



Unidad 02: Estándares en Tecnologías Inalámbricas

*Autores: Alberto Escudero Pascual / IT +46
Basado en el trabajo original de: Bruno Roger / ESMT
Traducido por Asociación Civil Nodo TAU*

Tabla de contenido

1. Sobre este documento.....	3
1.1 Información sobre propiedad intelectual.....	3
1.2 Grados de dificultad.....	3
1.3 Información sobre los iconos.....	3
2. Introducción.....	4
3. ¿Qué es un estándar?.....	4
4. Estándares abiertos y cerrados.....	5
5. IEEE y sus grupos de trabajo.....	5
5.1 IEEE 802 LAN/MAN.....	6
6. IEEE 802.11 tradicional (Redes de Área Local Inalámbricas).....	6
6.1 Confusión de nombres.....	7
7. IEEE 802.11 - Aspectos técnicos.....	7
7.1 Capa 1 (802.11 PHY)	8
7.1.1 Técnicas de modulación.....	8
7.1.2 Frecuencia	9
7.2 Capa 2 (802.11 MAC).....	10
7.2.1 Método de acceso al medio.....	10
8. Enmiendas de IEEE 802.11.....	11
8.1 IEEE 802.11b.....	11
8.2 IEEE 802.11a.....	11
8.3 IEEE 802.11g.....	12
8.4 IEEE 802.11s.....	12
8.5 IEEE 802.11n.....	13
8.5.1 Diversidad Espacial.....	13
8.5.2 Multiplexación por división espacial (SDM).....	14
8.6 IEEE 802.11e.....	14
8.7 IEEE 802.11i.....	14
8.8 Resumen de las enmiendas 802.11	14
9. WiMAX (IEEE 802.16) vs. WiFi (IEEE 802.11).....	15
9.1 Rango y Cobertura.....	16

9.2 Escalabilidad y rendimiento.....	18
9.3 Calidad del servicio.....	18
10. Conclusiones.....	19
11. Recursos adicionales.....	20
11.1 En línea.....	20
11.2 Libros y Artículos.....	21
12. Declaración de Derechos de Propiedad Intelectual.....	22

1. Sobre este documento

Este material es parte del paquete de materiales del proyecto TRICALCAR. Para información sobre TRICALCAR consulte el módulo de introducción de estos materiales, o www.wilac.net/tricalcar/. Este material fue traducido del inglés de los materiales desarrollados para el proyecto "Capacity Building for Community Wireless Connectivity in Africa" de APC <<http://www.apc.org/wireless/>>. El material fue actualizado y adaptado para el contexto de América Latina y el Caribe.

1.1 Información sobre propiedad intelectual






Esta unidad temática se ha hecho disponible bajo los términos de la licencia Atribución-No Comercial-Licenciamiento Recíproco 3.0 Genérica. Para ver los términos completos de esta licencia: http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/3.0/deed.es_MX.

1.2 Grados de dificultad

El grado de dificultad de esta unidad es "medio" y sólo la sección 9 es considerada "avanzado".

1.3 Información sobre los iconos

En los contenidos encontraremos 5 tipos de iconos, cuyo significado se describe a continuación:

Concepto teórico clave	Recomendación práctica importante	Ejercicio	Propiedad intelectual	Propiedad intelectual
				

2. Introducción

Esta servirá como guía de los estándares de las redes inalámbricas. Todos hemos escuchado sobre el IEEE 802.11 pero, ¿cuáles son realmente las diferencias técnicas entre los subgrupos?; ¿cuál es el significado en términos técnicos de que el estándar X es 10 veces más rápido que el estándar Y?

Esta unidad discute el estándar comúnmente usado IEEE 802.11 y también el nuevo estándar de banda ancha IEEE 802.16 (WiMAX). Para proveer un mejor entendimiento de las diferencias principales entre dichos estándares se presenta una comparación técnica en términos de alcance y cobertura, escalabilidad y rendimiento y calidad de servicio (QoS).

3. ¿Qué es un estándar?

Antes de comenzar a hablar de estándares inalámbricos, nos gustaría introducir el concepto de “estándar”. ¿Qué es un estándar por definición y por qué los estándares son importantes?

En 1978 la US-NSPAC (Comité consultivo de la política nacional de los estándares) definió “estándar” como:



“Un sistema de reglas prescrito, condiciones o requerimientos que atañen a las definiciones de los términos; clasificación de los componentes; especificación de materiales, prestaciones u operaciones; delimitación de procedimientos; o medidas de la cantidad y calidad en la descripción de materiales, productos, sistemas, servicios o prácticas”

Un aspecto de los estándares que puede ser sorprendente es que a menudo se acuerdan entre fabricantes que compiten por el mismo mercado. ¿Cómo se explica que los competidores estén trabajando juntos cuando están luchando para la misma cuota de mercado?

Una cosa de la que podemos estar seguros, es que si la estandarización de hardware, software y sistemas no fuera beneficiosa para los vendedores, no habría lugar para la estandarización.

Para los vendedores, tener un producto que cumple con las especificaciones de un estándar, implica interoperabilidad entre los productos de la misma familia. También significa la posibilidad de tener acceso a un mercado global donde los clientes que están familiarizados con un estándar no necesariamente están familiarizados con el producto en sí. Los estándares son usado por los vendedores para garantizarles a sus clientes un nivel de seguridad, calidad, y consistencia en sus

productos. Para el cliente, un producto que sigue un estándar específico implica la posibilidad de interoperabilidad con otros productos y de no estar “atado” a un vendedor único.

4. Estándares abiertos y cerrados

Para simplificar, podemos dividir los estándares entre abiertos y cerrados (exclusivos de un fabricante o vendedor). Un estándar abierto está disponible públicamente, mientras que uno cerrado no. Los estándares cerrados están disponibles solo bajo términos muy restrictivos establecidos en un contrato con la organización que posee el copyright de la especificación. Un ejemplo de estándar abierto es HTML mientras que el formato de un documento de Microsoft Office es cerrado.

