

Redes de Sensores Inalámbricos para la Monitorización de las Infraestructuras del Transporte

David Gascón (CTO)

Libelium Comunicaciones Distribuidas, Zaragoza, España
d.gascon@libelium.com

El concepto de vías de comunicación y transporte está cambiando tal y como lo conocíamos. Las nuevas tecnologías hacen posible que por primera vez, estos medios sean capaces de gestionar de manera inteligente lo que en ellos sucede y anticiparse a lo que va a pasar. Las redes de sensores inalámbricos permiten monitorizar cualquier entorno por inaccesible y recóndito que parezca. Tal y como lo haría una red de insectos, los nodos sensoriales se distribuyen por el terreno y trabajan de forma coordinada para monitorizar los parámetros elegidos.

I. Tecnología

El concepto de Redes de Sensores o su tan extendida traducción inglesa Wireless Sensor Networks (WSN) se basa en una serie de pequeños dispositivos electrónicos que tienen acceso al mundo exterior por medio de sensores. El nombre que se le da a este tipo de dispositivos es el de “mote”, que proviene de la traducción inglesa de la palabra “mota de polvo” con la finalidad de indicar en una sola palabra dos de los conceptos principales: su pequeño tamaño y la idea de que pueden estar situados en cualquier lugar.

Esta ubicuidad en su instalación y funcionamiento la consiguen principalmente a 2 motivos. El primero de ellos es que son dispositivos autónomos que funcionan con baterías (similares a las de un teléfono móvil) las cuales permiten incluso ser recargadas mediante placas solares si la aplicación lo requiere. El segundo motivo es que todas las comunicaciones que realizan se basan en protocolos inalámbricos de bajo consumo como ZigBee, lo que les permite pasar del estado de latencia a realizar la transmisión necesaria y rápidamente volver a ese estado de mínimo consumo energético.

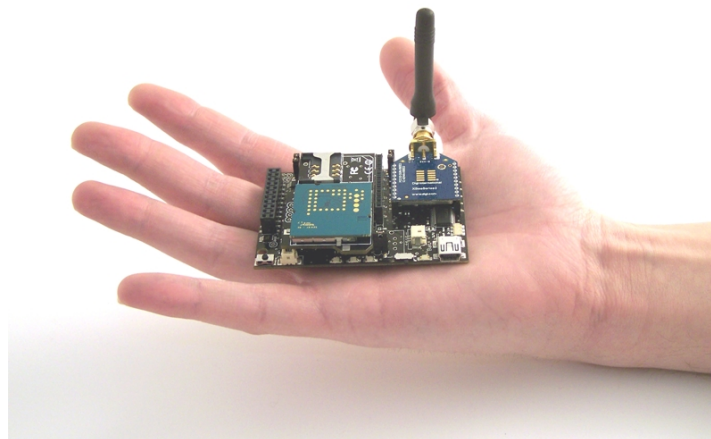


Figura 1. Fotografía de Wasp mote. El nodo sensorial desarrollado por Libelium.

Las principales características de este tipo de redes son:

- Escalabilidad: La capacidad de auto-organización de la red permite que la monitorización de mayores espacios pueda hacerse fácilmente añadiendo nuevos motes. Al hacerlo, estos son reconocidos automáticamente por el resto, los cuales actualizarán sus tablas de rutas en consecuencia. Esta característica es muy importante ya que permite que puedan instalarse en gran variedad de escenarios.

- Alta disponibilidad: Las misma característica de auto-organización permite que el área de monitorización también pueda reducirse. En caso de que un mote deje de funcionar, el resto de valores pueden seguir siendo transmitidos por caminos alternativos gracias al algoritmo de enrutamiento dinámico que se encarga de actualizar las rutas. De esta manera, se garantiza siempre el funcionamiento del resto de la red, al contrario de lo que sucedería con un modelo de comunicación centralizado.

- Fácil implantación: El hecho de que la comunicación sea inalámbrica, eliminando así la necesidad de trasladar cables de red, y que la alimentación se realice por medio de baterías, hace que la instalación sea fácil y posible en cualquier entorno, abriendo así un gran abanico de aplicaciones que pueden beneficiarse de esta tecnología.

