
Caso de uso: redes inalámbricas para la monitorización del tráfico

PID_00251490

Pere Tuset Peiró

Tiempo mínimo de dedicación recomendado: 1 hora



Universitat
Oberta
de Catalunya

Ninguna parte de esta publicación, incluido el diseño general y la cubierta, puede ser copiada, reproducida, almacenada o transmitida de ninguna forma, ni por ningún medio, sea éste eléctrico, químico, mecánico, óptico, grabación, fotocopia, o cualquier otro, sin la previa autorización escrita de los titulares del copyright.

Índice

Introducción	5
1. SenseFields	7
1.1. Eje transversal.....	8
1.2. Les Glòries.....	10
2. Solución propuesta	12
Conclusión	15

Introducción

El tráfico urbano e interurbano, y en especial los atascos, impactan en todos los ámbitos de la vida de los ciudadanos de una región, así como en la economía y en la ecología de la misma. Cuando se produce un atasco no solo se pierden horas-hombre de productividad, sino que también aumenta la contaminación ambiental provocada por las emisiones de los vehículos que funcionan con combustibles fósiles.

Desde un punto de vista funcional, los problemas de congestión del tráfico en una región se pueden entender como un desajuste entre la oferta (la capacidad de las vías urbanas e interurbanas) y la demanda (la necesidad de movilidad y transporte de los ciudadanos y empresas). Estos desajustes se pueden clasificar como constantes, en el caso de los atascos diarios producidos por el aumento del tráfico promedio en una carretera, o bien esporádicos, en el caso de los atascos producidos por un evento puntual.

Habitualmente, estos desajustes entre oferta y demanda se han compensado creando nuevas infraestructuras de transporte, y aumentando así la capacidad total del sistema. Esta aproximación ha facilitado el crecimiento de la economía de una región, pero no ha solucionado el problema de congestión. Al contrario, el aumento de la capacidad neta de las infraestructuras de transporte ha llevado a un efecto llamada que ha contribuido a hacer crecer la demanda, de modo que se han exacerbado los problemas de congestión y de contaminación.

Hoy día, teniendo en cuenta las elevadas inversiones necesarias para la creación de nuevas infraestructuras de transporte y los problemas de contaminación derivados de los mismos, se está optando por la aplicación de políticas restrictivas del tráfico para limitar sus efectos. Por ejemplo, en algunas grandes ciudades se aplican peajes a la entrada de vehículos de motor que funcionan con combustibles fósiles. Estos peajes sirven para disuadir la entrada de vehículos en las mismas y reducir los efectos de la congestión y de la contaminación.

El problema de estas medidas es que se basan en métricas arbitrarias que, además, resultan discriminatorias. Por ejemplo, la aplicación de peajes de entrada a una ciudad limita el acceso de las personas con menos recursos económicos, pues estas no pueden permitirse pagar los peajes o cambiar sus vehículos por otros menos contaminantes. Además, dichas políticas son estáticas y no se adaptan a las dinámicas propias del tráfico. Por ejemplo, tales medidas no permiten redirigir el tráfico en caso de accidente para minimizar el impacto de la congestión y la contaminación.

Para poder aplicar métricas que permitan gestionar el tráfico de manera dinámica, es necesario disponer de información en tiempo real del estado del tráfico en las vías de circulación. Actualmente, ya existen algunas soluciones para monitorizar el tráfico, ta-

les como los lazos inductivos y las cámaras de vídeo. El problema de estas tecnologías es que no resultan adecuadas para la monitorización en tiempo real. Por ejemplo, los lazos magnéticos requieren calibraciones periódicas para mantener la precisión de los datos de medida del número de vehículos. En cambio, las cámaras de vídeo presentan problemas de detección de los vehículos en presencia de condiciones meteorológicas adversas, como por ejemplo la niebla. Además, las dos tecnologías no resultan escalables, debido a los elevados costes de instalación y mantenimiento.

1. SenseFields

SenseFields* es una empresa fundada en Barcelona en el año 2011, dedicada al desarrollo de sistemas inteligentes de transporte para la gestión del tráfico rodado, tanto en ciudad como en carretera, que se basan en sensores magnéticos. La solución tecnológica de SenseFields se fundamenta en una arquitectura de tres niveles: sensores, sistema de procesamiento de datos y el servicio de gestión del tráfico.

