

El objeto del artículo es evaluar la viabilidad de utilizar sistemas que permitan el transporte de audio, con la calidad necesaria en las emisoras de radio y TV, a través de redes IP (redes corporativas o Internet) mediante accesos ADSL. La viabilidad de los sistemas reduciría el coste de los actuales circuitos RDSI (ISDN) y circuitos digitales de 64 kb/s, utilizados para la distribución y contribución de programas.

Transporte de audio sobre redes IP

Luis Del Amo Ruiz.
Subdirector Técnico Cadena SER

1. INTRODUCCIÓN

Las redes de voz (telefonía), fax, RDSI, etc. utilizan la conmutación de circuitos cuyo funcionamiento requiere:

— Para el inicio de la conexión es necesario el establecimiento de llamada.

— Se reservan recursos específicos de red durante el tiempo que dura la conexión.

— Se factura por tiempo de utilización del recurso.

Planteamiento similar sería aplicable a los circuitos digitales permanentes (por ejemplo, los circuitos de 64 kbit/s utilizados en contribución).

Las redes de datos por el contrario utilizan la conmutación de paquetes caracterizada por:

— No es necesario el establecimiento de llamada para realizar la conexión (las redes están permanentemente conectadas).

— Para garantizar la recepción de los datos es necesario el direccionamiento de los paquetes.

— Los paquetes pueden ser transportados por conductos diferentes.

— La facturación es independiente del tiempo de duración de la conexión.

La presencia de infraestructuras IP en los entornos corporativos de empresas, así como la propia Internet, que permiten la interconexión entre oficinas ubicadas en ciudades diferentes, ha abierto



la posibilidad de utilizar dichas redes para aplicaciones de telefonía, fax, etc., comúnmente llamado voz IP. Por otro lado, en muchos casos parte de la capacidad de estas redes está siendo infrutilizada.

2. NECESIDAD DE CIRCUITOS DE CALIDAD MUSICAL EN APLICACIONES DE EMISORAS DE RADIO Y TV

Las emisoras de radio necesitan circuitos para el transporte de sus programas en las aplicaciones descritas seguidamente.

— Circuitos de calidad musical (15 kHz) estereofónicos para el transporte de programa entre cabeceras nacionales o regionales y emisoras periféricas (locales). Los programas se realizan en las cabeceras nacionales o regionales y se distribuyen a las emisoras locales que proceden a su emisión. En estos tipos de programas no existen contribuciones de las emisoras locales por lo que el parámetro importante es la calidad (audio de al menos 15 kHz y es estéreo).

— Circuitos de calidad musical (15 kHz) para contribución al programa regional o de cadena. Los programas se realizan en las cabeceras nacionales o regionales y

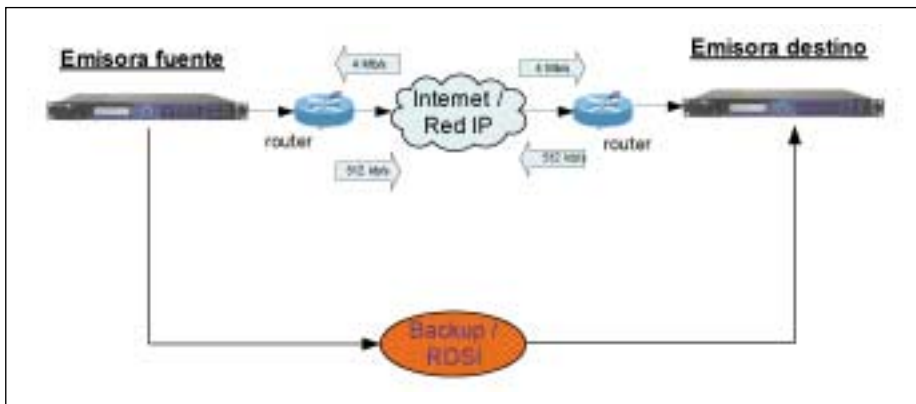


Figura 1

existen contribuciones desde las emisoras locales o cabeceras regionales. En estas circunstancias el elemento más importante es obtener un retardo mínimo, por el efecto molesto que produce en el contertulio al oírse a sí mismo (la señal se transporta desde la emisora periférica a la cabecera y de la cabecera a la emisora periférica).

