

# Optimización de Técnicas de Transmisión Adaptativas para Sistemas de Comunicaciones Vehiculares

Ramón Bauzá, Miguel Sepulcre y Javier Gozávez

[j.gozalvez@umh.es](mailto:j.gozalvez@umh.es)

Universidad Miguel Hernández

Avda. de la Universidad, s/n, 03202, Elche (Alicante)

**Abstract-** The adoption of wireless vehicular communication technologies would strongly depend on the technologies transmission reliability, required by QoS demanding traffic safety applications, and the system's scalability as the technology is gradually introduced. To this aim, this work proposes the use of opportunistic transmission policies that dynamically adapt the transmission parameters based on the operating conditions and potential traffic safety risks. The work analyses different configuration proposals with the aim at meeting the strong traffic safety QoS requirements while maximising robustness and channel efficiency, crucial to guarantee the future system's scalability.

## I. INTRODUCCIÓN

Dentro de los denominados ITS (*Intelligent Transportation Systems*), los sistemas de comunicaciones móviles entre vehículos han sido identificados como una prometedora tecnología para mejorar la seguridad vial y la movilidad, además de para proporcionar conectividad a Internet en movimiento. Sin embargo, su futuro desarrollo requerirá solventar un importante número de retos tecnológicos como presentar de forma ubicua una elevada fiabilidad y robustez en las transmisiones, además del requisito adicional de la escalabilidad. De hecho, los beneficios potenciales de las tecnologías inalámbricas vehiculares dependerán en gran medida de su grado de penetración en el mercado, aunque su uso generalizado en escenarios de tráfico denso podría producir una elevada congestión del canal radio y la consecuente inestabilidad del sistema. En consecuencia, garantizar la futura escalabilidad del sistema requerirá la implementación de protocolos de comunicación que no solo garanticen los niveles de calidad de servicio (QoS, *Quality of Service*) de las aplicaciones, sino que también empleen de forma eficiente el canal de comunicaciones para reducir la congestión.

Se ha demostrado que el empleo de políticas de transmisión adaptativas basadas en las condiciones específicas de operación de los vehículos mejoran el rendimiento del sistema [1]. En particular, diversos trabajos proponen la adaptación de la potencia de transmisión para mitigar las interferencias o mantener la conectividad de la red. Sin embargo, la mayor parte de las políticas de transmisión adaptativas propuestas se centran en la operación a nivel de sistema y no consideran de forma adecuada los requisitos de QoS instantáneos de las aplicaciones de tráfico. Dichos requisitos son especialmente exigentes en aplicaciones de seguridad vial, que requieren la máxima fiabilidad en las transmisiones. En este contexto, los autores proponen en [2] el mecanismo de transmisión adaptativo OPRAM (*Opportunistic-driven adaptive Radio*

*resource Management*) con el propósito de garantizar los estrictos requisitos de QoS de las aplicaciones de seguridad vial empleando de forma eficiente los recursos radio disponibles. Mientras en [2] se analiza el beneficio ofrecido por la técnica de transmisión OPRAM en términos de rendimiento y QoS en comparación con políticas de transmisión fijas, en el presente trabajo se analizan distintas variantes de la técnica original para optimizar su eficiencia y su robustez ante las interferencias.

## II. EL ESTÁNDAR WAVE

Para superar las limitaciones de los actuales sistemas de comunicaciones inalámbricos, el IEEE está desarrollando una modificación del estándar IEEE802.11 específica para el entorno vehicular: el estándar IEEE802.11p o WAVE (*Wireless Access in Vehicular Environments*) [3]. WAVE, basado en siete canales no solapados de 10MHz (un canal de control y seis de servicios) en la banda de 5.9GHz, adapta la norma IEEE802.11a al entorno vehicular. Mientras los canales de servicio se emplean para seguridad vial y servicios privados, el canal de control se usa en modo ad-hoc como canal de referencia para la detección inicial de los vehículos cercanos y el establecimiento de toda comunicación. Como consecuencia, el tradicional proceso de escaneo de los distintos canales de IEEE802.11 se encuentra deshabilitado en WAVE y el canal de control se emplea para transmitir mensajes *broadcast* periódicamente sobre los servicios privados disponibles, mensajes de seguridad vial y mensajes de alerta.

