

INFORME 954-2

MÉTODOS DE MULTIPLAJE PARA LA EMISIÓN DE VARIAS SEÑALES DIGITALES
DE SONIDO Y TAMBIÉN DE SEÑALES DE DATOS EN RADIODIFUSIÓN

(Cuestión 2/10 y 11; Programas de Estudios 2C/10 y 11, 51D/10, 2F/10 y 11, 2N/10 y 11)

(1982 -1986-1990)

1. Introducción

El presente Informe contiene los resultados preliminares de una comparación de métodos de multiplexaje que pueden utilizarse para la emisión de varios canales digitales de sonido y posiblemente otras informaciones, ya sea con o sin una emisión asociada de imágenes de televisión analógica, con vistas a nuevas aplicaciones en radiodifusión. En este contexto, este Informe trata principalmente de la utilización del canal de radiodifusión por satélite, aunque parte de la información también es válida para canales de radiodifusión terrenal.

El estudio de los métodos de multiplexaje de varias señales de sonido y de datos debe tener en cuenta los dos métodos principales para multiplexar la señal digital completa con la señal de video, que son los siguientes:

- el «multiplexaje interrumpido» que corresponde, por ejemplo, a la inserción de impulsos digitales en el intervalo de supresión de línea;
- el «multiplexaje no interrumpido» que corresponde, por ejemplo, a impulsos digitales sobre una subportadora.

En este último caso, si se trata de emitir únicamente señales de sonido en ausencia de una señal video, los impulsos digitales pueden modular una portadora, pero esto no es más que un caso particular de la subportadora. En cuanto al «multiplexaje interrumpido», el caso de los impulsos digitales en el intervalo de supresión de trama no se examina en el presente Informe.

En relación con el multiplexaje de un conjunto de señales digitales de sonido y de señales de datos, aquí se han previsto dos técnicas básicas: el multiplexaje «continuo» y el multiplexaje «por paquetes»; se han estudiado las ventajas y los inconvenientes inherentes al principio de cada uno de estos sistemas para los dos casos mencionados anteriormente, es decir, el multiplexaje interrumpido y el multiplexaje no interrumpido. Será necesario realizar nuevos estudios para optimizar estos tipos de sistemas.

2. Servicios a prestar

Los servicios sonoros previstos en radiodifusión son los siguientes:

- sonido de alta calidad (estereofónico o monofónico) digital codificado, con una anchura de banda de audio de 15 kHz y una gama dinámica de 98 dB [CCIR, 1982-86a, b] para programas de radiodifusión sonora solamente,
- sonido de alta calidad (estereofónico o monofónico) asociado con la imagen (anchura de banda de audio de 15 kHz),
- sonido de alta calidad (monofónico, estereofónico o incluso cuádrifónico) para programas adicionales de radiodifusión sonora (anchura de banda de audiofrecuencia de 15 kHz),
- sonido monofónico de alta calidad o de calidad media con fines diversos (por ejemplo, servicios de comentarios multilingües en asociación con el sonido internacional, etc.),
- señales de calidad «comentario»,
- señales de calidad telefónica.

Entre los servicios de datos adicionales previstos, podrían figurar los siguientes:

- datos de información (por ejemplo, informaciones de servicio, texto codificado, subtítulo, soporte lógico de computador y etiquetaje de programas),
- informaciones especiales para la televisión con peaje,
- sistema de radiobúsqueda.

Esta lista no es exhaustiva; en el futuro surgirán otras aplicaciones en función de la evolución de las necesidades y de la tecnología. Las necesidades pueden variar de un país a otro y en el tiempo. Por ello, conviene disponer de una cierta flexibilidad en la utilización del tren digital de bits. Al mismo tiempo es necesario utilizar técnicas de multiplexaje normalizadas que sean lo más sencillas posible para minimizar la complejidad del receptor y reducir su precio, facilitando al mismo tiempo la recepción de diversos servicios, incluso si no han sido aún identificados.

En el caso de la radiodifusión por satélite con una señal video, se han fijado los requisitos relativos al sonido para una capacidad equivalente de 2 a 8 canales monofónicos de alta calidad. En ausencia de una señal de video, este requisito puede alcanzar el equivalente a 30 ó 40 canales monofónicos.

