

HIPERLAN tipo 2 para comunicación inalámbrica de banda ancha

Jamshid Khun-Jush, Göran Malmgren, Peter Schramm y Johan Torsner

El objetivo de varios esfuerzos de normalización, inclusive GPRS, EDGE, y UMTS, es de cumplir con los requisitos que se están poniendo en la comunicación de datos inalámbrica. Estas normas son para servicios de datos inalámbricos de área amplia con movilidad completa de hasta 2 Mbit/s. Además se están desarrollando normas en Europa, Japón, y los Estados Unidos para comunicación multimedia de red de área local inalámbrica en la banda de 5 GHz.

HIPERLAN/2, que está siendo especificada por el proyecto ETSI BRAN, dará tasas de datos de hasta 54 Mbit/s para comunicaciones de corto alcance (de hasta 150 m) en ambientes de interior y de exterior. Se alcanzó una armonización casi total entre los cuerpos de normalización en Europa (ETSI) y Japón (ARIB), donde las partes de núcleo de la especificación fueron finalizadas en 1999.

Los autores presentan en este artículo un resumen de la norma HIPERLAN/2 y los resultados de comportamiento de enlace y sistema.

Introducción

Los impulsores clave en la demanda de redes de acceso de banda ancha basadas en radio son el crecimiento masivo en la comunicación inalámbrica y móvil, la aparición de aplicaciones multimedia, demandas de acceso a Internet de alta velocidad, y la eliminación de las reglas de la industria de las telecomunicaciones. Las redes de telecomunicaciones inalámbricas de hoy, que son principalmente de banda angosta, son usadas principalmente para servicios de voz en modo circuito. La evolución de sistemas de segunda generación y el desarrollo de sistemas inalámbricos móviles de tercera generación tienen como objetivo de permitir a las redes de dar tasas de bit instantáneas de hasta 2 Mbit/s por canal de radio. Esta capacidad mejorará de modo sig-

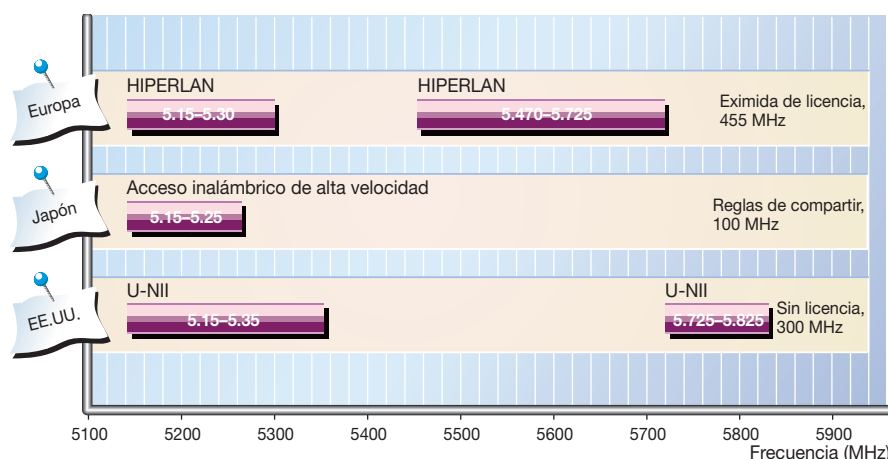
nificativo las aplicaciones de datos en paquetes y de multimedia móvil. Además se pueden obtener tasas de datos aún más altas para redes de área local usando nuevas tecnologías inalámbricas de corto alcance. Los servicios multimedia interactivos de tiempo real e interactivos que usan mucho ancho de banda, tales como distribución de video de alta calidad, aplicaciones cliente / servidor, y acceso de datos – banco, son aplicaciones típicas de esta tecnología. Por esto se están buscando nuevas tecnologías inalámbricas con capacidades de banda ancha para dar servicios integrados de alta velocidad (datos, voz y video) con apoyo rentable para calidad de servicio (QoS).

Se han dedicado muchos esfuerzos de investigación y normalización para concebir tecnologías apropiadas de transmisión y de redes. La Fuerza de Tareas de Ingeniería de Internet (IETF), la Unión Internacional de Telecomunicaciones (ITU) y el Foro ATM están definiendo el núcleo de la red fija. Del mismo modo está trabajando el proyecto de Redes de Acceso de Radio de Banda Ancha (BRAN) del Instituto Europeo de Normas de Telecomunicaciones (ETSI) en normas para distintos tipos de redes inalámbricas de acceso de banda ancha. Una de estas normas, que se denomina *red de radio de área local de altas prestaciones, tipo 2* (HIPERLAN/2) dará acceso de comunicaciones de alta velocidad a distintos núcleos de la red de banda ancha y terminales en movimiento (portátiles al igual que móviles).¹⁻⁹ En Japón se ha especificado también un sistema que es muy similar a HIPERLAN/2. La diferencia principal entre éste e HIPERLAN/2 es que la regla de compartir espectro del sistema japonés introduce un mecanismo que detecta al portador.

Antes de empezar con el trabajo de normalización sobre HIPERLAN/2, ha desarrollado ETSI la norma HIPERLAN/1 para la conexión en red *ad hoc* de dispositivos portátiles. Esta norma apoya principalmente la transferencia de datos asincrónica y aplica un mecanismo de acceso múltiple – de la familia de acceso múltiple que detecta al portador (CSMA) – con la prevención de llamadas confluyentes (CA). Usando la técnica CSMA / CA para resolver emulación, comparte el modelo la capacidad de radio disponible entre usuarios activos que tratan de transmitir datos durante un período de tiempo superpuesto. A pesar de que HIPERLAN/1 da un medio de transportar servicios limitados en tiempo, no controla o garantiza la calidad de servicio QoS en el enlace inalámbrico. Por lo que se considera como un sistema de entrega de datos best effort. Esto es lo que ha motivado a ETSI a desarrollar una nueva generación de normas que apoyan datos asincrónicos y servicios críticos en lo que se refiere a tiempo (por ejemplo, voz y video empaquetados) que están limitados por retardos de tiempo específicos.

Mientras que ETSI estaba trabajando con la

Figura 1
Asignación actual de espectro de HIPERLAN/2 a 5 GHz. En Europa se ha asignado un ancho de banda de 455 MHz (banda eximida de licencia); en Japón, 100 MHz (con reglas de compartir); y en los Estados Unidos, 300 MHz (banda U-NII).



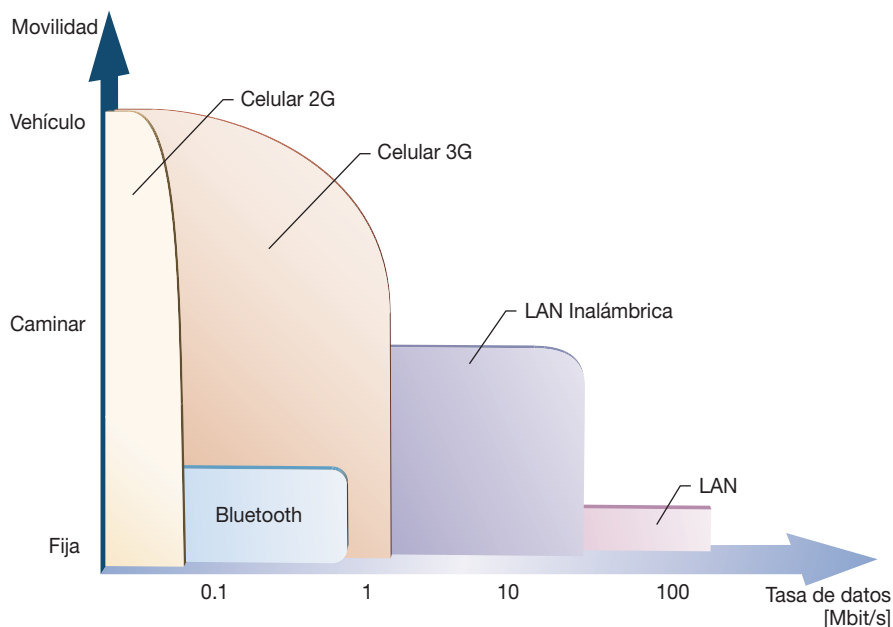


Figura 2
Movilidad y tasas de datos para normas de comunicación.

norma HIPERLAN/2, el Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos (IEEE) empezó a especificar una capa física para la banda de Infraestructura de Información Nacional No Autorizada, para extender su norma IEEE 802.11 para aplicaciones de alta velocidad. La IEEE 802.11a vuelve a usar el protocolo de control de acceso de medio (MAC) que ya ha sido especificado para la banda Industrial Científica y Médica (ISM) (2.4 GHz). Por contraste con HIPERLAN/2, se aplica el alcance de la IEEE 802.11 – como un modo de operación obligatorio – principalmente a aplicaciones de datos asíncronos.

