

# Evaluación de protocolo de enrutamiento WCETT aplicado a redes de radio cognitiva

*Evaluating WCETT routing protocol on cognitive radio networks*

## **DANILO A. LÓPEZ**

Ingeniero Electrónico, magíster en Teleinformática. Docente e investigador de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Bogotá, Colombia.

Contacto: [dalopezs@udistrital.edu.co](mailto:dalopezs@udistrital.edu.co)

## **CÉSAR HERNÁNDEZ**

Ingeniero Electrónico, magíster en Ciencias de la Información y las Comunicaciones, estudiante de Doctorado en Ingeniería de Sistemas y Computación de la Universidad Nacional de Colombia. Docente e investigador de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Bogotá, Colombia.

Contacto: [cahernandezs@udistrital.edu.co](mailto:cahernandezs@udistrital.edu.co)

## **OCTAVIO SALCEDO**

Ingeniero de Sistemas, magíster en Teleinformática, candidato a doctor en Informática. Docente de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Bogotá, Colombia. Contacto: [ojsalcedop@udistrital.edu.co](mailto:ojsalcedop@udistrital.edu.co)

Fecha de recepción: 31 de agosto de 2011

Clasificación del artículo: investigación

Fecha de aceptación: 27 de noviembre de 2012

Financiamiento: Universidad Distrital Francisco José de Caldas

**Palabras clave:** ETT, radio cognitiva, WCETT.

**Key words:** ETT, cognitive radio, WCETT.

## **RESUMEN**

Este artículo presenta los resultados obtenidos de la investigación relacionada con la evaluación del protocolo Weighted Cumulative Expected Transmission Time (WCETT) aplicado a redes de radio cognitiva. El trabajo se realizó tomando como base investigaciones hechas por diferentes autores. Se simula una red, la cual se comunica de manera inalámbrica utilizando un canal licen-

ciado, por medio del cual otros nodos no licenciados pretenden transmitir durante un determinado tiempo, hasta que el nodo dueño del canal comienza su transmisión.

## **ABSTRACT**

This article presents a set of research results associated to assessment of the Weighted Cumulative

Expected Transmission Time protocol (*WCETT*) when applied to cognitive radio networks. The work was based on research results from different authors. A network that communicates wirelessly

is simulated using a licensed channel over which other (unlicensed) nodes try to transmit during a given period of time, until the station's owner begins its transmission.

\* \* \*

## 1. INTRODUCCIÓN

Las redes de radio cognitiva (CRN) se componen de dispositivos cognitivos de ágil espectro, capaces de cambiar sus configuraciones sobre la marcha basándose en el entorno del espectro [1]. Esta capacidad abre la posibilidad de diseñar estrategias del espectro más flexibles y dinámicas de acceso, con el fin de reutilizar de forma oportuna porciones del espectro temporalmente desocupadas con licencia de usuarios primarios [2].

Satisfacer la calidad de servicio (QoS) [3], las necesidades de transmisión y de las redes de malla inalámbrica, sigue siendo un reto para la investigación, debido principalmente al rendimiento retardo promedio [4]. Este documento se centra en la tecnología multicanal de la red multirradio y presenta una evaluación de la métrica de enrutamiento llamada: ponderados en el tiempo acumulado de transmisión esperada (*WCETT*) en redes de radio cognitiva.

## 2. DESCRIPCIÓN DE PROTOCOLO

En [5] se presenta *WCETT*, que consiste en la asignación de pesos a cada uno de los enlaces teniendo en cuenta el tiempo de enlace en la transmisión de espera (ETT).

En *WCETT*, cuando se tienen dos nodos adyacentes, estos pueden usar el mismo canal para transmitir la misma cantidad de flujo de video. Por tanto, antes de realizar la transmisión de datos, el nodo debe esperar a que el recurso de

canales esté disponible. De esta forma, se incurre en demoras más largas y con menor rendimiento.

*WCETT* puede verse también como una métrica de enrutamiento que tiene en cuenta dos cosas: la diferencia en el ancho de banda de enlace y la diversidad de la asignación del canal. Tiene como ventaja permitir a los nodos de la red configurar el mejor camino dentro de la diversidad de canales que se ofrecen y el ancho de banda de enlace al GWs. Además, tiene en cuenta los canales utilizados en el vínculo actual y en el enlace anterior de un trazado.

