

MITIGACIÓN DE TORMENTA DE BROADCAST EN LA TRANSMISIÓN DE MENSAJES DE EMERGENCIA USANDO COMPARTICIÓN DE ESPECTRO EN VANETS DE RADIO COGNOSCITIVO

BROADCAST STORM MITIGATION IN EMERGENCY MESSAGES TRANSMISSION USING SPECTRUM SHARING IN COGNITIVE RADIO VANETS

José Ulises Avalos Gómez

Universidad Autónoma de San Luis Potosí
ulisesavalos@live.com.mx

Ulises Pineda Rico

Universidad Autónoma de San Luis Potosí
u_pineda@galia.fc.uaslp.mx

Marco Aurelio Cárdenas Juárez

Universidad Autónoma de San Luis Potosí
mcardenas@galia.fc.uaslp.mx

Armando Arce Casas

Universidad Autónoma de San Luis Potosí
armando.arce@uaslp.mx

Enrique Stevens Navarro

Facultad de Ciencias, Universidad Autónoma de San Luis Potosí
estevens@galia.fc.uaslp.mx

Resumen

El denominado fenómeno de tormenta de broadcast presente en las redes inalámbricas y con gran número de nodos; es importante atacarlo durante la implementación de aplicaciones de seguridad en las redes vehiculares de radio cognoscitivo (COG-VANETs). En este trabajo se presenta una breve introducción a las COG-VANETs y radio cognoscitivo, y como es que estas dos tecnologías se pueden conjuntar para ayudar a la transmisión eficiente de mensajes de seguridad. Se presenta el modelo matemático que utiliza la banda de Comunicaciones Dedicadas de Rango Corto (DSRC) y la banda de Espacios en blanco de TV (TVWS) para la transmisión de los mensajes de seguridad. Se muestran los

resultados del modelo bajo condiciones de saturación de la densidad, y se abordan la discusión y conclusiones de los efectos de la densidad y como se relaciona directamente con el problema de tormenta de broadcast, además se sugieren líneas de solución y mejora.

Palabras Claves: Broadcast, mensajes de seguridad, radio cognoscitivo, redes vehiculares.

Abstract

The so-called broadcast storm phenomenon which is common at wireless networks and in other networks with high number of users; it is important to attack it in the implementation of security applications in the cognitive radio vehicle networks (COG-VANETs). This paper presents a brief introduction to COG-VANETs and cognitive radio and how these two technologies can be combined to help the efficient transmission of safety messages. In this work is presented the mathematical model that incorporates the Dedicated Short-Range Communications (DSRC) and TV White Spaces (TVWS) bands for the transmission of safety messages. Also the results of the model under conditions of saturation of density are shown, and the discussion and conclusions of the effects of density and how it relates directly to the problem of broadcast storm are addressed. Lines of solution and improvement are also suggested in order to mitigate this phenomenon.

Keywords: Broadcast, cognitive radio, safety messages, vehicular networks.

1. Introducción

Radio cognoscitivo

La tecnología de radio cognoscitivo surgió como una manera de mejorar la utilización del espectro explotando las oportunidades de espectro tanto en bandas con licencia y bandas sin licencia (libres). La operación de un radio cognoscitivo empieza con la percepción del medio de radiofrecuencia (RF). Los radios cognoscitivos deben ser capaces de aprovechar información acerca del ambiente inalámbrico, al ser conscientes del uso de espectro local y temporal. Los usuarios cognoscitivos (oportunistas) pueden seleccionar dinámicamente los mejores

canales disponibles, y a la par reconfigurar sus parámetros de transmisión para evitar interferencia perjudicial entre los usuarios del espectro.

Redes vehiculares de radio Cognoscitivo

Las llamadas Redes Vehiculares Ad Hoc (VANETs, por sus siglas en inglés) pretenden mejorar la seguridad y la eficiencia durante el camino, y proveer acceso a Internet en movimiento, incorporando comunicación inalámbrica y tecnologías de la información dentro de los sistemas de transporte a través de 2 tipos de aplicaciones [Sohan, 2015]; *Aplicaciones de seguridad*: para evitar accidentes viales y mejorar la seguridad vial. Estas aplicaciones incluyen: (a) alerta de colisión frontal, (b) alerta de emergencia en el vehículo, (c) diagnóstico remoto del vehículo, (d) alerta de conducción de mala manera, (e) alerta de violación de señal, (g) alerta de pérdida de control, etc. Y *aplicaciones de información y entretenimiento*: éstas son aplicaciones no propiamente de seguridad, tales como: (a) servicios locales informativos, (b) servicios del desempeño del sistema, (c) servicios acceso a Internet, etc.

En la actualidad, el número de vehículos que poseen la habilidad de desempeñar comunicaciones inalámbricas son solo una pequeña fracción del mercado total. Además, el ancho de banda requerido para las comunicaciones inalámbricas de estos vehículos es relativamente bajo comparado con las aplicaciones inalámbricas desempeñadas por estos vehículos en otros sectores comerciales, tales como la telefonía móvil y el Internet inalámbrico de banda ancha.