En Japón, la asociación de promoción de Comunicaciones de Acceso Móvil Multimedia (MMAC) dentro de la Asociación de Industrias de Radio y Difusión (ARIB) había empezado a desarrollar varios sistemas de acceso de radio de alta velocidad para aplicaciones comerciales y de residente a 5 GHz. Uno de estos sistemas, para aplicaciones comerciales en redes empresariales y públicas, ha sido alineada con HIPERLAN/2.

La norma HIPERLAN/2 es un complemento a los sistemas de acceso inalámbrico de hoy, que dan altas tasas de datos (capacidad y rendimiento total) a usuarios finales en zonas de tráfico intenso. La movilidad al aire libre de HIPERLAN/2 es limitada, al comparar con otros sistemas celulares. Los ambientes de aplicación típicos son oficinas, hogares, salas de exposiciones, aeropuertos, estaciones de tren, etc. (Figura 2). HIPERLAN/2 ofrece en estos ambientes un acceso inalámbrico a terminales (ordenadores por-

CUADRO A, ABREVIACIONES

16QAM	16-ary quadrature amplitude modulation	IEEE	Institute of Electrical and Electronic Engineers
64QAM	64-ary quadrature amplitude modulation	IETF	Internet Engineering Task Force
ACH	Access feedback channel	IFFT	Inverse fast Fourier transform
AP	Access point	IP	Internet protocol
ARIB	Association of Radio Industries and Broadcasting	ISM	Industrial Scientific Medical (banda de frecuencia de 2.4 GHz)
ARQ	Automatic repeat request	ITU	International Telecommunication Union
ATM	Asynchronous transfer mode	LCH	Long transport channel
BCH	Broadcast channel	MAC	Medium access control
BPSK	Binary phase-shift keying	MMAC	Multimedia Mobile Access Communications
BRAN	Broadband Radio Access Networks	MT	Mobile terminal
CA	Collision avoidance	OFDM	Orthogonal frequency-division multiplexing
C/I	Carrier-to-interference	PDU	Protocol data unit
CL	Convergence layer	PHY	Physical (layer), (Capa) física
CM	Centralized mode	PPP	Point-to-point protocol
CSMA	Carrier-sense multiple access	QoS	Quality of service
DFS	Dynamic frequency selection	QPSK	Quaternary phase-shift keying
DLC	Data link control	RCH	Random access channel
DM	Directo mode	RLC	Radio link control
EC	Error control	RRC	Radio resource control
EDGE	Enhanced data rates for global evolution	SCH	Short transport channel
EIRP	Effective isotropic radiated power	SDU	Service data unit
ETSI	European Telecommunications Standards Institute	SR	Selective repeat
FCH	Frame channel	SSCS	Service-specific convergence sublayer
FEC	Forward error control	TDD	Time-division duplex
GPRS	General packet radio service	TDMA	Time-division multiple access
H2GF	HIPERLAN/2 Global Forum	UMTS	Universal mobile telecommunications system
HIPERLAN/2	High-performance radio local-area network, type 2	U-NI	Unlicensed National Information Infrastructure

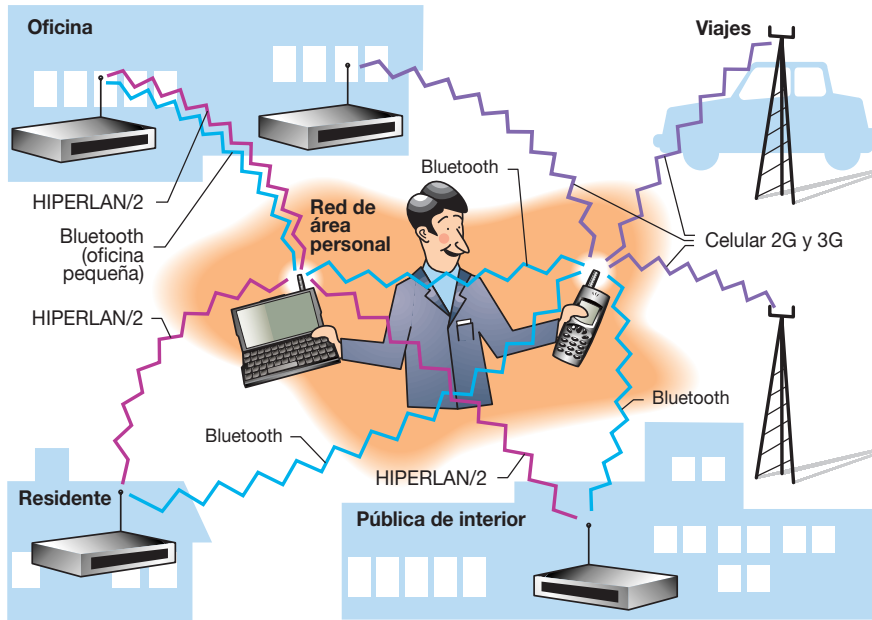


Figura 3
Usos típicos de normas de telecomunicaciones.

tátiles, VCRs, etc.). La Figura 3 aclara la red de área personal del usuario final (PAN). Los usuarios obtienen acceso a su red por medio de HIPERLAN/2 – por ejemplo a la Internet, una intranet, u otro dispositivo apto para HIPERLAN/2. Por contraste se usa la tecnología Bluetooth principalmente para enlazar dispositivos de comunicaciones individuales dentro de la red de área personal.

Resumen del sistema

La norma HIPERLAN/2 especifica una red de acceso de radio que se puede usar con una variedad de núcleos de la red. Esto se hace posible gracias a

- una arquitectura flexible que define las capas físicas independientes de núcleo de la red (PHY) y de control de enlace de datos (DLC); y
- un juego de capas de convergencia que facilitan el acceso a distintos núcleos de la red (Figura 4).

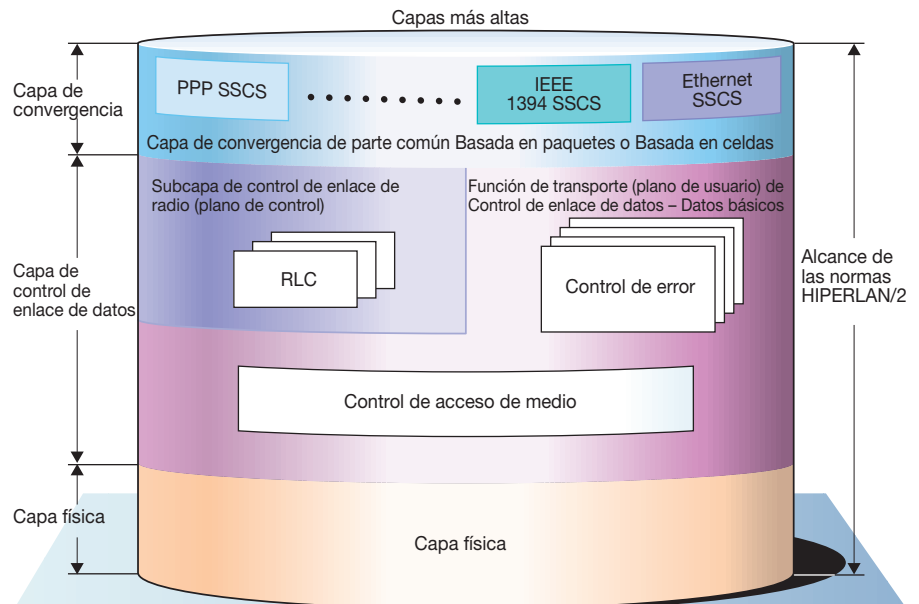
Varias capas de convergencia han sido o están siendo definidas actualmente para interoperar con

- redes de transporte de protocolo Internet (IP) (Ethernet y el protocolo de punto a punto, PPP);
- redes basadas en modo asíncrono de transferencia (ATM);
- núcleos de la red de tercera generación; y
- redes que usan protocolos y aplicaciones IEEE 1394 (Firewire).

