

Rendimiento de LTE-V Modo 4 para vehículo conectado y autónomo

Rafael Molina-Masegosa y Javier Gozalvez

rafael.molinam@umh.es, j.gozalvez@umh.es

Dpto. de Ingeniería de Comunicaciones. Universidad Miguel Hernandez de Elche (UMH).
Avda. de la Universidad, s/n, 03202, Elche, España.

Abstract- LTE-V standard (also referred to as LTE-V2X or Cellular V2X) has recently been released, including support for V2V communications over LTE's direct interface (LTE Sidelink). The standard includes a mode called Mode 4, where vehicles do not depend on cellular infrastructure support to transmit. In this mode, a distributed radio resource management scheme referred to as Sensing-Based Semi-Persistent Scheduling, allows vehicles to select autonomously radio resources. This scheme makes LTE-V a possible alternative (or complement) to 802.11p in vehicular networks. In the last version of the standard, support for high transmission rates has been specified. This work presents a evaluation of Sensing-Based SPS for these high data rates in a highway scenario, quantifying the type of transmission errors and analyzing the areas where the Sensing-Based SPS needs further improvement.

I. INTRODUCCIÓN

Las comunicaciones vehiculares (*Vehicle-to-Vehicle*, V2V) mejorarán la seguridad vial al dotar a cada vehículo de un mayor conocimiento del contexto (posición, dirección, velocidad, etc.) de los vehículos que lo rodean. Las comunicaciones V2V se caracterizan por la transmisión de paquetes de pequeño tamaño (llamados *beacons* o CAM, *Cooperative Awareness Message*) con unos estrictos requisitos de baja latencia y alta fiabilidad. Estos *beacons* transmiten información vehicular básica como la posición, velocidad y dirección de un vehículo que permitirá a los vehículos cercanos detectar posibles riesgos o incidentes de seguridad vial. El estándar IEEE 802.11p ha sido desarrollado durante los últimos años para soportar estos requisitos. Sin embargo, algunos estudios como [1] muestran que esta tecnología puede sufrir problemas de escalabilidad y calidad de servicio (QoS) no garantizada. Como alternativa a 802.11p, el *Third Generation Partnership Project* (3GPP) completó en septiembre de 2016 el primer estándar para su *Release 14* que incluye soporte para comunicaciones V2V utilizando la interfaz directa de LTE (LTE *Sidelink*). Este estándar permite la comunicación directa entre vehículos utilizando tecnología LTE y sin intervención alguna de la infraestructura celular. A este tipo de comunicaciones se le conoce en la literatura como LTE-V, LTE-V2X o *Cellular V2X*. Algunos estudios indican que LTE-V alcanza un mejor rendimiento a nivel de enlace que 802.11p [2]. Tras la versión publicada en septiembre de 2016, los grupos de trabajo del 3GPP han seguido desarrollando este estándar, y hasta la última versión de marzo de 2017 se han añadido algunas modificaciones y funcionalidades, incluyendo soporte para mayores tasas de transmisión de *beacons* [3].

El punto de partida para el desarrollo de LTE-V han sido las comunicaciones directas entre terminales (*Device-to-*

Device, D2D) basadas en LTE *Sidelink*, y que fueron estandarizadas por primera vez en la *Release 12* para aplicaciones de seguridad pública. *Release 14* especifica dos nuevos modos de comunicación adaptados a los requisitos de las comunicaciones vehiculares¹. Por un lado, existe un modo asistido por la red celular (modo 3 en *Release 14*), en el que, a pesar de que la comunicación se realiza de forma directa entre dos vehículos, es la estación base (eNB) la que indica a cada nodo los recursos radio donde debe transmitir en tiempo y frecuencia. Por otro lado, se especifica un modo no asistido (modo 4 en *Release 14*), en el cuál cada vehículo escoge de forma autónoma los recursos donde transmitir [2] sin ningún tipo de asistencia por parte de la infraestructura celular. El modo 4 es importante para las comunicaciones V2V ya que éstas no pueden depender de la existencia o no de cobertura celular para funcionar.

