

RECOMENDACIÓN UIT-R F.1244*

REDES RADIOELÉCTRICAS DE ÁREA LOCAL (RLAN)

(Cuestión UIT-R 142/9)

(1997)

La Asamblea de Radiocomunicaciones de la UIT,

considerando

- a) que las redes radioeléctricas de área local (RLAN – radio local area networks) se utilizarán de un modo generalizado para equipos informatizados fijos y transportables y para una diversidad de servicios de banda ancha (por ejemplo, la distribución de vídeo);
- b) que las normas de las RLAN pueden ser compatibles con las de las redes de área local (LAN) cableadas;
- c) que es deseable establecer directrices de utilización para las RLAN en diversas bandas de frecuencia;
- d) que las directrices anteriores no deben limitar las posibilidades de las RLAN sino ser utilizadas para promover su desarrollo;
- e) que las RLAN deben ser utilizadas prestando una cuidadosa atención a la compatibilidad por razones de interferencia con otros sistemas radioeléctricos;
- f) que los estudios sobre las RLAN en el seno del UIT-R deben conceder la debida atención a los trabajos relacionados que realiza el UIT-T,

recomienda

- 1** que, a los efectos de orientación, hay que remitirse a ciertas características de las RLAN descritas en el Anexo 1;
- 2** que, a los efectos de orientación sobre algunas bandas de frecuencia propuestas y velocidades de datos aproximadas para las RLAN, hay que remitirse al Cuadro 1;

CUADRO 1

(Nota 1)

Longitudes de onda	Bandas de frecuencias	Velocidades de datos aproximadas
Decimétricas (300-3 000 MHz)	900 MHz 1 900 MHz 2 400 MHz	Hasta 6 Mbit/s
Centimétricas (3-30 GHz)	5,2 GHz 5,7-5,8 GHz 17,2 GHz 18,8 GHz 19,5 GHz	Hasta 50 Mbit/s
Milimétricas (30-300 GHz)	60 GHz (Nota 2)	En estudio

* Esta Recomendación debe señalarse a la atención de las Comisiones de Estudio 7 y 13 de la Normalización de las Telecomunicaciones (JRG sobre GII) y a las Comisiones de Estudio 3 (GT 3K), 4 (GT 4A), 8 (GT 8A) y 11 (GT 11C) de Radiocomunicaciones.

3 que, a los efectos de orientación sobre algunos planes propuestos para las técnicas de acceso múltiple y modulación, hay que remitirse al Cuadro 2;

CUADRO 2

(Notas 3 y 4)

Longitudes de onda	Acceso múltiple	Modulación
Decimétricas	AMDF, AMDT, AMDC (espectro ensanchado de secuencia directa, saltos de frecuencia)	MDF, MDP-4
Centimétricas	AMDF AMDT AMDC	MDF MDMG MDP-4 MAQ-16
Milimétricas	En estudio	En estudio

4 que se estudie con más detalle la topología de las RLAN. Se presentan dos topologías básicas en las Figs. 1 y 2:

- sistemas no centralizados,
- sistemas centralizados;

5 que, a los efectos de orientación sobre las exigencias de calidad de funcionamiento para las RLAN, hay que remitirse al § 2.4 del Anexo 1;

6 que una RLAN que comparte una banda de frecuencias con otros sistemas del servicio fijo u otros servicios radioeléctricos debe satisfacer ciertos requisitos técnicos para que pueda producirse esa compartición (véase la Nota 5);

7 que para más orientación sobre las normas para los equipos radioeléctricos de las RLAN, hay que remitirse también al proyecto de Recomendación [UIT-R M.Doc. 8/60].

NOTA 1 – No se excluye la utilización de otras bandas de frecuencias. La disponibilidad de bandas para las RLAN puede variar de un país a otro.

NOTA 2 – El desarrollo de RLAN que utilizan bandas de ondas milimétricas está en estudio (véase el Apéndice 3 al Anexo 1).

NOTA 3 – En el Cuadro 3 se presentan ejemplos de RLAN típicas que funcionan en las distintas bandas de frecuencias.

NOTA 4 – Se ha sugerido que pueden utilizarse eficazmente técnicas dúplex por división de tiempo (TDD) para simplificar el soporte físico.

NOTA 5 – Se examina la compatibilidad en cuanto a interferencias en el § 2.5 del Anexo 1.

ANEXO 1

Redes radioeléctricas de área local (RLAN)

1 Introducción

Las redes de área local se consideran generalmente que son redes explotadas por una organización única dentro de una sola instalación o extendidas sobre una pequeña zona. Se han diseñado e instalado LAN con el fin de interconectar computadores y compartir recursos informáticos. A diferencia de las redes con conmutación a circuitos, las LAN son particularmente apropiadas para el tratamiento eficaz del tráfico en ráfagas que caracteriza la actividad de los computadores.

Muchas de las limitaciones asociadas con las LAN cableadas, como son las de coste, mantenimiento e instalación, pueden superarse mediante la inteligente aplicación de técnicas radioeléctricas avanzadas. Por ejemplo, podrían aplicarse a las redes radioeléctricas de área local (RLAN) arquitecturas radioeléctricas de microcélulas combinadas con técnicas de modulación de gran adaptabilidad. Pueden interconectarse células a la red utilizando enlaces por cable u otros medios radioeléctricos.

Una característica de las RLAN de la que carecen las LAN por cable es que los usuarios de una red no están trabados entre sí, y en principio son libres de conectarse y desconectarse de dicha red, de desplazarse dentro de la misma y de unas redes a otras.

Por comunicaciones «destrabadas» se entienden las conexiones en redes privadas, dentro de unas dependencias, no cubiertas por las definiciones tradicionales de comunicaciones fijas o móviles. Los usuarios destrabados no están ligados a un gran computador personal de mesa. Por el contrario, pueden llevarse consigo sus computadores portátiles a donde quiera que vayan dentro de los locales de su organización, y aun fuera de ellos manteniendo siempre la capacidad de interactuar con otros sistemas de la red local y utilizarlos. En el futuro este tipo de comunicaciones pueden provocar la reestructuración de los dos conceptos, bien asentados, de comunicaciones fijas y móviles.

Como ejemplo, la RLAN podría ofrecer características generales como las siguientes:

- soporte de ciertas velocidades de datos, protocolos, normas y calidad de funcionamiento generalmente comunes con las que admiten las LAN cableadas;
- aplicaciones portátiles (es decir, en unidades pequeñas y de escasa potencia) y capacidad de pasar de una red a otra cuando sea deseable;
- soporte de los requisitos de las comunicaciones de alta velocidad, tales como las de enlace de computador a computador;
- posiblemente aplicaciones en las que sea crítico el tiempo empleado en entregar los datos, como por ejemplo las comunicaciones de voz y de vídeo incluyendo la videoconferencia.

Se requerirá una extensa gama de velocidades de datos hasta más de 100 Mbit/s dependiendo de la aplicación.

Pueden utilizarse las RLAN tanto en interiores como en exteriores o en combinación, aunque las consideraciones de interferencia puedan ser diferentes en cada caso. En algunos casos puede ser necesario restringir la operación al interior de los edificios para satisfacer los criterios locales de compartición de frecuencias.

Las aplicaciones de RLAN en el interior de edificios son afectadas por las condiciones de propagación interiores, todavía no bien conocidas. La calidad de funcionamiento en la conexión radioeléctrica dependerá de factores como las dimensiones y materiales del edificio, el influjo de los edificios adyacentes a través de las ventanas, el mobiliario y su colocación con respecto a las trayectorias radioeléctricas, así como la variación dinámica del trazado geométrico del trayecto.

Se necesitarán nuevos estudios para caracterizar mejor el entorno de propagación de la RLAN.

2 Características de las RLAN

Existen varias tecnologías adecuadas para las RLAN, y la selección entre ellas dependerá de exigencias tales como la arquitectura del sistema, bandas de frecuencias, velocidad de transmisión, tasa de error, seguridad y compatibilidad a efectos de interferencia.

2.1 Consideraciones sobre la modulación, codificación y diversidad

Para las aplicaciones RLAN el equipo radioeléctrico debe ofrecer una elevada calidad de funcionamiento a un bajo coste. La mayoría de los servicios de datos que han de prestarse requieren que las proporciones de bits erróneos se mantengan muy bajas, por ejemplo de 1×10^{-5} a 1×10^{-10} , especialmente si los servicios de la RLAN han de competir o relacionarse con servicios por fibra o por cable, que actualmente funcionan con tasas de error menores de 1×10^{-10} .

La tasa de error puede mejorarse con el procesamiento en diversidad (en espacio, tiempo, frecuencia, polarización u otras variables), y la codificación con control de errores puede permitir proporciones de bits erróneos tan bajas como 1×10^{-14} . Al especificar estos sistemas, no obstante, debe concederse gran atención al compromiso entre coste y calidad de funcionamiento. Probablemente competirán con ventaja los esquemas de señalización que puedan tolerar el ruido de fase y los errores de frecuencia, dado que permitirán utilizar osciladores y sintetizadores de frecuencia de coste reducido.

Las aplicaciones que actualmente existen implican ciertas velocidades de datos en la interfaz del servicio de aplicación, para conectividad con la red digital de servicios integrados (RDSI), por ejemplo. La consideración de estas aplicaciones existentes no debe limitar el desarrollo de normas para las RLAN, que también deben tener en cuenta las propuestas de aplicaciones recién aparecidas y ser un estímulo para el desarrollo de nuevos campos de utilización.

En el caso de la RDSI, actualmente es difícil establecer una RDSI de banda ancha (RDSI-BA), de velocidad igual o superior a la velocidad primaria = 155,52 Mbit/s por canales radioeléctricos interiores. Una primera etapa puede ser el establecimiento de diversos múltiplos de la velocidad básica RDSI de 144 kbit/s o la velocidad DS-1 de 1,544 Mbit/s por enlaces radioeléctricos de corta longitud hacia las unidades de interfaz con el sistema principal. Así puede verificarse la conversión de velocidad a la de RDSI-BA antes de la transmisión sobre la red principal, que puede ser por ejemplo de fibra o radioeléctrica con visibilidad directa. Tales servicios a velocidad inferior podrían prestarse a diversas frecuencias. La elección de la señalización dependerá de la frecuencia a causa de las diferencias existentes en características de propagación, costes de componentes y disponibilidad del espectro.

En ondas decimétricas, el espectro se está convirtiendo en un recurso extremadamente escaso. En consecuencia, los esquemas de señalización deberían lograr una eficaz utilización del espectro y tolerar las interferencias. Podría utilizarse el acceso múltiple por división de código (AMDC) con secuencia directa o saltos de frecuencia y con alguna forma de modulación por desplazamiento de fase puesto que satisface estas exigencias, y además puede realizarse con diversidad incorporada. Unos receptores diseñados adecuadamente pueden discriminar entre diferentes componentes multitrayecto. Ello podría dar lugar a obtener una diversidad de orden elevado con un pequeño número (2, por ejemplo) de antenas solamente. Una complicación, sin embargo, es que esos sistemas tal vez tengan que emplear regulación de potencia para impedir la captura por la señal más intensa recibida. El control de potencia suele requerir un sistema de control centralizado físicamente, que puede ser incompatible con el sistema de control descentralizado que han de utilizar numerosas RLAN. El AMDC implica también restricciones en la flexibilidad de cualquier ordenación de frecuencia de los canales lo que puede acarrear dificultades para llegar a sistemas susceptibles de utilizarse en muchos países sin reprogramación (característica muy deseable de los sistemas de comunicación destrabados).

