

Dimensionado contextual de sistemas de comunicaciones móviles entre vehículos

Miguel Sepulcre y Javier Gozalvez
msepulcre@umh.es, j.gozalvez@umh.es

Área de Teoría de la Señal y Comunicaciones.
Universidad Miguel Hernández
Avda. de la Universidad s/n
Elche, 03202

Abstract- The decentralized nature and the fast topology changes of the vehicular environment, imposes new challenges in the dimensioning of Vehicle-to-Vehicle and Vehicle-to-Infrastructure mobile communication systems. Such challenges are particularly important when considering traffic safety applications with tight quality of service constraints. In this context, this investigation proposes and evaluates a context-aware dimensioning methodology for mobile vehicular communication systems. The obtained results show that dimensioning studies can be considerable affected when the impact over surrounding vehicles is considered. As a consequence, this work proposes the implementation of mobile communication protocols that adapt their configuration to the particular context of each vehicle.

I. INTRODUCCIÓN

Los sistemas de comunicaciones móviles entre vehículos (V2V, *Vehicle-to-Vehicle*) y entre vehículos e infraestructura (V2I, *Vehicle-to-Infrastructure*) están adquiriendo un importante peso dentro del marco evolutivo de los de sistemas de transporte inteligentes (ITS, *Intelligent Transportation Systems*), sobretodo en aplicaciones de seguridad vial. Tanto es así, que fueron incluidos en el programa *eSafety* del FP6 de la Comisión Europea y son el objetivo principal de diversos proyectos internacionales, como COOPERS o CVIS.

Con el fin de explotar al máximo el potencial que ofrecen estos nuevos sistemas de comunicaciones, 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*) [1], describe las capas física y MAC (*Medium Access Control*) del nuevo sistema de comunicaciones vehiculares. Esta nueva norma se basa en el uso de siete canales de 10MHz no solapados ubicados en la banda de 5.9GHz. El canal central es el denominado Canal de Control y en él se realiza una primera detección de los vehículos cercanos y se inician todas las comunicaciones. Los seis canales restantes, denominados Canales de Servicio, se destinan tanto a seguridad vial como a aplicaciones privadas (acceso a Internet, descarga de mapas, etc.).

Además de los estrictos requisitos de latencia impuestos para las aplicaciones de seguridad vial, el dimensionado de

estos nuevos sistemas de comunicaciones introduce nuevas dificultades técnicas por la elevada movilidad de los nodos, los rápidos y frecuentes cambios de topología y la descentralización en la gestión de las comunicaciones. Diversos trabajos como [2] y [3] han demostrado la necesidad de adaptar los parámetros de las comunicaciones al entorno de operación particular de cada vehículo, por ejemplo la velocidad y la densidad del tráfico. Gracias a las comunicaciones V2V, será posible la interconexión entre vehículos a través de las denominadas VANETs (*Vehicular Ad-hoc Networks*). Como demuestra [4], el establecimiento de VANETs permite reducir la probabilidad de accidente gracias a la rápida propagación de alertas de seguridad vial.

A pesar de la validez técnica de las propuestas descritas, hasta la fecha no se ha considerado el dimensionado de los sistemas V2V para aplicaciones de seguridad vial teniendo en cuenta la posible propagación de un accidente de tráfico entre vehículos cercanos. Por ello, este trabajo investiga el dimensionado de sistemas V2V considerando no solo la situación particular de dos vehículos con riesgo de colisión sino también el contexto de tráfico en el que se encuentran. En otras palabras, considerando el posicionamiento de los vehículos cercanos que pudiesen verse influenciados por las reacciones bruscas de los vehículos con riesgo de colisión cuando intentan evitar su propio accidente.

