

Comparación de protocolos de enrutamiento bajo un control de acceso de nueva generación para redes ad-hoc en radio cognitiva

Comparison of routing protocols under a new generation access control for ad-hoc networks in cognitive radio

Danny Fernando León Jaramillo¹, Jaider Ospina Navas ¹, Edgar Aguirre Buenaventura², Gabriel Alberto Puerta¹

¹ Grupo de Investigación CLIIC, Bogotá, Colombia

² Grupo de Investigación IT-Uniminuto, Bogotá, Colombia

Resumen. El presente trabajo lleva como objetivo la comparación de métricas de enrutamiento de los protocolos; Tiempo Promedio Acumulado de Transmisión Esperado (WCETT) y Enrutamiento Dinámico desde el Origen (DSR), teniendo como técnica para la multi-canalización, el Control de Acceso al Medio de Nueva Generación (MACNG). La evaluación se llevo acabo por medio de la implementación de escenarios de simulación en Network Simulator 2 (NS2), donde se obtuvieron las trazas de resultados para su posterior análisis, por medio de la evaluación de métricas de desempeño para cada uno de los protocolos propuestos. Las métricas consideradas fueron; el promedio de paquetes generados (Throughput), enviados, recibidos y perdidos. De acuerdo a la evaluación realizada se pudo concluir, como el protocolo DSR puede recibir mas paquetes en promedio, que los que puede generar para el establecimiento de un enlace en una Radio cognitiva Cognitive Radio Ad- Hoc Network (CRAHN). por su parte el protocolo WCETT presentó un comportamiento mas uniforme bajo esta métrica.

Palabras clave: Radio cognitiva, CRAHN, WCETT, DSR, MACNG.

Abstract. The goal of this work is to compare routing metrics for protocols; Cumulative Average Expected Transmission Time (WCETT) and Dynamic Routing from Origin (DSR), having as a technique for multi-channeling, the New Generation Media Access Control (MACNG). The evaluation was carried out through the implementation of simulation scenarios in Network Simulator 2 (NS2), where the traces of results were obtained, for subsequent analysis, through the evaluation of performance metrics for each of the protocols. proposed. The metrics considered were; the average number of packets sent, received, and lost. According to the evaluation carried out, it was concluded, as the DSR protocol can receive more packets on average, than it can generate for the establishment of a link in a CRAHN. for its part, the WCETT protocol presented a more uniform behavior under this metric.

Keywords: Cognitive radio, CRAHN, WCETT, DSR, MACNG.

1 Introducción

En la actualidad la gran mayoría de redes están reguladas por políticas y regulaciones de espectro fijo, estas bandas y/o frecuencias fijas son asignadas a diferentes usuarios y/o organizaciones [1]. Las aplicaciones que se desarrollan en estas redes, son propietarias y definen estándares propios para el uso y apropiación de tecnologías, lo que puede provocar según varios estudios, que el uso de gran parte del espectro se encuentre subutilizado [3, 4, 5]. El uso de las redes móviles y la reutilización del espectro licenciado actualmente son temáticas con amplia proyección en la investigación de las telecomunicaciones, adicional a ello la relevancia de este tipo de redes radica en su gran versatilidad [4]. Teniendo en cuenta las potenciales aplicaciones generadas por la masificación de equipos móviles y la portabilidad de éstos, el aporte que se ha generado está dado por una serie de protocolos de enrutamiento que han enfocado esfuerzos para mejorar el rendimiento de las redes inalámbricas, posibilitando el diseño de estrategias que permitan reutilizar y sincronizar [6, 7]. De alguna forma estas estrategias de reutilización buscan de manera oportunista, capturar sectores del espectro licenciado teniendo en cuenta el control de acceso al medio (MAC) [8, 9]. Para la implementación de estas estrategias, de manera paralela se usaron recursos informáticos de simulación como NS2, que permitieron crear propuestas de escenarios dónde su configuración y los resultados son susceptibles de discusión académica [10].

