

Modelado y Análisis de técnicas de acceso basadas en geolocalización para V2V

Daniel Alarcón, Gerardo Gómez, Francisco J. Martín-Vega

{dalarcon, ggomez, fjmvega}@ic.uma.es

Dpto. de Ingeniería de Comunicaciones. Universidad de Málaga. ETSI Telecomunicación, 29071.

Abstract- In this work, two geolocation-based access (GLOC) techniques for vehicular communications are presented and analyzed. These techniques, named Single-Lane Partition (SLP) and Multiple-Lane Partition (MLP) differ on the allocation of transmission resources between different lanes of the road. To assess the benefits of both approaches it is devised a realistic system model that considers the random nature of vehicle locations by means of a Poisson Point Process (PPP), the propagation losses, fast fading, and inter-vehicle interference. Two main types of messages in vehicular communications are considered: Cooperative Awareness Messages (CAM) and Decentralized Environmental Notification Messages (DENM). Simulation results lead to important insight about the behavior of the considered techniques in terms of the Signal to Interference-plus-Noise Ratio (SINR) distribution, i.e., capture probability, the binary rate and the energy efficiency. Results show that MLP performs better at the expense of a greater waste of resources.

I. INTRODUCCIÓN

De acuerdo con la Organización Mundial de la Salud, el número de vidas perdidas en las carreteras de todo el mundo supera los 1.3 millones anualmente. Este número de accidentes podría verse incrementado por diversos aspectos como factores climáticos que reducen la visibilidad de la carretera, o nuevos elementos como los coches autónomos, al no poseer todavía capacidad total para distinguir entre objetos, coches y peatones.

Por este motivo, se deben diseñar nuevos sistemas de transporte inteligente (ITS) con el objetivo de disminuir el número de accidentes. Los ITSs requieren de comunicaciones directas Vehicle-to-Vehicle (V2V) para garantizar seguridad y servicios de información. Ha habido varios intentos en la creación de un estándar para ofrecer comunicaciones V2V de confianza con baja latencia y coste.

Por un lado, el estándar *Dedicated Short-Range Communication* (DSRC) ha sido desarrollado usando como base el estándar IEEE 802.11p. DSRC permite comunicación directa de alta velocidad y segura entre vehículos sin involucrar ninguna infraestructura celular. Sin embargo, sufre de poca escalabilidad a una densidad de tráfico mayor y un pobre soporte a sistemas de alta movilidad [1].

Por otro lado, *Long-Term Evolution* (LTE) *Vehicle-to-Everything* (V2X) es la respuesta del cuerpo de estandarización 3GPP que busca solucionar los problemas de DSRC y satisfacer las altas expectativas del mercado. LTE V2X se basa en dos interfaces aire: interfaz celular basada en canal de subida-bajada e interfaz Device-to-Device (D2D) [2]. Generalmente se prefiere el interfaz D2D al evitar los retardos que puede causar comunicarse con la estación base. Este

estándar presenta una mejor cobertura, mayor capacidad de multiplexación, menores retardos y mayor robustez a las congestiones.

En este artículo se pretende modelar y analizar la técnica GLOC en un sistema V2V basado en D2D sobre un escenario que simula el cruce de carreteras en entornos urbanos. La mayoría de los estudios previos se centran en el análisis de técnicas GLOC sobre escenarios que simulan una sola carretera recta, repartiendo recursos en frecuencia [3], [4] o en tiempo [5], de manera que no se tienen en cuenta los efectos de otras carreteras como ocurre en los entornos urbanos.

El resto del artículo se encuentra estructurado de la siguiente manera. En la sección II se detallan las cualidades y ventajas de la técnica GLOC frente a otras técnicas de acceso. La sección III presenta el modelo del sistema junto al cálculo de la SINR. El análisis de los resultados de simulación para dichas técnicas se muestra en la sección IV. Finalmente, la sección V resume las principales conclusiones obtenidas de este trabajo.

II. ACCESO BASADO EN GEOLOCALIZACIÓN

A. Definición

El GLOC es una técnica de acceso al medio, en la cual los vehículos acceden a un canal en función de su posición espacial. La carretera es dividida en segmentos ortogonales, a cada uno de ellos se le asigna un recurso de acceso (AR) distinto hasta formar una agrupación con un número determinado. La asignación del resto de la carretera se realiza siguiendo el patrón de la primera agrupación. Este diseño pretende maximizar la distancia co-canal y, por tanto, incrementar la fiabilidad al minimizar la interferencia.

