

DIMENSIONADO DE SISTEMAS DE COMUNICACIONES MÓVILES ENTRE VEHÍCULOS PARA APLICACIONES DE SEGURIDAD VIAL

Miguel Sepulcre y Javier Gozalvez

msepulcre@umh.es, j.gozalvez@umh.es

Teoría de la Señal y Comunicaciones, Universidad Miguel Hernández.

Avda. de la Universidad s/n, 03202 Elche, España.

Abstract- Inter-vehicle wireless communication systems are currently being developed as a promising technology to improve traffic safety. Considering their decentralized nature, its deployment faces important challenges to guarantee an efficient and reliable transmission of broadcast safety messages. This paper investigates the dimensioning of such systems by analysing the impact of key operating conditions on its performance (traffic density, vehicular speed, radio propagation effects and transmission power). Based on the observed results, the paper proposes the development and implementation of efficient radio resource management techniques for inter-vehicle wireless systems, such as adaptive power control and opportunistic-driven transmission rate. These techniques are aimed at efficiently and reliably guarantee safety based inter-vehicle wireless systems.

I. INTRODUCCIÓN

Los sistemas de seguridad para vehículos han experimentado en los últimos tiempos una rápida evolución y actualmente las líneas principales de investigación se encaminan hacia el diseño de sistemas de transporte inteligentes (ITS, *Intelligent Transportation Systems*). Estos sistemas buscan mejorar no solo la seguridad, sino también la eficiencia y calidad del transporte [1]. Dentro de este marco evolutivo de los ITS, los sistemas de comunicaciones móviles entre vehículos (IVC, *Inter-Vehicle Communications*) están adquiriendo un importante peso, sobretodo en aplicaciones de seguridad vial. Tanto es así, que recientemente fueron incluidos en el programa *eSafety* del FP6 de la Comisión Europea y han sido el objetivo principal de diversos proyectos internacionales, como *FleetNet* o *CarTALK2000*. Estados Unidos y Japón, países altamente industrializados y que dependen en fuerte medida del sector automovilístico, han apostado de forma importante por el desarrollo de estos sistemas con la formación de consorcios como el VSCC (*Vehicle Safety Communications Consortium*) o el *Internet ITS Consortium*, respectivamente.

En este contexto, con el fin de explotar al máximo el potencial que ofrecen estos sistemas, en 2004 se formó el grupo de estandarización IEEE 802.11p para la creación de un estándar internacional que adapte la norma IEEE 802.11a 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*) [2], describe las capas PHY y MAC del nuevo sistema de comunicaciones para entorno vehicular. Asimismo, 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 donde se realiza una primera detección de los vehículos cercanos, como paso previo al establecimiento de las comunicaciones, al mismo tiempo que es utilizado para anunciar los servicios disponibles en los canales SCH (acceso a Internet, descarga de mapas, etc.).

El objetivo prioritario de los sistemas IVC y la formación de redes de comunicaciones entre vehículos (VANET, *Vehicular Ad-hoc NETWORKS*) es el intercambio de información relativa a la seguridad vial. Con ello, se pretenden 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. Así, uno de los principales retos que se plantea en el diseño de este tipo de redes es la necesidad de mecanismos robustos que garanticen la fiabilidad de los intercambios de dicha información. De hecho, se prevé crucial el correcto dimensionado de los sistemas IVC para que puedan soportar aplicaciones de seguridad críticas.

II. EL DIMENSIONADO DE SISTEMAS IVC

Para el correcto diseño de estos sistemas hay que tener en cuenta que en un entorno como el vehicular, la velocidad de desplazamiento es elevada, la formación de las redes es muy dinámica y el entorno de propagación altamente variable. Esto, unido a que las transmisiones deben ser fiables para poder dar robustez a las aplicaciones de seguridad, hace que el proceso de definición de un protocolo de comunicaciones adecuado sea complejo y se requiera un dimensionado previo.

