

Proposed ad hoc network to expand coverage of an IEEE 802.11n network

Joaquín F Sánchez Juan Pablo Ospina Jhon Lopez Jorge Ortiz

Resumen—This article shows the procedure for configuring a cluster head in an ad hoc network to provide the Internet service and increase the coverage of an IEEE 802.11n network. Implementation of a network with embedded systems (Raspberry Pi) as nodes of the network is considered, and software such as BATMAN (Better Approach to Mobile Adhoc Networking) and ALFRED (Almighty Light Fact Remote Exchange Daemon) is used to perform the Connection of nodes and dissemination of information through the ad hoc network. The tests of connectivity and tests of traffic on the network are shown. In the discussion, we present the characteristics to be taken into account for future configurations.

Index Terms—Ad hoc networks, cluster head, proactive routing.

I. INTRODUCCIÓN

Las redes de comunicaciones han tenido una evolución en varios aspectos, en el tipo de dispositivos, la infraestructura, la movilidad [1], [2]. También, en el tipo de servicios que se presentan por estas redes, empezando con la telefonía tradicional, pasando por la transmisión de paquetes de internet por las mismas líneas y finalizando con redes móviles que también pueden ofrecer la plataforma para el servicio de internet. En toda esa gama de tecnologías y redes de comunicaciones, se pueden destacar las redes ad hoc. Los escenarios de aplicación de las redes ad hoc son variados y han aparecido el concepto de redes oportunistas [3], [4], en donde se requiere una solución de comunicaciones por un tiempo definido y en donde no es necesario llevar o levantar infraestructura de comunicaciones que es costosa y lenta de implementar.

Una de las aplicaciones de interés para las redes ad hoc, es la de ampliar la cobertura de redes inalámbricas a sitios en donde no se cuente con dicha cobertura. El caso que se considera en este artículo es la implementación de este tipo de aplicación para ampliar la cobertura de internet de una red IEEE 802.11n. Para lograr esto se establece el proceso de configuración de dispositivos embebidos en modo ad hoc (que se conecte de forma descentralizada) y se describe la propuesta del diseño de cluster head, como mecanismo de organización dentro de la infraestructura de la red.

De manera que la distribución del documento es la siguiente: en la sección 2 se describe las consideraciones técnicas para la realización de la red ad hoc y la configuración del cluster head. En la sección 3 se muestra el diseño del cluster

head y cual es su funcionamiento dentro de la infraestructura de red. Se muestran los resultados de las pruebas realizadas. En la sección 4 se hace una discusión sobre las ventajas y desventajas de las redes ad hoc para ampliar la cobertura de redes inalámbricas. Por ultimo se dan las conclusiones de este artículo.

II. ESQUEMA DE CLURTE HEAD

La idea de funcionamiento de una arquitectura de cluster para redes ad hoc es tener la capacidad de ampliar su área de cobertura y realizar una optimización de recursos como procesamiento y potencia de los nodos [5]. De manera que el cluster head representa un esquema valido como diseño para una red ad hoc que tenga como propósito ampliar la cobertura para una red inalámbrica [6]. Al considerar un nodo como un nodo líder que agrupe nodos bajo su control o administración, se necesita considera dos aspectos fundamentales: capacidad de procesamiento y potencia de transmisión [7].

La capacidad de procesamiento es importante, ya que las peticiones y procesos se deben dividir en dos, una parte se debe encargar de gestionar los nodos que esta agrupando, mantener sus tablas de enrutamiento actualizadas, conocer el estado de la topología actual de la red y hacer tramite a las peticiones y tareas de los nodos bajo su responsabilidad. El otro aspecto, es mantener una constante comunicación con sus pares, es decir, mantener el estado actual de los otros cluster head que se encuentran en la red y mantener una constante actualización de la información de señalización de sus nodos vecinos [8], [9].

Por otro lado, la potencia que debe manejar el nodo que hace el agrupamiento es grande, en términos de gestión de potencia para con los nodos que tiene a cargo y la potencia de transmisión y recepción para con sus nodos pares. Todas las operaciones que realizan estos nodos deben contabilizarse en función de la potencia que gasta en realizar sus tareas [10].