Una comunicación V2V se divide en dos fases: 1) descubrimiento de la presencia de vehículos próximos, y 2) intercambio de datos. El *European Telecommunications Standards Institute* (ETSI) ha propuesto el intercambio de dos tipos de mensajes con el objetivo de cumplir dichas fases. Los mensajes CAM son emitidos periódicamente por todos los vehículos y contienen información de estado, como la posición, velocidad y dirección de circulación. Los mensajes DENM se emiten al producirse un evento para alertar al resto de vehículos de un peligro [3], [6].

B. Características

Los principales beneficios del uso de GLOC son: alta fiabilidad, ya que disminuye la interferencia al aumentar el número de AR; cabecera reducida, puesto que no se necesita reservar el acceso a los recursos; baja latencia, al no necesitar

intercambiar información con estaciones base para utilizar un recurso radio; e implementación sencilla al no necesitar de infraestructura extra para su puesta en marcha.

Sin embargo, la principal desventaja de GLOC es el uso ineficiente del ancho de banda en el caso donde se diseñe una asignación de ARs para un tráfico mucho mayor al real. En este caso, muchos de los segmentos se encontrarán vacíos desaprovechando el ancho de banda asignado.

C. Asignaciones de AR

Dos esquemas de asignación de AR son considerados: SLP y MLP [4]. La diferencia radica en la distinción de los diferentes carriles para la asignación de AR, ver Fig. 1.

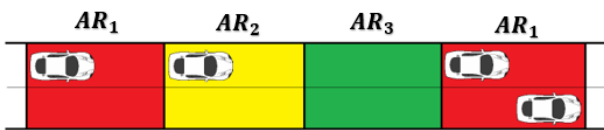
En SLP, la carretera se divide en diferentes segmentos sin hacer distinción entre los diferentes carriles hasta formar una agrupación, luego dicha agrupación se repite hasta cubrir toda la carretera. El ancho de banda disponible se reparte de manera uniforme entre todos los AR de una agrupación, de manera que cuanto mayor sea el número de AR por agrupación, n_{AR} , menor será el ancho de banda por AR, b_{AR} . Si un AR engloba varios carriles simultáneamente puede producirse, además de la interferencia co-canal, interferencia intra-canal; es decir, si dos vehículos ubicados en la misma AR deciden transmitir simultáneamente, el receptor no será capaz de distinguir la señal procedente de cada vehículo.

En MLP, las agrupaciones de AR se realizan por cada uno de los carriles de la carretera, n_C , de manera que carriles contiguos emplean diferentes AR y, por tanto, se elimina la posibilidad de interferencia intra-canal. El número total de AR en MLP será $AR_{Total} = n_{AR} \cdot n_C$, mientras que en SLP es $AR_{Total} = n_{AR}$ independientemente de n_C .

En SLP, el sistema de estimación de la posición puede ser más flexible y sencillo al no determinar el carril actual del vehículo, mientras que en MLP el b_{AR} es mucho menor, ya que emplea distintos AR para cada carril.

Los vehículos mantienen el recurso seleccionado durante todo el tiempo de transmisión de los mensajes, incluso si se cambian de carril y AR. La longitud de cada AR y su patrón de reuso a lo largo de las agrupaciones dependerá de la velocidad de los vehículos y del tráfico.

Agrupación SLP:



Agrupación MLP:

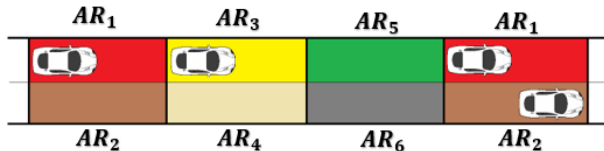


Fig. 1. Esquemas de asignación de ARs sobre una carretera recta con dos carriles, $n_C = 2$.

III. MODELO DEL SISTEMA

A. Escenario

Ambas asignaciones de AR son evaluadas sobre un escenario denominado “Carreteras Cruzadas”. En dicho escenario, un número n_X de carreteras, con una separación entre ellas de d_X , atraviesan otra carretera central de manera

perpendicular. Todas las carreteras poseen igual longitud, L_C . Tanto el transmisor como el receptor se encuentran en la carretera central en un punto intermedio a todas las carreteras y separados entre sí una distancia d_{TR} , ver Fig. 2.

