

# Comunicaciones Infraestructura a Vehículo basadas en IEEE 802.15.4 para Señalización Vial Inalámbrica

David de la Fuente, Héctor Moner y Javier Gozalvez

dfuente@umh.es, hmoner@umh.es, j.gozalvez@umh.es

Uwicore, Ubiquitous Wireless Communications Research Laboratory, [www.uwicore.umh.es](http://www.uwicore.umh.es)  
Universidad Miguel Hernández de Elche, Avda. Universidad s/n, 03202 Elche, España.

**Abstract**— Wireless communications are enabling a new set of Intelligent Transportation Systems (ITS) solutions based on the exchange of information between vehicles, and between vehicles and infrastructure nodes. In this context, the INTEL VIA project has proposed a novel road signaling system based on IEEE 802.15.4 wireless communications, and designed to allow a more dynamic road signaling and traffic management. In this context, this paper presents the results of field tests conducted to investigate the communications capabilities of this road signaling solution with fast moving vehicles. The obtained results demonstrate that adequate communication ranges and transmission windows can be obtained with a careful deployment and dimensioning.

## I. INTRODUCCIÓN

Los sistemas inteligentes de transporte (ITS, *Intelligent Transportation Systems*) se caracterizan por un uso intensivo de tecnologías TIC (Tecnologías de la Información y Comunicación) con el fin de mejorar la seguridad y gestión vial, además de reducir el impacto medioambiental y energético del transporte en carretera. En este contexto, son varias las iniciativas y proyectos que están evaluando el potencial y beneficios de las tecnologías de comunicaciones inalámbricas aplicadas a los sistemas ITS. Una de las principales iniciativas a nivel nacional es el proyecto INTEL VIA (<http://www.intel-via.org>), el cual está trabajando en el desarrollo y aplicación de sistemas ITS cooperativos. Los sistemas ITS cooperativos posibilitarán una notable mejora en la seguridad vial y una gestión más dinámica del tráfico gracias al intercambio de información entre vehículos (V2V, *Vehicle to Vehicle Communications*), y entre vehículos y nodos de infraestructura (V2I, *Vehicle to Infrastructure Communications*). Dentro del contexto de los sistemas ITS cooperativos, INTEL VIA está trabajando en la implementación, de acuerdo a la arquitectura ITS cooperativa definida en el Comité Técnico ITS del ETSI (*European Telecommunications Standards Institute*) [1], de una plataforma de comunicaciones vehiculares multi-tecnología sobre la plataforma software OSGi. Otra importante innovación del proyecto INTEL VIA es la creación de una nueva red de señalización vial electrónica que permita una gestión más dinámica y variable del tráfico de forma ubicua. Para ello, la red de señalización INTEL VIA desplegará una red mallada de nodos de comunicación inalámbrica de bajo coste que transmitirán la información de señalización a los vehículos, y podrán ser configurados remotamente desde el

centro de control, posibilitando de esta forma una gestión dinámica y contextual de la señalización vial.

