

Wireless Mesh Networks

Beatriz Gómez Suárez, Javier Maimó Quetglas, Juan Merideño García

*Enginyeria Informàtica
Universitat de les Illes Balears*

Resumen — Wireless mesh networks (WMNs) han surgido como una nueva tecnología de redes inalámbricas. Debido a sus ventajas sobre otras redes inalámbricas, WMNs han evolucionado rápidamente y actualmente existen numerosos proyectos de aplicación. Sin embargo, existen diversos problemas técnicos que están siendo sometidos a estudios y búsquedas de investigación. Para poder dar a conocer esta tecnología así como sus características, este artículo presenta una descripción detallada de la estructura de las WMNs y una explicación de los diversos protocolos sobre los que se asienta.

I. INTRODUCCIÓN

Las redes mesh, redes acopladas, o redes de malla inalámbricas de infraestructura, unen las dos topologías de las redes inalámbricas: la topología ad-hoc y la topología infraestructura. Estas redes se auto-organizan y auto-configuran dinámicamente con los nodos de la red, estableciendo automáticamente una red ad-hoc y manteniendo la conexión. Las WMNs (Wireless Mesh Networks) están formadas por dos tipos de nodos: los routers mesh y los clientes mesh. Además de las funciones propias de un router wireless convencional, el router mesh contiene funciones adicionales para soportar la infraestructura mesh. Gracias al sistema de comunicaciones multi-hop, se puede conseguir la misma cobertura con menos energía de transmisión. Los routers mesh permiten unir a la red dispositivos que a pesar de estar fuera del rango de cobertura de los puntos de acceso (PA), están dentro del rango de cobertura de alguna tarjeta de red que directa o indirectamente está dentro del rango de cobertura de un punto de acceso de la red [1]. Para mejorar la flexibilidad de la red mesh, un router mesh contiene múltiples interfaces wireless basados en la propia tecnología inalámbrica. A pesar de estas pequeñas diferencias, los routers mesh están contruidos sobre un hardware similar al de cualquier router.

Los routers mesh tienen una movilidad limitada y forman el esqueleto de la red. Los clientes mesh también pueden trabajar como un router para las redes malladas, sin embargo su hardware y software son mucho más sencillos que los del router. Las tarjetas de red pueden comunicarse entre sí, independientemente del punto de acceso. Así pues, los dispositivos pueden no mandar directamente sus paquetes al punto de acceso, o router mesh, sino que pueden pasárselos a otras tarjetas de red para que lleguen a su destino. Para que esto sea posible es necesario contar con un protocolo de enrutamiento que permita transmitir la información hasta su destino con el mínimo número de saltos o con un número que aún no siendo el mínimo sea suficientemente bueno[5].

Las WMNs fueron creadas en un principio con fines militares para la interconexión de mandos, que a pesar de estar alejados estaban lo suficientemente cerca entre ellos, formando una cadena a través de la cual se transmitieran los mensajes hasta llegar a su destino [2]. Actualmente, el IEEE está desarrollando un conjunto de estándares, bajo el título 802.11s (wireless), 802.16 (WiMax) y 802.15.5 (bluetooth) para definir una arquitectura, y un protocolo de la red mesh ESS (Extended Service Set) necesario para reunir la interoperabilidad de fabricantes, ya que al no existir un estándar cada uno de ellos ha realizado sus propias investigaciones aplicadas a sus productos.

En el presente artículo explicaremos la arquitectura necesaria para llevar a cabo la conexión de las redes mesh. Presentaremos algunos de los protocolos investigados hasta la fecha y sobre qué capa trabajan. El objetivo es dar a conocer las ventajas que ofrece esta tecnología y describir aquello en lo que las investigaciones deberán profundizar. Concluirá con unas observaciones finales sobre lo expuesto.