Muchas bandas de frecuencia han sido ya asignadas específicamente para comunicaciones V2V (vehículo a vehículo) y V2I (vehículo a infraestructura), tal como la banda de 760 mhz en Japón y la banda de 5.8-5.9 ghz en varios países. Más aún, muchos estándares que soportan comunicaciones vehiculares han sido ya designados alrededor de estas bandas, por ejemplo: IEEE 1609 y IEEE 802.11p. [Pagadarai, 2013].

Sin embargo, ya se vislumbra que la cantidad de intercambio de información de V2V y V2I a través de las comunicaciones inalámbricas se incrementará significativamente en un futuro cercano, debido al número creciente de vehículos

habilitados con tecnología inalámbrica para aplicaciones de comunicación vehicular y la alta tasa de datos sobre flujo de tráfico. Consecuentemente, el problema de escasez del espectro actualmente experimentado por varios sectores de las telecomunicaciones afectará en el corto y mediano plazo a la industria automotriz. Por lo tanto, técnicas innovadoras que habiliten el uso más eficiente del espectro por las VANETS son altamente requeridas.

Una solución prometedora para la creciente demanda son las soluciones que permitan políticas de DSA (Acceso Dinámico al Espectro) Vehicular (VDSA, por sus siglas en inglés). Donde los sistemas de comunicación vehicular pueden tomar prestado temporal y oportunamente frecuencias del espectro, ocupadas para ejecutar intercambios de información V2I y V2V mientras se respeta simultáneamente los derechos y las transmisiones de usuarios con licencia. Derivado de lo anterior, surgen las redes vehiculares cognoscitivas [Anwer, 2015], [De Domenico, 2012][Gavrilovska, 2014] (COG-VANETS, por sus siglas en inglés) como un área de investigación incipiente y con mucho potencial para los próximos años. Por lo tanto, el objetivo del presente trabajo es proponer un modelo novedoso de control de acceso al medio para COG-VANETS [Singh, 2014], que explore el uso de radio cognoscitivo para solucionar un problema adicional en las redes vehiculares al momento de implementar aplicaciones de seguridad; y el cuál es identificado como tormenta de broadcast.

2. Métodos

Modelo usando compartición de espectro con TVWS

La arquitectura del sistema de estudio es una VANET con capacidades de radio cognoscitivo, es decir, una COG-VANET con enlaces distribuidos. Los nodos de la red pueden realizar comunicación vehículo a vehículo (V2V), con un radio bajo el estándar vehicular 802.11p en la banda DSRC, y cuentan con un radio independiente que utiliza el estándar 802.11 en la banda de los espacios blancos de televisión (TVWS, por sus siglas en inglés). Los usuarios de la COG-VANET se comunican en la banda de DSRC como la banda principal o licenciada (usuarios primarios), y utilizan la banda de TVWS como una banda de radio cognoscitivo

(usuarios secundarios) para ayudar a la difusión de los mensajes de seguridad. Se toma de referencia para el sistema el que se describe en [Lim, 2014].

Se aborda el problema de difusión de mensajes de seguridad en la red, considerando que los mensajes de seguridad deben de difundirse a todos los nodos de la red con la menor cantidad de saltos y de manera exitosa (Alcanzabilidad de los ESM). En el entorno de la difusión de mensajes de seguridad existe una transmisión periódica de paquetes PBM (Mensajes Periódicos de alertas o advertencias) y ESM (Mensajes de emergencia de seguridad). Los PBM son mensajes cortos y de baja prioridad y los ESM se generan al ocurrir un evento de emergencia, por ejemplo, un choque o incidente, que requiere de respuesta inmediata por parte de los vehículos cercanos al evento e incluso vehículos que se aproximan al lugar del incidente. Pero que geográficamente se encuentran a una distancia considerable (1 km o más). En la figura 1, se muestra la operación de la COG-VANET para aplicaciones de seguridad.

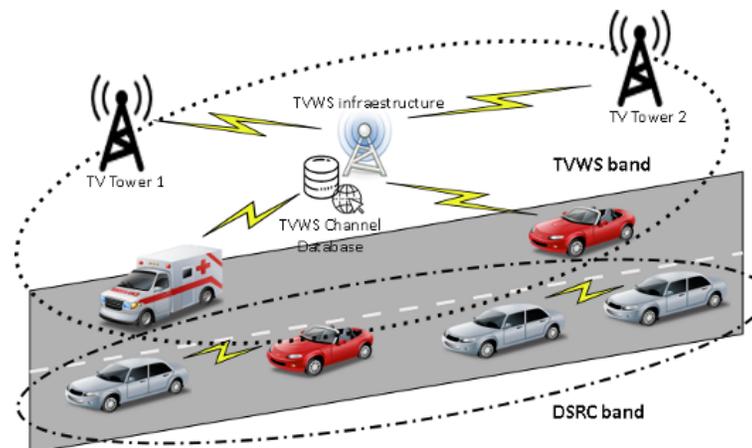


Figura 1 Uso de TVWS para difusión de mensajes de seguridad en COG-VANETs.