El proyecto INTEL VIA incorpora la tecnología de comunicación IEEE802.11p [2] que está siendo adoptada de forma prioritaria para sistemas ITS cooperativos en su plataforma vehicular multi-tecnología. Sin embargo, su uso no ha sido considerado para la implementación de la red de señalización vial inalámbrica dado que el coste de los dispositivos IEEE802.11p la haría inviable a día de hoy. Por ello, la red de señalización vial inalámbrica que propone el proyecto INTEL VIA se basa en tecnologías de comunicaciones IEEE 802.15.4 [3], ampliamente utilizadas en redes sensoriales inalámbricas. La tecnología IEEE 802.15.4 se caracteriza por el bajo coste y consumo de sus nodos, así como por cierta capacidad de procesamiento y configuración, que si bien puede ser limitada, es suficiente para las necesidades del proyecto INTEL VIA. Aunque la tecnología IEEE 802.15.4 ha sido aplicada con éxito en una gran variedad de entornos, su eficacia en aplicaciones donde los nodos pueden desplazarse a gran velocidad (por ejemplo, vehículos), requiere de un cuidadoso análisis de las condiciones de conectividad y comunicaciones radio con el fin de asegurar una comunicación fiable, y poder planificar un despliegue de los nodos que conforman la red de señalización óptimo y eficiente. En este contexto, conviene destacar que existen varios estudios que han probado la conectividad IEEE 802.15.4 en entornos vehiculares. Por ejemplo, en [4] se estima el alcance de la comunicación en función de la velocidad y el tipo de antena utilizado (omnidireccional o directiva), mientras que en [5], los autores evalúan los niveles de RSSI (*Received Signal Strength Indication*) medidos en función de la distancia, velocidad del vehículo y altura del nodo infraestructura. El estudio presentado en [6] considera también el tiempo de conexión, y la probabilidad de recepción en dicho tiempo para cada una de las velocidades analizadas. Finalmente, conviene también destacar el trabajo publicado en [7] donde los autores analizan la influencia de la ubicación del nodo de infraestructura y del nodo vehicular en la calidad de las comunicaciones. Si bien estos estudios han permitido un primer conocimiento de las posibilidades que la tecnología 802.15.4 ofrece para las comunicaciones vehiculares, la mayoría han sido realizados en entornos controlados donde es difícil reproducir condiciones adversas de transmisión que podrían afectar al rendimiento y funcionamiento de la red de señalización inalámbrica. Por ello, es necesario un análisis más exhaustivo antes de considerar el posible despliegue de

una red de señalización vial basada en nodos IEEE 802.15.4. En concreto es importante analizar cuestiones de índole tecnológica (por ejemplo, la banda de frecuencias, las características de los nodos, etc), y sobre todo cuestiones relacionadas con el despliegue y operatividad de una posible futura red de señalización vial inalámbrica; por ejemplo, perfil del terreno, condiciones de visibilidad u otro tipo de elementos obstructores (medianas con vegetación, apantallamiento producido por otros vehículos, curvas, rotondas, etc.), y el tráfico en las carreteras, entre otros. En este contexto, el presente artículo presenta los primeros resultados de una exhaustiva campaña de medidas realizadas en el marco del proyecto INTEL VIA para evaluar la conectividad IEEE 802.15.4 en entornos vehiculares.

## II. DISPOSITIVOS RADIO

Dada la gran variedad de dispositivos 802.15.4 existentes en el mercado y sus diferentes características, se han realizado unas primeras pruebas de campo para analizar la calidad de las comunicaciones de dispositivos de diferentes fabricantes. Tras una búsqueda de los dispositivos existentes, se ha realizado una primera selección de nodos en base a: potencia de transmisión, consumo, alcance, antena externa, frecuencia de trabajo, antecedentes de pruebas a alta velocidad, y accesibilidad de la pila de protocolos implementada. En la Tabla 1, se muestra la primera selección de dispositivos realizada y sus principales características.

Dispositivo	Fabricante	Frecuencia (MHz)	Potencia (dBm)	Sensibilidad (dBm)
Mica2	Memsic	868	5	-98
MicaZ	Memsic	2400	0	-94
IRIS	Memsic	2400	3	-101
Xbee-PRO	Digi	2400	17	-102
MRF24J40	Microchip	2400	0	-95
ANY 900-2	AN Solutions	868	5	-110

Tabla 1. Preselección de nodos.

A partir de esta primera selección de dispositivos se han realizado diferentes pruebas de campo con el fin de seleccionar el nodo de comunicaciones óptimo para el despliegue de la red de señalización vial inalámbrica que propone el proyecto INTEL VIA. En base a las pruebas realizadas, el equipo investigador ha seleccionado para el proyecto INTEL VIA el nodo IRIS de Memsic, pues además de ofrecer un entorno de programación abierto, ofrece el mejor balance entre potencia, consumo energético y calidad de transmisión. El dispositivo Xbee-PRO ofrecía mejor calidad dada su alta potencia de transmisión (y consecuente consumo energético). Sin embargo, el uso de un amplificador de potencia junto al nodo IRIS permitió alcanzar rangos de comunicación similares a los obtenidos con los nodos Xbee-PRO con un menor consumo energético.