Además, estos sistemas pueden utilizar códigos convolucionales o BCH para la codificación con corrección de errores. Estos tipos de código son adecuados para corregir errores aleatorios. Para satisfacer las demandas futuras de tasas de error extremadamente bajas al tiempo que se mantiene una alta capacidad en condiciones de desvanecimiento por ráfagas, se necesitarán, sin embargo, unos códigos más potentes, capaces de corregir errores en ráfagas. Un enfoque podría consistir en utilizar una codificación concatenada con un código convolucional interior y un código Reed-Solomon exterior. Con este esquema, el código convolucional interior corregiría los errores aleatorios, mientras que el código Reed-Solomon corregiría los errores en ráfagas. Los códigos concatenados pueden conseguir tasas de error muy bajas en condiciones de relaciones señal-ruido débiles, reduciendo así las necesidades de potencia de transmisión, las posibilidades de interferencia y los costes del equipo. Además, cuando estos códigos no son capaces de corregir los errores satisfactoriamente, sí pueden detectar con muy alta probabilidad fallos de la codificación de manera que pueda invocarse la diversidad de trayectos o alguna otra forma de reencaminamiento para mejorar el canal. La codificación concatenada es particularmente adecuada para utilización en canales interiores. Se ha demostrado que funciona de manera muy fiable en condiciones de desvanecimiento Rician. Otros esquemas de señalización pueden conseguir resultados similares.

Para las frecuencias más elevadas el diseño del sistema puede estar sujeto a limitaciones algo diferentes de las que se aplican en ondas decimétricas. Pueden aquí necesitarse esquemas de señalización que toleren mejor el ruido de fase y las desviaciones de frecuencia, dado el coste actual de conseguir osciladores estables. También hay que funcionar con velocidades de desvanecimiento más altas. En estas frecuencias superiores es posible utilizar esquemas de modulación que requieren más anchura de banda pero proporcionan mayor estabilidad y mejores características de error. Ejemplos son las técnicas basadas en la modulación por desplazamiento de frecuencia M -aria (de M niveles) y en la fluctuación. También puede ser deseable la diversidad. Si se utiliza espectro ensanchado es posible emplear la técnica de saltos de frecuencia lentos o la de secuencia directa, dependiendo de la aplicación. Se considera que los códigos Reed-Solomon serán apropiados para determinar las secuencias de salto, así como para utilizarse en la codificación de detección y corrección de errores aunque es posible hallar otras soluciones.

En el desarrollo de ciertos sistemas RLAN interiores hay que afrontar el reto de eliminar la necesidad de conversión de velocidad en las interfaces con la red principal, si dichas interfaces existen. Cuando las RLAN se emplean para interfundar con la RDSI-BA, pueden ser diseñadas para operar directamente a las velocidades de la RDSI-BA con un comportamiento comparable al que se obtiene en los enlaces de fibra óptica. La velocidad de datos de 155,52 Mbit/s requiere una gran anchura de banda de transmisión, lo cual a su vez sugiere que tales sistemas deben operar en las bandas de frecuencias superiores. Además, dada la breve duración de los símbolos transmitidos, la transmisión de datos a una velocidad tan extremadamente alta exige una potencia de transmisión más elevada capaz de mantener energías de bit suficientes para conseguir tasas de error aceptablemente reducidas.

La velocidad de datos así como la estrategia de acceso múltiple están fuertemente influidas por las consideraciones tecnológicas. Entre ellas se encuentra el coste relativo actual de generar portadoras en ondas milimétricas (30-60 GHz), lo cual puede tender a disuadir de utilizar el acceso múltiple por división en frecuencia (AMDF).

En un caso particular, se encontró que una versión no controlada en potencia de la AMDC, con baja ganancia de procesamiento (10 veces) era menos eficaz que un protocolo basado en el acceso múltiple por división en tiempo (AMDT).

Los resultados de la simulación demuestran que un sistema AMDT con reserva, en el cual los usuarios solicitan los intervalos de tiempo de transmisión por anticipado, puede alcanzar una calidad de funcionamiento aceptable. Se requiere alguna forma de reserva o de atribución adaptativa de los intervalos de tiempo en el protocolo para aprovecharse de las variaciones de velocidad binaria que presentan los terminales multimédios y ajustarse a las exigencias de retardo.

La interrogación secuencial puede ser una solución atractiva, puesto que se espera tener un pequeño número de terminales dentro de la célula.

Otra técnica que podría simplificar el soporte físico es el empleo del dúplex por distribución en el tiempo (DDT) en vez del dúplex por división de frecuencia (DDF). En el DDT solamente se necesita una portadora para el tráfico de entrada y de salida. El DDT puede ser atractivo en el caso de tráfico asimétrico, en el que el tráfico de entrada es una pequeña fracción del tráfico de salida.

A velocidades de datos más elevadas y bandas de frecuencias superiores, la degradación por interferencia entre símbolos (ISI) relacionada con las condiciones multitrajecto probablemente será motivo suficiente para que se necesite utilizar un ecualizador adaptativo con codificación y diversidad si se desea una buena calidad de funcionamiento.

2.2 Ejemplos de RLAN

Cierto número de bandas de frecuencias se están utilizando o examinando para aplicaciones RLAN, entre ellas las bandas ICM (aplicaciones industriales, científicas y médicas). El Cuadro 1 indica posibles bandas de frecuencias a elegir. El Cuadro 3 proporciona información adicional relativa a algunas bandas de frecuencias típicas de RLAN. Se incluye también un ejemplo concreto de una norma en progreso, la HIPERLAN. HIPERLAN es una norma del Instituto Europeo de Normalización de las Telecomunicaciones (ETSI), actualmente en fase de preparación para las LAN radioeléctricas de alta prestación que funcionan en bandas de frecuencias de 5,2 y 17,2 GHz. Cumplirá con la Norma ISO 8802.

El Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos (IEEE) ha preparado normas de LAN, tales como las IEEE 802.3 CSMA/CD o «Ethernet», la IEEE 802.4 Token Bus, la IEEE 802.5 Token Ring y la IEEE 802.6 Metropolitan access media. Además, está preparando actualmente la IEEE 802.11 para redes de área local inalámbricas (WLAN) con velocidades de datos de hasta 2 Mbit/s, incluyendo consideración de las funciones combinadas de conmutación (PBX) y LAN.

En el Apéndice 1 al Anexo 1 se examinan las características de las aplicaciones RLAN con referencia a la norma IEEE 802.11/92-109.

En el Apéndice 3 al Anexo 1 se presentan y analizan algunos aspectos fundamentales de las RLAN interiores en la gama de frecuencias 20-60 GHz.

2.2.1 Sistemas de telecomunicaciones sin cordón con aspectos de RLAN

Dos ejemplos adicionales de sistemas que utilizan RLAN concebidos inicialmente o de modo primordial para servicio telefónico sin cordones son los siguientes:

- el sistema telefónico digital sin cordón mejorado (DECT – digital enhanced cordless telephone), que funciona en la banda 1 880-1 900 MHz en Europa y que sustenta una red de área local sin hilos (CLAN – cordless local area network) capaz de comunicar a velocidades binarias de hasta 256 kbit/s. Este sistema se denomina sistema 5 en la Recomendación UIT-R M.1033, Anexo 1;
- el sistema de teléfono de mano personal (PHS – personal handyphone system) en 1 895-1 918 MHz que tiene aplicaciones a RLAN en las esferas de automatización de oficinas y de fábricas. Este sistema se denomina sistema 6 en la Recomendación UIT-R M.1033, Anexo 1.

2.2.2 Topología de las RLAN

Pueden considerarse al menos dos tipos de topología de red RLAN:

- la que emplea un sistema físicamente centralizado,
- la que emplea un sistema de control no centralizado.

Ambas se ilustran en la Fig. 1. En la Fig. 2 se presentan ejemplos de sistemas que utilizan diferentes topologías (Figs. 2a a 2c).

CUADRO 3

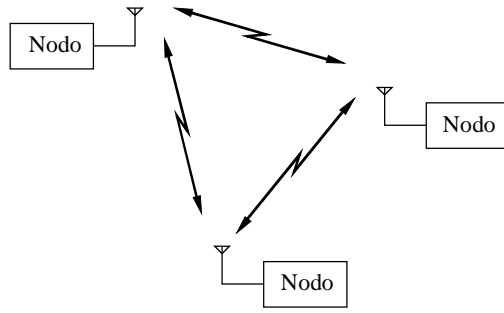
Ejemplos de características de RLAN

Banda de frecuencias	Esquema de modulación y/o acceso	Velocidad de datos (típica)	Aplicación	Alcance ⁽¹⁾ (típico)
403-470 MHz 806-869 MHz 946 MHz	MDF de 4 niveles	19,2 kbit/s	Equipo de abonado ARDIS ⁽²⁾	Zona de servicio ARDIS
850 MHz (celular)	MDF	14,4 kbit/s 9,6 kbit/s (Fax)	Comunicación personal por telefonía celular	Zona de servicio telefónico celular
902-928 MHz	Salto de frecuencia (MDF)	64-500 kbit/s	Redes privadas y áreas con enlaces de datos punto a punto	4 km
	Secuencia directa	2 Mbit/s 215 kbit/s a 1,0 Mbit/s	LAN portátil LAN Ethernet	250 m 100-1 000 m
	AMDC/AMDT de espectro ensanchado	Velocidad de línea 1,536 Mbit/s	Redes de comunicaciones personales	450-5 000 m ²
	Secuencia directa con selección de canal de frecuencia 1,5 MHz	60 kbit/s	Lectura por código de barras	120-210 m
	Secuencia directa Código de modulación por desplazamiento de fase (MDP) reticular	5,7 Mbit/s	LAN Ethernet (IEEE 802.3)	80 m
2,4-2,4835 GHz 2,4-2,485 GHz (transceptor a centro) 5,745-5,830 GHz (centro a transceptor)	AMDC, Secuencia directa salto de frecuencia Secuencia directa código reticular MDP-16	1 Mbit/s (aproximadamente) 5,7 Mbit/s	— LAN Ethernet (IEEE 802.3)	— 80 m
5,2 GHz	Modulación por desplazamiento mínimo con filtro gaussiano (GMSK) (BT = 0,4)	24 Mbit/s Velocidad de datos en bruto	RLAN de alta prestación (HIPERLAN)	50 m
17,2 GHz	Especificación en curso	Especificación en curso	RLAN de alta prestación (HIPERLAN)	Especificación en curso

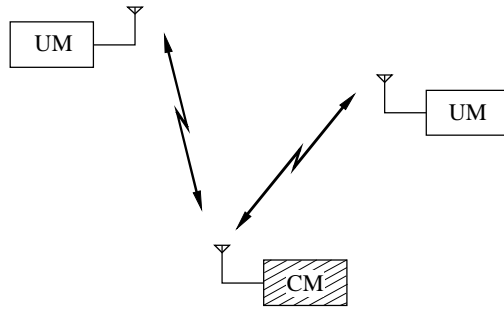
(1) La gama de funcionamiento de los sistemas RLAN puede variar fuertemente dependiendo de la velocidad de datos, la frecuencia, la potencia en RF, la antena y el entorno de la propagación.

