

Arquitectura de las Redes Ad-Hoc

Maria Aurora Molina Vilchis,
Ramón Silva Ortigoza
CIDETEC-IPN
Eleazar Bracho Molina
UAMI, Licenciatura en Computación

Desde el nacimiento de la tecnología de redes de computadoras a fines de la década de los sesenta, las actividades cotidianas del ser humano en la civilización contemporánea han incluido el uso intensivo y extensivo de estos sistemas de comunicación, estableciendo de este modo un vínculo estrecho entre la tecnología y la cotidianeidad. No obstante, entre las primeras redes y las actuales existe una gran brecha. Del paradigma multiusuario (muchos usuarios comparten un solo CPU), pasamos a otro, el de la computación personal (un solo usuario para un CPU). Hoy en día, el paradigma imperante es el de la computación sin infraestructura, en la que un solo usuario se conecta a muchos dispositivos de procesamiento; si a este último se le adiciona la cualidad de establecerse en el momento y en todo lugar, entonces nacen los conceptos de redes Ad-hoc y redes ubicuas. Sin embargo, cabe destacar que esto no sería posible sin la evolución de los dispositivos de comunicación móviles, tales como los teléfonos celulares, computadoras portátiles, organizadores electrónicos, etc. y de los esfuerzos que organismos como la IEEE han realizado para la generación de los estándares de soporte.

1. REDES INALÁMBRICAS DE ÁREA LOCAL WLAN

Una WLAN (*Wireless Local Area Network*) de acuerdo a la IEEE [1], es un sistema de comunicación de datos implementado como extensión o alternativa de una red cableada, constituyendo el estándar para la realización de redes Ethernet sin hilos, por lo que es especialmente apropiada para la comunicación con dispositivos móviles. Esta tecnología está estandarizada según la norma IEEE 802.11; sin embargo, el estándar dominante de WLAN

(conocido también como Wi-Fi) es IEEE 802.11b. Dicho estándar señala que la transmisión-recepción de datos se realiza mediante tecnología de radio frecuencia utilizando como medio de propagación el aire, por lo que permite la movilidad del usuario dentro de un entorno de conexión de red. Otra de las ventajas de usar un sistema *wireless* se refiere a la portabilidad física de la infraestructura de la red, lo cual permite que el sistema se adapte a las necesidades típicas en las empresas, ya que utiliza transmisiones por medio de enlaces de radio de corto alcance, en la llamada banda ISM (*Industrial Scientific and Medical*), que incluye los rangos de 900Mhz, 2.4GHz y 5GHz. [2].

La configuración típica de una WLAN incluye uno o más puntos de acceso fijos conectados a una LAN mediante un cable de datos tradicional. El punto de acceso se difunde y recibe la información de los usuarios dentro de un rango de transmisión, denominado celda, por lo que todo el tráfico proveniente de las estaciones inalámbricas pasa a través de un punto de acceso para llegar a su destino. El usuario debe contar con un adaptador inalámbrico, de esta forma se elimina el enlace físico de la red tradicional permitiéndole conectarse directamente a un sistema de distribución sin cables ni hilos de interconexión.

2. CLASIFICACIÓN DE LAS WLAN

Para hacer una clasificación de las WLAN se emplean criterios tales como: cobertura, servicios, componentes, etc., que nos ayuden a ubicar los diferentes tipos de redes que han surgido a partir de esta tecnología. Uno de ellos son las redes Ad-hoc, estas son redes punto a punto, donde varios equipos forman una red de intercambio de información sin necesidad de elementos auxiliares. Este tipo de redes se utiliza en grupos de trabajo, reuniones, conferencias, etc. Las redes Ad-hoc [3], se dividen en MANET (*Mobile Ad-hoc Network*),

Bluetooth, WSN (*Wireless Sensor Network*) y WSAN (*Wireless Sensor Actuator Network*). Bluetooth [4], se ha mostrado como una plataforma de soporte prometedora en las redes Ad-hoc, consolidándose como el estándar inalámbrico de corto alcance y bajo costo, especialmente dirigido para conectar dispositivos, tales como los PDA, las computadoras portátiles y los teléfonos móviles por medio de enlaces de radio. También opera en la banda ISM a 2.4 Ghz; esta es la tecnología usada por el grupo de trabajo IEEE 802.15.1, dedicado a las redes inalámbricas de área personal (WPAN); además emplea un esquema de funcionamiento orientado a conexión y basado en una configuración maestro-esclavo, en la cual un único maestro coordina el acceso al medio de hasta siete dispositivos esclavos mediante turnos de preguntas periódicas.