## III. TÉCNICAS DE TRANSMISIÓN ADAPTATIVAS

La técnica OPRAM fue diseñada con el principal objetivo de satisfacer los estrictos requisitos de QoS de las aplicaciones de seguridad vial empleando de forma eficiente el canal radio. OPRAM es una política de transmisión adaptativa que modifica los parámetros de comunicación de los vehículos en base a su velocidad y su distancia a una posible zona de accidente. Esta adaptación se realiza de manera descentralizada y puede basarse en la información proporcionada por mapas digitales, vehículos cercanos o cualquier otra fuente. En particular, para aplicaciones de seguridad vial, OPRAM adapta la potencia y la tasa de transmisión de mensajes solo en una pequeña región denominada RA (Región del Algoritmo, de 1 segundo de duración en el presente trabajo) inmediatamente anterior a la distancia crítica (DC). Esta distancia crítica es la mínima distancia a una posible zona de accidente a la que debería recibirse un mensaje de alerta para que el conductor pudiese

frenar a tiempo y evitar una colisión, y depende de parámetros como la velocidad del vehículo o el tiempo de reacción del conductor (TR). Uno de los escenarios objetivo de la aplicación de esta técnica son las intersecciones (ver Fig. 1).

Mediante la modificación de los parámetros de comunicación en RA, el objetivo de OPRAM es garantizar la correcta recepción de al menos un mensaje *broadcast* de seguridad vial procedente de un vehículo con el que existe posibilidad de accidente antes de DC en el 99% de los casos (equivalentemente, una probabilidad de no recibir a tiempo de  $p_n=0.01$ ). Como se ilustra de forma esquemática en la Fig. 1, OPRAM transmite  $N_T$  mensajes *broadcast* de seguridad vial en RA con la potencia de transmisión necesaria para que cada uno de ellos se reciba con una probabilidad  $p_e(i)$ , con  $i=1,2,\dots,N_T$ . Según se detalla en [2], dichos valores de probabilidad calculan para que al menos uno de los  $N_T$  mensajes se reciba correctamente con el nivel de probabilidad objetivo marcado y, a partir de ellos, se calculan los niveles de potencia de transmisión necesarios en RA. Fuera de RA, los vehículos transmiten con una potencia constante de  $P_t=0.25W$  y una tasa de 10 paquetes/s con el fin de mantener una adecuada comunicación con los posibles vehículos que se pudieran encontrar en su misma calle (condiciones de propagación con visibilidad directa o LOS, *Line of Sight*) en un rango de 150m, cumpliendo así los requisitos marcados para aplicaciones definidas como *Cooperative Collision Warning applications*.

Para demostrar el adecuado rendimiento y los potenciales beneficios de la técnica OPRAM, en [2] se propuso como solución inicial el empleo de una probabilidad de recepción constante  $p_e(i)=p_e$  para los  $N_T$  paquetes transmitidos en RA. Dicha configuración, aunque satisface adecuadamente los objetivos de seguridad vial marcados, no es la única configuración posible para la obtención de la probabilidad objetivo  $p_n$ . En un caso más general, el valor de la probabilidad de recepción de cada paquete dependerá de su número de índice  $i$ . En este caso, la probabilidad de no recibir un mensaje *broadcast* a tiempo  $p_n$  puede calcularse según la siguiente ecuación:

