

Sistemas de comunicaciones móviles entre vehículos para mejora de la seguridad vial y optimización de tráfico

Miguel Sepulcre y Javier Gozávez

Área de Teoría de la Señal y Comunicaciones
 Universidad Miguel Hernández
 Avenida de la Universidad s/n, Elche, 03202
 Teléfono: 96 665 8955, Fax: 96 665 8903
msepulcre@umh.es, j.gozalvez@umh.es

Resumen

En la actualidad, los sistemas de comunicaciones móviles entre vehículos están adquiriendo un notable auge en el campo de los sistemas de transporte inteligentes por su potencial para mejorar la seguridad vial y la eficiencia del transporte. Los estudios sobre aplicaciones vehiculares, generalmente caracterizadas por sus requisitos de baja latencia, necesitan ser llevados a cabo utilizando modelos precisos que garanticen la validez de los resultados que de ellos se puedan obtener. Dado que el modelado de la propagación radio afecta de manera importante en el rendimiento de los sistemas de comunicaciones móviles tradicionales e inalámbricos, este trabajo investiga su impacto en el dimensionado de las comunicaciones móviles vehiculares para aplicaciones de seguridad vial y optimización de tráfico. Para llevar a cabo esta investigación, este artículo diferencia el impacto de los efectos de las pérdidas por trayecto, el desvanecimiento lento y el desvanecimiento rápido.

1. Introducción

Los sistemas de transporte inteligentes (ITS, *Intelligent Transportation Systems*) presentan un enorme potencial para la mejora de la seguridad y la eficiencia y calidad en el transporte. Dentro del abanico de sistemas ITS, los sistemas de comunicaciones móviles entre vehículos (IVC, *Inter-Vehicle Communications*) están adquiriendo un notable auge en aplicaciones tanto de seguridad vial, como de mejora de la fluidez del tráfico. Tanto es así que la Comisión Europea recientemente ha lanzado el programa *eSafety* en el FP6 y ha sido considerado su estudio en diversos proyectos de investigación, como FleetNet [1] o CarTALK2000 [2].

Con el fin de explotar al máximo el potencial que ofrecen estos sistemas de comunicaciones vehiculares, en 2004 se formó el grupo de estandarización IEEE802.11p para la creación de un estándar internacional que adapte la norma IEEE802.11a al entorno vehicular y pueda ser utilizado tanto para aplicaciones de seguridad vial como para otros servicios de comunicaciones. Este nuevo estándar, también denominado WAVE (*Wireless Access in Vehicular Environments*) [3], describe las capas física y MAC (*Medium Access Control*) del nuevo sistema de comunicaciones vehiculares.

Uno de los principales objetivos de los sistemas IVC es el intercambio de información relativa a la seguridad vial. Con ello, se pretende proporcionar a cada conductor datos referentes a los vehículos que se encuentren en su zona de influencia, especialmente de los que no estén en su campo visual, para alertarles de posibles peligros en la

carretera con tiempo suficiente para que puedan reaccionar y evitarlos.

Puesto que las aplicaciones de seguridad vial se caracterizan por tener importantes requisitos en cuanto a tiempos de latencia, cualquier investigación sobre el uso de las comunicaciones móviles vehiculares debe ser rigurosa y exacta de forma que los resultados obtenidos sean lo más parecidos posibles a los obtenidos en sistemas reales. Esto es especialmente relevante si consideramos que en este caso la calidad de servicio es en cierta medida equivalente a la posibilidad de evitar accidentes de tráfico y, por lo tanto, salvar vidas humanas. Trabajos previos han demostrado que el modelado del canal radio puede tener un impacto muy significativo en el estudio y dimensionado de los sistemas de comunicaciones móviles e inalámbricos. Por ejemplo, el trabajo presentado en [4] muestra el importante efecto del modelado del desvanecimiento rápido a nivel de sistema cuando se analiza el rendimiento de las técnicas de enlace radio adaptativas. Conclusiones similares se obtuvieron en [5], donde se analizó el impacto de la correlación del desvanecimiento lento en las investigaciones a nivel de sistema. El trabajo presentado en [6] también demuestra el considerable efecto que la exactitud en el modelado del canal radio puede introducir en el rendimiento de los protocolos de comunicación en redes ad-hoc inalámbricas genéricas, aunque no vehiculares. En este contexto, y considerando el hecho de que la precisión en el modelado del canal radio puede ser particularmente relevante cuando se estudia el dimensionado de los sistemas IVC para aplicaciones de seguridad, este trabajo estudia el efecto del modelado del canal en el dimensionado de sistemas IVC para aplicaciones de seguridad vial.