Una vez elegido el dispositivo de comunicaciones, se realizó una segunda serie de pruebas campo para determinar la mejor ubicación del nodo en el vehículo (capo, parte delantera del techo, parte trasera del techo y maletero). Las pruebas realizadas en diferentes direcciones de desplazamiento con respecto al nodo de infraestructura han puesto de manifiesto que la ubicación que proporciona los mejores niveles de cobertura y calidad de recepción es la parte trasera del techo.

## III. PRUEBAS DE CAMPO

Una vez elegido el dispositivo de comunicaciones y su ubicación óptima en el vehículo, se ha realizado una exhaustiva campaña de medidas para analizar la calidad de las comunicaciones en diferentes escenarios y condiciones de operación. En concreto, se ha analizado el efecto de la altura del nodo de infraestructura, de la potencia de transmisión, y de la presencia de medianas con vegetación. Esta campaña permitirá a posteriori dimensionar adecuadamente la red de señalización vial inalámbrica que propone INTEL VIA, y proporcionar información relevante sobre las principales consideraciones a tener en cuenta a la hora de decidir el emplazamiento de cada uno de los nodos que conforman la red de señalización.

### A. Metodología

Para la realización de la campaña de medidas se han utilizado dos motes “IRIS” (emisor y receptor) y antenas omnidireccionales. El nodo emisor, o nodo infraestructura, se ubica en un lado de la vía, y envía paquetes periódicamente en modo broadcast. Este nodo ejecuta una aplicación que permite configurar la potencia de transmisión, el tamaño de payload de los paquetes, y su periodo de emisión. El nodo receptor, instalado en la parte trasera del techo del vehículo, ejecuta una aplicación que envía a través del puerto serie los paquetes recibidos a un ordenador que actúa a modo de *logger*. El *logger* guarda en memoria para cada paquete recibido, la hora de recepción, el nivel de señal recibida (RSSI), y el indicador de calidad del enlace (LQI) especificado en el estándar IEEE 802.15.4 [3]. Al mismo tiempo que se realiza la captura de paquetes radio, se registra la posición del nodo receptor mediante un dispositivo GPS de alta precisión (Novatel Smart-V1-2US-PVT), con el fin de geo-referenciar cada uno de los paquetes recibidos. El nodo emisor está ubicado en la vía sobre un mástil neumático de altura variable.

### B. Influencia de la altura del nodo infraestructura

El escenario elegido para analizar la influencia de la altura del nodo infraestructura sobre el rango de transmisión es un tramo de vía rápida entre Elche y Alicante (*Vía Parque*, a la altura del polígono industrial de Torrellano), con dos sentidos de circulación y dos carriles por sentido separados por una mediana de 12 metros sin vegetación. La anchura del carril es de 3.5 metros y la velocidad máxima permitida es de 80 Km/h. La Fig. 1 muestra el tramo seleccionado para las pruebas, el cual se caracteriza por un tramo recto de unos 900 metros, seguido de una curva poco pronunciada de unos 600 metros. Al comienzo de la curva, existe un muro metálico de 2 metros de altura y unos 175 metros de longitud, anexo a la vía y ubicado en el mismo arcén que el nodo emisor.



Fig. 1. Escenario 1: influencia de la altura del nodo infraestructura.

