

Adaptación dinámica del tiempo de retraso de difusión de mensajes de emergencia en redes vehiculares cognitivas

Avalos Gómez J. U.^{a,*}, Stevens-Navarro E.^a, Pineda-Rico U.^a, Cárdenas-Juárez M.^a,
Arce A.^b, González S.^c

^aFacultad de Ciencias, Universidad Autónoma de San Luis Potosí (UASLP), Campus Pedregal, Avenida Chapultepec n°. 1570, 78295, San Luis Potosí, México.

^bCátedras CONACYT, Universidad Autónoma de San Luis Potosí (UASLP), Campus Pedregal, Avenida Chapultepec n°. 1570, 78295, San Luis Potosí, México.

^cDepartamento de Ingeniería Eléctrica, Universidad Autónoma Metropolitana (UAM), Avenida San Rafael Atlixco n°. 186, 09340, Ciudad de México, México.

To cite this article: Avalos Gómez, J.U., Stevens-Navarro, E., Pineda-Rico, U., Cárdenas-Juárez, M., Arce, A., González, S. 2020. Dynamic Adaptation of Delayed Time of Diffusion of Emergency Messages in Cognitive Vehicular Networks. *Revista Iberoamericana de Automática e Informática Industrial* 17, 276-284.
<https://doi.org/10.4995/riai.2020.12067>

Resumen

En este artículo se presenta un protocolo de difusión de mensajes de seguridad para emergencia que utiliza una adaptación dinámica del tiempo de retraso en el entorno de una red vehicular cognitiva. El escenario que se estudia considera la compartición del espectro entre la banda para comunicaciones vehiculares y la banda de la televisión digital con el objetivo de mitigar los efectos de la tormenta de difusión en una red vehicular. Dos de las técnicas de mitigación de la tormenta de difusión más utilizadas en la literatura son comparadas contra el protocolo propuesto en términos de las probabilidades de accesibilidad de los mensajes de emergencia y de la ocupación del canal. Los resultados numéricos muestran que el protocolo con la adaptación dinámica del tiempo presenta un mejor desempeño en condiciones de alta densidad de vehículos, lo cual es característico de un escenario de tormenta de difusión.

Palabras clave: Sistemas de transporte y vehículos, tecnología inalámbrica y dispositivo móviles, seguridad y mensajes de emergencia, tormenta de difusión, compartición de espectro

Dynamic Adaptation of Delayed Time of Diffusion of Emergency Messages in Cognitive Vehicular Networks

Abstract

This article presents a protocol for the dissemination of emergency safety messages that uses a dynamic adaptation of the delay time in the environment of a cognitive vehicular network. The scenario studied considers the spectrum sharing between the band for vehicular communications and the digital television band with the objective of mitigating the effects of the diffusion storm on a vehicular network. Two of the most commonly used diffusion mitigation techniques in the literature are compared against the proposed protocol in terms of the probabilities of reachability of emergency messages and channel occupancy. The numerical results show that the protocol with the dynamic adaptation of the time presents a better performance in conditions of high density of vehicles, which is characteristic of a diffusion storm scenario.

Keywords: Vehicular and transport systems, wireless technology and mobile devices, emergency messages and security, broadcast storm, spectrum sharing

*Autor para correspondencia: ulisesavalos@live.com.mx

1. Introducción

Las redes vehiculares cognitivas o COG-VANETs (por sus siglas en inglés, de Cognitive Vehicular Ad-hoc Networks) surgen al incorporar la tecnología de Radio Cognitivo (CR por sus siglas en inglés, de Cognitive Radio) a las Redes Vehiculares. El CR trabaja bajo la premisa de aprovechar los espacios en blanco (sin utilizar o disponibles) en otras bandas de frecuencia del espectro electromagnético. Los espacios en blanco son bloques de frecuencia que no están siendo utilizados por los usuarios primarios (con licencia) de la banda, de esta forma los vehículos de la red vehicular cognitiva pueden utilizar de manera oportunista la banda con espacios en blanco como usuarios secundarios (Pagadarai et al., 2013), (Singh et al., 2014).

Entre las bandas de radiocomunicación que han sido propuestas en la literatura para ser empleadas como la banda secundaria para las VANETs, se encuentran: las bandas de telefonía móvil (2G/3G/4G), las bandas de redes inalámbricas locales de IEEE 802.11 y las bandas de televisión digital (DTV por sus siglas en inglés, de Digital Television) particularmente en las bandas UHF y VHF. Esta última denominada en la literatura como la banda de los espacios en blanco de TV o TVWS (por sus siglas en inglés, de TV White Spaces) (Khattab and Bayoumi, 2015a), (Khattab and Bayoumi, 2015b). Las bandas reservadas para telefonía móvil son una buena opción cuando se tienen aplicaciones multimedia. Sin embargo, los rangos de frecuencia reservados para servicios de DTV son una mejor opción en aplicaciones de seguridad debido a que sus características de propagación permiten un mayor rango de cobertura y una menor interferencia ante obstáculos como construcciones y muros. (Sum et al., 2013).

En el entorno de las VANETs, los mensajes de seguridad se distribuyen de manera regular y frecuente para mantener informados a los vehículos dentro de la red con notificaciones de tránsito, condiciones del camino e información periódica de interés para los conductores y sistemas de transporte. Toda esta información se distribuye a través de los mensajes periódicos de seguridad (PBM por sus siglas en inglés, de Periodic Beacon Messages). Por otro lado, en situaciones de emergencia, es decir, cuando se presentan choques o averías en el instante como fallas mecánicas que pudieran suscitar en un accidente, se transmiten notificaciones con una prioridad mucho más alta por medio de los mensajes de seguridad para emergencia (ESM por sus siglas en inglés, de Emergency Security Messages). Los mensajes ESM se transmiten únicamente al ocurrir un evento de emergencia, por este motivo, deben de difundirse a todos los vehículos con el menor retraso posible y con la mayor tasa de éxito en la entrega de dichos mensajes.

Comúnmente, en el entorno de las redes y comunicaciones inalámbricas, se presenta el fenómeno de la tormenta de difusión. Una tormenta de difusión aparece cuando una gran cantidad de usuarios quieren difundir un mensaje en la red en un mismo momento. En gran medida, este fenómeno es ocasionado por las múltiples transmisiones y retransmisiones de mensajes por la mayoría de los usuarios presentes en una misma área de cobertura. Este problema se presenta de igual manera en las VANETs y las COG-VANETs en situaciones donde el tráfico vehicular y la densidad de vehículos por área es mayor; tal es el caso de zonas urbanas, vías principales a hora pico y carreteras en situaciones de accidentes (Wisitpongphan et al., 2007).