Con el fin de reducir la interferencia en las intersecciones se opta por asignar las agrupaciones de la siguiente manera: Si una carretera intersecciona con otra, las posiciones de las ARs correspondientes a la intersección en ambas carreteras deben estar a una distancia equivalente a la mitad de la agrupación (ver Fig. 2):

$$AR_{cruce} = (AR_{central} + \lfloor AR_{Total}/2 \rfloor) \bmod (AR_{Total}) \quad (1)$$

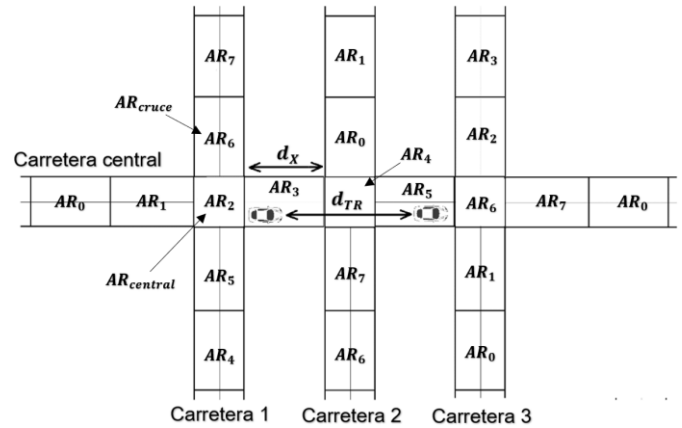


Fig. 2. Escenario de Carreteras Cruzadas, con $n_X = 3$, $n_C = 2$ y esquema SLP con $n_{AR} = 8$.

B. Modelo de Señal

Las señales transmitidas experimentan pérdidas por propagación, que pueden modelarse como

$$L_p(x) = (\tau \cdot |VT_o - x|)^\alpha \quad (2)$$

donde VT_o es la ubicación del transmisor, τ es un factor que ajusta la pendiente de las pérdidas de propagación y α es el exponente asociado a las pérdidas de propagación [7].

Además, las señales sufren desvanecimientos temporales. Éstos se producen debido a la propagación multi-camino y originan un efecto constructivo o destructivo provocando fluctuaciones aleatorias en la potencia instantánea recibida. Cuando todas las componentes multi-camino sufren atenuaciones similares se demuestra que la amplitud de la señal recibida sigue una distribución de Rayleigh. Con el objetivo de hallar la SINR, se considera la potencia de la señal recibida. En tal caso, la función de densidad de probabilidad es exponencial con media μ .

Por otro lado, mediante PPP [8], se modela la posición de los vehículos en cada uno de los carriles a lo largo de la carretera. En nuestro caso, la PPP se define en una sola dimensión para modelar cada carril y con una densidad uniforme λ . Por tanto, el proceso punto cumple las siguientes condiciones:

- Por cada intervalo acotado $[a, b)$, los puntos del proceso, $N([a, b))$, tienen una distribución de Poisson con media $\lambda(b - a)$.
- Si $[a_1, b_1), [a_2, b_2), \dots, [a_m, b_m)$ son intervalos acotados disjuntos, entonces $N([a_1, b_1)), N([a_2, b_2)), \dots, N([a_m, b_m))$ son variables aleatorias independientes.

Se escoge dicho proceso al considerarse el tráfico sobre la carretera con densidad uniforme y teniendo en cuenta que la

longitud de la carretera es mucho mayor que su anchura, considerando ésta despreciable.

La densidad λ_L por carril máxima del PPP dependerá de la distancia de seguridad entre vehículos [9], $d_{seguridad}(m) = 2.5 \cdot v(m/s)$ con v siendo la velocidad del vehículo. Dicha distancia siempre se ha de cumplir, luego:

$$\lambda_{Lmax} \left(\frac{\text{vehículos}}{m} \right) = \frac{1}{2 d_{seguridad}} \quad (3)$$

De igual modo, se escoge la $d_{seguridad}$ como la longitud entre AR.

En cuanto la transmisión de los mensajes, para los mensajes no periódicos (DENM), la probabilidad de ser activo depende de las condiciones del tráfico y otros factores, por lo que se modela con un parámetro fijo P_a [4]. En el caso de los mensajes periódicos (CAM), la probabilidad de ser activo depende del régimen binario y el tiempo necesario para transmitir el mensaje:

$$P_a = \frac{m_s}{t_{lat} \cdot b_{AR} \cdot \log_2(1+\gamma)}, \quad (4)$$

donde t_{lat} es la latencia de la comunicación, m_s es el tamaño del mensaje en bits y γ es el umbral de SINR deseado.