(2) ARDIS: Servicio de información avanzado sobre datos radioeléctricos.

FIGURA 1
Topologías de RLAN



a) Sistema no centralizado

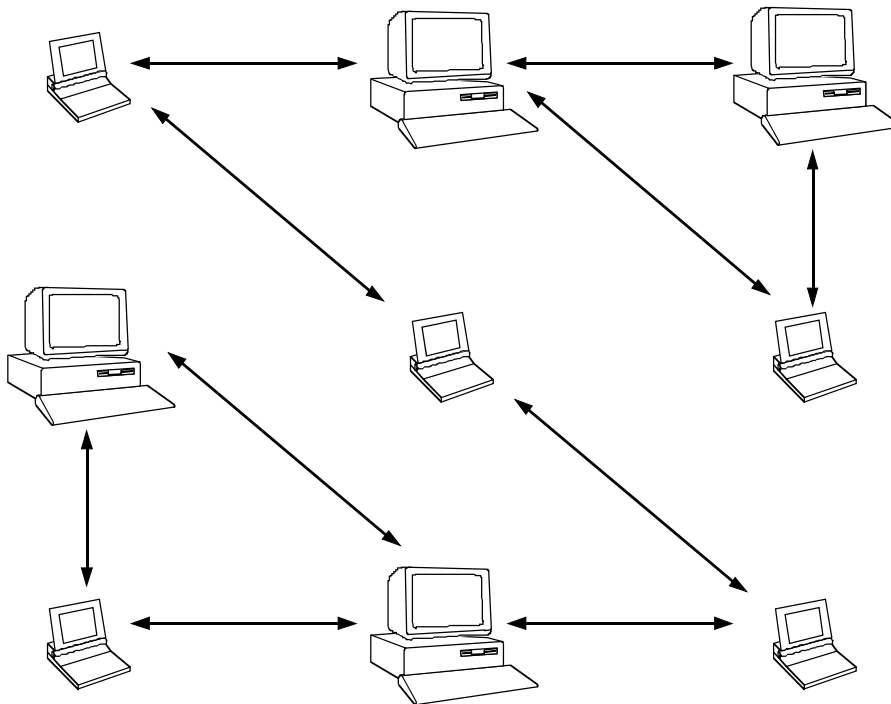


b) Sistema centralizado

CM: módulo de control
UM: módulo de usuario

1244-01

FIGURA 2a
Ejemplo de una RLAN no centralizada



1244-02a

FIGURA 2b
Ejemplo de una RLAN de control centralizado

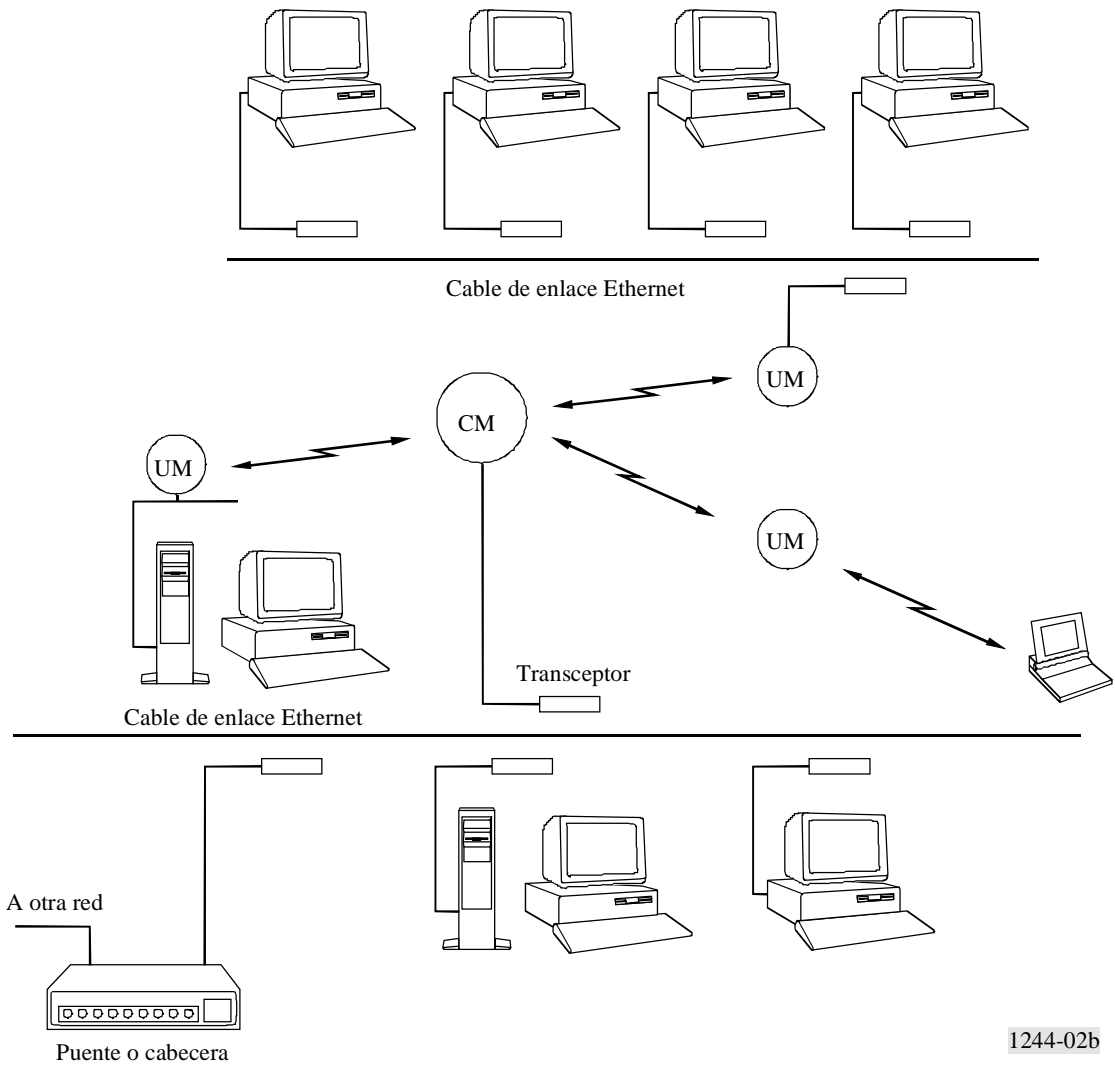
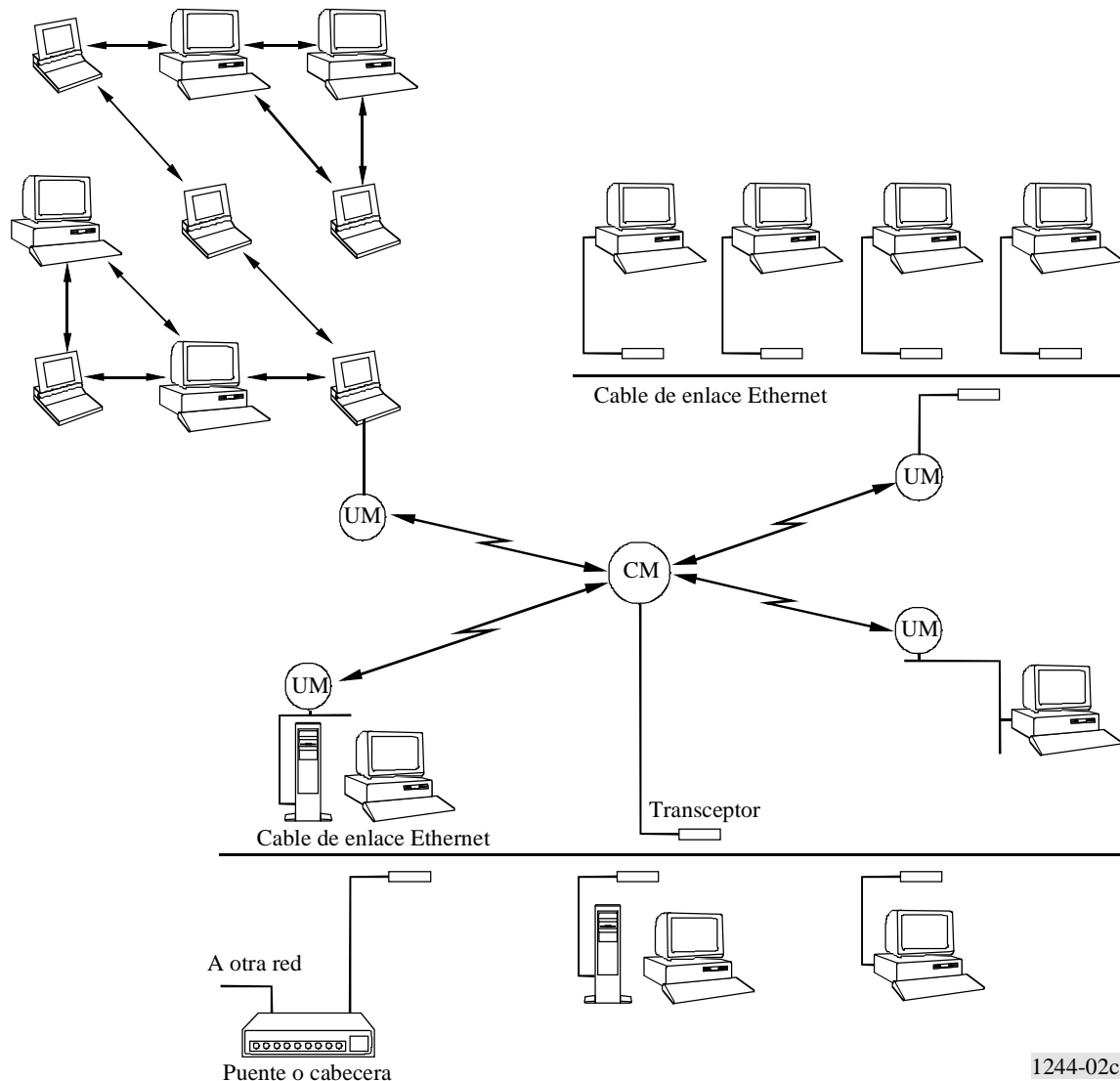


FIGURA 2c
Ejemplo de RLAN comprendiendo una microcélula de control centralizado con conexión a una red no centralizada