$$p_n = \prod_{i=1}^{N_T} (1 - p_e(i)) \quad (1)$$

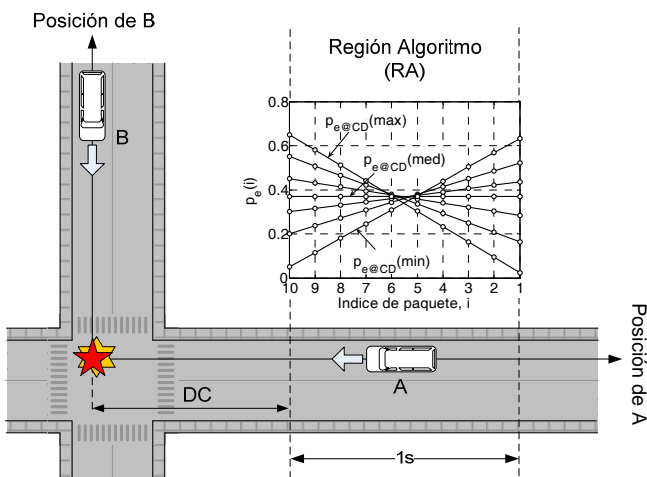


Fig. 1. Esquema conceptual del mecanismo OPRAM.

La configuración analizada en el presente trabajo para los valores de  $p_e(i)$  corresponde a una función lineal dependiente del índice  $i$  según la ecuación (2):

$$p_e(i) = p_{e@DC} + \Delta p_e \cdot (N_T - i) \quad (2)$$

Tomando  $i=1$  para el paquete más alejado a DC e  $i=N_T$  para el más cercano a DC, en la ecuación anterior el parámetro  $p_{e@DC}$  corresponde a la probabilidad de recepción para paquete más cercano a DC, es decir, el último de los paquetes transmitido en RA,  $p_{e@D}=p_e(N_T)$ . El sistema se ha resuelto asignando valores a  $p_{e@DC}$  y calculando numéricamente el parámetro  $\Delta p_e$  asociado. La Fig. 1 muestra algunas de las soluciones de los valores de  $p_e(i)$  para el sistema de ecuaciones propuesto. Cada una de ellas puede ser identificada por su parámetro  $p_{e@DC}$ .

#### IV. ESCENARIO DE EVALUACIÓN

Para la evaluación del rendimiento y la eficiencia de las distintas variantes de la técnica de transmisión OPRAM propuestas, se ha implementado una plataforma de simulación de comunicaciones móviles vehiculares basada en el simulador de redes de código abierto ns2 [4]. Dicha plataforma considera el escenario de intersección ilustrado en la Fig. 1. En dicho escenario los vehículos se aproximan a la intersección con una velocidad  $v=70\text{km/h}$  y transmiten periódicamente mensajes *broadcast* de alerta con 100B de datos en el canal de control WAVE, utilizando el modo de transmisión de 6Mbps definido para dicho canal. El tiempo de reacción del conductor ha sido fijado a  $TR=1.5\text{s}$ . En términos de densidad de tráfico, se han considerado dos escenarios. En el primero de ellos, sólo se emulan los dos vehículos que presentan riesgo de colisión y los errores de transmisión se producen únicamente por los efectos de la propagación radio. En el segundo escenario se han emulado también otros vehículos transmitiendo mensajes *broadcast* de alerta en el canal de control WAVE (densidad vehicular promedio de 100 vehículos/km), para evaluar la robustez de las distintas configuraciones posibles para OPRAM, dado que en este caso se producen errores por la congestión del canal que reducen la probabilidad de recepción y degradan el rendimiento del sistema.

Con el fin de modelar adecuadamente los efectos del canal radio, la plataforma de simulación desarrollada implementa a nivel de sistema el modelo de canal radio para entornos micro-celulares desarrollado en el proyecto WINNER [5]. Aunque este modelo no representa fielmente el entorno vehicular al no contemplar antenas transmisora y receptora idénticas, este modelo micro-celular es el que mejor se aproxima actualmente al entorno bajo estudio. Es importante destacar que hasta la fecha no se han desarrollado o publicado modelos de propagación radio exclusivos para el entorno vehicular. Este modelo considera tanto las pérdidas básicas de propagación (*pathloss*), como los efectos probabilísticos del desvanecimiento (*shadowing*) y las pérdidas por multitrayecto (*multipath fading*), diferenciando las situaciones en las que transmisor y receptor presentan visión directa (LOS, *Line of Sight*) de las que no (NLOS, *Non-Line of Sight*). Además de los efectos mencionados, para reducir la complejidad de las simulaciones a nivel de sistema, la emulación del nivel

físico del canal de control WAVE se ha implementado mediante curvas de PER (*Packet Error Rate*) en función de la relación señal a ruido e interferencia (SINR).