3. Multiplaje de la señal digital en el canal de televisión

Se han identificado dos métodos principales de multiplaje de la señal digital en el canal de televisión a saber:

- el «multiplaje interrumpido» que corresponde, por ejemplo, a la inserción de impulsos digitales en el sincronismo de línea, ya sea en la banda de base (sistema B, véase el § 4.3.1 del Informe 632), o en radiofrecuencia (sistema C, véase el § 4.3.3 del Informe 632); este método corresponde al principio de multiplaje por distribución en el tiempo, que se utiliza de un modo generalizado cuando la señal de imagen se basa en la codificación de los componentes con compresión temporal (sistema MAC);
- el «multiplaje no interrumpido» que corresponde, por ejemplo, a impulsos digitales sobre una subportadora (sistema A, véase el § 4.2.2 del Informe 632); este método corresponde al principio del multiplaje por distribución de frecuencia que se utiliza de un modo generalizado cuando la imagen se basa en la codificación de una señal compuesta con una subportadora de color.

El caso de la transmisión de sonido sin imagen se considera como un caso particular del multiplaje no interrumpido. Antes de estudiar el multiplaje del sonido y de los datos, es necesario examinar las implicaciones del canal portador sobre los servicios transmitidos.

Los servicios se clasifican en cuatro categorías:

- a) los servicios en los que los datos se producen con una velocidad uniforme y deben reproducirse con una velocidad uniforme y cuyo tiempo de propagación es crítico (por ejemplo, el sonido digital);
- b) los servicios en los que los datos se producen con una velocidad no uniforme pero cuyo tiempo de propagación es crítico (por ejemplo, los subtítulos codificados que acompañan un programa de televisión);
- c) los servicios en los que los datos se producen con una velocidad no uniforme y cuyo tiempo de propagación es, dentro de ciertos límites, poco importante (por ejemplo, los mensajes de servicio);
- d) los servicios en los que los datos se difunden de manera cíclica con una velocidad tal que ocupan por completo la capacidad disponible en el sistema (por ejemplo, ciertas formas de radiodifusión de textos codificados y de soportes lógicos del computador).

Esta enumeración muestra claramente que el servicio más importante, es decir el sonido, es también el más crítico en lo que respecta al canal portador; por lo tanto este servicio se examinará con mayor detalle a continuación.

Se puede considerar que las muestras de una señal de sonido se generan a intervalos regulares (por ejemplo, frecuencia de 32 kHz). En el receptor, es necesario recuperar la regularidad de las muestras de sonido para evitar que surjan distorsiones o fluctuaciones de frecuencia en el sonido. Esta operación requiere la recuperación del reloj de audiofrecuencia lo que puede realizarse mediante los dos métodos siguientes:

- cuando las frecuencias características del canal portador son asíncronas y sin ninguna relación con la frecuencia de muestreo del sonido, es necesario utilizar una cierta forma de memoria elástica del tipo «Primero en entrar, Primero en salir» así como una frecuencia de reloj de suficiente precisión, con o sin realimentación, de manera que la velocidad de lectura en la memoria sea igual a la velocidad media de relleno de la misma;
- cuando las frecuencias características del canal portador se encuentran en sincronismo con la frecuencia de muestreo del sonido o están relacionadas con esta última por un número racional, entonces puede utilizarse el propio canal portador para suministrar la frecuencia del reloj de audiofrecuencia. En el caso en que la relación entre la frecuencia de muestreo y la velocidad binaria en el canal portador es de la forma p/q , la recuperación del reloj puede realizarse con un bucle de enganche de fase. Por ejemplo, para las señales digitales interrumpidas, la frecuencia de 32 kHz puede restituirse si está vinculada a la frecuencia de línea en la relación 256:125. Si la relación es de la forma $1/n$, basta una operación sencilla de división, lo cual reduce el costo de los receptores. Por ejemplo, para las señales digitales no interrumpidas el reloj de audiofrecuencia puede recuperarse fácilmente si la velocidad binaria global es un múltiplo entero de 32 kHz (por ejemplo 2048 ó 1792 kbit/s).