2. Wireless Access in Vehicular Environments

El sistema WAVE es una evolución del estándar IEEE802.11a con modificaciones a nivel físico y MAC para mejorar su comportamiento en el entorno vehicular. Al igual que IEEE802.11a, WAVE utiliza OFDM, pero con tasas de transmisión de 3, 4.5, 6, 9, 12, 18, 24, y 27 Mbps en canales de 10 MHz. El estándar utiliza 52 sub-portadoras moduladas utilizando BPSK, QPSK, 16-QAM o 64-QAM. También utiliza codificaciones de ratios 1/2, 2/3, o 3/4. En cuanto a la canalización, la norma define 7 canales no solapados de 10MHz en la banda de los 5.9GHz: 6 canales de servicio (SCH) y uno de control (CCH). El CCH es utilizado como canal de referencia para realizar una primera detección de los vehículos cercanos como paso previo al establecimiento de las comunicaciones. Al mismo tiempo, dicho canal es utilizado para anunciar los servicios disponibles en los canales SCH (acceso a Internet, descarga de mapas, etc.). Teniendo en cuenta que el canal CCH es el canal de referencia, WAVE lo emplea para la transmisión en modo *broadcast* de mensajes de seguridad vial. Por la importancia de los mensajes que se transmiten y la necesidad de garantizar su correcta recepción, el canal CCH transmite con una tasa de datos de 6Mbps, correspondiente a una modulación QPSK con un ratio de codificación de 1/2.

En la capa MAC, WAVE también utiliza el método de acceso de IEEE802.11, basado en CSMA/CA (*Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance*). Para paliar el problema del *hidden terminal*, WAVE mantiene el intercambio de mensajes RTS/CTS (*Request-To-Send/Clear-To-Send*), aunque se encuentra deshabilitado en el CCH por transmitir siempre en modo *broadcast*. Como consecuencia, todos los nodos que utilizan el canal de control están sujetos a dicho problema, lo cual incrementa el riesgo de pérdidas de paquetes y de congestión de canal.

3. Modelado del canal radio

Dado que la investigación sobre sistemas IVC se encuentra todavía en una etapa inicial, la mayoría de los trabajos publicados en la materia utilizan modelos de propagación sencillos que incluyen únicamente los efectos de las pérdidas por trayecto (*pathloss*) y las pérdidas por desvanecimiento lento (*shadowing*); este es el caso de gran parte de las investigaciones realizadas empleando ns2. Las pérdidas por trayecto representan la relación promedio existente entre la potencia de la señal recibida y la transmitida, en función de la distancia entre el transmisor y el receptor. Las pérdidas por desvanecimiento lento modelan el efecto que introducen los obstáculos en la atenuación media de la señal. Mientras que son muchos los modelos publicados sobre pérdidas por trayecto, las pérdidas por desvanecimiento lento pueden caracterizarse

mediante una distribución *log-normal* con media nula y desviación típica σ , que depende de las condiciones de operación.

Debido al amplio uso del simulador ns2 [7] en la investigación sobre comunicaciones móviles vehiculares, su modelo de canal radio ha sido utilizado como modelo de referencia para comparar los resultados obtenidos con modelos de canal más realistas. El simulador ns2 considera un modelo de pérdidas por trayecto tipo *log-distance* con un desvanecimiento *log-normal*. Siguiendo las indicaciones de [8] para entornos urbanos, este modelo ha sido utilizado con un exponente de pérdidas por trayecto de 3.5 y una desviación típica para el desvanecimiento de 4dB. El trabajo presentado en [9] propone un modelo de pérdidas por trayecto más realista, que ha sido incluso adoptado por la ITU-R para la banda de 5GHz. El modelo micro-urbano presentado en dicho trabajo modela las pérdidas por trayecto y desvanecimiento lento para situaciones con visión directa (LOS, *Line of Sight*) y sin visión directa (NLOS) entre transmisor y receptor.