Un estándar abierto aumenta la compatibilidad entre el hardware, software o sistemas, puesto que el estándar puede ser implementado por cualquiera. En términos prácticos, esto significa que cualquiera, con los conocimientos adecuados, puede construir su propio producto capaz de trabajar en conjunto con otros productos que adhieran al mismo estándar abierto.

Un estándar abierto no implica necesariamente que sea exento de pago de derechos o de licencias. Aunque podemos suponer que todos los estándares gratuitos son abiertos, lo opuesto no es necesariamente cierto. Algunos estándares abiertos se ofrecen sin cargo, mientras que en otros, los titulares de las patentes pueden requerir regalías por el “uso” del estándar. Los estándares publicados por los cuerpos de estandarización internacionales importantes tales como la UIT, la ISO y el IEEE son considerados abiertos pero no siempre gratuitos. Un ejemplo relevante es el estándar de compresión de voz G.729 de la UIT (Unión Internacional de Telecomunicaciones) que requiere un pago de regalías por los propietarios de la patente, a pesar de que es un estándar internacional.

Resumiendo, los estándares abiertos promueven la competición entre fabricantes que se tienen que ceñir a reglas de juego comunes facilitando la interoperabilidad y la creación de productos más económicos.

5. IEEE y sus grupos de trabajo

El Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos IEEE es una organización internacional sin fines de lucro, líder en el campo de la promoción de estándares internacionales, particularmente en el campo de las telecomunicaciones, la tecnología de información y la generación de energía. IEEE tiene en su haber 900 estándares activos y otros 400 en desarrollo.

Algunos de los productos del IEEE más conocidos son el grupo de estándares para redes LAN/MAN IEEE 802 que incluye el de Ethernet (IEEE 802.3) y el de redes inalámbricas (IEEE 802.11). La actividad del IEEE se realiza a través de grupos de trabajo integrados por voluntarios internacionales que se reúnen varias veces al año para discutir y votar las propuestas, a menudo con encarnizados

debates por los intereses comerciales involucrados. El estándar 802.11g tardó varios años en ser aprobado por estos motivos.

5.1 IEEE 802 LAN/MAN

IEEE 802 es una familia de estándares referentes a redes de área local (LAN) y metropolitanas (MAN). Por definición los estándares IEEE 802 se restringen a redes que transportan paquetes de tamaño variable (en contraste con las redes basadas en celdas de tamaño uniforme como ATM “Asynchronous Transfer Mode”).

Todos los servicios y protocolos especificados en IEEE 802 se relacionan con las dos capas más baja del modelo OSI, la capa física y la capa de enlace de datos (ver la unidad avanzada de redes inalámbricas).

La familia de estándares IEEE 802 es mantenida por el comité de estándares LAN/MAN (LMSC) del IEEE que establece un grupo de trabajo individual para cada una de las 22 áreas que incluye. El IEEE 802.11 (LAN inalámbricas) y el IEEE 802.16 (Acceso Inalámbrico de Banda Ancha) son dos de esas áreas.

6. IEEE 802.11 tradicional (Redes de Área Local Inalámbricas)

El IEEE 802.11 puede considerarse para “Ethernet inalámbrica”. El estándar original IEEE 802.11 lanzado en 1997 especifica CSMA/CA (Carrier Sense Multiple Access/Collision Avoidance -Acceso Múltiple por Detección de Portadora/Limitación de Colisiones-) como método de acceso al medio, parecido al utilizado por Ethernet. Todas las enmiendas del IEEE 802.11 son basadas en el mismo método de acceso. Sin embargo, CSMA/CA es un método de acceso muy ineficaz puesto que sacrifica ancho de banda para asegurar una transmisión confiable de los datos. Esta limitación es inherente a todas las tecnologías basadas CSMA, incluyendo la CSMA/CD utilizada en Ethernet.

Además, IEEE 802.11 especifica tasas de datos de 1 y 2 Mbps, transmitidas vía infrarrojo (IR) o 2.4GHz. Aunque no hay implementaciones basadas sobre IR, todavía permanece como parte del estándar original.

Un puñado de productos comerciales usaron la especificación original del IEEE 802.11 pero pronto fueron reemplazada por productos que implementan IEEE 802.11b cuando la “enmienda b” fue ratificada en 1999.

6.1 Confusión de nombres

IEEE 802.11 es llamado de varias maneras tales como Wi-Fi, Wireless-Fidelity, WLAN, Wireless LAN y IEEE 802.11x. Trataremos de aclarar esta confusión de nombres antes de comenzar con las diversas enmiendas (versiones) del estándar IEEE 802.11.

1. Wi-Fi es una “marca” que es licenciada por la alianza Wi-Fi para los productos que cumplen los requerimientos para la interoperabilidad entre productos basados en el estándar IEEE 802.11. En otras palabras, una red Wi-Fi es una red que adhiera al estándar IEEE 802.11. El nombre Wi-Fi es hoy en día de uso general en vez de “IEEE 802.11” de la misma forma que Ethernet se está utilizando para “IEEE 802.3”. Al contrario de lo que muchos creen, Wi-Fi no es una abreviatura de “Wireless Fidelity”. Fue utilizado al principio por la alianza Wi-Fi en una línea de la etiqueta. que decía: “El estándar para Wireless Fidelity” pero luego esta leyenda fue quitada de los productos en comercialización¹.
2. Wireless LAN o WLAN es comúnmente usado como el nombre para cualquier red de área local inalámbrica que utilice las ondas de radio como portadora. Wireless LAN es también el nombre alternativo del estándar de IEEE 802.11 usado por el IEEE.
3. IEEE 802.11x es usado algunas veces para referirse a todo el grupo de estándares dentro del IEEE 802.11 (b, a, g, etc.). El mismo nombre es algunas veces usado para referirse al grupo de estándares en desarrollo dentro de la familia del IEEE 802.11 y algunos que están en desarrollo y no han sido aprobados por el momento. Y, el nombre también se confunde a menudo con los estándares IEEE 802.1x para el control de acceso a la red basada en puertos. Sin embargo, no hay estándar o grupo de tareas llamado “802.11x”. Para evitar confusión le sugerimos que tenga cuidado al usar el término IEEE 802.11x.