El primer método traslada una gran parte de la complejidad al diseño del receptor doméstico si bien permite un diseño relativamente sencillo del transmisor. Esta operación de recuperación asíncrona del reloj puede también ocasionar una fluctuación de fase en el reloj reconstruido, especialmente en el caso de un aparato doméstico en el que deben minimizarse los costos.

El segundo método exige que todas las frecuencias de muestreo de los canales de sonido estén sincronizadas con el canal portador, lo cual entraña un transmisor complejo equipado con sincronizadores de la velocidad de muestreo, pero corresponde al diseño más sencillo y estable de los receptores domésticos.

La naturaleza inherentemente intermitente de un canal MDT y los principios básicos del sistema de multiplaje por paquetes, impiden la señalización directa de relaciones de tiempo o fase precisas como las necesarias para algunos tipos de señales de control o canales múltiples de sonido. En esos casos, u otros análogos, la eficiencia de la codificación puede preservarse aprovechando las señales de sincronismo de televisión para proporcionar una base de tiempos de referencia, y utilizando la relación entre los bloques de codificación del sonido y la referencia de temporización. Tal método se describe en la parte 3, capítulo 3, de la publicación especial del CCIR titulada «Especificaciones de los sistemas de transmisión para el servicio de radiodifusión por satélite».



Los problemas de tiempo de propagación para los servicios de datos de las categorías b), c) y d) antes mencionadas son mucho menos críticos que en el caso de los servicios sonoros y por lo tanto no presentan dificultades particulares.

Lo que precede muestra claramente que el funcionamiento síncrono de los canales de sonido y del canal portador es ventajoso, independientemente del método de multiplexaje de los canales de sonido y de datos utilizado para formar la señal digital.

4. Multiplexaje de los canales de sonido y de los canales de datos

El canal digital único considerado en el § 3, en relación con el multiplexaje con la señal video, se forma mediante un multiplexaje en el tiempo de las diferentes señales de sonido y de datos. Dos principios básicos son posibles para este multiplexaje; se denominarán «multiplexaje continuo» y «multiplexaje por paquetes».

4.1 *Multiplexaje continuo*

En el multiplexaje continuo clásico, un número determinado de caracteres forma una trama digital compuesta de bits, cada uno de los cuales tiene asignada una función específica en función de su posición en la trama. Algunos bits por tanto, se destinan a transmitir la información relativa a una determinada señal de entrada. Una estructura predeterminada de bits (palabra de alineación de trama) le permite al receptor identificar y extraer los bits que transmiten cada una de las señales que constituyen el multiplex.

En la forma más sencilla, este tipo de multiplex está formado por señales de entrada cuya velocidad binaria es un submúltiplo preciso de la velocidad binaria final. En este caso se habla de multiplexaje síncrono. Cuando éste no es el caso, es posible efectuar un proceso de multiplexaje asíncrono utilizando algunos bits en la trama para transmitir informaciones reales o ficticias, según una señal de control. Este procedimiento es conocido con el nombre de justificación. En el caso de las señales de audio, se puede recurrir a otro método en el que la velocidad de muestreo se ajusta mediante un sincronizador, lo cual permite efectuar un multiplexaje síncrono. Se han hecho propuestas para utilizar el multiplexaje continuo en su forma asíncrona, utilizando la justificación, para insertar señales sonoras muestreadas a 32 kHz en el intervalo de supresión de línea, pero también es posible utilizar otros métodos. El § 3 muestra claramente que la forma síncrona de este multiplexaje presenta numerosas ventajas.

Los sistemas de multiplexaje continuo sólo necesitan una pequeña parte de la velocidad binaria total para satisfacer funciones adicionales tales como el sincronismo de trama. Un ejemplo de rendimiento que puede obtenerse mediante el multiplexaje continuo lo proporciona el sistema NICAM 3 [Caine y otros, 1980], que utiliza solamente 7 kbit/s de un total de 2048 kbit/s para el sincronismo de trama. El tiempo normal para la recuperación de trama después de la pérdida de sincronismo es de 2 ms para este sistema.