Otro aspecto a considerar para el diseño del cluster head es la función de cambio de rol que debe tener configurado. La situación hipotética que se pueda dar durante el funcionamiento de la red ad hoc es que el nodo que tiene el rol de cluster head salga de la red. Si se quiere mantener el esquema propuesto para el funcionamiento de la red, otro nodo que este participando en el cluster, sea capaz de tomar el rol de cluster head. Esto significa que las mismas capacidades que se ha considerado para el nodo que tiene la

función principal debe ser soportadas por este nuevo cluster head.

Teniendo las condiciones descritas anteriormente, para el diseño del cluster head, se realizan dos procesos en el dispositivo que sirve como nodo líder: protocolo de enrutamiento y herramienta para diseminar información.

II-A. Protocolo de enrutamiento B.A.T.M.A.N.

Es un protocolo derivado del protocolo de enrutamiento OSLR (*Optimized Link State Routing*) [11]. En este protocolo, solo se conocen las rutas hacia los vecinos más próximos (a un solo salto) en cada nodo y reemplaza los mensajes OSLR por un único tipo de mensaje denominados *Originator Messages* (OGMs) [12]. La estrategia básica del protocolo reside en la comprobación del campo *Originator Address*, de tal manera que si el campo coincide con las cabeceras IP del mensaje, los dos nodos (receptor y transmisor del mensaje) son vecinos directos. BATMAN-adv [13], introduce operación en la capa de enlace, de tal forma que la información de enrutamiento se inserta en las tramas mediante encapsulamiento hasta el nodo destino, emulando un switch virtual entre todos los nodos de la red. Esto hace que todos los nodos parezcan estar conectados con un enlace local de un salto.

Las últimas revisiones del protocolo B.A.T.M.A.N ha introducido un nuevo paquete llamado ELP (*Echo Location Protocol*). Los mensajes ELP son paquetes que se envían con alta periodicidad para comprobar rápidamente el estado de los enlaces locales, de manera que no se propagan por toda la red. Los mensajes OGM siguen cumpliendo la misma tarea que tenían asignados en anteriores versiones. Con esta división de tareas entre ELP y OGM se reduce el intervalo de envío de los OGM (reduciendo el ancho de banda usado y la capacidad de procesamiento), mejorando los tiempos de convergencia y simplificando notablemente el núcleo del protocolo de enrutamiento.

II-B. Diseminación de información

ALFRED. (*Almighty Lightweight Fact Remote Exchange Daemon*) [14] es una aplicación ejecutada en segundo plano sobre los nodos y se utiliza en los dispositivos de la red ad hoc, para la distribución de información de forma descentralizada. Cualquier nodo puede insertar información mediante la capa de enlace. Utiliza esquema de direccionamiento IPv6 multicast.

ALFRED, define los ítems que componen su estructura:

- **Nodo:** dispositivo en donde esta ALFRED
- **Servidor:** una instancia de ALFRED que se ejecuta en un nodo, capaz de comunicarse con procesos ALFRED en otros nodos y con clientes que se ejecutan en el mismo nodo
- **Cliente:** un programa que soporta el protocolo ALFRED y se comunica con un servidor ALFRED en el mismo nodo

- **Maestro:** un proceso del servidor ALFRED que almacena los datos entrantes, lo sincroniza con otros servidores maestros y acepta peticiones de los esclavos.
- **Esclavo:** un proceso del servidor ALFRED que solo gestiona sus propios datos, solicita datos a su servidor maestro

En la figura 1 se muestra la estructura de una red con ALFRED, en donde están comunicados los nodos maestros entre sí y los nodos esclavo con sus nodos maestros correspondientes.

La manera en que se puede escoger un cluster head por los nodos esclavos es haciendo la medición de la calidad de los nodos maestro. Para las configuraciones que se hicieron en las pruebas, se ha colocado por defecto un solo nodo como cluster head, pero se podría pensar en realizar la configuración para que el cambio de rol sea dinámico.