II. ARQUITECTURA DE RED

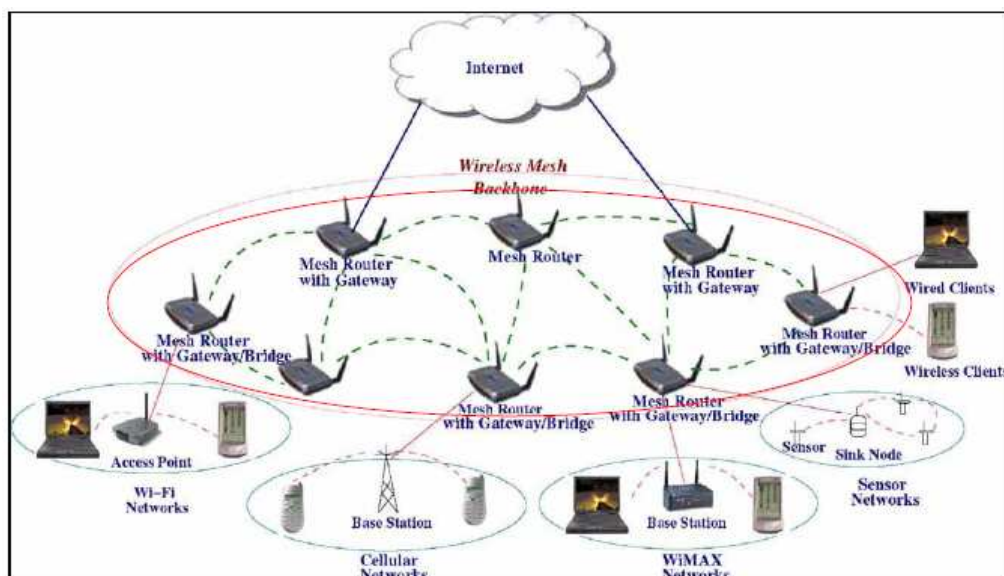
La arquitectura de las redes mesh se puede clasificar en tres tipos[5]:

A. Infraestructura

La infraestructura está formada por los routers mesh y es el esqueleto de la red. Dichos routers realizarán las funciones de gateway, routing, etc., y permitirán la conexión a Internet. Del mismo modo interconectan todo tipo de redes inalámbricas existentes, como puede ser Wifi, WiMax, telefonía móvil,... tal como muestra la Ilustración 1. Aquellos dispositivos que tengan tecnología Ethernet se conectarán a los routers mediante la misma. Para aquellos dispositivos que utilicen la misma tecnología radio que dispongan los routers, se conectarán directamente a ellos, y si es distinta podrán hacerlo mediante sus estaciones base que a su vez utilizarán Ethernet.

B. Clientes mesh

Los clientes mesh proporcionan una conexión punto a punto entre los dispositivos además de realizar funciones básicas de red, como encaminamiento o configuración. De este modo no es necesario un router mesh. Estos clientes forman una red y sería similar a la conocida ad-hoc. Sin embargo, los clientes mesh disponen de una tecnología superior a los clientes habituales puesto que su software y hardware han de ser capaces de soportar las funciones necesarias para la conexión.



Il·lustració 1: Infraestructura mesh

C. Mesh híbrido

Esta arquitectura combina la infraestructura con los clientes mesh. Los clientes podrían acceder a la red a través de la red de routers o a través de otros clientes mesh aumentando así la cobertura. Además de ello, se interconectan los otros tipos de redes ya existentes como puede ser Wifi, WiMax, redes móviles, radio,... Los routers mesh tienen una movilidad reducida y están concentrados en realizar todas las tareas de encaminamiento y configuración facilitando la tarea de los clientes y otros nodos y reduciendo su trabajo. Se mantiene la tecnología multi-hop gracias a la red de routers desde la que no es necesario que todos los nodos tengan completa visión de todos los nodos existentes, sino que tan sólo es necesario visualizar los nodos cercanos.

D. Diferencias entre ad-hoc y mesh

Para que no haya confusión entre ad-hoc y mesh se detallan una serie de diferencias que diferencian estas dos tecnologías:

- 1) *Infraestructura e integración:* mientras que ad-hoc depende de sus dispositivos, mesh contiene toda una red de routers que se encargarán de la conexión además de la integración con otro tipo de redes ya existentes como se observa en la Ilustración 1.
- 2) *Routing y configuración:* si bien en ad-hoc lo realiza cada dispositivo del mismo modo que los clientes mesh gracias a la tecnología incorporada, en un tipo híbrido estas tareas las realiza en mayor parte la red de routers.
- 3) *Cobertura y movilidad:* la cobertura en mesh es mucho mayor puesto que la información viaja de un dispositivo a otro hasta alcanzar su objetivo. La movilidad depende del nodo mesh, según sea router o cliente.
- 4) *Redes:* mesh es capaz de interconectar redes distintas como podría ser wireless, WiMax, bluetooth,...