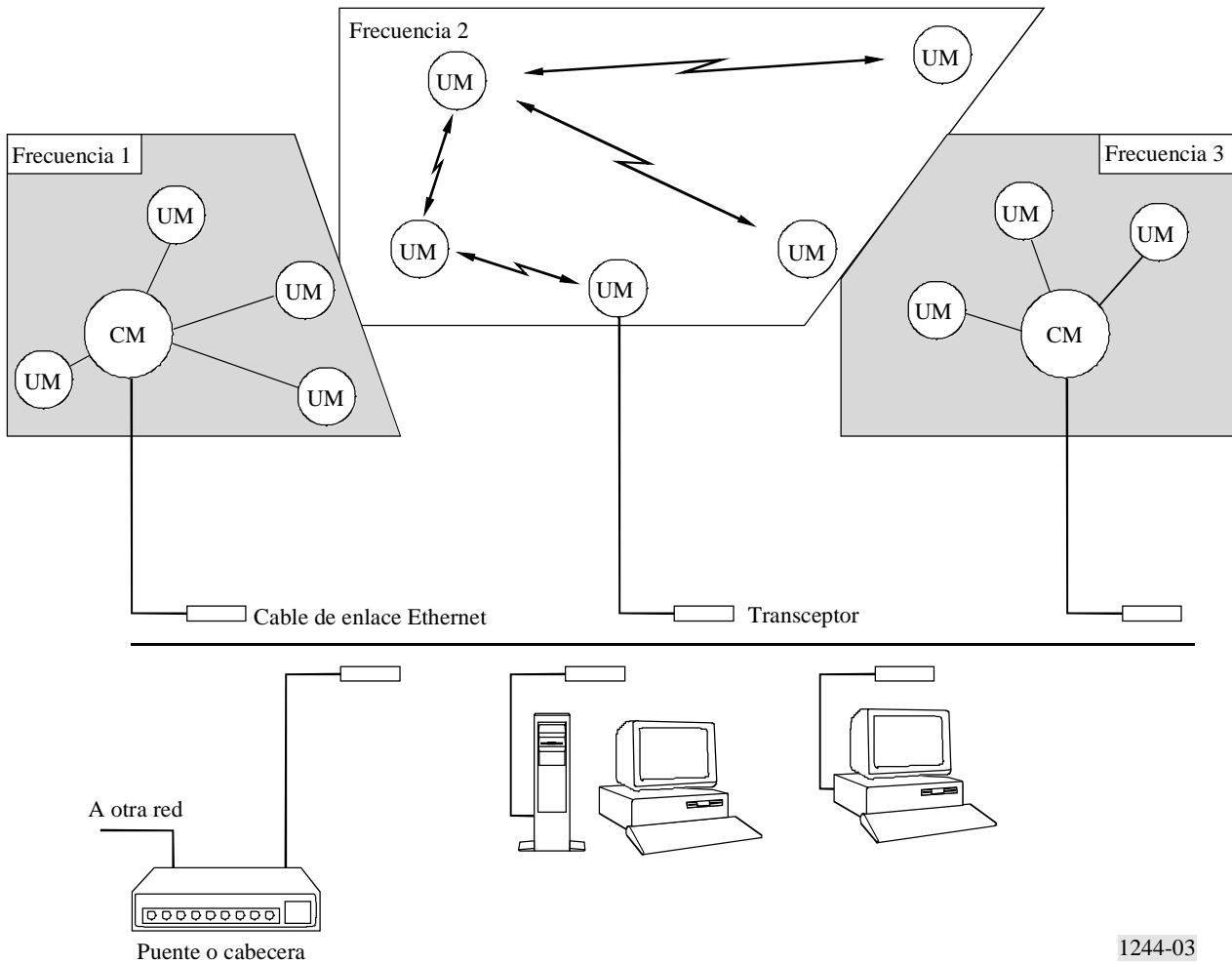


1244-02c

La RLAN centralizada consta de módulos de control (CM) y módulos de usuario (UM). Los límites de la red vienen definidos por las zonas de cobertura (llamadas microcélulas) de los diferentes módulos de control. La superficie cubierta por una microcélula depende del número y del tipo de obstáculos interpuestos entre el CM y sus UM asociados, y típicamente está comprendido entre 450 y 5 000 m². Los UM no comunican directamente entre sí en los sistemas descritos hasta ahora, aunque no hay motivo para que el CM no pueda asignar un circuito radioeléctrico a varios UM para que se comuniquen directamente, por ejemplo cuando cursan una transmisión punto a multipunto limitada en tiempo. Los CM controlan el flujo de información entre los UM y entre éstos y cualquier interfaz con la red externa. Los UM suelen estar situados sobre mesas o tabiques y están conectados al equipo terminal del usuario final. Un solo UM puede ser capaz de atender a varios dispositivos de LAN, tales como las estaciones de trabajo PC.

Si se necesita un número de dispositivos LAN suficientemente grande, o si por razones de explotación hay que disponer microcélulas múltiples, éstas pueden interconectarse a través de un enlace de comunicaciones. La Fig. 3 presenta un ejemplo de una red de microcélulas.

FIGURA 3
Ejemplo de sistemas de microcélulas



1244-03

En un sistema AMDT no adaptativo cada microcélula comprendida en una red de microcélulas debe funcionar en un canal de frecuencia diferente, a menos que los CM estén separados por una distancia de reutilización adecuada. La distancia depende de la potencia transmitida, del número y el tipo de obstrucciones en los alrededores, del método de modulación y de la calidad de funcionamiento requerida.

Puede apreciarse que un sistema RLAN de control centralizado requiere una infraestructura (los CM), razón por la cual dos UM que se encuentren dentro del alcance radioeléctrico mutuo no pueden establecer una red salvo que ambos tengan acceso a un CM. Esto implica la planificación de la red sobre bases individuales y que existan dos clases de módulos (CM y UM).

Como alternativa se presenta el sistema RLAN de control no centralizado. Éste no requiere unos CM especializados, lo que es ventajoso por aumentar la fiabilidad, evitar la necesidad de una planificación de red individual y dar mayor flexibilidad en el establecimiento de redes lógicas. Los usuarios comunican directamente entre sí dentro de una zona determinada, utilizando un protocolo de comunicación distribuido. Puede existir comunicación con uno o varios nodos al mismo tiempo, y en algunas redes será posible la utilización simultánea de varios canales. Pueden crearse redes con carácter ad hoc si hay dos usuarios que se encuentren dentro del alcance radioeléctrico y deseen colaborar. Un nodo puede desplazarse libremente dentro de una red o desde una red a otra. Ciertos nodos pueden ser provistos de equipo suplementario para permitirles interfuncionar con otras redes cableadas o inalámbricas y ofrecer esta facilidad al resto de la red inalámbrica.

2.3 Interfaz con las LAN cableadas e interfaz con la red pública de datos (RPD)

Las RLAN pueden relacionarse con LAN internacionales cableadas normales o con otras redes en fronteras de servicio definidas dentro de la pila de protocolos OSI. Para garantizar la compatibilidad deben elegirse cuidadosamente los protocolos de interfaz correctos en cada capa del modelo. Las unidades de radio individuales pueden funcionar como puentes, encaminadores o de otro modo diferente.

Pueden también interconectarse las RLAN con la RPD, tema que requiere ulteriores estudios.

2.4 Exigencias de calidad de funcionamiento

Las exigencias de calidad de funcionamiento para las RLAN deben referirse básicamente al concepto de diseño de cada usuario de LAN. No obstante, en la Norma IEEE 802.11 se da cierta orientación para los diseñadores. En la petición de autorización de proyecto (PAR – project authorization request) se especifica un objetivo menor de $4 \times 10^{-5}/512$ bytes en cuanto a la tasa de pérdidas de paquete para sistemas de hasta 2 Mbit/s. Además se especifica que la duración de las interrupciones ha de ser menor del 0,1%.

La interrupción de sistemas en las RLAN a menudo se debe a los efectos de sombra debidos a factores artificiales. El movimiento humano dentro de una habitación puede ser una causa esencial del ensombrecimiento. Concretamente, en un sistema de alta frecuencia el ensombrecimiento del trayecto de visibilidad directa ocasiona una brusca y profunda caída de la potencia recibida. Por lo tanto, con objeto de satisfacer la exigencia anterior es necesario investigar cuán a menudo se produce ese ensombrecimiento profundo en un entorno físico determinado.

Debe estudiarse más en detalle la definición de la «duración de interrupción» en las RLAN. En el caso de la red pública representada por un trayecto ficticio de referencia (TFR) definido en la Recomendación UIT-T G.826, la duración de interrupción generalmente implica varios segundos con muchos errores (SME). Sin embargo, puede necesitarse una interpretación diferente de «duración de interrupción» para las señales intermitentes de tipo paquete. Otro factor a considerar en cuanto al funcionamiento es la calidad de servicio (QoS – quality of service). Los diseñadores de sistemas deben definir la QoS de acuerdo con las exigencias de los usuarios de LAN.

En el caso de las señales ATM, la Comisión de Estudio 13 de Normalización de las Telecomunicaciones estudia los objetivos de calidad de funcionamiento basados en los parámetros de transporte de las células. Sus resultados se han resumido en la Recomendación UIT-T I.356, que puede proporcionar una referencia a los diseñadores de RLAN.

2.5 Compatibilidad por razones de interferencia

La posibilidad de compartición de frecuencia entre los sistemas fijos y las RLAN que incluyen nodos destrabados y estructura dinámica es un tema importante que requiere un estudio mucho más detenido. Entre las consideraciones necesarias figuran la interferencia intrared e interredes (dentro de una RLAN y entre varias RLAN) así como la interferencia intersistemas (entre las RLAN y otros servicios radioeléctricos atribuidos a título primario). Si el espectro de la RLAN está atribuido a título primario, el problema de la interferencia se reduce a los casos de intrared e interredes. En el Apéndice 2 se dan ejemplos concretos que abarcan los cálculos de la interferencia intercélulas e intersistemas.

Otro aspecto más a considerar cuando las RLAN funcionan en la banda ICM es la interferencia acumulativa máxima que puede tolerar la RLAN procedente del equipo ICM.

Una administración está examinando la posible aplicación de un protocolo para la compartición de bandas entre las RLAN, el cual requiere especificar sólo un número mínimo de parámetros técnicos. Cada fabricante o proveedor de servicio puede establecer RLAN con diferentes tecnologías siempre que se siga ese protocolo.

3 Resumen

Este Anexo 1 proporciona una visión general de algunos de los aspectos de propagación radioeléctrica, codificación y modulación asociados con las RLAN. Si bien pueden prestarse algunos de los servicios deseados con velocidades de transmisión en la gama de 100 kbit/s, se espera que las demandas futuras exigirán en la interfaz de aplicación velocidades de transmisión que alcancen la velocidad primaria total RDSI-BA de 155,52 Mbit/s. Esto es más adecuado para las bandas de frecuencias superiores.

El entorno de propagación interior, en particular, no ha sido bien caracterizado hasta hace muy poco, especialmente en frecuencias superiores a 2 GHz. El resultado ha sido una tendencia a sobrediseñar algunos sistemas RLAN en cuanto a la potencia de transmisión, contribuyendo así a aumentar los problemas de interferencias. Ciertas interfaces radioeléctricas susceptibles de consideración para los nuevos sistemas ganarán eficacia mediante el control de la potencia de transmisión, ya sea administrado centralmente o de manera distribuida.

Una de las principales cuestiones para las aplicaciones RLAN es la elección de la banda de frecuencias. Ésta depende de las siguientes condiciones:

- aparecen varias tecnologías de fabricación de equipo radioeléctrico compacto y de bajo coste que son más económicas en las gamas de frecuencia superiores;
- el control de la propagación, que es esencial para la utilización eficaz del espectro, depende de antenas direccionales pequeñas con diagramas de radiación predecibles en los sistemas fijos, y en los sistemas destrabados de un control adaptativo dinámico de la división de canales, las antenas y la potencia;
- la anchura de banda de canal disponible que se necesita para soportar velocidades de datos instantáneas muy elevadas en modo paquete;
- los requisitos para la compartición de banda con otros sistemas y servicios, en caso de que existan;
- el cuidado de la sanidad y la seguridad, que exige una baja densidad de radiación.