En (Korkmaz et al., 2004), (Korkmaz et al., 2006), (Sahoo et al., 2011), (Suthaputchakun et al., 2014) se presentan diferentes protocolos de control de acceso al medio (MAC por sus siglas en inglés, de Medium Access Control), para la difusión de mensajes en el entorno de las VANETs. Estos trabajos presentan protocolos para mitigar la tormenta de difusión en el entorno de las VANETs. En (Korkmaz et al., 2004) se presenta el protocolo de Difusión de Multisalto Urbano (UMB por sus siglas en inglés, de Urban MultiHop Broadcast), para la difusión de mensajes para comunicación entre vehículos a través de múltiples saltos en un ambiente urbano y utilizando un esquema de petición para difundir y libre para difundir (RTB-CTB por sus siglas en inglés, de Request to Broadcast - Clear to Broadcast). En (Korkmaz et al., 2006) se presenta el protocolo de Difusión Multisalto Ad-Hoc (AMB por sus siglas en inglés, de Ad-Hoc Multi-hop Broadcast), el cual es una versión mejorada del protocolo UMB, para la difusión de mensajes considerando intersecciones en el camino. En (Sahoo et al., 2011) se presenta un protocolo de Difusión Asistida de Dos Particiones (BPAB por sus siglas en inglés, de Binary-Partition-Assisted Broadcast). El protocolo BPAB propone una partición del área del rango de transmisión en dos segmentos para obtener después el vehículo transmisor. El objetivo de este protocolo es reducir el retraso de difusión en aplicaciones de seguridad. En (Suthaputchakun et al., 2014) con el protocolo de Difusión Basado en Tormenta de Ráfaga con Tres Particiones (3P3B por sus siglas en inglés, de trinary partitioned black-burst-based broadcast) se divide el área del rango de transmisión en sectores para escoger el vehículo más lejano para que transmita el ESM. Finalmente, en (Bi et al., 2016) se presenta el protocolo de Difusión de Multisalto Urbano (UMBP por sus siglas en inglés, de Urban Multi-hop Broadcast Protocol), donde se segmenta el rango de transmisión y se escoge un vehículo óptimo para difundir un mensaje.

En (Avalos Gomez et al., 2018) se presenta un análisis preliminar al incorporar un protocolo con la técnica de mitigación de la tormenta de difusión basado en segmentos a un escenario de compartición de espectro de una COG-VANET. En este trabajo realiza ahora una comparativa más extensa y se propone el uso de una técnica de mitigación de la tormenta de difusión, por medio de una adaptación dinámica del retraso de transmisión de difusión que depende de la densidad de vehículos en el área de cobertura y que considera un modelo de compartición de espectro entre la banda para comunicaciones vehiculares y los espacios en blanco de la banda de televisión digital.

El resto del presente artículo de investigación está organizado de la siguiente manera. El marco teórico y las técnicas de mitigación de tormenta de difusión más usadas en la literatura se presentan en la Sección II. El protocolo propuesto para mitigar el problema de la tormenta de difusión en COG-VANETs se presenta en la Sección III. Los resultados y las conclusiones se presentan en la Sección IV y Sección V, respectivamente.

2. Marco teórico

2.1. Compartición de Espectro en COG-VANETs

En el entorno de las COG-VANETs se proponen diversas formas de compartir el espectro con la banda de la telefonía móvil o la banda de DTV (Lim et al., 2014). La topología de

red propuesta utiliza la compartición del espectro entre la banda para comunicaciones vehiculares DSRC (por sus siglas en inglés, de Dedicated Short-Range Communications) y la banda de los TVWS de la televisión digital como se muestra en la Figura 1 (Lim et al., 2014). En este escenario, todos los vehículos de la red cuentan con dos interfaces de radio para comunicación inalámbrica, una que opera con el estándar IEEE 802.11p en la banda DSRC y otro que opera con el estándar IEEE 802.11 en la banda de los TVWS. En (Lim et al., 2014), se utiliza la banda DSRC para los mensajes PBM y la banda de los TVWS para los mensajes ESM. Se considera que los vehículos pueden percibir el canal de los TVWS mientras operan en la banda DSRC, con el objetivo de reservar un canal desocupado o vacante de TVWS para ser usado cuando se presente un evento de emergencia. Los cuales se encuentran en una base de datos de la ocupación de los canales en la banda TVWS.

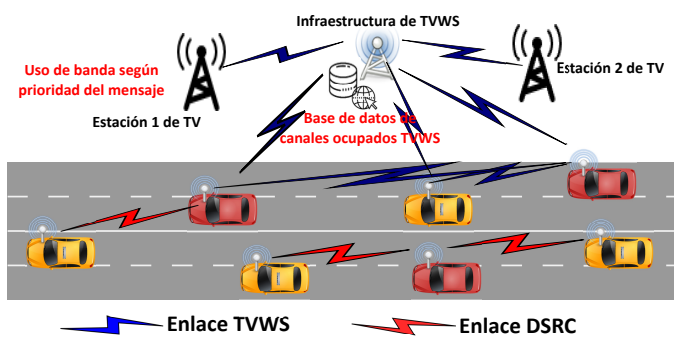


Figura 1: Topología de la red con compartición de espectro entre la banda DSRC y banda TVWS en COG-VANETS.

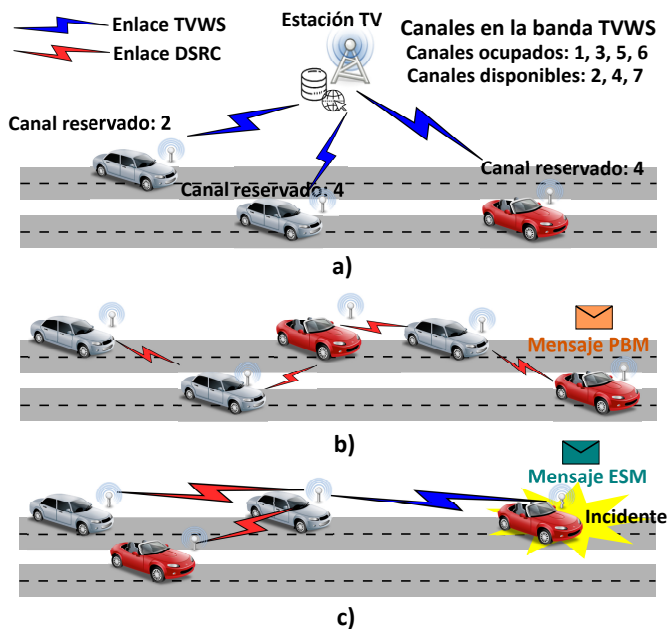


Figura 2: a) Reservación de canal, b) Transmisión de PBM en VANETS c) Transmisión de ESM en una COG-VANET.

2.2. Protocolo de Dos Vías para la Difusión de ESM

En esta sección, se aborda el protocolo de referencia que se seguirá en el presente trabajo para la difusión de los mensajes ESM y que se utiliza en un entorno de COG-VANETS (Lim

et al., 2014). Para efectos de análisis éste se define como: protocolo de dos vías para la difusión del mensaje ESM (2WED por sus siglas en inglés, de Two Ways ESM Dissemination). El protocolo 2WED considera un algoritmo de retransmisión de dos vías, donde la operación comienza cuando se genera un evento de emergencia. Al suceder dicho evento de emergencia se retardan los mensajes PBM y se transmite el mensaje ESM en la banda de los TVWS para lograr cubrir un mayor rango de difusión del mensaje ESM en comparación con el estándar de comunicaciones vehiculares (DSRC), y posteriormente se utiliza una fase de retransmisión en la banda DSRC.

