

Una introducción a las Redes de Sensores Inalámbricos

Esteban Egea López, Alejandro Martínez Sala, Javier Vales Alonso, Javier Díaz Jiménez
Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Telecomunicación. Universidad Politécnica de Cartagena
Campus Muralla de Mar. Edificio Antiguo Hospital de Marina,
30202 Cartagena

E-mail: {esteban.egea, alejandros.martinez, javier.vales, fjavier.diaz}@upct.es

Resumen. *La creación de entornos inteligentes, creados a partir de la incorporación de dispositivos simples a los objetos que nos rodean, es el objetivo de la Computación Ubicua. Dentro de este campo se encuentran las Redes de Sensores Inalámbricos o WSN (Wireless Sensor Networks). Estas redes están formadas por cientos o miles de pequeños nodos inteligentes pero simples y de muy bajo coste, conformando una red que es autónoma donde ellos mismos se auto-organizan y la gestionan y, a su vez, colaboran y cooperan para medir un parámetro físico del entorno. En este artículo se presentan las características de estas redes, sus usos potenciales y acusadas restricciones en el diseño, que hacen que los retos que plantean tengan un gran interés investigador.*

1 Introducción

Imaginemos que nuestro entorno fuera inteligente, que fuera capaz de reaccionar y adaptarse automáticamente a nuestros gustos, a nuestras discapacidades, a nuestra forma de vestir, al lugar en el que nos encontramos... Pensemos en otras situaciones más interesantes: cientos de dispositivos flotando en medio de un huracán y enviando información sobre humedad, temperatura, fuerza del viento... Imaginemos una zona catastrófica sobrevolada por una avión que deja caer dispositivos que posteriormente proporcionan información de las condiciones de la zona a los equipos de rescate; o esos mismos dispositivos lanzados sobre la superficie de Marte y que sirven para orientar e informar a los robots de exploración... Todos estos retos son los que intenta resolver una reciente disciplina que se ha denominado Computación Ubicua y Generalizada (*Pervasive and Ubiquitous Computing*). Como su nombre indica, intenta extender la computación y el control automático a cualquier aspecto de nuestra vida cotidiana. Habitualmente, su filosofía se resume en pocas palabras: aplicaciones “en cualquier momento, en cualquier lugar”. Para ello, es necesaria la incorporación de dispositivos simples a entornos en los que no se usaban así como su integración en sistemas complejos y su control.

La clave para conseguir un entorno inteligente es lograr la colaboración de cientos de dispositivos muy diferentes entre sí para conseguir los objetivos. La Computación Ubicua se basa en un desarrollo espectacular en los últimos años de los dispositivos electrónicos: una significativa reducción de costes, logros en la miniaturización y en la escala de integración de componentes, aumento de la capacidad de proceso, etc., que han permitido que cualquier aparato u objeto cotidiano pueda albergar un dispositivo específico que lo dote de cierta “inteligencia” y se forme un entorno inteligente de computación. Un ejemplo claro son los avances en

domótica, donde la calidad de vida en una vivienda aumenta al poder controlar elementos básicos como la temperatura, el control de la luz, gasto energético, persianas, lavavajillas, etc., incluso de forma remota mediante Internet o telefonía móvil. Los posibles escenarios donde desplegar un entorno inteligente de computación aumentan día a día pero todos van a tener una serie de limitaciones y características comunes:

- Los dispositivos tienen que ser de bajo coste.
- Esto implica, como denominador común, que la capacidad de cómputo, procesamiento y almacenamiento de la información está limitada por lo que hay que lograr una solución de compromiso entre estos parámetros, el coste asociado y las prestaciones.
- El potencial real de un entorno inteligente de computación se obtiene cuando todos los elementos están conectados y se pueden coordinar para cooperar por un fin común; por lo tanto se requiere de una infraestructura de comunicaciones.

Combinados con los anteriores, los avances en los sistemas de alimentación, las baterías de última generación y la reducción del consumo energético en la microelectrónica, han permitido el desarrollo de avanzados dispositivos portátiles y proporcionan una dimensión adicional, dando lugar a otro paradigma, entornos inteligentes donde, a su vez, los elementos son móviles.

En este último caso, la red de comunicaciones debe ser inalámbrica, por lo que a los requisitos previos se les añade los retos adicionales de una red inalámbrica: canal propenso a errores, nodos ocultos, gestión de las conexiones, etc.

La combinación de los requisitos previos y los objetivos que se busca da como resultado, desde el

punto de vista de las comunicaciones, que las redes convencionales no son adecuadas. Para este tipo de aplicaciones se necesita una comunicación entre los dispositivos que no dependa de una infraestructura de red fija, es decir, aunque no existan enlaces, routers, o proveedores de servicios. En estos casos, los propios dispositivos tienen que ofrecer las funciones que proporcionaría la infraestructura. Se forma, lo que se conoce, en general, como red *ad-hoc*.