LTE-V organiza los recursos radios (RB, Resource Blocks) en subcanales en frecuencia. Para el modo 4, *Release 14* especifica un nuevo mecanismo de selección de recursos denominado *Sensing-Based Semi-Persistent Scheduling* (*Sensing-Based SPS*). Su funcionamiento está basado en reservas semi-persistentes de recursos aprovechando la naturaleza periódica de los *beacons*, de forma que otros vehículos puedan estimar qué recursos están ocupados. Las evaluaciones de LTE-V existentes hasta la fecha se encuentran en los documentos de trabajo del propio 3GPP (p.e. [4]). Sin embargo, los análisis llevados a cabo hasta la fecha sólo muestran el rendimiento total en términos de ratio de entrega de paquetes (*Packet Delivery Ratio*, PDR), y consideran modelos de movilidad vehicular poco realistas y que puedan influenciar notablemente la densidad de vehículos, y por lo tanto el rendimiento y funcionamiento de LTE-V. En otros estudios como [5], se incluye un análisis del rendimiento de comunicaciones V2V basadas en LTE *Sidelink*, pero utilizando el modo 2 en lugar del nuevo estándar. En [6], los autores analizan el rendimiento de LTE-V modo 4 (*Release 14*, diciembre de 2016) para aplicaciones de vehículo conectado con tasas de transmisión de hasta 10 paquetes por segundo. Este artículo extiende el estado del arte existente al evaluar y comparar el rendimiento de LTE-V modo 4 para aplicaciones de vehículo conectado y autónomo en base a las modificaciones realizadas en *Release 14* en la versión de marzo de 2017. Las aplicaciones de vehículo autónomo

¹ Mientras que las comunicaciones D2D para aplicaciones de seguridad pública fueron diseñadas con el objetivo de mejorar la eficiencia energética, LTE-V ha sido diseñado con el fin de reducir la latencia y mejorar la escalabilidad de las redes vehiculares. Por ello, existen notables diferencias en la organización y gestión de los recursos radio entre LTE *Sidelink* para seguridad pública en *Release 12*, y LTE *Sidelink* para comunicaciones vehiculares en *Release 14*.

incrementan las tasas de transmisión hasta 50 paquetes por segundo. El estudio analiza y cuantifica de forma detallada el funcionamiento del algoritmo *Sensing-Based SPS* para ambas aplicaciones.

II. COMUNICACIONES LTE-V MODO 4

A. Estructura de trama y división de recursos

Un bloque de transporte (TB) en LTE-V contiene un *beacon* completo. En las comunicaciones LTE *Sidelink* es necesario que el emisor transmita un mensaje de control (SCI) asociado a la transmisión de cada TB para que el receptor pueda recibir y decodificar dichos datos. Este estudio considera que se dedica un canal de 10MHz en exclusiva a las comunicaciones V2V. El modo 4 de LTE-V divide en subcanales el ancho de banda disponible. Cada subcanal consta, en frecuencia, de un número de RBs (bloques de recursos con un ancho de 180 kHz) que puede variar según la implementación. En los dos primeros RBs de cada subcanal es posible enviar tanto un SCI como un TB con los datos del *beacon* (SCI+Datos en Fig. 1). En el resto de RBs del subcanal (Sólo Datos en Fig. 1) sólo es posible el envío de datos. Para cada transmisión, el SCI se transmite en la misma subtrama que el TB asociado, y ocupa los 2 RBs en los que se pueden transmitir SCIs del primer subcanal utilizado. El TB se transmite en los RBs que se encuentran a continuación de los usados para el SCI, ocupando si es necesario los RBs de los siguientes subcanales hasta acomodar su tamaño. Llamaremos al conjunto formado por la transmisión de un SCI y su TB asociado en la misma subtrama SCI+TB. El TB no puede subdividirse en varios bloques por lo que todos los RBs que ocupe deben ser contiguos siempre.