7. IEEE 802.11 - Aspectos técnicos

El estándar 802.11 para redes LAN inalámbricas incluye una serie de enmiendas. Las enmiendas contemplan principalmente las técnicas de modulación, gama de frecuencia y la calidad del servicio (QoS). Como todos los estándares 802 del IEEE, el IEEE 802.11 cubre las primeras dos capas del modelo de OSI (Open Systems Interconnection), es decir la capa física (L1) y la capa de enlace (L2). La sección siguiente describirá lo que implica cada una de esas capas en términos de estándares inalámbricos.

1. Para saber más sobre esto visita: http://www.boingboing.net/2005/11/08/wifi_isnt_short_for_.html

7.1 Capa 1 (802.11 PHY)

La capa física tiene como finalidad transportar correctamente la señal que corresponde a 0 y 1 de los datos que el transmisor desea enviar al receptor. Esta capa se encarga principalmente de la modulación y codificación de los datos.

7.1.1 Técnicas de modulación

Un aspecto importante que influencia la transferencia de datos es la técnica de modulación elegida. A medida que los datos se codifican más eficientemente, se logran tasas o flujos de bits mayores dentro del mismo ancho de banda, pero se requiere hardware más sofisticado para manejar la modulación y la demodulación de los datos.



La idea básica detrás de las diversas técnicas de modulación usadas en IEEE 802.11 es utilizar más ancho de banda del mínimo necesario para mandar un “bit” a fin de conseguir protección contra la interferencia. La manera de esparcir la información conduce a diversas técnicas de modulación. Las más comunes de estas técnicas se presentan abajo.

FHSS (Frequency Hopping Spread Spectrum –espectro esparcido por salto de frecuencia–)

FHSS se basa en el concepto de transmitir sobre una frecuencia por un tiempo determinado, después aleatoriamente saltar a otra, ej.: La frecuencia portadora cambia durante el tiempo o el transmisor cambia periódicamente la frecuencia según una secuencia preestablecida.

El transmisor envía al receptor señales de sincronización que contienen la secuencia y la duración de los saltos. En el estándar IEEE 802.11 se utiliza la banda de frecuencia (ISM) que va de los 2,400 hasta los 2,4835 GHz, la cual es dividida en 79 canales de 1 MHz y el salto se hace cada 300 a 400 ms. Los saltos se hacen alrededor de una frecuencia central que corresponde a uno de los 14 canales definidos. Este tipo de modulación no es común en los productos actuales.

DSSS (Direct Sequence Spread Spectrum –espectro esparcido por secuencia directa–)

El DSSS implica que para cada bit de datos, una secuencia de bits (llamada secuencia pseudoaleatoria, identificada en inglés como PN) debe ser transmitida. Cada bit correspondiente a un 1 es substituido por una secuencia de bits específica y el bit igual a 0 es substituido por su complemento. El estándar de la capa física 802.11 define una secuencia de 11 bits (10110111000) para representar un “1” y su complemento (01001000111) para representar un “0”. En DSSS, en lugar de esparcir los datos en diferentes frecuencias, cada bit se codifica en una secuencia de impulsos más cortos, llamados chips,

de manera que los 11 chips en que se ha dividido cada bit original ocupan el mismo intervalo de tiempo. Esta técnica de modulación ha sido común desde el año 1999 al 2005.

OFDM (Orthogonal Frequency-Division Multiplexing –modulación por división de frecuencias ortogonales–)

OFDM, algunas veces llamada modulación multitono discreta (DMT) es una técnica de modulación basada en la idea de la multiplexación de división de frecuencia (FDM). FDM, que se utiliza en radio y TV, se basa en el concepto de enviar múltiples señales simultáneamente pero en diversas frecuencias. En OFDM, un sólo transmisor transmite en muchas (de docenas a millares) frecuencias ortogonales. El término ortogonal se refiere al establecimiento de una relación de fase específica entre las diferentes frecuencias para minimizar la interferencia entre ellas.

Una señal OFDM es la suma de un número de subportadoras ortogonales, donde cada subportadora se modula independientemente usando QAM (modulación de fase y amplitud) o PSK (modulación de fase). Esta técnica de modulación es la más común a partir del 2005.

7.1.2 Frecuencia

Los estándares 802.11b y la 802.11g usan la banda de los 2,4 GHz ISM (Industrial, Científica y Médica) definida por la UIT. Los límites exactos de esta banda dependen de las regulaciones de cada país, pero el intervalo más comúnmente aceptado es de 2.400 a 2.483,5 MHz.

El estándar 802.11a usa la banda de los 5 GHz UNII (Unlicensed-National Information Infrastructure) cubriendo 5.15-5.35 GHz y 5.725-5.825 GHz en EEUU. En otros países la banda permitida varía, aunque la UIT ha instado a todos los países para que vayan autorizando la utilización de toda estas gamas de frecuencias para redes inalámbricas.

La banda sin licencia de los 2.4 GHz se volvió últimamente muy “ruidosa” en áreas urbanas, debido a la alta penetración de las WLAN y otros dispositivos que utilizan el mismo rango de frecuencia, tal como hornos de microondas, teléfonos inalámbricos y dispositivos Bluetooth. La banda de los 5 GHz tiene la ventaja de tener menos interferencia, pero presenta otros problemas debido a su naturaleza. Las ondas de alta frecuencia son más sensibles a la absorción que las ondas de baja frecuencia. Las ondas en el rango de los 5 GHz son especialmente sensibles al agua, a los edificios circundantes u otros objetos, debido a la alta absorción en este rango. Esto significa que una red 802.11a es más restrictiva en cuanto a la línea de la vista y se requieren más puntos de acceso para cubrir la misma área que una red 802.11b. Para la misma potencia de transmisión las celdas resultantes son más pequeñas.