En servicio normal, la reasignación de canales de sonido será relativamente poco frecuente, debido a la naturaleza continua del sonido. Por lo tanto, un sistema de multiplexaje continuo se adapta especialmente a esta aplicación ya que sólo requiere una velocidad adicional relativamente baja para definir con seguridad la estructura del canal de sonido. Se puede utilizar una pequeña capacidad para fines de señalización, para indicar las modificaciones en la utilización del canal proporcionando así una mayor flexibilidad de funcionamiento. La capacidad de un canal cualquiera no utilizado para el sonido puede asignarse a los datos. En el caso de los datos, la estructura detallada puede transmitirse por el canal de los datos de una forma similar a la que se utiliza en el multiplexaje por paquetes con una longitud constante de los paquetes (véase el § 4.2). Por lo tanto este método no acarrea un aumento en la velocidad adicional del multiplex para indicar la presencia de datos. El objetivo de esta estructura consiste en explotar al máximo la capacidad del canal para las informaciones útiles, con un grado de flexibilidad razonable, asegurando al mismo tiempo la simplicidad y la estabilidad del diseño del receptor.

Una forma perfeccionada de multiplexaje continuo estudiada en Europa es la transmisión, en la trama digital, de información codificada que ha recibido el nombre de «mapa de estructura»; ello indica la configuración particular de multiplex. Este mapa de estructura lleva la información de dirección y de servicio que sirve para controlar el demultiplexor que selecciona los bits requeridos y los envía a los decodificadores adecuados. Este método permite dar la flexibilidad deseada en un multiplex continuo, cuya configuración se puede así revisar con frecuencia. Es posible una eficacia típica del canal del orden del 99%. En [CCIR, 1982-86a, c] se describen otras formas de multiplexaje continuo.

El sistema NTSC de subportadora digital (véase el Informe 1073 (MOD I) posee una estructura de multiplexión continua de los canales de sonido y de datos, con códigos de control en una trama digital que indican la estructura de la trama. También posee una estructura de multiplexación por paquetes dentro de la zona del canal de datos [CCIR, 1986-90a].

4.2 *Multiplexión por paquetes*

En este caso, el tren final de bits está compuesto por bloques sucesivos, denominados paquetes y formados de dos partes: el *encabezamiento* y la *información*. Cada paquete sólo transmite las informaciones de una sola señal de entrada y la selección a nivel del receptor se hace mediante detección en el encabezamiento de la dirección del servicio deseado: este método no impone un contenido predeterminado del tren final de bits [CCIR, 1978-82a].

En la forma que se ha concebido el método para las aplicaciones en radiodifusión, la longitud de los paquetes es constante. Los paquetes se transmiten de forma sincrónica, lo cual quiere decir que hay continuidad de fase de la secuencia binaria y de la portadora modulada entre paquetes o grupos de paquetes. También se transmiten los paquetes con una periodicidad uniforme. El proceso de control se convierte entonces en un proceso de sincronización similar al utilizado en una estructura de multiplexión continua. Esta sincronización puede efectuarse de una manera clásica utilizando un bucle que se engancha sobre un indicador de sincronización en el encabezamiento de cada paquete. Esta restricción de la longitud global fija de un paquete no implica una longitud fija de la zona que contiene los datos útiles.

Dentro de las limitaciones de la transmisión periódica de paquetes, la velocidad a la que se transmiten los paquetes para un servicio dado está directamente relacionada con la velocidad binaria de la señal de entrada del servicio asociado. En el multiplexión por paquetes, es posible tener un funcionamiento sincrónico o asincrónico. En este último caso, las velocidades binarias de las diferentes señales de entrada no necesitan estar directamente relacionadas con la velocidad binaria final. Así pues, no es necesario tomar ninguna medida especial para adaptar las señales asincrónicas. El contenido del multiplex no necesita determinarse o fijarse y puede modificarse en cualquier momento en función de las necesidades. En el caso del funcionamiento asincrónico para servicios sonoros (por ejemplo para la inserción de señales sonoras en el intervalo de supresión de línea), el multiplexión por paquetes permite de por sí la inserción asincrónica en el tren final de bits, pero la recuperación de la frecuencia de muestreo requiere procesos de resincronización, como se explica en el § 3.

Un paquete está compuesto de dos partes:

- una sección de datos útiles,
- un encabezamiento, reservado al transmisor, que sirve para sincronizar el receptor y para identificar la fuente de los datos introducidos en el paquete y para transmitir otras informaciones; el encabezamiento lleva un indicador de sincronización, seguido de un prefijo.