II. Funcionamiento

Los motes tienen la capacidad de comunicarse entre sí mediante la creación de redes malladas (mesh networks) usando el protocolo ZigBee y retransmitir la información adquirida a través de la red hasta un punto de control denominado Gateway (GW) que registre los valores observados e incluso tome decisiones consecuentemente. Son los propios motes los que se organizan automáticamente cada cierto tiempo para ver cuáles son las rutas de comunicación disponibles. Esto permite que los motes puedan ser cambiados de lugar para monitorizar un área distinta en un determinado momento.

Se puede observar como el funcionamiento de la red se basa en una perfecta sincronía de todos los nodos. En una primera fase los dispositivos están en estado de latencia con la finalidad de consumir lo menos posible. En un momento dado salta la alarma periódica y toda la red se despierta al unísono permitiendo que unos nodos se comuniquen con otros y la información captada con sus sensores pueda llegar al punto de recogida de los datos. Este mecanismo es lo que en Libelium hemos denominado como "el latir de la red", y es una de las piezas clave del sistema de ahorro energético de las comunicaciones inalámbricas gestionadas por los dispositivos sensoriales.

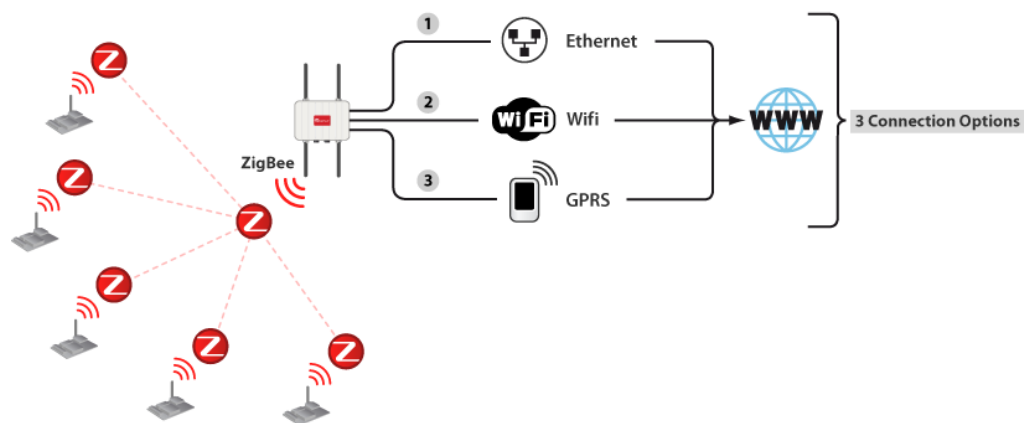


Figura 2. Los nodos envían los datos al gateway de la red quien se encarga de enviarlos a Internet

Una de las características más importantes de estos nodos sensoriales es que pueden permanecer en funcionamiento sin recarga de la batería durante años e incluso ininterrumpidamente usando una pequeña placa solar. Su consumo en estados de latencia (sleep mode) puede llegar a ser de unos pocos micro amperios, por lo que incluso pueden llegar a ser colocados en cualquier sitio. Además, cada una de estas unidades sensoriales tiene un módulo GPS integrado por lo que podemos conocer en tiempo real datos como la longitud, latitud, altura e incluso velocidad en caso de que el sensor esté instalado en un vehículo móvil.

La integración en la plataforma Wasp mote de un módulo GPRS permite usar las redes de móviles para enviar la información de los sensores y hacerla llegar al punto de control. Esto posibilita la instalación de los nodos sensoriales en cualquier lugar siempre que haya cobertura de las redes de telefonía.

El mantenimiento de la red se ve facilitado por el uso de la metodología de "Over the Air Programming" (OTA). Esta tecnología permite reprogramar de forma inalámbrica los nodos de la red de forma que no tenga que desplazarse un operario a cada uno de los nodos para instalar el nuevo programa.