II. ESCENARIO DE TRÁFICO

Este trabajo propone un dimensionado de los protocolos de comunicaciones móviles V2V que permita la prevención de colisiones entre vehículos y reduzca la posibilidad de accidentes en cadena. Para evaluar dicha propuesta se considera el caso de una intersección urbana sin visibilidad, aunque la metodología propuesta podría extenderse a otro tipo de escenarios como adelantamientos, advertencias sobre obstáculos, deceleraciones de emergencia, etc. En este contexto, se define la distancia crítica DC como la mínima distancia a la intersección a la que debería recibirse un mensaje de alerta para que el conductor pudiese evitar una colisión. En el presente trabajo se calcula dicha distancia mediante un modelo de deceleración uniforme teniendo en cuenta parámetros como la velocidad de desplazamiento v , el tiempo de reacción del conductor TR en segundos y una deceleración de emergencia a_{max} .

Tal y como muestra el trabajo en [2], la consideración de esta DC permite optimizar el dimensionado de los protocolos de comunicación V2V con el fin de reducir la probabilidad de accidente. Sin embargo, este dimensionado inicial no contempla la posibilidad de que la acción brusca de un conductor provoque un accidente en cadena entre los vehículos cercanos. Para que dicha posibilidad sea evitada se requiere un nuevo dimensionado de forma que la distancia a la que se reciba el mensaje de alerta sea suficiente para evitar la colisión en la intersección y además permita al vehículo evitar dicha colisión sin la necesidad de realizar acciones violentas que pudieran desembocar en un accidente en cadena. Este nuevo dimensionado requiere evitar deceleraciones bruscas y, por lo tanto, extender el valor de DC . Para calcular la nueva distancia mínima de recepción requerida se considera el caso de la intersección urbana mencionada a la que se aproximan dos vehículos con riesgo de colisión, A_1 y B . Además, se ha considerado que A_1 va seguido de $N-1$ vehículos A_2, A_3, \dots, A_N que mantienen una separación entre ellos DEV (Distancia Entre Vehículos). Aunque A_1 fuese capaz de frenar bruscamente y evitar el choque con B , dicha acción podría provocar que A_2 chocara contra él o que incluso alguno de los A_i colisionara con el vehículo que le precede dentro la cadena, A_{i-1} . La posibilidad de colisión en la cadena podría reducirse si el vehículo A_1 frenara con menor dureza para lo cual debería recibir un mensaje de alerta a una distancia superior a DC . Para la estimación de esta distancia extra necesaria (DE), puede asumirse que la distancia a la intersección $d_i(t)$ de cada uno de los vehículos A_i viene definida mediante el siguiente sistema de ecuaciones

$$d_i(t) = \begin{cases} -vt + DC + DE + (i-1)(L + DEV) & \text{Si } t < TR + (i-1)TP \\ \frac{1}{2}a_i(t - TR - (i-1)TP)^2 - vt + DC + DE + (i-1)(L + DEV) & \text{Si } t > TR + (i-1)TP \end{cases} \quad (1)$$

donde a_i es la deceleración del vehículo A_i , L la longitud y TP el tiempo de propagación de un mensaje de alerta entre A_i y A_{i+1} . Dicho tiempo de propagación coincidirá con TR cuando la propagación de la alerta se realice de manera visual mediante las luces traseras de frenado de los vehículos, o tomará valores en torno a 0.1-0.4s cuando se utilicen las comunicaciones V2V para la propagación mediante ruteo [4]. El sistema de ecuaciones anterior se ha diseñado de forma que el origen de tiempos $t=0$ lo marca el instante en el que A_1 recibe el primer mensaje de alerta procedente de B . En ese momento, A_1 se encuentra a una distancia de la intersección $d_1(0)=DC+DE$, que deberá calcularse de forma que permita evitar cualquier accidente en el entorno. Una vez transcurrido un tiempo de reacción TR , A_1 inicia la deceleración para evitar el accidente en la intersección. De forma similar, el vehículo A_2 recibe el mensaje de alerta procedente de A_1 en el instante $t=TP$, iniciando su deceleración en $t=TR+TP$ y, en general, el vehículo A_i recibe la alerta en $t=(i-1)TP$, iniciando su deceleración en $t=TR+(i-1)TP$. Para evitar colisiones en cadena, la deceleración máxima que puede aplicar el vehículo A_i depende de la deceleración de A_{i+1} . Por ello, el cálculo de DE requiere el cálculo de la a_i máxima que puede aplicar cada uno de los vehículos de la cadena, para lo cual