La Figura 2 muestra el funcionamiento general del protocolo 2WED, en (a) se muestra como los vehículos periódicamente perciben el canal en la banda de los TVWS, para reservar el mejor canal para transmisión cuando se presente un evento de emergencia. En (b) se muestra la operación normal del sistema, donde los vehículos intercambian información periódicamente con los mensajes PBM en la banda DSRC. Y en (c) se muestra un evento de emergencia, donde los mensajes PBM son diferidos (retrasados), y se utiliza el canal reservado en la banda TVWS para transmitir el mensaje ESM y posteriormente se retransmite a los vehículos que no recibieron exitosamente el ESM en la banda DSRC.

Se establece a la accesibilidad como métrica de desempeño del sistema COG-VANET. Por tanto, la accesibilidad se define como la probabilidad exitosa de que un mensaje de emergencia ESM sea recibido por todos los vehículos dentro del área de servicio (Lim et al., 2014). Se puede calcular como la suma de dos eventos mutuamente excluyentes de las probabilidades de éxito de recepción del mensaje ESM en la banda DSRC $P_{s,dsrc}^{esm}$ y la banda de los TVWS $P_{s,tvws}^{esm}$:

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

La probabilidad de recepción exitosa del mensaje ESM en la banda DSRC se calcula como:

$$P_{s,dsrc}^{esm} = (1 - P_{s,tvws}^{esm}) \cdot P_{retr,dsrc}^{esm} \quad (2)$$

donde $P_{retr,dsrc}^{esm}$ es la probabilidad de recepción exitosa de un mensaje ESM en la fase de retransmisión en la banda DSRC, la cual está definida como:

$$P_{retr,dsrc}^{esm} = 1 - \prod_{k=1}^{n_{trama}} (1 - p_{s,dsrc}^{esm}(k)) \quad (3)$$

donde, $p_{s,dsrc}^{esm}(k)$ es la probabilidad de recepción en la i -ésima trama de tiempo en la banda DSRC, n_{trama} es el número de tramas de tiempo en la fase de retransmisión en la banda DSRC. De esta forma se tienen múltiples retransmisiones en la banda DSRC, sin embargo, en este análisis se considera que solo se tiene una retransmisión, por lo tanto, $n_{trama} = 1$. Cada retransmisión de un mensaje ESM en la banda DSRC está compuesta por dos etapas: 1) en la primera etapa, se transmite una señal de inicio de trama (SOF por sus siglas en inglés, de Start of Frame) y una señal de tono para informar que se quiere retransmitir el mensaje ESM, estas señales se transmiten sin control de acceso CSMA/CA. La etapa 1 se calcula como:

$$Etapa 1 = t_{SOF} + 2\epsilon + t_{tono} \quad (4)$$

donde t_{SOF} es la duración de una señal SOF ϵ es un intervalo de guarda y t_{tono} es la duración de una señal de tono DSRC.

La segunda etapa es la de retransmisión de un mensaje ESM y se calcula con (5), en esta etapa los vehículos transmiten un mensaje ESM ppcon control de acceso CSMA/CA. La etapa 2 está dividida en las ranuras de tiempo esperadas, donde la longitud de una ranura se obtiene por:

$$\text{Etapa 2} = E[\text{ranura}] = T^{esm} \cdot p_{ocup} + \sigma \cdot (1 - p_{ocup}), \quad (5)$$

donde T^{esm} es el retraso de transmisión de un mensaje ESM y σ una unidad de tiempo de retroceso y p_{ocup} es la probabilidad de que el canal este ocupado en la ranura de tiempo esperada de la trama de retransmisión.

Ya que el canal está ocupado debido a una transmisión de un mensaje ESM, p_{ocup} puede ser expresado como:

$$p_{ocup} = 1 - (1 - \tau)^{n_{vec}^{esm}}, \quad (6)$$

donde τ es la probabilidad de intento de transmisión en una ranura de tiempo de la trama de retransmisión, y n_{vec}^{esm} es el número de vehículos que intentan transmitir un mensaje ESM en la trama de retransmisión.

Cada vehículo debe seleccionar un número entre 0 y el valor de la ventana de contención (CW por sus siglas en inglés, de Contention Window) para intentar contender por ganar el medio de transmisión (canal), τ es calculada por:

$$\tau = \frac{2}{1 + CW} \cdot \frac{\min(m, CW)}{CW}, \quad (7)$$

donde CW es el tamaño de la ventana de contención, m es el número de ranuras de tiempo en la etapa 2 de la trama de retransmisión y es expresada como:

$$m = \lfloor \frac{T_{trama} - (t_{SOF} + 2\epsilon + t_{tono})}{T^{esm} \cdot p_{ocup} + \sigma \cdot (1 - p_{ocup})} \rfloor, \quad (8)$$

donde $\lfloor \cdot \rfloor$ es la función piso y T_{trama} la duración de una trama en la fase de retransmisión.

El número de vehículos dentro del rango de retransmisión, se calcula como:

$$n_{vec}^{esm} = 2 \cdot d_{dsrc} \cdot \phi \cdot [1 - (1 - P_{s,tvws}^{esm}) \cdot \prod_{k=1}^{i-1} (1 - P_{s,dsrc}^{esm}(k))], \quad (9)$$

donde d_{dsrc} es el rango de transmisión en la banda DSRC, ϕ es la densidad de vehículos en el rango de transmisión y i es la i -ésima trama de retransmisión en la banda DSRC.

2.3. Técnicas de Mitigación de Tormenta de Difusión

Para mitigar el fenómeno de la tormenta de difusión se han presentado diversas técnicas en la literatura. Sin embargo, todas estas se han propuesto bajo el entorno de las VANETs, este es un problema que no se ha abordado en las COG-VANETs. En (Wu et al., 2017) se presenta una clasificación de las técnicas con mayor relevancia para la mitigación de la tormenta de difusión en VANETs. Las técnicas de mitigación de tormenta de difusión basados en métodos probabilísticos para la mitigación de la tormenta de difusión, se pueden clasificar de la siguiente forma:

- Basados en distancia y ponderación (Wisitpongphan et al., 2007) y (Wu et al., 2017).

- Basados en ráfaga de señalización (Wu et al., 2017).
- Basados en potencia de la señal de recepción (Wisitpongphan et al., 2007).

Los esquemas basados en distancia asignan una probabilidad de retransmisión de difusión de los paquetes p_{ij} en términos de la distancia D_{ij} entre el receptor i y el emisor j y el rango del área de servicio R , como se muestra en (10). En este caso la ponderación de la probabilidad de retransmisión del mensaje de difusión es en términos solamente de la distancia, este esquema también es conocido como **Ponderado con p-persistente**.

$$p_{ij} = D_{ij}/R. \quad (10)$$

Una variante de los esquemas basados en distancia y con ponderación es el **Ranurado con 1-persistente**. En este caso la probabilidad con la que transmite un mensaje de difusión es de 1, por lo tanto, $p_{ij} = 1$. Sin embargo, si un vehículo quiere transmitir un mensaje tiene que esperar un tiempo de retraso antes de transmitir con probabilidad 1 dependiendo de su ubicación en el camino. Ya que el camino es segmentado en zonas y cada zona tiene un tiempo de retraso asignado. El retraso $T_{S_{ij}}$ se expresa como se muestra en (11) que es el retraso entre el emisor i y el receptor j , y está dado por:

$$T_{S_{ij}} = S_{ij} \times \delta_h, \quad (11)$$

donde δ_h es el tiempo de retraso de un salto y S_{ij} el número de ranura asignado, N_S el número de ranuras predeterminado, el número de ranura asignado se calcula como:

$$S_{ij} = N_S (1 - \lceil \lceil \min(D_{ij}, R) / R \rceil \rceil), \quad (12)$$

Otro esquema es el **Ponderado p-persistente**, donde se hace el segmentado del camino y se le asigna un ponderado de acuerdo al segmento en el cual se encuentra. Los tres mecanismos antes mencionados se consideran solo en escenarios de VANETs.