Las unidades de datos que se transmiten dentro de estos núcleos de la red pueden diferenciarse en longitud, tipo, y contenido. Una capa de convergencia específica en HIPERLAN/2 segmenta unidades de datos a unidades de datos de servicio de usuario (U-SDU) de longitud fija HIPERLAN/2 DLC que se transmiten a su destino por medio de servicios de transporte de datos DLC y PHY.

La norma HIPERLAN/2 apoya la movilidad de terminales a velocidades de hasta 10 m/s. Además da un medio de manejar distintos ambientes de interferencia y propagación, con el objetivo de

Figura 4
Arquitectura de los protocolos HIPERLAN/2.



- mantener el enlace de comunicaciones a bajas proporciones de señal a interferencia;
- mantener la calidad de servicio; y
- encontrar una reciprocidad apropiada entre extensión de comunicaciones y tasa de datos.

El interfaz de aire de la norma HIPERLAN/2 está basado en duplex con división en el tiempo (TDD) y acceso dinámico de multiplexación por división en el tiempo (TMA). HIPERLAN/2 es una plataforma flexible en la que se pueden basar una variedad de aplicaciones comerciales y de multimedia de hogar para dar tasas de datos de hasta 54 Mbit/s. En un escenario comercial típico, un terminal móvil recibe servicios por una infraestructura comercial o pública fija. Además de calidad de servicio, la red da a los terminales móviles servicios de seguridad y de gestión de movilidad cuando se mueven entre redes – por ejemplo, cuando los terminales se mueven entre redes de área local y de área amplia o entre redes empresariales y públicas. En un escenario de aplicación de residente se apoya una red de bajo costo y flexible para interconectar dispositivos de consumidor digitales inalámbricos.

HIPERLAN/2 depende de una topología de red celular en combinación con una capacidad de red *ad hoc*. Apoya dos modos de operación básicos: modo centralizado (CM) y modo directo (DM).

El modo de operación centralizado se aplica a la topología de red celular donde cada celda de radio es controlada por un punto de acceso (AP) que cubre una cierta área geográfica. En este modo se comunican los terminales móviles entre sí o con el núcleo de la red por medio del punto de acceso. El modo de operación centralizado es usado principalmente en aplicaciones comerciales de interior y de exterior donde el área que se ha de cubrir es más grande que una celda de radio.

El modo de operación directo se aplica a la topología de red *ad hoc* de ambientes de hogar privados y donde todo el área que sirve se cubre por una celda de radio. Los terminales móviles en una red de residente de celda única pueden intercambiar datos directamente entre sí en este modo. El punto de acceso controla la asignación de recursos de radio a los terminales móviles.

Capa de convergencia

La capa de convergencia (CL) tiene dos funciones principales: adapta solicitudes de servicio de capas más altas al servicio ofrecidas por el DLC, y convierte paquetes de capa más alta de longitud fija o variable a una unidad de datos de servicio de longitud fija (SDU) que se usa dentro del DLC.

La capa de convergencia traduce así los datos de entrada a distintos portadores del DLC. Por ejemplo, si suponemos que la calidad de servicio Ethernet es apoyada por medio de IEEE 802.1p, entonces la prioridad indicada en el campo de identificación adicional estipula el

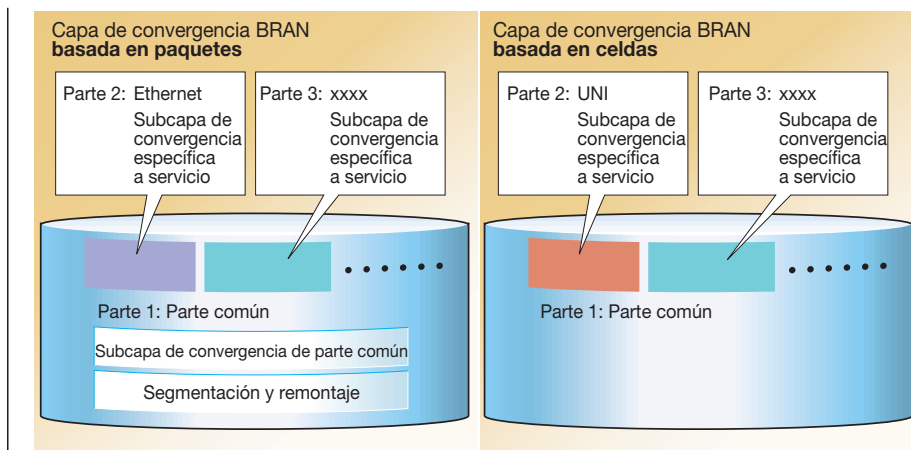


Figura 5 Estructura general de la capa de convergencia.

tipo de tráfico que se debe llevar en el paquete.¹⁰ La capa de convergencia traduce distintos tipos de tráfico a distintas clases y por consiguiente a distintos portadores de radio.

Hay dos tipos de capa de convergencia:

- una capa de convergencia basada en celda, que maneja capas más altas con paquetes de longitud fija – por ejemplo, núcleos de la red basados en ATM; y
- una capa de convergencia basada en paquetes, que maneja capas más altas con paquetes de longitud variable – por ejemplo, Ethernet.

Se han definido subcapas de convergencia separadas específicas a servicio (SSCS) para hacer la adaptación de servicio apropiada para Ethernet, IEEE 1394, PPP, y el sistema universal de telecomunicaciones móviles (UMTS). La Figura 5 describe la estructura básica de cada tipo de capa de convergencia.

La función de relleno, segmentación y remontaje de las unidades de datos de servicio DLC de longitud fija es una característica clave que hace posible normalizar e implementar las capas DLC y PHY independientemente del núcleo de la red. La Figura 6 describe la traducción de unidades de datos de capa más alta hasta las ráfagas PHY. Para transmisión, las unidades de datos en la capa DLC son unidades de datos en paquete (PDU) de canal de transporte largo (LCH); para mensajes de control se usan PDUs de canal de transporte corto.

Capa DLC

La capa DLC consiste de una subcapa de control

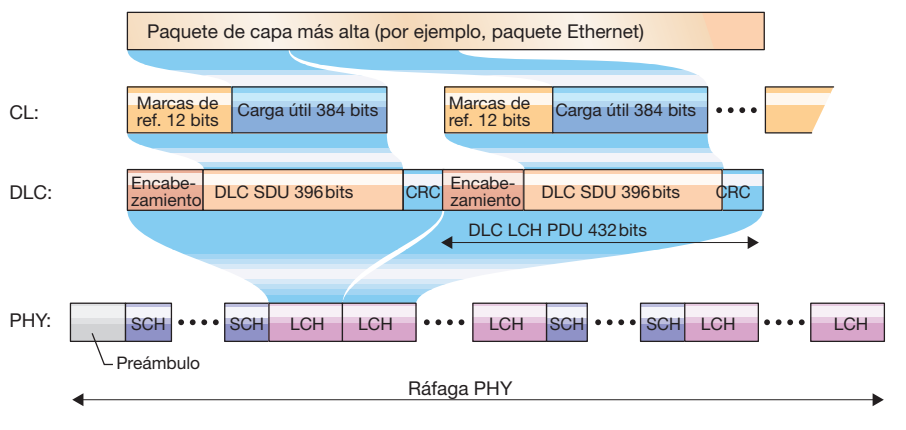


Figura 6
Correlación de paquetes de capa más alta en las capas de HIPERLAN/2.

de enlace de radio (RLC), un protocolo de control de error (EC), y un protocolo MAC.

Subcapa RLC

El RLC maneja tres funciones principales de control:

1. La función de control de asociación es usada para autenticación, gestión de clave, asociación, desasociación, y germen de encriptación.
2. La función de control de recursos de radio (RRC) gestiona el traspaso (solución genérica), selección dinámica de frecuencia, terminal móvil activo / ausente, economización de potencia, y control de potencia.
3. La función de control de conexión de usuario DLC establece y desconecta conexiones de usuario, multidifusión y difusión.

En resumen se usa el RLC para intercambiar datos en el plano de control entre un punto de acceso y un terminal móvil – por ejemplo, el terminal móvil forma asociaciones con el punto de acceso por medio de señalización RLC. Después de terminar el proceso de asociación, el terminal móvil puede solicitar un canal de control dedicado para establecer portadores de radio. Los portadores de radio se refieren como conexiones DLC dentro de la especificación HIPERLAN/2. El terminal móvil podría solicitar hasta conexiones múltiples DLC, donde cada una ofrece apoyo único para calidad de servicio (QoS) como es determinado por el punto de acceso.