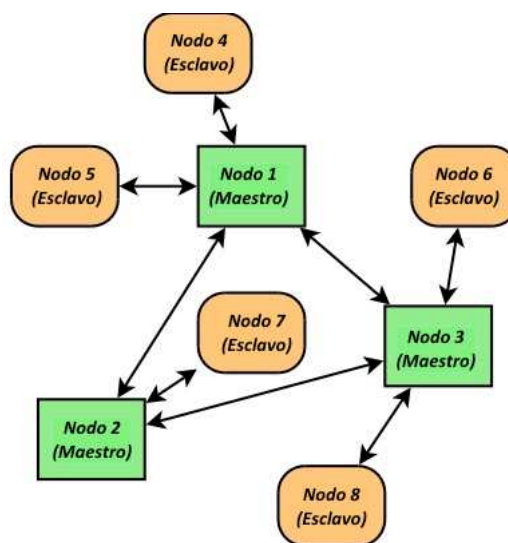


Figura 1. Estructura ALFRED [15]

III. DISEÑO DEL CLUSTER HEAD

Tomando las herramientas para la creación del cluster head, el primer paso es definir el propósito de la creación de la red ad hoc. Para este artículo se ha tomado como aplicación de ejemplo expandir la cobertura de una red inalámbrica IEEE 802.11n (*wi-fi*). Se ha designado como puerta de enlace un equipo conectado a la red inalámbrica. Este equipo se conecta a un dispositivo embebido por el puerto ethernet y comparte el servicio de internet. El dispositivo conectado a la puerta de enlace (*gateway*) es el encargado de hacer la distribución del servicio de internet a los demás nodos de la red ad hoc. En la figura 2 se muestra la topología que sigue en principio la red de ad hoc. La distribución del servicio es la tarea principal del nodos con capacidad de cluster head. Y además tiene la tarea de hacer el enrutamiento del servicio de internet a través de la puerta de enlace.

Los demás nodos que participan en la red, siguen la configuración de la red ad hoc conectados a través de sus interfaces inalámbricas IEEE 802.11. Las consideraciones de hardware de los nodos participantes en esta red son los que

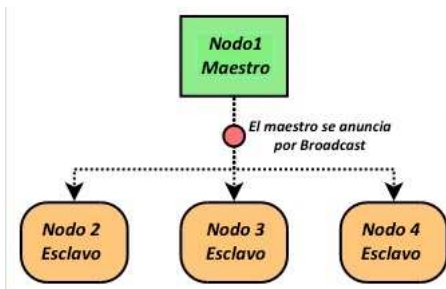


Figura 2. Topología utilizada en la red ad hoc

Cuadro I
CARACTERÍSTICAS DE HARDWARE DE LOS NODOS

Característica	Raspberry pi-2	Raspberry pi -3
CPU	ARM Cortex A7	ARM Cortex A53
CPU Speed	900 Mhz	1200 Mhz
RAM	1 GB	1GB
Storage	MicroSDHC port	MicroSDHC port
WI-FI	No built-in Wifi	802.11n

se muestran en el cuadro I.

Los componentes físicos de la red, garantizan que pueda existir una conexión entre los nodos. Para remplazar el modulo IEEE 802.11n de la raspberry pi-2 se emplea un modulo portátil de referencia *TL – WN721N*. Las características son similares en los diferentes nodos. El procesamiento como condición de operación del nodo cluster head también se garantiza utilizando estos dispositivos.

A continuación de enumeran las particularidades de software para la creación de la red ad hoc.

- Versión kernel linux: linux 4.9
- Versión batctl: batman-adv 2016.4
- Versión ALFRED: alfred-2016.4
- Script configuración red Ad hoc

En la figura 3 se muestra la conexión que se realiza para un tiempo determinado de la red ad hoc. El propósito general es realizar la expansión de la cobertura del servicio de internet. Las convenciones son las siguientes: la línea verde es la conexión con la puerta de enlace, la línea roja discontinua es la conexión IEEE 802.11n entre los diferentes nodos de la red. La línea azul discontinua hace referencia al servicio de internet que se envía por los diferentes nodos.