C. Métricas de interés

La SINR es una medida de la calidad de una comunicación inalámbrica. A partir de ella, se pueden obtener estadísticos de la señal como la probabilidad de cobertura (PC), el régimen binario (BR) y la eficiencia energética (EE).

Teniendo en cuenta todas las características del canal consideradas, se puede hallar la SINR del enlace radio como

$$SINR(x) = \frac{\rho_{TR} H_o \cdot (\tau \cdot |VT_o - x|)^{-\alpha}}{I(x) + \sigma^2}, \quad (5)$$

donde ρ_{TR} es la densidad espectral de potencia de transmisión del vehículo; H_o es la ganancia en potencia del desvanecimiento Rayleigh entre el transmisor y el receptor, $H_o \sim \exp(\mu)$; σ^2 es la densidad espectral de potencia de ruido AWGN; x es la ubicación del receptor y $I(x)$ es el término de interferencia expresado como

$$I(x) = \sum_{i \in \Phi / VT_o} \rho_{TR} H_i (\tau \cdot |VT_i - x|)^{-\alpha}, \quad (6)$$

donde H_i es la ganancia en potencia del desvanecimiento Rayleigh entre un vehículo interferente y el receptor, y se distribuye igual que H_o ; VT_i es la ubicación del vehículo interferente y Φ es el conjunto de vehículos activos que emplean el mismo AR que el transmisor.

La PC representa la probabilidad de que un mensaje sea recibido correctamente, dada por

$$P_c = \mathbb{P}[SINR(x) > \gamma]. \quad (7)$$

El BR de los bits recibidos correctamente se obtiene a partir del segundo teorema de Shannon:

$$BR(x) = \mathbf{1}(SINR(x) > \gamma) \cdot b_{AR} \cdot \log_2(1+\gamma) \quad (8)$$

donde $\mathbf{1}(\cdot)$ es la función indicatriz y b_{AR} es el ancho de banda asociado a cada uno de los ARs.

La EE se define como el cociente entre el régimen binario y la potencia de transmisión del vehículo:

$$EE(x) = \mathbf{1}(SINR(x) > \gamma) \frac{\log_2(1+\gamma)}{\rho_{TR}} \quad (9)$$

D. Configuración del sistema

La configuración del sistema se escoge a partir de las pautas proporcionadas en [4], [7] y [9] para entornos urbanos. El ancho de banda útil del sistema es de 9 MHz, por lo tanto, para el esquema SLP: $b_{AR} = b_W/n_{AR}$; y para MLP $b_{AR} = b_W/(n_{AR} \cdot n_C)$. Durante la simulación se generan N realizaciones espaciales con el fin de obtener datos precisos frente a las variaciones que produce el sistema. La configuración del sistema se representa en la Tabla I.

Parámetro	Valor	Parámetro	Valor
$d_{seguridad}$ (m)	42	(m_s, t_{lat}) (bits, ms)	(2400,100)
λ_L (vehículos/m)	$0.8 \cdot 84^{-1}$	ρ_{TR} (dBm/Hz)	-40
(τ, α)	(490,1.68)	σ^2 (dBm/Hz)	-165
b_W (MHz)	9	n_C	2
P_a (no periódico)	0.25	d_{AR} (m)	42
γ (dB)	5	μ	1
L_C (km)	56	n_X	5
N	2000	n_{AR}	40
d_{TR} (m)	150	d_X (m)	500

Tabla 1. Configuración por defecto del sistema.

IV. RESULTADOS DE SIMULACIÓN

La Fig. 3 ilustra la PC en función de γ . El esquema SLP presenta una menor probabilidad de cobertura que el esquema MLP, a causa de la interferencia intra-canal, la cual siempre está presente en el esquema SLP con $n_C \geq 2$, y una mayor densidad de vehículos interferentes. Los mensajes periódicos sufren un menor decaimiento debido a un menor volumen de vehículos activos.