Diversos estudios han analizado el rendimiento de los sistemas IVC. Por ejemplo, en [3] se estudia el efecto del modelado realista del canal radio sobre el *throughput* y el retardo de los mensajes de seguridad. Por otro lado, para garantizar la fiabilidad y el retardo acotado de los mensajes, en [4] se proponen distintas políticas de transmisión basadas en varios algoritmos de repetición. El estudio presentado en [5] propone un protocolo de comunicaciones entre vehículos como sistema de alerta de eventos, utilizando diferenciación entre servicios y métodos de disseminación de mensajes.

A pesar de que todos estos trabajos proporcionan valiosos resultados, la mayoría no evalúa la probabilidad real que tendría un conductor de sufrir un accidente utilizando las comunicaciones entre vehículos y, además, hay una variable crítica que no es tenida en cuenta: el tiempo necesario para la

reacción del conductor. Este tiempo debería ser incluido en los estudios puesto que podría constituir un factor decisivo a la hora de garantizar que los conductores tengan tiempo suficiente como para reaccionar ante un aviso de posible colisión. Diversos estudios cuantifican el tiempo de reacción de un conductor en torno a 1.5s en valor medio [6]. Sin embargo, si se considera el caso de las personas mayores, con las capacidades visual y psico-motriz disminuidas, este tiempo puede alcanzar los 3.5s [7].

La finalidad de este trabajo es el dimensionado de sistemas IVC en escenarios realistas donde además se considere el tiempo de reacción del conductor. Dicho dimensionado deberá proporcionar los indicadores necesarios para iniciar el proceso de diseño de mecanismos de gestión de recursos radio (RRM, *Radio Resource Management*) que posibiliten un intercambio de información de seguridad vial entre vehículos, robusto, fiable y eficiente. Para ello, los sistemas deberán ser capaces de funcionar adecuadamente en entornos con gran densidad de vehículos que requieran el uso del mismo canal de comunicaciones de forma simultánea, y en condiciones hostiles de transmisión radio.

III. ESCENARIO DE SIMULACIÓN

Para la realización de este estudio, se ha utilizado la herramienta de simulación ns2 con un escenario urbano como el que muestra la Figura 1. En dicho escenario, dos vehículos, A y B, se aproximan a una intersección con riesgo de colisión. Para evitar dicha colisión, transmiten mensajes *broadcast* utilizando IEEE 802.11p en modo ad-hoc en el canal de control, a una velocidad de datos de 6Mbps.

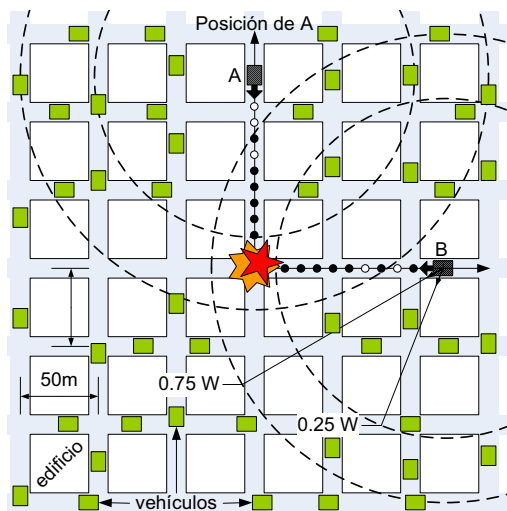


Figura 1. Escenario simulado.

Parámetro	Valor
Velocidad [km/h]	40, 70, 100
Potencia de transmisión [W]	0.25, 0.75
Distancia entre vehículos (DEV) [m]	40, 20, 13, 10
Deceleración de emergencia [m/s^2]	8
Tamaño del paquete de datos [bytes]	100
Tasa de paquetes [paquetes/seg]	10
Exponente de pérdidas de trayecto	3.5
Desviación típica del desvanecimiento [dB]	4
Umbral de ruido [dBm]	-95

Tabla 1. Parámetros de simulación.