— *Circuitos de respaldo para caso de fallo en la red IP.* Son necesarios para que hagan de backup del sistema. Ante una caída de la red IP se produce la marcación automática y la señal se direcciona hacia estos circuitos (suelen ser circuitos RDSI).

La figura 1 muestra esquema básico de funcionamiento.

3. ESTÁNDAR QUE DEFINE LOS PROTOCOLOS DE FUNCIONAMIENTO

La Unión Internacional de Telecomunicaciones UIT-T definió, mediante la Recomendación H.323, los componentes,

protocolos y procedimientos que proveen los servicios de comunicaciones multimedia sobre las redes de *conmutación de paquetes*, incluyendo las *redes* basadas en *IP*.

Los protocolos fundamentales definidos para este tipo de aplicaciones (similares a los utilizados en *Internet* para *Streaming*) son:

— *RTP (Protocolo de Transporte en Tiempo Real).* Es un protocolo de transporte desarrollado específicamente para *Streaming* y corre sobre *UDP* (Protocolo de Datagrama de Usuario). Dispone de varios campos de datos no disponibles en *TCP*. Gestiona los paquetes para que estos sean servidos a la velocidad adecuada. De esta manera el receptor está en condiciones de poder organizar los paquetes recibidos en el orden correcto y reproducirlos a la velocidad adecuada. Por tanto, *RTP transmite paquetes en tiempo real* y los *paquetes dañados o perdidos no son retransmitidos*. Para facilitar la *sincronización de los relojes* de ambos equipos (de esta manera se garan-

tiza un retardo constante de los paquetes) se suele transmitir en la cabecera del protocolo *RTP* un *Timestamp* (muestra de reloj para sincronización).

— *RTCP (Protocolo de Control de Tiempo Real).* Es un protocolo que utiliza *TCP* para la conexión bi-direccional. Mediante éste se *establece y finaliza la comunicación* y se negocia el *modo de codificación del audio*. Suministra datos relativos a la calidad de recepción así como los relativos al número de paquetes perdidos y estadísticas del *jitter* (variación en los tiempos de llegada entre los paquetes).

— *SDP y SIP (Protocolo de Descripción de Sesión y Protocolo de Inicio de Sesión).* El *SDP* indica al decodificador, entre otros, el tipo de codificación de audio utilizado en el *RTP*. El *SIP* se utiliza para el establecimiento y finalización de sesión.

4. ESQUEMA BÁSICO DE FUNCIONAMIENTO

La figura 2 muestra el funcionamiento básico del sistema que engloba los procesos siguientes:

- *Digitalización* de la señal.
- *Compresión* (mediante algoritmos basados en el efecto sicoacústico del oído u otros) para reducir la bit rate resultante.
- *Encapsulado* de paquetes.
- *Transmisión.*
- *Recepción y reordenamiento* de paquetes a su posición original.
- *Decodificación* y recuperación de la señal de audio.

5. PARÁMETROS QUE ES NECESARIO EVALUAR

En base al esquema básico de la figura del punto 4, a la hora de *evaluar el sistema* deberá utilizarse un *protocolo de medidas* que nos permita, al menos, verificar:

- *Calidad de la señal de audio resultante* (sin incluir factores relacionados con el sistema de transmisión). Mediante medias objetivas y subjetivas.
- *Eficiencia de los codificadores para los diferentes modos.*
- *Factores de calidad del servicio (QoS).* Considerando aquellos factores



Figura 2

relacionados con el modo y medio de transmisión. Entre los que afectan a la calidad se encuentran:

- *Requerimientos de ancho de banda necesario.* Velocidad de transmisión y topología de la infraestructura de red.
- *Funciones de control para la conexión y su mantenimiento.* Reserva de recursos, provisión y monitorización necesarios para el establecimiento y mantenimiento de la conexión.
- *Retardo.* Retraso de la señal a la salida del receptor medido con respecto a entrada del transmisor.
- *Pérdida de paquetes.* En caso de que algún paquete se pierda qué efecto tiene sobre la calidad de la señal de audio y si el sistema dispone de algún mecanismo para corrección de errores.
- *Jitter.* Diferencia en el tiempo de llegada de los paquetes de una misma muestra de audio.
 - *Fiabilidad del sistema.* Fallos de establecimiento de llamada, interrupciones durante la transmisión, tiempo de recuperación ante una interrupción de los circuitos, posibles sistemas de backup para mantenimiento del servicio.
 - *Otros.* Disponibilidad de aplicaciones para monitorado y control, mediante telegestión. Funcionamiento en modos *Unicast* y *Multicast*.

6. OTROS ASPECTOS A TENER EN CONSIDERACIÓN A LA HORA DE VALIDAR EL SISTEMA

A la hora de evaluar el sistema deberían de tenerse en cuenta los aspectos siguientes:

— *Ancho de banda de red y tamaño de los paquetes.* La elección de las características del audio (algoritmo, frecuencia de muestreo, modo, etc.) condiciona el ancho de banda necesario para la transmisión sobre IP. Para *redes sincronizadas* el ancho de banda necesario viene condicionado exclusivamente por el ancho de banda necesario para el transporte del audio comprimido. Pero para *audio sobre IP* es necesario una capacidad de *ancho*



de banda adicional necesaria para el empaquetado de las muestras de audio (cabecera IP, cabecera UDP, cabecera RTP, etc.). Estos datos adicionales que constituyen la cabecera permiten a los *switch* y *router* encaminar los paquetes hasta su destino, independientemente de la ruta seguida por los mismos. La utilización de *paquetes de tamaño grande* reduce la «*carga de audio*» y consecuentemente también el *ancho de banda* adicional necesario y el *retardo*, pero por el contrario puede degradar la calidad del audio si se pierden paquetes (cuando un paquete se pierde implica la pérdida de mayor cantidad de datos). La elección de *paquetes de menor tamaño* aumenta el ancho de banda adicional y el *retardo*, pero por el contrario la pérdida de un paquete causa *menor degradación* sobre la *señal de audio*. Otra posible solución sería la utilización de un *buffer de tamaño dinámico*, esto es, su tamaño se va adaptando al *jitter* de la red IP.

— *Pérdida de paquetes.* Todos los sistemas basados en la conmutación de paquetes son susceptibles de perder algunos de ellos, lo que da lugar a pérdidas de muestras de audio. Se puede minimizar el problema eligiendo paquetes de menor tamaño pero ello daría lugar a un aumento del ancho de banda adicional necesario. El receptor podría solicitar del transmisor le reenviase nuevamente los paquetes perdidos pero ello daría lugar aun retardo inaceptable en una transmisión en tiempo real. Existen varios procedimientos para minimizar el efecto de pérdida de paquetes, unos basados en el *sustitución* de los paquetes perdidos y otros basados en la corrección de errores.

- Sustitución del paquete perdido por el último paquete útil recibido.
- Sustitución del paquete perdido por silencio o ruido blanco.
- Sustitución del paquete perdido

por otro obtenido de la interpolación de los últimos paquetes útiles recibidos.

- Corrección mediante sistemas de corrección de errores sin canal de retorno (FEC).

La utilización de las técnicas de *sustitución* tiene impacto sobre el audio, por lo que no se aconseja su implementación.

La utilización de sistemas *FEC* implican mayor «*carga de audio*» (consecuentemente mayor ancho de banda adicional) y además *mayor tiempo de procesamiento* en recepción (mayor retardo). La solución sería utilizar sistemas *FEC* de baja protección o bien enviar la información *FEC* por otra vía distinta.

