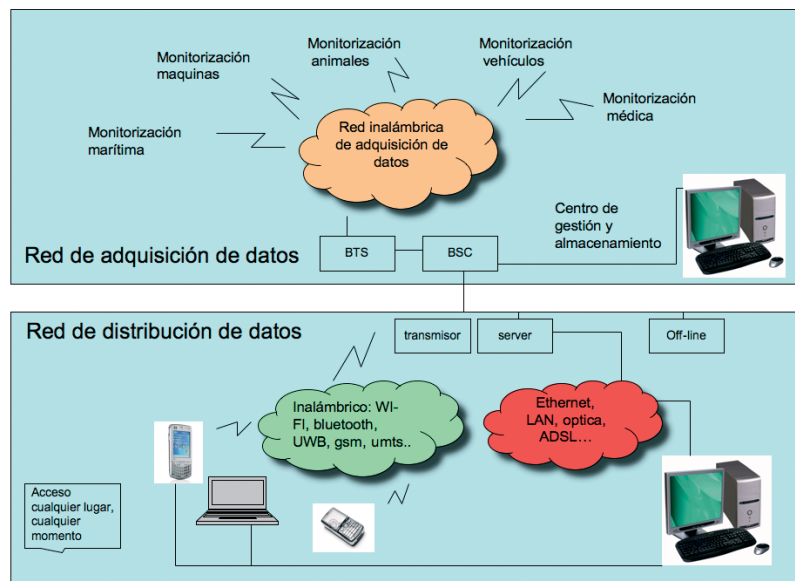


Figura 3: Arquitectura típica de una red WSN.

malgastarán energía en adquisición de datos, ni en tareas de seguimiento. Óptimamente, la zona activa se movería junto con el fenómeno de interés. Esta zona sería circular y con un radio proporcional a la velocidad del objeto. Este modelo se conoce como modelo de "Frisbee".

Para implementar este modelo se requieren dos componentes esenciales: (1) un modo de operación de bajo consumo con capacidad de despertador, donde unos sensores estén siempre vigilantes y

otros puedan ser despertados por estímulos externos y (2) una definición de las fronteras de "Frisbee" en las que los sensores, usando algoritmos localizados, permiten a los nodos decidir autónomamente cuando forman parte de la zona Frisbee o no.

Sensores

Los sensores son dispositivos minúsculos capaces de capturar un tipo de información física. Los avances tecnológicos han permitido crear una nueva generación de

sensores minúsculos, baratos, de excepcionales prestaciones y “conectados”. Cada sensor es capaz de capturar la información física sobre su espacio inmediato. La aportación de miles de sensores en un área física crea una especie de piel o una red inalámbrica digital de sensores. El sensor debe ser capaz, por su propias características, o por medio de dispositivos intermedios, de transformar esa magnitud física en un cambio eléctrico que se pueda alimentar en un circuito que la utilice directamente, o sino en una etapa previa que la condicione (amplificando, filtrando, etc.).

Plataformas

Principales Magnitudes físicas a medir
Luz (visible, infrarroja, ultravioleta)
Sonido y ultrasonido
Gravedad (inclinación, posición)
Temperatura
Humedad
Presión y/o fuerza
Velocidad
Magnetismo
Ubicación
Proximidad
Emisiones radioactivas

Hardware

El desafío principal es producir nodos con sensores minúsculos y de bajo coste. Con respecto a estos objetivos, los actuales nodos de sensores son principalmente prototipos. La miniaturización y el bajo coste evolucionarán en línea con el progreso en los campos de MEMS y de NEMS.

Software

El *software* desarrollado para estas redes esta orientado de nuevo a:

- Reducir los consumos

- Maximizar su vida útil
- Robustez y tolerancia a fallos
- Autoconfiguración
- Seguridad
- Movilidad (cuando los nodos o las estaciones base con los sensores se están moviendo)
- Middleware (*Software* intermedio entre hardware físico y *software* del S.O.)

Sistemas operativos

Los sistemas operativos para WSN son menos complejos que los de uso general. Los WSN no tienen el nivel de interactividad que el de una aplicación para PC, por tanto, el sistema operativo no necesita incluir las ayudas para interfaces de usuario. Además, las restricciones de recursos en términos de memoria y consumo hacen que mecanismos tales como memoria virtual, sean innecesarios o imposibles de ejecutar.

Simuladores

Hay plataformas específicamente diseñadas para simular una WSN, como TOSSIM, que es parte de TinyOS. También se usan simuladores tradicionales como NS-2. Otro simulador muy interesante es GloMoSim. Se puede encontrar

una lista muy detallada de herramientas de simulación para WSN en “CRUISE WSN Simulation Tool Knowledgebase”.

Visualización de Datos

Los datos recogidos por la WSN se almacenan generalmente bajo la forma de datos numéricos en una estación base central. Hay muchos programas, como TosGUI, MonSense, y GSN que facilitan la visión de estas grandes cantidades de datos.

Además, OGC (Open Geospatial Consortium) está especificando los estándares para las interfaces de interoperabilidad y codificaciones de los metadatos que permitan la integración, en tiempo real, de sensores web heterogéneos.

Conclusión

Las redes de sensores inalámbricos encuentran multitud de aplicaciones en la sociedad actual y en ellas convergen un buen número de tecnologías de la información y las comunicaciones. Es un campo que esta creciendo y evolucionando y donde hay amplia materia, tanto para la investigación, como para el desarrollo de productos y aplicaciones. ♦

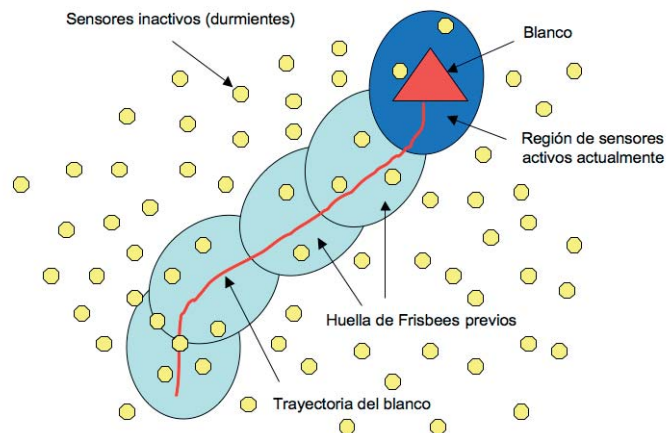


Figura 4: El modelo “Frisbee”. El triángulo representa el objetivo que es seguido por la red. La zona sombreada es el conjunto de sensores dormidos o inactivos en ese momento.