7.2 Capa 2 (802.11 MAC)

La capa de transmisión de datos de 802.11, se compone de dos partes:

1. Control de acceso al medio (MAC)
2. Control lógico del enlace (LLC)

La subcapa LLC de 802.11 es idéntica a la de 802.2 permitiendo una compatibilidad con cualquier otra red 802, mientras que la subcapa MAC presenta cambios sustanciales para adecuarla al medio inalámbrico.

La subcapa MAC (L2) es común para varios de los estándares 802.11, y sustituye al estándar 802.3 (CSMA/CD – Ethernet) utilizado en redes cableadas, con funcionalidades específicas para radio (los errores de transmisión son más frecuentes que en los medios de cobre), como fragmentación, control de error (CRC-Cyclic Redundancy Check), las retransmisiones de tramas y acuse de recibo, que en las redes cableadas son responsabilidad de las capas superiores.

7.2.1 Método de acceso al medio

El protocolo de acceso al medio en redes Ethernet cableadas es el CSMA/CD, basado en la detección de colisiones y la subsiguiente retransmisión cuando éstas ocurren. En redes inalámbricas que utilizan la misma frecuencia para transmitir y recibir, es imposible detectar las colisiones en el medio, por lo que el mecanismo de compartición del medio se modifica tratando de limitar las colisiones y usando acuse de recibo (ACK) para indicar la recepción exitosa de una trama. Si el transmisor no recibe el ACK dentro de un tiempo preestablecido, supone que la transmisión no fue exitosa y la reenvía. Este protocolo se conoce como CSMA/CA, donde CA se refiere a “Collision Avoidance”, es decir, tratar de evitar las colisiones. Este método no es tan eficiente como el CSMA/CD porque hay que esperar el ACK antes de poder continuar utilizando el canal, y el mismo ACK consume tiempo de transmisión.

Además, para transmisión a grandes distancias el tiempo de espera por el ACK puede ser significativo debido a que las ondas de radio tardan 2 ms en ir y volver a una distancia de 300 km. Esencialmente, CSMA/CA utiliza unos tiempos de espera obligatorios de longitud variable entre tramas sucesivas para evitar las colisiones. Estos tiempos se denominan espaciado entre tramas, “Interframe Spacing”, y su valor depende del estado previo del canal. Opcionalmente también se pueden utilizar mecanismos de reserva del canal, en una técnica conocida como RTS/CTS (Ready to Send/Clear to Send) que garantiza el acceso al medio a expensas de tiempos de transmisión aún más largos.

El acceso al medio es controlado por el uso de diversos tipos de interframe spaces (IFS) o espacio entre tramas, que corresponde a los intervalos de tiempo que una estación necesita esperar antes de

enviar datos. Los datos prioritarios como paquetes de ACKs o de RTS/CTS esperarán un período más corto (SIFS) que el tráfico normal.

Por estos motivos nunca se puede lograr que el 802.11b tenga un rendimiento tan bueno como el CSMA/CD o tecnologías basadas en TDMA (Time division Multiple Access -Acceso Múltiple por División de Tiempo). *Para más información, vea la unidad “redes inalámbricas avanzadas”.*

8. Enmiendas de IEEE 802.11

Las enmiendas más aceptadas de la familia de IEE 802.11 son actualmente las b, a, y g. Todas ellas han alcanzado los mercados masivos con productos de costo accesibles. Otras enmiendas son [c-f], [h-j], n y s que son correcciones, actualizaciones o extensiones de las anteriores. Describiremos un poco las b, a, g, s y n en esta sección.

8.1 IEEE 802.11b

IEEE 802.11b incluye mejoras del estándar original 802.11 para el soporte de tasas de transmisión más elevadas (5,5 y 11 Mbit/s). IEEE 802.11b usa el mismo método de acceso y la misma técnica DSSS definidas en el estándar IEEE 802.11 original.

Un dispositivo basado en IEEE 802.11b puede transmitir hasta 11 Mbit/s, y reducirá automáticamente su tasa de transmisión cuando el receptor empiece a detectar errores, sea debido a la interferencia o a la atenuación del canal, cayendo a 5,5 Mbit/s, después a 2, hasta llegar a 1 Mbit/s, cuando el canal sea muy ruidoso. Las tasas de transmisiones de datos mas bajas son menos sensibles a la interferencia y a la atenuación puesto que están utilizando un método más redundante para codificar los datos (las exigencias de relación de señal y ruido son menos exigentes a tasas de transferencias de datos más bajas).

8.2 IEEE 802.11a

De la misma manera que IEEE 802.11b, esta enmienda utiliza el mismo protocolo de base que el estándar original. El IEEE 802.11a funciona en la banda de los 5 GHz y utiliza OFDM, una técnica de modulación que permite una tasa de transmisión máxima de 54 Mbit/s. Usando la selección adaptativa de velocidad, la tasa de datos cae a 48, 36, 24, 18, 12, 9 y 6 Mbit/s a medida que se experimentan dificultades en la recepción.

802.11a tiene 12 canales sin solapamiento, de los cuales 8 están dedicados para el uso en interiores y los 4 restantes son para enlaces exteriores. 802.11a no es interoperable con 802.11b, porque usan bandas de frecuencia distintas, pero existen equipos que trabajan con ambos estándares (2 radios).

La frecuencia de 5 GHz introduce mayor atenuación en la transmisión en exteriores y es también absorbida en mayor grado por paredes y otros objetos, por lo que en general tiene menor alcance que la de 2,4 GHz; sin embargo, esto se puede compensar a veces utilizando antenas exteriores de mayor ganancia.

Hoy en día, 802.11a no ha alcanzado la difusión que tiene el 802.11b, por haber llegado más tarde al mercado. La banda de 5 GHz no está disponible en todos los países aunque está aumentando el número de administraciones que la permiten.

8.3 IEEE 802.11g

En junio de 2003, se ratificó una tercera enmienda al estándar 802.11 con la denominación de IEEE 802.11g y funciona en la misma banda del 802.11b.