La operación del modelo propuesto por [Lim, 2014] se muestra en la figura 2a, donde los vehículos que cuentan con interfaz de TVWS perciben periódicamente el espectro en la banda de los TVWS para reservar un canal disponible. El cuál será utilizado cuando se generé un mensaje ESM (TCRA – Algoritmo de reservación de canal TVWS). En figura 2b, la red vehicular opera de acuerdo al estándar IEEE 802.11p para la difusión de mensajes PBM en la banda DSRC. Cuando se presenta

un incidente, el vehículo que genera el mensaje ESM deja de transmitir mensajes PBM y utiliza el canal que ya había reservado en la banda de TVWS para difundir el mensaje ESM en la red, como se visualiza en figura 2c. Si la transmisión del mensaje ESM no es exitosa para todos los vehículos de la red, se retransmite en la banda DSRC para el resto de los vehículos de forma reactiva, como se muestra en figura 2c con los enlaces de color rojo (TWRA – Algoritmo de retransmisión de 2 vías). Y, además, se complementa con el uso de una retransmisión proactiva del mensaje ESM en la banda de TVWS.

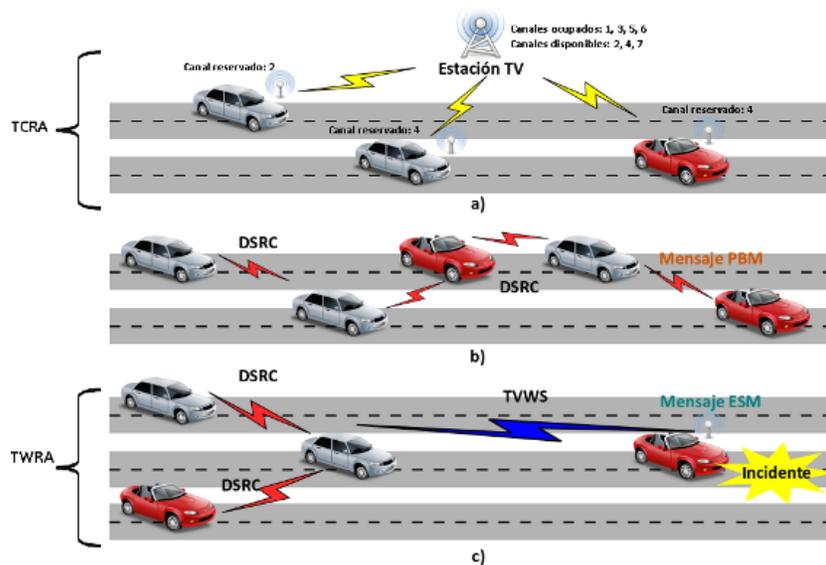


Figura 2 Operación de modelo base para la retransmisión de ESM en una COG-VANET.

Modelo matemático del sistema

En el modelo matemático [Lim, 2014], se asume que todas las fallas en la reservación de canal pueden ser descubiertas al detectar una señal de jamming usando la detección de preámbulo; se asume que la probabilidad de detección de la señal es prácticamente 1. En la fase de jamming los vehículos descubren el inicio de la fase de retransmisión, transmitiendo una señal de jamming en la banda DSRC. Como segunda suposición, se asume que los vehículos pueden detectar un tono en la banda DSRC y una señal de inicio de trama (SOF) con probabilidad de 1. Se asume que el algoritmo de retransmisión difiere los mensajes PBM. Por lo tanto, las señales de tono SOF y DSRC no interfieren con ninguna señal.

En la figura 3, se muestra el diagrama de tiempos para la difusión del ESM. Primero; cuando ocurre un mensaje de emergencia un ESM es transmitido en una banda de los TVWS. El vehículo iniciador de ESM envía una señal de referencia R_s , espera un tiempo de guarda ε , y posteriormente envía el ESM, si algún vehículo vecino detecta él R_s puede recibir el ESM. Pero la recepción del ESM puede fallar debido a que el vehículo receptor se encuentre fuera del área de servicio del iniciador de ESM o por problemas de interferencia. Los vehículos que reciben exitosamente el ESM transmitido en la banda de los TVWS, pueden retransmitir el ESM a los vehículos que han fallado en la recepción o que no estaban dentro del área de servicio inicial, pero ahora realizando la retransmisión sobre la banda DSRC. El vehículo que envía el ESM difiere el intercambio de PBM y espera un tiempo de guarda Δ , y envía una señal de sincronización de tráfico (jamming). Si uno de los vecinos detecta la señal de sincronización, reconoce que un mensaje ESM está disponible para ser transmitido. Después de la señal de sincronización el vehículo retransmisor envía una trama de inicio (SOF), si el vehículo vecino detecta el SOF este responde con una señal de tono DSRC después de un tiempo de guarda ε . Al momento de detectar la señal de tono, el retransmisor envía el ESM, de esta forma finaliza un ciclo de retransmisión en la banda DSRC.