1.1 Redes de Sensores

Los mencionados avances posibilitan sistemas nuevos: las Redes de Sensores Inalámbricos (*Wireless Sensor Networks*, en adelante se hará referencia como WSN). Las redes de sensores pueden considerarse un campo específico dentro de la Computación Ubicua.

Este paradigma consiste en una red que es autónoma, formada por pequeños nodos inteligentes, donde ellos mismos auto-organizan y gestionan la red (es decir, un tipo particular de red *ad-hoc*) y colaboran y cooperan para medir un parámetro físico del entorno (temperatura, presión, humedad, datos químicos, etc.) y, a su vez para procesar la información y hacerla circular convenientemente por la red. Este modelo supone una visión particular de la computación ubicua que requiere el desarrollo de dispositivos y tecnologías específicas, las cuales deben suponer una integración en el entorno que monitorizan pero sin alterarlo.

Supone un campo de estudio en sus primeros pasos, con muchos desafíos y temas abiertos de investigación y con multitud de aplicaciones por explotar; así, por ejemplo, en un informe de Febrero de 2003 el prestigioso *Massachusetts Institute of Technology* (MIT) lo cataloga como una de las diez tecnologías emergentes que cambiarán el futuro y la propia NASA está haciendo estudios porque considera que esta nueva disciplina puede ser adecuada para capturar parámetros físicos necesarios para la exploración de Marte.

A continuación, se va a profundizar en los aspectos técnicos más relevantes que caracterizan este tipo de redes y cuáles son las principales líneas de investigación que no están resueltas [1].

2. Características de una WSN

Una WSN está compuesta de un número muy elevado de nodos que se encuentran distribuidos en el entorno donde se produce el fenómeno que se desea monitorizar. La posición de los nodos no tiene que estar predeterminada y se puede suponer que el despliegue es al azar. Además, se contempla que los nodos sean estáticos o con baja, media o alta movilidad, según la aplicación en concreto. Por lo tanto se requieren técnicas típicas de redes *ad-hoc* para el descubrimiento y conformación de la red. Sin embargo, las WSN no son exactamente redes *ad-hoc*

por lo que dichas técnicas pueden ser un punto de partida pero es necesario avanzar un paso más, para dar respuesta a su problemática particular. Las diferencias con una red *ad-hoc* al uso son:

- El número de nodos en una WSN puede ser varias veces mayor (miles de nodos) y en un área dada, el número de nodos puede ser muy elevado (gran densidad).
- Un nodo dispone de unos recursos limitados y es propenso a fallos. Únicamente logrando una cooperación y coordinación real de todos los nodos, se puede lograr que la red en conjunto funcione correctamente.
- Un nodo sensor usa normalmente mecanismos de *broadcast* para comunicarse con su entorno mientras que la mayoría de las redes *ad-hoc* están basadas en comunicaciones punto a punto.
- Un nodo sensor tiene limitada su capacidad de memoria, procesamiento y se alimentan con baterías.
- Los nodos sensores no suelen tener un identificador global, como supone una dirección IP, por la sobrecarga computacional y de memoria que introducen y, por definición, el elevado número de nodos sensores que hay en la red.

En resumen, las WSN están formadas por un alto número de dispositivos, densamente distribuidos en un área, que forma una red *ad-hoc* multisalto, es decir, que deben ser capaces de encaminar la información desde un origen a un destino sin confiar en una infraestructura externa. Una característica única de estas redes es el tipo de información que genera y la forma en que lo hace. Normalmente se consideran dos casos: bien que la red informa de un suceso ocurrido, bien que el usuario interroga sobre un hecho. En este último caso, lo habitual en una WSN es que el interés del usuario no se centre en la respuesta concreta de un nodo en cuestión, sino sobre el estado de cierto parámetro en un área determinada (por ejemplo, la zona bajo estudio en la que la temperatura supera un cierto umbral). Como consecuencia de esta necesidad hay que introducir un nuevo concepto, la *agregación de la información*. Si todos los nodos que miden un parámetro por encima de cierto umbral deben responder al usuario, probablemente la red se saturará (tenemos miles de nodos con poca capacidad de procesamiento). Por tanto, es necesario desarrollar técnicas para *procesar la información en tránsito*. De esta manera, la información es procesada y agregada a medida que avanza por la red hacia el destino, con lo que se reduce la carga de la red.