802.11g usa la misma técnica de modulación que el 802.11a (OFDM) por lo tanto funciona con una tasa máxima de transferencia de datos de 54 Mbit/s. Para asegurar la interoperabilidad con el 802.11b, en las tasas de datos de los 5,5 y los 11 Mbps se revierte a CCK+DSSS (como 802.11b) y usa DBPSK/DQPSK + DSSS para tasas de transferencias de 1 y 2 Mbps.

La interoperabilidad 802.11g con 802.11b es una de las razones principales de su masiva aceptación. Sin embargo, sufre el mismo problema en 802.11b con respecto a interferencia (demasiados puntos de acceso urbanos) puesto que funcionan en la misma banda de frecuencia.

8.4 IEEE 802.11s

IEEE 802.11s es el estándar en desarrollo para redes Wi-Fi malladas, también conocidas como redes Mesh. La malla es una topología de red en la que cada nodo está conectado a uno o más nodos. De esta manera es posible llevar los mensajes de un nodo a otro por diferentes caminos.

Según la normativa 802.11 actual, una infraestructura Wi-Fi compleja se interconecta usando LANs fijas de tipo Ethernet. 802.11s pretende responder a la fuerte demanda de infraestructuras WLAN móviles con un protocolo para la autoconfiguración de rutas entre puntos de acceso mediante topologías multisalto. Dicha topología constituirá un WDS (Wireless Distribution System) que deberá soportar tráfico unicast, multicast y broadcast. Para ello se realizarán modificaciones en las capas

PHY y MAC de 802.11 y se sustituirá la especificación BSS (Basic Service Set) actual por una más compleja conocida como ESS (Extended Service Set).

En noviembre de 2006 aparecieron los primeros borradores que serían votados en enero de 2007. Aún así, se prevé que la publicación del estándar se demore, como mínimo, hasta octubre de 2008, aunque los detalles técnicos podrán estar acabados a mediados de ese año.

8.5 IEEE 802.11n

La última enmienda del 802.11 es IEEE 802.11n² que apunta a alcanzar una tasa teórica de 540 Mbit/s que sería 40 veces más rápida que la de 802.11b y 10 veces más que la de 802.11a o la 802.11g. La norma 802.11n aprovecha muchas de las enmiendas previas pero la gran diferencia es la introducción del concepto de MIMO (Multiple Input, Multiple Output), múltiples-entradas múltiples-salidas. MIMO implica utilizar varios transmisores y múltiples receptores para aumentar la tasa de transferencia y el alcance.

Muchos expertos afirman que MIMO es el futuro de las redes inalámbricas³.

8.5.1 Diversidad Espacial

MIMO aprovecha la propagación por multitrayectoria para mejorar el rendimiento (o para reducir la tasa de errores) en vez de tratar de eliminar los efectos de las reflexiones en el trayecto de propagación como hacen los otros estándares. En términos simples, MIMO se aprovecha de lo que otros estándares consideran como obstáculo: La multitrayectoria.

Cuando una señal de radio es enviada por el aire, puede alcanzar al receptor a través de diferentes trayectos. El receptor recibe primero la señal directa de línea de vista y un tiempo después, ecos y fragmentos de la señal que ha sido reflejada en edificios o en otros obstáculos. Normalmente, estos ecos y fragmentos son vistos como ruido de la señal buscada, pero MIMO es capaz de usar esa información proveniente de trayectos indirectos para mejorar la señal principal. Esto resulta en una señal más limpia (menos ruido) y alcance mayor. Inclusive, a distancias cortas, es posible la transmisión aun cuando la línea de vista esté bloqueada, cosa muy difícil con las versiones anteriores de 802.11. Esto se conoce como transmisión sin línea de vista (NLOS: Non Line of Sight).

2. <http://www.oreilly.com/catalog/802dot112/chapter/ch15.pdf>

3. <http://www.zdnetindia.com/insight/communication/stories/129508.html>

8.5.2 Multiplexación por división espacial (SDM)

Otra característica que MIMO incluye es el uso de muchos transmisores para la misma secuencia de datos, de ahí la llamada multiplexación por división espacial (SDM). Un conjunto de secuencias de datos independientes se envía dentro de un mismo canal, aumentando así el rendimiento de la transmisión en proporción al número de secuencias empleadas. Puesto que MIMO requiere antenas y procesamiento adicional, necesariamente los equipos que lo emplean son más costosos.

8.6 IEEE 802.11e

Con el estándar 802.11e, la tecnología IEEE 802.11 soporta tráfico en tiempo real en todo tipo de entornos y situaciones.. Su objetivo es introducir nuevos mecanismos a nivel de la capa MAC para soportar los servicios que requieren garantías de QoS (Quality of Service), por lo que es de importancia crítica para aplicaciones sensibles a retrasos temporales como la VoIP y el streaming multimedia. Gracias a este estándar será posible, por ejemplo, utilizar aplicaciones de VoIP o sistemas de videovigilancia de alta calidad con infraestructura inalámbrica.

Para cumplir con su objetivo, IEEE 802.11e emplea una nueva técnica llamada HCF (Hybrid Coordination Function), que define dos formas de acceder al canal, EDCA y HCCA, cada una de las cuales puede llevar asociadas varias clases de tráfico.

8.7 IEEE 802.11i

Este estándar está dirigido a batir la vulnerabilidad actual en la seguridad para protocolos de autenticación y de codificación, especialmente en WEP. El estándar abarca los protocolos 802.1x, TKIP (Protocolo de Claves Integra – Seguras – Temporales), y AES (Estándar de Cifrado Avanzado). Se implementa un subconjunto de este estándar en WPA y totalmente en WPA2.

El estándar 802.11i fue ratificado en Junio de 2004.