El modelo presentado en [9] modela las pérdidas por trayecto en condiciones NLOS como $34.53 + 38.0 \log_{10}(d)$, con d en metros, y para LOS como $30.18 + 26.0 \log_{10}(d)$. En cuanto al desvanecimiento lento, establece que su desviación típica es igual a 4dB para LOS y 10dB para NLOS. Los modelos descritos hasta ahora consideran el desvanecimiento lento como un efecto exento de propiedades de correlación espacial. Sin embargo, Gudmunson demostró que dicho desvanecimiento está correlado espacialmente con una función de auto-correlación exponencial [10]. Para tener en cuenta estas propiedades de correlación, el modelo de Gudmunson ha sido también incluido en este trabajo.

El desvanecimiento rápido (*multipath fading*) resulta de la recepción de múltiples réplicas de la señal transmitida en el receptor. Puesto que se ha demostrado para sistemas de comunicaciones móviles el importante efecto de este tipo de desvanecimiento en el rendimiento a nivel de sistema, su modelado también ha sido incluido en este trabajo. En particular, siguiendo las observaciones de [9] y la implementación de [11], el desvanecimiento rápido ha sido modelado mediante la distribución Rayleigh característica de los entornos urbanos.

Para ilustrar los distintos efectos de la propagación radio, la Figura 1 muestra el efecto combinado de las pérdidas por trayecto, el desvanecimiento lento correlado y el desvanecimiento rápido sobre el nivel de potencia recibida, para un vehículo en movimiento y bajo condiciones NLOS.

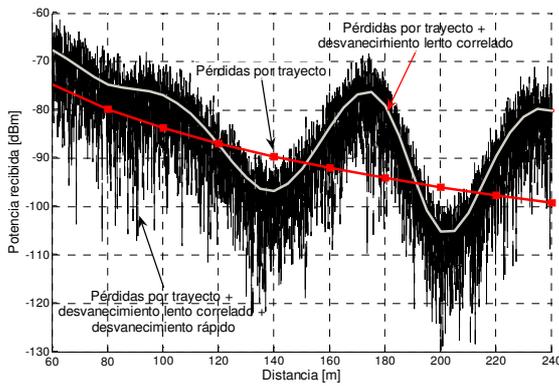


Fig. 1. Efectos de la propagación radio sobre el nivel de potencia recibida.

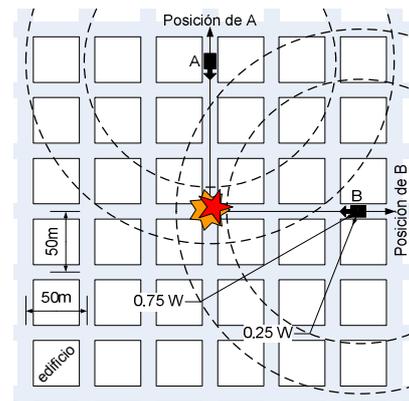


Fig. 2. Escenario de simulación.

4. Entorno de evaluación

Para la realización de este estudio a nivel de sistema, se ha utilizado la herramienta de simulación ns2 con un escenario urbano como el que muestra la Figura 2. En dicho escenario, dos vehículos, A y B, se aproximan a una intersección con riesgo de colisión. Para evitar dicha colisión, ambos transmiten mensajes *broadcast* utilizando WAVE en modo ad-hoc en el canal de control. En este trabajo no se han incluido las transmisiones de otros vehículos para aislar los efectos de la propagación radio de otros efectos, como la congestión o las colisiones de paquetes. En este trabajo, en cada escenario evaluado se han emulado más de 5000 iteraciones para asegurar que los resultados tuvieran buenas propiedades estadísticas. La Tabla I resume los principales parámetros de simulación utilizados.

Para reducir la complejidad de las simulaciones a nivel de sistema, los efectos introducidos por la capa física, producidos por la naturaleza probabilística del medio radio, son modelados habitualmente por medio de LUTs (*Look-Up Tables*). Estas LUTs, extraídas de simulaciones a nivel de enlace, asocian una determinada tasa de error de paquete (PER, *Packet Error Rate*) a las condiciones del canal. En el presente trabajo, la probabilidad de error de paquete se ha incluido a nivel de sistema a través de los datos proporcionados en [12] e ilustrados en la Figura 3. En dicha figura, se muestra la probabilidad PER como función del nivel efectivo de relación entre la señal y la interferencia y el ruido, E_{av}/N_0 . Este parámetro representa la SINR (*Signal to Interference and Noise Ratio*) reducida por un factor α para modelar el efecto introducido por el prefijo cíclico introducido en cada símbolo OFDM.