* Web: <http://www.sensefields.com>

Figura 1

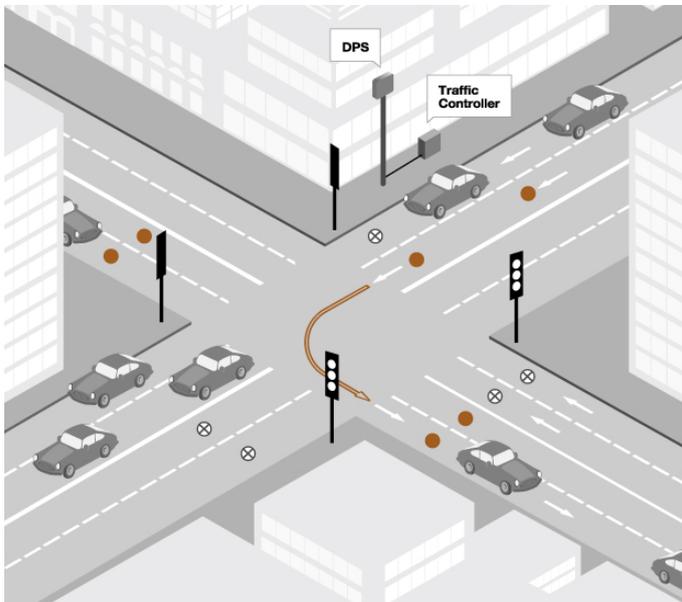
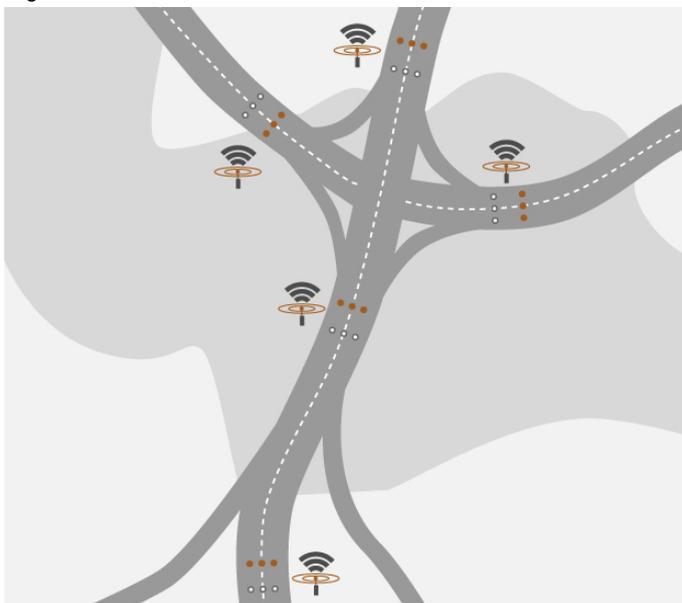


Figura 2



En el primer nivel de la arquitectura, se encuentran los nodos que monitorizan el tráfico en tiempo real. Estos nodos incluyen sensores magnéticos de bajo coste que permiten captar las perturbaciones magnéticas causadas por los vehículos en movimiento. Los datos de los sensores magnéticos son adquiridos, digitalizados y filtrados de manera continua, y alimentan un algoritmo de detección que se ejecuta en el microcontrolador y permite determinar si un vehículo se encuentra encima o no en cada instante.

La información de cada nodo independiente se transmite mediante un sistema de comunicación inalámbrico y se agrega en la estación de procesado, que es la encargada de llevar a cabo la consolidación de los datos de los sensores de la zona y los utiliza para efectuar el conteo de vehículos y el cálculo de otras métricas, como por ejemplo la longitud del vehículo y su velocidad instantánea. Es importante destacar que para el conteo de vehículos y el cálculo de su longitud es suficiente un único nodo, pero se necesitan un mínimo de dos nodos para medir la velocidad del vehículo.