En (Wu et al., 2017) se propone una técnica basada en ráfaga de señalización que incorpora un segmentado del camino y la búsqueda del segmento óptimo para escoger al vehículo transmisor del mensaje de difusión de ESM. En este trabajo se incorpora la técnica de mitigación de la tormenta de difusión basada en segmentado del camino y la ráfaga de señalización al protocolo 2WED, el cual es definido como protocolo 2WED segmentado (2WED-SL por sus siglas en inglés, de 2WED slotted), también se incorporó la técnica de mitigación de la tormenta de difusión basada en ponderación p-persistente al protocolo 2WED, el cual se define como 2WED con segmentado y ponderación (2WED-SLW por sus siglas en inglés, de 2WED slotted with Weights).

3. Protocolo 2WED con Adaptación Dinámica del Retraso de Difusión

Los protocolos que incorporan las técnicas de mitigación de la tormenta de difusión mencionadas en la sección anterior buscan encontrar el vehículo más adecuado para retransmitir un mensaje de difusión, y de esta manera disminuir el número de vehículos que pueden ocasionar una colisión de mensajes. Sin embargo, no contemplan cómo cambia la densidad de los vehículos dentro del área de servicio. Por tal motivo, en éste

trabajo se propone un protocolo basado en (Feukeu and Zuva, 2017), donde se hace un ajuste dinámico del tiempo de retraso para la retransmisión de un mensaje de difusión de mensaje ESM. Esta adaptación dinámica se lleva a cabo por medio de la relación que tiene la densidad de los vehículos en la red con la velocidad a la que se desplazan.

Se considera un rango de área de servicio R , donde se puede retransmitir un mensaje de difusión de un mensaje ESM. En este rango circulan vehículos, los cuales en caso de una situación de emergencia deben de recibir el mensaje ESM para estar informados y llevar a cabo las medidas de seguridad necesarias. Dependiendo de la velocidad a la que se desplazan los vehículos, puede ser que en este rango exista una menor o mayor concentración de vehículos, es decir; una menor o mayor densidad de vehículos como se muestra en la Figura 3. Por tanto, se considera que para una velocidad baja de vehículos existe una mayor concentración de vehículos, ya que los vehículos tardan más tiempo en recorrer el rango de servicio R lo que resulta en una densidad de vehículos alta. Mientras que para una velocidad de desplazamiento alta los vehículos recorren el rango de servicio R en menor tiempo, por lo cual, la densidad de vehículos es baja.

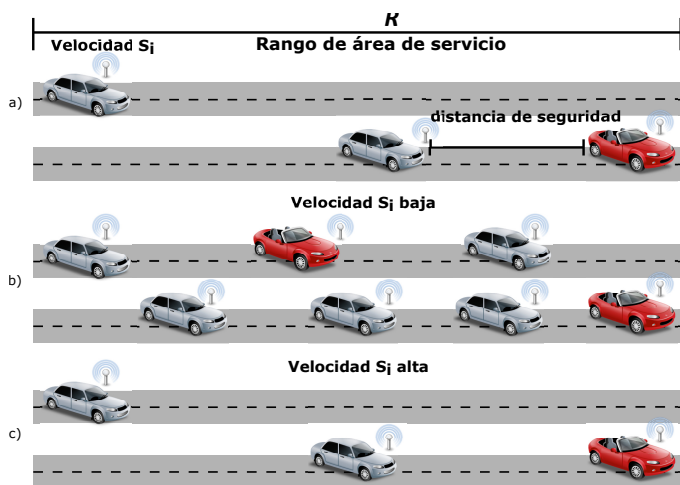


Figura 3: a) Distancia de seguridad y velocidad promedio en el rango de servicio, b) Densidad de vehículos a baja velocidad, c) Densidad de vehículos a alta velocidad.

A una mayor densidad de vehículos, el retraso de la retransmisión de un mensaje de difusión debe ser más grande, para evitar colisiones entre la gran cantidad de vehículos que intentarán transmitir el mensaje de difusión y a una densidad de vehículos menor, el retraso de retransmisión de un mensaje de difusión debe ser menor, ya que no es necesario esperar mucho tiempo para transmitir el mensaje de difusión ya que no habrá demasiados vehículos queriendo utilizar el canal de transmisión.

La Figura 3 muestra cómo cambia la densidad de los vehículos en el rango del área de servicio R dependiendo de la velocidad promedio de los vehículos. El tiempo de retraso de difusión de los mensajes ESM T_B se ajusta dinámicamente con un factor α definido por la velocidad promedio S_i y el rango de cobertura del área de servicio R , α se calcula como en (13) y T_B se calcula en (14):

$$\alpha = [CCH_{tiempo} / (R/S_i)] \cdot 100, \tag{13}$$

$$T_B = T_r \cdot \alpha, \tag{14}$$

donde CCH_{tiempo} es la longitud del canal de control en el estándar DSRC (IEEE802.11p, 2010), y T_r es el tiempo mínimo de seguridad requerido para que un vehículo se pueda detener y evitar un accidente. Por ejemplo, para una velocidad promedio de un vehículo de $S_i = 5$ km/h el tiempo de retraso de difusión sería $T_B = 28$ s. Mientras que para una velocidad $S_i = 70$ km/h, el tiempo de retraso de difusión $T_B = 2$ s y para el caso en que la velocidad $S_i = 120$ km/h, el tiempo de retraso de difusión $T_B = 0.5$ s. En la Figura 4, se muestra la relación entre el tiempo de difusión y la velocidad promedio a la cual se desplazan los vehículos.

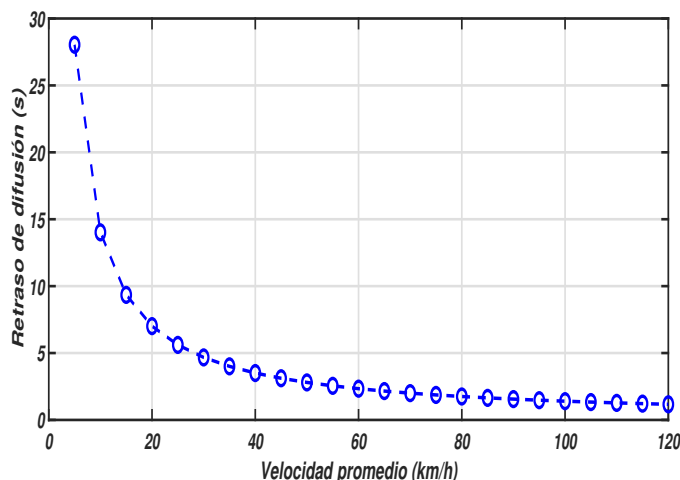


Figura 4: Relación de tiempo dinámico de retraso de difusión T_B contra velocidad promedio de vehículos S_i dentro del rango de servicio R .