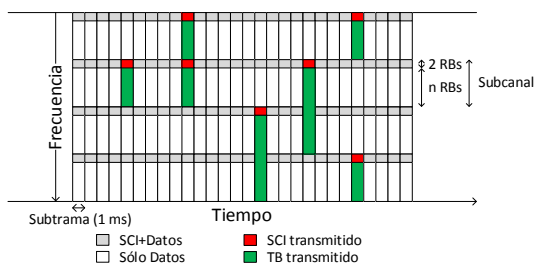


Fig. 1. Estructura de trama y ejemplo de transmisiones en los recursos.

B. Algoritmo de selección *Sensing-Based SPS*

Un vehículo no reserva un subcanal diferente para cada SCI+TB que debe transmitir, sino que volverá a utilizar el mismo subcanal para transmitir un número consecutivo de paquetes espaciados por un tiempo igual al intervalo de generación de paquetes. Este intervalo puede ser de 100 subtramas (tasa de generación de 10 paquetes por segundo), o múltiplos de 100 subtramas hasta un máximo de 1000 subtramas (1 paquete por segundo), si bien la nueva revisión del *Release 14* en marzo de 2017 permiten mayores tasas de transmisión (ver apartado II.C). El intervalo entre paquetes es indicado en el SCI. La reserva semi-persistente de recursos permite a los demás vehículos conocer, o al menos estimar, qué recursos van a estar libres.

Un vehículo puede utilizar un mismo subcanal para transmitir entre 5 y 15 paquetes. Este número es escogido aleatoriamente (y almacenado en un contador) cada vez que un vehículo debe seleccionar nuevos subcanales. El contador es decrementado en uno cada vez que el vehículo transmite un paquete empleando el mismo subcanal. El vehículo deberá

seleccionar un nuevo subcanal de transmisión cuando el contador llegue a cero, o tenga que transmitir un paquete cuyo tamaño sea superior al del subcanal reservado.

Cuando un vehículo debe seleccionar un nuevo subcanal considera todos aquellos que se encuentran entre la subtrama actual (en la que se genera el paquete) y el límite máximo de latencia (100ms). Este conjunto de recursos es denominado ventana de selección. Dentro de la ventana de selección, se define un recurso candidato (CR) como cualquier conjunto de subcanales adyacentes en una misma subtrama en los cuales puede ser acomodado el paquete a transmitir. De entre estos, el vehículo excluirá aquellos recursos candidatos que cumplan las siguientes condiciones:

- El vehículo ha recibido anteriormente un SCI indicando que se va a transmitir en dicho recurso candidato.
- El vehículo mide un nivel de Potencia Recibida de Señal de Referencia (RSRP) en los RBs ocupados por el TB asociado al SCI recibido de la primera condición que supera un cierto umbral.

El conjunto de recursos candidatos no excluidos debe ser superior al 20% de todos los recursos candidatos en la ventana de selección. En caso contrario, el vehículo reevalúa las dos condiciones anteriores aumentando 3dB el umbral de RSRP. Entre todos los recursos candidatos no excluidos, se selecciona un subconjunto que sea igual al 20% del total de recursos candidatos en la ventana de selección. Este conjunto estará formado por los recursos candidatos con un menor Indicador de Potencia de Señal Recibida (RSSI) promedio medido para todos sus RBs en las subtramas $T_{CR}-100*j$, siendo T_{CR} la subtrama del recurso candidato y j cualquier número entero entre 1 y 10 (Fig. 2). Dentro de este 20%, se escoge de manera aleatoria el recurso candidato seleccionado para transmitir.

Por último, conviene destacar que el estándar permite realizar una retransmisión de cada paquete para aumentar la fiabilidad. En ese caso, el vehículo envía dos SCI+TB iguales por cada paquete, y escoge el recurso candidato para la retransmisión dentro del mismo 20% que la transmisión inicial, con la restricción de que la retransmisión debe estar en el rango temporal $ST \pm 15ms$, siendo ST la subtrama escogida para la transmisión inicial.