Finalmente, la información consolidada se envía al servicio de gestión del tráfico, ubicado en la nube, que se encarga de consolidar los datos de una instalación y calcular estadísticas agregadas, como por ejemplo la estimación de entrada y salida de vehículos. Además, el servicio de gestión del tráfico también se encarga de la integración de la información del tráfico con las plataformas de gestión de movilidad, tanto en el ámbito urbano como interurbano.

Dos ejemplos de éxito de aplicación de la solución de monitorización de tráfico de SenseFields son el Eje Transversal y la de la plaza de Les Glòries, tal y como se describe a continuación.

1.1. Eje transversal

El Eje Transversal (C-25) es un tramo crítico de 150 kilómetros de longitud dentro de la autovía intereuropea, que conecta la península ibérica con el centro y el este de Europa. Esta sección empieza en el noreste de Barcelona. En el 2013, el Eje Transversal fue ampliado de dos a cuatro carriles por la empresa concesionaria que tiene los derechos de explotación durante 33 años, bajo un contrato de peaje en la sombra. Esta ampliación tenía como objetivo mejorar la seguridad vial, así como las conexiones interregionales entre el Pla de Lleida y Gerona, estimulando además el desarrollo territorial y económico de las regiones interiores de Cataluña.

Al tratarse de una concesión bajo un contrato de peaje en la sombra, recoger la información precisa del número de vehículos que circulan es un factor crítico para la concesionaria, ya que esta cobra según el número de vehículos que usan la autopista. Así pues, la concesionaria demanda una solución con un impacto mínimo en la infraestructura, de alta precisión, y un coste total bajo durante el periodo de explotación.

Nota

El tráfico en el Eje Transversal supera los 17.000 vehículos diarios, de los cuales entre un 20 % y 30 % son vehículos pesados.

Figura 3

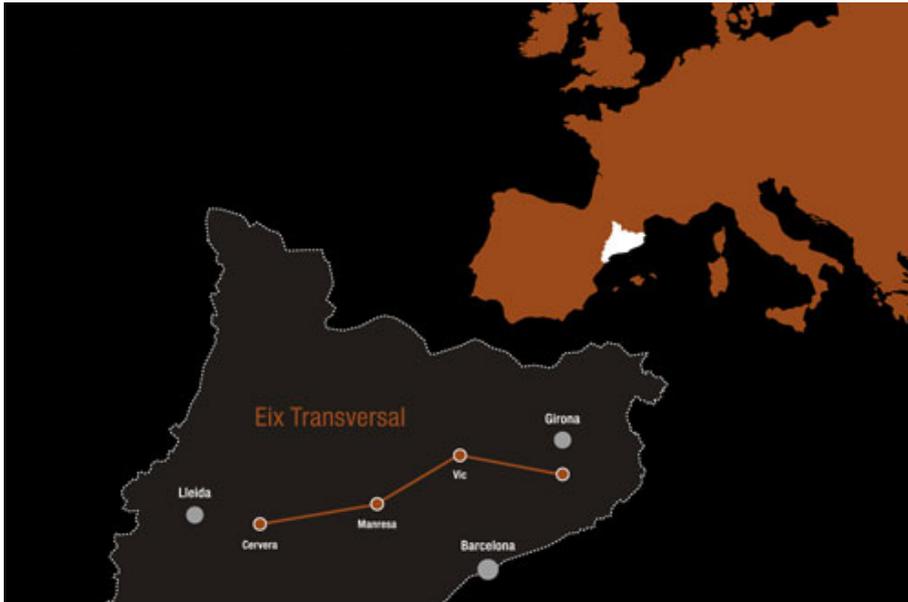


Figura 4



El sistema de detección de Sensefields fue seleccionado por la concesionaria para proveer esta tecnología crítica en su modelo de negocio, ya que cumplía la totalidad de requisitos y condiciones de fácil instalación, precisión y coste bajo de instalación y mantenimiento, además de la plataforma de gestión mejorada ofrecida.

Así pues, se desplegaron un total de 520 sensores y 39 estaciones de detección de vehículos a lo largo de todo el Eje Transversal. Además, la plataforma de gestión fue puesta en funcionamiento para la monitorización en tiempo real de la infraestructura y para el análisis en línea de la información del tráfico. Fastrack, el producto desarrollado por SenseFields, también se integró con otros sistemas de gestión para el cobro y la planificación del negocio. El mantenimiento en carretera de los sensores es llevado

a cabo por la concesionaria, sin necesidad de ningún tipo de personal o herramientas especializadas. SenseFields participa en el soporte técnico incluyendo actualizaciones de software, configuración remota, diagnósticos y mantenimiento.