III. PROTOCOLOS

Dado que se trata de una red de topología dinámica y autoconfigurable, las rutas que se establecen entre dispositivos cambian dinámicamente, con lo cual son necesarios una serie de protocolos para transmitir los datos con un bajo coste de transmisión, como por ejemplo, encontrar la ruta con menos saltos. Con el fin de establecer las rutas más adecuadas, se presentan diversos elementos de enrutamiento que describimos a continuación [6]:

- Descubrimiento de nodos: cada dispositivo debe encontrar los distintos nodos que se encuentran a su alcance. La topología puede variar con frecuencia, por lo que es necesaria una comprobación constante.
- Descubrimiento de la frontera: encontrar los límites de una red, la frontera de la malla, que generalmente es donde se conecta a Internet.
- Calidad de enlace: medir la calidad de los enlaces, como por ejemplo, calculando el número de paquetes perdidos.
- Cálculo de rutas: calcular la ruta óptima que se debe establecer en una comunicación basándose en algún criterio escogido.
- Manejo de direcciones IP: asignar y controlar direcciones IP, lo cual en redes mesh es bastante delicado cuando se tratan de IPs privadas.
- Manejo de la red troncal: manejo de conexiones a redes externas.

Existen más de 70 esquemas competentes para el encaminamiento de paquetes en redes mesh. Estos incluyen una serie de protocolos de enrutamiento divididos en dos clases: proactivos y reactivos. Los proactivos mantienen actualizadas sus tablas de enrutamiento en todo momento y la comunicación se establece prácticamente al instante. Los reactivos en cambio, se ejecutan tras una demanda de datos y por tanto, se requiere un cálculo inicial antes de que se establezca la comunicación. No obstante, los proactivos tienen

un inconveniente: se requiere una carga adicional en la red debido a la transmisión constante de mensajes de control con el fin de actualizar las tablas [6].

A continuación, presentamos un listado de los protocolos más destacados.

A. OLSR (*Optimized Link State Routing Protocol*)

Es un protocolo de enrutamiento por IP para redes móviles o inalámbricas ad-hoc. Actualmente es uno de los protocolos más prometedores siendo la base de la mayoría de las redes mesh instaladas en Europa [7].

Es un protocolo proactivo, que envía de forma distribuida mensajes de "Hello" para conocer los nodos a su alcance y una vez los tiene, envía mensajes de TC (Topology Control) a un subconjunto de estos para establecer las conexiones.

El OLSR-ETX usa como criterio el número de pérdidas de una ruta, seleccionando así las de mayor calidad de enlace.

B. MMRP (*MobileMesh*)

Este protocolo, también proactivo, ha sido desarrollado por Mitre [10]. El software es libre y contiene tres protocolos separados, cada uno destinado a una función específica:

- Mobile Mesh Link Discovery Protocol (MMLDP): descubrir los enlaces disponibles, con un mensaje "hello".
- Mobile Mesh Routing Protocol (MMRP): protocolo de verificación de estado de enlaces para enrutamiento.
- Mobile Mesh Border Discovery Protocol (MMBDP): descubre bordes y habilita túneles externos para conectar con otras redes.

C. AODV (*Ad-hoc On Demand Distance Vector*)

Como su propio nombre indica, es un protocolo de enrutamiento de vector distancia. Es un protocolo reactivo, por lo que la tabla de enrutamiento sólo se actualiza tras una demanda y la información recuperada permanece almacenada el tiempo necesario para que se realice la comunicación. Cuando un nodo demanda información, envía mensajes de "route request" (RREQ) y espera a que los nodos adyacentes contesten con un "route reply" (RREP) para formar la ruta. Una vez creada la ruta, si uno de los nodos falla, se envía un error (RERR) al nodo que demanda y vuelve a buscar una ruta óptima [11].

D. HSLS (*Hazy Sighted Link State Routing Protocol*)

Se trata de un protocolo proactivo a la par que reactivo para limitar las actualizaciones de enrutamiento en espacio y tiempo. Ha sido desarrollado por CUWiN y se diseñó para operar en redes de más de mil nodos. Consiste en desechar los enlaces de baja calidad [9].

E. OSPF (*Open Shortest Path First*)

En este protocolo proactivo los nodos envían llamadas, verifican el estado de los enlaces y transmiten la información recopilada a todos los enrutadores de una misma área jerárquica. Los enrutadores calculan el camino más corto usando el algoritmo SPF (Shortest Path First), el cual genera un árbol seleccionando siempre la ruta más corta, y almacenan la información. Este protocolo además funciona como LSA

(Link-State Advertisement) y avisa a las interfaces presentes, informa del tipo de medición usada y otras variables.