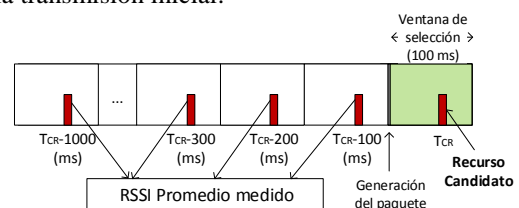


Fig. 2. RSSI promedio de un recurso candidato.

C. Última revisión de *Release 14* (marzo 2017)

La última reversión del estándar (marzo 2017) da soporte a mayores tasas de transmisión de paquetes, en concreto 20 (20paq/s) y 50 paquetes por segundo (50paq/s), que se corresponden con intervalos entre paquetes de 50ms y 20ms respectivamente. El propósito de este aumento es que LTE-V pueda ser empleado para aplicaciones de vehículo autónomo. Con el fin de poder dar soporte a mayores tasas de transmisión, la última modificación del estándar ha realizado algunas modificaciones sobre el algoritmo *sensing-based SPS*. En concreto, reduce la ventana de selección al ser el límite de latencia de 50ms o 20ms. Por otro lado, la reserva de recursos se mantiene para un número de paquetes elegido aleatoriamente entre 10 y 30 en el caso de transmitir 20paq/s,

y 25 y 75 para 50paq/s. Además, el promedio de RSSI para escoger el 20% de recursos candidatos es calculado para j entre 1 y 20 (20paq/s) o entre 1 y 50 (50paq/s).

III. ENTORNO DE SIMULACIÓN Y PARÁMETROS

El entorno de simulación utilizado es el simulador Veins, que integra la simulación de comunicaciones en OMNET++ con la simulación de tráfico en SUMO. Este trabajo ha implementado sobre Veins una nueva interfaz LTE-V modo 4. El trabajo se centra en un escenario de autopista definido en [7] por el 3GPP. El escenario consta de una autopista de 5km con 3 carriles en cada sentido. Para las estadísticas sólo se toma en cuenta el rendimiento de las comunicaciones en los 2km centrales. La densidad de vehículos es de 120 vehículos por kilómetro, y los vehículos avanzan a una velocidad de 70km/h.

El simulador utiliza el modelo de *pathloss* WINNER+ B1, y modela el *shadowing* con una distribución Log-Normal con desviación estándar de 3dB y con correlación espacial tal y como se especifica en [7]. El simulador modela el rendimiento de la capa física de LTE-V a través de las curvas BLER (*Block Error Rate*)-SNR (*Signal to Noise Ratio*) incluidas en [8]. Las simulaciones consideran un canal de 10MHz en la banda de 5.9GHz dedicado en exclusiva para comunicaciones V2V. Se asume sincronización perfecta y las transmisiones se realizan con una potencia de 20dBm, con figura de ruido de 9dB y el mismo modelado de *In-Band Emission* (IBE) que el utilizado en [7].

Los paquetes son generados usando el modelo de [7], diseñado como una simplificación de los *beacons* transmitidos en redes vehiculares. Se generan paquetes de forma periódica. Uno de cada cinco paquetes tiene un tamaño de 300 bytes, mientras que los otros cuatro tienen un tamaño de 190 bytes. Los paquetes de 300 bytes son codificados con un MCS (Esquema de Modulación y Codificación) QPSK 0,5 que hace que sus TB ocupen 20 RBs, mientras que los paquetes de 190 Bytes se codifican con QPSK 0,7 que supone una ocupación de 10 RBs por cada TB. Se definen subcanales de 12 RBs en frecuencia (2 RBs para SCI y 10 RBs sólo para datos), de forma que en el canal de 10MHz (50 RBs) caben 4 subcanales por subtrama de 1ms. El umbral de RSRP para excluir recursos en reselección ha sido fijado en -110dBm. Se realizan suficientes simulaciones para asegurar un error relativo menor al 5% en los resultados.