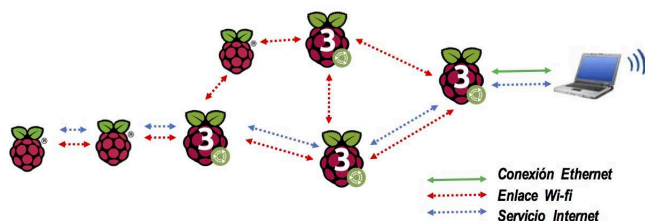


Figura 3. Vista de la conexión de la red ad hoc

Sobre la red, se realiza pruebas de conectividad, haciendo *ping* desde los nodos hacia un servidor en internet. La idea de esta prueba es comprobar dos aspectos:

1. Que la conexión este arriba.
2. El comportamiento de los tiempos de respuesta.

Uno de los parámetros de calidad de servicio es mantener en condiciones aceptables el *throughput* de la red. En la figura 4 se muestra el despliegue que se hace para extender la conectividad. Se utilizan 4 raspberry, en donde el cluster head es el dispositivo con la dirección 192,168,2,7. La conexión se representa con la línea roja y el servicio de internet con la línea azul. Se toman los tiempo de conexión de los dispositivos con direcciones *ip* terminadas en (6 -12 - 1 - 7) hacia internet. Se debe señalar que los dispositivos 6 y 12 están en movimiento. Para comprobar la conexión a internet se hace la prueba desde el dispositivo con dirección 192,168,2,10 al servidor de google. En la figura 5 se muestra la comparación entre

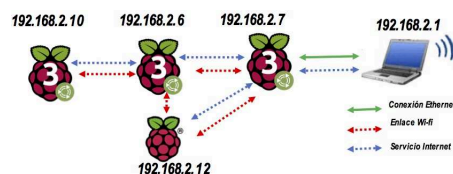


Figura 4. Despliegue de la red ad hoc

los tiempo de conexión de los diferentes dispositivos. Se nota el aumento de los tiempos de conexión cuando los nodos se alejan de la fuente, en este caso particular cuando se alejan del cluster head. Sin embargo una características interesante es la robustez del protocolo de enrutamiento, ya que cuando un nodo que sale de la red y vuelve a entrar, se actualiza la tabla de enrutamiento y por ende se vuelve a prestar el servicio. Los tiempo altos de conexión muestran que después de 2,5seg se produce una desconexión. La distancia aproximada a la que se encontraba el nodo de la fuente era de 60 metros.

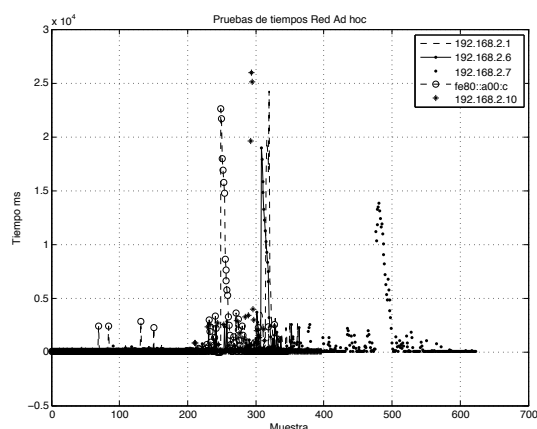


Figura 5. Despliegue de la red ad hoc

Otra prueba interesante que se hizo sobre la red, fue la revisión de los tiempos de actualización de la tabla de enrutamiento del protocolo BATMAN. Aprovechando la movilidad que se dio para la prueba de conectividad se tomaron los tiempo entre los dispositivos con direcciones terminadas en 6 y 10 contra el cluster head. En la figura 6 se muestra el comportamiento de estos tiempos de actualización. Los tiempo altos significan que los nodos estan fuera de rango del cluster

head. Después de 200seg se refrescan los valores de la tabla de enrutamiento. Pero cuando los nodos vuelven a estar en un rango de cobertura, los tiempo bajan y la tabla de entutamiento refresca las referencias de tiempos para los nodos vecinos.

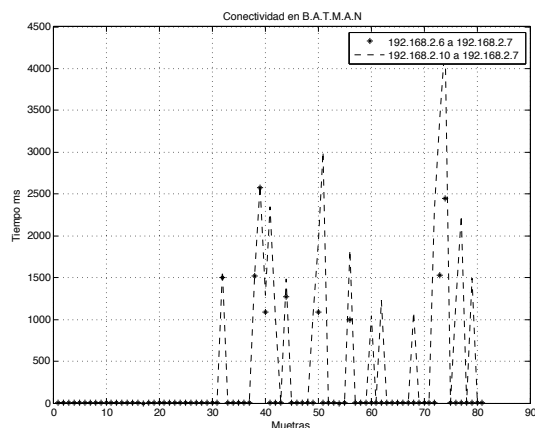


Figura 6. Prueba de actualización tabla de enrutamiento

IV. DISCUSIÓN

Después de completar las pruebas de conectividad y de la actualización de la tabla de enrutamiento, las lecciones aprendidas se enfocan en dos aspectos:

- Capacidad de transmisión de la red.
- Alcance de la cobertura.