Compite con otros protocolos de enrutamiento de vectores de distancia como RIP (Routing Information Protocol) o IGRP (Interior Gateway Routing Protocol).

F. TBRPF (*Topology Broadcast based on Reverse Path Forwarding*)

Este protocolo proactivo escoge la ruta más corta en saltos generando un árbol por cada nodo que se calcula mediante una modificación del algoritmo de Dijkstra. Para minimizar la sobrecarga en la red, cada nodo enviará información a sus vecinos de un subconjunto de nodos de su árbol [8].

IV. VENTAJAS E INCOVENIENTES

A. Ventajas

Una de las principales ventajas que ofrece Mesh es su resistencia a fallos, pues la caída de un solo nodo no implica la caída de toda la red ya que cada nodo se puede autoconfigurar para sortear los caminos caídos. Además, según el protocolo, no sólo encontrará otro camino, sino que además el camino será supuestamente el óptimo.

Otra ventaja es que gracias a que disponemos de varios nodos en una misma zona, las distancias a alcanzar no son tan grandes, por lo que se puede tener una disminución de las interferencias y un ahorro de energía, ya que no hace falta transmitir a tanta potencia.

La facilidad de crecimiento y de mantenimiento es evidente. El coste económico y de trabajo en el crecimiento es mínimo, pues no hay que realizar obras de cableado para conectar los nodos y opera con la mayoría de dispositivos hardware del mercado. Esto hace que físicamente sean fáciles de mantener, porque reemplazar un nodo es inmediato y barato y al ser autoconfigurables no hace falta preocuparse por la red.

Las redes Mesh pueden impulsar la domótica, pues facilitan que desde cualquier punto, ya sea tanto de tu casa como de tu ciudad, puedas llegar a acceder a los elementos de tu vivienda.

B. Inconvenientes

La escalabilidad también se presenta como un inconveniente. Podemos aumentar el número de nodos fácilmente, pero esto implica aumentar el retardo, pues cada nodo añade un retardo y habrá que pasar por más nodos hasta llegar al destino. Los efectos del retardo son dependientes de la aplicación; los correos electrónicos por ejemplo no sufren con grandes latencias, mientras que los servicios de voz son muy sensibles al retardo [4].

El rendimiento también se ve afectado por la escalabilidad, pues afecta a todas las redes multisalto. El rendimiento disminuye con el número de saltos de acuerdo a $1/n$ o $1/n^2$ [4]. Incluso los protocolos MAC (Media Access Control) pueden fallar debido al incremento del número de nodos en la red, o no ser capaces de encontrar un camino fiable, por lo que aumentaría el retardo.

La distribución de las direcciones IP en una red Mesh no es trivial. Mientras que la asignación automática vía DHCP (Dynamic Host Configuration Protocol) en rangos de IP privado no es problemática, las redes Mesh podrían en

principio interactuar con redes vecinas en cualquier momento y el peligro de direcciones duplicadas y conflictos de red es obvio. IPv6 podría traer una solución a esto, pero todavía faltan algunos años para su despliegue a gran escala [4].

V. ESTÁNDARES MESH

Actualmente no existe un estándar definido que aclare como interconectar las subredes de diferentes tecnologías ni los protocolos de enrutamiento a usar. Aun así, el IEEE en los estándares de diferentes tecnologías empieza a contemplar esta topología.

La revisión 802.11s del estándar IEEE 802.11 (Wifi) define la interoperabilidad de fabricantes en cuanto a protocolos Mesh, ya que al no existir un estándar, cada fabricante tiene sus propios mecanismos de generación de mallas. Además se definen los nodos que participan en la arquitectura, la nueva funcionalidad de la capa MAC que permite controlar el acceso al canal de forma óptima y se incluyen mecanismos de encaminamiento a nivel 2. Aun así sólo se encuentran disponibles los primeros borradores [5].

El estándar IEEE 802.16 (WiMax) soporta un modo de funcionamiento mesh, pero es incompatible con la versión fija y móvil del estándar del IEEE para las redes inalámbricas metropolitanas. En el modo de funcionamiento mallado se usa una estructura de tramas determinada, que hace que sea incompatible con el modo PMP (punto a multipunto), es decir, la versión fija, o con la versión móvil [5].