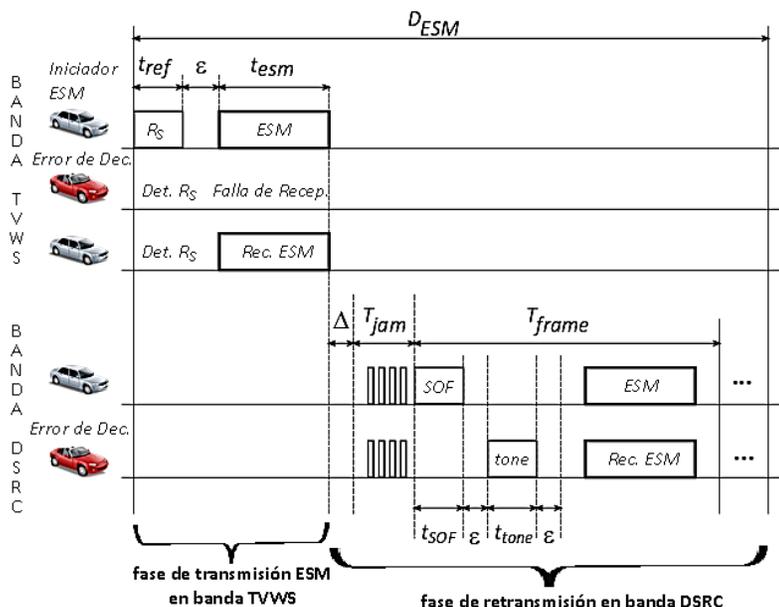


Figura 3 Diagrama de tiempos para la difusión de un ESM.

La transmisión inicial en la banda de los TVWS, y una retransmisión en la banda DSRC, son dos eventos mutuamente excluyentes. Por tal motivo en el modelo matemático, la probabilidad total de recepción de ESM o Alcanzabilidad de ESM, en la ecuación 1, es la suma de $P_{\text{éxito,tvws}}^{\text{esm}}$ la probabilidad de recepción en la banda de TVWS y $P_{\text{éxito,dsrc}}^{\text{esm}}$ la probabilidad de recepción en la banda de DSRC.

$$P_{\text{éxito,total}}^{\text{esm}} = P_{\text{éxito,tvws}}^{\text{esm}} + P_{\text{éxito,dsrc}}^{\text{esm}} \quad (1)$$

La recepción exitosa de ESM en la banda de TVWS es expresada en la ecuación 2 como; el producto de $P_{\text{reservación}}$ la probabilidad de reservación exitosa entre el iniciador ESM y los vehículos dentro de un área de servicio y $P_{\text{dec,tvws}}^{\text{esm}}$ la probabilidad de decodificar un ESM en una banda de TVWS.

$$P_{\text{éxito,tvws}}^{\text{esm}} = (P_{\text{reservación}}) (P_{\text{dec,tvws}}^{\text{esm}}) \quad (2)$$

La probabilidad de reservación $P_{\text{reservación}}$, puede ser derivada de una probabilidad de detección de preámbulo [Howland, 2007], de la misma forma la $P_{\text{dec,tvws}}^{\text{esm}}$, puede ser fácilmente calculada de una aproximación de curvas [IEEE, 2010]. La probabilidad de recepción exitosa en la banda DSRC durante la fase de retransmisión $P_{\text{éxito,dsrc}}^{\text{esm}}$, se lleva a cabo para compensar los errores de recepción de ESM en una banda de TVWS, y es expresada en la ecuación 3.

$$P_{\text{éxito,dsrc}}^{\text{esm}} = (1 - P_{\text{éxito,tvws}}^{\text{esm}}) (P_{\text{retr,dsrc}}^{\text{esm}}) \quad (3)$$

donde $P_{\text{retr,dsrc}}^{\text{esm}}$ es la probabilidad de recepción exitosa de ESM en la fase de retransmisión en la banda DSRC. La cuál se define en la ecuación 4 como:

$$P_{\text{retr,dsrc}}^{\text{esm}} = 1 - \prod_{k=1}^{n_{\text{frames}}} (1 - P_{\text{éxito,dsrc}}^{\text{esm}}(k)) \quad (4)$$

donde, $P_{\text{éxito,dsrc}}^{\text{esm}}(k)$ es la probabilidad de recepción de ESM en la k -ésima trama de tiempo de DSRC, n_{frames} el número de tramas de tiempo de DSRC en la fase de retransmisión. La fase de retransmisión consiste de una fase de diferido (Δ), una

fase de jamming (T_{jam}), y una fase de retransmisión que puede ser dividida entre múltiples tramas de tiempo de DSRC (T_{frame}). El número de tramas de tiempo de DSRC en la fase de retransmisión puede ser calculada como se muestra en la ecuación 5.

$$n_{frame} = \frac{D_{ESM} - t^{tvws}_{ref} - \varepsilon - t^{tvws}_{esm} - \Delta - T_{jam}}{T_{frame}} \quad (5)$$

donde $[x]$ es la función techo, ε un tiempo de guarda, t^{tvws}_{ref} el tono de referencia de TVWS, t^{tvws}_{esm} el tono de ESM en TVWS y D_{ESM} el retraso de difusión de un mensaje ESM.