2 Protocolos

En el presente trabajo se sometieron a estudio tres protocolos propios de las redes ad hoc de radio cognitiva (CRAHN), los cuales junto a las características propias de las comunicaciones inalámbricas propiciaron un escenario susceptible de estudio en cuanto a parámetros funcionales de acceso al medio, procesos asociados al enrutamiento y la determinación de métricas pertinentes para transmisión de la información. La figura 1 describe estos tres elementos metodológicos del problema los cuales permitirán determinar el comportamiento de protocolos.

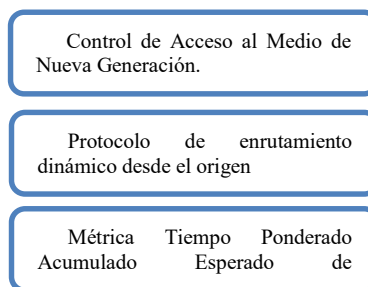


Fig. 1. Elementos metodológicos seleccionados

2.1 Control de acceso al medio de nueva generación.

El proceso de Control de Acceso al Medio de Nueva Generación (MACNG) se desarrolla de manera operativa con un radio el cual disponga de múltiples canales de acceso, para tal propósito se desarrollan dos fases a saber:

La primera consiste en que cada nodo realiza el envío de paquetes de establecimiento con el canal de recepción, para ser un canal de recepción se debe presentar una condición canal preferido, para tal fin se debe estar disponible, en caso opuesto el nodo compartirá el canal con el nodo mas lejano [11].

La segunda fase utiliza el canal establecido por el nodo en la primera fase para el envío y recepción de datos, en la medida que el número de canales establecidos aumente el rendimiento se verá incrementado [12].

Cabe destacar que una característica propia de los nodos participantes de la red es su movilidad, por lo tanto en algunos momentos serán visibles y en otros no, como consecuencia de ello modificarán los posibles enlaces que se puedan establecer. Los protocolos de enrutamiento tradicionales presentarían dificultades de adaptación a escenarios tan variantes [13].

El estudio realizado en [14] presenta la implementación de las características de acceso de MACNG para escenarios de CRAHN, para tal fin se utilizó la herramienta de simulación NS2. Dicho estudio consistió en implementar diversos protocolos de enrutamiento y acceso al medio, teniendo como características relevantes, el uso de múltiples canales y el análisis de diversos tipos de tráfico, en intervalos de tiempo definidos por el usuario, simulando la ausencia de infraestructura de telecomunicaciones clásica de un estado de alerta.

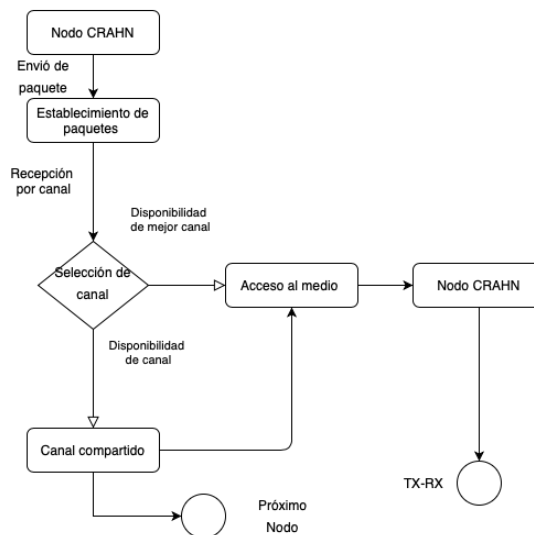


Fig. 2. Establecimiento comunicaciones para control de acceso al medio

La movilidad de los nodos que conforman la red y la aparición y desaparición de los mismos modifican los posibles enlaces que se pueden establecer. Los protocolos clásicos de enrutamiento no están preparados para adaptarse a escenarios tan variantes.

En [14], se presenta la implementación de las características de acceso de MACNG para escenarios de CRAHN desarrollado en la plataforma de simulación NS2. Para su respectivo estudio se implementa diversos protocolos de enrutamiento y acceso al medio, teniendo como características relevantes, el uso de múltiples canales y el análisis de diversos tipos de tráfico, en intervalos de tiempo definidos por el usuario, simulando la ausencia de infraestructura de telecomunicaciones clásica de un estado de alerta.