El indicador de sincronismo le permite al receptor extraer adecuadamente los bytes que componen el paquete. Su papel es equivalente al de la palabra de enganche en el caso del multiplexaje continuo. En una emisión periódica, también puede utilizarse para la sincronización del bucle que sirve para el proceso de control. Debemos también indicar la posibilidad de utilizar este indicador para eliminar la ambigüedad debida a ciertos procedimientos de demodulación; un tal dispositivo es ventajoso en la medida en que evita la codificación de transiciones y por lo tanto una cierta propagación de errores de transmisión.

El papel del prefijo es caracterizar e identificar el contenido semántico del paquete y más especialmente el origen de los datos introducidos en la zona de datos útiles. Varias configuraciones de prefijos son posibles. En particular, podrían utilizarse las configuraciones de prefijo previstas para la radiodifusión de datos [CCIR, 1978-82b].

El incremento en la flexibilidad de los datos transmitidos por un sistema de multiplexaje por paquetes se obtiene a costa de un aumento de la velocidad binaria del canal debido a los encabezamientos de los paquetes que incluye, en funcionamiento normal, la inserción de identificadores de programa. Se puede obtener un rendimiento útil de aproximadamente 97%.

4.3 *Sensibilidad a los errores de los sistemas de multiplexaje continuo y por paquetes*

4.3.1 *Multiplexaje continuo*

El procedimiento de multiplexaje continuo es sensible a dos tipos de degradaciones:

- bits erróneos,
- pérdida del sincronismo de trama.

Los errores introducidos en señales múltiplex, para un cierto número de tramas consecutivas, pueden provocar pérdida de sincronización a nivel del multiplexor cuando no se reconoce la estructura de trama, pero este riesgo puede reducirse si los circuitos de sincronismo han sido bien diseñados. Por ejemplo, el decodificador del sistema NICAM 3 mencionado anteriormente permanece sincronizado hasta que la proporción de bits erróneos se aproxima a 10^{-1} . Utilizando códigos de sincronización de un tipo especial (es decir, la clase de códigos Barker), puede lograrse una sincronización de trama muy sólida, lo que hace factible un enganche de sincronización sumamente rápido y estable con una BER de 10^{-1} [CCIR, 1982-86a].

4.3.2 *Multiplexaje por paquetes*

El procedimiento de difusión por paquetes es sensible a dos tipos de degradaciones:

- bits erróneos,
- pérdida de paquetes.

En efecto, a cada fuente está asociado un identificador de canal digital contenido en el prefijo de los paquetes. En el demultiplexor, se seleccionan los paquetes mediante el análisis de este identificador. Los errores en esta información, pese a que es protegida, pueden ocasionar un reconocimiento erróneo de la dirección de la fuente de transmisión y por lo tanto, una pérdida del paquete que se refleja a nivel del servicio, en la pérdida de un cierto número de bytes sucesivos (que dependen del formato de la zona de datos del o de los paquetes perdidos).

Este fenómeno debería generar una interrupción de la secuencia de la trama de servicio y la pérdida del sincronismo en el terminal de servicio. Sin embargo, dado que la longitud de la *trama de servicio* es un submúltiplo de una *longitud fija* de paquetes, habrá pérdida de información sin que haya pérdida de sincronismo.

En este caso, los paquetes asociados con una fuente de sonido dada, siempre tendrán una longitud fija y predeterminada conocida por el demultiplexor. Por ello es preferible utilizar en esas aplicaciones una configuración de encabezamiento sin byte de formato.

Se han realizado varias pruebas de difusión de señales digitales de sonido con multiplexaje por paquetes y con modulación apropiada para la difusión por satélite (con imágenes de televisión) en el laboratorio así como con el satélite OTS [UER, 1981]. En el anexo I del Informe 632 también figuran algunos resultados de dichas pruebas. Se ha observado que las pérdidas de paquetes sólo degradan sensiblemente la calidad del sonido para niveles de relación portadora/ruido por debajo del umbral de la modulación de frecuencia, cuando la imagen de televisión ya está fuertemente degradada.