La capacidad de transmisión es un ítem a considerar para el diseño del cluster head y de la red ad hoc en general. Se comprobó que hay conectividad entre el cluster head y el dispositivo más alejado. Pero los tiempos de respuesta son altos. Sin embargo el tráfico depende del usuario y la carga que se aplique al canal de comunicaciones. Por otro lado esta la variación de la topología de la red y los dispositivos que participan en ella. Estos cambios podrían tener consecuencias en la calidad del servicio que ofrece la red.

El alcance va ligado con la capacidad de transmisión. Se puede tener un alcance mayor, pero la capacidad puede ser mínima. Esto se traduce en que los tiempos de respuesta podrían aumentar y por consiguiente la calidad del servicio disminuiría.

Como ejemplo en la figura 7, se muestra el comportamiento del tráfico de un nodo que transmite información hacia otro nodo a través de la red. Se debe considerar las condiciones del canal y la variación de la topología. La prueba que se muestra es el comportamiento de una sesión de transmisión de paquetes entre dos nodos de la red. Se puede considerar un transmisión típica de paquetes. Sin embargo hay que considerar la variabilidad, ya que no es constante y las ráfagas en ocasiones son nulas. La causas de este fenómeno están ligadas al mismo comportamiento de la red ad hoc, ya que las desconexiones de los nodos se pueden presentar en cualquier momento. Lo que se debe garantizar es una cantidad adecuada de nodos que soporte estas desconexiones

y se pueda mantener la calidad del servicio.

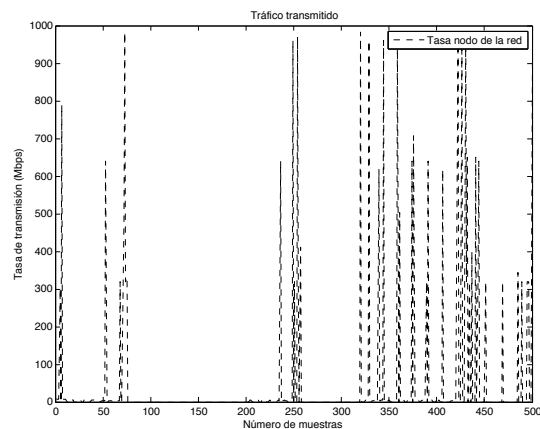


Figura 7. Comportamiento tráfico

Como se ha mencionado el alcance es un factor a tener en cuenta. La distancia que se obtuvo en las pruebas supero los 60 metros de longitud, considerando obstáculos desde el nodo mas alejado hasta la puerta de enlace. Sin embargo en diferentes ámbitos geográficos, como montañas, llanuras, espejos de agua, costas hacia el mar, hacen que el comportamiento de la red no sea igual y de esta manera los factores y límites que se han conseguido también cambian. (Se hace la anotación que las pruebas se realizan en un ambiente urbano, con edificios, automóviles, personas y redes inalámbricas alrededor).

Se ha pensado en una solución los problemas que se han planteado, dicha solución se basa en la construcción de un sistema computacional que tenga como principio de diseño la naturaleza de las redes ad hoc. Se propone que a la auto-organización como mecanismo de control descentralizado, sea la base para este sistema y de esta manera la implementación del sistema supere los problemas de capacidad, alcance y adaptación a diferentes ambientes sin mayores cambios. Teniendo en cuenta que se puedan ofrecer servicios con una buena calidad del servicio.

V. CONCLUSIONES

En este artículo se ha presentado una propuesta para la construcción de un cluster head sobre equipos embebidos y que este nodo líder pueda realizar la tarea de ampliar la cobertura de una red inalámbrica IEEE 802.11n. Para lograr este objetivo, el diseño del cluster head considera la utilización del algoritmo de enrutamiento BATMAN, que es una mejor al protocolo OLSR y de una herramienta para diseminar información (ALFRED) que crea una estructura de cluster head lógico y de esta forma tener un punto para la administración de grupos de nodos.