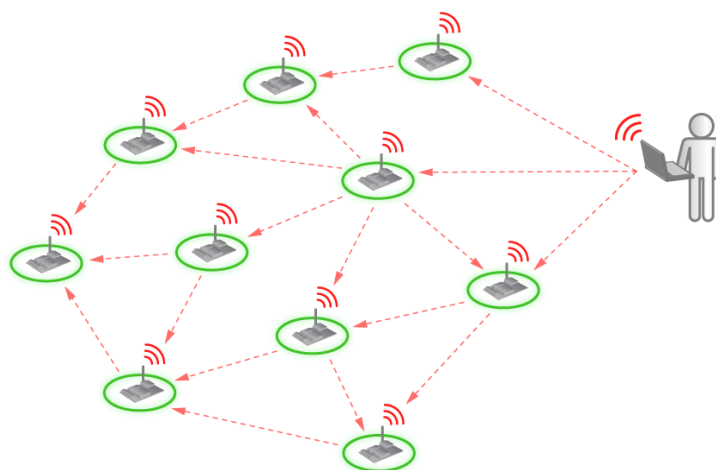


Figura 3. Los nodos pueden ser reprogramados inalámbricamente mediante el uso de la tecnología "Over the Air Programming"

III. Aplicaciones para las Infraestructuras del Transporte

A. Carreteras Inteligentes (Smart Roads)

El concepto de Carreteras Inteligentes o "Smart Roads" se refiere a la posibilidad de dotar a las vías de comunicación de "sentidos" por medio de sensores autónomos. Pensemos por un momento en carreteras que son capaces de comunicar su estado en tiempo real por medio de nodos sensoriales equipados con módulos de radio comunicación. Algunas aplicaciones que veremos en el presente artículo son:

- Monitorización de Estructuras
- Detección de Vehículos
- Smart Parking
- Monitorización de las condiciones meteorológicas
- Calidad del aire en túneles
- Control de ruido

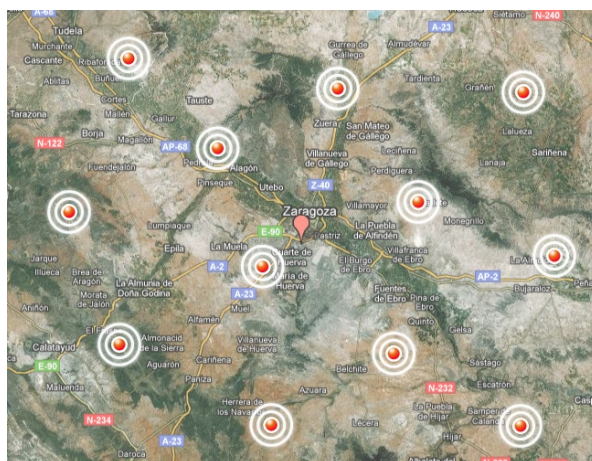


Figura 4. Concepto Smart Road: Puntos de Control sensorial distribuidos en un sistema GIS

B. Monitorización de Estructuras

El control de la salud interna de estructuras (*Structural Health Monitoring*) como edificios, puentes y carreteras es una de las aplicaciones clave puesto que incide directamente en la seguridad de las personas que los transitan. La idea es usar sensores de medición de variaciones de la estructura mediante la monitorización de grietas (*displacement sensor*) y la medición de las oscilaciones producidas por procesos de calor/frío (dilatación/contracción), así como los movimientos de la estructura mediante el uso de acelerómetros.

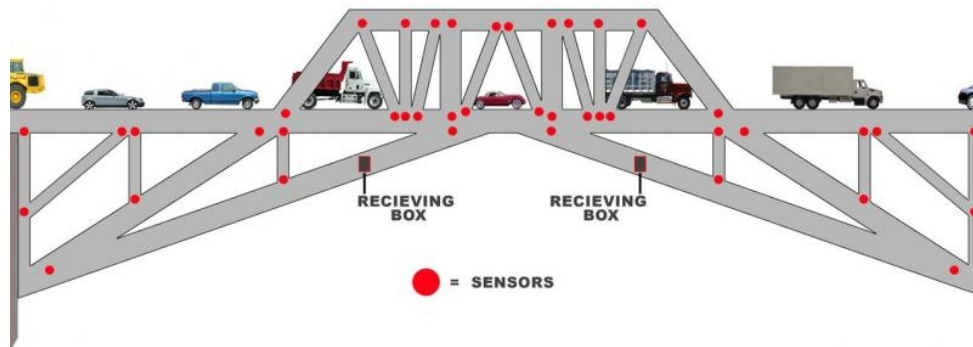


Figura 5. Motes distribuidos en un puente controlando las oscilaciones de la estructura.