## V. EVALUACIÓN DE LAS TÉCNICAS DE TRANSMISIÓN ADAPTATIVAS

### A. Rendimiento de seguridad vial

En la Fig. 2 puede observarse para los valores mínimo, medio y máximo del parámetro  $p_{e@DC}$ , que las soluciones propuestas consiguen alcanzar la probabilidad objetivo de no recibir un paquete a tiempo,  $p_n=0.01$  (indicada en esta figura por el porcentaje de vehículos que no recibe ningún paquete antes de DC). Para valores elevados de  $N_T$  también se alcanzan los niveles de rendimiento objetivos, aunque a costa de incrementar el porcentaje de vehículos que reciben una mayor cantidad de mensajes *broadcast* de alerta. La selección de una u otra alternativa deberá basarse en el análisis de eficiencia y robustez de las mismas.

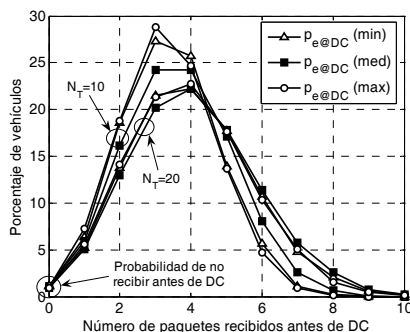


Fig. 2. Distribución del número de mensajes recibidos antes de DC.

### B. Utilización del canal radio

En el escenario propuesto, las distintas configuraciones de OPRAM presentan notables variaciones en los niveles de potencia de transmisión requeridos (ver Fig. 3), todos ellos dentro de los límites de la norma WAVE [3], aunque todas las soluciones alcanzan la misma probabilidad objetivo o nivel de QoS. En dicha figura se observa que las soluciones con menor  $p_{e@DC}$  son las que requieren mayores niveles de potencia de transmisión por necesitar probabilidades de recepción elevadas para los paquetes más alejados de la intersección.

En este punto, es de destacar que en sistemas de comunicaciones móviles vehiculares donde un elevado número de vehículos podrá encontrarse transmitiendo sobre el mismo canal radio, lo importante no es recibir una gran cantidad de paquetes sino recibir únicamente aquellos que sean relevantes para cada vehículo y minimizar la interferencia que cada vehículo pueda causar. Dicha interferencia puede reducirse evitando que los vehículos transmitan paquetes a vehículos lejanos, puesto que no se verán influenciados por la información que transporten. De esta manera, la solución más eficiente de las distintas opciones propuestas será la que menor número de recepciones innecesarias de paquetes provoque, es decir, la que afecte en menor medida al resto de vehículos que pudieran encontrarse circulando en un entorno cercano.

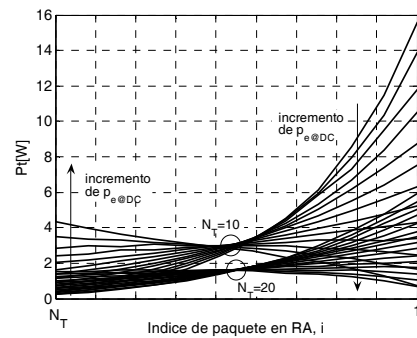


Fig. 3. Niveles de potencia de transmisión resultantes para distintas configuraciones OPRAM.

En este contexto, a partir de los niveles de potencia de transmisión puede estimarse el rango de detección promedio para cada paquete transmitido y, con él, la cantidad promedio de vehículos que detectarían uno de esos mensajes para una densidad de tráfico dada. Considerando una densidad de tráfico uniforme de  $D=100$ vehículos/km, la Fig. 4 muestra la cantidad promedio de vehículos que detectaría cada uno de los paquetes transmitidos durante el desplazamiento de un vehículo hacia la intersección. En dicha figura pueden observarse ya las notables diferencias producidas por la variación de los parámetros  $N_T$  y  $p_{e@DC}$ .