Cuando se encuentra que el vínculo actual está utilizando el mismo canal que su anterior enlace, entonces se asignará un valor de parámetro más a la relación actual con el fin de capturar la interferencia intra-flujo dentro de cada ruta. Por tal razón, estos pueden ser enrutados a través de routers con la concentración del tráfico menor.

La desventaja de este tipo de métricas es que no tienen en cuenta el equilibrio de carga. También se presenta que, si la mejor trayectoria actual está muy cargada o congestionada, el nodo puede cambiar a la ruta de la segunda manera más eficiente. La métrica de enrutamiento *WCETT* para una ruta de acceso se estima por la ecuación (1):

$$WCETT = (1-\alpha)x \sum_{i=1}^L ETT_i + \alpha x \max_{j \in S} T_j \quad (1)$$

Donde se tiene que ETT es el tiempo de espera en la transmisión  $i$  de enlace en un camino de longitud  $L$ ,  $\alpha$  es un parámetro ajustable que va de

0 a 1 y es la suma de los tiempos de transmisión en un canal particular  $j$ . El valor de las ETT se toma como  $ETT = ETX$  donde ETX es el tiempo de espera de transmisión,  $S$  denota la longitud del paquete y  $B$  se refiere al ancho de banda del enlace. El valor de ETX se obtiene utilizando el mecanismo de paquetes de sondeo.

La ecuación tiene principalmente dos partes: la primera es la suma de las ETT de todos los enlaces en el camino y representa el factor de retardo de extremo a extremo. Este factor esencialmente proporciona el valor aproximado del retardo que un paquete en particular puede enfrentar. La segunda parte de la fórmula hace referencia a la diversidad de canales lógicos que reducen la posibilidad de acceder a un enlace, cuando se está intentando usar un medio de transporte ampliamente utilizado.

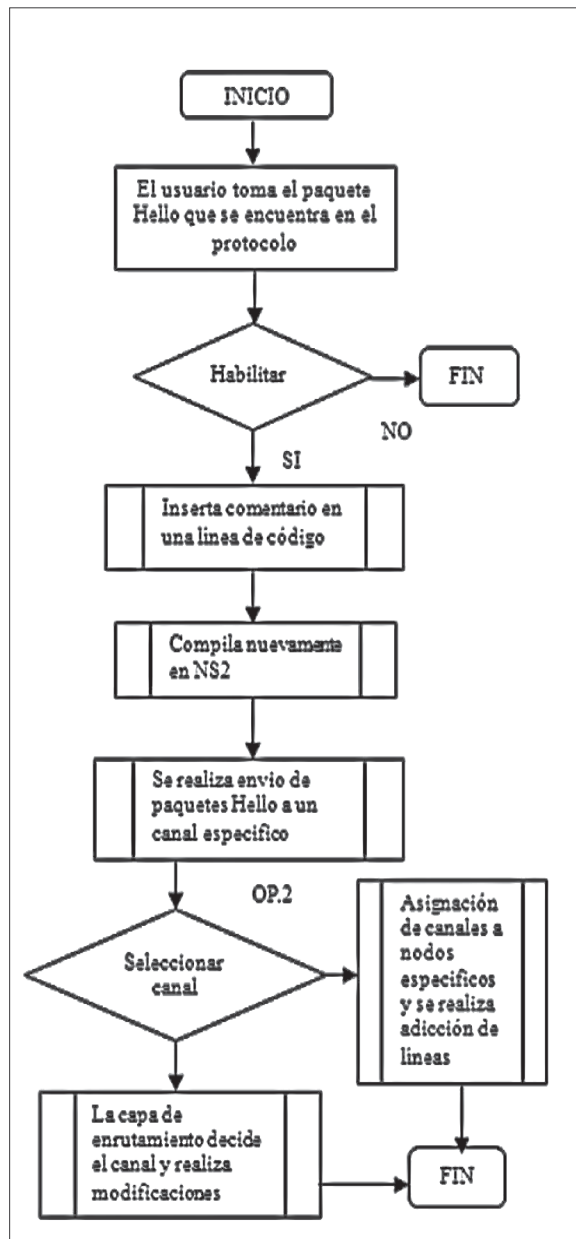
El valor de  $T_j$  puede obtenerse de la siguiente manera en la ecuación (2):

$$T_j = \forall_{1 \leq j \leq k} \sum_{Link i \in Luseschannel_j} ETT_i \quad (2)$$