No es necesario que el establecimiento de la conexión resulte en una asignación inmediata de capacidad por el punto de acceso. El terminal móvil recibe en vez una dirección DLC única que corresponde a la conexión DLC.

Control de error

Los *modos* de operación de control de error se definen para apoyar distintos tipos de servicio:

1. El *modo confirmado* usa la retransmisión para mejorar la calidad del enlace y garantizar una transmisión de funcionamiento seguro. El modo confirmado está basado en solicitud de repetición automática (ARQ) de repetición selectiva (SR). Se puede dar un tiempo de espera bajo por medio de un mecanismo de descartar.
2. El *modo de repetición* repite las PDUs de los DLC portadores de datos (LCH PDU) para dar una transmisión bastante fiable (Figura 4). No hay canal de realimentación disponible. El transmisor puede retransmitir PDUs arbitrariamente. La retransmisión de PDUs refuerza la recepción. El receptor acepta, sin embargo, sólo las PDUs cuyo número de secuencia se encuentra dentro de su ventana de aceptación. El modo de repetición es usado típicamente para la transmisión de datos de difusión.
3. El *modo no confirmado* da una comunicación de bajo tiempo de espera y poco fiable sin retransmisiones. Por lo tanto no se encuentra disponible ningún canal de realimentación.
4. Se pueden enviar datos de unidifusión usando el modo confirmado o el no confirmado. Los servicios de difusión pueden ser apoyados por el modo de repetición o por el modo no confirmado. Los servicios de multidifusión pueden ser enviados en modo no confirmado o pueden ser multiplexados a transmisiones de unidifusión existentes.

MAC

La estructura básica de trama en el interfaz de aire tiene una duración fija de 2 ms y comprende campos para control de difusión, control de trama, control de realimentación de acceso, transmisión de datos en el enlace descendente y el enlace ascendente, y acceso aleatorio (Figura 7). Durante la comunicación de enlace directo contiene la trama un campo de enlace directo adicional (que no se muestra en la Figura 7). La duración del control de difusión es fija, mientras que la duración de otros campos se adapta dinámicamente a la situación del tráfico.

El canal de difusión (BCH), que contiene información de control que se envía en cada trama MCA, permite principalmente el control de recursos de radio. El canal de trama (FCH) contiene una descripción exacta de la asignación de recursos dentro de la trama MAC actual. El canal de realimentación de acceso (ACH) transmite información sobre intentos anteriores de acceso aleatorio. El tráfico de enlace descendente o enlace ascendente consiste de datos a o de terminales móviles. El tráfico de conexiones múltiples a o de un terminal móvil puede ser multiplexado a un tren PDU, donde cada conexión contiene LCHs de 54 oc-

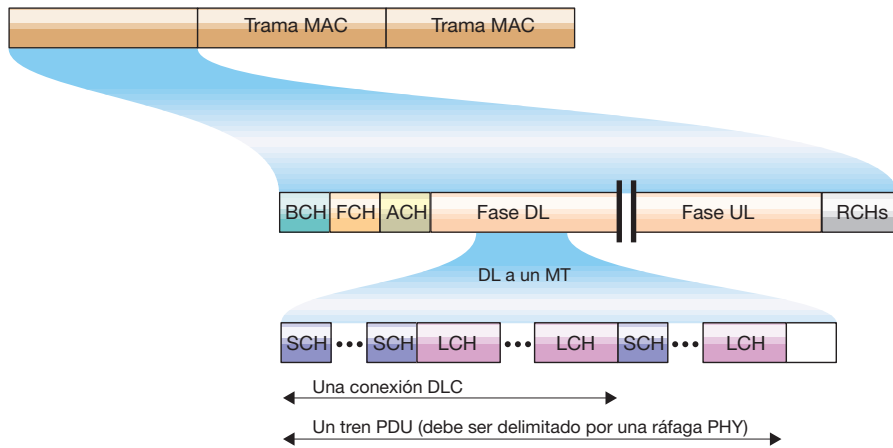


Figura 7
Estructura básica de trama (antena de un sector).

tetos para datos y SCHs de 9 octetos para mensajes de control.

HIPERLAN/2 apoya antenas (sectores) de haces múltiples como un medio de mejorar el presupuesto de enlace y de reducir la interferencia en la red de radio. El protocolo MAC y la estructura de trama en HIPERLAN/2 apoya antenas de haces múltiples con hasta ocho haces (que no se muestran en la Figura 7).

Cuando un terminal móvil tiene datos para transmitir a una cierta conexión DLC, debe solicitar capacidad primero enviando una solicitud de recurso (RR) al punto de acceso. La solicitud de recurso contiene el número de PDUs LCH pendientes en el terminal móvil para la conexión DLC concreta. Con base en un sistema de segmentos, el terminal móvil puede usar segmentos de emulación para enviar el mensaje RR. Al variar el número de segmentos de emulación (canales de acceso aleatorio, RCH), el punto de acceso puede reducir el retardo de acceso. Si ocurre una colisión, se envía información al terminal móvil en el ACH de la trama MAC siguiente. El terminal móvil rebaja después un número aleatorio de segmentos de acceso.

Después de haber enviado la solicitud de recurso al punto de acceso, el terminal móvil entra en un modo sin emulación donde se programa para oportunidades de transmisión (enlace ascendente y enlace descendente). La programación de recursos se lleva a cabo en el punto de acceso – un controlador centralizado permite un apoyo eficaz QoS. El punto de acceso podría hacer una interrogación secuencial al terminal móvil de tiempo a tiempo para obtener información sobre PDUs pendientes. Del mismo modo, el terminal móvil podría informar al punto de acceso sobre su estado al enviar una solicitud de recurso por medio del RCH.

Funciones de red de radio y apoyo QoS

La norma HIPERLAN/2 define las mediciones y la señalización que apoyan a un número de funciones de red de radio, incluyendo la selección dinámica de frecuencia, la adaptación de enlace, traspaso, antenas de haces múltiples, y control de potencia. Los algoritmos son específicos al vendedor. Las funciones apoyadas de red de radio permiten la instalación celular de sistemas HIPERLAN/2 con cobertura completa y altas tasas de datos en una variedad de ambientes. El sistema asigna frecuencias automáticamente a cada punto de acceso para comunicación – la selección dinámica de frecuencia (DFS) permite que varios operadores puedan compartir el espectro disponible y evita el uso de frecuencias interferidas. La selección de frecuencia está basada en mediciones de interferencia realizadas por el punto de acceso y terminales móviles asociados.¹²

La calidad del enlace de radio, que depende del ambiente de radio, cambia con el tiempo y de conformidad con el tráfico en las celdas de radio circundantes. Para hacer frente a las variaciones se aplica un programa de adaptación de enlace: la adaptación del modo de capa física – o sea, la tasa de código y el programa de modulación – está basada en mediciones de calidad de enlace (Tabla 1). La adaptación de enlace se usa en el enlace ascendente y en el enlace descendente. El punto de acceso mide la calidad del enlace en el enlace ascendente e indica en el FCH, cuál modo PHY debe usar el terminal móvil para la comunicación de enlace ascendente. El terminal móvil mide del mismo modo la calidad en el enlace descendente y sugiere, en cada solicitud de recurso señalizada al punto de acceso, un modo PHY para comunicación de enlace descendente. El punto de acceso selecciona

TABLA 1. MODOS DE CAPA FISICA DE HIPERLAN/2

Modo	Modulación	Régimen de código	Régimen de código de capa física
1	BPSK	1/2	6 Mbit/s
2	BPSK	3/4	9 Mbit/s
3	QPSK	1/2	12 Mbit/s
4	QPSK	3/4	18 Mbit/s
5	16QAM	9/16	27 Mbit/s
6	16QAM	3/4	36 Mbit/s
7	64QAM	3/4	54 Mbit/s

el modo final PHY tanto para el enlace ascendente como para el enlace descendente.