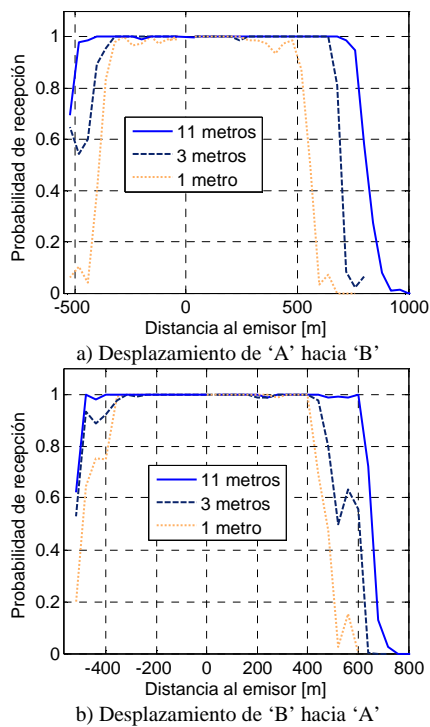


Fig. 2. Probabilidad de recepción para diferentes alturas del nodo emisor.

Durante las pruebas de campo realizadas, el nodo emisor o infraestructura transmite paquetes de 100 bytes cada 50ms con una potencia de transmisión de 3dBm. Por su parte, el nodo receptor (ubicado en el vehículo) recorre el escenario realizando dos pasadas para cada sentido a la velocidad máxima permitida en la vía. La Fig. 2 muestra la probabilidad de recepción de los paquetes transmitidos cuando el nodo emisor o infraestructura está desplegado a alturas de 1, 3 y 11 metros. Dichas alturas han sido escogidas al corresponderse con las alturas de hitos de arista, señales verticales y farolas desplegadas a lo largo de las carreteras, y que podrían ser utilizados como soporte para el despliegue de los nodos de comunicación que componen la red de señalización vial inalámbrica propuesta en INTEL VIA. Para la representación de los resultados, la posición del punto emisor ha sido definida como distancia cero. Asimismo, se consideran distancias positivas cuando el vehículo se encuentra en la zona comprendida entre el nodo emisor y el punto marcado con una 'A' en la Fig. 1, y distancias negativas cuando se encuentra en la zona delimitada por el nodo emisor y la marca 'B'. Los resultados mostrados en la Fig. 2. a) y b) se corresponden al caso en el que el vehículo circula por el sentido más alejado y más próximo respectivamente al nodo emisor.

En primer lugar, y como era de esperar, la altura del nodo emisor mejora la probabilidad de recepción. Por ejemplo, si se toma el rango de alcance de 1 metro como referencia en la Fig. 2. a) (considerando una probabilidad de recepción de 0,6 y distancias positivas), una altura de 3 metros permite incrementar el rango entorno a los 100 metros, mientras que el incremento es de unos 240 metros cuando la altura es de 11 metros. En el caso de distancias negativas, la rotonda marcada con una 'B' en el escenario 1, impide que haya línea de visión directa entre el nodo emisor y el nodo receptor cuando se cambia de sentido, provocando que la probabilidad de recepción disminuya. Este efecto influye de forma más notable cuando la altura es de 1 metro al ser bloqueada la señal de forma importante. Como muestran los resultados

obtenidos, dicho bloqueo es parcialmente evitado con alturas de 3 y 11 metros. La comparativa de los resultados mostrados en la Fig. 2.a) y b) muestra que los rangos de comunicación difieren notablemente en función al sentido de circulación y la proximidad del vehículo al nodo emisor. Cuando el nodo receptor recorre el escenario 1 de 'B' hacia 'A', los alcances se reducen, respecto a cuando hace el recorrido inverso, en 100 y 125 metros cuando las alturas del nodo emisor son de 1 y 11 metros respectivamente. Si bien este sentido de circulación correspondía a aquel más próximo al nodo emisor, la reducción del rango de comunicaciones es debida a la existencia del muro metálico, que además coincide con la curva del escenario y obstaculiza todavía más la recepción de paquetes en el nodo vehicular.

### C. Influencia de la potencia de transmisión

El efecto de la potencia de transmisión ha sido analizado sobre el mismo tramo de vía que en la sección anterior, si bien la ubicación del nodo emisor ha cambiado (Fig. 3). En este caso, el nodo emisor ha sido ubicado en un extremo del escenario para tratar de conseguir una línea de visión sin obstáculos lo más larga posible, e intentar medir el máximo rango de comunicación a medida que aumentamos la potencia de transmisión. El nodo emisor mantiene la configuración de comunicaciones previa, y su rango de comunicaciones ha sido medido con potencias de 3dBm (máxima potencia del nodo) y 17dBm (con amplificador externo tanto en emisor como receptor, incrementando para este último caso su sensibilidad en 11dB).