Donde se tiene que  $K$  es el número de canales en el sistema y  $L$  es la longitud del camino. En general, el camino ancho de banda es superior, delimitado por el enlace cuello de botella, que tiene el menor ancho de banda. El factor de la diversidad de canales se reduce a la posibilidad de elegir un camino que tiene vínculos cuello de botella. El parámetro  $\alpha$  ajustable proporciona un equilibrio entre el factor que reduce el retardo de extremo a extremo y el segundo factor, lo que reduce los enlaces cuello de botella.

### 3. METODOLOGÍA

A continuación se describen los procesos de simulación llevados a cabo para el desarrollo del trabajo, el simulador utilizado es NS-2 [6], [7].



**Figura 1.** Flujograma algoritmo utilizado  
Fuente: elaboración propia.

En la figura 1, se puede observar un flujograma de la secuencia de las actividades que se realizaron para lograr la simulación.

Los parámetros que se han tenido en cuenta para evaluar el rendimiento de los protocolos son:

# investigación

- Carga promedio de enrutamiento, según la ecuación (3):

$$CPE = ctpc/ts \quad (3)$$

- Donde:

$ctpc$  es la cantidad total de paquetes de control de enrutamiento.

$ts$  es el tiempo de simulación.

- Retardo promedio, según la ecuación (4):

$$RP = \sum_i tep - trp/tpt \quad (4)$$

Donde:

$tep$  es el tiempo de envío de paquetes.

$trp$  es el tiempo de recepción de paquetes.

$tpt$  es el total de paquetes transmitidos.

$i$  representa el  $i$ -ésimo paquete enviado.

- Throughput, según la ecuación (5):

$$T = tpre/tpe \quad (5)$$

**Tabla 1.** Nodos licenciados y no licenciados

ID NODO	LICENCIADO	ID NODO	LICENCIADO
0	NO	5	NO
1	NO	6	NO
2	NO	7	NO
3	NO	8	SÍ
4	NO	9	NO

Fuente: elaboración propia.

Donde:

$tpre$  representa el total de paquetes recibidos exitosamente.

$tpe$  el total de paquetes enviados.

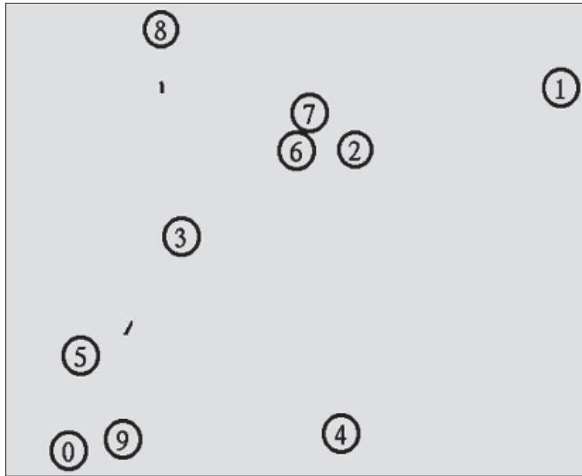
La red está compuesta por 10 nodos, como se puede observar en la tabla 1; adicionalmente, en ella podemos ver que solo el nodo 8 es el licenciado, el resto no. Todos los nodos se comunican utilizando el protocolo de enrutamiento WCETT, de forma inalámbrica. A excepción del 8, los nodos están tratando de utilizar el canal disponible.

Como se puede observar en la tabla 2, en los instantes del tiempo  $t=10$  ms, 15 ms, y 20 ms, los

**Tabla 2.** Actividad en los nodos

ID	10 ms	15 ms	20 ms	100 ms
0	recibiendo transmisión	recibiendo transmisión	recibiendo transmisión	recibiendo transmisión
1	transmitiendo al nodo 0	transmitiendo al nodo 0	transmitiendo al nodo 0	transmisión detenida
2	transmitiendo	transmitiendo	transmitiendo	transmisión detenida
3	transmitiendo	transmitiendo	transmitiendo	transmisión detenida
4	transmitiendo al nodo 0	transmitiendo al nodo 0	transmitiendo al nodo 0	transmisión detenida
5	transmitiendo	transmitiendo	transmitiendo	transmisión detenida
6	transmitiendo	transmitiendo	transmitiendo	transmisión detenida
7	transmitiendo	transmitiendo	transmitiendo	transmisión detenida
8				<b>transmitiendo al nodo 0</b>
9	transmitiendo al nodo 0	transmitiendo al nodo 0	transmitiendo al nodo 0	transmisión detenida

Fuente: elaboración propia.