1.2. Les Glòries

Les Glòries es un punto central de la ciudad de Barcelona. Tres de las grandes avenidas convergen en él: Gran Vía de les Corts Catalanes, avenida Meridiana y avenida Diagonal. Hasta el 2013, el espacio alrededor de Les Glòries fue gestionado por un paso elevado circular cuyo objetivo era aliviar la congestión del tráfico, pero que suponía barreras arquitectónicas significativas para los peatones.

En noviembre del 2013, el Ayuntamiento de Barcelona inició un proyecto de remodelación de Les Glòries para recuperar su antiguo uso, pensado por el arquitecto Ildefons Cerdà: un espacio central para la ciudad en el que las personas sean los protagonistas. El proyecto requería el desvío de tráfico de las calles adyacentes durante 18 meses de construcción, y posteriormente reordenar el tráfico en las nuevas calles.

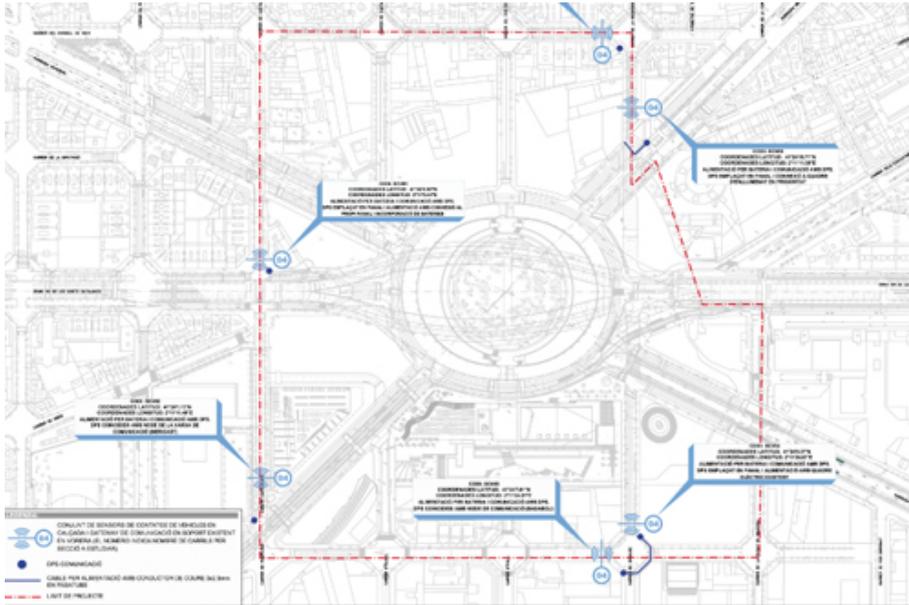
Nota

El tráfico diario en Les Glòries sobrepasa los 55.000 vehículos, con horas punta que superan los 5.000 vehículos/hora.

Figura 5



Figura 6



Así pues, con el objetivo de conocer cómo la zona de alrededor de *Les Glòries* iba a verse afectada por la ejecución del proyecto, el Ayuntamiento de la ciudad implementó una red de sensores para recoger información sobre el tráfico, además de otros parámetros como la calidad del aire y vibraciones causadas por las obras. Esta infraestructura provee de información antes, durante y después de la ejecución del proyecto, para evaluar el impacto de las tareas llevadas a cabo en los ciudadanos y mejorar la planificación de futuros proyectos.

2. Solución propuesta

En un ámbito tecnológico, existen diferentes retos a la hora de diseñar una solución de gestión de tráfico como la propuesta por SenseFields, desde la selección de los sensores magnéticos y los algoritmos para detectar los vehículos, hasta la arquitectura *cloud* para llevar a cabo la integración y consolidación de los datos. Teniendo en cuenta que esta PLA se centra en el ámbito de las comunicaciones, en este caso práctico nos centraremos en la problemática de conectividad del primer nivel de la jerarquía, es decir, cómo conectar los sensores con el sistema de procesado de datos.