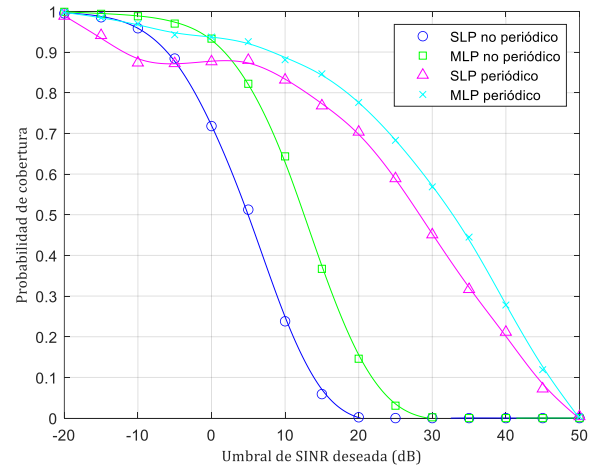


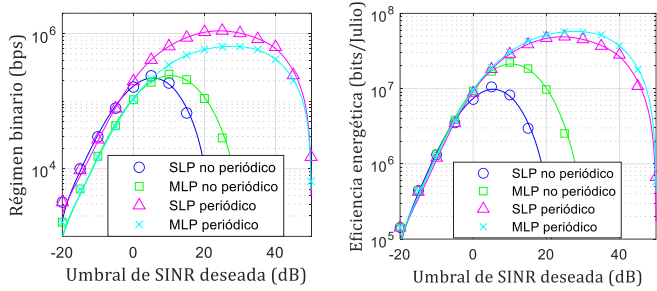
Fig. 3. Probabilidad de cobertura en función del umbral de SINR deseada.

El RB y la EE en función de γ se muestran en la Fig. 4. El RB y la EE en los mensajes periódicos es superior a los no periódicos al poseer una mayor PC. Además, se aprecia que para los γ donde la PC es similar en ambos esquemas, el RB de SLP es aproximadamente el doble que en MLP, debido a poseer el doble de b_{AR} que MLP. Por otro lado, hay que destacar la existencia de un valor de γ para el cual el RB y la EE se maximiza, coincidiendo el valor para ambas métricas.

El tamaño del escenario, n_X , puede variar notablemente el rendimiento del sistema. En la Fig. 5 se representa la PC en función de n_X , siendo $n_X = 0$ un escenario con una sola

carretera horizontal. Se aprecia como la PC tiene un carácter decreciente, debido al aumento de la interferencia co-canal. Además, existe un valor, aproximadamente $n_x = 21$, a partir del cual la PC se mantiene estable. Dicho valor implica la simulación en caso peor para la configuración especificada.

Uno de los aspectos más relevantes es el comportamiento del sistema en función de n_{AR} . Al aumentar n_{AR} se desplaza la interferencia co-canal, mejorando la PC, hasta que ésta es despreciable, consiguiendo el rendimiento óptimo del sistema, como se ilustra en la Fig. 6. Por el contrario, aumentar n_{AR} implica una disminución del b_{AR} y, por tanto, del BR.



(a) Régimen binario (b) Eficiencia energética

Fig. 4. RB y EE en función de γ .

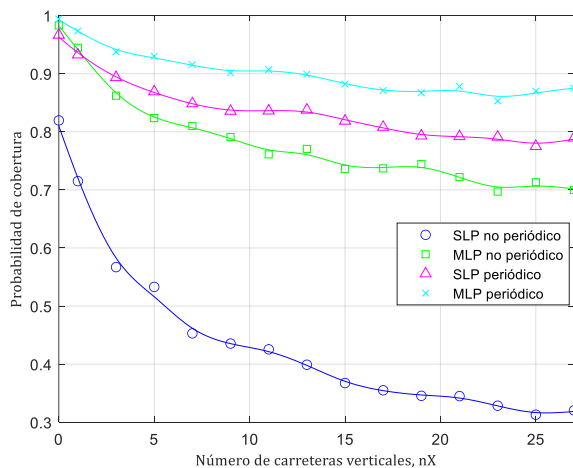


Fig. 5. PC en función de γ .