En este artículo se presenta la arquitectura básica de las redes Ad-hoc, resultado del análisis de las normas del Comité 802 de IEEE, respecto a las redes WLAN, de las cuales se originan. La sección 2 trata sobre el concepto de redes Ad-hoc, mientras que la sección 3 menciona la arquitectura de éstas en los niveles físico, enlace de datos y red. Y finalmente, la sección 4 describe el panorama en lo referente a los sistemas operativos y aplicaciones.

3. REDES AD-HOC

La topología Ad-Hoc [5] es en la que no existe un nodo central, sino que cada dispositivo se comunica con todos los demás. Cada nodo, potencialmente móvil, forma parte de una red punto a punto, por lo que todos se encuentran en igualdad de condiciones, es decir, el transmisor o el receptor es siempre un punto de acceso. Lo anterior significa que los nodos participan en la toma de decisiones para el encaminamiento de los paquetes (ruteo); además, retransmiten paquetes entre los nodos que no tienen conexión inalámbrica directa. Estas redes pueden desplegarse de manera autónoma, organizarse y configurarse por sí mismas, contando con la capacidad de combinarse con otras redes inalámbricas para conectarse a Internet mediante un punto de acceso (PA). Estas redes deben diseñarse tomando en cuenta las siguientes características: topología dinámica, distribución de carga de procesamiento de datos, manejo eficiente de energía y ancho de banda.

En general, el funcionamiento de una red Ad-hoc se describe considerando que: a) un nodo tiene que identificar los PA y las redes disponibles de acceso, b) la estación elige una red entre las que están disponibles

y sigue un proceso de autenticación con el punto de acceso, c) la asociación permite que el PA y la estación intercambien información y capacidades.

Las redes Ad-hoc se asocian con frecuencia con las redes MANET (*Mobile Ad-hoc Networks*) ya que su tecnología de comunicación es ideal para un entorno totalmente móvil, en el que teléfonos celulares, PDA, dispositivos sensores, electrodomésticos, libros electrónicos, etc., se interconectan para cooperar y comunicarse de forma inteligente, para satisfacer las necesidades del usuario. Los fabricantes más importantes de esta tecnología son [3]: Dell, Gateway, IBM, NEC, Toshiba, Sony, Motorola, Ericsson, entre otros.

4. ARQUITECTURA

4.1 NIVEL FÍSICO

Dos organismos que estandarizan a las redes WLAN son IEEE y ETSI (*European Telecommunications Standards Institute*), y una alianza tecnológica llamada Home RF es quien las promueve. En IEEE la norma esta referida por la familia 802.11, de la que los estándares más usados hasta ahora, por orden de preferencia son: el 802.11b, el 802.11a, y el 802.11g. A continuación se describen dichos estándares:

802.11b (WiFi). Es el estándar más popular, a pesar de que la especificación fue aprobada al mismo tiempo que 802.11a en 1999. La técnica de modulación usada en 802.11b es DSSS (*Direct Sequence Spread Spectrum*), mientras que 802.11a utiliza OFDM (*Orthogonal Frequency División Multiplexing*), dado que es más sencillo implementar DSSS; compañías importantes tales como Cisco, Lucent, Agere Systems, Proxim y 3com han generado productos basados en 802.11b. El rango de frecuencia asignado para este estándar es de 2.4 a 2.48 Ghz, el cual esta disponible en todo el mundo para configuración de WLAN; además, las señales dentro de este rango pueden penetrar barreras físicas tales como muros y techos con mayor facilidad que las frecuencias más altas.