8.8 Resumen de las enmiendas 802.11

A continuación se da un resumen y una breve comparación de las 4 enmiendas del IEEE 802.11 más importantes respecto de tasa de transmisión

Estándar	Frecuencia	Técnica de Modulación	Tasa de transmisión nominal	Descripción
802.11a	5 GHz	OFDM	54 Mbps	8 Canales no solapados. No ofrece QoS

Estándar	Frecuencia	Técnica de Modulación	Tasa de transmisión nominal	Descripción
802.11b	2.4 GHz	DSSS, CCK	11 Mbps	14 canales solapados
802.11g	2.4 GHz	OFDM, CCK, DSSS	54 Mbps	14 canales solapados. Compatibilidad con el 802.11b
802.11n	2.4 GHz/?	OFDM	360/540? Mbps	Mejora los estándares anteriores agregando MIMO que aprovecha transmisores múltiples para aumentar el rendimiento mediante multiplexación espacial

Tabla 1: Enmiendas del IEEE 802.11

9. WiMAX (IEEE 802.16) vs. WiFi (IEEE 802.11)

Durante el año pasado, WiMAX se ha promocionado como el estándar inalámbrico de banda ancha del futuro. Muchos proveedores de servicio Internet -Wireless Internet Service Provider (WISPs)- que utilizan IEEE 802.11 están considerando invertir en soluciones basadas en WiMAX pero no están seguros de lo que puede ofrecerles WiMAX y a qué precio. ¿Es WiMAX sólo propaganda o abre las nuevas oportunidades para la conectividad inalámbrica de banda ancha?

Esta sección apunta a servir como referencia para algunas de las diferencias técnicas entre IEEE 802.11 e IEEE 802.16. Se supone que el lector es ya está familiarizado con soluciones basadas en IEEE 802.11 y desea saber qué puede ofrecer el IEEE 802.16.

El IEEE 802.16 ha sido diseñado específicamente para topologías punto a multipunto en ambientes abiertos que con un mismo control de acceso al medio (MAC) que puede acomodar diferentes capas físicas (PHY) en el rango de frecuencia de 2 a 66 GHz. IEEE aprobó el estándar inicial de IEEE 802.16 para las redes MAN inalámbricas en el rango de frecuencias 11-66 GHz en diciembre de 2001. La extensión 802.16a para frecuencias inferiores a 11 GHz fue aprobada en enero de 2003. El estándar 802.16-2004 fue ratificado por el IEEE en junio de 2004. El estándar 802.16e fue ratificado por IEEE en diciembre de 2005. El propósito del 802.16e es agregar soporte a la movilidad al estándar 802.16d anterior, que se diseñó específicamente para operación fija.

En términos simples, aunque la técnica de modulación cambia dependiendo de la frecuencia de la operación, el formato del paquete de datos, el acceso al medio o las técnicas de control de

errores son independientes de la frecuencia de operación. La “electrónica” utilizada en la capa MAC (ISO, capa 2, enlace) del IEEE 802.16 MAC es independiente de la frecuencia de operación.

IEEE 802.16 no solo apunta a satisfacer los WISP y los requerimientos de la industria en todos los posibles escenarios sino que aspira a volverse el estándar “de facto” para acceso inalámbrico.

Esto no necesariamente quiere decir que otras tecnologías se volverán automáticamente obsoletas. En muchos casos la discusión es sobre la eficiencia espectral, aspectos regulatorios, acceso a la tecnología o costos de inversión. En este documento hemos decidido enfocarnos en las principales diferencias técnicas, lo que creemos que es un buen punto de partida para la mayoría de los lectores.

Entonces cual es la respuesta a la pregunta WiFi o WiMAX?. Depende en las necesidades de hoy en día y las necesidades del mañana.

9.1 Rango y Cobertura

IEEE 802.11 es un protocolo para LAN inalámbrica (uso interior) que fue diseñado para operar en pequeñas celdas (hasta 100 metros). En la fase de diseño nunca fue considerado rendimiento pobre en enlaces a distancias largas, y sufre además del problema del “nodo oculto (hidden node)”.

El método de acceso en IEEE 802.11 (CSMA/CA) supone que todos los nodos que se están comunicando con el punto de acceso pueden “oírse” entre sí y se basa en esto para evitar colisiones. Las colisiones en IEEE 802.11 pueden ser evitadas si todos los nodos pueden detectar con eficacia si se ocupa el canal o no. Desafortunadamente, este requerimiento no siempre puede ser satisfecho cuando se implementa el IEEE 802.11 en ambientes abiertos.

Cuando más de 10 (algunos dicen 20) estaciones están asociadas al mismo punto de acceso y la tasa de colisiones aumenta, los tiempos de espera para el acceso al medio y las retransmisiones introducen demoras considerables que disminuyen el rendimiento efectivo. IEEE 802.11 funciona mal cuando muchos usuarios son asociados a un punto de acceso en un ambiente exterior. Para resolver algunos de estos problemas, ciertos fabricantes ofrecen soluciones no estándar basadas en el “sondeo del cliente” o reservación de ancho de banda controlándolo desde la capa IP. En el sondeo, el punto de acceso decide en qué momento se

concede a una estación el uso del canal. El problema de “nodo oculto” no es nada nuevo y tan pronto como el IEEE 802.11 fue estandarizado se propusieron modificaciones en el MAC del IEEE 802.11 para resolver el problema (como las de Karlnet, TurboCell, WOPR etc.). Muchas otras soluciones llegaron a estar disponibles pero la interoperabilidad entre los vendedores no estaba garantizada. En el reciente estándar IEEE 802.11e el MAC fue actualizado para incluir “sondeo o interrogación” y hacer las implementaciones interoperables.

Por el contrario, IEEE 802.16 fue creado para ser una solución MAN inalámbrica y fue diseñado como una solución para exteriores desde el principio. IEEE 802.16 está diseñado para operar en un tamaño de celda típico de 7 a 10 kilómetros y puede manejar distancias de hasta 50 kilómetros. El problema del “nodo oculto” fue resuelto desde la primera fase de diseño, mediante DAMA-TDMA (Demand assigned Multiple Access - Time Division Multiple Access) para el enlace ascendente (uplink) donde la estación base asigna ranuras de tiempo a cada estación. DAMA-TDMA usa el mismo principio que las redes de satelitales donde las estaciones clientes no pueden “escucharse” entre sí.