se asume que el último vehículo de la cadena frena con una deceleración a_{max} , puesto que no tiene vehículos a los que podría afectar con tal reacción. Resolviendo de forma recursiva y descendente la ecuación $d_i(t) < d_{i+1}(t) - L$ para $i=(N-1)$ hasta 1 se obtienen los valores de a_i :

$$a_i = \begin{cases} \frac{0.5v^2}{vTP + \frac{0.5v^2}{a_{i+1}} - DEV} & \text{Si } 0.5vTP \leq DEV \\ \frac{a_{i+1}(t^* - TR - 2TP)^2 + 2DEV}{(t^* - TR - TP)^2} & \text{Si } 0.5vTP > DEV \end{cases} \quad (2)$$

donde

$$t^* = \frac{2DEV}{TPa_{i+1}} + 2TP + TR \quad (3)$$

Una vez obtenidas las a_i , puede obtenerse DE forzando que A_1 consiga detenerse en la intersección utilizando la Ec. (1), es decir:

$$d_1\left(\frac{v}{a_1} + TR\right) = 0 \quad (4)$$

El parámetro DE depende de v , a_{max} , DEV , TP y el número de vehículos en la cadena N ; aunque N no aparezca en la Ec. (2), su influencia sobre el resultado se encuentra implícita al realizar el cálculo recursivo de los valores de a_i .

Para ilustrar la importancia de DE , la Fig. 1 muestra la variación de DC y DE considerando una propagación visual de la alerta ($TP=TR$). En ella puede observarse que, aunque DC es independiente de DEV , DE presenta una dependencia no lineal. También puede observarse que DE toma valores considerables cuando las distancias entre vehículos corresponden a las de un tráfico denso y no se anula hasta que se alcanzan situaciones de tráfico fluido ($DEV > 30m$). Estas observaciones ahondan en la necesidad de considerar la información contextual de tráfico en los protocolos de comunicación V2V.

La Fig. 2 muestra el valor de DE en forma de iso-líneas para un amplio rango de velocidades de desplazamiento y distancias entre vehículos. En ella se puede observar la alta dependencia de DE con la velocidad de desplazamiento,

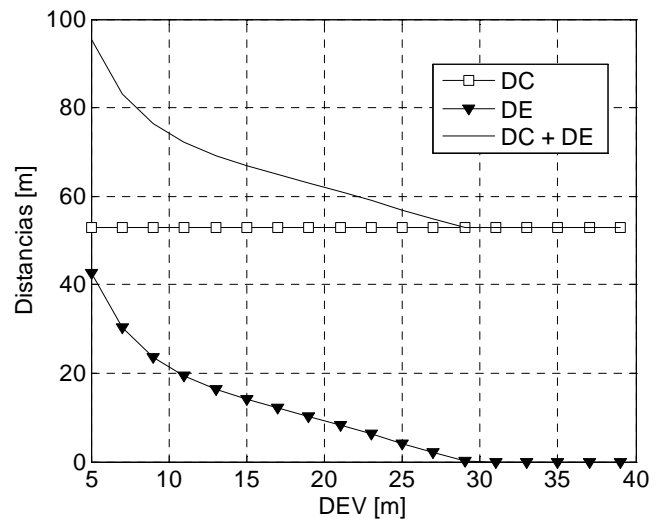


Fig. 1. DC y DE en función de la distancia entre vehículos, para $v=70km/h$, $N=2$ vehículos y $TR=1.5s$.