En las pruebas que se realizaron, el diseño permitió hacer la extensión de la red inalámbrica a una distancia superior a los 60 metros y se presentan tres pruebas, una de conectividad,

otra de actualización de las tablas de enrutamiento y otra del comportamiento del tráfico en la red. Se encuentra desde el punto de vista de los resultados que se necesita pensar en una herramienta o sistemas que tenga en cuenta la naturaleza de la red ad hoc y se puedan hacer frente a los retos que esto conlleva.

REFERENCIAS

- [1] E. Hossain, M. Rasti, H. Tabassum, and A. Abdelnasser, "Evolution toward 5g multi-tier cellular wireless networks: An interference management perspective," *IEEE Wireless Communications*, vol. 21, no. 3, pp. 118–127, 2014.
- [2] N. Bhushan, J. Li, D. Malladi, R. Gilmore, D. Brenner, A. Damnjanovic, R. Sukhavasi, C. Patel, and S. Geirhofer, "Network densification: the dominant theme for wireless evolution into 5g," *IEEE Communications Magazine*, vol. 52, no. 2, pp. 82–89, 2014.
- [3] S. Trifunovic, S. T. Kouyoumdjieva, B. Distl, L. Pajevic, G. Karlsson, and B. Plattner, "A decade of research in opportunistic networks: Challenges, relevance, and future directions," *IEEE Communications Magazine*, vol. 55, no. 1, pp. 168–173, 2017.
- [4] A. Martín-Campillo, J. Crowcroft, E. Yoneki, and R. Martí, "Evaluating opportunistic networks in disaster scenarios," *Journal of Network and Computer Applications*, vol. 36, no. 2, pp. 870–880, 2013.
- [5] Z. Y. Rawashdeh and S. M. Mahmud, "A novel algorithm to form stable clusters in vehicular ad hoc networks on highways," *EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking*, vol. 2012, no. 1, p. 15, 2012.
- [6] J. A. Torkestani and M. R. Meybodi, "A mobility-based cluster formation algorithm for wireless mobile ad-hoc networks," *cluster computing*, vol. 14, no. 4, pp. 311–324, 2011.
- [7] Q. Mamun, "A qualitative comparison of different logical topologies for wireless sensor networks," *Sensors*, vol. 12, no. 11, pp. 14 887–14 913, 2012.
- [8] A. Ahizoune and A. Hafid, "A new stability based clustering algorithm (sbca) for vanets," in *Local Computer Networks Workshops (LCN Workshops), 2012 IEEE 37th Conference on*. IEEE, 2012, pp. 843–847.
- [9] S. Kuklinski and G. Wolny, "Density based clustering algorithm for vanets," in *Testbeds and Research Infrastructures for the Development of Networks & Communities and Workshops, 2009. TridentCom 2009. 5th International Conference on*. IEEE, 2009, pp. 1–6.
- [10] X. Wu, S. Tavildar, S. Shakkottai, T. Richardson, J. Li, R. Laroia, and A. Jovicic, "Flashlinq: A synchronous distributed scheduler for peer-to-peer ad hoc networks," *IEEE/ACM Transactions on Networking (TON)*, vol. 21, no. 4, pp. 1215–1228, 2013.
- [11] A. Neumann, C. Aichele, M. Lindner, and S. Wunderlich, "Better approach to mobile ad-hoc networking (batman)," *IETF draft*, pp. 1–24, 2008.
- [12] F. Zhao, M. Médard, M. Hundeb, J. Ledet-Pedersen, S. A. Rein, F. H. Fitzek *et al.*, "Comparison of analytical and measured performance results on network coding in ieee 802.11 ad-hoc networks," in *Network Coding (NetCod), 2012 International Symposium on*. IEEE, 2012, pp. 43–48.
- [13] M. A. DeCristofaro, C. A. Lansdowne, and A. M. Schlesinger, "Heterogeneous wireless mesh network technology evaluation for space proximity and surface applications," in *SpaceOps 2014 Conference*, 2014, p. 1600.
- [14] J. Kim and S. Lee, "Constructing infrastructure wireless network using open source," in *Ubiquitous and Future Networks (ICUFN), 2016 Eighth International Conference on*. IEEE, 2016, pp. 757–762.
- [15] T. Harges, "Performance analysis and simulation of a freifunk mesh network in paderborn using batman advanced," 2015.