Los sensores pueden ser integrados en cualquier estructura ya desplegada ya que se fijan mediante una fina capa de pegamento como en el caso que podemos ver en la figura siguiente o mediante tornillos para los sensores de desplazamiento.

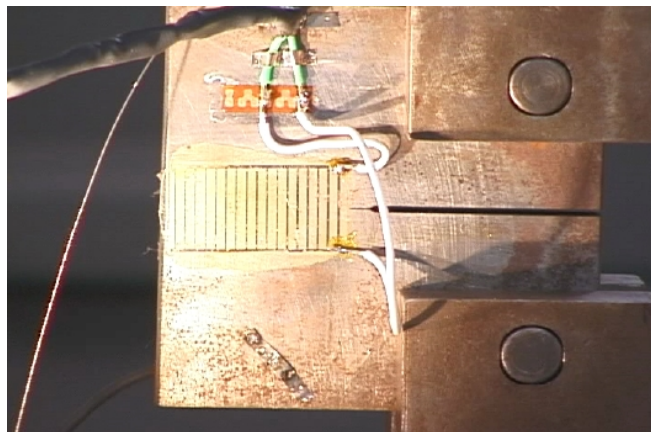


Figura 6. Sensor de medición longitudinal de grietas integrado en el cemento



Figura 7. El uso de tensiómetros en las vallas de contención permite conocer también el estado de los mismos.

C. Detección de paso de vehículos

La primera forma de control de paso de vehículos consiste en la instalación de sensores de campo magnético (Figura 7). Cada vez que un coche pasa por encima se produce un evento que hace que el dispositivo aumente el contador de vehículos y esa información sea transmitida al punto de control permitiendo incluso el conteo de vehículos al minuto, a la hora, etc.

Otra de las formas de detección de la concentración de vehículos en una vía se basa en la detección del número de dispositivos Bluetooth "*manos libres*" que pasan por un punto determinado. Mediante la monitorización de estos dispositivos que podemos identificar unívocamente, somos capaces de conocer no sólo cuántos vehículos entran en un área determinada sino incluso cuánto tiempo están en la vía, o cuál ha sido la velocidad media para llegar de un punto a otro.

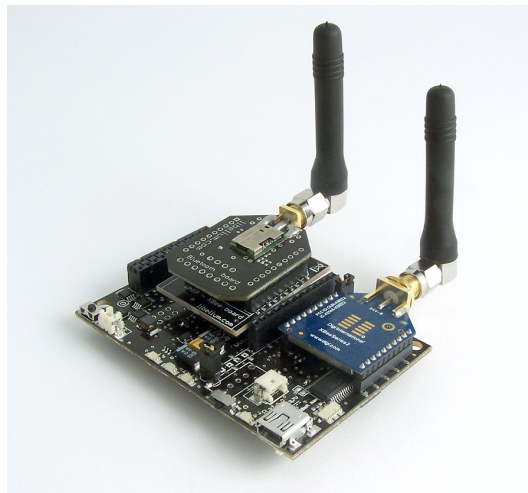


Figura 8. Dispositivo sensorial Waspote equipado con radio ZigBee y Bluetooth para la detección de manos libres.

D. Smart Parking

Una de las causas principales de insatisfacción en la vida en la ciudad es la pérdida de tiempo en los desplazamientos debido a atascos y a la imposibilidad de encontrar un sitio para aparcar en un periodo corto de tiempo. Además de los efectos que esto produce en nuestro estado anímico, el hecho de circular durante más tiempo para buscar aparcamiento nos hace gastar más dinero en gasolina y emitir más CO₂ a la atmósfera. Las redes de sensores nos dan la oportunidad de colocar dispositivos con sensores de campo magnético enterrados en el asfalto de forma que sean capaces de informar si la plaza está ocupada o no.