4.4 *Resultados experimentales*

La UER ha efectuado demostraciones del múltiplex continuo con mapa de estructura y del múltiplex por paquetes en relación con los sistemas de modulación A y C anteriormente previstos para la radiodifusión por satélite. Más recientemente, se han efectuado también pruebas de múltiplex por paquetes en asociación con el sistema de modulación D2 (véase el Informe 632). Los sistemas experimentales de multiplexaje fueron diseñados para ofrecer la máxima capacidad posible, teniendo en cuenta la velocidad binaria impuesta para el sistema de modulación. Las pruebas se centraron, en particular, en los distintos métodos para conseguir protección contra los errores y en las posibilidades de reconfigurar el múltiplex con una modificación del número y la naturaleza de los canales de sonido y la inserción de servicios de datos. Las conclusiones se resumen en los § 4.4.1 y 4.4.2.

Se señala que:

- la capacidad del sistema se expresa en número equivalente de canales de sonido de alta calidad que utilizan compresión-expansión casi instantáneas (véase el Informe 953) y dotados de un sistema de protección simple contra errores;
- la velocidad binaria disponible era de 2048 kbit/s con modulación de tipo A (subportadora) y de unos 3 Mbit/s (valor medio) con modulación de tipo C (múltiplex temporal RF con una velocidad binaria instantánea de 20,25 Mbit/s) y de alrededor de 1,5 Mbit/s (valor medio) con una modulación de tipo D2 (múltiplex temporal de banda de base, con codificación duobinaria y velocidad binaria instantánea de 10,125 Mbit/s).

Se ha empleado un múltiplex continuo con estructura rígida en un sistema de modulación de tipo B (descrito en el Informe 1073, cuadro III). Con esta técnica múltiplex, la estructura está esencialmente predefinida y fijada por el soporte físico. La capacidad viene determinada solamente por la modulación y la técnica de codificación, ya que no se necesitan suplementos para definir la estructura del múltiplex. Las características de este sistema se resumen en el § 4.4.3.

Para la modulación de tipo B (múltiplex temporal en banda de base con codificación de cuatro estados y una velocidad binaria instantánea de aproximadamente de 14,25 Mbit/s), la velocidad binaria disponible es de 1,57 Mbit/s.

4.4.1 *Múltiplex continuo con mapa de estructura*

4.4.1.1 *Capacidad*

En un sistema de tipo C con video, el sistema de mapa de estructura ofrece una capacidad equivalente a 8 canales de sonido con compresión de alta calidad.

Son posibles todas las combinaciones de canales de sonido con codificación lineal, compresión-expansión u otros tipos de canales de sonido, siempre que no se rebase la capacidad total. La capacidad restante puede utilizarse para datos.

En un sistema de tipo A, el multiplaje permite la radiodifusión de seis canales de audio con compresión-expansión y una protección reducida contra errores (un bit de paridad por cada dos muestras).

4.4.1.2 *Flexibilidad del múltiplex*

Es fácil acomodar las frecuencias de muestreo y los métodos de codificación recomendados para el sonido. Pueden también utilizarse otras frecuencias de muestreo y otros métodos de codificación. Se puede adoptar cualquier forma de protección contra errores.

Los canales de datos pueden tener una capacidad que aumente en pasos de 100 bit/s, y que abarque desde los valores mínimos hasta la totalidad de la velocidad binaria disponible.

Las modificaciones de la estructura del múltiplex se pueden efectuar rápidamente y con seguridad, de modo que sea posible utilizar en cualquier momento el canal de radiodifusión de manera óptima para la transmisión combinada de sonido y datos. Los cambios en la estructura son sincrónicos y no causan retardo variable ni interrupción en ningún canal.

En el caso de sistemas C sin señal de imagen, la capacidad disponible para sonido y datos se puede aumentar a unos 20 Mbit/s.

4.4.1.3 *Calidad y continuidad de los canales de audio*

La técnica de multiplaje preserva toda la información de sincronización y de temporización. Se garantiza pues la coherencia de fase entre todos los canales presentes y futuros. Es posible utilizar estrategias diferentes de protección contra los errores en cada uno de los canales de audio o de datos.

Un error en la decodificación del mapa, que pueda causar el fallo de todos los canales, sólo se puede producir muy por debajo del punto de fallo de los canales de audio.