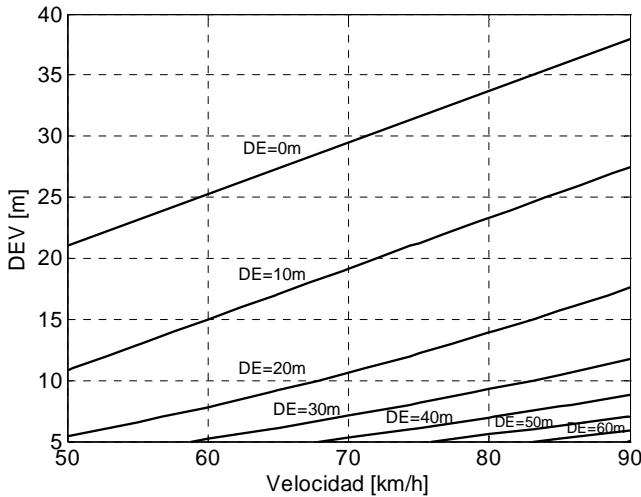


Fig. 2. DE en función de la velocidad de desplazamiento y la distancia entre vehículos, para $N=2$ vehículos y $TR=1.5s$.

TP (s)	TR=0.75s		TR=1.5s	
	N=2	N=5	N=2	N=5
0.1	0.0	0.0	0.0	0.0
0.4	2.8	11.1	2.8	11.1
0.75	10.6	42.5	42.5	170.1

Tabla 1. DE para $v=70km/h$, $DEV=5m$.

Parámetro	Valor
Tamaño del paquete de datos [bytes]	100
Tasa de paquetes [paquetes/seg]	10
Velocidad de datos [Mbps]	6
Umbral de ruido [dBm]	-90

Tabla 2. Parámetros de comunicación empleados.

especialmente notable para bajos valores de DEV , donde la variación es mucho mayor. Además, dicha figura muestra cómo bajas velocidades de desplazamiento pueden requerir el mismo valor de DE que velocidades más elevadas si la situación de tráfico que presentan es más densa (la distancia entre los vehículos es menor). Así, por ejemplo, en una situación donde los vehículos se desplacen a $60km/h$ y mantengan una distancia entre ellos de $15m$, DE tomará el mismo valor que en otra situación en la que la velocidad sea de $80km/h$ y la distancia $22.3m$, por lo que el efecto que el contexto de tráfico introducirá en el dimensionado en términos de distancias será el mismo en ambos casos.

Los resultados de la Tabla 1 muestran la dependencia de DE con el número de vehículos en cadena por el efecto acumulativo de la propagación del mensaje de alerta. Como puede observarse, la dependencia aumenta con el incremento de TP , existiendo una gran diferencia entre los casos de propagación visual de la alerta y los de propagación mediante ruteo. De hecho, y como puede observarse en dicha Tabla, DE podría incluso ser eliminada si se hace uso de un eficiente ruteo de mensajes a través de VANETs (caso de $TP=0.1s$). El uso de mecanismos de ruteo también reduce la dependencia de DE con TR en todo el abanico de casos estudiados en el presente trabajo.

III. DIMENSIONADO DE PROTOCOLOS DE COMUNICACIÓN V2V

Una vez ha sido analizado el escenario de tráfico bajo estudio, esta sección analiza el dimensionado de los protocolos de comunicación V2V de forma que se garantice la recepción de mensajes de alerta *broadcast* en el Canal de Control WAVE con tiempo suficiente como para reaccionar ante una posible colisión y además evitar los efectos sobre vehículos cercanos. En particular, se evaluarán los niveles de potencia de transmisión necesarios para cumplir los objetivos establecidos.

A. Plataforma de simulación

Para evaluar el dimensionado de los protocolos de comunicación V2V se ha implementado una plataforma de simulación basada en el simulador de comunicaciones ns2 que emula el escenario de tráfico bajo estudio. Para evitar la colisión los vehículos que se aproximan a la intersección intentan advertir su mutua presencia mediante la transmisión periódica de mensajes *broadcast* en modo ad-hoc sobre el Canal de Control WAVE. Dicha transmisión considera los parámetros de comunicación indicados en la Tabla 2, seleccionados siguiendo las recomendaciones de la norma WAVE.