Para modelar el efecto de las colisiones radio en el funcionamiento del sistema, se han simulado diferentes densidades de tráfico por las calles cercanas a la intersección bajo estudio. Estos vehículos cercanos, a su vez, transmiten sus respectivos mensajes de seguridad *broadcast*. Además, para la transmisión de estos mensajes se han considerado distintas potencias de transmisión dentro del rango de las definidas en la norma IEEE 802.11p. En el escenario escogido, no sólo se producen colisiones de paquetes en el acceso al canal radio, sino que también aparece el conocido problema del *hidden terminal*, puesto que en IEEE 802.11 los mensajes *broadcast* no van precedidos del intercambio de mensajes RTS/CTS. Otro aspecto que podría influenciar en la congestión del canal sería el anuncio de otros servicios de comunicaciones, aunque estos no se han incluido para aislar los efectos de la congestión y la transmisión radio. La inclusión de dichos servicios requeriría la definición de mecanismos de prioridad que garanticen la calidad de servicio de los mensajes de seguridad vial, y la definición de dichos mecanismos no es el objetivo de este trabajo.

Los efectos de propagación radio han sido incluidos en el sistema mediante la utilización del modelo *log-distance* para las pérdidas de propagación (*path loss*) y el modelo de distribución *log-normal* para el desvanecimiento lento (*shadowing*). Además, la naturaleza probabilística del entorno radio debido a los efectos de desvanecimiento (*fading*) se ha reflejado con la inclusión de las curvas de PER (*Packet Error Rate*) obtenidas en [8]. Estos efectos del canal radio pueden observarse también en la Figura 1, donde los círculos negros y blancos representan respectivamente mensajes recibidos correctamente y con error. La Tabla 1 resume los principales parámetros de simulación.

IV. EVALUACIÓN DE RESULTADOS

Dos de los principales parámetros analizados mediante simulación han sido el instante y la posición en la que cada uno de los dos vehículos bajo estudio recibe con éxito un mensaje procedente del otro. Así, analizando estos parámetros para el primero de los mensajes recibidos, se puede estudiar si un conductor dispone de tiempo necesario para reaccionar (por ejemplo mediante un frenado de emergencia) desde que se le avisa del peligro. La Figura 2 muestra la distancia media a la intersección (la intersección equivaldría a la posición cero en la figura) a la que se recibe el primero de estos mensajes, y las distancias a las que el conductor reaccionaría y conseguiría frenar por completo su vehículo. Los tiempos de reacción (TR) considerados son 1.5s y 3.5s. Como puede observarse, con baja potencia de transmisión y elevado tiempo de reacción del conductor, el riesgo de accidente es alto incluso a bajas velocidades. Este riesgo decrece cuando el tiempo de reacción del conductor es menor. Sin embargo, aún con bajos tiempos de reacción, el riesgo de colisión es elevado para altas velocidades. En este último caso, el riesgo podría reducirse incrementando la potencia de transmisión (ver Figura 3), dejando patente la necesidad de esquemas de control de potencia adaptativos, que modifiquen la potencia de transmisión en función de la velocidad de desplazamiento.

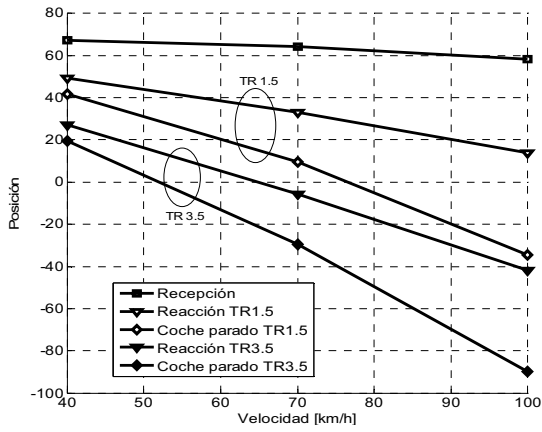


Figura 2. Posición (PotTx=0.25W, sin vehículos cercanos)