2.2 Protocolo de enrutamiento dinámico desde el origen.

En el protocolo Enrutamiento Dinámico desde el Origen (DSR), cuando se desea enviar un paquete de información desde el nodo origen a otro, el nodo origen decide sobre la existencia o no de una ruta específica, luego de analizar los caminos y métricas posibles. La ruta elegida se incluye dentro de la cabecera del paquete de datos como un número de identificación único, por su parte los nodos intermedios hacen las veces de puente, reenviando el paquete al nodo siguiente. Esta característica limita el número máximo de saltos a realizar, pero disminuye el procesamiento requerido en los nodos intermedios [15, 16]. DSR posee un mecanismo opcional que permite obtener información de enrutamiento observando el tráfico de datos. Este mecanismo se denomina *overhearing* y permite a los nodos conocer mejor la topología actual de la red y descubrir caminos más cortos que los utilizados en ese momento sin generar tráfico adicional de enrutamiento. Este mecanismo requiere procesamiento adicional en los nodos intermedios, pero ayuda al descubrimiento de mejores rutas y a reaccionar ante fallas en los enlaces [17].

Varias propuestas de aplicación del protocolo DSR han sido diseñadas para CRAHN por ejemplo en [5] se soluciona el problema de asignación de canales teniendo en cuenta el parámetro de estimación SINR (Relación señal a ruido más interferencia) en una ruta elegida. De la información suministrada por DSR se hace uso de la variable de ruta (RREP) para estimar la SINR y la velocidad de datos máxima de transmisión de los nodos de la ruta elegida. De esta manera, el nodo fuente puede llevar a cabo la asignación de canal de una manera más eficiente [18].

Por su parte se presenta la arquitectura propuesta en [19], donde se implementa un receptor de banda ancha para RC. DSR se usa para contribuir en la detección eficiente del espectro y ofrece una mejoría en la exactitud de los datos recogidos, permitiendo optimizar el proceso de toma de decisión del canal con mejor rendimiento [20].

2.3 Métrica tiempo ponderado acumulado esperado de transmisión.

La métrica Tiempo Ponderado Acumulado Esperado de Transmisión (WCETT) permite determinar el camino o ruta que presenta las mejores condiciones para la transmisión de información entre un origen y un destino [21].

WCETT asigna valores a cada nodo mediante la variable temporal ETT (Tiempo Esperado de Transmisión), que es una relación entre el ancho de banda y la tasa de

pérdida del canal entre el origen y destino [22, 23]. Esta variable cuyo comportamiento varía teniendo en cuenta los enlaces y las modificaciones que sufre el escenario.

La estimación de WCETT se presenta en la siguiente ecuación (1) [21]:

$$WCETT = (1 - \beta) * \Sigma ETT + \beta * \max x_j \quad (1)$$

Donde la sumatoria de los ETT representa el consumo total de recursos temporales para una transmisión entre extremos de la ruta, β es un parámetro ajustable que se encuentra entre 0 y 1 [22]. Dependiendo de la cantidad de saltos que están al servicio de la transmisión requerida para enviar la información.

El trabajo implementado en [10], presenta una comparación de las métricas WCETT y AODV en términos de rendimiento y retardo entre extremos de una ruta. El algoritmo MISD (Interferencia Mínima Acumulada y Canal de Retardo Conmutado) tiene como función realizar un trabajo cooperativo entre capas (capa de red, MAC y física) donde se optimiza el retardo y el número de saltos.

3 Desarrollo de Escenarios para la Comparación de Protocolos de Enrutamiento

Para desarrollar la propuesta comparativa, se propuso un escenario específico con una densidad de 10 nodos distribuidos aleatoriamente. Estos nodos fueron ubicados de manera dinámica en un área 25.000 metros cuadrados, durante un periodo de 500 segundos. Se utilizó el programa de simulación NS2, el cual permitió emular las características de acceso a la capa MAC implementada con MACNG y la evaluación del rendimiento en el establecimiento y enrutamiento de tráfico en los protocolos DSR Y WCETT.

