

RECOMENDACIÓN UIT-R BR.1356*

Requisitos de usuario para aplicación de la compresión en la producción corriente de televisión digital de definición convencional y su archivo*****

(Cuestiones UIT-R 238/11 y UIT-R 239/11)

(1998)

La Asamblea de Radiocomunicaciones de la UIT,

considerando

- a) que los nuevos soportes de almacenamiento en disco incidirán previsiblemente en todas las áreas de la producción de televisión, a saber, la edición no lineal, la producción en directo y el almacenamiento de archivos a corto y medio plazo;
- b) que esta tecnología ofrece ventajas significativas en términos de flexibilidad de explotación, flujo de producción y automatización de la extracción muy superiores, por lo que resulta muy atractiva para la mejora de los estudios actuales y el diseño de instalaciones de estudio completamente nuevas;
- c) que la utilización económica y más rápida de la tecnología de almacenamiento jerárquico, junto con las redes de interconexión permitirá efectuar operaciones interactivas y multiusuario, a pesar del coste de una reducción significativa de la velocidad binaria de la señal de vídeo sujeta al proceso mencionado;
- d) que ya han llegado al mercado una serie de esquemas de reducción de la velocidad binaria mutuamente incompatibles que pretenden lograr un almacenamiento de datos económico, así como distintos formatos de ficheros y protocolos de interconexión de red para el intercambio de señales, lo cual puede poner en peligro el funcionamiento entre equipos individuales y estudios distantes de fabricantes diferentes;
- e) que se considera especialmente importante y urgente la realización de estudios sobre esquemas de compresión para el almacenamiento y archivo de datos de televisión, lo que redundará en beneficio de las entidades de radiodifusión, incluyendo las de los países en desarrollo, lo cual queda patente por las contribuciones recibidas del UIT-D, la WBU y algunas administraciones,

recomienda

1 que los algoritmos de compresión y los esquemas de transporte se basen en Normas Abiertas. Ello implica que todas las partes interesadas dispongan de una base justa y equitativa de

* La Comisión de Estudio 6 de Radiocomunicaciones efectuó modificaciones de redacción en esta Recomendación en 2001 de conformidad con la Resolución UIT-R 44.

** Por producción corriente se entiende la producción/postproducción que tiene por finalidad lograr una calidad casi transparente a una velocidad binaria de la señal de vídeo comprimida de aproximadamente 50 Mbits/s.

*** El alcance de esta Recomendación se limita a los sistemas de 525 y 625 líneas con entrelazado y a los esquemas de compresión de vídeo que utilizan velocidades binarias de 50 Mbit/s o inferiores (excluyendo el audio) y una resolución de codificación de un cuadro de TV o superior.

En el Apéndice A de esta Recomendación figura una descripción didáctica general de los algoritmos de compresión que pueden utilizarse en la producción de televisión, así como algunos ejemplos de aplicación.

los conocimientos necesarios para aplicar estas normas. La disponibilidad en el mercado de circuitos y/o algoritmos para la codificación y decodificación del soporte lógico puede dar a los usuarios la confianza necesaria para la adopción de métodos de compresión particulares;

2 que se ha de minimizar el número de métodos y parámetros de compresión para cada aplicación de producción de televisión definida de forma precisa, a fin de maximizar la compatibilidad y la capacidad de interfuncionamiento;

3 que debe disponerse de métodos de verificación del cumplimiento para los que fabrican equipos conforme a las normas, para los algoritmos y los esquemas de transporte y para los usuarios que adquieren e instalan equipos fabricados conforme a dichas normas. Las entidades de normalización deben adoptar normas sobre los métodos de verificación del cumplimiento que sirvan de apoyo a las necesidades de los fabricantes y los usuarios;

4 que un esquema de compresión único utilizado con distintos parámetros de compresión a lo largo de la cadena debe ser decodificable con un decodificador único;

5 que conviene desarrollar un decodificador común («múltiple») que permita utilizar más de una familia de compresión;

6 que la integración de la compresión de vídeo en sistemas más complejos debe efectuarse a través de interfaces normalizadas. El tránsito por el método de la Recomendación UIT-R BT.601, es decir, el de decodificación y recodificación, debe ser el método por defecto de concatenación de señales de vídeo comprimidas utilizando técnicas y/o parámetros distintos;

7 que el esquema de compresión elegido no debe impedir la utilización de infraestructuras basadas en la interfaz digital serie (SDI) de la Recomendación UIT-R BT.656;

8 que deben continuar examinándose los temas relacionados con la capacidad de interfuncionamiento y deben desarrollarse normas con las que se puedan lograr niveles de calidad predecibles en la realización de aplicaciones específicas;

9 que deben diseñarse trenes binarios que lleven señales comprimidas, de forma que pueda dárseles un formato y un empaquetado para el transporte por el mayor número posible de tipos de circuitos y redes de comunicación;