IV. ANÁLISIS

Las Fig. 3 y Fig. 4 representan la proporción de paquetes entregados correctamente (PDR, *Packet Delivery Ratio*) en función a la distancia entre emisor y receptor para tasas de transmisión de 10paq/s y 50paq/s respectivamente. Se incluye el resultado para el algoritmo *Sensing-Based SPS* (*Sensing*), así como para el caso de una selección aleatoria de recursos (*Random*) dentro de la ventana de selección. Para ambos casos se analiza la PDR para una transmisión SCI+TB por paquete o dos. Para una tasa de 10paq/s (Fig.3), que supone una ocupación del canal media-alta para la densidad de vehículos simulada, la ganancia que obtiene *Sensing-Based SPS* es significativa hasta medias distancias. Esta ganancia decrece a distancias lejanas hasta prácticamente anularse. Para una tasa de 50paq/s (Fig. 4), que supone una ocupación muy alta del canal, *Sensing-Based SPS* sigue mejorando respecto a *Random* en cortas distancias, pero esta mejora decrece hasta incluso

transformarse en un empeoramiento de la fiabilidad para mayores distancias. Atendiendo a la diferencia entre transmitir uno o dos SCI+TB, observamos que con 10paq/s la retransmisión mejora excepto para distancias lejanas, mientras que para 50paq/s la sobrecarga del canal hace que empeore la fiabilidad salvo para distancias prácticamente nulas.

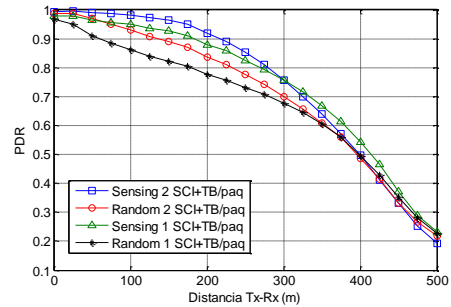


Fig. 3. PDR en función de la distancia emisor-receptor (10 paq/s).

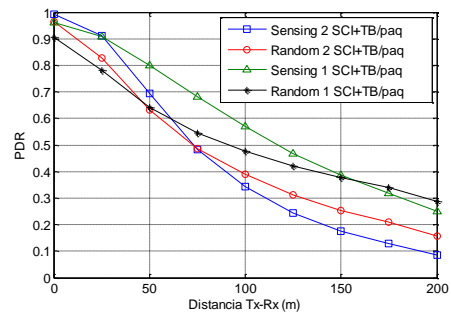


Fig. 4. PDR en función de la distancia emisor-receptor (50 paq/s).

Para explicar las tendencias observadas en Fig. 3 y Fig. 4, analizamos los errores de transmisión que ocurren en estos escenarios. Concretamente, desglosaremos los fallos de transmisión por cada SCI+TB, clasificándolos en cuatro tipos:

- 1) *Half Duplex*: El receptor no puede recibir un TB al estar transmitiendo en la misma subtrama temporal.
- 2) *Propagación*: La recepción de un TB no ha fallado por 1), pero falla al no ser recibido con suficiente nivel de señal (sin tener en cuenta interferencias) para decodificarlo.
- 3) *Colisión*: La recepción del TB no ha fallado por 1) ni 2), pero fallado por las interferencias de otras transmisiones.
- 4) *No SCI*: La recepción del TB habría sido correcta si el SCI asociado hubiera sido recibido correctamente pero no se recibe (la recepción es independiente de la del TB).

Si no se da ninguno de estos cuatro tipos de fallos, el TB es recibido correctamente. Llamaremos N_{total} al número total de TBs transmitidos (equivalente al número de transmisiones individuales). Además, llamaremos N_{sensed} al subconjunto de N_{total} que se reciben con una SNR suficiente, es decir, no fallan por *Half Duplex* ni propagación, independientemente de que fallen por otro tipo de fallos o no (Fig. 5).