El escenario de simulación se presenta de forma general en la Tabla 1, donde se encuentran enunciados los parámetros y su descripción, para este caso se usaron canales inalámbricos, propagación Two Ray Ground (TRW), interfaces físicas, antenas omnidireccionales, encolamiento por medio del algoritmo droptail y un buffer de encolamiento para 50 paquetes, todo sobre un control de accesos al medio MACNG:

Tabla 1. Descripción y parámetros seleccionados para los escenarios de simulación

Parámetro	Descripción
Tipo de canal	Wirelessl
Tipo de propagación	TwoRayGround
Tipo de interfaz	Física /Wireless
Tipo de antena	OmniAntenna
Tipo de enrutamiento	DSR y WCETT
Tipo de encolamiento	DropTail - Prioridad de encolamiento
Tamaño de la cola	50 paquetes
Tipo de acceso al medio	Mac/Macng

Fuente: los autores

La distribución geográfica de los nodos se hizo de forma aleatoria, NS2, dentro de su modulo Network Animator Module (NAM), permitió observar de manera animada la

actividad de cada nodo a lo largo de los 500 segundos que tardo la simulación, en la Figura 3 se presenta una instantánea de la distribución de los nodos en los escenarios de simulación.



Fig. 3. Escenario de simulación visto desde NAM

Las trazas resultantes de los escenarios de simulación fueron tratadas posteriormente para su análisis desde Perl y Python, estos interpretes permitieron el filtrado, presentación y limpieza de datos obtenidos.

4 Discusión de resultados

En el archivo de traza generado en NS2 mostró, que es posible simular la diferencia de los protocolos en los tiempos de establecimiento en un escenario de radio cognitiva, más no el comportamiento del protocolo de enrutamiento frente a algún tipo de tráfico específico. El anterior análisis permitió la evaluación de manera comparativa el comportamiento que presenta el throughput promedio de cada protocolo en el establecimiento, como se puede observar la Figura 4.

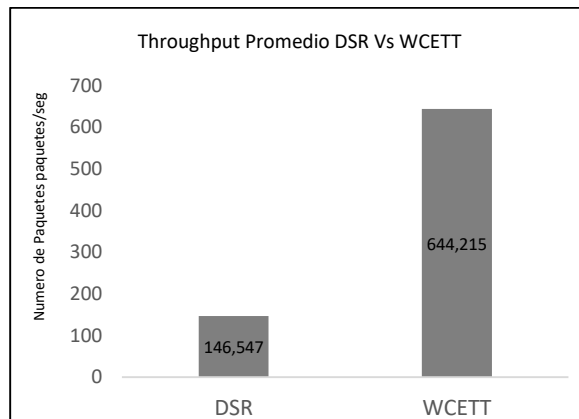


Fig. 4. Comparación throughput promedio

Por otra parte, la Figura 5 muestra el comportamiento promedio de las variables: paquetes recibidos y paquetes enviados por unidad de tiempo, en los protocolos DSR y WCETT, para el establecimiento de un enlace de CRAHN

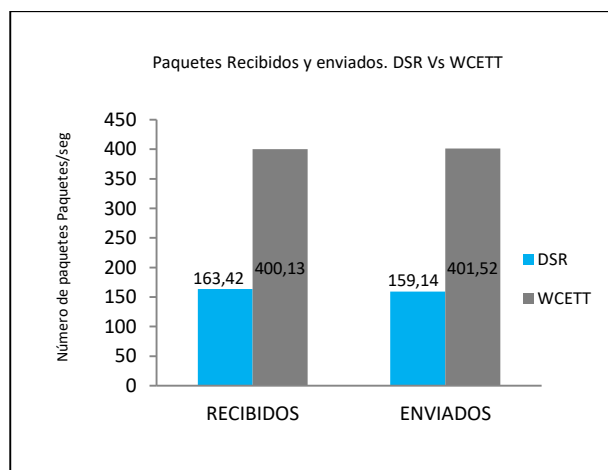


Fig. 5. Comparación promedios de paquetes enviados y recibidos

Cuantificar y comparar dichas variables posibilita el análisis de la estabilidad de los protocolos respecto de los paquetes por unidad de tiempo.