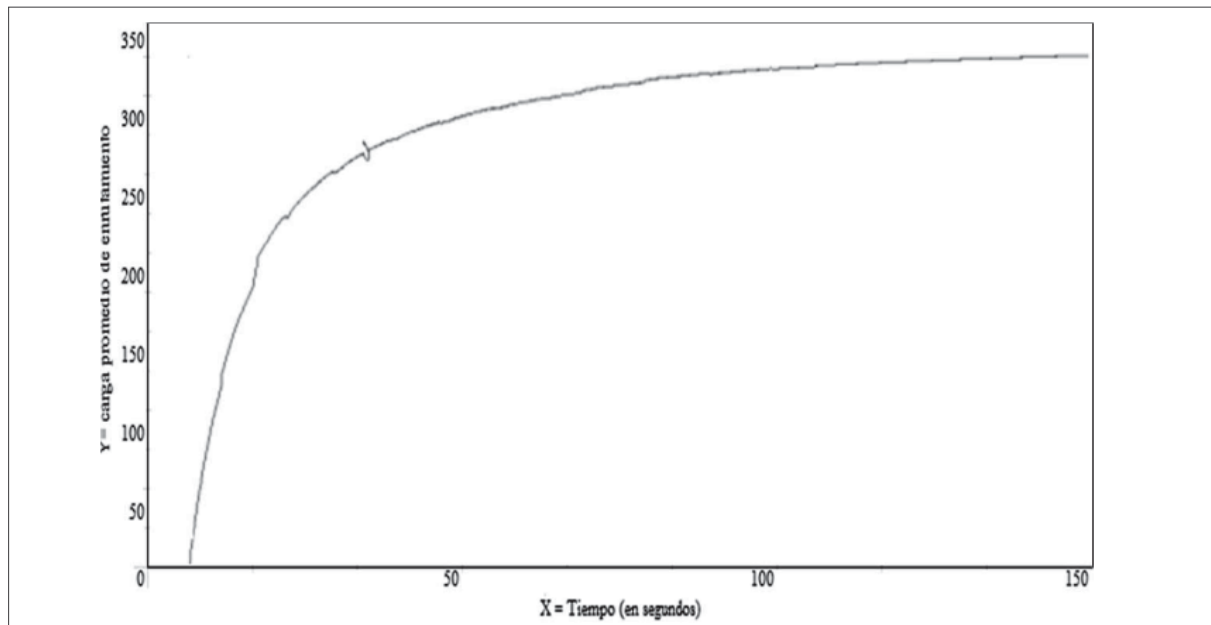
**Figura 2.** Escenario de simulación  
Fuente: elaboración propia.

los nodos 1, 4 y 9 respectivamente, comienzan a transmitir hacia el nodo 0. Durante la simulación, estos nodos se mueven y transmiten a través de los demás nodos por el canal del nodo licenciado. En el instante de tiempo  $t=100$  ms (tabla 2), resaltado en negrita se puede ver que está el nodo licenciado (8), este comienza a utilizar el canal