El control de potencia de transmisor es apoyado en el terminal móvil (enlace ascendente) y el punto de acceso (enlace descendente). El control de potencia en el terminal móvil es usado principalmente para simplificar el diseño del receptor del punto de acceso, al evitar el control automático de ganancia. El control de potencia en el punto de acceso ha sido introducido principalmente para propósitos reguladores, para reducir la interferencia a otros sistemas en la misma banda.

HIPERLAN/2 apoya calidad de servicio al permitir que el punto de acceso pueda establecer y gestionar distintos portadores de radio durante la transmisión. El punto de acceso selecciona el modo apropiado de control de error (confirmado, no confirmado y repetición) inclusive regulaciones de protocolo en detalles (por ejemplo, tamaño de ventana ARQ, número de retransmisiones, descartados). La programación se realiza al nivel MAC, donde el punto de acceso determina cuántos datos y señalización de control serán enviados en la trama MAC actual. Por ejemplo, al hacer una interrogación secuencial con regularidad a un terminal móvil sobre su estado de tráfico (datos pendientes a ser transmitidos), el punto de acceso da al portador de radio del terminal un retardo de acceso corto. El mecanismo de interrogación secuencial da un acceso rápido para servicios de tiempo real. El apoyo adicional QoS incluye adaptación de enlace y funciones internas (mecanismos de admisión, congestión y derivación) para evitar situaciones de sobrecarga

Capa física

Las unidades de datos que se han de transmitir por medio de la capa física de HIPERLAN/2 son ráfagas de longitud variable. Cada ráfaga consiste de un preámbulo y un campo de datos. El campo de datos se compone de un tren de PDUs SCH y LCH que han de ser transmitidas o recibidas por un terminal móvil. La multiplexación ortogonal de división de frecuencia^{13,14} (OFDM) ha sido seleccionada como el programa de mo-

dulación para HIPERLAN/2, debido a un buen comportamiento en canales muy dispersivos.¹⁵ En términos de sensibilidad y comportamiento al estar sometido a una interferencia de canal a una tasa de bits de 25 Mbit/s, la OFDM supera en comportamiento a la modulación de portador único por 2 a 3 dB. La modulación de portador único no puede apoyar tasas altas de bit de forma eficaz – este es un factor importante, ya que se exige que HIPERLAN/2 apoye tasas de bit mucho más altas. Un inconveniente con OFDM es la rebaja de potencia de amplificador, que afecta la cobertura. La rebaja de amplificador de potencia relacionada con OFDM es de 2 a 3 dB más grande que la de una modulación de portador único, para la máscara de espectro que se ha especificado para HIPERLAN/2. Sin embargo, en términos de cobertura, se compensa esta "debilidad" de OFDM por una sensibilidad más grande. El consumo de potencia en terminales móviles, que también es afectado por la rebaja de potencia de amplificador, debe ser considerado junto con

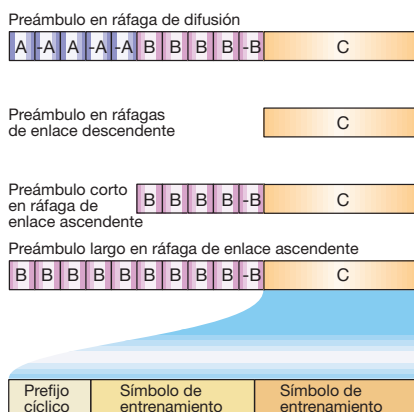
- el consumo de potencia reducido en el receptor OFDM; y
- la relación de tráfico de enlace descendente y de enlace ascendente, que se espera que sea muy asimétrica.

Con base en estos y en otros argumentos, se prefiere la OFDM al comparar con la modulación de portador único.

Se ha seleccionado un cuadrículado de canal de 20 MHz para dar un número razonable de canales en un ancho de banda de 100 MHz, que podría ser el ancho de banda más angosto de sistema continuo que se encuentra disponible (por ejemplo, en Japón). Para evitar frecuencias mezcladas no deseadas en las implementaciones, es también de 20 MHz la frecuencia de muestreo (a la capacidad de una transformación Fourier rápida inversa de 64 puntos, IFFT, en el modulador). El espaciamiento de subportador obtenido es de 312.5 kHz. Para facilitar la implementación de filtros y para alcanzar una supresión de canal adyacente suficiente, se usan 52 subportadores por canal; 48 subportadores llevan datos y 4 son pilotos que facilitan la desmodulación coherente. La duración del prefijo cíclico es de 800 ns, lo que es suficiente para permitir un buen comportamiento en canales con una extensión de retardo de raíz cuadrada de la media de los cuadrados de por lo menos 250 ns. Se puede usar un prefijo opcional cíclico corto con 400 ns para aplicaciones de interior y de corto alcance.

Una característica clave de la capa física es que da varios modos de capa física con distintas tasas de codificación y programas de modulación, que se seleccionan por adaptación de enlace. La capa física apoya la manipulación de cambio de fase binaria y cuaternaria (BPSK, QPSK) así como la modulación de amplitud de cuadratura 16ava (16QAM) para la modulación de subportador.

Figura 8
Los preámbulos de HIPERLAN/2.



64QAM se puede usar además como un modo opcional.

La corrección de error hacia adelante (FEC) se realiza por un código convolucional con una tasa de 1/2 y longitud de restricción 7. Las tasas de código 9/16 y 3/4 se obtienen por medio de perforación. Los modos de capa física son elegidos de manera tal que el número de bits de potencia de codificador corresponda a un número entero de símbolos OFDM. Para acomodar bits de cola se aplica una perforación dedicada apropiada antes de perforar la secuencia de bit codificada.

Se han especificado siete modos de capa física (Tabla 1). Seis de los modos de capa física son obligatorios; 64QAM es opcional.

Cada ráfaga de capa física incluye un preámbulo, del cual hay tres tipos para:

- el canal de control de difusión;
- otros canales de enlace descendente; y
- el canal de enlace ascendente y el de acceso aleatorio.

El preámbulo de las ráfagas opcionales de enlace directo es idéntico al preámbulo del enlace ascendente largo. El preámbulo en el canal de canal de control de difusión permite la sincronización de trama, el control automático de ganancia, la sincronización de frecuencia, y la estimación de canal. Por contraste, se usa el preámbulo en ráfagas de tráfico de enlace descendente sólo para la estimación de canal. Las ráfagas de tráfico de enlace ascendente y las ráfagas de acceso aleatorio permiten la estimación de canal y de frecuencia. Por lo tanto hay varios preámbulos con distintas estructuras y longitudes (Figura 8, Cuadro B). Dependiendo en sus capacidades de receptor, puede elegir el punto de acceso entre dos preámbulos de enlace ascendente. Cada preámbulo es obligatorio para el terminal móvil.

El comportamiento de la sincronización inicial – o sea, cuando los terminales sincronizan al preámbulo BCH – se caracteriza por la probabilidad de detección de avería y la probabilidad de alarma falsa. Los resultados de simulación muestran que hasta en un escenario de peor caso (relación de potencia baja de señal a ruido de 5 dB, un canal de desvanecimiento muy dispersivo con una extensión de retardo de 250 ns, y una compensación de frecuencia de 40 ppm), es de 96 % la probabilidad de una sincronización con éxito en HIPERLAN/2.¹⁶ HIPERLAN/2 da de esta manera un medio de sincronización rápido, eficaz y robusto.

Comportamiento

Comportamiento de enlace

El régimen de error PDU (PER) – que se da de forma conveniente como una función de relación de potencia de portador a interferencia (C/I) en sistemas limitados de interferencia – da una medida apropiada del comportamiento para la co-

municación de datos en paquetes. Durante la normalización se han desarrollado modelos de canales para la simulación de enlaces, de mediciones en ambientes típicos de interior y de exterior.¹⁷⁻¹⁹ Los perfiles de retardo de potencia muestran una declinación exponencial. Las derivaciones de canal son estadísticamente independientes con distribución Gaussiana compleja y media cero (con la excepción de la derivación de canal Riceano). El canal modelo "A" (usado para las simulaciones discutidas abajo) caracterizan ambientes de oficinas grandes con propagación sin línea visual.

La Figura 9 muestra el régimen de error PDU de LCH para todos los modos de capa física. Como se puede esperar aumenta el C/I que se exige para un cierto régimen de error con la tasa de bits. Sólo el modo de 9 Mbit/s se comporta de modo distinto.

Un cálculo simple del rendimiento total del enlace ideal que se puede lograr es $r(1 - PER)$, para un modo con una tasa de bits de r (Mbit/s). La Figura 10 muestra los resultados para cada modo.