Como se ha visto anteriormente, uno de los aspectos críticos de la solución es que esta sea fácil de instalar y no requiera de mantenimiento a lo largo de su vida útil. En particular, los nodos para la detección de los vehículos deben ir enterrados en el pavimento y el sistema de procesado de datos en el arcén o en una farola. Además, teniendo en cuenta que el coste de estos elementos no es despreciable, su tiempo de vida útil tiene que ser de varios años para que su instalación resulte viable desde un punto de vista económico. Estos requerimientos funcionales tienen implicaciones directas en la solución técnica en todos los ámbitos ya que, una vez instalados, no pueden ser reemplazados sin la afectación del tráfico ni un coste económico adicional.

En lo que refiere a las comunicaciones, una alternativa para la comunicación entre los sensores y el sistema de procesado de datos es utilizar un sistema de comunicaciones cableado, como por ejemplo Ethernet. Si bien esta alternativa permite garantizar un funcionamiento óptimo del sistema, esta presenta un problema principal que la hace inviable: su elevado coste de despliegue. Por tal motivo, esta opción se descartó al principio del desarrollo y se optó por una solución de comunicaciones inalámbrica. En particular, se optó por utilizar una tecnología de comunicaciones inalámbrica basada en el estándar IEEE 802.15.4. En concreto, SenseFields utiliza el estándar IEEE 802.15.4 operando en la banda ISM (*industrial, scientific and medical*) sub-GHz (868/915 MHz), y con una topología de red en estrella y una velocidad de datos de 20 kbps en el peor de los casos. En esta solución, tanto los nodos como el sistema de procesado de datos están equipados con un transmisor-receptor inalámbrico, que les permite enviar información sobre la detección de vehículos en tiempo real.

Si bien la solución inalámbrica basada en el estándar IEEE 802.15.4 operando en la banda sub-GHz facilita el despliegue de la solución para monitorizar el tráfico, esta también presenta algunos retos técnicos no menos importantes, que es importante conocer. En concreto, existen tres retos principales que hay que resolver, y que detallamos a continuación.

El primer reto de la utilización de tecnologías inalámbricas se deriva de los propios requerimientos de la aplicación de monitorización de tráfico. Según las especificaciones técnicas, cada nodo debe funcionar de manera autónoma y continua durante un mínimo de cinco años para que este resulte rentable en un ámbito económico. Existen dos contribuidores principales al consumo energético del sistema, el microcontrolador y el radiotransmisor. Por un lado, el microcontrolador ejecuta de manera continua la adquisición y el filtrado digital de la señal procedente del sensor magnético para llevar a cabo la detección de paso de vehículos, por lo que su contribución al consumo total del sistema es crítica. Por otro lado, el transceptor de radiocomunicaciones debe enviar un paquete de datos al sistema de procesado de datos cuando se detecta un vehículo, y también debe permitir la recepción de paquetes de datos provenientes del sistema de procesado de datos de manera asíncrona. En este sentido, uno de los contribuidores clave al consumo del sistema es el protocolo de acceso al medio, pues determina cuándo los dispositivos pueden enviar y recibir datos.

Nota

Además de los estudios de cobertura, para casos extremos la empresa también ha desarrollado nodos repetidores. La función de estos nodos es retransmitir los mensajes de los nodos y el sistema de procesado de datos, con el objetivo de mejorar la cobertura del sistema. Si bien esta alternativa permite reducir los problemas de cobertura, incrementa el coste final de la solución y reduce la escalabilidad de la misma.

El segundo reto es la cobertura de la red inalámbrica entre los nodos y el sistema de procesado de datos. En este sentido, utilizar una velocidad de transmisión de datos baja (en torno a 20 kbps en el peor de los casos) y utilizar la banda sub-GHz (868/915 MHz en lugar de utilizar la banda 2.4 GHz) permite aumentar la distancia de comunicación y reducir el número de sistemas de procesado de datos. A pesar de ello, el hecho de que los nodos estén enterrados debajo del pavimento y que no haya un puesto predefinido para el sistema de procesado de datos hace que cada instalación sea diferente. Por tanto, como parte de su trabajo de investigación, la empresa ha desarrollado modelos de propagación en entornos reales que le permiten estimar la atenuación esperada en función de la distancia y posición relativa de los dispositivos. Con estos datos, es posible estimar *a priori* el número de sistemas de procesado de datos necesarios para dar un nivel de cobertura suficiente a los nodos desplegados.