Figura 9. Waspote con sensor de parking enterrado en el asfalto de una zona de aparcamiento

E. Monitorización de las condiciones meteorológicas

El control de las condiciones meteorológicas puede ser abordado por las redes sensores con la particularidad de que en este caso podemos obtener información local de determinados tramos, por lo que el valor de esta información es mucho mayor que cuando se tiene que extrapolar de mediciones de determinados puntos de control que no se encuentran directamente situados en la vía de estudio.

Por un lado vamos a poder obtener en tiempo real los valores de los sensores de las estaciones meteorológicas: veleta, anemómetro, pluviómetro. Pero además en este caso vamos a ser capaces de controlar otros eventos como la existencia de agua y hielo en la carretera. El uso de múltiples sondas en cada nodo sensorial Waspote nos permite controlar incluso en distintos puntos de un mismo tramo la existencia de estos parámetros.



Figura 10. El uso de múltiples sondas permite simultáneamente el control de parámetros como humedad, temperatura, hielo, etc.

F. Calidad del Aire en Túneles:

Estudios demuestran que más de 16.000 personas fallecen de manera prematura en España por respirar aire contaminado, siendo el tráfico responsable de hasta un 80% de esa contaminación. Esta cifra es 4 veces mayor que la de víctimas en accidentes de tráfico. En Europa, las emisiones de CO₂ en el transporte por carretera (de las cuales la mitad corresponden con desplazamientos urbanos) se han incrementado en un 32% desde 1990. Cada litro de combustible que se quema supone emitir hasta 2,3 kg de CO₂. Así, cada persona que utiliza el coche para sus desplazamientos al trabajo (con un recorrido medio aproximado de 15 km) emite unas 2 toneladas de CO₂ al año.

La acumulación de estos gases en los túneles es especialmente importante ya que muchas veces los sistemas de ventilación sufren averías y no son detectadas hasta semanas después.



Figura 11. Túnel de paso de vehículos. En los sistemas actuales no hay control parametrizado de los compuestos peligrosos.

La importancia de estas emisiones es tal que incluso el aire que respiramos se encuentra regulado por la comisión europea en la Directiva Marco 96/62 sobre la calidad del aire cuyo objetivo es garantizar la salud pública de los ciudadanos. Gracias a la integración de sensores de gases en la plataforma sensorial desarrollada permitimos la monitorización de los siguientes parámetros:

- Dióxido de nitrógeno (NO_2): gas producido por la rápida oxidación del NO, el cual se produce por la quema de combustibles fósiles en los vehículos y la industria. Es un gas tóxico e irritante que afecta al sistema respiratorio además de propiciar la formación de ácido nítrico (HNO_3) el cual produce la lluvia ácida.

- Dióxido de carbono (CO_2): gas natural que se encuentra en nuestra atmósfera. Junto al vapor de agua y otros gases constituye uno de los gases de efecto invernadero que regulan la temperatura de la Tierra. Su producción en exceso como consecuencia del incremento de carburantes fósiles como fuente de energía podría tener un impacto directo en el cambio climático.

- Monóxido de carbono (CO): se produce en las combustiones incompletas, es decir, cuando parte del combustible no reacciona completamente por falta de oxígeno. Su peligro para las personas y animales radica en que se fija en la hemoglobina de la sangre impidiendo el transporte de oxígeno, lo cual puede resultar letal. Aunque en espacios abiertos se diluye fácilmente, la emisión de CO por los motores de los automóviles provoca que en áreas congestionadas pueda haber tasas de 50-100ppm, las cuales son peligrosas para la salud.

- Sulfuro de Hidrógeno (H_2S): es emitido a la atmósfera por diversas industrias, como las papeleras, y resulta especialmente peligroso tanto por ser un gas de una toxicidad elevada como por ser precursor del dióxido de azufre, uno de los gases presentes en los procesos de formación de lluvia ácida. Además, se trata de un gas especialmente molesto debido a su pestilente olor.