Además, se necesita mayor información y nuevos estudios sobre las exigencias de calidad posibles en cuanto a:

- retardo máximo del sistema y varianza del retardo para servicios sujetos a temporización;
- tasa de errores de bits para estadísticas de propagación determinadas;
- probabilidad de pérdida de paquetes para estructuras y protocolos de paquete especificados;
- procesamiento de las colisiones;
- caudal;
- tasas de llamada fructuosa/infructuosa.

APÉNDICE 1 AL ANEXO 1

Caracterización de las aplicaciones RLAN

1 Introducción

El diseño de redes como las RDSI-BA y PCS para sustentar todas las aplicaciones imaginadas requiere una comprensión profunda de las aplicaciones en general. Una aplicación puede caracterizarse por los siguientes aspectos:

1.1 Tipos de información

En general, la información a comunicar puede clasificarse como temporizada (sincronización entre las diversas partes de la información) o no temporizada. La información temporizada típica es la de vídeo y audio, mientras que la no temporizada incluye imágenes fijas, gráficos y texto. Además, una aplicación puede generalmente incluir tanto informaciones temporizadas como no temporizadas.

1.2 Exigencias de la entrega

Las aplicaciones pueden también clasificarse según sus exigencias respecto a la entrega de información, como aplicaciones de tiempo real o de tiempo no real. Las primeras requieren anchura de banda suficiente, mientras que las últimas necesitan suficiente capacidad de almacenamiento. Por ejemplo, la videoconferencia y la consulta de imágenes son ejemplos típicos de aplicaciones en tiempo real, y en cambio la extracción de películas digitalizadas y de correo electrónico pertenece a las aplicaciones en tiempo no real. En general, los requisitos de comunicación para admitir una aplicación dependen tanto de los tipos de información como de las exigencias de entrega de dicha aplicación.

Otro tipo de aplicación que debe considerarse es la radiodifusión interactiva. En esta aplicación se requiere un enlace de «retorno» así como un enlace de difusión. El canal de retorno suele ser de velocidad binaria relativamente baja, menor que los 64 kbit/s. El enlace de retorno puede realizarse de varias maneras, por ejemplo, como parte integrante de la RLAN o mecanismo de entrega de radiodifusión o bien como enlace o RLAN separado. Este asunto requiere ulterior estudio y lo está también examinando el Grupo de Trabajo 11C de Radiocomunicaciones dentro de la Cuestión UIT-R 232/11.

1.3 Simetría de la conexión

Las necesidades de comunicación de una aplicación dependen de la simetría de sus conexiones; muchas redes están diseñadas para aprovecharse de la (a)simetría de las aplicaciones que pretenden sustentar. Por ejemplo, la red de televisión por cable está concebida como red de radiodifusión unidireccional, generalmente sin conmutador alguno.

1.4 El hombre frente al dispositivo informático

En general, los participantes en una aplicación pueden ser usuarios humanos (a través de un terminal de usuario) o bien dispositivos procesadores de información. Por ejemplo, una llamada vocal es una aplicación de usuario, mientras que el acceso de un usuario a una base de datos distante es una aplicación usuario-dispositivo, y las computaciones realizadas por dos supercomputadores en paralelo para resolver el mismo problema comunicándose los resultados intermedios se consideran como una aplicación dispositivo a dispositivo. La colaboración en tiempo real es una aplicación de usuario, mientras que la colaboración en tiempo no real es una aplicación usuario a dispositivo.

1.5 Red de acceso

La localización de los usuarios que se comunican; los usuarios no están limitados a localizaciones fijas en las que termina la red de acceso alámbrica.

1.6 Movilidad

La movilidad es un medio de simplificar el proceso de conexión con cualquier entidad deseada dondequiera que ésta se encuentre dentro de la red. El concepto de movilidad puede aplicarse a una persona, a un terminal y a un servicio.

2 Caracterización del tráfico y las comunicaciones

Una aplicación puede estar descrita por sus características de tráfico y los requisitos de comunicaciones correspondientes. Las características de tráfico unidas a los requisitos de comunicación pertinentes determinan las demandas de recursos de red (anchura de banda y almacenamiento) así como los criterios para el diseño de los protocolos de la red.

2.1 Características de tráfico

Las características de tráfico de una aplicación pueden venir especificadas por sus procesos de generación de tráfico (o configuración de tráfico) como sucesión de paquetes generados en instantes arbitrarios. Este proceso de generación admite representación por un modelo de fuente todo-nada. La configuración de tráfico puede caracterizarse por dos procesos estocásticos:

- proceso de generación de paquetes (o proceso de llegada de paquetes),
- proceso de distribución de longitud de paquete.

2.1.1 Configuraciones de tráfico:

- Tráfico periódico a intervalos regulares para aplicaciones en tiempo real. Por ejemplo, el audio por modulación por impulsos codificados (MIC) convencional a 64 kbit/s genera muestras a intervalos de 125 μ s, con 8 bits por cada muestra.
- Tráfico en ráfagas generado en instantes aleatorios separados por intervalos de silencio de duración aleatoria. Las comunicaciones de datos convencionales se producen en ráfagas porque suelen ser de transferencia de ficheros, con lógica distante. El carácter impredecible del tráfico de ráfagas, especialmente en los instantes en los que se genera el paquete, es la principal amenaza que hay que abordar al diseñar una red con conmutación de paquetes.

Puesto que las aplicaciones multimedios tienen a la vez tráfico periódico y en ráfagas, la necesidad de cursar ambas clases de tráfico, con la calidad de funcionamiento garantizada de una red integrada única, se ha convertido en el reto más importante.

Clasificación de aplicaciones según la Norma IEEE P802.11/92-112 (septiembre de 1992)		
Requisitos de la entrega	Tipos de información	
	Temporizados	No temporizados
En tiempo real	Videoconferencia Vídeo a la carta	Consulta de imágenes Interactivo Informático
En tiempo no real	Correo de vídeo	Correo electrónico Transferencia de ficheros

2.2 Requisitos de la comunicación

Los requisitos de la comunicación se dividen en tres categorías: anchura de banda, retardo, error.

2.2.1 Anchura de banda

La anchura de banda requerida por una aplicación depende del tipo de información y las necesidades de distribución.

Para aplicaciones de tiempo real, la anchura de banda es la cantidad de información que genera la aplicación por unidad de tiempo. Esta anchura de banda necesaria puede ser constante o variable, lo que califica a las aplicaciones como de velocidad binaria constante o velocidad binaria variable, respectivamente. Por esto actualmente las aplicaciones se codifican para satisfacer las exigencias de las redes existentes, mientras que en un caso más ideal las redes deberían diseñarse con miras a sustentar aplicaciones actuales y futuras con necesidades diversas.

Para las aplicaciones en tiempo no real, la anchura de banda necesaria es función del tiempo de respuesta requerido (retardo total permitido antes de transferir la información completa) y de la cantidad de información que se comunique.

La anchura de banda proporcionada por la red debe siempre sobrepasar la anchura de banda que necesiten las aplicaciones. Si la anchura de banda es insuficiente se necesitará un almacenamiento en la red para evitar la pérdida de información, lo que a su vez introduce un retardo por almacenamiento y puede introducir errores.

El protocolo de la red puede diseñarse de modo que ante todo exija que cualquier aplicación nueva sea negociada con la red para conseguir anchura de banda antes de que la red establezca una conexión. En segundo lugar, el protocolo podría garantizar la anchura de banda para la nueva aplicación una vez que esté aceptada por la red. Ello implicará dos criterios para el protocolo: está orientado a la conexión y se basa en la reserva.

Además del requisito de distribución y de los tipos de información de la aplicación, la necesidad de anchura de banda total en una red inalámbrica depende del número de usuarios de la red, del número de participantes en cada aplicación (punto a punto o punto a multipunto) así como de los tipos de conexión de cada aplicación (es decir, si es simétrica o asimétrica).

Requisitos de anchura de banda según la Norma IEEE P802.11/92-112 (septiembre de 1992)		
Aplicaciones multimedios en tiempo real	Ejemplos	Anchura de banda (con compresión)
Información temporizada	Voz	8, 16, 32 kbit/s
	Estéreo de calidad CD (MPEG ⁽¹⁾)	256 kbit/s
	Vídeo MPEG (calidad VCR)	1,5 Mbit/s
	Televisión de alta definición (TVAD)	20 Mbit/s
Información no temporizada (tiempo de respuesta = 10 a 40 ms)	Corrección de textos (10 kbytes)	2-8 Mbit/s
	Imágenes en color JPEG ⁽²⁾ (1 Mbytes)	4-20 Mbit/s (40 ms) 15-75 Mbit/s (10 ms)

(1) La norma del grupo de expertos sobre imágenes en movimiento (MPEG) de la Organización Internacional de Unificación de Normas (ISO) está concebida como protocolo de dirección única que proporciona compresión audio/vídeo, utilizando diversas resoluciones espacial y temporal, hasta una velocidad de 1,92 Mbit/s.

(2) La norma del grupo mixto de expertos en fotografía elaborada conjuntamente por la ISO y el antiguo CCITT, tiene la finalidad de sustentar una amplia gama de relaciones de compresión para imágenes fijas en color y en escala de grises.

2.2.2 Retardo

El retardo de la red en una red con conmutación de paquetes proviene de una insuficiente anchura de banda instantánea. Si la anchura de banda es insuficiente en cualquier parte de la red, se necesita almacenamiento (a menos que se permita la pérdida de información), proceso que introduce un retardo de magnitud aleatoria en la información que se entrega.

Para la entrega en tiempo real de información temporizada, los requisitos pertinentes son limitaciones absolutas del retardo y de la fluctuación del retardo. El retardo absoluto es importante para la comunicación en tiempo real como la videoconferencia o la conversación telefónica convencional puesto que se espera tener contestación dentro de un cierto periodo de tiempo para que se establezca una conversación natural. La fluctuación del retardo es la varianza del retardo absoluto producido de paquete a paquete para el mismo tren de información.

Para la información no temporizada o para la entrega en tiempo no real de información temporizada, el principal requisito al respecto es el retardo absoluto, que debe ser inferior al tiempo de respuesta requerido por la aplicación.

2.2.3 Error

La conmutación de paquetes, a causa de su naturaleza estadística en la multiplexación y conmutación, puede introducir un retardo aleatorio cuando no se dispone de anchura de banda instantánea en ciertas partes de la red y la información ha de ser almacenada temporalmente en memorias tampón. Pueden producirse dos tipos de error. En primer lugar, la memoria tampón puede ser insuficiente y tener que desecharse información. En segundo lugar, en el caso de aplicaciones en tiempo real que transmitan información temporizada, el retardo introducido por el almacenamiento de esa información puede sobrepasar la limitación impuesta a la fluctuación del retardo.

En el entorno inalámbrico los canales de comunicación añaden otra fuente de error, debido a las condiciones de ruido y de propagación.