Con el fin de modelar adecuadamente los efectos del canal radio, la plataforma implementa el modelo de canal propuesto en [5] ante la ausencia de modelos para entornos V2V. Este modelo no solo considera la atenuación producida por el *pathloss* en entornos sin visión directa, sino también el efecto del *shadowing*, modelado mediante una distribución aleatoria log-normal, y las pérdidas por multitrayecto, modeladas mediante una distribución aleatoria Rayleigh. El modelo implementado considera también la correlación espacial del *shadowing* a través del modelo propuesto por Gudmunson [6]. Finalmente, la naturaleza probabilística del entorno radio es emulada mediante el uso de las curvas de PER (*Packet Error Rate*) en función de la calidad del canal radio según los datos publicados en [7].

B. Protocolos de comunicación

La Fig. 3 muestra los niveles de potencia teóricos necesarios para recibir un mensaje de alerta entre vehículos que se aproximan a una intersección a una distancia DC o $DC+DE$. La potencia ha sido calculada considerando un PER objetivo del 3% a las distancias mencionadas y el modelo determinista de *pathloss* propuesto en [5]. La Fig. 4 analiza la misma problemática pero considerando los niveles de potencia necesarios no solo desde una perspectiva teórica, sino también mediante estudios de simulación utilizando la plataforma implementada.

Al considerar una velocidad de desplazamiento y un tiempo de reacción fijos, la Fig. 3 muestra que la potencia necesaria para la recepción del mensaje de alerta *broadcast* a una distancia DC es la misma en todos los casos. Sin embargo, la Fig. 3 pone de manifiesto que para ciertas condiciones de operación la potencia de transmisión necesaria para recibir el mensaje a una distancia $DC+DE$ debe ser notablemente incrementada. En particular, y en consonancia con las indicaciones obtenidas sobre DE en la sección II, los incrementos son más notables para bajos valores de DEV y cuando se consideran mayores tiempos de propagación.

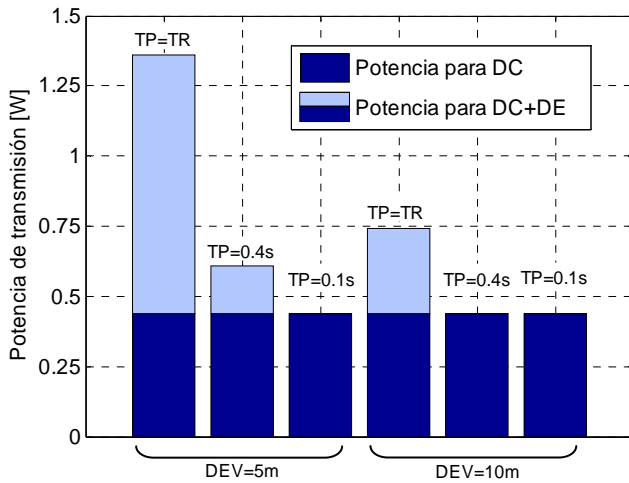


Fig. 3. Estimación teórica de la potencia para $v=70\text{km/h}$, $N=2$ vehículos y $TR=0.75\text{s}$.