Cada retransmisión de un mensaje ESM en la banda DSRC está compuesta por dos etapas: una de transmisión de señales SOF y de tono (Etapa1) y la otra para retransmitir un ESM (Etapa2). En la Etapa 1, de acuerdo a la ecuación 6, los vehículos transmiten las señales de tono y SOF sin CSMA/CA, la Etapa 1 puede ser calculada en la ecuación 6 como:

$$Etapa1 = t_{SOF} + 2\varepsilon + t_{tone} \quad (6)$$

donde t_{SOF} es la duración de una señal SOF, t_{tone} la duración de una señal de tono DSRC. En la Etapa2, como se muestra en la ecuación 7, un vehículo transmite un ESM con CSMA/CA. La etapa 2 de la i -ésima trama de tiempo DSRC es considerada dentro del tiempo esperado de las ranuras con una longitud igual a $E[ranura(i)]$, el valor esperado es obtenido por:

$$E[ranura(i)] = (T^{esm})(P_{busy}(i)) + \sigma(1 - P_{busy}(i)) \quad (7)$$

donde T^{esm} es el retardo de transmisión de un ESM y σ es una unidad de tiempo de retroceso, y $P_{busy}(i)$ es la probabilidad de que el canal esté ocupado en la ranura de tiempo esperada de la i -ésima trama. Debido a que el canal está ocupado por la transmisión de un ESM, $P_{busy}(i)$ puede ser expresada en la ecuación 8 como:

$$P_{busy}(i) = 1 - (1 - \tau(i))^{n^{esm}_{usc}(i)} \quad (8)$$

Donde $\tau(i)$ es una probabilidad de intento de transmisión en una ranura de tiempo de la i -ésima trama, y $n_{\text{vec}}^{\text{ESM}}(i)$ es el número de vehículos que intentan transmitir un ESM en la i -ésima trama. Ya que los vehículos seleccionan un número de retroceso entre 0 y CW, $\tau(i)$ es calculado por la ecuación 9:

$$\tau(i) = \left(\frac{2}{1 + CW} \right) \left(\frac{\min(m(i), CW)}{CW} \right) \quad (9)$$

Donde CW es un tamaño de ventana de contención que es usado para retransmitir un ESM. En la etapa 2, los vehículos pueden transmitir un ESM si han escuchado una señal de tono DSRC y ya han recibido el ESM.

Después de resolver el sistema de ecuaciones con el método de Newton [Nieves, 2007], el objetivo es maximizar la Alcanzabilidad de ESM, mostrado en la ecuación 10, encontrando el valor óptimo de la ventana de Contención CW . La búsqueda de la configuración optima es con método de "búsqueda de fuerza bruta" usando CW con un rango de 1 a 300 en pasos de 1. El óptimo $P_{\text{éxito,total}}^{\text{ESM}}$ es calculado para cada CW después de encontrar los parámetros de configuración se resuelve el sistema; $\tau(i)$ y $P_{\text{busy}}(i)$. El umbral de error en la búsqueda de la solución del sistema es $E = 0.05\%$.

$$(cw) = \underset{CW^3 1, T_{\text{frames}} \text{ á } D_{\text{ESM}}}{\text{arg}} \left(\text{Max} \left(P_{\text{éxito,total}}^{\text{ESM}} \right) \right) \quad (10)$$

Tormenta de Broadcast

En un entorno vehicular de intercambio de mensajes de seguridad, es necesario propagar la información a toda la red a través de un mecanismo de broadcast, lo cual requiere de múltiples saltos o retransmisiones de un mensaje de seguridad. Sin embargo, un mecanismo convencional de broadcast tiene que lidiar con el problema llamado Tormenta de Broadcast, lo que significa que hay un alto nivel de contención y de colisiones debido al excesivo número de paquetes de broadcast. Algunos trabajos como [Wisitpongphan, 2007], han cuantificado el impacto de la tormenta de broadcast en las VANETs en términos del retraso de un mensaje y la tasa de perdida

de paquetes. La Tormenta de Broadcast se presenta cuando la densidad de los vehículos en la red incrementa (ciudades y suburbios), y por ende el número de vehículos que retransmiten el mensaje de seguridad a la red es mayor, ocasionando más número de colisiones y contención.