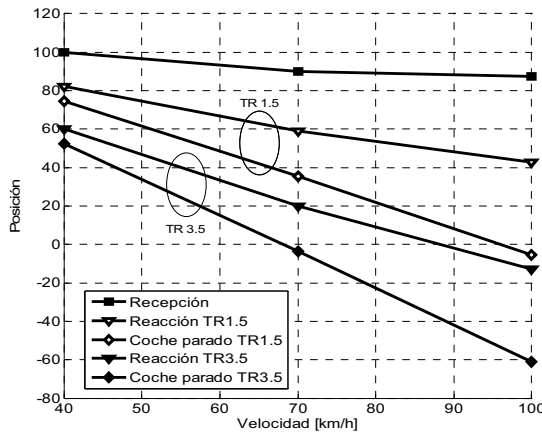


Figura 3. Posición (PotTx=0.75W, sin vehículos cercanos)

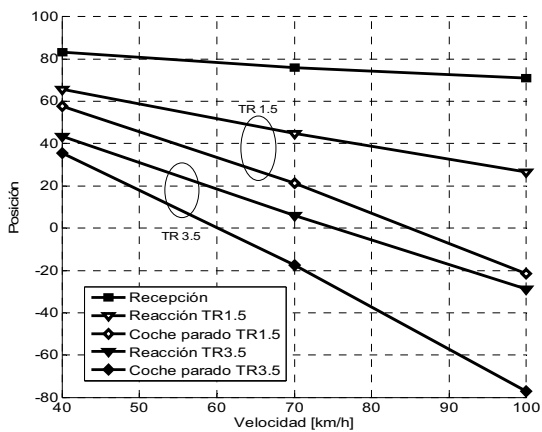


Figura 4. Posición (PotTx=0.75W, DEV=40m)

Los resultados mostrados en las figuras 2 y 3 corresponden al caso en el que no existen vehículos cercanos transmitiendo en el CCH y, por lo tanto, interfiriendo en las comunicaciones de los vehículos bajo estudio. Aún así, tras las simulaciones realizadas se han obtenido conclusiones similares cuando existen sí existen dichos vehículos cercanos transmitiendo. Sin embargo, como puede verse en la Figura 4, el comportamiento del sistema empeora cuando la densidad de tráfico aumenta (la distancia entre vehículos disminuye) puesto que la probabilidad de colisión de paquetes también aumenta. Además, este efecto se ve amplificado cuando las potencias de transmisión son elevadas, puesto que el rango de cobertura de los vehículos es mayor y se abarca mayor número de nodos interferentes.

A partir de estos resultados, resulta de interés el estudio del porcentaje de vehículos que finalmente sufriría un accidente bajo distintas condiciones de operación. La Figura 5 muestra que, considerando una potencia de transmisión de 0.25W, solamente es posible garantizar un porcentaje de accidentes relativamente reducido, pero no nulo, para vehículos desplazándose a velocidades menores de 40km/h. Dicho porcentaje puede reducirse significativamente incrementando la potencia de transmisión (ver Figura 6), aunque a altas velocidades deberán considerarse potencias todavía más elevadas para evitar accidentes por medio de las comunicaciones entre vehículos. De hecho, la Figura 7 muestra que a altas velocidades se reciben muy pocos mensajes antes del tiempo crítico, comparado con velocidades menores. El tiempo crítico sería el tiempo que necesitaría un conductor para detener su vehículo por completo antes de llegar a la intersección desde que recibe un mensaje de alerta de colisión, teniendo en cuenta el tiempo de reacción (1.5s en la Figura 7), la velocidad de desplazamiento y la deceleración de emergencia. Además, en la misma figura puede observarse que a bajas velocidades se recibe un gran número de mensajes antes del mencionado tiempo crítico, dando muestra del desperdicio de ancho de banda que se realiza en estos casos, puesto que dichos mensajes ya no son útiles para la prevención de la colisión y pueden provocar a su vez colisiones radio a otros vehículos. A la vista de los resultados de la Figura 7, los autores proponen el diseño de un algoritmo que varíe la tasa de transmisión de mensajes en función de la velocidad de desplazamiento.