Este estándar cuenta con un certificado por la alianza WiFi, formalmente conocida como WECA (*Wireless Ethernet Compatibility Alliance*), y es seguro que los productos que funcionan bajo este estándar pueden interoperar con otros productos a nivel mundial. En teoría, para aplicaciones típicas de oficina, un PA que funciona sobre 802.11b puede comunicarse con dispositivos alejados hasta 100m, pero mientras más alejado este el dispositivo

la velocidad de transmisión disminuye, y esto varía de acuerdo al fabricante, de tal forma que los dispositivos alejados hasta 30 m del PA tienen una velocidad de hasta 11 Mbps. No obstante, a más de 30 m la velocidad cae hasta 5.5 Mbps sobre TCP y 7.1 Mbps sobre UDP.

Por otro lado, para dispositivos ubicados más allá de 65 m, la velocidad alcanza aproximadamente 1 Mbps, cuando el dispositivo se encuentra en el límite del área de cobertura del PA [6]. Adicionalmente, esta norma proporciona mecanismos de seguridad [4] en lo referente a la autenticación y cifrado por medio de WEP (*Wired Equivalent Privacy*), este protocolo emplea el algoritmo RC4 de *RSA Data Security* para cifrar transmisiones con la utilización de una clave secreta de 40 bits.

802.11a. Este estándar transmite en la banda de 5 Ghz, Sus dos principales ventajas son: a) Tiene una velocidad de transmisión de hasta 54 Mbps, ya que usa como técnica de modulación OFDM, por lo que no es compatible con las redes 802.11b. Esta velocidad es una gran ventaja tomando en cuenta que el ancho de banda está disponible entre todos los usuarios que acceden al PA, y b) la banda utilizada no se encuentra tan congestionada como la de 2.4 Ghz, lo cual repercute en menor interferencia. Algunas de sus desventajas se deben a que las frecuencias de operación mayores cubren áreas pequeñas, lo cual significa que para mantener esa velocidad de transferencia se requieren varios PA para cubrir la misma área; a diferencia de 802.11b, 802.11a tiene una cobertura de 24 a 50 m.

802.11g. Este estándar trabaja en la banda de 2.4 Ghz y utiliza la misma técnica de modulación DSSS, puede alcanzar hasta 11 Mbps al igual que 802.11b, por lo que es de esperarse que exista compatibilidad entre ambos. Sin embargo, también es compatible con 802.11a, ya que para alcanzar velocidades de hasta 54 Mbps usa una modulación OFDM más eficiente, aún en la banda de 2.4 Ghz. En la práctica, una tarjeta de red 802.11g es compatible con un PA que funciona sobre 802.11b y una tarjeta de red 802.11b es compatible con un PA que funciona sobre 802.11g, la velocidad de transferencia máxima que se alcanzaría en ambos casos sería de 11 Mbps. Para alcanzar hasta 54 Mbps tanto la tarjeta de red como el PA tendrían que operar de acuerdo a 802.11g.

4.2 NIVEL DE ENLACE DE DATOS

La capa MAC¹ según la especificación 802.15.3 soporta QoS (*Quality Of Service*) en servicios multimedia, para ello se emplea una supertrama MAC que consiste en un

intervalo guía, un periodo CAP (*Contention Access Period*) y un periodo libre de contienda GTS (*Guaranteed Time Slots*). El límite entre los periodos CAP y GTS es dinámico y ajustable. El periodo CAP está reservado para el envío de tramas de datos que no se especifican con QoS, por lo que se transmiten a manera de ráfagas o bien por un requerimiento de acceso al canal por parte de los dispositivos en la red. Hay dos tipos de mecanismos de acceso al medio: a) Protocolos con arbitraje (FDMA - *Frequency Division Multiple Access*, TDMA - *Time Division Multiple Access*) y b) protocolos de contienda (CSMA/CA - *Carrier Sense, Multiple Access, Collision Avoidance*), CDMA (*Code División, Multiple Access*) y el CSMA/CD (*Carrier Sense, Multiple Access Collision Detection*), los cuales tienen similitudes al de Ethernet cableada, (IEEE 802.3).

En cuanto a las tarjetas de red más conocidas, están aquellas que vienen en formato PCMCIA (*Personal Computer Memory Card International Association*), otros formatos son PCI, CompactFlash, SmartCard y casos como DELL, cuyos equipos usan tarjetas propietarias WLAN Dell™ TrueMobile [7]. La mayoría de las tarjetas que se venden actualmente son del tipo Orinoco (Lucent), Symbol HR y Prism 2 de Intersil. Todas ellas están soportadas por el driver orinoco_cs, incluido en el kernel 2.4.x de Linux, pero sólo para trabajar en modo *managed* o Ad-hoc, pues no soportan el modo *master* [8], de esta manera la configuración de las tarjetas de red en una red Ad-hoc es igual a nivel IP a la de una tarjeta Ethernet.