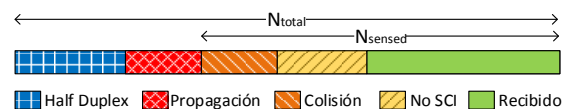


Fig. 5. Tipos de errores de transmisión para los TB.

Fig. 6 y Fig. 7 representan el porcentaje de TB recibidos erróneamente por cada tipo de error respecto a N_{total} , para tasas de 10paq/s y 50paq/s respectivamente y utilizando el algoritmo *Sensing-Based SPS* con 1 SCI+TB por paquete. Las gráficas ofrecen información de la magnitud absoluta de cada

tipo de error según la distancia. En Fig. 8 se representa el porcentaje de TB recibidos erróneamente por colisión respecto a N_{sensed} para 1 SCI+TB por paquete en ambas tasas. Esta gráfica ofrece información sobre la magnitud de los problemas por colisiones independientemente de los fallos por *Half Duplex* o propagación. En última instancia, permite estimar el rendimiento del algoritmo *Sensing-Based SPS* comparado con la selección aleatoria (*Random*).

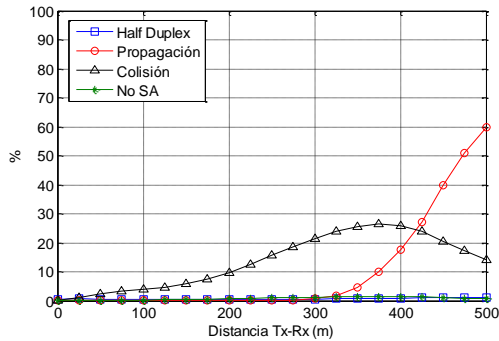


Fig. 6. Porcentaje de TB con cada tipo de error respecto a N_{total} (10paq/s, *Sensing-Based SPS*, 1 SCI+TB).

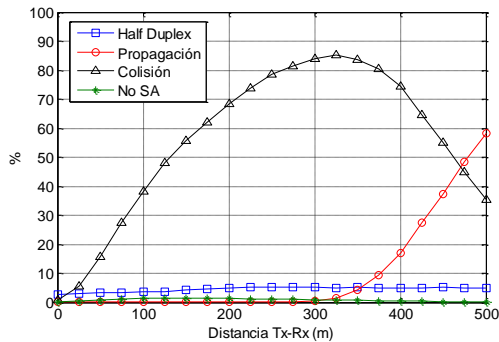


Fig. 7. Porcentaje de TB con cada tipo de error respecto a N_{total} (50paq/s, *Sensing-Based SPS*, 1 SCI+TB).

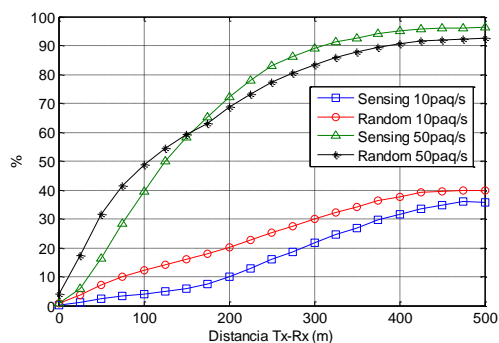


Fig. 8. Porcentaje de TB recibidos incorrectamente por colisiones respecto a N_{sensed} (*Sensing-Based SPS*, 1 SCI+TB).

Las Fig. 6 y Fig. 7 muestran cómo los fallos por propagación sólo afectan a distancias lejanas dado el rendimiento de la capa física de LTE-V. Esto hace que la selección de recursos cobre importancia, ya que la mayoría de fallos hasta los 400m son por colisión. Atendiendo al problema de *Half Duplex* se observa que para 50paq/s deja de ser despreciable y llega hasta el 5% incluso a distancias cortas. Este efecto es debido a la reducción de la ventana de selección a sólo 20ms. Es de destacar que este problema es independiente de la ocupación del canal (responde sólo a la probabilidad de escoger la misma subtrama que el emisor), por lo que se daría también con menor densidad de vehículos. La retransmisión de