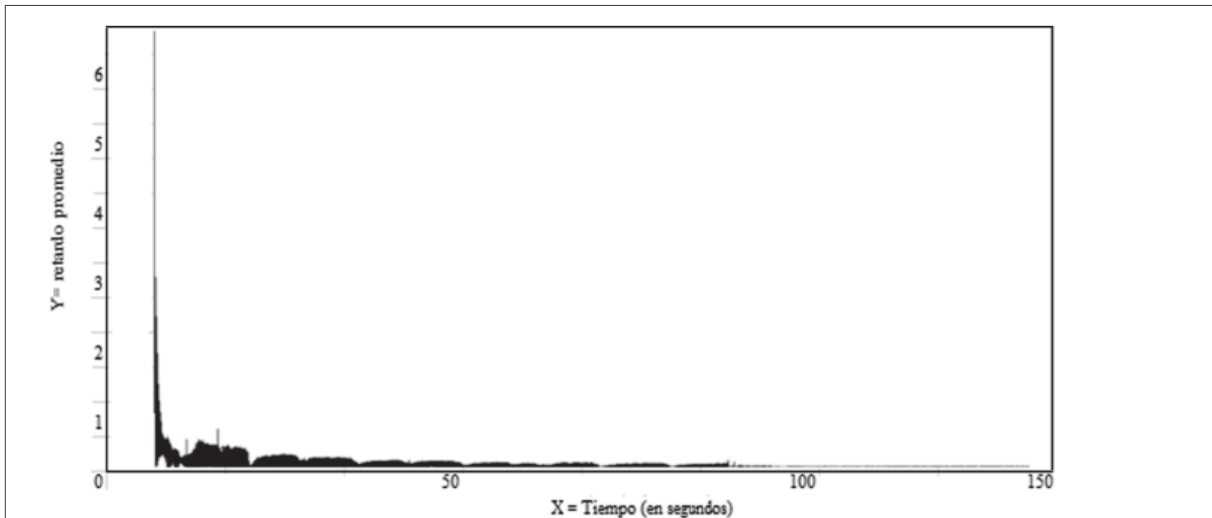
para transmitir hacia el nodo 0 y seguidamente los nodos no licenciados deben parar de transmitir, como se observa en la figura 2.

#### 4. RESULTADOS

La representación grafica de los resultados obtenidos se puede observar en las figuras 3, 4 y 5, de acuerdo con la topología de red planteada. La carga promedio de enrutamiento se comporta de manera exponencial; sin embargo, alrededor de los 300 paquetes por segundo, su comportamiento encuentra estabilidad, por lo que se espera que sea este el valor normal para el protocolo de enrutamiento WCETT, ya que el escenario planteado no genera congestión entre los nodos que están transmitiendo información. Dados los resultados obtenidos en [8], se puede observar en la figura 3 que este valor de carga de enrutamiento es relativamente alto en comparación con otros protocolos de enrutamiento (AODV y DSR).



**Figura 3.** Carga promedio de enrutamiento  
Fuente: elaboración propia.



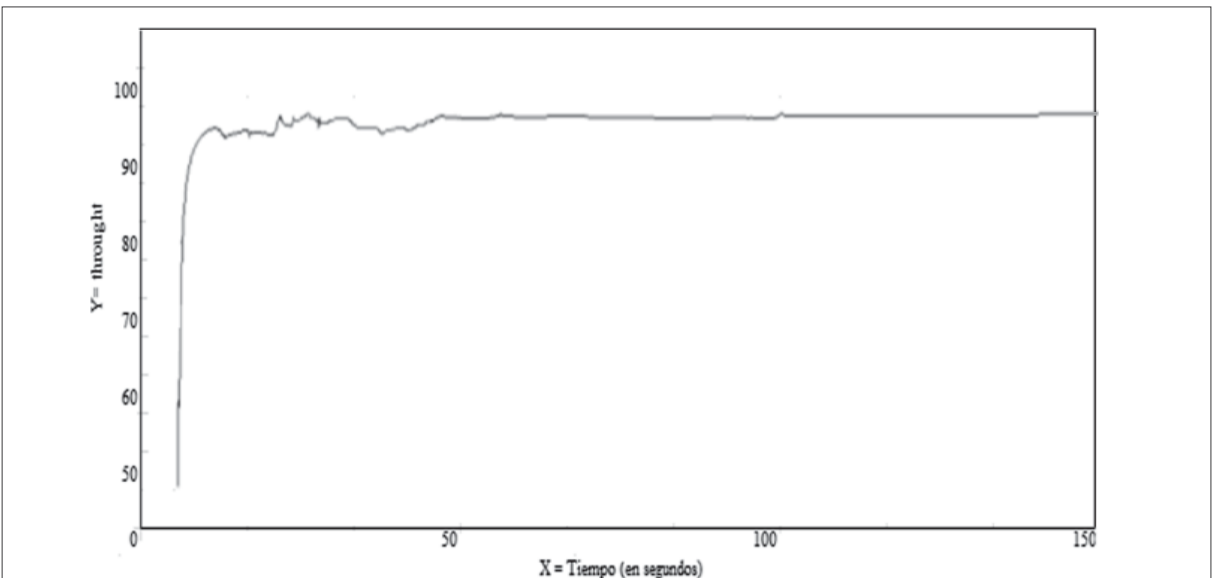
**Figura 4.** Retardo promedio

Fuente: elaboración propia.