Esta adaptación dinámica del retraso de difusión del mensaje ESM se realiza en la segunda etapa de la fase de retransmisión del ESM del protocolo 2WED, que es justamente donde al querer retransmitir el mensaje ESM se realiza la difusión del ESM. De esta manera la etapa 2 de la fase de retransmisión se calcularía de la siguiente manera:

$$E_{DB}[ranura] = T_B \cdot p_{ocup} + \sigma \cdot (1 - p_{ocup}). \tag{15}$$

En la Figura 5 se muestra el diagrama de flujo de la operación del protocolo propuesto. Se puede observar cómo después de realizar la transmisión del mensaje ESM en la banda TVWS, se retransmite en la banda DSRC. Para determinar que vehículo debe de difundir el mensaje ESM y así mitigar la tormenta de difusión, se escoge un vehículo del segmento del rango de transmisión y se asigna un valor de retraso de difusión dependiendo de la velocidad S_i .

Incorporando esta técnica de adaptación del retraso de difusión del mensaje ESM al protocolo 2WED, se obtiene el protocolo 2WED con difusión dinámica (2WED-DB por sus siglas en inglés, de 2WED Dynamic Broadcast). El protocolo 2WED-DB tiene como objetivo mitigar el fenómeno de la tormenta de difusión de mensajes ESM en COG-VANETs realizando la adaptación dinámica del tiempo de retraso de difusión del mensaje ESM en función de la movilidad de los vehículos y como afecta ésta en la densidad de vehículos en el área de servicio.

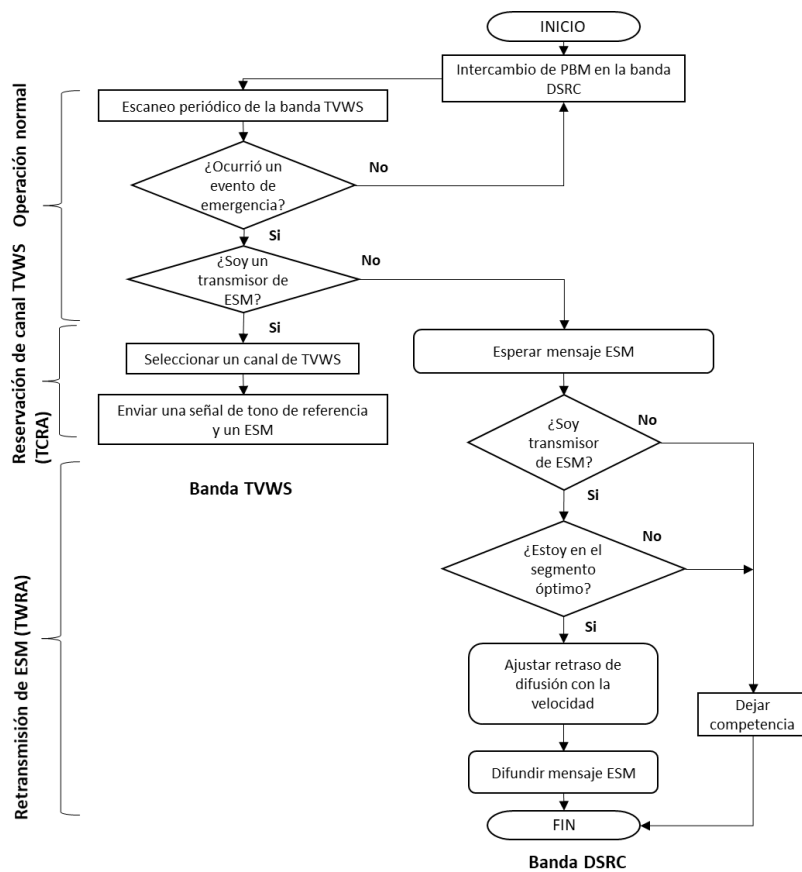


Figura 5: Diagrama de flujo del protocolo 2WED con difusión dinámica de retraso de difusión (2WED-DB).

Tabla 1: Parámetros de configuración.

Variable	Valor
P_{res}	0.90
$P_{dec, tvws}^{esm}$	0.85
ϵ	10 μ s
σ	9 μ s
d_{dsrc}	100 m
ϕ	0.05, 0.1, 0.2 vehículos/m
T_s	7.5 ms
Δ	10 ms
t_{ref}^{tvws}	5 ms
t_{esm}^{tvws}	5 ms
t_{SOF}	7.5 ms
t_{tono}	7.5 ms
n_{trama}	1

4. Resultados

Los resultados que se presentan en esta sección, realizan una comparativa de las técnicas mostradas en las secciones anteriores, donde se utiliza la accesibilidad y la probabilidad de ocupación del canal como métricas de desempeño del sistema. Para efectos de comparación se evalúa el protocolo 2WED(Lim et al., 2014). El protocolo 2WED utiliza la compartición del espectro entre la banda DSRC y TVWS, para la difusión de los mensajes ESM, pero no incorpora ninguna técnica para mitigar la tormenta de difusión de los ESM. Mientras que los

protocolos 2WED-SL y 2WED-SLW incorporan las técnicas de mitigación de la tormenta de difusión basados en distancia con segmentado del camino y ponderación con segmentado del camino respectivamente. El protocolo 2WED-DB se basa en la técnica de mitigación de la tormenta de difusión ajustando dinámicamente el tiempo de retraso de la difusión del mensaje ESM en función de la densidad de vehículos y velocidad de los vehículos, factor que no consideran los mecanismos 2WED-SL y 2WED-SLW.

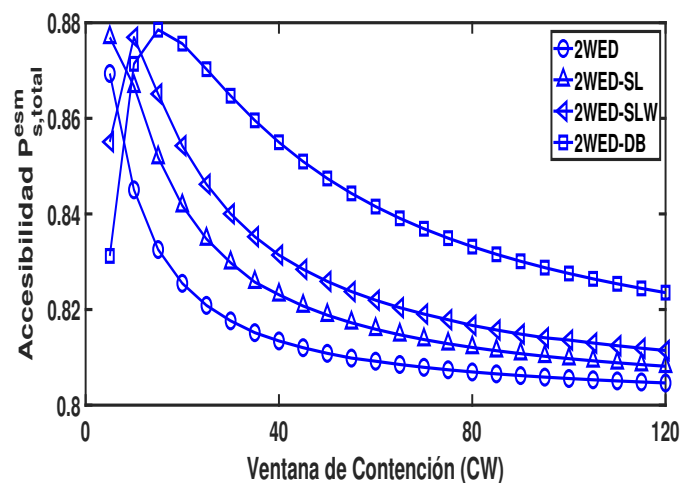


Figura 6: accesibilidad de ESM en un escenario con densidad vehicular $\phi=0.05$ con diferentes técnicas de mitigación de tormenta de difusión en un ambiente con velocidad promedio $S_i = 80$ km/h.

Se realizó una evaluación numérica de los protocolos en Matlab para diferentes escenarios de densidad de vehículos $\phi = 0.05, 0.1$ y 0.2 vehículos por metro. Los parámetros de configuración de la evaluación se presentan en la Tabla 1. Para evaluar el desempeño de cada uno de los protocolos se calcula el valor de la accesibilidad del mensaje ESM en el área de servicio y la probabilidad de ocupación del canal. Con cada valor de densidad de vehículos se desplaza para diferentes valores de ventana de contención CW . El valor de la ventana de contención indica con que frecuencia los vehículos intentan ganar el medio de transmisión (canal) para difundir el mensaje ESM.