Fig. 3. Escenario 2: influencia de la potencia de transmisión.

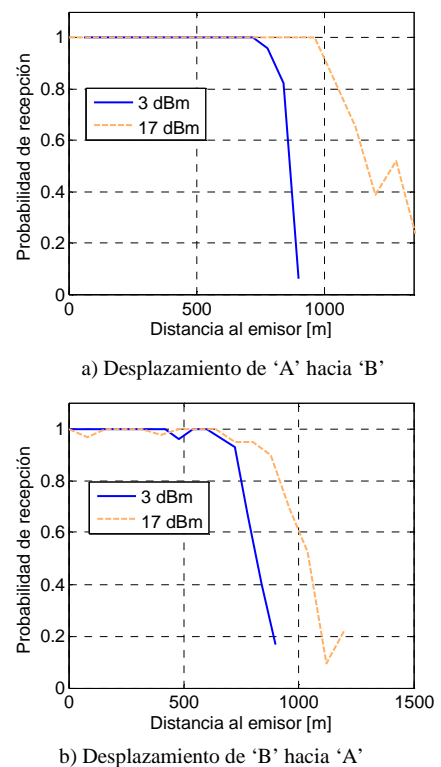


Fig. 4. Probabilidad de recepción con diferentes potencias de transmisión.



La Fig. 4 muestra la probabilidad de recepción para las potencias de transmisión consideradas cuando el nodo emisor o de infraestructura está ubicado a una altura de 3 metros. El incremento de la potencia de transmisión aumenta el rango de comunicaciones en más de 200 metros (considerando una probabilidad de recepción de 0,6 y distancias positivas). Sin embargo, convendría destacar que el rango alcanzable con 3dBm es bastante importante, y es cuestionable si el incremento alcanzado con 17dBm compensa el mayor consumo energético y menor autonomía de los nodos. El efecto de la potencia sobre el rango de comunicación se ve reducido cuando el vehículo se desplaza desde 'B' hacia 'A' debido a la presencia del muro metálico (coincide con la curva del escenario 1). Este elemento obstructor atenúa de forma notable el nivel de señal recibida por el vehículo.

#### D. Influencia de la mediana

El impacto de medianas con vegetación sobre el rango de comunicación alcanzable por el nodo de infraestructura ha sido analizado en un entorno urbano de Elche (Avenida UNESCO), compuesto por una vía con dos sentidos de circulación y dos carriles por sentido separados por una mediana de 12 metros con vegetación frondosa. La anchura del carril es de 3.5 metros y la velocidad máxima permitida es de 50 Km/h. Como se puede apreciar en la Fig. 5, el escenario, delimitado por dos rotondas, está compuesto por un tramo recto de unos 300 metros seguido de una curva poco pronunciada de unos 170 metros. El nodo emisor está situado a una altura de 3 metros, y transmite paquetes con una potencia de 3dBm (cada 50ms y payload de 100 bytes).

La Fig. 6 muestra el efecto de la mediana sobre la probabilidad de recepción. Los resultados referenciados como 'con mediana' hacen referencia al sentido de circulación más alejado del nodo emisor (de 'A' hacia 'B'), es decir al sentido que conlleva la presencia de la mediana entre el nodo receptor y el emisor. Por otro lado, los resultados referenciados como 'sin mediana' corresponden al sentido de circulación 'B' hacia 'A' (se evita en este caso el efecto de la mediana dada la posición del nodo emisor). Los resultados obtenidos muestran que la presencia de una mediana puede reducir casi a la mitad el rango de comunicaciones (distancias positivas y considerando una probabilidad de recepción del 0,6), y su presencia debe ser tenida muy en cuenta a la hora de diseñar y desplegar la red de señalización inalámbrica. Dicho efecto no es apreciable en las distancias negativas pues la curva y la rotonda dificultan la línea de visión directa, y anulan el efecto de la mediana. Un aumento de la potencia de transmisión, o un incremento en la altura del nodo emisor consiguen reducir parcialmente el efecto de la mediana.