5. Resultados

La finalidad de este trabajo es el dimensionado de los sistemas IVC para aplicaciones de seguridad vial, teniendo en cuenta el impacto del modelado del canal radio. En un primer lugar, se analizará el efecto de dicho modelado con el fin de esclarecer su

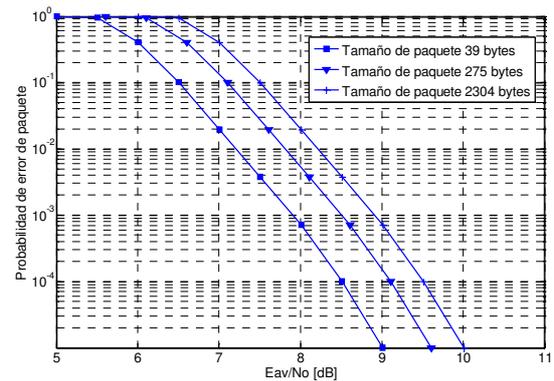


Fig. 3. Probabilidad de error de paquete para el modo de transmisión WAVE de 6Mbps (QPSK y codificación 1/2)

TABLA I. PARÁMETROS DE SIMULACIÓN

Parámetro	Valor
Velocidad [km/h]	40, 50, 60, 70, 80, 90, 100
Potencia de transmisión [W]	0.25, 0.75
Deceleración de emergencia [m/s^2]	8
Tamaño de paquete [Bytes]	100
Tasa de paquetes [paquetes/s]	10
Umbral de ruido [dBm]	-82
Ganancia de las antenas [dB]	4

posible efecto sobre el dimensionado de los sistemas IVC. Teniendo en cuenta el amplio uso de la herramienta ns2 entre la comunidad investigadora de sistemas IVC, este trabajo utiliza como referencia el modelo de propagación básico empleado en el simulador ns2. Posteriormente, de manera secuencial, este trabajo analiza el efecto de incluir modelos de pérdidas por trayecto y desvanecimientos más realistas. De esta forma se podrán identificar los efectos de propagación más relevantes en relación al dimensionado de sistemas IVC. Aunque los sistemas IVC analizados en este trabajo pueden ser empleados también para la optimización del tráfico, este artículo se centra en su dimensionado para aplicaciones de seguridad vial. Por ello, y considerando el escenario ilustrado en la Figura 2, el dimensionado de sistemas IVC debe ser tal que los vehículos que se aproximan a la intersección con riesgo de colisión reciban un mensaje *broadcast* WAVE procedente del vehículo con el que podrían colisionar con el suficiente

tiempo como para poder reaccionar y evitar el accidente. La Figura 4 muestra, para distintos modelos de propagación, la función de distribución de la distancia a la intersección a la que se recibe el primero de estos mensajes. Dicha figura también muestra las distancias a la intersección (representadas con líneas verticales) a las que un vehículo necesita recibir correctamente un mensaje de seguridad vial para evitar el accidente, considerando unos tiempos de reacción (TR) del conductor de 1.5s y 3.5s y una deceleración de emergencia de 8m/s^2 . Las curvas mostradas en la Figura 4 corresponden a los siguientes modelos de propagación:

- Modelo 1: modelo radio básico de ns2.
- Modelo 2: pérdidas por trayecto de [9] y desviación típica del desvanecimiento lento de 4dB.
- Modelo 3: pérdidas por trayecto de [9] y desviación típica del desvanecimiento lento de 10dB (la correspondiente a NLOS, como se indica en [9]).
- Modelo 4: igual al 3^{er} modelo, pero incluyendo la correlación del desvanecimiento propuesta por Gudmunson.
- Modelo 5: igual al 4^o modelo, pero incluyendo el modelado del desvanecimiento rápido de tipo Rayleigh.