- Ozono (O_3): es un constituyente natural que podemos encontrar a nivel del mar con una concentración de 0,01mg/Kg, pero con radiación solar intensa y elevada contaminación de los gases de escape de los coches puede subir a 0,1mg/Kg siendo contaminante. En esta proporción, las plantas pueden verse afectadas en su desarrollo y los humanos pueden sufrir irritación en fosas nasales y garganta y sequedad en las mucosas de las vías respiratorias.

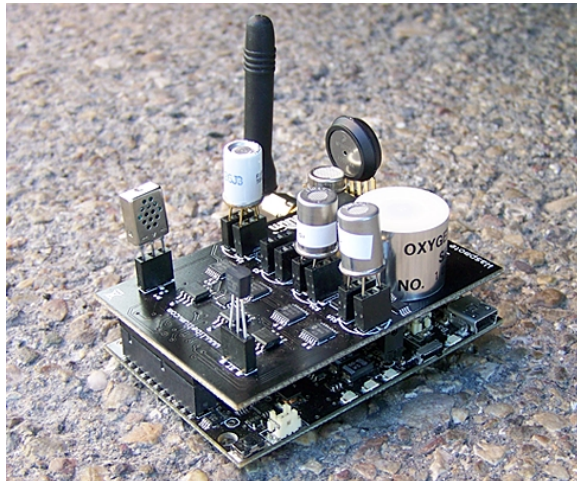


Figura 12. Wasp mote equipado con sensores de CO, CO_2 , O_2 , CH_4 , SH_2 y O_3 así como con sensores de temperatura, humedad y presión

El control del nivel de partículas (PM-10) en el aire es un dato también importante ya que afecta directamente a las personas con problemas respiratorios. Además de integrar sensores de gases la plataforma Wasp mote integra también sensores infrarrojos que permiten medir el nivel de "polvo" en el aire y dar una concentración en mg/m^3 .

C. Control de Ruido

El uso de micrófonos para captar la amplitud sonora en decibelios sonoros (dB SPLA) nos permite controlar el ruido en cada una de las vías de paso cuando hay cercanía con una ciudad de forma que se puedan generar en tiempo real mapas de ruido. Esto permite la detección de forma preventiva de zonas de alta contaminación acústica y actuar en consecuencia antes de que realmente sea una molestia para los ciudadanos.

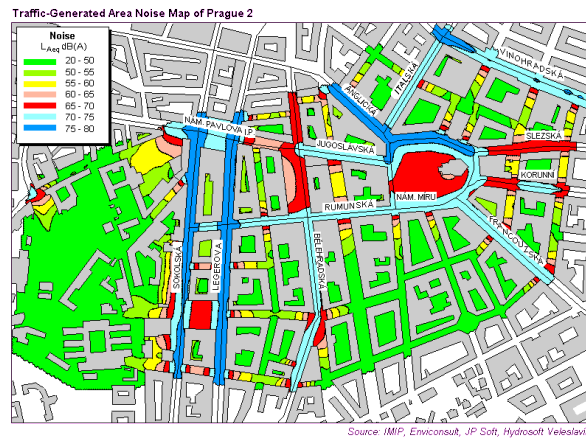


Figura 13. Representación de los valores acústicos obtenidos mediante los sensores 'micrófonos' distribuidos por las calles

III. CONCLUSIONES

La utilización de las redes de sensores para la monitorización de las Infraestructuras del Transporte permite la realización de aplicaciones que hasta ahora eran imposibles. La idea de obtener información local de cientos o miles de puntos distribuidos en lugares específicos da un valor incalculable a estos datos puesto que además podemos obtener esa información en tiempo real mediante el uso de tecnologías inalámbricas como ZigBee y GPRS, y con ello, actuar en consecuencia en el mismo momento que se producen los eventos que están siendo controlados.

Referencias

- [1] Waspnote: <http://www.libelium.com/waspnote>