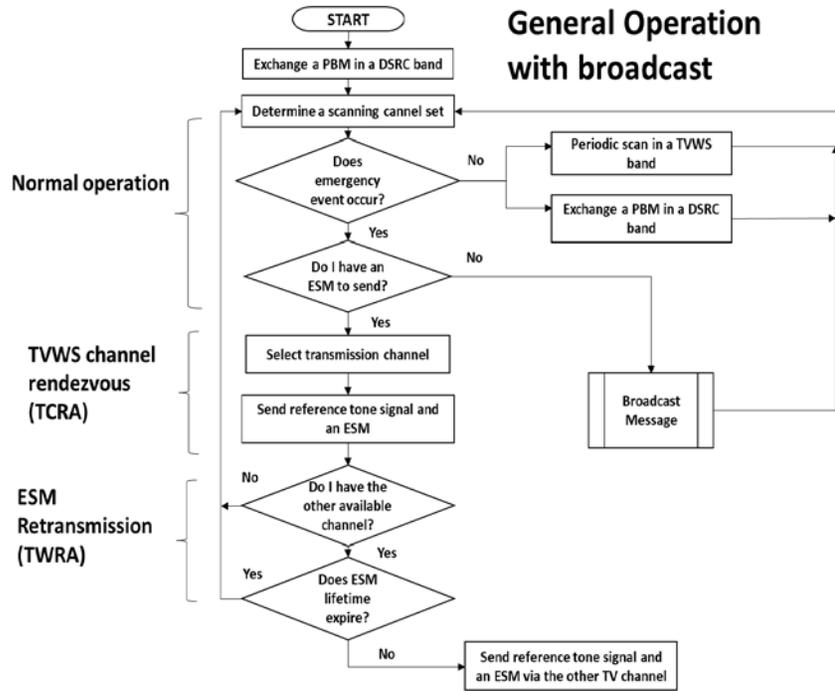


Figura 4 Diagrama de protocolo de diseminación con difusión de ESM.

En la figura 4 se muestra la forma en que opera el protocolo de diseminación de ESM dentro de una VANET cognoscitiva, propuesto por [Lim, 2014], donde se divide en tres etapas. La primera etapa es de operación normal donde se intercambia PBMs en la banda DSRC y los vehículos con capacidad cognoscitiva, perciben el medio periódicamente para descubrir canales disponibles en la banda TVWS para la difusión de ESM. La segunda etapa empieza con la presencia de un ESM por enviar, donde los vehículos que van a iniciar la difusión de ESM realizan un Algoritmo de reservación de canal en la banda TVWS. La tercera etapa consiste en realizar la retransmisión de ESM en la banda DSRC para mejorar la diseminación en toda la red (TWRA) y un algoritmo de retransmisión que en este caso es modificado para que se emplee un método de RTB/CTB (request to broadcast/clear

to broadcast). Con el fin de evitar duplicidad de mensajes de difusión al determinar nodos relé para la difusión de los mensajes ESM. Al modificar este el diagrama mostrado en la figura 4 incorpora el bloque de “broadcast message”.

3. Resultados

Los resultados obtenidos del sistema consideran la evaluación numérica del modelo matemático con la herramienta de MATLAB, considerando 10 retransmisiones en la banda DSRC y haciendo un barrido de la ventana de contención CW desde 0 hasta 300, así como la visualización de la Alcanzabilidad de ESM [Lim, 2014] para diferentes valores de la densidad vehicular. La densidad de la red es una variable importante en el problema de tormenta de broadcast, ya que, al momento de haber más vehículos vecinos para la retransmisión, el número de colisiones y contención aumenta.

Como se muestra en la figura 5 la Alcanzabilidad de ESM, es decir la probabilidad de que el ESM sea recibido exitosamente, sufre un decaimiento cuando la ventana de contención es más grande, y conforme el valor de la densidad vehicular aumenta es necesario usar una ventana de contención mayor para poder garantizar la mayor Alcanzabilidad del sistema, con retraso de ESM $D_{ESM} = 1000$ y $T^{ESM} = 27$ ms.

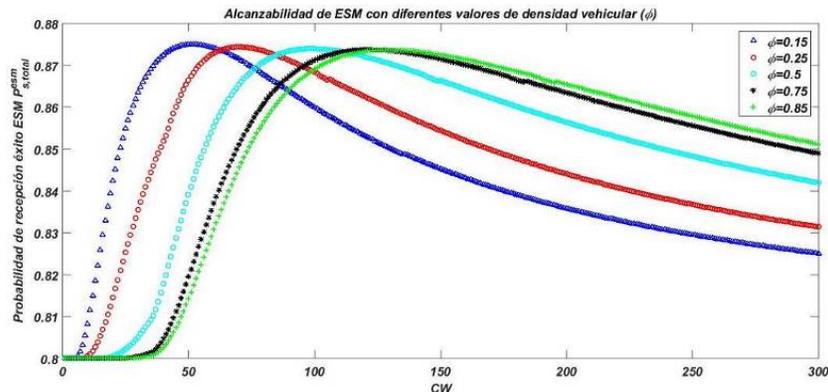


Figura 5 Alcanzabilidad de ESM con diferentes valores de densidad de vehículos ϕ .