5 Conclusiones

Al comparar los protocolos DSR y WCETT se observa como el protocolo WCETT presenta un mayor valor en la magnitud del throughput promedio de todos los nodos

simulados en los distintos escenarios. Lo anterior podría permitirle a un usuario de CRAHN enviar de una manera efectiva información relevante con una mayor certeza. Hay que tener en cuenta que, entre los protocolos en cuestión, WCETT es un protocolo que requiere mayor cantidad de procesamiento en el cálculo de rutas y métricas óptimas, ya que es un protocolo de enrutamiento desarrollado para redes radio cognitiva (CRAHN). Adicionalmente debido a su naturaleza es un protocolo multicanal por lo cual debe realizar este proceso de manera redundante por cada canal.

Por su parte DSR es un protocolo diseñado para redes básicas inalámbricas evaluado en un entorno de radio cognitiva, como una posible situación de alerta o alerta, mostrando una maximización del throughput baja en magnitud con respecto al otro protocolo evaluado, ya que el protocolo solamente soporta un canal. Cabe destacar que las aplicaciones de múltiple radio ofrecen un mejor throughpuh de desempeño del enrutamiento.

El estudio de los protocolos DSR y WCETT en términos de la cantidad de paquetes recibidos y enviados, permite concluir como DSR en promedio debe recibir más paquetes, que los que puede transmitir para establecer un enlace de radio cognitiva, siendo poco efectivo para el establecimiento de enlaces sin infraestructura en un estado de alerta o alerta. Por su parte WCETT presenta un comportamiento uniforme en esta medida, permitiendo considerarlo como un protocolo más estable teniendo en cuenta que WCETT es un protocolo que realiza un trabajo más robusto en cuanto al manejo de múltiples canales, aprovechamiento de recursos y selección de rutas efectivas entre extremos, de esta forma postulándose como un candidato para llevar paquetes de información, como geolocalización de personas en situación o estado de alerta o de emergencia.

La pertinencia de este tipo de trabajos se sustenta en el aprovechamiento de las herramientas informáticas, que posibilitan medir y cuantificar variables respecto del desempeño de los protocolos en escenarios controlados. De tal forma, que le ofrecen al investigador ilimitadas posibilidades de trabajo que van desde el estudio comparativo de protocolos, hasta el diseño y posterior evaluación de los mismos, la posible aplicación a escenarios de distinto tipo de operación y relación.

Referencias

1. Zhao, Q., & Sadler, B. M. (2007). A survey of dynamic spectrum access. *IEEE signal processing magazine*, 24(3), 79-89.
2. Luis Fernando Pedraza, Felipe Forero, I. P. P. (2014). Evaluación de ocupación del espectro radioeléctrico en Bogotá-Colombia. *Ingeniería Y Ciencia*.
3. Arias, Y., & Cumanda, P. (2010). Estudio de los canales con desvanecimiento sobre redes fijas y móviles en sistemas de radio comunicación. Retrieved from <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/1455>
4. Bian, K., Park, J.-M., & Gao, B. (2014). *Cognitive Radio Networks*. Cham: Springer International Publishing. <http://doi.org/10.1007/978-3-319-07329-3>
5. X. Hu et al., "Emotion-Aware Cognitive System in Multi-Channel Cognitive Radio Ad Hoc Networks," in *IEEE Communications Magazine*, vol. 56, no. 4, pp. 180-187, April 2018, doi: 10.1109/MCOM.2018.1700728.
6. Y. Mallat, M. Ayadi, A. Ayari and S. Tabaane, "QoS/QoE-CAODV: Routing Protocol for Cognitive Radio Ad-Hoc Network," 2016 30th International Conference on Advanced Information Networking and Applications Workshops (WAINA), Crans-Montana, 2016, pp. 748-753, doi: 10.1109/WAINA.2016.33.
7. Puerta, G., Aguirre, E. and Alzate, M. (2010). Effects of Topology and Mobility in Bio-Inspired