Nota

Considerando que los dispositivos funcionan de manera ininterrumpida y que cuentan con una batería de 68 Ah, el consumo promedio debe estar en torno a 1.5 mA de promedio. En realidad, el consumo de un sistema electrónico depende de la temperatura a la que opera; a mayor temperatura, mayor es el consumo eléctrico. Por tanto, teniendo en cuenta que el sistema debe operar en un rango de temperatura industrial (-20/+85 grados centígrados), el consumo promedio real del sistema tiene que estar un orden de magnitud por debajo para garantizar su longevidad de manera independiente del entorno.

El tercer reto es el funcionamiento del sistema en un entorno real, teniendo en cuenta que las bandas 868/915 MHz (y también la banda 2.4 GHz) son bandas libres para uso industrial, científico y médico (ISM; *industrial, scientific and medical*) y, por tanto, las pueden utilizar otros sistemas. Si bien las regulaciones de las bandas ISM determinan el uso que se puede hacer según la aplicación, así como los niveles de potencia y los tiempos de guarda en cada caso, lo que limita los efectos de las interferencias

entre sistemas, una densidad elevada de dispositivos en una misma zona geográfica puede tener efectos en el correcto funcionamiento de los dispositivos individuales y del sistema como conjunto. Por ejemplo, un nivel elevado de interferencia en una banda puede suponer la retransmisión de paquetes y esto, a su vez, puede tener un efecto negativo en la vida útil de los dispositivos, debido a las retransmisiones. Por otro lado, el hecho de utilizar las bandas libres 868/915 MHz tiene implicaciones en un ámbito de gestión de producto, ya que las regulaciones de estas bandas no están armonizadas en un ámbito mundial.

Nota

Entre los mecanismos para mitigar las interferencias, destacan los mecanismos de cambio de canal adaptativos. Estos mecanismos se basan en utilizar diferentes canales dentro de la misma banda para la comunicación entre dispositivos, de modo que la probabilidad de interferencias disminuye en función del número de canales utilizados. Además, estos mecanismos utilizan *black listing*, de modo que los canales con peores condiciones nunca son utilizados.

Conclusión

Como se ha visto a lo largo de este caso de uso, el modelo de negocio de SenseFields se basa en el conteo de vehículos y el valor que tienen los datos de tráfico para terceros, ya sea en el caso del peaje a la sombra o en el caso de la gestión inteligente del tráfico. Este modelo de negocio solo es posible gracias a una solución extremo a extremo, de los sensores a la nube, que permite llevar a cabo el conteo de vehículos de manera completamente digital y su integración en los sistemas de información de gestión inteligente del tráfico. En este sentido, las comunicaciones inalámbricas entre los nodos y el sistema de procesamiento de datos son clave, pues habilitan el funcionamiento autónomo del sistema, y reducen los costes de despliegue y mantenimiento de la solución. Como se ha visto, el sistema basado en IEEE 802.15.4 en la banda sub-GHz utilizado hasta la fecha presenta ventajas, pero también supone retos a la hora de llevar a cabo el despliegue.

En este sentido, actualmente estamos vislumbrando una (r)evolución de las tecnologías utilizadas para la conectividad: la aparición de tecnologías de comunicación inalámbricas de largo alcance y bajo consumo (LPWA, *low-power wide area*), como por ejemplo SigFox y LoRa, y la adaptación de las tecnologías de red celular clásicas para su aplicación al ámbito del internet de las cosas (NB-IoT, *narrowband IoT*). Estas soluciones mejoran sustancialmente la distancia de comunicación gracias al uso de modulaciones robustas, por lo que reducen los requerimientos de conectividad a la hora de llevar a cabo una instalación. Por contra, estos sistemas presentan algunas limitaciones técnicas y de modelo de negocio que hay que tener en cuenta a la hora de implementarlos en un producto, tal y como se ha visto en los materiales de este material.