Como era de esperar, la comparación de los resultados obtenidos aplicando los modelos 1 y 2 muestra que el efecto que producen es similar bajo las condiciones de operación y el escenario propuesto. Sin embargo, es importante recordar que los resultados presentados en este trabajo corresponden al caso donde sólo los dos vehículos que se aproximan a la intersección transmiten mensajes de *broadcast* en el canal de control. Así, en este caso, solo se aplica la componente NLOS del modelo de pérdidas por trayecto de [9]. Sin embargo, en el caso en el que existan más vehículos en el escenario, habrá parte de ellos ubicados en las mismas calles que los vehículos A y B para los cuales habrá que considerar un modelado LOS. En

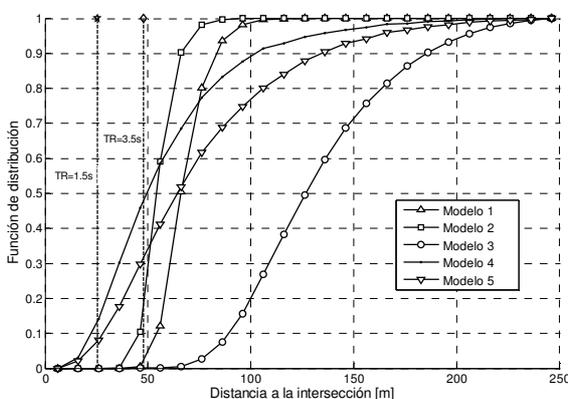


Fig. 4. Función de distribución de la distancia de recepción del primer paquete ($P_t=0.75\text{W}$, $v=40\text{km/h}$).

este caso, las diferencias en los resultados obtenidos mediante los modelos 1 y 2 pueden ser notables.

La comparación de los resultados obtenidos empleando los modelos 2 y 3 en la Figura 4 demuestra el importante efecto que produce el modelado de un valor de desviación típica del desvanecimiento lento realista. De hecho, la variabilidad introducida por desviaciones elevadas implica que todos los vehículos que se aproximen a la intersección con riesgo de colisión recibirán un mensaje de seguridad WAVE a tiempo para evitar la colisión entre vehículos (independientemente del tiempo de reacción del conductor). Sin embargo, la comparación de resultados entre los modelos 3 y 4 muestra que la correlación demostrada por Gudmunson disminuye la variabilidad del canal y afecta significativamente a la viabilidad de los sistemas IVC para garantizar la ausencia de colisiones. En particular, como puede observarse en la Figura 5, la correlación del desvanecimiento lento reduce el número de mensajes de seguridad recibidos correctamente antes de alcanzar las distancias críticas marcadas con líneas verticales en la Figura 4, aumentando con ello el riesgo de accidente (ver también Figura 4). De hecho, cuando no se modela la correlación del desvanecimiento lento siempre se recibe al menos un mensaje antes de la distancia crítica. Sin embargo, cuando sí se modela dicha correlación, en cerca del 15% de las iteraciones emuladas (vehículos aproximándose a una intersección con riesgo de accidente) considerando un tiempo de reacción de 1.5s no se consigue recibir ningún mensaje con el suficiente tiempo como para que el conductor reaccione; dicha cifra aumenta hasta cerca del 50% considerando un tiempo de reacción de 3.5s. Estos resultados demuestran claramente la importancia del modelado del canal radio, y en particular de la correlación del desvanecimiento lento, para analizar de forma adecuada el funcionamiento y rendimiento de sistemas IVC en cuanto a mejora de la seguridad vial. En el caso de la correlación del desvanecimiento lento, los resultados obtenidos muestran que su no inclusión podría conducir a una sobreestimación significativa de la capacidad de los sistemas IVC para mejorar la seguridad vial.

Los resultados mostrados en la Figura 4 también ilustran el efecto que el modelado del desvanecimiento rápido introduce en el rendimiento de los sistemas IVC. El efecto de dicho desvanecimiento es básicamente un incremento en la variabilidad del nivel de señal recibido. Aunque dicho incremento de la variabilidad puede producir caídas instantáneas en la potencia recibida, también puede producir importantes incrementos. Estos incrementos, también observados con grandes desviaciones típicas del desvanecimiento lento, introducen inducen a una mayor variabilidad del canal radio y por lo tanto un mejor rendimiento de