Por otra parte, en la figura 6 se muestra la probabilidad de ocupación del canal en la trama de retransmisión, es decir la probabilidad de que éste esté ocupado por otro vehículo para realizar la retransmisión de ESM, con retraso de ESM

$D_{ESM} = 1000$ y $T^{ESM} = 27$ ms. Como se puede ver ésta probabilidad de ocupación es mayor conforme la densidad de la red aumenta por tal motivo es más fácil que pueda ocurrir una colisión.

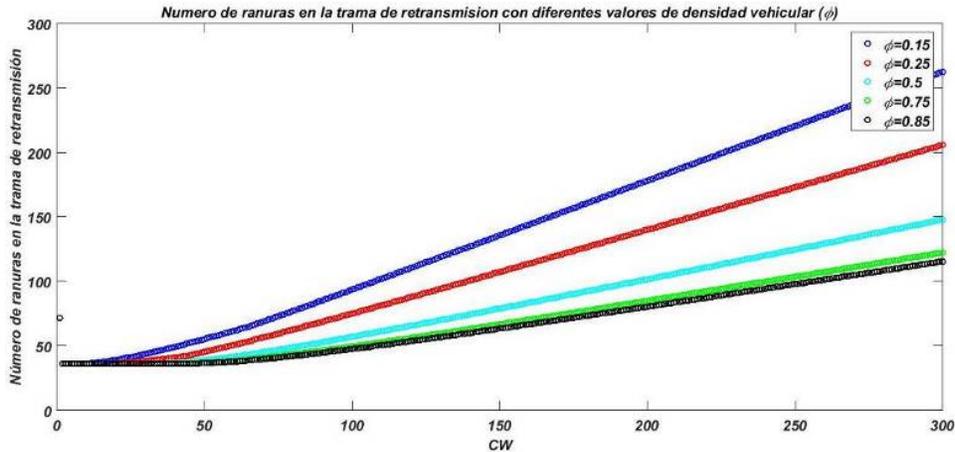


Figura 6 Probabilidad de ocupación del canal de retransmisión con diferentes valores de densidad de vehículos ϕ .

Mientras, en la figura 7 se muestra la cantidad de ranuras de tiempo para trama de retransmisión dependiendo del valor de la densidad vehicular y del valor de la ventana de contención, con retraso de ESM $D_{ESM} = 1000$ y $T^{ESM} = 27$ ms. Como se puede ver en esta figura, mientras la densidad de vehículos es mayor, la cantidad de ranuras de tiempo es menor. Por lo cual es necesario transmitir un mensaje más pequeño en la trama de retransmisión.

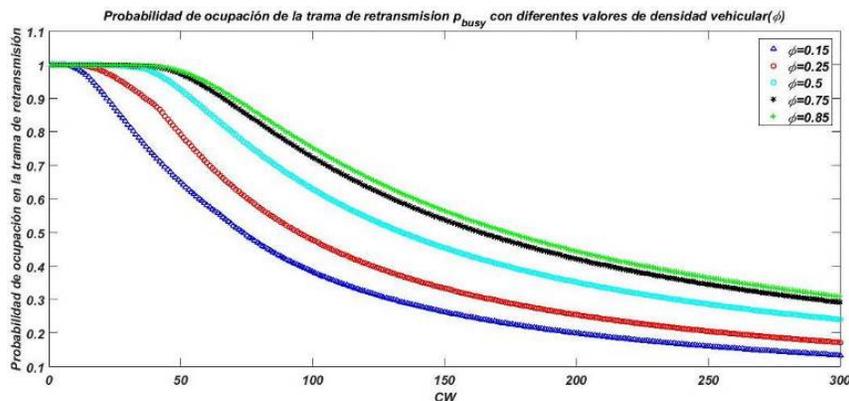


Figura 7 Número de ranuras en la trama de retransmisión con diferentes valores de densidad de vehículos ϕ .

4. Discusión

Los resultados mostrados en la sección anterior se realizaron utilizando el modelo de [Lim, 2014] como base. En estos resultados se pretendía visualizar el efecto que tiene el aumento de la densidad vehicular dentro de una VANET, en términos de la probabilidad de recepción exitosa del ESM; el número de ranuras disponibles para retransmisión en la trama de la banda DSRC; y la probabilidad de ocupación del canal. El comportamiento de estas tres métricas, en un sistema de contención vehicular proporciona información para poder entablar estrategias para mejorar cada uno de estos en un ambiente de *tormenta de broadcast*. Que a comparación del modelo original no se está abordando este problema, y el objetivo es la mitigación de éste en un ambiente cognoscitivo de redes vehiculares.

Estas limitantes que se visualizan en una condición de saturación de la red (incremento de la densidad vehicular). Se pretende puedan disminuir con el uso de técnicas de mitigación de la tormenta de broadcast, a base de métodos basados en probabilidad por pesos [Wisitpongphan, 2007], segmentación de la distancia que existe entre el vehículo que transmite el ESM [Bi, 2016], [Sahoo, 2011] y la asignación de un vehículo relé para la difusión del ESM [Bi, 2016], [Korkmaz, 2006] [Suthaputchakun, 2014]. Uno de los cambios importantes en el modelo original es la incorporación del bloque de *broadcast message*, donde se incorporará un esquema de señalización que disminuya la duplicidad de mensajes de broadcast, y así disminuir los efectos de la *tormenta de broadcast*.