3 Requisitos del protocolo inalámbrico

Las características de tráfico de numerosas aplicaciones multimediales comprenden ambos tipos de tráfico, periódico y en ráfagas. Para garantizar la calidad de servicio (QoS) de estas aplicaciones, debe haber suficiente anchura de banda ya sea para soportar las velocidades de datos o para satisfacer las limitaciones del tiempo de respuesta. Esto implica que puede necesitarse un protocolo orientado a la conexión para gestionar el establecimiento de la conexión y el consumo de anchura de banda de cada conexión. Un protocolo de control de acceso al medio (MAC) mediante competición, como son los tipos ALOHA y CSMA, puede no ser intrínsecamente capaz de soportar aquellas aplicaciones particulares puesto que no cuenta con mecanismos incorporados para la reserva de anchura de banda.

Los protocolos MAC basados en competición tal vez no sean aplicables universalmente para soportar las aplicaciones multimediales, pero tanto los MAC con conexión como los basados en la reserva son un terreno fértil para ulteriores investigaciones. Se requiere una descripción matemática completa de la manera en que las características de tráfico y las necesidades de comunicaciones conexas (anchura de banda, retardo y error) se traducen en exigencias de la red (anchura de banda y memorias tampón).

Los requisitos de comunicación de una aplicación (o de cada tren de información comprendido en la aplicación) pueden clasificarse en macrorrequisitos y microrrequisitos.

Los macrorrequisitos se especifican durante la fase de establecimiento de la conexión y caracterizan las necesidades totales de transferencia de información de la aplicación, expresadas por los parámetros siguientes:

- anchura de banda (media, máxima, etc.),
- retardo (retardo absoluto, retardo de transmisión),
- tasa de error,
- duración de la sesión,
- velocidad de transacción,
- transferencia de información de transacción,
- transferencia de información total.

Los microrrequisitos que son similares a la QoS garantizada por la red caracterizan las necesidades de transacción de mensajes individuales de una aplicación, lo que incluye uno o varios de los parámetros siguientes:

- retardo absoluto,
- varianzas de retardo,
- error (medio y en ráfagas).

Los microrrequisitos deben estar garantizados implícitamente por la red una vez que se concede la conexión.

APÉNDICE 2

AL ANEXO 1

Ejemplos de cálculos de interferencia

Se examina la posibilidad de compartición entre múltiples RLAN y entre RLAN de 18 GHz y otros sistemas fijos o sistemas fijos por satélite.

1 Coexistencia de múltiples RLAN

En una macrocélula en la que no existe bloqueo de la visibilidad directa (LOS), los módulos de control que utilizan el mismo canal deben estar separados al menos por 15 veces la distancia entre el módulo de control y el módulo de usuario. Por ejemplo, para un radio CM-UM de 12 m, esta separación es por lo menos de 180 m.

En los casos en que no hay LOS, los CM cocanal necesitan estar separados por una distancia de alrededor de cinco veces la distancia del CM al más lejano UM en una u otra microcélula.

2 Coexistencia de RLAN con sistemas fijos punto a multipunto (P-MP)

Se han supuesto los siguientes parámetros técnicos para evaluar la compatibilidad entre las RLAN y los sistemas fijos P-MP:

- p.i.r.e. de transmisión en la RLAN = 0 dBW;
- pérdida mínima en edificio = 6 dB;
- ganancia de las antenas direccionales en RLAN = 10 dBi;
- ganancia de las antenas direccionales en P-MP = 38 dBi;
- umbral del receptor = -115 dBW (RLAN y P-MP);
- niveles de interferencia por debajo del umbral del receptor = 10 dB;
- potencia de transmisión de la estación de usuario P-MP = -13 dBW;
- potencia de transmisión de la estación nodal P-MP = -13 dBW;
- frecuencia (utilizada para los cálculos de pérdida/distancia en el trayecto) = 18,8 GHz.

La distancia de separación predominante corresponde al caso de transmisión desde una estación nodal P-MP al receptor de la RLAN. Basado en los supuestos anteriores, la distancia de separación en el espacio libre es del orden de 115 km. La distancia se reduciría en la práctica tomando en consideración parámetros como la curvatura de la Tierra, las pérdidas atmosféricas y por obstrucciones.

3 Coexistencia de las RLAN con sistemas fijos punto a punto

Se entiende generalmente que las p.i.r.e. de los sistemas fijos punto a punto superan en más de 10 dB a las de las RLAN. Por tanto, la distancia de coordinación de ambos sistemas depende de la interferencia causada por un sistema punto a punto a una RLAN. El nivel de interferencia puede venir expresado por la siguiente fórmula:

$$E_f - \Delta G_{ff}(\theta) - L_s - L_b + \Delta G_{rl} < R_{nl} + R_{il} \quad (1)$$

donde:

E_f : p.i.r.e. de la estación punto a punto
= 28 a 37 dBW

$\Delta G_{ff}(\theta)$: atenuación de directividad de la antena de la estación punto a punto (antena parabólica con diámetro 2,4 m)

θ : el ángulo de separación medido desde el eje principal de la antena punto a punto y desde el eje principal de la antena RLAN

L_s : pérdida en el espacio libre

L_b : efecto de pantalla del edificio
= 6 a 40 dB

ΔG_{rl} : atenuación de directividad de la antena de la estación RLAN
= 5 dB

R_{nl} : nivel de ruido térmico del receptor RLAN
= -95,8 dBm

R_{il} : relación I/N requerida en el receptor RLAN
= -6 dB (véase la Recomendación UIT-R F.758)

Los resultados del cálculo se dan en el Cuadro 4 para valores de E_f de 27 y 37 dBW (basados en los valores máximos y mínimos del Cuadro 8 de la Recomendación F.758), utilizando θ y L_b como parámetros. En los edificios que utilizan materiales de aislamiento en las ventanas y las paredes puede esperarse un efecto de atenuación de 20 a 40 dB en la banda de frecuencias de 19 GHz. La Fig. 4 muestra la variación de la distancia de coordinación con los valores de θ indicados entre 0° y 90° para $E_f = 37$ dBW.

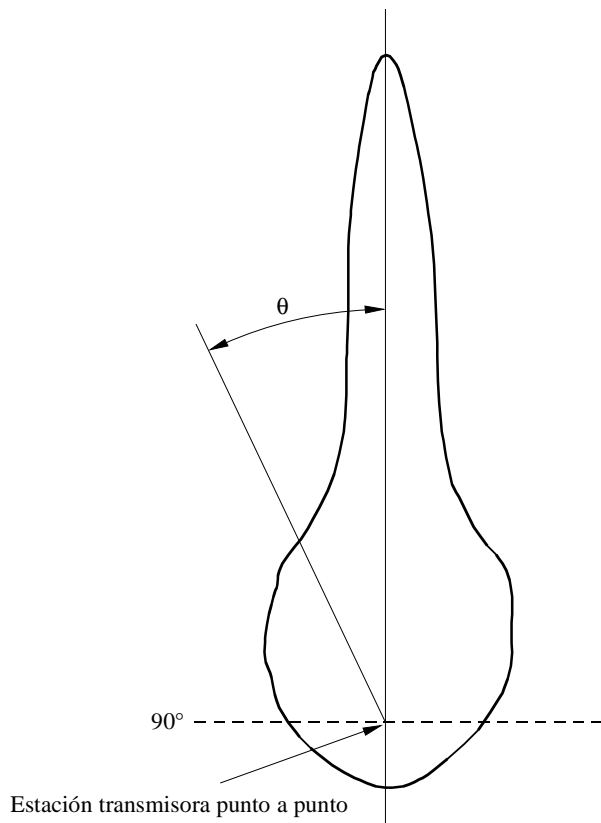
CUADRO 4

Distancia de coordinación entre sistemas fijos punto a punto y una RLAN

	$L_b = 6 \text{ dB}$		$L_b = 20 \text{ dB}$		$L_b = 40 \text{ dB}$	
	$\theta = 0^\circ$	$\theta = 90^\circ$	$\theta = 0^\circ$	$\theta = 90^\circ$	$\theta = 0^\circ$	$\theta = 90^\circ$
$E_f = 37 \text{ dBW}$	229 km	25 km	46 km	52 m	4,6 km	5 m
$E_f = 27 \text{ dBW}$	81 km	9 km	16 km	18 m	1,6 km	2 m

FIGURA 4

Distancia de coordinación con un sistema fijo punto a punto



Ángulo θ (grados)	Distancia de coordinación (km)
0	221,3
0,3	156,7
0,5	39,4
1	22,1
3	5,56
5	3,94
10	2,00
20	1,24
30	1,10
40	0,70
50	0,62
60	0,56
70	0,44
80	0,35
Más de 90	0,25

1244-04

Los resultados demuestran que, aun en el caso de máxima L_b , la coexistencia de ambos sistemas requiere una separación geográfica mayor de un 1 km. Considerando que las distancias de salto de muchos de los sistemas punto a punto no superan algunos kilómetros, no es factible realizar la compartición de frecuencias entre sistemas fijos punto a punto y RLAN en las bandas en torno de 19 GHz.

4 Coexistencia de RLAN con sistemas fijos por satélite

4.1 Compartición con las estaciones terrenas del SFS para enlaces descendentes

En este caso debe considerarse la interferencia causada por una estación RLAN a la estación terrena del servicio fijo por satélite (SFS). El nivel de la interferencia puede expresarse mediante la fórmula siguiente:

$$E_l - \Delta G_{tl} - L_s - L_b + G_{rst}(\varphi) |_{\theta = 0} - L_{fs} < R_{ns} + R_{is} \quad (2)$$

donde:

- E_l : p.i.r.e. de la estación RLAN
= 0 a 6 dBW
- ΔG_{tl} : atenuación de directividad de la antena de la estación RLAN
= 5 dB
- L_s : pérdida en el espacio libre
- L_b : efecto de pantalla del edificio
= 6 a 40 dB
- $G_{rst}(\varphi) |_{\theta = 0}$: ganancia de la antena de la estación terrena SFS
= -10 dBi para $\varphi > 36^\circ$
= $29 - 25 \log \varphi$ dBi para $1^\circ < \varphi < 36^\circ$
- φ : ángulo de elevación del enlace descendente SFS a partir de la dirección de la estación RLAN (véase la Fig. 5)
- θ : ángulo de acimut del enlace descendente SFS a partir de la dirección de la estación RLAN (véase la Fig. 5)
- L_{fs} : pérdida del alimentador de la estación terrena SFS
= 2 dB
- R_{ns} : nivel de ruido térmico del receptor de la estación terrena SFS
= -99,8 dBm
- R_{is} : relación I/N (interferencia/ruido) requerida en el receptor de la estación terrena SFS
= -6 dB (véase la Recomendación UIT-R F.758)

Los resultados del cálculo se dan en el Cuadro 5 para $E_l = -1$ dBW y 5 dBW, tomando como parámetros φ y L_b .