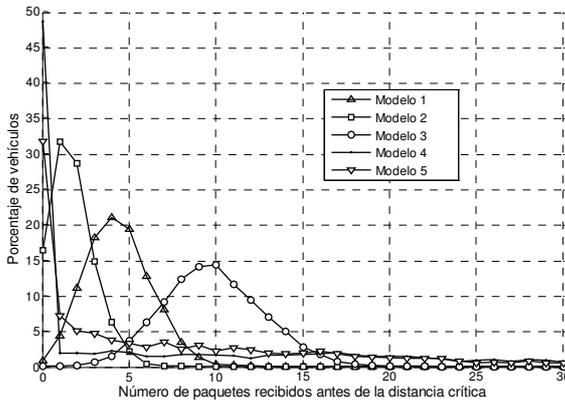


Fig. 5. Porcentaje de vehículos que reciben un determinado número de mensajes antes de la distancia crítica ($P_t=0.75W$, $v=40km/h$, $TR=3.5s$).

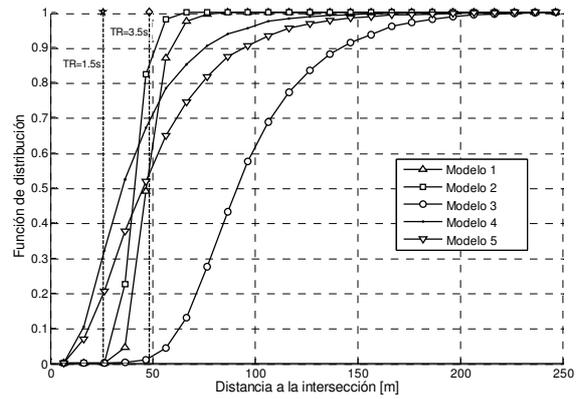


Fig. 7. Función de distribución de la distancia de recepción del primer paquete ($P_t=0.25W$, $v=40km/h$).

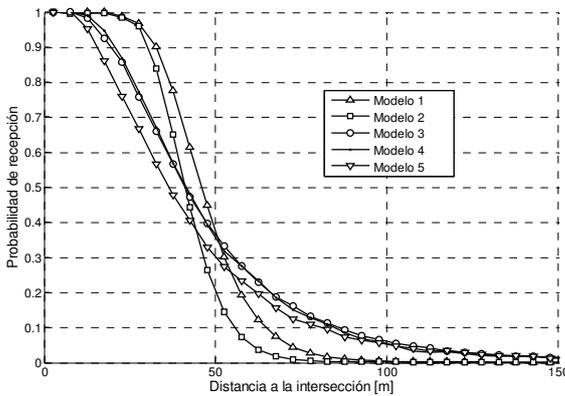


Fig. 6. Probabilidad de recibir con éxito un mensaje ($P_t=0.75W$, $v=40km/h$).

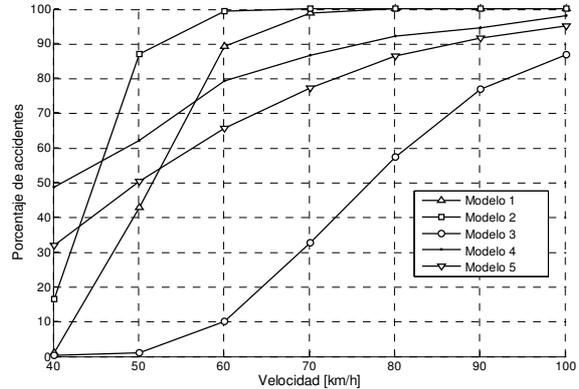


Fig. 8. Porcentaje de accidentes que se producen en función de la velocidad de desplazamiento ($P_t=0.75W$, $TR=3.5s$).

los sistemas IVC en cuando a su capacidad de detectar posibles colisiones. Por ejemplo, mientras el estudio realizado utilizando el modelo 4 y un tiempo de reacción de 3.5s indica que cerca del 50% de los vehículos no recibirían ningún mensaje de seguridad *broadcast* antes de la distancia crítica, el mismo estudio utilizando el modelo 5 reduce dicha cifra hasta el 30% aproximadamente. En este caso, los resultados obtenidos indican que la no inclusión de los efectos del desvanecimiento rápido en el sistema podría llevar a un dimensionado pesimista de los sistemas IVC.