4.4.1.4 *Sencillez del demultiplexor*

El demultiplexor puede realizarse mediante un circuito que ofrezca todas las funciones de protección y demultiplexación o mediante un demultiplexor/decodificador integrado autónomo para cada canal. La lógica necesaria será igual para todos los tipos de canal, incluidos los que transmiten el mapa de estructura.

4.4.1.5 *Solidez del sistema*

Se ha demostrado que la sincronización del sistema funciona satisfactoriamente con proporciones de errores ligeramente inferiores a 10^{-1} .

4.4.2 *Multiplaje por paquetes*

4.4.2.1 *Capacidad*

En el sistema A, el múltiplex de paquetes ofrece una capacidad equivalente a 5 canales de audio monofónicos de alta calidad con compresión-expansión.

En el sistema C, las especificaciones del sistema de multiplaje por paquetes contenidas en el Informe 1073 ofrecen una capacidad equivalente a 8 canales de audio monofónicos de alta calidad con compresión-expansión. Para el sistema D2 especificado en el mismo Informe, la capacidad ofrecida equivale a cuatro canales de audio monofónicos de alta calidad con compresión-expansión.

Es posible cualquier combinación de canales de sonido con codificación lineal, compresión-expansión u otros tipos de canal de sonido, siempre que no se rebase la capacidad total. La capacidad restante podrá usarse para datos.

4.4.2.2 Flexibilidad del múltiplex

Este sistema múltiplex cumple las condiciones especificadas en el Informe 953 sobre codificación de las señales de sonido. En lo que respecta a los datos, permite la inserción de servicios síncronos o asíncronos, sin límite alguno de velocidad binaria (en particular, para valores bajos). Los cambios de configuración se pueden efectuar rápidamente y con seguridad. En el caso del sistema C es posible, en ausencia de una señal video, aumentar la capacidad disponible para sonido y datos a unos 19,5 Mbit/s.

En principio se puede utilizar absolutamente cualquier forma de protección contra errores. En el sistema especificado en el Informe 1073 se prevén dos niveles de protección.

4.4.2.3 Calidad y continuidad de las señales de sonido

Se ha demostrado que, incluso con elevadas proporciones de bits erróneos, la calidad y la continuidad de la señal de sonido se mantienen y que las modificaciones en la forma de las señales de sonido para atender necesidades operativas se efectúan sin detrimento de la calidad de audio. Está asegurada la coherencia de temporización entre los canales de audio.

4.4.2.4 Sencillez del demultiplexor

La selección de un canal determinado es independiente de su contenido (sonido o datos), por lo que se puede efectuar de igual manera cualesquiera que sean los decodificadores y los tipos de servicio.

Esta particularidad permite realizar un demultiplexor simple para los servicios existentes y para los que están todavía por definir.

4.4.2.5 Solidez del sistema

Se ha experimentado el sistema de multiplaje por paquetes con las especificaciones contenidas en el Informe 1073 y se ha comprobado su aptitud para transmitir diferentes canales de sonido y datos con proporciones diferentes de bits erróneos. El cuadro I siguiente contiene información sobre la eficacia de la protección contra errores en el campo de encabezamiento.

CUADRO I

Proporción de bits erróneos medida (durante 30 s)	Proporción de pérdidas de paquetes	
	Medida	Calculada a partir de la proporción de bits erróneos medida
$6,6 \times 10^{-5}$	0	0
$3,2 \times 10^{-4}$	0	10^{-10}
$1,2 \times 10^{-3}$	0	$1,6 \times 10^{-8}$
$3,6 \times 10^{-3}$	0	$1,4 \times 10^{-6}$
$9,2 \times 10^{-3}$	$7,4 \times 10^{-5}$	$5,5 \times 10^{-5}$
2×10^{-2}	$1,2 \times 10^{-3}$	$1,05 \times 10^{-3}$
$3,8 \times 10^{-2}$	10^{-2}	$1,03 \times 10^{-2}$
6×10^{-2}	$5,3 \times 10^{-2}$	$4,6 \times 10^{-2}$
$8,8 \times 10^{-2}$	$1,7 \times 10^{-1}$	$1,38 \times 10^{-1}$

4.4.3 Múltiplex continuo con estructura rígida

4.4.3.1 Capacidad

En un sistema de tipo B, la estructura rígida ofrece 6 canales de audio independientes (utilizando codificación MDA (véase el Informe 953)). Se dispone además de un canal de datos de 62 kbit/s.