Las tarjetas inalámbricas tienen básicamente tres modos de trabajo:

- 1) Modo Ad-hoc, estas redes se construyen normalmente con computadoras con las tarjetas comunes y se configuran de forma que todas las computadoras de la red trabajen en modo punto a punto.
- 2) Manager, en este caso existe un servidor independiente al cual se conectan todas las computadoras. El PA entonces envía las tramas 802.11 a los destinatarios finales. Normalmente los PA soportan *roaming*, es decir los clientes pueden estar en movimiento e ir cambiando de punto de acceso de acuerdo a la potencia de la señal.

Los parámetros específicos más importantes para tarjetas inalámbricas son [7] [8]: identificador de red, frecuencia o canal, modo de trabajo, velocidad, clave de cifrado y potencia de transmisión.

4.3 NIVEL DE RED

Los protocolos de encaminamiento se dividen en dos categorías [9]: proactivos² y reactivos³. Los protocolos proactivos utilizan tablas de ruteo, cuando hay un cambio, la información se envía a cada nodo para que actualice su tabla, este es el caso de OLSR (*Optimized Link State Routing*). No sucede así con los protocolos reactivos, que usan algoritmos de ruteo por estado del enlace para enviar frecuentemente información a los nodos informándoles sobre el estado de los enlaces con sus vecinos. A estos protocolos se les conoce también como protocolos de ruteo por demanda. En un principio, muchas propuestas de estos protocolos fueron evaluadas, sin embargo, hoy en día solamente cuatro de ellas han resistido la fuerte competencia, estas propuestas son [10]: AODV (*Ad-hoc On Demand Distance Vector*), DSR (*Dynamic Source Routing for Protocol Mobile Ad-hoc Networks*), OLSR (*Optimized Link State Routing Protocol*) y TBRPF (*Topology Broadcast based on Reverse- Path Forwarding*). De estas cuatro solo AODV y OLSR han alcanzado el nivel de RFC (*Request For Comment*), con los números 3561 para el primero y 3626 para el segundo.

AODV (AD-HOC ON-DEMAND DISTANCE-VECTOR ROUTING PROTOCOL)

El protocolo AODV está basado en el algoritmo vector distancia DSDV (*Destination Sequenced Distance-Vector Routing Protocol*) [11] por lo que los nodos mantienen una tabla de encaminamiento para los destinos conocidos. Inicialmente esta tabla estará formada por sus vecinos, y solamente se le añaden destinos nuevos cuando es necesario. Es decir, cuando un nodo necesita comunicarse con otro que no está en su tabla, inicia un proceso de descubrimiento de ruta hacia el destino concreto. Cada nodo mantiene un contador propio de número de secuencia, el cual se incrementa constantemente para identificar las rutas obsoletas que conducen hacia él. De este modo, para cada destino del cual se asigna un número designado a una ruta en un nodo, este número se almacena en una tabla de encaminamiento junto con la dirección IP del siguiente salto. Una ruta expira si no se usa o reactiva dentro de un umbral de tiempo determinado.

DSR (DYNAMIC SOURCE ROUTING)

El protocolo DSR se fundamenta en el encaminamiento desde el origen, es decir, los paquetes de datos incluyen una cabecera de información acerca de los nodos exactos que deben atravesar, ya que está basado en algoritmos de estado de los enlaces, lo cual significa que cada nodo es capaz de guardar de la mejor manera las direcciones destino, por lo que se le considera reactivo. Además no requiere de mensajes periódicos, disminuyendo así la sobrecarga con mensajes de control. Por otro lado, posibilita obtener, con la solicitud de una ruta, múltiples caminos posibles hacia el destino, lo que permite el establecimiento de los enlaces unidireccionales sin problema, a diferencia de la mayoría de protocolos de ruteo en este tipo de redes. Así, cada nodo mantiene una memoria caché de rutas en la que se van almacenando las rutas obtenidas a través de procesos de descubrimiento de caminos, ya sean propios u obtenidos a través de escuchas en la red. En caso de ocurrir un cambio en la topología de la red la información es compartida a todos los nodos de la misma por medio de inundación.