Los resultados obtenidos muestran que la variabilidad del canal introduce un efecto positivo en el rendimiento de sistemas IVC, al garantizar con mayor probabilidad la correcta recepción de mensajes *broadcast* de seguridad con tiempo suficiente como para advertir al conductor de un posible peligro. Dicho efecto positivo se produce por el incremento de la probabilidad de recepción de mensajes a medias y grandes distancias con modelos que representan de forma adecuada la variabilidad presente en el canal radio, aunque la probabilidad de recepción a distancias cortas se vea disminuida (ver Figura 6).

Los resultados de las figuras 4, 5 y 6 corresponden a una potencia de transmisión de 0.75W. La

comparación de las Figuras 4 y 7 (la Figura 7 corresponde a una potencia de transmisión de 0.25W) muestra claramente que se obtienen las mismas conclusiones respecto al efecto del modelado del canal radio en el rendimiento de los sistemas IVC para bajas potencias de transmisión.

Además de la potencia, otro parámetro de operación de gran relevancia en el dimensionado de los sistemas IVC es la velocidad de desplazamiento de los vehículos. Mientras que las figuras 4 a 7 muestran el rendimiento de los sistemas IVC para una velocidad de 40km/h, la Figura 8 ilustra el porcentaje de accidentes que ocurrirían utilizando una potencia de transmisión de 0.75W y un tiempo de reacción del conductor de 3.5s, para distintas velocidades y los 5 modelos de canal radio previamente mencionados. Considerando el quinto modelo de canal radio como el más realista, los resultados obtenidos para una velocidad de 40km/h y una potencia de 0.75W muestran que mientras los modelos 1, 2 y 3 subestiman la probabilidad de tener un accidente utilizando este tipo de sistemas, el cuarto modelo la sobreestima. Sin embargo, para velocidades superiores existen casos (los más ilustrativos son los modelos 1 y 2 de la Figura 8) en los que la tendencia se invierte y pasan de realizar estimaciones por debajo de la realidad a sobrepasarla. Esto ocurre básicamente debido a que

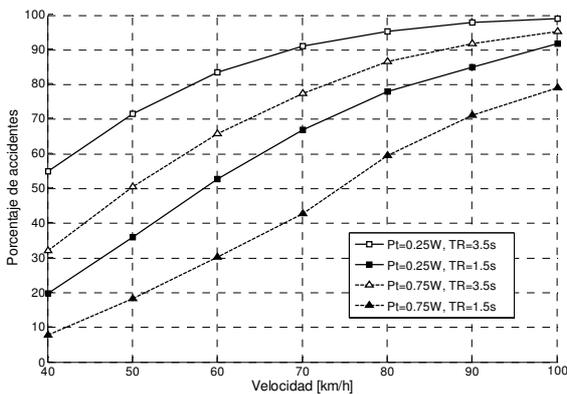


Fig. 9. Porcentaje de accidentes que se producen en función de la velocidad de desplazamiento.

las distancias de deceleración, y por tanto las distancias críticas a las que debe haberse recibido al menos un paquete *broadcast* de seguridad vial para evitar un accidente, varían con la velocidad de desplazamiento de los vehículos. Además, aunque no varíe la tendencia de los resultados obtenidos entre algunos modelos, como entre el 3 y el 5 para el caso representado en la Figura 8, la diferencia entre ellos no permanece constante para todas las velocidades analizadas. Para ese caso particular, el modelado del canal radio mediante uno u otro modelo puede producir una diferencia en la estimación del rendimiento de sistemas IVC en cuanto al porcentaje de accidentes de entre un 10% para el caso de 100km/h y un 70% para el caso de 60km/h, dejando patente de nuevo la importancia de un buen modelado radio para la correcta obtención de resultados y el correcto dimensionado de sistemas IVC.

Para finalizar, la Figura 9 muestra el porcentaje de accidentes en función de la velocidad de desplazamiento, distintas potencias de transmisión y tiempos de reacción (la figura considera el modelo de canal radio más realista). Como se observa en este ejemplo de dimensionado, la potencia de transmisión es un factor importante a tener en cuenta que además debe ser adaptado en función de la velocidad de desplazamiento. Así, la elección de un nivel de potencia adecuado podría evitar un elevado porcentaje de accidentes. Por ejemplo, si se utiliza una potencia de transmisión de 0.75W en lugar de una de 0.25W para una velocidad de desplazamiento de 40km/h, se evitarían más del 20% de los accidentes para un TR de 3.5s y más del 10% para un TR de 1.5s. Sin embargo, debe tenerse en cuenta que el uso de potencias de transmisión elevadas aumenta el rango de cobertura de cada vehículo y por lo tanto el riesgo de colisión de paquetes.