Espectro de potencia y no proporcionalidades

Los estudios de interferencia de sistemas celulares HIPERLAN/2 con una carga alta muestran que la potencia de la interferencia de canal adyacente debe ser suprimida por al menos 25 dB comparando con la potencia de la interferencia de cocanal; de lo contrario se degrada de forma

CUADRO B, PREAMBULOS DE HIPERLAN/2

Los símbolos A y B están compuestos de 16 muestras de dominio de tiempo. Los símbolos indicados con -A y -B son réplicas negativas de A y B, respectivamente.

El bloque de cuatro símbolos, A, -A, A, -A puede ser producido por un IFFT de 64 puntos de un símbolo de dominio de frecuencia con 12 subportadores a los índices de frecuencia +/- 2, +/- 6, etc. es anexo por repetición en el dominio de tiempo. Del mismo modo se producen los símbolos B de un símbolo de dominio de frecuencia con los subportadores usados en los índices +/- 4, +/- 8, etc.

Gracias a las estructuras de dominio de tiempo de las secuencias A, -A, A, -A y B, B, B, B, es fácil distinguir los canales de control de emisión y las ráfagas de enlace ascendente. Los símbolos anexados -A y -B mejoran la estimación de temporización.

La parte C, que es incluye en cada preámbulo, está compuesto de dos símbolos de entrenamiento que usan 52 subportadores y un prefijo cíclico de 1.6 us. La parte C es usada para la estimación de canales, mientras que los símbolos cortos anteriores son usados para todos los otros propósitos, tales como la sincronización de trama, la estimación de frecuencia, etc.

Figura 9
Régimen de error LCH PDU contra C/I para modelo de canal "A".

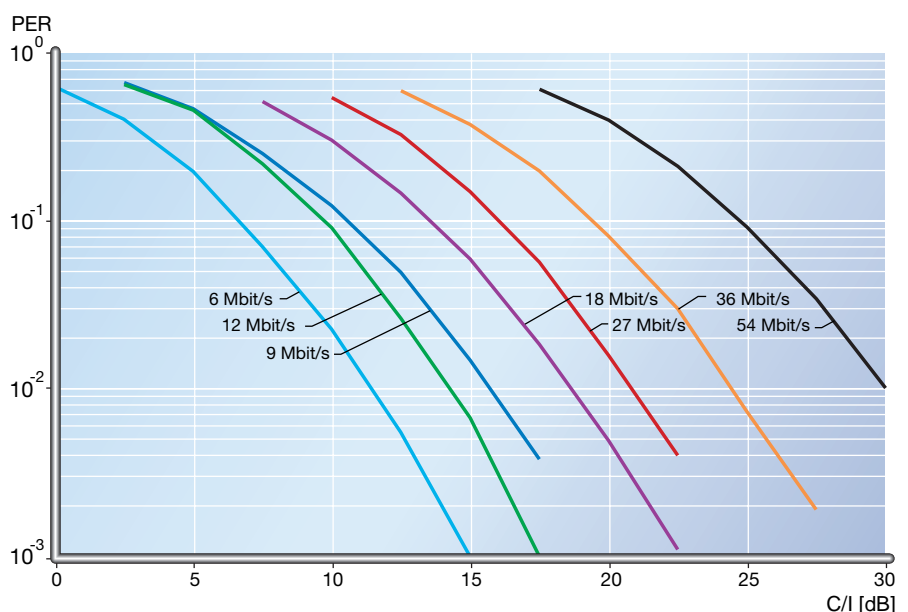
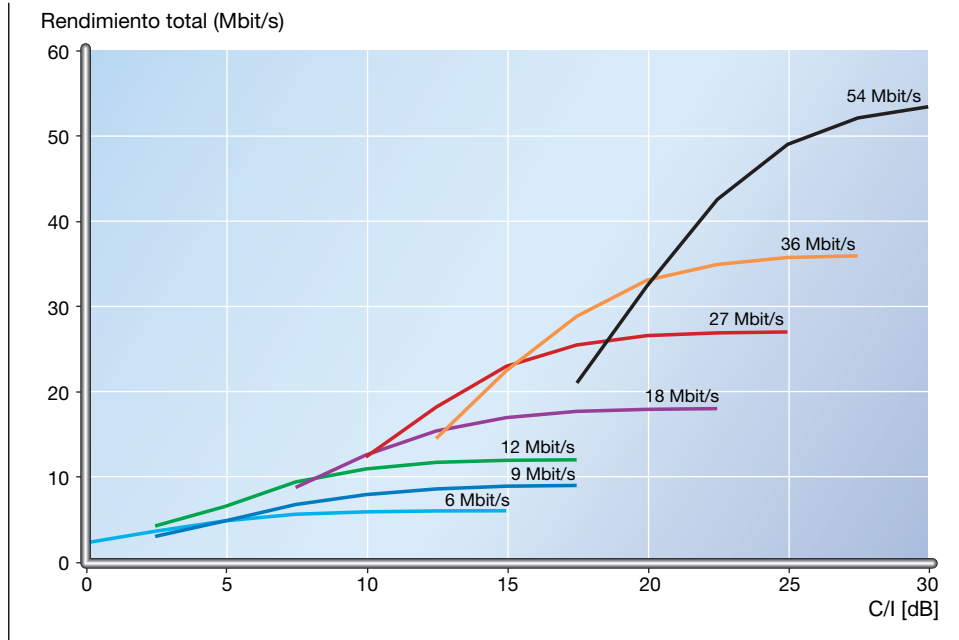


Figura 10
Rendimiento total de enlace contra C/I para canal modelo "A".



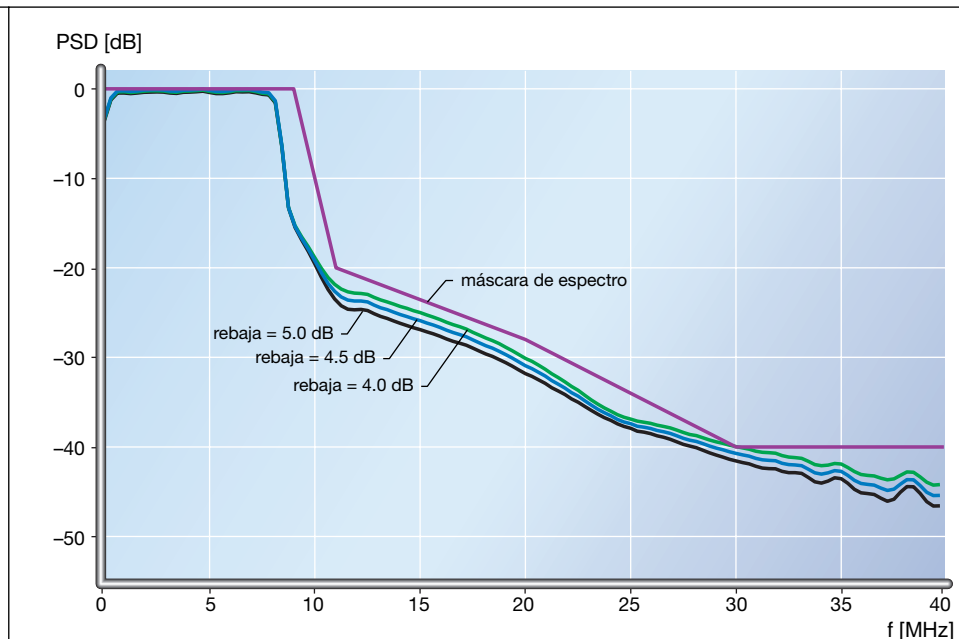
evidente el rendimiento total promedio del sistema en situaciones y ambientes típicos. Este requisito afecta la especificación de la máscara de espectro.

Con base en el modelo de un amplificador de potencia clase AB disponible comercialmente¹⁷, investigamos nosotros las consecuencias de no proporcionalidades en la capa física. La Figura 11 muestra el espectro de la señal de transmi-

sión HIPERLAN/2 para distintos valores de rebaja. Con rebaja queremos decir la entrada de rebaja en relación con el punto de compresión de 1 dB. Como referencia se describe también la máscara de espectro HIPERLAN/2. Como se puede ver se pueden alcanzar los requisitos de espectro rebajando 4.0 dB.