10 que se empleen métodos adecuados de codificación del canal y de protección contra errores, cuando sea necesario;

11 que los sistemas de compresión se diseñen de forma que en su funcionamiento normal, las relaciones de temporización de la señal (por ejemplo, sincronismo labial audio/vídeo) y la sincronización presentada a las entradas del codificador se reproduzcan en las salidas del decodificador;

12 que los retardos de la señal experimentados en el proceso de compresión (codificación/decodificación) se limiten a duraciones que resulten prácticas para las aplicaciones específicas de producción de televisión;

13 que debe preverse el envío de la información seleccionada del intervalo vertical analógico por el sistema de compresión, aunque no necesariamente vaya comprimida con la señal de vídeo. Debe preverse el envío de partes seleccionadas del grupo metadatos a través de un trayecto transparente de forma síncrona con los datos de vídeo y de audio;

14 que con el esquema de compresión elegido para los dispositivos que emulan los magnetoscopios se pueda efectuar la reproducción de imágenes en modo de repetición de secuencias para identificar el contenido y la reproducción de imágenes en modos por pasos y de cámara lenta para seleccionar puntos de edición;

15 que las interfaces de red y los dispositivos de almacenamiento puedan aceptar las opciones de velocidad binaria variable (VBR) y de velocidad binaria constante (CBR);

16 que los dispositivos de almacenamiento permitan la grabación y la reproducción de trenes de programas de televisión y ficheros como datos en vez de efectuar una decodificación hasta la señal de banda de base para grabar y recodificar en la reproducción;

17 que la estrategia de compresión elegida para la televisión normalizada sea ampliable a las aplicaciones de alta definición para poder disponer de elementos comunes en la fase de transición.

NOTA 1 – La Recomendación UIT-R BR.1357 enumera una serie de términos especializados que se utilizan frecuentemente en el contexto de los nuevos sistemas de producción de televisión.

APÉNDICE A

Informe sobre la utilización de la compresión en la producción de televisión

Introducción

La compresión digital de señales de vídeo está en el centro de la tecnología de los nuevos sistemas de producción de programas de televisión del futuro, pues permite el almacenamiento de programas en servidores a los que se puede acceder de manera prácticamente instantánea y que permiten la utilización simultánea por múltiples usuarios. Estas características tienen la ventaja de mejorar la eficacia operativa y reducir el coste de la producción, la post-producción y la reproducción de programas de televisión.

El Informe identifica una serie de parámetros que definen las características básicas de los distintos esquemas de compresión y amplía su repercusión en la calidad de la imagen y en el margen post-producción, en una serie de aplicaciones que normalmente se presentan en la producción de televisión distribuida.

PARTE A

Aspectos de la compresión

1 Compresión digital para las señales de vídeo

1.1 Calidad de la imagen

La selección de los parámetros del sistema de compresión tiene una influencia significativa en la calidad general de la imagen. Estas alternativas de parámetros de compresión deben optimizarse para mantener la calidad de la imagen, al tiempo que se encajan los datos de imagen en la anchura de banda o en el espacio de almacenamiento disponibles. Según las aplicaciones específicas, se pueden optimizar las distintas combinaciones de parámetros de compresión.

Los parámetros del sistema de compresión que deben considerarse son: los métodos de codificación subyacentes, la estructura de muestreo de la codificación, el preprocesamiento, las velocidades de datos y la estructura del grupo de imágenes (GOP) utilizada. Al elegir los parámetros del sistema de compresión, también se debe tener en cuenta la interacción entre las alternativas de parámetros. Por último, deben considerarse aspectos especiales del funcionamiento tales como la edición de trenes binarios o el empalme de nuevos contenidos con un tren binario de llegada.

1.1.1 Método de codificación

El método de codificación es la alternativa de compresión más importante. En la cadena de producción y distribución de televisión hay cuatro métodos de compresión principales: Perfil Principal MPEG-2 a Nivel Principal (MP@ML), Perfil MPEG-2 4:2:2 a Nivel Principal (4:2:2@ML), JPEG de movimiento y DV. Todos estos métodos de codificación se basan en la transformada discreta del coseno (DCT) y utilizan la normalización y cuantificación de los coeficientes de la transformada, seguidas de la codificación de longitud variable.

Los métodos MPEG incluyen la estimación del movimiento y la compresión en su grupo de técnicas. Se obtiene de esta manera una mejor eficacia de codificación, a expensas de un mayor coste en cuanto a memoria y periodo de procesamiento. Los modos JPEG de movimiento y DV están orientados a la trama, con lo que se minimiza el coste de la codificación, si bien estos métodos orientados a la trama no aprovechan la eficacia de codificación de la estimación y la compensación del movimiento entre tramas. Los MPEG y DV permiten el procesamiento adaptable al movimiento, junto con el procesamiento intratrama.