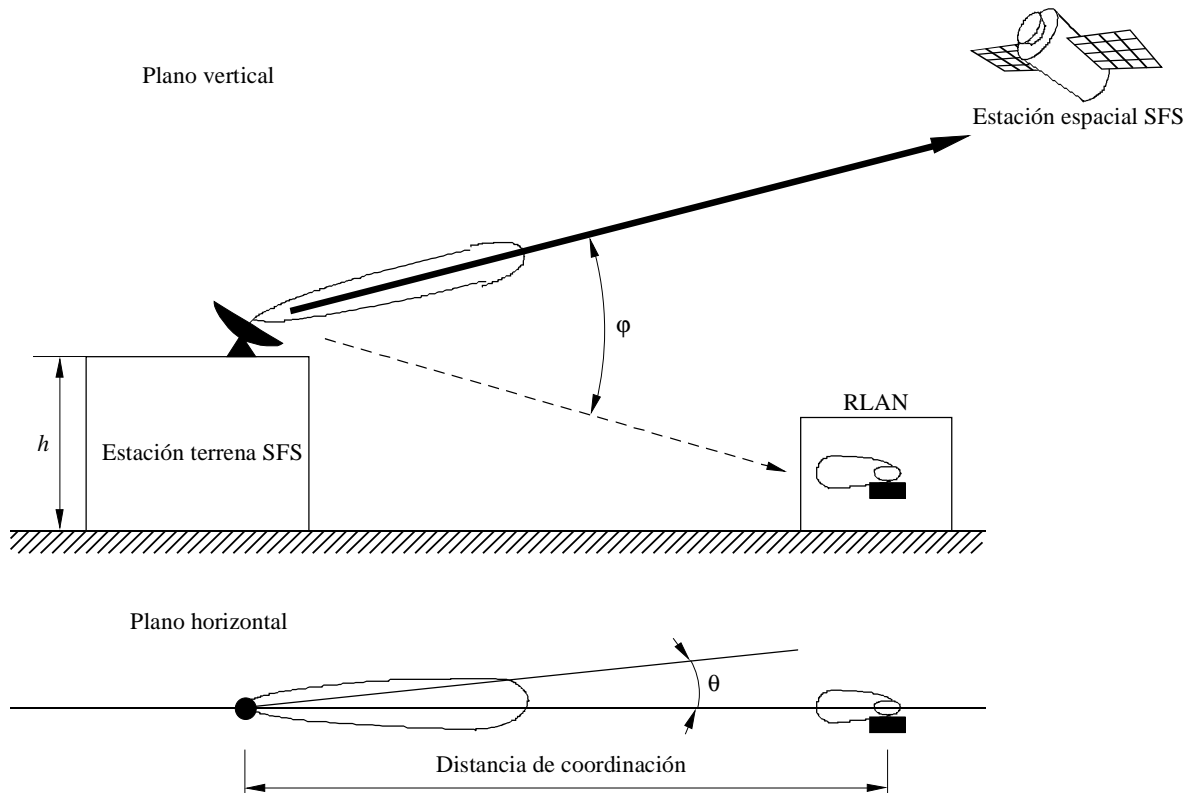
CUADRO 5

Distancia de coordinación entre una RLAN y una estación terrena del servicio fijo por satélite (enlace descendente)

	$L_b = 6$ dB		$L_b = 20$ dB		$L_b = 40$ dB	
	$\varphi = 10^\circ$	$\varphi = 36^\circ$	$\varphi = 10^\circ$	$\varphi = 36^\circ$	$\varphi = 10^\circ$	$\varphi = 36^\circ$
$E_l = 5$ dBW	4,8 km	995 m	995 m	191 m	96 m	19 m
$E_l = -1$ dBW	2,4 km	480 m	480 m	96 m	48 m	10 m

FIGURA 5

Relaciones geográficas en un modelo de cálculo de compartición



1244-05

Los valores del Cuadro 5 se basan en el supuesto de considerar el ángulo de separación de ambos sistemas en el plano horizontal en el caso más desfavorable, es decir $\theta = 0^\circ$. Por tanto en los casos reales cabe esperar una mayor reducción de la interferencia.

La viabilidad de la compartición depende del efecto de pantalla del edificio así como del ángulo de elevación del enlace SFS. Si las RLAN funcionan en un edificio bien apantallado será posible la compartición, evaluando caso por caso las condiciones de interferencia.

4.2 Compartición con estaciones terrenas SFS para enlaces ascendentes

En este caso debe considerarse la interferencia causada por una estación terrestre SFS a una estación de RLAN.

El nivel de la interferencia puede venir expresado por la fórmula siguiente:

$$E_{TS} + G_{TS}(\varphi) |_{\theta = 0} - L_S - L_b + G_{rl} - \Delta G_{rl} < R_{nl} + R_{il} \quad (3)$$

donde:

E_{TS} : potencia de transmisión de la estación terrestre SFS en la entrada de antena
 = -4 a 20 dBW

$G_{TS}(\varphi) |_{\theta = 0}$: ganancia de la antena de la estación terrestre SFS
 = -10 dBi para $\varphi > 36^\circ$
 = $29 - 25 \log \varphi$ dBi para $1^\circ < \varphi < 36^\circ$

φ : ángulo de elevación del enlace ascendente SFS a partir de la dirección de la estación RLAN (véase la Fig. 5)

L_S : pérdida en el espacio libre

L_b :	efecto de pantalla del edificio = 6 a 40 dB
G_{rl} :	ganancia de antena de la estación RLAN = 10 dB
ΔG_{rl} :	atenuación de directividad de la antena de la estación RLAN = 5 dB
R_{nl} :	nivel de ruido térmico del receptor de la estación RLAN = -95,8 dBm
R_{il} :	relación I/N requerida en el receptor de la estación RLAN = -6 dB (véase la Recomendación UIT-R F.758)

Los resultados de los cálculos se dan en el Cuadro 6 para $E_{ts} = 20$ dBW y -4 dBW tomando ϕ y L_b como parámetros.

CUADRO 6

Distancia de coordinación entre una RLAN y una estación terrena del servicio fijo por satélite (enlace ascendente)

	$L_b = 6$ dB		$L_b = 20$ dB		$L_b = 40$ dB	
	$\phi = 10^\circ$	$\phi = 36^\circ$	$\phi = 10^\circ$	$\phi = 36^\circ$	$\phi = 10^\circ$	$\phi = 36^\circ$
$E_{ts} = 20$ dBW ⁽¹⁾	85 km	17 km	417 km	3,4 km	1,7 km	340 m
$E_{ts} = -4$ dBW ⁽²⁾	2,2 km	441 m	442 m	88 m	44 m	9 m

(1) Valor típico de una estación terrena en banda 20/30 GHz utilizado en Japón.

(2) Valor dado en el Cuadro 7, § 2.1C del Informe de la Reunión Preparatoria de la Conferencia (RPC) a la Conferencia Mundial de Radiocomunicaciones (Ginebra, 1995) (CMR-95).

Los valores contenidos en el Cuadro 6 se basan también en el mismo supuesto del caso más desfavorable comentados anteriormente para la estación de enlace descendente. Considerando que el número de estaciones de enlace ascendente es bastante limitado y que no siempre se consigue el trayecto de visibilidad directa entre ambas estaciones, la compartición puede ser factible en ciertas condiciones geográficas.

APÉNDICE 3
AL ANEXO 1

Aspectos fundamentales para las RLAN interiores en la gama de 20-60 GHz

1 Introducción

Se está examinando la gama de 20-60 GHz con miras a las comunicaciones inalámbricas interiores. Se espera que toda una gama de servicios de comunicación (voz, datos, imagen, etc.) se extenderá a los terminales personales inalámbricos, tanto en entornos interiores como exteriores. En último término, las redes de comunicaciones personales inalámbricas formarán parte integrante de la red digital de servicios integrados de banda ancha (RDSI-BA). Cabe esperar una elevada densidad de terminales en el entorno interior, y en virtud de ello se necesitarán grandes recursos de espectro. Para esta aplicación se está considerando una parte de la gama de frecuencias 20-60 GHz.

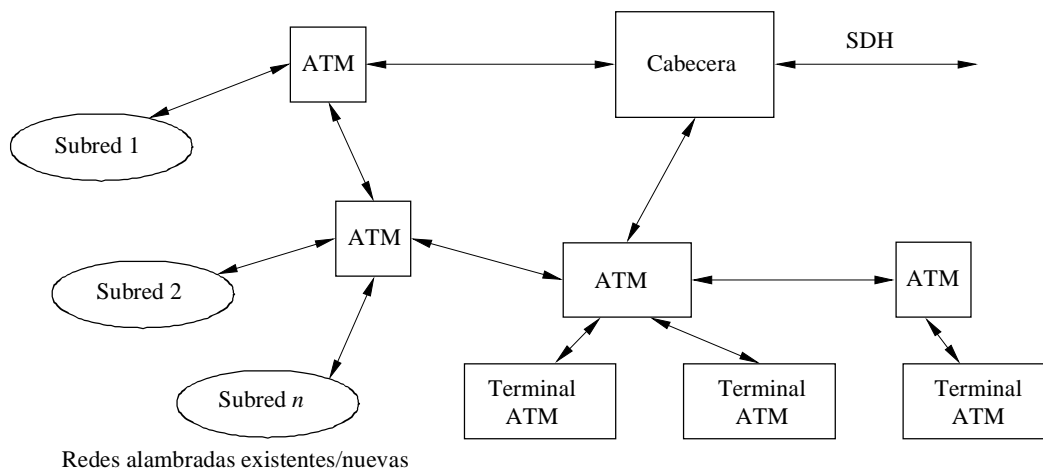
1.1 Consideraciones generales

En la conformación de las futuras redes de transporte influye básicamente la aparición de las normas de la jerarquía digital síncrona (SDH) y el modo de transferencia asíncrono (ATM) (véanse las Recomendaciones UIT-R F.750 y UIT-R F.751). Éstas y otras normas conexas se han elaborado en previsión del aumento cuantitativo del tráfico de comunicaciones que acompañará a la introducción de la RDSI-BA.

Existe un consenso general en cuanto a que la combinación ATM/SDH constituirá el fundamento de la RDSI-BA en las LAN así como en las futuras redes nacionales y mundiales. Se espera que la implantación satisfactoria de una red de banda ancha inalámbrica tendrá como base una plena compatibilidad con las futuras LAN de banda ancha realizadas con fibra óptica.

Se espera que la norma ATM se utilice en todos los niveles de la red. La norma ATM es un método muy atractivo para integrar diferentes tecnologías y diferentes formas de redes y servicios dentro de un edificio y alrededor del mundo. La Fig. 6 ilustra un ejemplo de configuración de futuras LAN en el interior de un edificio. Las interconexiones entre los diferentes componentes son facilitadas por computadores ATM con una interfaz física SDH. Las subredes de la figura son las facilidades de comunicación del día de hoy (por ejemplo, Ethernet). Están conectadas a la red ATM a través de traductores ATM. Otros terminales ATM (por ejemplo, bases de datos de vídeo, supercomputadores, terminales multi-medios cableados, etc.) se conectan directamente a la red.

FIGURA 6
LAN ATM de fibra óptica



1244-06

1.2 Condiciones de propagación

La dispersión del retardo y la atenuación de la señal dentro de un espacio confinado son parámetros importantes que repercuten en la capacidad de las RLAN para soportar altas velocidades de datos y terminales de baja potencia en la gama 20-60 GHz.

1.2.1 Dispersión del retardo

Es escasa la información conocida acerca de la dispersión del retardo en los canales interiores a 20-60 GHz. En un documento reciente se presentan los resultados a 58 GHz (véase el Cuadro 7).