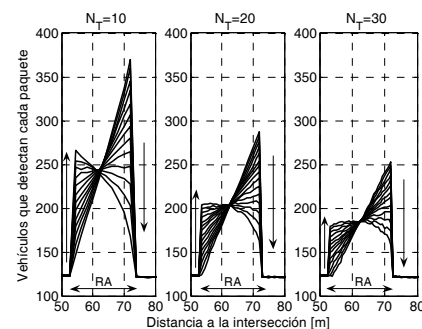


Fig. 4. Número medio de vehículos que detectan un paquete transmitido desde una distancia a la intersección dada. (Las flechas apuntan hacia mayores valores de  $p_{e@DC}$ ).

La comparación de las distintas soluciones propuestas para OPRAM, puede realizarse calculando para cada solución de  $p_{e@DC}$  el número total de veces que los vehículos cercanos detectan el medio inalámbrico como ocupado por estar recibiendo un paquete procedente de un vehículo que aplica la técnica OPRAM en RA (suma de los valores expuestos en la Fig. 4 para los  $N_T$  paquetes transmitidos desde el interior de RA). Para un mismo nivel de QoS, cuanto menor número de veces se detecten en el entorno los paquetes transmitidos desde RA, menor será la cantidad de recepciones de paquetes innecesarias y ello incrementará la eficiencia de uso del canal radio, puesto que dichos paquetes no contribuyen a la mejora del nivel de QoS. Estos resultados pueden observarse en la Fig. 5. De ellos se desprende que las soluciones de mayor eficiencia son las que consideran un mayor  $p_{e@DC}$  y un menor número de paquetes transmitidos en RA,  $N_T$ . En particular, se puede ofrecer una ganancia del 5.6% respecto a la técnica OPRAM original (valor de  $p_{e@DC}$  medio). Es importante destacar que, cuando se incrementa el valor de  $N_T$ , aumentan notablemente las recepciones de paquetes que no contribuyen a la mejora del nivel de QoS del sistema a pesar de la considerable reducción de los niveles de potencia.

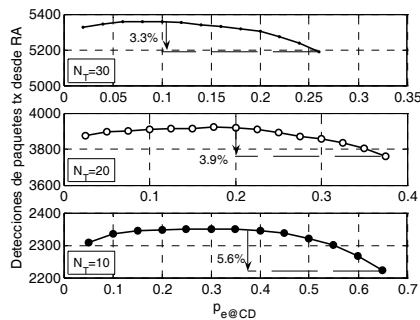


Fig. 5. Número promedio total de detecciones de los paquetes transmitidos por un vehículo desde RA.

### C. Interferencia vehículo-vehículo

En entornos donde no solo los vehículos bajo estudio se encuentren transmitiendo periódicamente mensajes *broadcast* sobre el canal de control WAVE, existe la posibilidad de que dos vehículos transmitan simultáneamente y se produzca una pérdida de datos por colisión radio o interferencia. Así, la recepción de un paquete no sólo dependerá del nivel de potencia con el que se reciba, sino también de su nivel de interferencia. La Fig. 6 muestra la distribución de los paquetes transmitidos en RA en un escenario con congestión, diferenciando entre RCV (correctamente recibido), COL (perdido por colisión radio), ECO (perdido por colisión radio y por error en el canal), ERR (perdido por error en el canal) y NDET (no detectado por tener un nivel insuficiente de potencia). La figura muestra que la probabilidad de recepción  $p_e(i)$  se ve reducida debido a las colisiones radio y ello conduce al incremento de la probabilidad de no recibir a tiempo un mensaje *broadcast* de alerta desde el 1% objetivo hasta cerca del 5% para todas las configuraciones OPRAM analizadas.