4.4.3.2 Flexibilidad del múltiplex

Cualquier canal de audio puede reconfigurarse en un canal de datos con una velocidad binaria de 204 kbit/s.

4.4.3.3 Calidad y continuidad de las señales de sonido

Está asegurada la coherencia de temporización entre canales de audio. Se ha demostrado que la calidad de audio se degrada a un valor de 4,4 con una proporción de bits erróneos de 10^{-4} , y a un valor de 3,5 con una proporción de bits erróneos de 10^{-3} .

4.4.3.4 Sencillez del demultiplexor

La estructura rígida permite el demultiplexor más simple posible.

4.4.3.5 Solidez del sistema

Se ha demostrado que la sincronización del sistema se produce satisfactoriamente para proporciones de bits erróneos peores que 1×10^{-1} . Se prevé codificación de dos estados y de cuatro estados para que exista flexibilidad en términos de capacidad respecto a la solidez. (La capacidad se reduce a la mitad de la indicada en el § 4.4.3.1 cuando se utiliza codificación de dos estados.) En ambos casos, la sincronización del sistema está codificada en dos niveles.

5. Conclusiones

Este Informe ha descrito dos métodos básicos de multiplexaje de señales digitales de sonido y de otras señales para la radiodifusión.

En resumen, se puede decir que el multiplexaje continuo ofrece, en el caso de estructura rígida, un sistema que es el más eficaz para las emisiones sonoras y que se corresponde con un receptor sencillo. En el caso de la estructura flexible, el multiplexaje continuo ofrece un sistema que presenta una flexibilidad adecuada a costa de una mayor complejidad del receptor y de un cierto aumento de la velocidad binaria adicional. El sistema de multiplexaje por paquetes ofrece en principio una gran flexibilidad con un receptor de complejidad media a costa de una mayor velocidad binaria. Ambos sistemas requieren solamente circuitos sencillos de sincronismo en el receptor si las frecuencias de muestreo de las señales que han de combinarse son sincrónicas o pueden sincronizarse. Cada sistema es en principio vulnerable a los efectos de los errores, pero no es probable que ocurran pérdidas de trama y/o pérdidas de paquetes en funcionamiento normal.

La elección del sistema de multiplexaje para la radiodifusión de un grupo de señales digitales de audio y de datos asociadas a la imagen de televisión depende principalmente de la naturaleza y la diversidad de los servicios, aunque éstos no estén todavía identificados. Los factores que influyen en la elección son la eficacia, la flexibilidad y la complejidad del receptor. Los dos sistemas de multiplexaje examinados en Europa proporcionan sendas soluciones satisfactorias a las necesidades generales expresadas. A la vista de todos los factores pertinentes, se han establecido las especificaciones completas del multiplexaje por paquetes para la radiodifusión por satélite en 12 GHz con la norma de televisión de 625 líneas. Las especificaciones detalladas del multiplexaje por paquetes elegida (en asociación con la modulación de tipo C y D2) figuran en el Informe 1073.

El múltiplex continuo con estructura rígida se ha especificado detalladamente para la radiodifusión por satélite en 12 GHz, y es idéntico para un sistema de 525 líneas o de 625 líneas. Las especificaciones detalladas de este múltiplex (en asociación con la modulación de tipo B) figuran en el Informe 1073, cuadro III.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CAINE, C. R., ENGLISH, A. R. y O'CLAREY, J. W. H. [octubre de 1980] NICAM 3: Near instantaneously companded digital transmission system for high quality sound programmes. *Radio Electron. Engr.*, Vol. 50, 10, 519-530.

UER [junio de 1981] Essais de radiodiffusion directe avec OTS, synthèse des résultats. Documento técnico 3231 de la UER.

Documentos del CCIR

[1978-82]: a. 10/203 (11/260) (Francia); b. 11/2 (UER).

[1982-86]: a. 10-11S/44 (Alemania (República Federal de)); b. 10-11S/186 (Alemania (República Federal de)); c. 10-11S/6 (Japón).

[1986-90]: a. 10-11S/119 (Japón).