#### IV. CONCLUSIONES

Este trabajo ha analizado la viabilidad de la tecnología IEEE 802.15.4 para posibilitar la comunicación entre nodos de infraestructura, que formarán parte de la red de señalización inalámbrica INTEL VIA, y vehículos desplazándose a velocidades medias o altas. Los resultados obtenidos han demostrado la posibilidad de obtener rangos de comunicación a medida que nos alejamos del nodo emisor entorno a 500 y 700 metros cuando el vehículo se desplaza a 80 km/h si tiene visión directa y se transmite con bajas potencias. Este rango ofrece una ventana temporal de comunicación de entre 22 y 31 segundos, la cual sería suficiente para garantizar la correcta transmisión de

información de señalización a vehículos cercanos. El incremento de la potencia de transmisión puede permitir rangos de cobertura en entornos reales con línea de visión directa cercanos a 1000 metros (la venta aumentaría a 90 segundos), si bien se reduce notablemente la autonomía de los nodos. Los resultados obtenidos también han mostrado que el rango de comunicaciones y la ventana temporal de transmisión son notablemente reducidos ante la presencia de elementos obstructores, si bien los resultados obtenidos para un entorno urbano posibilitan una ventana de comunicación de 21 segundos que sería suficiente para la transmisión de señalización a vehículos cercanos.



Fig. 5. Escenario 3: influencia de una mediana.

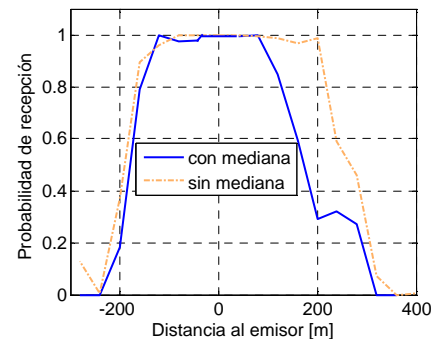


Fig. 6. Probabilidad de recepción en función a presencia de mediana.

#### AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido financiado por el Ministerio de Industria, Turismo y Comercio a través del proyecto INTEL VIA (número de referencia: TSI-020302-2009-90).

#### REFERENCIAS

- [1] ETSI Draft TS 102 665, "Intelligent Transport Systems (ITS); Communications Architecture", Enero 2010.
- [2] IEEE 802.11p-2010, "IEEE Standard for Local and metropolitan area networks – Specific requirements Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Wireless Access in Vehicular Environments", Julio 2010.
- [3] IEEE 802.15.4, "IEEE Standard for Local and metropolitan area networks—Specific requirements Part 15.4: Wireless Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications for Low-Rate Wireless Personal Area Networks (WPANs)", 2006.
- [4] A. Festag, et al. "Vehicle-to-Vehicle and Road-side sensor communication for enhanced road safety", *Proc. of 9th International Conference on Intelligent Tutoring Systems*, Montréal, 2008.
- [5] P. Keeratiwintakorn, et al., "Ubiquitous Communication for V2V and V2I for Thailand Intelligent Transportation System", *Proc. of 3rd International Conference on new Technologies, Mobility and Security*, Cairo, 2009.
- [6] P. Melo, et al., "Interconnecting WSNs with Fast Moving Nodes: Experiments in Real-World Scenarios", *Proc. of Second International Workshop on Sensor Networks*, San Francisco, 2009.
- [7] B. Arief, et al., "Integrating Smartdust into Intelligent Transportation System", *Proc. of the 10th International Conference on Application of Advanced Technologies in Transportation*, Atenas, 2008.
- [8] Shahin Farahani, "Zigbee wireless networks and Transceivers", Editorial: Burlington, MA: Elsevier y Newnes, cop. 2008.