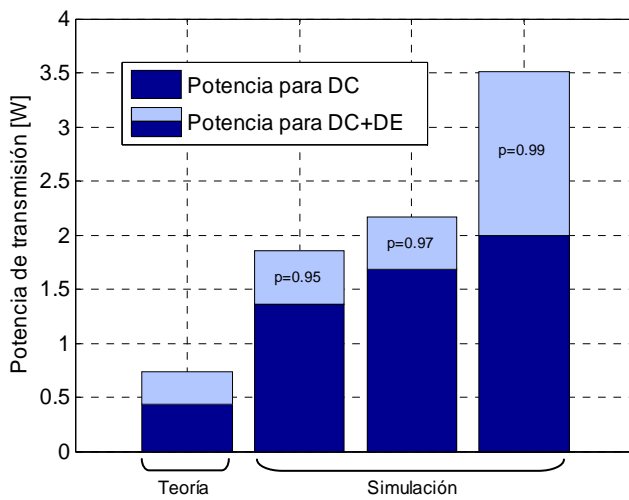


Fig. 4. Potencia de transmisión para $v=70\text{km/h}$, $N=2$ vehículos, $TR=TP=0.75\text{s}$ y $DEV=10\text{m}$.

Al analizar la Fig. 4 cabe destacar que el análisis teórico infravalora de forma notable las potencias de transmisión necesarias, comparado la emulación realista de los efectos del canal radio mediante simulación. La Fig. 4 también demuestra cómo los protocolos de comunicación V2V deben incrementar sus potencias de transmisión para evitar los efectos en cadena originados por acciones bruscas de los conductores al disponer de poco tiempo de reacción. El incremento más notable se produce cuando se desea garantizar una mayor probabilidad de correcta recepción del mensaje a la distancia $DC+DE$, representada mediante la variable p . Estos mayores incrementos de la potencia de transmisión a medida que se aumentan las exigencias de recepción de mensajes son debidos a los notables efectos del canal radio. Además, dichos efectos son los responsables de que el incremento en potencia de transmisión necesaria no sea lineal con el nivel de probabilidad de recepción deseado.

IV. CONCLUSIONES

El presente trabajo de investigación ha analizado el adecuado dimensionado de los protocolos de comunicaciones móviles V2V para la prevención de colisiones evitando los posibles efectos derivados de las reacciones de los conductores. Los resultados obtenidos han demostrado que dicho dimensionado puede verse notablemente afectado cuando se intenta prevenir una colisión al tiempo que se pretenden evitar los efectos sobre los vehículos cercanos. Por ello, este trabajo propone la implementación de protocolos de comunicaciones contextuales que adapten su configuración al entorno que les rodea.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido financiado por el Ministerio de Fomento de España a través del proyecto T39/2006, por la Consellería de Empresa, Universidad y Ciencia de la Generalitat Valenciana (beca BFPI06/126) y por la Universidad Miguel Hernández a través del Premio Jóvenes Investigadores del Consejo Social.

REFERENCIAS

- [1] IEEE P802.11p/D0.21, "Draft Part 11: WLAN MAC and PHY Specifications: Wireless Access in Vehicular Environments (WAVE)", IEEE Standards Association, Junio 2005.
- [2] M. Sepulcre y J. Gozalvez, "Dimensioning Wave-Based Inter-Vehicle Communication Systems for Vehicular Safety Applications", *Proc. Int. Symposium on Wireless Communications Systems*, Septiembre 2006.
- [3] M. Torrent-Moreno, S. Corroy, F. Schmidt-Eisenlohr y H. Hartenstein, "IEEE 802.11-based one-hop broadcast communications: understanding transmission success and failure under different radio propagation environments", *Proc. Int. Symposium on Modeling, Analysis and Simulation of Wireless and Mobile Systems*, Octubre 2006.
- [4] S. Biswas, R. Tatchikou, y F. Dion, "Vehicle-to-Vehicle Wireless Communication Protocols for Enhancing Highway Traffic Safety", *IEEE Communications magazine*, Enero 2006.
- [5] WINNER, "D1.1.1. WINNER II interim channel models", *Public Deliverable*, <https://www.ist-winner.org/index.html>
- [6] M. Gudmundson, "Correlation model for shadow fading in mobile radio systems", *Electronic Letters*, 27(23), Noviembre 1991.
- [7] Y. Zang, L. Stibor, G. Orfanos, S. Guo y H. Reumerman. "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 net-works*, Octubre 2005.