5. Conclusiones

Si bien un modelo que utiliza las características de radio cognoscitivo para aumentar la probabilidad de recepción exitosa de un mensaje ESM y de que este se difunda a todos los vehículos de la red. También es primordial garantizar que al momento de difundir el ESM a todos los vehículos se lidie con el problema de tormenta de broadcast, por este motivo el buscar una solución a este problema en el entorno de las COG-VANETs es de suma importancia. El trabajo a futuro es la implementación de este esquema que mitigue el fenómeno de tormenta de broadcast en el modelo antes presentado.

6. Bibliografía y Referencias

- [1] Anwer Tareq, Haque Hasib Hamidul, Hasan Md. Asif and Islam Md. Jahidul, Investigating the Challenges of Dynamic Spectrum Access in Cognitive Radio-enabled Vehicular Ad Hoc Networks (CR-VANETs), in International Conference on Electrical Engineering and Information Communication Technology (ICEEICT), Dhaka, Bangladesh, 21-23 May 2015.
- [2] Bi Yuanguo, Shan Hangguan, Shen Xuemin, Wang Ning, and Zhao Hai, A Multi-Hop Broadcast Protocol for Emergency Message Dissemination in Urban Vehicular Ad Hoc Networks, in IEEE Transactions On Intelligent Transportation Systems, Vol. 17, No. 3, March 2016, pp. 736-750.
- [3] De Domenico Antonio, Calvanese Strinati Emilio and Di Benedetto Maria-Gabriella, A Survey on MAC Strategies for Cognitive Radio Networks, in IEEE Communications Surveys and Tutorials, Vol. 14, No. 1, First Quarter 2012, pp. 21-44.
- [4] Gavrilovska Lilijana, Denkovski Daniel, Rakovic Valentin and Angjelichinoski Marko, Medium Access Control Protocols in Cognitive Radio Networks: Overview and General Classification, in IEEE Communication Survey and Tutorials, Vol. 16, no. 4, 4th quarter 2014, pp. 2092-2124.
- [5] Howland Keith C., Signal Detection and Frame Synchronization of Multiple Wireless Networking Waveforms, Master's thesis, in Calhoun: The NPS Institutional Archive of the Naval Postgraduate School, Monterey, California, USA, 2007-09.
- [6] IEEE Standard for Information technology-- Local and metropolitan area networks-- Specific requirements-- Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications Amendment 6: Wireless Access in Vehicular Environments, 2010.
- [7] Korkmaz Gökhan, Ekici Eylem, and Özgüner Füsün, An Efficient Fully Ad-Hoc Multi-Hop Broadcast Protocol for Inter-Vehicular Communication Systems, ICC '06. IEEE International Conference on Communications, Istanbul, Turkey, 11-15 June 2006.

- [8] Lim Jae-Han, Kim Wooseong, Naito Katsuhiko, Yun Ji-Hoon, Cabric Danijela and Gerla Mario, Interplay Between TVWS and DSRC: Optimal Strategy for Safety Message Dissemination in VANET, in *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, Vol 32, No. 11, November 2014, pp. 2117-2133.
- [9] Nieves Antonio, Domínguez Federico C., *Métodos numéricos aplicados a la ingeniería*, 3rd ed., Patria: México, 2007, pp. 321-338.
- [10] Pagadarai Srikanth, Lessard Bennett A, Wyglinski Alexander M., Vuyyuru Rama, and Altintas Onur, Vehicular Communications, Enhanced Networking Through Dynamic Spectrum Access, in *IEEE Vehicular Technology Magazine*, Vol. 8, No. 3, September 2013, pp. 93-103.
- [11] Sahoo Jagruti, Wu Eric Hsiao-Kuang, Sahu Pratap Kumar, and Gerla Mario, Binary-Partition-Assisted MAC-Layer Broadcast for Emergency Message Dissemination in VANETs, *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, Vol. 12, No. 3, September 2011, pp. 757-770.
- [12] Singh Kamal Deep, Rawat Priyanka and Bonnin Jean-Marie, Cognitive Radio for Vehicular Ad Hoc Networks (CR-VANETs): Approaches and Challenges, in *EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking*, 2014, 2014:49.
- [13] Suthaputchakun Chakkaphong, Dianati Mehrdad, and Sun Zhili, Trinary Partitioned Black-Burst-Based Broadcast Protocol for Time-Critical Emergency Message Dissemination in VANETs, *IEEE Transactions On Vehicular Technology*, Vol. 63, No. 6, July 2014, pp. 2926-2940.
- [14] Wisitpongphan N., Tonguz O.K., Parikh J. S., Mudalige P., Bai F. and Sadekar V., Broadcast Storm Mitigation Techniques in Vehicular Ad Hoc Networks, *IEEE Wireless Communications Magazine*, Vol. 14, No 6, December 2007, pp. 84-94.