En la Figura 6 se puede ver como varía la accesibilidad del mensaje ESM, conforme se varía el tamaño de la ventana de contención en un escenario con una densidad de vehículos de $\phi = 0.05$. Como se puede ver en valores pequeños de la ventana de contención menores a 15 se muestran los valores máximos de la accesibilidad para todos los mecanismos. Donde el protocolo 2WED, que no incorpora ningún esquema para mitigar la tormenta de difusión alcanza la máxima accesibilidad en una ventana $CW=3$ y rápidamente cae conforme aumenta el valor de ésta. En cambio, los protocolos que ya incorporan algún esquema de mitigación de tormenta de difusión decaen menos rápido conforme aumenta la ventana de contención. Pero también es notorio que alcanzan un valor de accesibilidad máximo a un valor de ventana de contención mayor. Por ejemplo, el protocolo 2WED-SL, alcanza el valor máximo en $CW=6$ y conforme aumenta el valor de la ventana de contención, el valor de la accesibilidad es mayor al del protocolo 2WED. Por otra parte, el protocolo 2WED-SLW alcanza el valor máximo entre los valores de la ventana de contención $CW=8$ y $CW=9$, al igual que el protocolo 2WED-SL decae por encima del protocolo 2WED. El protocolo 2WED-DB obtiene un valor mayor de accesibilidad en valores de ventana de contención altos con respecto a los demás protocolos. Por ejemplo, en un valor de $CW=60$ el protocolo 2WED-DB tiene un valor de accesibilidad de $P_{s,total} = 0.84$, mientras que los demás tienen una accesibilidad menor o igual a $P_{s,total} = 0.82$. Aunque en valores de CW menores a 15 el protocolo 2WED-DB tiene un valor de accesibilidad menor a los demás, para valores de CW más altos su accesibilidad es mayor.

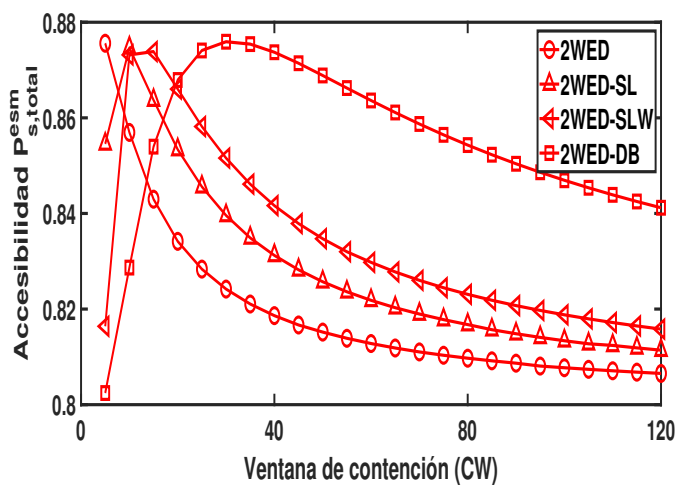


Figura 7: Accesibilidad de ESM en un escenario con densidad vehicular $\phi=0.1$ con diferentes técnicas de mitigación de tormenta de difusión y velocidad promedio $S_i = 80$ km/h.

La Figura 7 muestra una comparativa de los protocolos sobre un escenario con una densidad de vehículos de $\phi = 0.1$ donde se puede ver que al aumentar la densidad de vehículos; el valor de accesibilidad máximo es con un valor de ventana de contención mayor para todos los protocolos. Por ejemplo, en el caso del protocolo 2WED, a una densidad de vehículos de $\phi = 0.05$ el valor de accesibilidad máximo es en $CW=3$ y con una densidad de vehículos de $\phi = 0.1$ el valor máximo de accesibilidad es en $CW=5$, y en el caso del protocolo 2WED-DB ahora el valor máximo de accesibilidad es en $CW= 30$. Se puede observar que, con un valor de densidad de vehículos mayor, la diferencia entre los valores de la accesibilidad del protocolo 2WED-DB es más amplia con respecto a los demás. Un efecto que también se puede observar, es que para un rango más amplio de valores de la ventana de contención $CW=(21:48)$ el valor de la accesibilidad es igual o superior a $P_{s,total} = 0.87$, con respecto a la Figura 6, donde el rango de la $CW=(10:25)$.

En la Figura 8 se muestra el comportamiento de la probabilidad de ocupación del canal en la fase de retransmisión para un escenario con una densidad de vehículos $\phi = 0.05$. Se puede observar que el valor de la probabilidad de ocupación del canal p_{ocup} , es mayor con el protocolo 2WED-DB. En el caso cuando la $CW=10$, la probabilidad de ocupación es de $p_{ocup} = 0.8$ para el protocolo 2WED-DB, mientras que para el protocolo 2WED sin esquema de mitigación de difusión es de $p_{ocup} = 0.25$, y para los protocolos 2WED-SLW y 2WED-SL, son $p_{ocup} = 0.58$ y $p_{ocup} = 0.45$ respectivamente. Conforme el valor de la ventana de contención CW es más grande, los protocolos 2WED, 2WED-SL y 2WED-SLW decaen rápidamente pero el protocolo 2WED-DB se mantiene por encima. En el caso cuando la $CW=100$, es decir, a un estado de contención mayor, el protocolo 2WED-DB dobla la probabilidad de ocupación con respecto al mejor de los demás. En otras palabras, el protocolo 2WED-DB tiene una probabilidad de ocupación $p_{ocup} = 0.14$ con una $CW=100$, y el 2WED-SLW tiene una $p_{ocup} = 0.07$, mientras que 2WED-SL y 2WED, tienen $p_{ocup} = 0.04$ y $p_{ocup} = 0.02$ respectivamente.

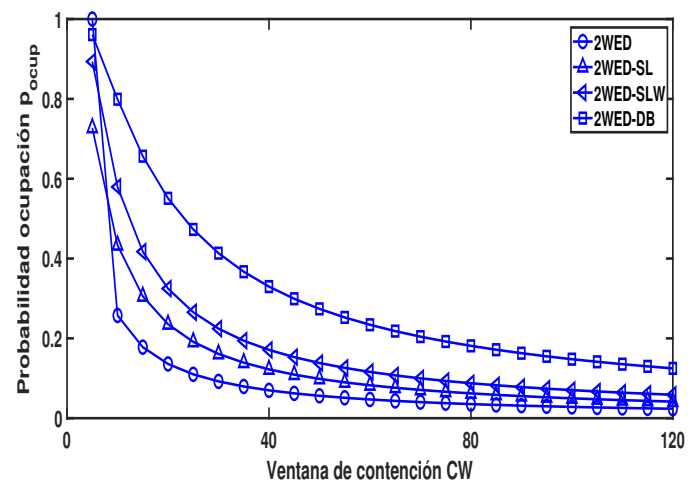


Figura 8: Probabilidad de ocupación del canal en un escenario con densidad de vehículos $\phi=0.05$ con diferentes técnicas de mitigación de tormenta de difusión.