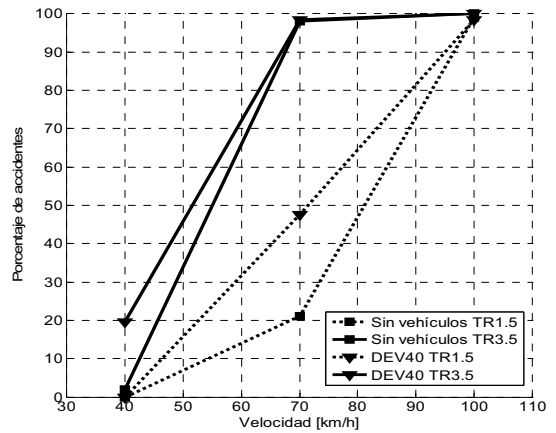


Figura 5. Porcentaje de accidentes (PotTx=0.25W)

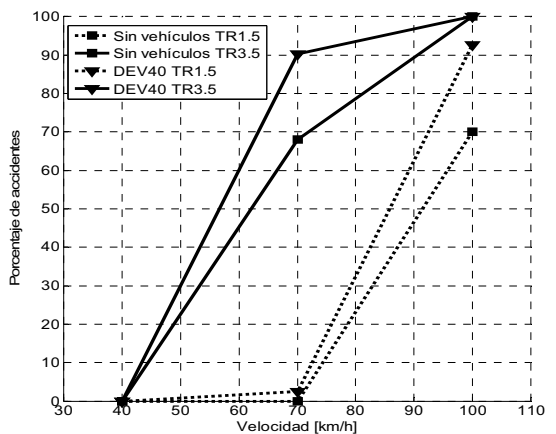


Figura 6. Porcentaje de accidentes (PotTx=0.75W)

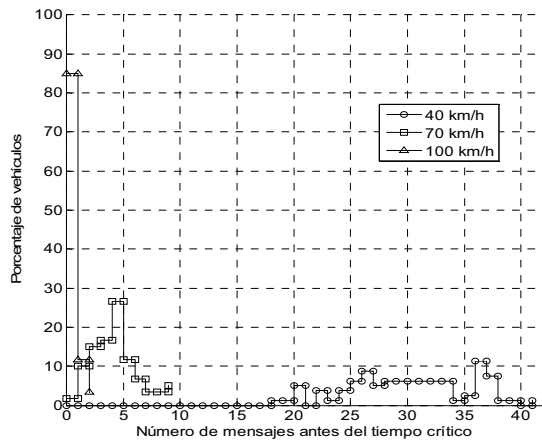


Figura 7. Porcentaje de vehículos que reciben un determinado número de mensajes antes del tiempo crítico (PotTx=0.75W y DEV=40m)

Siguiendo con el estudio de los mensajes recibidos correctamente, la Figura 8 muestra el número de estos mensajes frente al tiempo que resta para llegar a la intersección cuando los vehículos circulan a 70km/h. Mientras las barras corresponden a la muestra de una sola simulación, la curva representa el valor medio obtenido. En la misma figura también se representa el tiempo crítico calculado, considerando un tiempo de reacción del conductor de 1.5s. Esta figura demuestra claramente que la mayoría de los mensajes de seguridad se reciben una vez pasado el tiempo crítico. Aunque dichos mensajes podrían ser necesarios para evitar otros peligros, pueden provocar colisiones radio con mensajes de otros vehículos cercanos, como ya se ha mencionado, empeorando el comportamiento del sistema. Por ello, los autores proponen la implementación de algoritmos que gestionen la potencia y la velocidad de transmisión de mensajes, no solo en función de la velocidad de desplazamiento, sino también en función de la distancia a un peligro. En nuestro escenario, esto último equivaldría básicamente a incrementar la tasa de mensajes y/o la potencia cuando el tiempo que le queda al vehículo para llegar a la intersección se va aproximando al tiempo crítico, y disminuirlas cuando ya se haya superado.