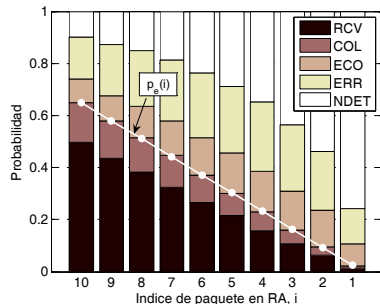


Fig. 6. Distribución de los paquetes transmitidos en RA. Parámetros:  $N_T=10$ ,  $p_{e@DC}$  (max). Con congestión.

Para paliar el impacto de la congestión del canal sobre el rendimiento del sistema se deben emplear mecanismos compensatorios, como los propuestos en [6] para la solución OPRAM original. Básicamente, se basan en el aumento de los niveles de potencia de transmisión en RA para obtener unos valores de  $p_e(i)$  tales que cuando se vean reducidos por la congestión radio equivalgan a los que originalmente se habían calculado sin congestión radio. Dicha técnica de compensación es válida también para las distintas configuraciones de OPRAM, puesto que consigue recuperar la probabilidad objetivo  $p_n$  a pesar de la congestión radio. Cada una de las configuraciones OPRAM requiere una modificación distinta de los niveles de potencia, pero como muestran los resultados de la Fig. 7, tras el proceso de

compensación las conclusiones sobre la eficiencia de las distintas configuraciones se mantiene, aunque el porcentaje de ganancia respecto a la configuración OPRAM original se reduce ligeramente.

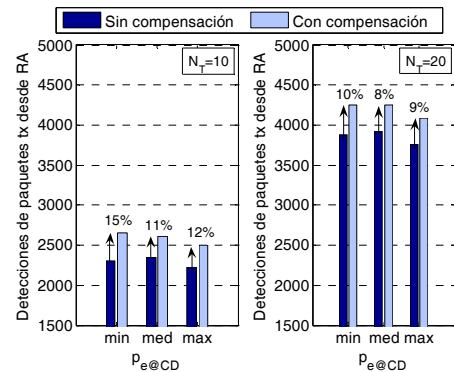


Fig. 7. Número promedio total de detecciones de los paquetes transmitidos por un vehículo desde RA. Con y sin compensar la congestión radio.

## VI. CONCLUSIONES

Los estrictos requisitos de latencia de la seguridad vial y la naturaleza descentralizada de los sistemas de comunicaciones móviles vehiculares imponen importantes retos en la gestión de recursos radio para garantizar la viabilidad y futura escalabilidad de estos sistemas. El presente trabajo ha propuesto una técnica de transmisión adaptativa que modifica dinámicamente los parámetros de transmisión garantizando los requisitos de la seguridad vial y empleando de forma eficiente los recursos radio. La adaptación de los parámetros permite múltiples variantes y el presente trabajo analiza la configuración óptima para un uso eficiente del canal radio.

## AGRADECIMIENTOS

Trabajo financiado por el Ministerio de Fomento de España (proyecto T39/2006) y por la Consellería de Empresa, Universidad y Ciencia de la Generalitat Valenciana (beca BFPI06/126).

## REFERENCIAS

- [1] M. Sepulcre y J. Gozalvez, "Dimensioning WAVE-based inter-vehicle communication systems for vehicular safety applications", *4th Int. Symp. on Wireless Communications Systems ISWCS*, Septiembre 2006, Valencia (España), pp 312-316.
- [2] J. Gozalvez y M. Sepulcre, "Opportunistic-Driven Adaptive Radio Resource Management Technique for Efficient Wireless Vehicular Communications", *1st IEEE Int. Symp. on Wireless Vehicular Communications WiVeC*, Septiembre 2007, Baltimore (USA), pp 2116-2120.
- [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] The Network Simulator - ns-2. Website: <http://www.isi.edu/nsnam/ns/>
- [5] WINNER Wireless World Initiative New Radio, "D1.1.1. WINNER II interim channel models", *Public Deliverable*.
- [6] M. Sepulcre y J. Gozalvez, "Wireless Vehicular Adaptive Radio Resource Management Policies in Congested Channels", *4th IEEE Int. Symp. on Wireless Communication Systems ISWCS*, Octubre 2007, Trondheim (Noruega), pp 380-384.