— *Jitter.* En una red por conmutación de paquetes *cada uno de ellos* puede tomar rutas diferentes entre el transmisor y la recepción, por lo que estos pueden llegar en tiempos diferentes a su destino y es necesario recomponerlos en el orden que corresponden. El efecto del “*jitter*” puede solventarse mediante la utilización de un *buffer* que almacena los *paquetes* y reconstruye la trama en el orden correcto. Un *buffer* demasiado pequeño daría lugar a más pérdida de paquetes que uno de mayor tamaño. Un *buffer* de mayor tamaño produce *más retardo* que uno de pequeño tamaño. Por tanto, se debe llegar a un compromiso en la elección del tamaño del *buffer*.

— *Latencia (retardo).* Por las leyes naturales de la física cualquier medio de transporte de datos tiene retardo. En una red IP además del retardo estándar de transmisión hay que añadir el retardo asociado al *codec de audio* (algoritmo de compresión), el de *empaquetado IP* de las muestras de audio y de los propios *equipos de encaminamiento de red* (*switch*, *router*, etc.).

— *Configurabilidad y calidad del servicio.* Además de las posibilidad de configuración del audio para diferentes algoritmos y calidades es necesario que los *codec* dispongan de posibilidad de configuración del *tamaño de los paquetes*, del *buffer* para eliminación del *jitter* y, si fuera posible, de sistema de corrección de errores sin canal de retorno (*FEC*). También deberían de disponer de posibilidad de distintos modos de funcionamiento (*unicast*, *unicast múltiple* y *multicast*).

— *Backup.* Es importante que el sistema disponga de un sistema alternativo

RED	Algoritmo	bit rate (kbps)
IP	PCM	16 bits @ 48 kHz
	G711	64
	G722	64
	MPEG 1,2 LII	64, 128, 192, 256, 384
	MPEG 1,2 LIII	64, 128, 192, 256
	MPEG 2,4 AAC LC	64, 128, 192, 256, 384
	MPEG 4 AAC LD	64, 128, 192, 256, 384
	apt - X	64, 128, 192, 256, 384
	G711	64
	G722	64
	MPEG 1,2 LII	64, 128
	RDSI	MPEG 1,2 LIII
MPEG 2,4 AAC LC		64, 128
MPEG 4 AAC LD		64, 128
apt - X		64

para transporte del audio, de activación y desactivación automática ante una caída de la red IP.

7. INFRAESTRUCTURA UTILIZADA EN LA EVALUACIÓN DE LOS SISTEMAS

En las pruebas se han utilizado dos tipos de circuitos:

— Accesos ADSL contratados con calidad de servicio *plata*.

- Línea simétrica de 2 Mb/s. en Madrid.
- Líneas 4 Mb/s / 640 kb/s. en las sedes de Sevilla, Móstoles, Córdoba y Málaga.

— Accesos ADSL estándar.

- ADSL 4Mb/s / 512 kb/s.

8. SISTEMAS EVALUADOS

En las pruebas fueron evaluados equipamientos suministrados por tres proveedores distintos, uno de ellos de fabricación nacional.

La *tabla 1* muestra especificaciones técnicas de los equipos en cuanto a codificadores soportados.

9. PLAN DE PRUEBAS

Las pruebas fueron estructuras de acuerdo con el siguiente plan de medidas en modo *Ethernet (red IP)*:

— Medida de equipos *espalda* – es-

palda (pruebas realizadas en laboratorio interconectados los equipos codificador - descodificador).

— Pruebas y medidas con circuitos con calidad de *servicio plata*.

— Pruebas de equipos con calidad de *servicio estándar (ADSL Avanzado)*.

— Pruebas en *explotación* (permite medir la fiabilidad y calidad de servicio de los circuitos utilizados).

Las *figuras 3 y 4* muestran el esquema básico de conexionado utilizado para ambas calidades de servicio (*plata y estándar*).

10. RESUMEN DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS

10.1. Conexión espalda - espalda

— *Calidad de audio*: La calidad de audio es ya conocida para cada una de las configuraciones (se dispone de bastante experiencia en los codec utilizados).

— *Retardo*: El codec que mejor comportamiento ha tenido en cuanto a retardo se refiere, en las configuraciones que soporta, es *aptX*. El retardo medido para este codec fue de unos 38 ms, tanto para bit rate de 64 kb/s como para 128 kb/s.