Estos resultados sugieren que en la mayoría de los casos los rayos de propagación multirrayecto sufren unas pocas reflexiones solamente. Esta observación repercute en el diseño y calidad de funcionamiento de las antenas directivas. Se aprecia que, casi siempre, la antena omnidireccional presenta un perfil continuo potencia-retardo que se extiende durante un tiempo comparable a la propagación de ida y retorno a través de la estancia, mientras que una antena muy directiva puede producir un perfil potencia-retardo en forma de cúmulos (uno o dos cúmulos), siendo los cúmulos estrechos y separados por el retardo de propagación de ida y retorno.

Se ha medido la atenuación total de la señal dentro de una sala cerrada. Los resultados indican que la pérdida total del trayecto en todos los casos enumerados en el Cuadro 7 está comprendida entre 65 y 85 dB y que la diferencia entre ausencia y presencia del rayo de visibilidad directa (LOS) es, en el caso más desfavorable, cercana a los 5 dB.

CUADRO 7

Datos medidos de dispersión de retardo

	Tamaño de la habitación (m)	Dispersión del retardo (ns)	Comentarios
A	24,3 × 11,2	44	Paredes de madera
B	30 × 21	32	Material acústico blando
C	43 × 41	58	Vestíbulo, paredes de hormigón
D	33,5 × 32,2	55	Sala Vax, paredes de hormigón
E	44,7 × 2,4	72	Pasillo, hormigón
F	9,9 × 8,7	40	Sala de computadores, metal
G	12,0 × 8,9	18	Sala de conferencias, paredes de madera
H	11,2 × 7,3	28	Laboratorio, hormigón revocado

La dispersión del retardo (es decir el tiempo transcurrido entre la primera y la última señal detectable) impone un límite a la velocidad binaria máxima a la cual pueden transmitirse los datos sin interferencia entre símbolos (ISI). En el Cuadro 8 se dan algunos valores típicos de la dispersión media cuadrática del retardo para las frecuencias de 1,7 GHz y 60 GHz.

CUADRO 8

Distribución de probabilidades para la dispersión media cuadrática del retardo

Probabilidad (%)	1,7 GHz	60 GHz
25	< 15 ns	< 2 ns
50	< 23 ns	< 7 ns
75	< 35 ns	< 8 ns
95	< 45 ns	< 13 ns

Como indica el Cuadro 9, la dispersión del retardo para 60 GHz es menor que para 1,7 GHz. Para 60 GHz la dispersión media cuadrática del retardo será menor que 10 ns con una probabilidad del 90%.

Los resultados de mediciones estáticas conocidos demuestran que, salvo en una sala pequeña y con gran densidad de mobiliario, las dispersiones medias cuadráticas de retardo estático fueron del 15 al 20% menores a 40 GHz y 60 GHz que las obtenidas a 950 MHz. Además, los resultados demuestran que el mobiliario tiene el efecto de eliminar el aumento de la gravedad de los efectos multitrayecto en función de la gama de transmisión-recepción.

1.2.2 Atenuación de la señal

Dentro de un espacio limitado, la señal se atenuará de acuerdo con la pérdida en el espacio libre para el rayo de visibilidad directa (LOS). Otros rayos de la propagación multitrayecto sufrirán una o más reflexiones, y por ello la reflectividad de las paredes afectará a la intensidad de esos rayos. A 60 GHz, la reflectividad de la pared varía dentro de un amplio margen (véase el siguiente Cuadro 9).

CUADRO 9

Medidas de reflectividad de la pared

Material	Reflectividad (%)
Cartón yeso (1 cm)	2
Hormigón	16
Aluminio	> 99
Madera (20 mm)	2
Vidrio (3 mm)	16

1.3 Diseño de la antena

El diseño de la antena se rige por la necesidad de alta ganancia o de baja ganancia. Una antena de alta ganancia permitirá disminuir la potencia transmitida por los terminales inalámbricos y reducirá la dispersión del retardo, pero será más vulnerable a los efectos de obstrucción y ensombrecimiento.

Un posible enfoque del diseño de la antena es ajustar la ganancia al tamaño de la habitación. Las estancias pequeñas pueden ser cubiertas con antenas de baja ganancia, mientras que las salas grandes se cubren mediante un conjunto de antenas de alta ganancia.

1.4 Requisitos de tráfico

En estudios recientes se han formulado predicciones de las necesidades de velocidades de datos de las futuras aplicaciones inalámbricas en redes de banda ancha interiores, según la Norma IEEE P802.11/92-20. Conforme al Documento IEEE 802.11 sobre LAN inalámbricas, la velocidad de datos de los terminales multimedia puede variar desde 16 kbit/s (voz comprimida) a 20 Mbit/s (vídeo de TVAD comprimido en tiempo real). El Cuadro 10 ofrece un resumen de algunos parámetros esenciales de los multimedia.

La velocidad de cresta de 20 Mbit/s (2048 octetos en 11 ms) está asociada con el vídeo de TVAD comprimido, aunque la velocidad binaria instantánea requerida es variable. Como se indica en el Cuadro 8, la BER máxima aceptable es 1×10^{-3} , y el retardo de transferencia máximo podría ser menor de 1 ms. Estos números plantean un problema muy serio a los diseñadores de sistemas, especialmente cuando se trata de TVAD.

En las comunicaciones inalámbricas es más apropiado expresar la carga de tráfico por la densidad de velocidad de datos, ρ_{data} , con unidades de bits por segundo por superficie unidad (bit/s/m^2). Una estimación reciente prevé un tráfico medio en torno a $0,05 \text{ Mbit/s/m}^2$ como típico de un entorno de oficinas dentro de los próximos 10 años. Esta estimación parece ser un límite inferior de la velocidad de datos. Para terminales que utilicen el modo TVAD, el límite superior de la velocidad de datos estará en torno a 10 Mbit/s/m^2 (es decir $0,05 < \rho_{data} < 10$).

1.5 Posible arquitectura de red

Para una red inalámbrica se contempla una arquitectura de sistema enteramente integrada con una LAN RDSI-BA de fibra óptica, como ilustra la Fig. 7. La zona de servicio total se divide en células. La forma y el tamaño de las células responden a la estructura del edificio y no a una distribución artificial en células hexagonales. Cada célula está limitada por paredes y atendida por una red inalámbrica (WN – wireless network) que trabaja en una sola frecuencia portadora en la banda de las ondas milimétricas. Las portadoras se generan en las WN y se regeneran en los terminales portátiles. La dispersión del retardo ha de ser controlada por la ganancia de la antena. Una célula pequeña con paredes de material blando podría ser cubierta por una sola antena de haz ancho. Si las paredes o los objetos de la habitación tienen alta reflectividad, se aumentará la ganancia de la antena mediante la conformación del haz. Las zonas más grandes serán cubiertas por varias antenas de alta ganancia y, en este caso, se necesita y justifica la combinación de señales en macrodiversidad con las antenas separadas entre sí sólo unas pocas longitudes de onda.

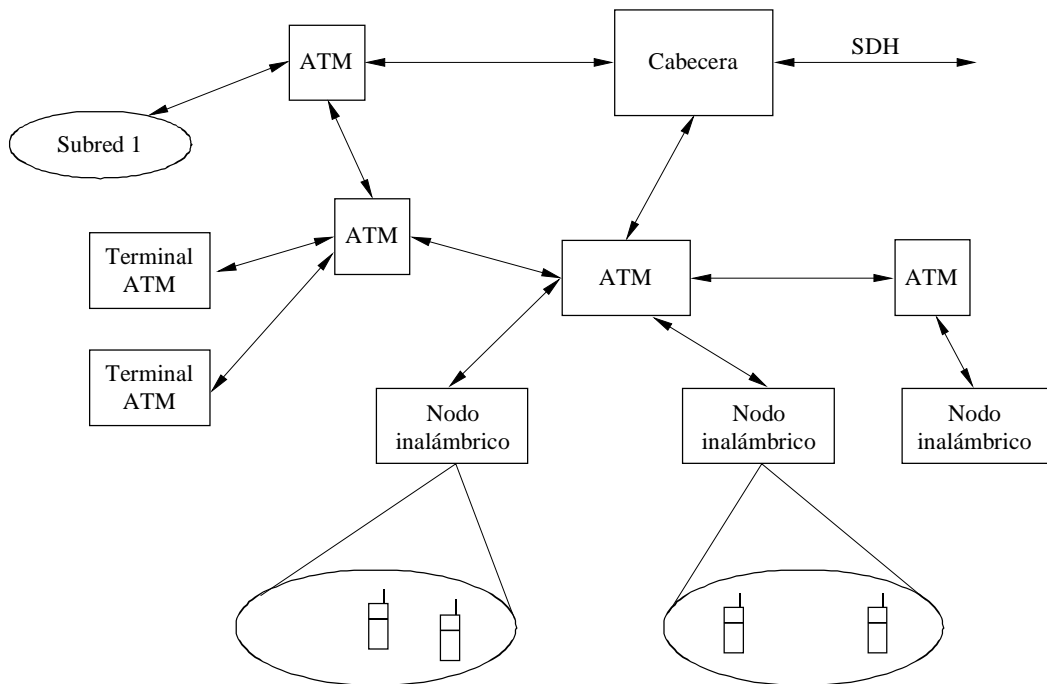
CUADRO 10

Parámetros de tráfico de terminales multimedia

	Videoconferencia	MPEG ⁽¹⁾ NTSC	TVAD	Voz
Atributo	Comprimido	Comprimido	Comprimido	Comprimido
Tamaño (octetos)	2 048	2 048	2 048	512
Llegada (ms)	250 constante	11 constante	0,8 constante	250 constante
Retardo (ms) (nominal)	30	5	0,8	30
Retardo (ms) (desviación típica)	100	5	0,8	100
Retardo (ms) (máximo)	250	11	0,8	250
BER	1×10^{-3}	1×10^{-3}	1×10^{-3}	1×10^{-3}

(1) Norma del Grupo de Expertos de imágenes en movimiento (MPEG) de la ISO.

FIGURA 7
Integración LNA inalámbrica/LAN ATM



El esquema de acceso es una forma modificada de interrogación/DDT. El ciclo de interrogación se compone de una interrogación secuencial de cada terminal de alta velocidad de datos y una interrogación colectiva de todos los terminales de baja velocidad. Se permite que cada terminal de alta velocidad vacíe su memoria tampón (con algunas limitaciones impuestas por las condiciones y prioridades del tráfico), mientras que los terminales de baja velocidad están autorizados a transmitir un paquete de datos por ciclo de interrogación. La segunda mitad del ciclo de interrogación contiene el tráfico de salida.

La WN se presenta como una sola unidad ATM ante el resto de la red RDSI-BA de fibra. El tráfico de llegada se dispone en forma de células de datos, y se establece una ruta virtual entre cada terminal inalámbrico y su destino. Las funciones peculiares de las comunicaciones inalámbricas, tales como el traspaso, el control de acceso y el control de errores serán también realizadas por las WN. Las comunicaciones entre WN, así como las comunicaciones entre las WN y cualquier unidad de control centralizado inalámbrica, se conducirán a través de la LAN de fibra utilizando la conmutación ATM.