- Synchronization of Mobile Ad Hoc Networks. *IEEE Latincom*.
<http://doi.org/10.1109/LATINCOM.2010.5640976>
8. Haykin, S. (2005). Cognitive radio: brain-empowered wireless communications. *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, 23(2), 201–220. <http://doi.org/10.1109/JSAC.2004.839380>
 9. S. Ping, A. Aijaz, O. Holland and A. Aghvami, "SACRP: A Spectrum Aggregation-Based Cooperative Routing Protocol for Cognitive Radio Ad-Hoc Networks," in *IEEE Transactions on Communications*, vol. 63, no. 6, pp. 2015-2030, June 2015, doi: 10.1109/TCOMM.2015.2424239.
 10. Yinfei Pan. (2008). Design Routing Protocol Performance Comparison in NS2: AODV comparing to DSR as Example. Retrieved March 2, 2017, from https://www.researchgate.net/publication/241888201_Design_Routing_Protocol_Performance_Comparison_in_NS2_AODV_comparing_to_DSR_as_Example
 11. Ahmad, S., Awan, I., Waqqas, A., & Ahmad, B. (2008). Performance Analysis of DSR & Extended DSR Protocols. In *2008 Second Asia International Conference on Modelling & Simulation (AMS)* (pp. 191–196). IEEE. <http://doi.org/10.1109/AMS.2008.72>
 12. Charles E. Perkins. (2008). *Ad Hoc Networking*. Retrieved from <http://dl.acm.org/citation.cfm?id=1481270>
 13. Dai, Y., & Wu, J. (2011). Efficient Channel Assignment under Dynamic Source Routing in Cognitive Radio Networks. In *2011 IEEE Eighth International Conference on Mobile Ad-Hoc and Sensor Systems* (pp. 550–559). IEEE. <http://doi.org/10.1109/MASS.2011.58>
 14. Ljajlić. (2014). MACNG for escanaries CR. Retrieved from <http://stuweb.ee.mtu.edu/~ljajlić/>
 15. Husieen, N. A., Hassan, S., Ghazali, O., & Siregar, L. (2013). The Robustness of RM-DSR Multipath Routing Protocol with Different Network Size in MANET. *International Journal of Mobile Computing and Multimedia Communications*, 5(2), 46–57. <http://doi.org/10.4018/jmcmc.2013040104>
 16. Jiao Wang, & Yuqing Huang. (2010). A cross-layer design of channel assignment and routing in Cognitive Radio Networks. In *2010 3rd International Conference on Computer Science and Information Technology* (pp. 542–547). IEEE. <http://doi.org/10.1109/ICCSIT.2010.5564800>
 17. Johnson, David B. Maltz, Dave. Broch, J. (2001). DSR: The Dynamic Source Routing Protocol for Multi-Hop Wireless Ad Hoc Networks. *Ad Hoc Networking*.
 18. Ma, L., & Denko, M. K. (2007). A Routing Metric for Load-Balancing in Wireless Mesh Networks. In *21st International Conference on Advanced Information Networking and Applications Workshops (AINAW'07)* (pp. 409–414). IEEE. <http://doi.org/10.1109/AINAW.2007.50>
 19. Renu, B., Lal, M. H., & Pranavi, T. (2013). Routing Protocols in Mobile Ad-Hoc Network: A Review (pp. 52–60). Springer Berlin Heidelberg. http://doi.org/10.1007/978-3-642-37949-9_5
 20. Wang, H., Qin, H., & Zhu, L. (2008). A Survey on MAC Protocols for Opportunistic Spectrum Access in Cognitive Radio Networks. In *2008 International Conference on Computer Science and Software Engineering* (pp. 214–218). IEEE. <http://doi.org/10.1109/CSSE.2008.1546>
 21. Xiao, Y. (2008). *Cognitive Radio Networks*. Taylor & Francis.
 22. Yau, A. K.-L., Komisarczuk, P., & Teal, P. D. (2008). On Multi-Channel MAC Protocols in Cognitive Radio Networks. In *2008 Australasian Telecommunication Networks and Applications Conference* (pp. 300–305). IEEE. <http://doi.org/10.1109/ATNAC.2008.4783340>
 23. Zamat, H., & Natarajan, B. (2009). Practical architecture of a broadband sensing receiver for use in cognitive radio. *Physical Communication*, 2(1–2), 87–102. <http://doi.org/10.1016/j.phycom.2009.02.005>.