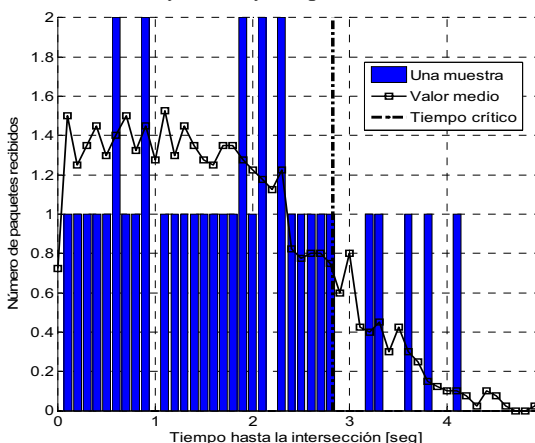


Figura 8. Número de mensajes recibidos vs. tiempo hasta la intersección (PotTx=0.75W, velocidad=70km/h y DEV=20m)

Dado que los efectos de variar la potencia de transmisión y variar la tasa de envío de paquetes actúan de forma similar pero no igual sobre el sistema, se requerirá un profundo estudio de ambos parámetros para estudiar en qué casos convendrá uno y en cuáles el otro. A priori, duplicando el

número de paquetes transmitidos por segundo por vehículo se duplicaría la carga transmitida por el canal hasta llegar a cierto umbral de saturación, pero duplicando la potencia de transmisión no tiene por qué duplicarse dicha carga, puesto que para ello tendría que duplicarse el número de vehículos dentro del rango de cobertura. Así, debido fundamentalmente a la distinta influencia que ejercen estos dos factores sobre la carga del canal, otro factor que deberá ser tenido en cuenta en los mecanismos de control de potencia y de variación de la tasa de transmisión de mensajes propuestos por los autores será el número de vehículos detectados en los alrededores. Por esta razón, se requerirá también el diseño de técnicas de medición de la congestión del canal.

V. CONCLUSIONES

Este artículo analiza el comportamiento de los sistemas de comunicaciones entre vehículos basados en el estándar WAVE. En particular, se investiga su dimensionado considerando parámetros clave como la velocidad de los vehículos, la potencia de transmisión o la densidad del tráfico, e incluyendo factores como el tiempo de reacción del conductor. Los resultados obtenidos ponen de manifiesto la necesidad de implementar mecanismos de control de potencia y control de la tasa de transmisión de mensajes de seguridad en función de la velocidad de desplazamiento, la posición de los vehículos e incluso la congestión del canal.

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.

REFERENCIAS

- [1] M. Torrent-Moreno et al., "The challenges of robust inter-vehicle communications", *Proc. of the IEEE VTC*, Sept. 2005.
- [2] IEEE P802.11p/D0.21, "Draft Part 11: WLAN MAC and PHY Specifications: Wireless Access in Vehicular Environments (WAVE)", *IEEE Standards Association*, June 2005.
- [3] J. Yin et al., "Performance evaluation of safety applications over DSRC vehicular ad hoc networks", *Proc. of the 1st international workshop on Vehicular ad hoc networks*, Oct. 2004.
- [4] Q. Xu, T. Mak, J. Ko and R. Sengupta, "Vehicle-to-vehicle safety messaging in DSRC". *Proc. of the 1st international workshop on Vehicular ad hoc networks*, Oct. 2004.
- [5] X. Yang et al., "A vehicle-to-vehicle communication protocol for cooperative collision warning", *Proc. of the First Annual International Conference on Mobile and Ubiquitous Systems. MOBIQUITOUS*, Aug 2004.
- [6] M. Green, "How Long Does It Take To Stop? Methodological Analysis of Driver Perception-Brake Times", *Transportation Human Factors*, 2000.
- [7] L. Staplin et al., "Highway Design Handbook for Older Drivers and Pedestrians", *U.S. Department of Transportation*, May 2001.
- [8] Y. Zang et al. "An error model for inter-vehicle communications in high-way scenarios at 5.9GHz", *Proc. of the 2nd international workshop on Performance evaluation of wireless ad hoc, sensor, and ubiquitous networks*, Oct. 2005.