Para operar mejor en ambientes donde no hay línea de vista (NLOS), IEEE 802.16 incluye una modulación más compleja basada en OFDM utilizando transformada rápida de Fourier (FFT) de 256-puntos en vez de los 64 puntos empleados en IEEE 802.11 a/g lo que le confiere un mejor rendimiento en ausencia de línea de vista. IEEE 802.16 puede tolerar 10 veces más retardo de multitrayectoria que 802.11. IEEE 802.16 puede hacer un uso mejor de los recursos disponibles en el aire puesto que la estación base adjudica ranuras de tiempo a los suscriptores usando algoritmo de programación dinámica. El número de suscriptores no afecta al número de colisiones ni la retransmisión de paquetes.

Como se mencionaba antes, el “nodo oculto” afecta la cobertura del IEEE 802.11 que trabaja mejor en ambientes internos o en soluciones punto a punto.

Las posibilidades en IEEE 802.16 para dedicar un cierto ancho de banda a un suscriptor en términos de TDMA, sin preocuparse sobre “nodos ocultos”, permite la introducción de antenas inteligentes. Una antena inteligente combina múltiples elementos con capacidad de procesamiento de señal y puede optimizar el diagrama de radiación de la antena automáticamente. El IEEE 802.16 permite técnicas avanzadas de antenas y esto hace posible un mejor planeamiento de las celdas.

IEEE 802.16 ha incluido también soporte para redes mesh. En redes mesh cada estación de suscriptor es también parte de la infraestructura de enrutamiento. IEEE 802.16 hace una modulación más inteligente y “adaptativa” que el IEEE 802.11 y permite la optimización de las tasas de datos para cada suscriptor, permitiendo a la estación base modificar los esquemas de

modulación enlace por enlace. Una estación suscriptora cercana a la estación base puede usar una modulación de alta tasa de datos como 64 QAM, mientras que una señal débil proveniente de una estación suscriptora más alejada tal vez pueda usar 16 QAM o QPSK. La modulación adaptativa incluida en el MAC de IEEE 802.16 también permite tener diferentes métodos de modulación para los enlaces descendentes y ascendentes.

9.2 Escalabilidad y rendimiento

Mientras que IEEE 802.11 tiene un canal fijo de ancho de banda de 20 MHz, IEEE 802.16 tiene la flexibilidad de asignar diferentes anchos de banda en cada canal de radio, desde canales de 1.5 MHz hasta un máximo de 20 MHz. La posibilidad de escoger diferentes anchos de banda permite la reutilización de frecuencias y un mejor planeamiento de las celdas. Mientras que el número de canales sin solaparse en IEEE 802.11b es de 3 y 5 en IEEE 802.11a, el número de canales no solapados en IEEE 802.16 está limitado por el espectro total disponible.

En cuanto a la eficiencia espectral, IEEE 802.11 puede proveer un máximo de 2,4 bps/Hz. En los canales de 20 MHz esto implica un máximo de 54 Mbps. IEEE 802.16 permite un máximo teórico de 70 Mbps en un canal de 20 MHz. El nivel del rendimiento real dependerá de la existencia de línea de vista, distancia, interferencia y otros factores (se espera alcanzar rendimientos reales de 50 Mbps).

9.3 Calidad del servicio

IEEE 802.11 incluye calidad de servicio en el nuevo estándar IEEE 802.11e, y un subconjunto de este estándar conocido como “Wireless Multimedia, WMM” ya está disponible en ciertos productos.

Desafortunadamente IEEE 802.11e soportará solo una limitada priorización en una única conexión entre el punto de acceso IEEE 802.11 y la estación. En WMM, la QoS (Calidad de Servicio) se logra adjudicando un espacio entre tramas (IFS) más corto al tráfico multimedia.

IEEE 802.16 ha implementado QoS en base a cada flujo de datos, permitiendo que múltiples conexiones entre una estación suscriptora y una estación base puede tener diferentes niveles de

QoS.

La QoS en IEEE 802.16 se logra por medio de sondeo. La estación base interroga a las estaciones suscriptoras para conceder las peticiones de ancho de banda y programación de tráfico de acuerdo a sus requerimientos.

Dependiendo del tipo de tráfico, IEEE 802.16 soporta cuatro tipos de servicios:

1. **UGS** (Concesión de Servicio no Solicitada), diseñada para soportar aplicaciones de tasas de bits constantes, tales como emulación de T1 o E1 y voz sobre IP (VOIP) sin supresión de silencio.
2. **rtPS** (Servicio de Sondeo en tiempo real), para aplicaciones que generan paquetes periódicos de tamaño variable, como MPEG y VoIP con supresión de silencio.
3. **nrtPS** (Servicio de Sondeo en tiempo no real), que soporta aplicaciones como FTP que normalmente generan paquetes de tamaño variable.
4. **BES** (Servicio de Mejor Esfuerzo), para las aplicaciones de baja prioridad como navegación o correo electrónico.

10. Conclusiones

Podemos concluir que un estándar es importante tanto para los vendedores como para los consumidores. Los estándares aseguran la interoperabilidad entre productos e inspiran confianza a los consumidores. Adicionalmente promueven la competencia entre vendedores y favorecen el desarrollo.

Hemos aprendido que el IEEE es el principal cuerpo estandarizador para las TICs y responsable de estándares muy exitosos como IEEE 802.11 (Wireless LAN), IEEE 802.3 (Ethernet) y IEEE 802.16 (WiMAX). Esta unidad principalmente se enfoca sobre el IEEE 802.11 que es la familia de los estándares para "Ethernet Inalámbrica". Presentamos cómo las diferentes enmiendas de IEEE 802.11 (b/a/g, etc.) difieren en las técnicas de modulación y rango de frecuencia y cómo esto afecta el rendimiento.