OLSR (OPTIMIZED LINK-STATE ROUTING ALGORITHM)

OLSR incorpora la filosofía utilizada en protocolos tradicionales de *estado del enlace*. En este algoritmo todos los nodos intercambian mensajes para formar una visión consistente de toda la red y así poder decidir el encaminamiento de paquetes. OLSR adolece del mismo problema que DSDV debido a la necesidad de intercambio de un gran número de mensajes periódicos (a menudo se dice que es proactivo por esta razón). Aquí el problema podría llegar a ser mayor, ya que además de mensajes a los vecinos, envía mensajes de control TC (*Topology Control*) que se retransmiten a todos los nodos de la red. Sin embargo, se ha conseguido una gran optimización en la retransmisión de estos mensajes con la incorporación de la técnica de retransmisión multipunto, a través de la cual, los mensajes sólo son retransmitidos por el mínimo número de nodos necesarios para alcanzar a todos los demás. Estos nodos son conocidos como Grupo de Retransmisores Multipunto (MPR's).

TBRPF ((TOPOLOGY BROADCAST BASED ON REVERSE- PATH FORWARDING)

El protocolo TBRPF proporciona el descubrimiento de la topología de manera completa de forma automática y al igual que OLSR se basa en el estado de los enlaces, siendo además un protocolo proactivo. Su funcionamiento consiste en almacenar la ruta más corta hacia

todos los posibles destinos, por lo que no hay retardos al establecer la ruta, esto significa que el tráfico de control y actualización de la topología es mínimo, siempre y cuando la movilidad de la red sea baja. Pero cuando el número de nodos aumenta, surgen otros problemas en la red.

5. SISTEMAS OPERATIVOS Y APLICACIONES

5.1 SISTEMAS OPERATIVOS

Para crear una red Ad-hoc se necesita de un adaptador o programas de ruteo; los más utilizados en la actualidad son el de Intel® Pro/Wireless LAN 2100 3A Mini PCI Adapter y el Winroute, con este último se puede crear un centro de comunicaciones con diversos sistemas de conexión para Internet, para casi cualquier dispositivo existente.

Entre los sistemas operativos que destacan para el modo Ad-hoc, podemos citar a Windows XP y Vista de Microsoft [12], para configuración en modo Ad-hoc. En ambos casos, para simular la conexión del cable cruzado entre 2 tarjetas de red se cuenta con los componentes para la conexión con Internet y de seguridad WEP.

Por otro lado, Windows CE de Microsoft [12] que es independiente de Windows XP o NT, se desarrolló para dispositivos móviles de 32 bits. Combina la compatibilidad y las pruebas a servicios de aplicación avanzados de Windows con soporte para múltiples arquitecturas de CPU y opciones incluidas de comunicación y redes que proporcionan una fundación abierta para una variedad de productos, con la finalidad de impulsar los dispositivos electrónicos del cliente, terminales Web, dispositivos de acceso a Internet, controladores industriales especializados, computadoras de bolsillo, dispositivos de comunicación incrustados e incluso consolas de video juegos. Esta plataforma modular permite a los diseñadores crear software para que la nueva generación de dispositivos móviles de 32 bits pueda integrarse con Windows e Internet. Otro sistema operativo para modo Ad-hoc es Symbian [13], producido por la alianza de varias empresas prominentes de telefonía celular, entre las que se encuentran Nokia, Sony Ericsson, Samsung y Siemens; el propósito inicial de este producto era crear un sistema operativo para terminales móviles capaz de competir con los sistemas operativos Palm o Windows Mobile de Microsoft.

5.2 APLICACIONES

Hoy en día las aplicaciones de las redes Ad-hoc más populares están basadas en Bluetooth, de tal forma que un dispositivo puede establecer una conexión instantánea con otra que esta dentro del rango. Algunos ejemplos son: hacer llamadas desde un auricular conectado remotamente a un telefono celular, conectar un reproductor MP3 a otros dispositivos para bajar música, instalar redes caseras para monitorear el aire acondicionado, el horno de microondas y restringir el acceso a Internet a menores, hacer llamadas a casa desde una ubicación remota para encender o apagar electrodomésticos, poner la alarma, monitorear actividades, etc.