El requisito de supresión de canal adyacente se puede cumplir con requisitos actuales de la

Figura 11
Densidad espectral de potencia de señal transmitida y máscara de espectro HIPERLAN/2.



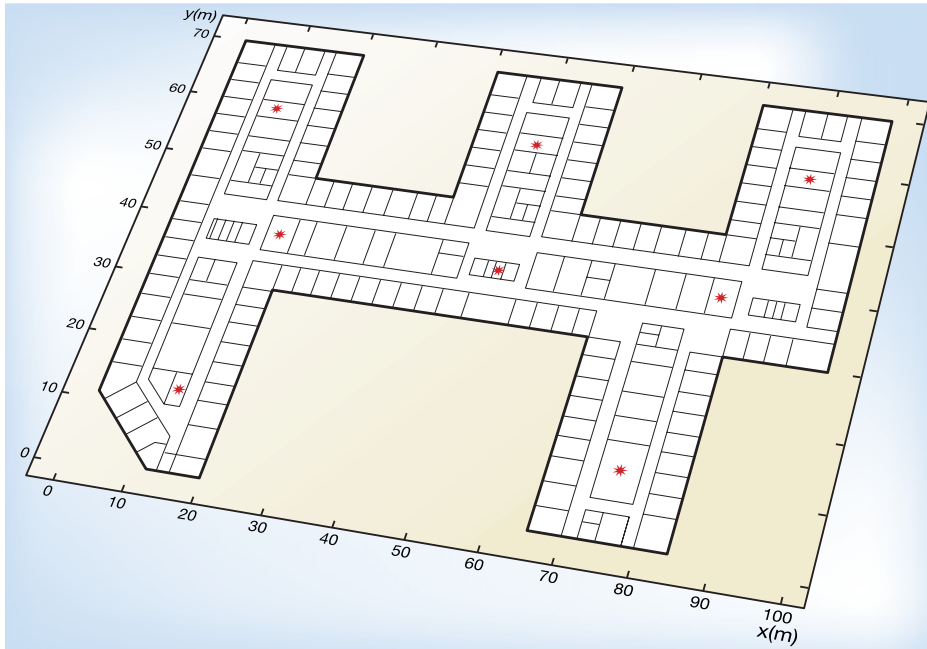


Figura 12
Piso de edificio de oficinas simulado, y la posición de los puntos de acceso (*).

máscara de espectro. O sea que es suficiente con una rebaja de 4 ó 5 dB para modelos típicos de amplificador de potencia. Este requisito es de esta manera sólo de alrededor de 2 ó 3 dB más grande que para programas típicos de modulación de portador único.

Comportamiento de sistema

El comportamiento de sistemas HIPERLAN/2 representativos fue evaluado para dos ambientes de interior: un edificio de oficinas y una sala de exposiciones. El escenario de oficinas incluyó un edificio con cinco pisos y varios terminales móviles. La cobertura la dieron ocho puntos de acceso por piso, situados en la misma posición en cada piso (Figura 12). El promedio de atenuación del trayecto (o sea, sin desvanecimiento rápido) entre un terminal móvil y un punto de acceso fue calculado usando el modelo Keenan-Motley extendido, que incluye atenuación por distancia, muros y pisos en el trayecto de propagación directa.²⁰

El escenario de sala de exposiciones constaba de un edificio grande con un piso y sin muros interiores. La cobertura de la sala era con 16 puntos de acceso colocados en una cuadrícula rectangular con una distancia de emplazamiento a emplazamiento de 60 m. Nuestra suposición era de un requisito de una capacidad muy alta en este ambiente, lo que motivó el gran número de puntos de acceso. Nosotros usamos un modelo de propagación de línea visual. Además añadimos desvanecimiento de conexión normal con una desviación standard de 2 dB (en ambos escenarios) a modelo de modificación por obstá-

culos – por ejemplo, debido a personas que se mueven por los edificios.

Los terminales móviles fueron colocados de forma aleatoria en los edificios según una distribución uniforme. La técnica de simulación fue estática: cada iteración corresponde a una situación de tráfico que no tenía relación con la anterior; o sea que se tomaron "instantáneas" de la situación en el edificio. En cada instantánea había un terminal móvil activo por cada punto de acceso. La interferencia en un enlace surgió de puntos de acceso y terminales móviles, debido a la trama TDD MAC no sincronizada. La interferencia externa fue modelada suponiendo que un segundo operador usa 11 de los 19 portadores disponibles.

Antes de poner en funcionamiento las simulaciones obtuvimos nosotros un plan de frecuencias y una regulación de potencia de enlace descendente. El plan de frecuencias fue obtenido por un algoritmo DFS distribuido¹², y las regulaciones de potencia de punto de acceso fueron fijadas de forma individual, de manera tal que la potencia de señal recibida de cada terminal móvil sobrepasó el valor de referencia.

Se usó un control de potencia rápido de enlace ascendente – esto tiene como objetivo una potencia recibida constante en el punto de acceso.¹ La adaptación de enlace fue modelada al poner al día el modo PHY cada diez tramas MAC. La posición del receptor estaba fija durante el intervalo de poner al día, y los interferentes fueron colocados de forma aleatoria para cada trama MAC. En cada intervalo de poner al día, se estimó el rendimiento total para todos los modos

TABLA 2. PARAMETROS IMPORTANTES PARA SIMULACIONES DE REDES

Parámetro de simulación	Valores
Número de frecuencias	8 y 19
Tráfico de enlace descendente	75%
Supresión de canal adyacente	25 dB
Histeresis de traspaso	5 dB
Potencia máx. AP/MT (EIRP)	23 dBm
Potencia de ruido	-90 dBm
Antenas (omni)	0 dBi
Objetivo de control de potencia de enlace ascendente	- 55 dBm
Objetivo de control de potencia de enlace descendente	- 55 dBm
Atenuación de muro (edificio de oficinas)	3 dB
Atenuación de piso (edificio de oficinas)	20 dB
Desviación standard de desvanecimiento de conexión normal	2 dB

TABLA 3. RENDIMIENTO TOTAL DE SISTEMA PARA REUTILIZACION DE FRECUENCIAS 19 Y 8

Sala de exposiciones		
Modos PHY	Reutilización 19	Reutilización 8
1-6	36 Mbit/s	25 Mbit/s
1-7	54 Mbit/s	27 Mbit/s
Office		
Modos PHY	Reutilización 19	Reutilización 8
1-6	36 Mbit/s	35 Mbit/s
1-7	52 Mbit/s	49 Mbit/s

PHY (como se muestra en la Figura 10), y el modo que alcanzó el rendimiento total más alto fue usado durante el intervalo siguiente de poner al día. Los parámetros de simulación más importantes han sido resumidos en la Tabla 2.

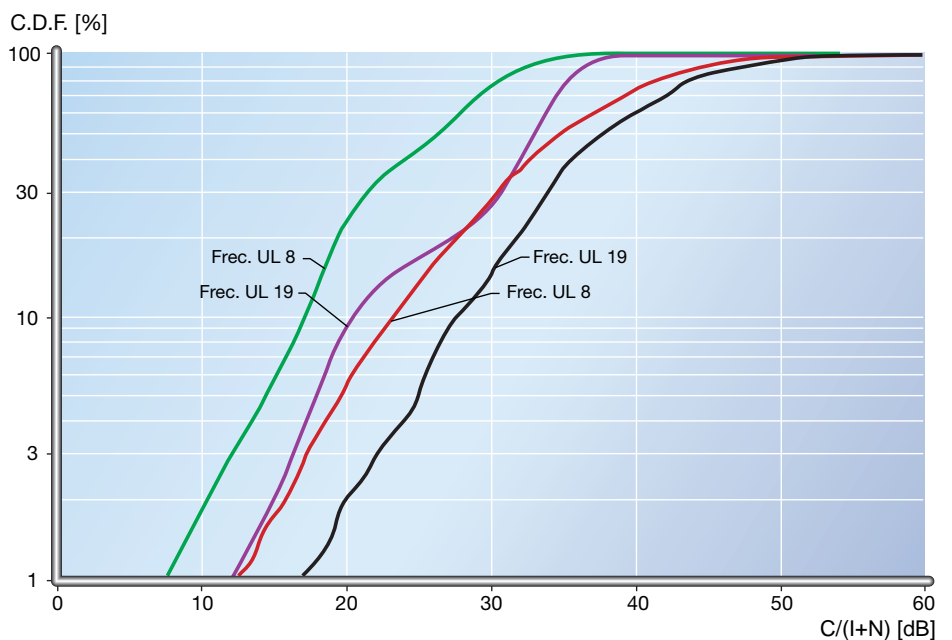
La Figura 13 muestra la distribución C/I de enlace descendente y de enlace ascendente para el edificio de oficinas con reutilización de frecuencias de 19 y 8, lo que corresponde a

- un operador único; y
- un escenario de dos operadores.