6. Conclusiones

El potencial de los sistemas de comunicaciones móviles entre vehículos para mejorar la seguridad vial y la eficiencia del transporte requieren adecuados y rigurosos estudios sobre su

dimensionado y rendimiento. Puesto que el funcionamiento de estos sistemas se fundamenta en transmisiones radio, el presente artículo estudia el efecto del modelado del canal radio en el rendimiento y dimensionado de los sistemas IVC para aplicaciones de seguridad vial. Los resultados obtenidos muestran que la realización de estudios en materia de comunicaciones móviles entre vehículos sin el adecuado modelado de los distintos efectos de la propagación radio puede afectar significativamente a las conclusiones que se obtengan. Esto puede ser particularmente crítico cuando se evalúan aplicaciones de seguridad vial, cuya principal característica son sus estrictos requisitos de latencia. Así, este trabajo demuestra que es necesaria la consideración de modelos de propagación radio detallados que reflejen adecuadamente los efectos de las pérdidas por trayecto, el desvanecimiento lento y el desvanecimiento rápido, para la realización de adecuadas investigaciones sobre los sistemas de comunicaciones móviles vehiculares.

Agradecimientos

Este trabajo ha sido financiado por la Consellería de Empresa, Universidad y Ciencia de la Generalitat Valenciana (beca BFPI06/126) y la Universidad Miguel Hernández a través del Premio Jóvenes Investigadores del Consejo Social de dicha Universidad que le fue concedido al Dr. Javier Gozávez Sempere.

Referencias

- [1] FleetNet - Internet on the Road. Disponible en: <http://www.et2.tu-harburg.de/fleetnet/>
- [2] CarTALK 2000. Disponible en: <http://www.cartalk2000.net/>
- [3] IEEE P802.11p/D0.21, "Draft Part 11: WLAN MAC and PHY Specifications: Wireless Access in Vehicular Environments (WAVE)", *IEEE Standards Association*, Junio 2005.
- [4] J Gozalvez y J Dunlop, "Link Level Modelling Techniques for Analysing the Configuration of Link Adaptation Algorithms in Mobile Radio Networks", *Proc. of European Wireless 2004*, Febrero 2004, pp. 325-330.
- [5] J. Monserrat, J. Gozalvez, R. Fraile y N. Cardona, "Effect of Shadowing Correlation Modeling on the System Level Performance of Adaptive Radio Resource Management Techniques", *Proc. of 2nd International Symposium on Wireless Communication Systems*, Septiembre 2005, pp. 460-464.
- [6] M. Takai, J. Martin, y R. Bagrodia, "Effects of wireless physical layer modelling in mobile ad hoc networks", *Proc. of 2nd ACM International Symposium on Mobile ad hoc networking and computing*, Octubre 2001, pp. 87-94.
- [7] The Network Simulator 2. Disponible en: <http://www.isi.edu/nsnam/ns/>
- [8] T. Rappaport. *Wireless Communications: Principles and Practices*, 2nd edition, Prentice Hall.

- [9] D.S. Baum, J. Salo, G. Del Galdo, M. Milojevic, P. Kyösti, y J. Hansen, "An interim channel model for beyond-3G systems", *Proc. of IEEE Vehicular Technology Conference*, Mayo 2005, pp. 3132-3136.
- [10] M. Gudmundson, "Correlation model for shadow fading in mobile radio systems", *Electronic Letters*, Noviembre 1991, 27(23), pp. 2145-2146.
- [11] R.J. Punnoose, P.V. Nilutin, y D.D. Stancil, "Efficient simulation of Ricean fading within a packet simulator", *Proc. of IEEE Vehicular Technology Conference*, Septiembre 2000, pp. 764-767.
- [12] Y. Zang, L. Stibor, G. Orfanos, S. Guo y H.J. Reumerman, "An error model for inter-vehicle communications in high-way scenarios at 5.9GHz", *Proc. of 2nd International workshop on Performance evaluation of wireless ad hoc, sensor, and ubiquitous networks*, Octubre 2005, pp. 49-56.