En una comparación entre WiFi y WiMAX podemos ver claramente los beneficios del nuevo estándar para banda ancha en término de cobertura, escalabilidad, rendimiento y calidad de servicio. Sin embargo, no debemos olvidarnos de las fuertes inversiones que requiere WiMAX y que debemos siempre considerar el propósito de la red cuando estemos en el planeamiento. Mientras que WiMAX

es adecuado para redes municipales, WiFi todavía trabaja muy bien en redes de baja escala, especialmente en zonas rurales.

Las 5 principales cuestiones para recordar de esta unidad pueden ser resumidas de la siguiente forma:

1. Un estándar asegura la interoperabilidad entre productos que lo acatan.
2. IEEE es el principal cuerpo de estandarizaciones de las tecnologías para información y sistemas para comunicaciones.
3. IEEE 802.11 (LAN Inalámbrica) es una familia de estándares para “Ethernet Inalámbrica”.
4. Las diferencias entre las enmiendas IEEE 802.11 (b/a/g etc.) están en las técnicas de modulación y rango de frecuencia.
5. WiMAX (802.16) fue diseñado para ser un estándar inalámbrico de banda ancha para uso en exteriores mientras que WiFi (802.11) fue creado para ser una solución de uso interno construida sobre pequeñas celdas.

11. Recursos adicionales

11.1 En línea

<http://standards.ieee.org/wireless/>

La página web del IEEE sobre estándares inalámbricos. Desde 802.1 a 802.16 en detalle.

<http://www.itu.int/osg/spu/newslog/categories/wirelessNetworks/>

Sitio web de noticias de la ITU sobre estándares inalámbricos. (Las publicaciones no están disponibles a menos que se cuente con una suscripción).

<http://www.linksys.com/edu/wirelessstandards.asp>

Programa de entrenamiento de Linksys sobre estándares y tecnología wireless.

http://www.webopedia.com/quick_ref/WLANStandards.asp

Webopedia es una enciclopedia en línea sobre cuestiones generales y técnicas. Esta página es sobre estándares wireless.

Wimax Whitepaper, IEEE 802.16 PHY and MAC Overview, Wimax Forum

<http://www.wimaxforum.org/news/downloads/WiMAXWhitepaper.pdf>

IEEE 802.16 Medium Access Control and Service Provisioning, Govindan Nair et al, Intel

http://www.intel.com/technology/itj/2004/volume08issue03/art04_ieee80216mac/p03_maclayer.htm

WiMAX: WLL by the Numbers, Ray Horak, CommWeb, July 2005

<http://www.commweb.com/trends/166403898>

WiFi vs WiMAX, Daily Wireless, 2005

<http://www.dailywireless.org/modules.php?name=News&file=article&sid=3311>

Wireless Broadband and Beyond, Business Communications Review, Nov 2004

http://www.rednova.com/news/technology/106622/wimax_broadband_wireless_access_and_beyond/index.html

WiMax/802.16 Revealed, Tim Sanders, Wi-Fi Planet, September 2005

<http://www.wi-fiplanet.com/tutorials/article.php/3550476>

Temas varios relacionados:

http://www.eno.com/government/wimax_training_fundamentals.html

Outline of a Wireless Broadband Standards, Business Communication Review, Training

<http://www.bcr.com/training/outlines/wln.php>

<http://www.ceditec.etsit.upm.es/InfTecnologia/wifi.pdf>

Wifi: Nuevos estándares en evolución. Eduardo Fernández González, Enero 2007

11.2 Libros y Artículos

Wireless Hacks

100 Industrial-Strength Tips & Tools

Editor: O'REILLY

By Rob Flickenger

1st Edition September 2003

ISBN: 0-596-00559-8

802.11 Wireless Networks: The Definitive Guide

Creating and Administering Wireless Networks

Editor: O'Reilly

By Matthew Gast
1st Edition April 2002
ISBN: 0-596-00183-5

12. Declaración de Derechos de Propiedad Intelectual

Los materiales desarrollados en el marco del proyecto TRICALCAR utilizan una versión resumida del formato MMTK – Multimedia Training Kit. Han sido desarrollado para ser utilizados y compartidos libremente por instructores/as vinculados a proyectos de nuevas tecnologías para el desarrollo.

Todos los materiales están disponibles bajo una de las licencias Creative Commons <<http://creativecommons.org/>>. Estas licencias han sido desarrolladas con el propósito de promover y facilitar que se compartan materiales, pero reteniendo algunos de los derechos del autor sobre la propiedad intelectual.

Debido a que las organizaciones del Proyecto TRICALCAR que usan el formato MMTK para el desarrollo de sus materiales tienen diversas necesidades y trabajan en contextos diferentes, no se ha desarrollado una licencia única que cubra a todos los materiales. Para mayor claridad sobre los términos y condiciones en las que usted puede utilizar y redistribuir cada unidad temática, por favor verifique la declaración de derechos de propiedad intelectual incluida en cada una de ellas.

Provisiones de derechos de propiedad intelectual para esta unidad: Esta unidad temática se ha hecho disponible bajo los términos de la licencia Atribución-No Comercial-Licenciamiento Recíproco 3.0 Genérica, bajo los siguientes términos:

- Atribución. Reconocer la autoría del material en los términos especificados por el propio autor o licenciante.
- No comercial. No puede utilizarse este material para fines comerciales.
- Licenciamiento Recíproco. Si altera, transforma o crea un material a partir de este, sólo podrá distribuir el material resultante bajo una licencia igual a ésta.

Para ver los términos completos de esta licencia: http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/3.0/deed.es_MX.

Documento preparado para el taller de comunicaciones inalámbricas de Tshwane en Sudáfrica (c) 7th September 2005, Creative Commons Deed. Attribution-NonCommercial-ShareAlike 2.0 (c) 21 Abril 2007. Basado en el trabajo original de: Bruno Roger / ESMT. Traducido por Asociación Civil Nodo TAU.