Como se observa en la figura 4, el retardo promedio presenta un pico lógico al comienzo de la simulación, sin embargo su comportamiento a lo largo de la misma es relativamente estable hasta después de los 100 milisegundos, instante exacto en que el nodo 8 comienza a transmitir información a través del canal licenciado, anulando la transmisión de los nodos 1, 4 y 9. Entre los

instantes 0 y 100 ms, el comportamiento del retardo tiene forma oscilatoria en cierta medida por la cantidad simultánea de información que se está transmitiendo a través del canal (nodos 1, 4 y 9 enviando información al nodo 0).

El Throughput, en la figura 5, alcanza una efectividad muy cercana al 100% en gran parte de la



**Figura 5.** Throughput

Fuente: elaboración propia.

simulación, consiguiendo mantenerse prácticamente constante a partir de los 50 ms, por lo que se podría deducir que, en este instante, los nodos estabilizaron la actualización de sus tablas de enrutamiento, lo cual se puede comprobar también en la figura 4, donde se observa estabilización de la carga promedio en el mismo instante.

## 5. CONCLUSIONES

El comportamiento del protocolo de enrutamiento WCETT es el esperado de acuerdo a las exigencias que demanda la implementación de radio cognitiva, dado que el Throughput se mantiene casi al 100% en toda la simulación.

A pesar de que la carga promedio de enrutamiento tiene un valor relativamente alto en comparación con otros protocolos, esto se ve compensado con los bajos valores en retardo, por lo cual WCETT es un protocolo idóneo para uso en radio cognitiva, dada la necesidad que existe en este tipo de redes de asignación de canal casi inmediata al usuario licenciado cuando este lo requiere.

Es una situación abierta el comprobar su eficiencia en un escenario hostil, dado que el escenario planteado no representa una mayor exigencia para el protocolo, debido a la poca cantidad de transmisiones simultáneas y, por ende, la falta de congestión en la red.

---

## REFERENCIAS

- [1]. K. Fall and K. Varadhan, (2010), "Ns Notes and Documentation", in *The VINT Project*. UC Berkeley, LBN, California, 2005. [Online]. Available: <http://www.isi.edu/ns-nam/ns/>
- [2]. B. Leong, B. Liskov and R. Morris, "Geographic Routing without Planarization. NSDI'06", in *Proceedings of the 3rd conference on Networked Systems Design & Implementation*, CA, USA, vol. 3, pp. 25, 2006.
- [3]. G. Cheng, W. Liu, Y. Li and W. Cheng, "Control Channel Based MAC- Layer Configuration, Routing and Situation Awareness for Cognitive Radio Networks", *IEEE International Symposium on New Frontiers in Dynamic Spectrum Access Networks (DySPAN)*, pp. 571-574, 2007.
- [4]. B. Karp and H. T. Kung, "GPSR: Greedy Perimeter Stateless Routing for Wireless Networks", in *Proc. ACM MobiCom*, Boston, MA, pp. 243-254, August 2000.
- [5]. Y. Zhang, J. Luo and H. Hu (eds.), *Wireless Mesh Networking: Architectures, Protocols and Standards*, New York: Auerbach Publications, 2006.
- [6]. GNU General Public License, *Fundamentos y normativas de la distribución y modificación de software libre (interés:ns-2)*. [en línea] Disponible: <http://www.gnu.org/copyleft/gpl.html>
- [7]. R. Ferro, L. Pedraza y C. Hernández, "Maximización del throughput en una red de radio cognitiva basado en la probabilidad de falsa alarma", *Tecnura*, vol. 15, no. 30, pp. 64-70, diciembre 2011.
- [8]. Y. Pan, "Design Routing Protocol Performance Comparison in NS2: AODV comparing to DSR as Example", in *Department of Computer Science SUNY Binghamton Vestal Parkway East*, Vestal, NY 13850, 2010.