2.1 Arquitectura de comunicaciones de una WSN

La funcionalidad de un nodo depende de la aplicación a la que esté dirigida la red y afectará al diseño final,

tanto hardware como software, requiriéndose mayores o menores prestaciones que afectarán a la elección de los componentes hardware. En general, un nodo genérico dispondrá de los siguientes bloques funcionales:

- Unidad de proceso: por su coste, se suelen emplear microcontroladores. Está encargado de gestionar todas las actividades del nodo entre las que destacan la captura de datos y su procesamiento, labores críticas de comunicación con otros nodos y la gestión eficiente de la energía disponible.

- Memoria: para realizar las funciones anteriormente mencionadas, la unidad de proceso se apoya en el módulo de memoria (almacenamiento de datos de los sensores, información relevante para las tareas de comunicaciones, etc.).

- Módulo sensor: se trata de un sensor o un grupo de ellos, conectados con la unidad de proceso. Miden parámetros físicos de su entorno (temperatura, presión, intensidad lumínica, humedad, movimiento, etc.).

- Módulo de comunicaciones inalámbricas o *transceiver*: es la interfaz a través de la cual el nodo interactúa y se comunica con sus nodos vecinos. Debido a las restricciones son dispositivos de corto alcance (metros) y baja velocidad (varios Kbps).

- Sistema de alimentación: cada nodo debe estar equipado con su propia fuente de alimentación y es el recurso que limita la vida útil del nodo y una de las principales restricciones y requisitos de diseño. Normalmente son baterías autónomas aunque, también se contempla el uso de placas solares.

La aplicación típica de una red de sensores sería aquella en la que existe un destino y multitud de fuentes de datos (todos los nodos podrían comportarse como fuentes). La información generada por los nodos debe viajar por la red hasta llegar al destino que se encargará de comunicarla al usuario final o hacer de puente con otra red.

Esta configuración general supone el uso de una pila de protocolos completa: niveles de aplicación, transporte, red, acceso al medio y físico. En función de la aplicación es posible que alguno de los niveles superiores (aplicación, transporte) no sea necesario o sea muy simple.

La diferencia con una pila normal estará en la relación entre capas. Mientras que en redes comunes se busca la independencia entre capas, en una WSN no se puede aplicar este modelo ya que las restricciones son muy elevadas. Al contrario, el objetivo es que se utilice la información de otras capas para optimizar los recursos. Por ejemplo, el consumo energético es muy importante y los protocolos se diseñan de manera que consuman la mínima energía posible para lo que se tiene en cuenta

parámetros del nivel físico. Por tanto, se añade un plano adicional como mínimo, que es el de gestión de potencia.

2.2 Requisitos y parámetros de diseño de una WSN

Las acusadas restricciones de los nodos sensores condicionan el diseño de las capas de protocolos mucho más que en cualquier otro sistema. Por ejemplo, no es factible que cada capa disponga de colas de transmisión y recepción independientes, puesto que la memoria está limitada. Por la misma razón, es necesario definir cuidadosamente el formato de los paquetes, de manera que ocupen lo mínimo posible. De hecho, se suelen anidar las cabeceras de los paquetes, de forma que se mantiene un único campo de datos.

Las capas de protocolos se ven afectadas igualmente. El acceso al medio suele gastar una gran cantidad de energía, ya que normalmente la radio está en modo de recepción continuamente a la espera de recibir un paquete. Por ello, los protocolos MAC [1] de WSN buscan reducir el consumo de energía, haciendo que el nodo pase a modo de bajo consumo cuando no se detectan transmisiones. En el nivel de red también se intenta reducir el consumo, usando protocolos de enrutamiento jerárquicos. En este nivel también se tiene en cuenta el concepto de agregación de información, de manera que se procesa y se elimina la información redundante, con lo que se consigue la agregación de información. Otra de las grandes diferencias se da en el esquema de direcciones: debido al gran número de nodos y a la forma de las consultas (basadas en regiones de información), no se utilizan direcciones lógicas de tipo IP. De hecho, algunos algoritmos de encaminamiento [1] dirigen los paquetes en función de la localización geográfica del nodo, no de su dirección. Las capas inferiores (física, MAC y red) son las que centran la investigación en estos momentos. En las superiores está casi todo por hacer.

3 Conclusiones

Las restricciones de los dispositivos (simples) de una WSN, en especial las limitaciones en su vida útil por el empleo de baterías, así como el tipo de red que forman (*ad-hoc*) plantean una serie de retos que las convierte en uno de los campos de investigación multidisciplinar más activos e interesantes en la actualidad.

Referencias

[1] I.F. Akyildiz, W. Su*, Y. Sankarasubramaniam, E. Cayirci. "A Survey on Sensor Networks". IEEE Communications Magazine, pp 102-114, Agosto 2002.