10.2. Circuitos con calidad de servicio plata

— *Calidad de audio*: La calidad de audio ha sido la esperada para cada una

de las configuraciones (se dispone de bastante experiencia en los codec utilizados y los equipos que los implementan).

— *Considerando prioritario el menor retardo*.

- *Tamaño de los paquetes y del buffer*: el mejor comportamiento se ha obtenido para el codec *aptX* (canal mono con una bit rate de 128 kbps) con los siguientes parámetros:

— tiempo entre paquetes: 2 ms.

— tamaño de paquetes: 66 byte.

— buffer del receptor: 7 ms.

- *Retardo*: El codec que mejor comportamiento ha tenido en cuanto a retardo se refiere, en las configuraciones que soporta, es *aptX*. El retardo achacable al codec es de unos 38 ms, al que habría que sumar el achacable a la red IP (equipos de la propia red y empaquetado de las muestras, etc) que supone otros 47 ms (*conexión sede central y emisora periférica*), por lo que el resultado final serían unos 85 ms. Si se conectan dos *emisoras periféricas* el retardo total medido llegaría a superar los 120 ms.

- *Jitter*: Los valores medidos para el *jitter* y pérdida de paquetes han sido aceptables para bit rate igual o inferior a 192 kb/s.

— *No considerando prioritario el menor retardo*.

- *Tamaño de los paquetes y del buffer*: En estas circunstancias podemos optar por una configuración que nos permita transmitir mayor anchura de banda del canal de audio y un canal estereofónico. Para ello utilizaremos paquetes más grandes y tamaños mayores de buffer (para codec MPEG 1 layer 2, jointstereo a 192 kbps):

— tiempo entre paquetes: 24 ms.

— tamaño de paquetes: 604 bytes.

— buffer del receptor: 2 ms.

- *Retardo*: El retardo medido para el codec MPEG 1 layer 2 (jointstereo a 192 kbps) fue de 299 ms. El retardo achacable al codec es de unos 240 ms, al que habría que sumar el achacable a la red IP (equipos de la propia red y empaquetado de las muestras, etc.) que supone otros 59 ms.

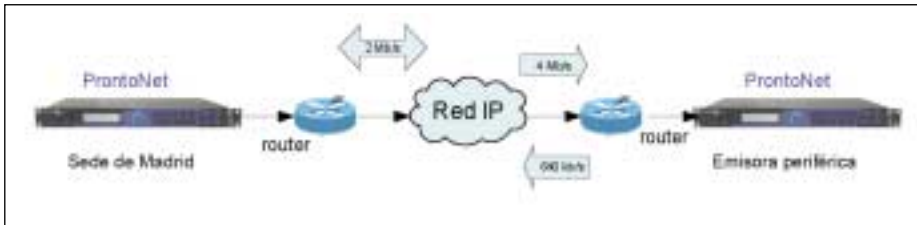


Figura 3. Servicio de calidad plata

10.3. Circuitos con calidad de servicio estándar (ADSL Avanzado)

— *Calidad de audio:* La calidad de audio es ya conocida para cada una de las configuraciones (se dispone de bastante experiencia en los codec utilizados y los equipos que los implementan).

— *Considerando prioritario el menor retardo.*

- *Tamaño de los paquetes y del buffer:* el mejor comportamiento se ha obtenido para el codec *aptX* (canal mono con una bit rate de 128 kbps) con los siguientes parámetros:
 - tiempo entre paquetes: 6 ms.
 - tamaño de paquetes: 124 bytes.
 - buffer del receptor: 25 ms.
- *Retardo:* El codec que mejor comportamiento ha tenido en cuanto a retardo se refiere, en las configuraciones que soporta, es *aptX*. El retardo achacable al codec es de unos 38 ms, al que habría que sumar el achacable a la red IP (equipos de la propia red y empaquetado de las muestras, etc) que supone otros 144 ms (conexión sede central y emisora periférica), por lo que el resultado final serían unos 182 ms. *Jitter:* los valores medidos para el jitter y pérdida de paquetes han sido aceptables para bit rate igual o inferior a 192 kb/s.