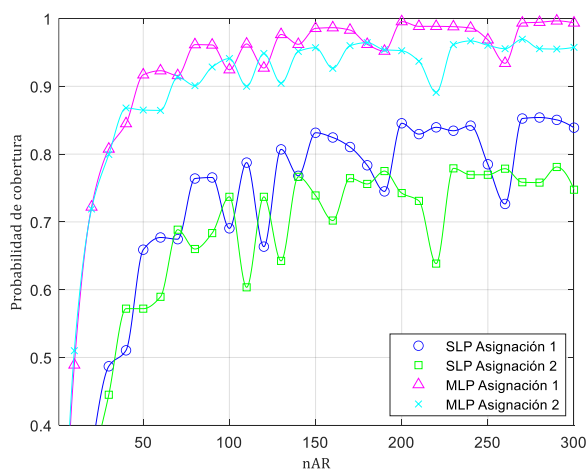


Fig. 6. PC en función de n_{AR} para dos tipos de asignaciones empleando mensajes no periódicos.

Por otro lado, la asignación de las agrupaciones de ARs también afecta en gran medida al rendimiento. Para ilustrar dicho efecto, se compara la asignación de recursos especificada en (1) (“Asignación 1”) con otra asignación que no tiene en cuenta la interferencia en las intersecciones, de manera que posea una continuidad al pasar de un $AR_{central}$ a un AR_{cruce} (“Asignación 2”). En la Fig. 6 se ilustra la PC en función de n_{AR} para ambas asignaciones empleando solo mensajes no periódicos.

La Asignación 1 reduce la interferencia en las intersecciones conforme aumenta n_{AR} , consiguiendo el rendimiento óptimo del sistema, mientras que la Asignación 2 no es capaz de reducir dicha interferencia al incrementar n_{AR} , por lo que, se ve limitada a un rendimiento inferior.

V. CONCLUSIONES

En este trabajo se han propuesto y analizado dos esquemas de asignaciones de recursos basados en técnicas GLOC para V2V sobre un escenario urbano. Aunque ambos esquemas presentan rendimientos dispares, hay que tener en cuenta sus ventajas e inconvenientes. En SLP no se requiere de un posicionamiento GPS sofisticado, mientras que en MLP se mejora el rendimiento a costa de un menor b_{AR} y un porcentaje de recursos desaprovechados mayor. Los resultados reflejan la importancia de la asignación de agrupaciones para un escenario urbano, así como su tamaño.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido parcialmente financiado por el Fondo Europeo de Desarrollo Regional (FEDER) y la Junta de Andalucía bajo los proyectos P18-RT-3175, P18-TP-3587, UMA-CEIATECH-06, PAIDI 2020 y por la Universidad de Málaga.

REFERENCIAS

- [1] Z. Mir and F. Filali, “LTE and IEEE 802.11p for vehicular networking: A performance evaluation,” *EURASIP Journal on Wireless Communications Networking*, vol. 2014, no. 1, p. 89, May 2014.
- [2] H. Seo, K. D. Lee, S. Yasukawa, Y. Peng, and P. Sartori, “LTE evolution for vehicle-to-everything services,” *IEEE Communications Magazine*, vol. 54, no. 6, pp. 22–28, Jun. 2016.
- [3] B. Soret, M. Gatnau Sarret, I. Z. Kovacs, F. J. Martín-Vega, G. Berardinelli and N. H. Mahmood, “Radio resource management for V2V discovery,” *IEEE 85th Vehicular Technology Conference*, Sydney, Australia, pp. 1–6, 2017.
- [4] F. J. Martín-Vega, B. Soret, M. C. Aguayo-Torres, G. Gómez and I. Z. Kovacs, “Geolocation-Based Access for Vehicular Communications: Analysis and Optimization via Stochastic Geometry,” *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, vol. 67, no. 4, pp. 3069–3084, April 2018.
- [5] J. J. Blum and A. Eskandarian, “A reliable link-layer protocol for robust and scalable intervehicle communications,” *IEEE Transactions Intelligent Transportation Systems*, vol. 8, no. 1, pp. 4–13, Mar. 2007.
- [6] A. Festag, “Cooperative intelligent transport systems standards in Europe,” *IEEE Communications Magazine*, vol. 52, no. 12, pp. 166–172, December 2014.
- [7] J. Karedal, N. Czink, A. Paier, F. Tufvesson and A. F. Molisch, “Path loss modeling for vehicle-to-vehicle communications,” *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, vol. 60, no. 1, pp. 323–328, Jan 2011.
- [8] M. Haenggi, *Stochastic Geometry for Wireless Networks*, Cambridge, U.K.: Cambridge Univ. Press, 2013.
- [9] 3GPP, *Study on LTE-based V2X Services (Release 14)*, 3rd Generation Partnership Project (3GPP) TS 36.885, Jun. 2016.