La Figura 14 muestra la distribución C/I en la sala de exposiciones. Estas distribuciones formaron la base de la estimación del rendimiento total del sistema. Vale la pena tomar nota de que C/I varía mucho entre la sala de exposiciones y el ambiente de oficinas.

Nosotros calculamos aproximadamente la distribución de rendimiento total dentro de la red al delimitar el rendimiento total de enlace en la Figura 10 a las distribuciones C/I. Después calculamos el rendimiento total del sistema

Figura 13
Distribución C/I de enlace descendente (DL) y enlace ascendente (UL) en el edificio de oficinas.



como el promedio del rendimiento total de todos los usuarios. Esto corresponde a una estrategia de planificación donde se le asigna a cada usuario la misma cantidad de recursos de radio en términos de símbolos OFDM transmitidos por unidad de tiempo. El rendimiento total del sistema se resume en la Tabla 3.

Conclusión

La norma HIPERLAN/2 especifica un sistema de acceso de radio de corto alcance (150 m) y alta velocidad (de hasta 54 Mbit/s) que se puede usar globalmente en la banda de 5 GHz. Esta norma atractiva habilita órganos en un sistema que da un rendimiento total alto con apoyo QoS.

Los estudios muestran que se puede alcanzar un comportamiento muy alto en la mayoría de los ambientes. Para operar en ambientes con condiciones de propagación variables e interferencia severa, tiene la norma como característica el control centralizado (apoyo QoS), ARQ de repetición selectiva, la adaptación de enlace, y la selección dinámica de frecuencias. También apoya la interoperabilidad con distintos núcleos de la red de banda ancha.

HIPERLAN/2 está siendo fomentada por el Foro Global HIPERLAN/2, H2GF (<http://www.hiperlan2.com>).

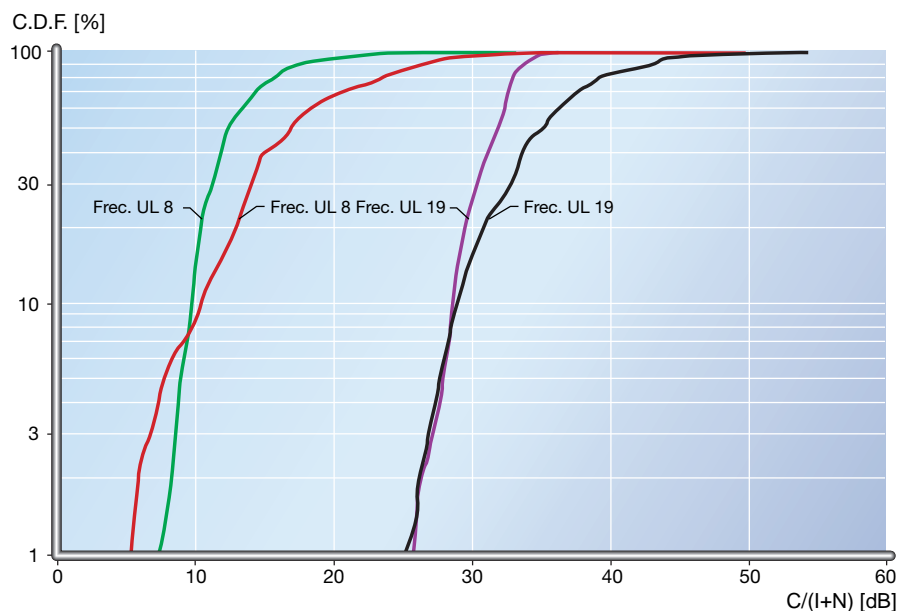


Figura 14 Distribución C/I de enlace descendente (DL) y enlace ascendente (UL) en la sala de exposiciones.

REFERENCIAS

- 1 TS 101 475, Broadband Radio Access Networks (BRAN), HIPERLAN Tipo 2; Capa Física (PHY)
- 2 TS 101 515-1, Broadband Radio Access Networks (BRAN), HIPERLAN Tipo 2; Capa de Control de Enlace de Datos (DLC); Parte 1: Funciones Básicas de Transporte
- 3 TS 101 515-2, Broadband Radio Access Networks (BRAN), HIPERLAN Tipo 2, Capa de Control de Enlace de Datos (DLC); Parte 2: Subcapa de Control de Enlace de Radio (RLC)
- 4 TS 101 515-4, Broadband Radio Access Networks (BRAN), HIPERLAN Tipo 2, Capa de Control de Enlace de Datos (DLC); Parte 4: Extensión para Ambiente de Residente
- 5 TS 101 516, Broadband Radio Access Networks (BRAN), HIPERLAN Tipo 2; Gestión de Red
- 6 TS 101 517-1, Broadband Radio Access Networks (BRAN), HIPERLAN Tipo 2; Capa de Convergencia basada en celda; Parte 1: Parte Común
- 7 TS 101 517-2, Broadband Radio Access Networks (BRAN), HIPERLAN Tipo 2; Capa de Convergencia basada en celda; Parte 2: Subcapa de Convergencia Específica de Servicio UNI (SSCS)
- 8 TS 101 493-1, Broadband Radio Access Networks (BRAN), HIPERLAN Tipo 2; Capa de Convergencia basada en paquetes; Parte 1: Parte Común
- 9 TS 101 493-2, Broadband Radio Access Networks (BRAN), HIPERLAN Tipo 2; Capa de Convergencia basada en paquetes; Parte 2: Subcapa de Convergencia Específica de Servicios Ethernet (SSCS)
- 10 ISO/IEC 15802-3 (1998) (ANSI/IEEE Std 802.1D, 1998 Edition); "Information technology – Telecommunications and information exchange between systems – Local and metropolitan area networks – Common Specifications – Media access control (MAC) bridges"
- 11 H. Li, J. Lindskog, G. Malmgren, G. Mykios, F. Nilsson, G. Rydell, "Automatic Repeat Request (ARC) Mechanism in HIPERLAN/2," VTC 2000
- 12 J. Huschke, G. Zimmermann, "Impact of Decentralized Adaptive Frequency Allocation on the System Performance of Hiper-LAN/2," VTC 2000 Spring
- 13 B. Saltzberg, Performance of an Efficient Parallel Data Transmission System, IEEE Trans. on Communication Technology, vol. COM – 15, páginas 805 – 811, 1967.
- 14 S. Weinstein, P. Ebert. Data Transmission by Frequency-Division Multiplexing Using the Discrete Fourier Transform. IEEE Trans. Communications, vol. 19 páginas 620 – 634, 1971.
- 15 U. Dettmar, J. Khun-Jush, P. Schramm, J. Thielecke, U. Wachsmann. Modulation for HIPERLAN/2, Proc. Of VTC '99 Spring (Houston), páginas 1094 – 1100.
- 16 J. Khun-Jush, P. Schramm, U. Wachsmann, F. Wenger. Structure and Performance of the HIPERLAN/2 Physical Layer. VTC '99 Fall (Amsterdam), páginas 2667 – 2671.
- 17 BRAN WG3 PHY Subgroup. Criteria for Comparison. Documento ETSI/BRAN núm. 30701F, 1998.
- 18 J. Medbo, H. Hallenberg, J-E Berg, Propagation Characteristics at 5 GHz in Typical Radio-LAN Scenarios. Proc. of VTC '99 Spring (Houston), páginas 185 – 189.
- 19 J. Medbo, P. Schramm. Channel Models for HIPERLAN/2. Documento ETSI/BRAN núm. 3ERI085B, 1998.
- 20 C. Törnevik et al, "Propagation Models, Cell Planning and Channel Allocation for Indoor Applications of Cellular systems," Proc. of VTC '93 (New Jersey).
- 21 J. Torsner, G. Malmgren, Radio Network Solutions for HIPERLAN/2. Proc. of VTC '99 Spring (Houston), páginas 1217 – 1221.