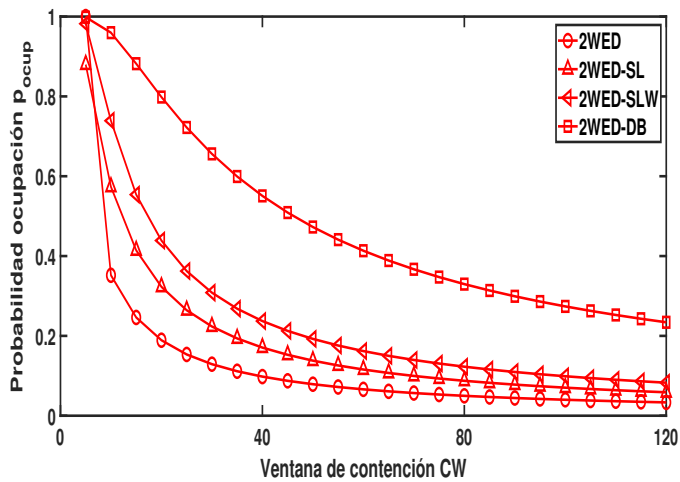


Figura 9: Probabilidad de ocupación del canal en un escenario con densidad de vehículos $\phi=0.1$ con diferentes técnicas de mitigación de tormenta de difusión.

En la Figura 9 se muestra un escenario donde la densidad de vehículos es de $\phi=0.1$. Como se puede observar, el protocolo 2WED-DB, muestra una probabilidad de ocupación p_{ocup} mayor a los otros protocolos. En el caso de la $CW=20$, casi dobla en el valor de p_{ocup} con respecto al protocolo 2WED-SLW. Con esta figura también se puede ver que conforme la densidad de los vehículos es mayor se tiene una probabilidad de ocupación del canal mayor con respecto a los otros protocolos si se utiliza el 2WED-DB.

La Tabla 2 muestra los valores de la accesibilidad máxima para cada uno de los protocolos con técnicas de mitigación de tormenta de difusión y su respectivo valor de la ventana de contención en la cual alcanza este valor máximo. La Figura 10 muestra los valores máximos de la accesibilidad de ESM, que se tienen para cada uno de los protocolos en diferentes escenarios de densidad de vehículos. Es importante mencionar que estos valores máximos son alcanzados en diferentes valores de ventana de contención. En todos los casos el valor de la accesibilidad se reduce conforme se incrementa la densidad de vehículos. El protocolo 2WED-DB siempre mantiene los valores más altos en cada escenario de densidad de vehículos.

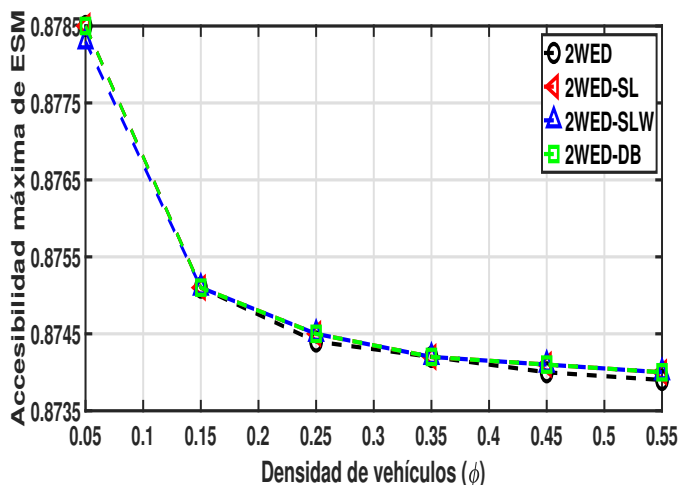


Figura 10: Valores máximos de accesibilidad contra el valor de la densidad de vehículos con diferentes técnicas de mitigación de tormenta de difusión.

Con base en las figuras 6, 7 y 10, se puede ver que los diferentes protocolos pueden alcanzar los valores máximos de la accesibilidad, sin embargo, como se mencionó anteriormente el rango de valores de la ventana de contención con una accesibilidad más alta es más amplio en el protocolo 2WED-DB.

Con los resultados mostrados en la presente sección, se puede observar que el protocolo 2WED-DB, tiene un mejor desempeño en un rango mayor de valores de la ventana de contención; en el rango de una ventana de contención desde 40 hasta 120 a comparación de los demás protocolos. Su mejor desempeño se nota a valores altos de densidad de vehículos de $\phi=0.1$ vehículos/m, es decir por cada 10 metros hay un vehículo y con valores altos de CW de 40 a 120. Estos dos son característicos en un escenario donde se presenta el fenómeno de la tormenta de difusión, por consiguiente, si es un protocolo que utiliza una técnica adecuada para la mitigación de la tormenta de difusión. En valores de densidad de vehículos bajo de $\phi=0.5$ vehículos/m y valores de ventana de contención pequeños menores a 40 no tiene el mejor de los desempeños, ya que en valores de ventana de contención bajos es superado por los protocolos 2WED-SL y 2WED-SLW, siendo en este caso el 2WED-SLW el mejor entre los dos anteriores.

Finalmente, es importante enfatizar que, si bien los resultados de la accesibilidad máxima mostrados en la Figura 10 de los diferentes protocolos rondan en valores de más del 87%, estos están supeditados a las consideraciones del entorno de COG-VANET del presente estudio. En situaciones más cercanas a la realidad, como por ejemplo en escenarios de evaluación tal es el caso de (Bechler et al., 2015) que es parte de los trabajos realizados por el Car 2 Car Communication Consortium, los resultados obtenidos son un 6% menores ya que se menciona que en una evaluación de transmisión de mensajes de emergencia con tecnología Car-to-X se obtiene al menos un 80% de la disponibilidad de la información y en una evaluación experimental, como la presentada en (Tsukamoto et al., 2015), el porcentaje de mensajes entregados entre vehículos es cercano al 85% considerando transmisión en bandas disponibles de TV.

Si bien en la realidad los vehículos se desplazan a diferentes velocidades y con espacios de seguridad entre ellos variables, con el protocolo propuesto se puede determinar la distancia de seguridad mínima dependiendo de la velocidad a la que se desplaza un vehículo, sin embargo, habría ciertamente una disminución del rendimiento. Si se considera un área urbana y vías con límites de velocidad establecidos, los vehículos viajan a distintas velocidades, pero estas no son tan diferentes entre sí, por lo cual la velocidad relativa entre los vehículos es pequeña y no habría un cambio significativo en su posición. Adicionalmente, si se toma en cuenta que la duración del canal de control es de 50 ms, este intervalo es muy pequeño, por lo que los vehículos no se separan una distancia considerable entre ellos, y las transmisiones no se verían afectadas. Es claro que es útil considerar distintas velocidades y distancias por lo que la topología de la red puede a cambiar, sin embargo en lo que dura una transmisión realmente no existe un cambio significativo en la topología de la red que afecte las transmisiones. Por lo tanto si se pueden esperar resultados diferentes en rendimiento, pero no con una diferencia muy grande con respecto a los presentados en el artículo.

Tabla 2: Valores máximos de accesibilidad y ventana de contención para diferentes densidades de vehículos.