Los estándares IEEE 802.15 definen las capas física y MAC para las redes inalámbricas de área personal (wireless personal area networks, WPAN). El grupo de trabajo IEEE 802.15.5 se estableció para ofrecer una arquitectura mallada para este tipo de redes (redes Bluetooth o ZigBee por ejemplo), ya que al emplear varios saltos en las comunicaciones se consigue un ahorro considerable de energía, aspecto muy útil en este tipo de redes [5].

VI. SEGURIDAD

Las redes ad-hoc por definición necesitan hablar con los clientes antes de autenticarlos, esto constituye un reto en la seguridad de Internet. Las redes Mesh son por tanto por diseño muy vulnerables a ataques de negación de servicio [4].

Además, sigue teniendo los problemas que tienen las tecnologías en sí, como por ejemplo el Wifi, donde se pueden interceptar fácilmente los datos con programas gratuitos. En cambio, han surgido empresas que han desarrollado protocolos que usan un cifrado de datos diferente al del Wifi que son reservados y que no se puede visualizar con una radio común 802.11, por lo que la seguridad es mucho mayor.

VII. ÁMBITOS DE APLICACIÓN

A. Entorno doméstico.

Una red Mesh puede solucionar los problemas típicos que se puede presentar dentro de una casa en cuanto a Wifi: la señal de un router no cubre toda la casa. Cualquier dispositivo puede hacer de puente y extender así la cobertura. Además, una red Mesh permite tener interconectados todos los dispositivos de la casa sin necesidad de tener que montar una instalación cableada.

B. Entorno urbano.

Se puede montar una red que abarque desde una manzana hasta un pueblo o una ciudad entera. Se puede hacer uso del mobiliario urbano como soporte para su instalación (semáforos, farolas...) y aprovechar las infraestructuras existentes. En una ciudad puede destinarse a servicios como:

- Seguridad ciudadana
- Supervisión y control de tráfico
- Servicios de información (información turística, acceso a Internet en centros escolares y bibliotecas...)
- Redes Intranet para uso de ayuntamientos (policía municipal, administración...)

En una zona rural ofrece también una serie de ventajas:

- No requiere infraestructura previa de telecomunicaciones.
- Acceso a Internet donde antes no llegaba, así como otros servicios ya mencionados.
- La implantación resulta rentable
- Cada nodo presta cobertura a grandes extensiones.

VIII. CONCLUSIONES

Tal como se ha presentado anteriormente, las ventajas son varias y numerosas, desde ahorro de energía, facilidad de crecimiento y no menos importante, combinación de distintas tecnologías. Sin embargo debemos tener presente que es necesario realizar mucha investigación y pruebas para alcanzar los objetivos esperados. En concreto la seguridad, que a pesar de que existen varios protocolos que contemplan posibles ataques, deberían estar todos preparados, y la escalabilidad debido a la bajada del rendimiento y una utilización de los recursos aún por mejorar.

Hemos presentado diversas aplicaciones teniendo en cuenta sobretudo que mesh no es una nueva tecnología independiente sobre redes inalámbricas, sino que lo que busca es unificar las ya existentes, facilitando la comunicación. Así pues, a pesar de necesitar realizar esos estudios, mesh es una tecnología prometedora, útil y que dará buenos resultados.

REFERENCIAS

- [1] http://es.wikipedia.org/wiki/Red_inal%C3%A1mbrica_Mesh
- [2] <http://weblogs.madrimasd.org/sociedadinformacion/archive/2009/06/05/119609.aspx>
- [3] Redes mesh basadas en puntos de acceso inteligentes 802.11 open source. Lluís Faixó Rubio
- [4] Redes Mesh. Sebastian Buettrich, wire.less.dk
- [5] Mobility in TCP/IP Networks. Joseph Lluís Ferrer Riera.
- [6] http://www.itrainonline.org/itrainonline/mmtk/wireless_es/files/13_es_redes_mesh_guia_v02.pdf
- [7] OLSR en wikipedia: <http://es.wikipedia.org/wiki/OLSR>
- [8] TBPRF: <http://www.networksorcery.com/enp/protocol/tbrpf.htm>
- [9] HSLS: http://en.wikipedia.org/wiki/Hazy_Sighted_Link_State_Routing_Protocol
- [10] MMRP (mitre): http://www.mitre.org/work/tech_transfer/mobilemesh/
- [11] AODV: <http://moment.cs.ucsb.edu/AODV/aodv.html>

ASIGNATURA: Xarxes de Comunicacions Mòbils

PROFESOR: Jaume Ramis Bibiloni