— *No considerando prioritario el menor retardo.*

- *Tamaño de los paquetes y del buffer:* En estas circunstancias podemos optar por una configuración que nos permita transmitir mayor anchura de banda del canal de audio y un canal estereofónico. Para ello utilizaremos paquetes más grandes y tamaños mayores de buffer (para codec MPEG 1 layer 2, jointstereo a 192 kbps):
 - tiempo entre paquetes: 24 ms.
 - tamaño de paquetes: 1180 bytes.
 - buffer del receptor: 25 ms.
- *Retardo:* El retardo medido para el codec MPEG 1 layer 2 (jointstereo a 192 kbps) fue de 342 ms. El retardo achacable al codec es de unos 236 ms, al que habría que sumar el achacable a la red IP (equipos de la propia red y empaquetado de las muestras, etc.) que supone otros 106 ms

10.4. Pruebas en explotación

En la configuración de red IP (circuitos ADSL de 4 Mb/s / 512 kb/s con calidad de servicio Standard) como principal y RDSI como Backup, se ha tenido en explotación durante 3 meses para el transporte de un programa Regional. El codec utilizado es el MPEG 1 layer 2, con una frecuencia de muestreo de 48 kHz y en modo joint estéreo.

Durante este periodo la calidad del servicio, vía IP, ha sido satisfactoria, aun-

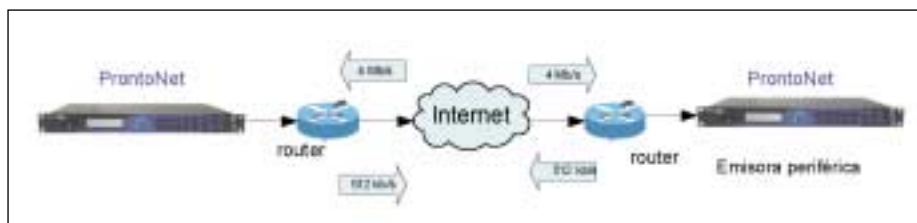


Figura 4. Servicio de calidad estándar (ADSL Avanzado)

que se han producido algunas conmutaciones entre el circuito principal (Ethernet) y el de Backup (RDSI), sin que ello haya originado deficiencias en la emisión.

11. CONCLUSIONES

A la vista de los resultados obtenidos podemos llegar a la conclusión que esta tecnología, a falta de experiencias más exhaustivas en explotación (no se dispone de datos suficientes de comportamiento de las redes que soportan los sistemas de conmutación de paquetes), puede ser perfectamente utilizable para el transporte de los programas, incluso musicales (canal estéreo musical), en los que no sea prioritario un bajo retardo. No obstante, se recomienda implantar esta nueva tecnología de manera paulatina, no dando de bajas los circuitos a los que sustituirían hasta haber verificado la estabilidad del correspondiente acceso ADSL.

En cuanto a la redes permanentes de distribución y contribución las pruebas han demostrado que sería factible su sustitución en su utilización para distribución de programa, con cualquiera de los codec y accesos ADSL, tanto ADSL Avanzado (calidad estándar) como ADSL con calidad plata.

En su posible utilización para contribución al programa sería posible su sustitución siempre y cuando admitamos retardos de unos 200 ms (para codec *aptX* y accesos ADSL Avanzado) y de unos 90 ms (para codec *aptX* y accesos ADSL calidad plata).

Dado que el mayor peso, en cuanto a retardo se refiere, corresponde a los circuitos que soportan los accesos ADSL, es de esperar que la presumible mejora que con el tiempo se produzca en los circuitos de los ADSL Avanzados permitirá reducir sustancialmente los retardos medidos.

Al igual que para en el caso de sustitución de los circuitos RDSI, la implantación de la nueva tecnología para sustituir los circuitos de la denominada red permanente debería hacerse también de manera paulatina y sin dar de baja, de momento, los actuales circuitos.