ϕ	2WED		2WED-SL		2WED-SLW		2WED-DB	
	CW	$P_{s,total}$	CW	$P_{s,total}$	CW	$P_{s,total}$	CW	$P_{s,total}$
0.05	3	0.8785	6	0.8785	8	0.8783	15	0.8785
0.15	6	0.8751	11	0.8751	15	0.8751	47	0.8751
0.25	8	0.8744	14	0.8745	20	0.8745	79	0.8745
0.35	9	0.8742	16	0.8742	24	0.8742	111	0.8742
0.45	10	0.8740	19	0.8742	27	0.8741	146	0.8741
0.55	12	0.8739	21	0.8740	30	0.8740	175	0.8740

5. Conclusiones

De esta forma, en este artículo de investigación se presenta un protocolo de difusión de mensajes de seguridad para emergencia en una red vehicular cognitiva. El protocolo 2WED-DB utiliza una adaptación dinámica del tiempo de retraso para mitigar el fenómeno de la tormenta de difusión considerando la compartición del espectro. Los resultados presentados muestran que el protocolo 2WED-DB obtiene un mejor desempeño en escenarios con alta densidad vehicular y con valores altos de la ventana de contención. Por tal motivo, en trabajo futuro es conveniente proponer un protocolo que incorpore los beneficios de los protocolos 2WED-DB y 2WED-SLW, dependiendo de las condiciones de la densidad de vehículos, así como del tamaño de la ventana de contención.

Agradecimientos

El presente trabajo de investigación ha sido parcialmente financiado por el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) de México a través de la Beca Nacional para Estudios de Posgrado no. 445821.

Referencias

Avalos Gomez, J. U., Pineda-Rico, U., Cardenas-Juarez, M., Garcia-Barrientos, A., Arce, A., Stevens-Navarro, E., nov 2018. Broadcast storm mitigation of esms using spectrum sharing in cognitive radio vanets. In: 2018 International Conference on Mechatronics, Electronics and Automotive Engineering (ICMEAE). pp. 102–107.
DOI: 10.1109/ICMEAE.2018.00026

Bechler, M., Horozovic, A., Kastner, R., 2015. Evaluation of car-2-x scenarios for automated driving. In: FAST-zero'15: 3rd International Symposium on Future Active Safety Technology Toward zero traffic accidents. pp. 397–402.

Bi, Y., Shan, H., Shen, X. S., Wang, N., Zhao, H., mar 2016. A multi-hop broadcast protocol for emergency message dissemination in urban vehicular ad hoc networks. IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems 17 (3), 736–750.
DOI: 10.1109/TITS.2015.2481486

Feukeu, E. A., Zuva, T., dec 2017. Overcoming broadcast storm problem in a vehicular network. In: 2017 13th International Conference on Signal-Image Technology Internet-Based Systems (SITIS). pp. 402–407.
DOI: 10.1109/SITIS.2017.72

IEEE802.11p, jul 2010. 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. IEEE Std 802.11p-2010 (Amendment to IEEE Std 802.11-2007 as amended by IEEE Std 802.11k-2008, IEEE Std 802.11r-2008, IEEE Std 802.11y-2008, IEEE Std 802.11n-2009, and IEEE Std 802.11w-2009), 1–51.
DOI: 10.1109/IEEESTD.2010.5514475

Khattab, A., Bayoumi, M. A., may 2015a. An overview of ieee standardization efforts for cognitive radio networks. In: 2015 IEEE International Symposium on Circuits and Systems (ISCAS). pp. 982–985.
DOI: 10.1109/ISCAS.2015.7168800

Khattab, A., Bayoumi, M. A., dec 2015b. Standardization of cognitive radio networking: a comprehensive survey. annals of telecommunications - annales des télécommunications 70 (11), 465–477.
DOI: 10.1007/s12243-015-0468-5

Korkmaz, G., Ekici, E., Özgüner, F., jun 2006. An efficient fully ad-hoc multi-hop broadcast protocol for inter-vehicular communication systems. In: 2006 IEEE International Conference on Communications. Vol. 1. pp. 423–428.
DOI: 10.1109/ICC.2006.254764

Korkmaz, G., Ekici, E., Özgüner, F., Özgüner, U., 2004. Urban multi-hop broadcast protocol for inter-vehicle communication systems. In: Proceedings of the 1st ACM International Workshop on Vehicular Ad Hoc Networks. VANET '04. ACM, New York, NY, USA, pp. 76–85.
DOI: 10.1145/1023875.1023887

Lim, J., Kim, W., Naito, K., Yun, J., Cabric, D., Gerla, M., nov 2014. Interplay between twvs and dsrc: Optimal strategy for safety message dissemination in vanet. IEEE Journal on Selected Areas in Communications 32 (11), 2117–2133.
DOI: 10.1109/JSAC.2014.1411RP02

Pagadarai, S., Lessard, B. A., Wyglinski, A. M., Vuyyuru, R., Altintas, O., 2013. Vehicular communications, enhanced networking through dynamic spectrum access. IEEE Vehicular Technology Magazine 8, 93–103.
DOI: 10.1109/MVT.2013.2268659

Sahoo, J., Wu, E. H., Sahu, P. K., Gerla, M., sep 2011. Binary-partition-assisted mac-layer broadcast for emergency message dissemination in vanets. IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems 12 (3), 757–770.
DOI: 10.1109/TITS.2011.2159003

Singh, K. D., Rawat, P., Bonnin, J. M., 2014. Cognitive radio for vehicular ad hoc networks (cr-vanets): Approaches and challenges. EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking 2014, 49.
DOI: 10.1186/1687-1499-2014-49

Sum, C., Villardi, G. P., Rahman, M. A., Baykas, T., Tran, H. N., Lan, Z., Sun, C., Alemseged, Y., Wang, J., Song, C., Pyo, C., Filin, S., Harada, H., jul 2013. Cognitive communication in tv white spaces: An overview of regulations, standards, and technology [accepted from open call]. IEEE Communications Magazine 51 (7), 138–145.
DOI: 10.1109/MCOM.2013.6553690

Suthaputthakun, C., Dianati, M., Sun, Z., jul 2014. Tertiary partitioned blackburst-based broadcast protocol for time-critical emergency message dissemination in vanets. IEEE Transactions on Vehicular Technology 63 (6), 2926–2940.
DOI: 10.1109/TVT.2013.2293020

Tsukamoto, K., Oie, Y., Kremo, H., Altintas, O., Tanaka, H., Fujii, T., apr 2015. Implementation and performance evaluation of distributed autonomous multi-hop vehicle-to-vehicle communications over tv white space. Mobile Networks and Applications 20 (2), 203–219.
DOI: 10.1007/s11036-015-0576-5

Wisitpongphan, N., Tonguz, O. K., Parikh, J. S., Mudalige, P., Bai, F., Sadekar, V., dec 2007. Broadcast storm mitigation techniques in vehicular ad hoc networks. IEEE Wireless Communications 14 (6), 84–94.
DOI: 10.1109/MWC.2007.4407231

Wu, L., Nie, L., Fan, J., He, Y., Liu, Q., Wu, D., 2017. An efficient multi-hop broadcast protocol for emergency messages dissemination in vanets. Chinese Journal of Electronics 26 (3), 614–623.
DOI: 10.1049/cje.2017.03.001