cada SCI+TB evitaría este problema, pero doblaría la carga del canal produciendo más colisiones. La Fig. 4 muestra que se obtiene mejor rendimiento sin retransmisión al reducirse las colisiones, pero incluso a distancias casi nulas no se supera el 95% de fiabilidad debido al problema de *Half Duplex*. La retransmisión sólo obtiene mejora para distancias muy cercanas en las cuáles predominan los fallos por *Half Duplex* sobre las colisiones. La Fig. 8 muestra cómo *Sensing-Based SPS* es capaz de reducir las colisiones respecto a la selección aleatoria a distancias cercanas para ambas tasas de transmisión. Sin embargo, *Sensing-Based SPS* pierde eficacia al aumentar la distancia y la ocupación del canal debido, fundamentalmente, a un problema de terminal oculto, similar a lo que ocurre en sistemas CSMA como 802.11p. Para una ocupación muy alta como en el caso de 50paq/s, este problema aparece incluso a distancias medias debido a que sólo son excluidos de la selección los recursos de transmisiones más cercanas. Prácticamente, es como si el rango de escucha para evitar colisiones se redujera haciendo que haya terminales ocultos a distancias relativamente cercanas.

V. CONCLUSIONES

Este trabajo presenta una evaluación del estándar LTE-V Modo 4 para tasas de transmisión correspondientes a aplicaciones de vehículo conectado (10 paq/s) y autónomo (50 paq/s). El análisis muestra que el algoritmo *Sensing-Based SPS* pierde eficacia cuando se incrementa la ocupación del canal y la distancia emisor-receptor. Además, para altas tasas de transmisión, el problema de *Half Duplex* impide obtener una buena fiabilidad incluso a distancias cortas. Estos resultados muestran la necesidad de nuevas mejoras o alternativas para mejorar la fiabilidad de las comunicaciones V2V, sobre todo para aplicaciones que requieran una alta tasa de transmisión o altas densidades de vehículos.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido financiado en parte por el Ministerio de Economía y Competitividad y fondos FEDER (TEC2014-5716-R), la beca PEJ-2014-A-33622, y la Generalitat Valenciana-Proyectos de I+D+i desarrollados por grupos de investigación emergentes (GV-Convocatoria 2017).

REFERENCIAS

- [1] G. Araniti, C. Campolo, M. Condoluci, A. Iera and A. Molinaro, "LTE for Vehicular Networking: A Survey," *IEEE Communications Magazine*, Volume: 51, Issue: 5, May. 2013.
- [2] 5G Americas, "V2X Cellular Solutions", Oct. 2016.
- [3] 3GPP TS 36.300, "E-UTRA and E-UTRAN; Overall description; Stage 2," Rel-14 V14.2.0, Mar. 2017.
- [4] R1-1609955, "Remaining Issues for V2V," Qualcomm Incorporated, 3GPP TSG RAN WG1 Meeting #86b, Lisbon, Portugal, Oct. 2016.
- [5] S. Chen, J. Hu, Y. Shi and L. Zhao, "LTE-V: A TD-LTE based V2X Solution for Future Vehicular Network," *IEEE Internet of Things Journal*, Volume: 3, Issue: 6, Dec. 2016.
- [6] R. Molina-Masegosa and J. Gozalvez, "System Level Evaluation of LTE-V2V Mode 4 Communications and its Distributed Scheduling," *Proceedings of the IEEE 85th Vehicular Technology Conference (VTC2017-Spring)*, Jun. 2017, Sydney, Australia.
- [7] 3GPP TR 36.885, "Study on LTE-based V2X Services," Annex A: Evaluation methodology, Rel-14 V14.0.0, Jun. 2016.
- [8] R1-160284, "DMRS enhancement of V2V," Huawei, HiSilicon, 3GPP TSG RAN WG1 Meeting #84, St Julian's, Malta, Feb. 2016.