Otros usos se dan en maniobras militares implementando una clase específica de redes Ad-hoc, llamadas WSN (*Wireless Sensor Network*), es el caso del FBCB2 (*Force XXI Battle Command, Brigade and Below*), que es un sistema digital basado en Ad-hoc para uso militar, este es un componente clave del sistema ABCS (*Army Battle Command System*) que consiste en la fusión de hardware y software que interconecta varias plataformas a través de la infraestructura de comunicaciones existente, llamada *Tactical Internet* construida por redes EPLRS (*Enhanced Position Location Reporting System*) [16] y SINCGARS (*Single Channel Ground and Airborne Radio System*) [17].

6. CONCLUSIONES

La evolución de las redes se basa fundamentalmente en el desarrollo tecnológico de los dispositivos de comunicaciones móviles, así como de los desarrollos en materia de los sistemas operativos y las aplicaciones, hoy en día orientadas a las necesidades personales. El intercambio de información multimedia entre dispositivos facilita su almacenamiento, procesamiento y recuperación. Un pilar fundamental en la consolidación de cualquier tipo de red es el conjunto de estándares generados y por lo tanto avalados por organismos internacionales, tales como IEEE, ETSI y Home RF. El estudio de las redes Ad-hoc, igual que para cualquier tipo de red, puede realizarse a partir de su arquitectura, el conocimiento de las funciones del nivel físico así como de los protocolos de los niveles MAC y red, lo que permite al estudioso del tema localizar los aspectos críticos y descubrir nuevas líneas de investigación, previendo así su futuro en el gran concierto de las redes de computadoras.

7. AGRADECIMIENTOS

MAMV agradece el apoyo recibido del programa EDD del IPN.

RSO agradece el soporte económico recibido por la Secretaría de Investigación y Posgrado del IPN (SIP-IPN), a través del proyecto 20071024 y del programa EDI, así como del Sistema Nacional de Investigadores (SNI-México).

8. REFERENCIAS

- [1] Chlamtec I., Corli M., and Liy J.J.N., "Mobile Ad-hoc networking: Imperatives and Challenges, Ad-hoc Networks", Vol 1, No.1, July 2003. pp 13-64.
- [2] Nichols R.K., Panos C., "Seguridad para Comunicaciones Inalámbricas", Mc Graw Hill, México D.F., 2004, pp 362-363.
- [3] John R. Vacca, "Wireless Data Demystified", Mc Graw Hill, USA, 2003.
- [4] Cano J.C., Calafate C.T., Malumbres M. P., and Manzoni P., "Redes Inalámbrica Ad-hoc como tecnología de soporte para la computación ubicua", ver: www.grc.upv.es/calafate/download/main_novatica.pdf.
- [5] Broch J., Maltz D.A., Johnson D.B., Hu Y., and Jtcheva C., "A performance comparison of multi hop wireless Ad-hoc network routing protocols", in 4th Annual ACM/IEEE Int/ Conf. on Mobile Computing and Networking, ACM Press, 1998, pp 85-97.
- [6] Mallick M., "Mobile end Wireless Design Essentials". Wiley Publishing Inc, USA, 2003.
- [7] Manuales Dell para win 2000 y Win XP, disponible en <http://support.dell.com/support/edocs/network/p54164/sp/tasks.htm>
- [8] Galli Granada R., "Redes Wireless con Linux", ver <http://bulma.net/body.phtml?nIdNoticia=1309>
- [9] Hong X., Xu K., and Gerla M, "Scalable Routing protocols for Mobile Ad-hoc Networks", Computer Science Departament, University of California, Los Angeles, August 2002.
- [10] Villaseñor Garcia L. A., "Macromovilidad Ip para redes móviles Ad- hoc (MANETS)", ver: <http://usuario.cicese.mx/~luisvi/Congresos/Presentacion-TI07.ppt#352,3>, Introducción
- [11] Pekins C., Belding R. E. and Das S., "Ad-hoc On Demand Distance Vector (AODV) Routing", RFC 3661, Jul.2003.