1.1.2 Estructura de muestreo

Los métodos MPEG, JPEG de movimiento y DV pueden utilizarse con una matriz de píxeles 4:2:2 como la de la Recomendación UIT-R BT.601. Los MPEG y JPEG de movimiento pueden utilizarse con otras matrices de elementos de imagen, velocidades de trama múltiples y exploración entrelazada o progresiva. Véase que la matriz 4:2:2 lleva un submuestreo a partir de la señal original en toda la anchura de banda (4:4:4). La matriz de elementos de imagen puede a su vez submuestrearse para reducir los datos de la señal con un muestreo 4:2:2, lo que se utiliza normalmente para el intercambio entre sistemas.

Los sistemas 4:2:2 tales como el de perfil MPEG-2 4:2:2, JPEG de movimiento 4:2:2 y DV 4:2:2 (que funciona a 50 Mbit/s) utilizan la mitad de muestras de diferencia de color por línea, en comparación con las utilizadas en el canal de luminancia. El sistema 4:2:2 da una anchura de banda horizontal mitad en los canales de diferencia de color, comparada con la anchura de banda de luminancia y con la anchura de banda vertical total.

Los sistemas 4:1:1 tales como el DV 525 utilizan un cuarto del número de muestras de diferencia de color por línea, en comparación con el número utilizado en el canal de luminancia. El sistema 4:1:1 reduce la anchura de banda horizontal de diferencia de color a un cuarto de la luminancia en el canal, manteniendo al mismo tiempo la anchura de banda vertical total. Los filtros utilizados para lograr las anchuras de banda en el plano horizontal con submuestreo 4:1:1, al igual que otros filtros horizontales, cuenta generalmente con una respuesta en frecuencia plana en su banda de paso, lo que permite la traslación al sistema 4:2:2 y desde éste sin una degradación adicional superior a la del submuestreo 4:1:1.

Los sistemas 4:2:0 tales como el DV 625¹ y el de Perfil Principal MPEG-2 utilizan la mitad de las muestras de diferencia de color horizontalmente y la mitad de las muestras de diferencia de color verticalmente, en comparación con el número utilizado en el canal de luminancia. Los sistemas 4:2:0 mantienen por tanto la misma anchura de banda horizontal de diferencia de color que los 4:2:2 (es decir, la mitad de la del canal de luminancia), pero reducen la anchura de banda vertical de diferencia de color a la mitad de la del canal de luminancia. No obstante, la

¹ Véase que el formato propuesto SMPTE D-7, aunque se basa en la codificación DV utilizará muestreo 4:1:1 para los sistemas de 525 y de 625 líneas.

codificación 4:2:0 no da generalmente una respuesta en frecuencia plana en su banda de paso vertical, con lo que impide la traslación transparente a otras formas de codificación. En consecuencia, los sistemas que utilizan el muestreo 4:2:0 con procesamiento intermedio generalmente no mantendrán la anchura de banda total 4:2:0 de la codificación precedente.

Cuando las distintas técnicas de codificación de la compresión vayan concatenadas deben seleccionarse con cautela las estructuras de muestreo de la compresión. En general, la mezcla de distintas estructuras de submuestreo repercute en la calidad de la imagen, por lo que hay que reducir al mínimo la disposición en cascada de dichas estructuras. Por ejemplo, mientras que las señales 4:1:1 ó 4:2:0 mantienen su calidad original en el post-procesamiento 4:2:2 (análogo al «rebote» de los formatos de cinta), la disposición en cascada de señales 4:1:1 y 4:2:0 dará generalmente una calidad inferior a la de las 4:1:0.

1.1.3 Procesamiento previo de compresión

Los sistemas de compresión de vídeo presentan limitaciones inherentes de su capacidad de compresión de imágenes hasta anchuras de banda o espacios de almacenamiento finitos. Los sistemas de compresión se basan en la eliminación de la redundancia de las imágenes, de forma que cuando éstas son muy complejas (con muy poca redundancia) puede rebasarse la capacidad de encajarlas en el espacio de datos disponible, lo que da lugar a efectos indeseados de compresión en la imagen. En estos casos, puede ser preferible reducir la complejidad de la imagen mediante otros métodos antes del tratamiento de compresión. Estos métodos se denominan de procesamiento previo e incluyen el filtrado y la reducción del ruido.

Cuando hay ruido en la señal de entrada, el sistema de compresión puede gastar algunos bits codificando el ruido, lo que deja un número inferior de éstos para la codificación de la imagen deseada. Cuando se utiliza la detección del movimiento o la estimación y compensación de éste, el ruido puede reducir la precisión del procesamiento del movimiento, lo que a su vez reduce la eficacia de codificación. Incluso en los sistemas con compresión que no utilizan la estimación y compensación del movimiento, el ruido añade una energía considerable a los componentes de alta frecuencia de la DCT, que de otra manera serían cero. En este caso, no sólo se desperdician bits con componentes extemporáneos de la DCT, sino que se degrada también la eficacia de la codificación por gama de repetición.

Las especificaciones del sistema de compresión suelen definir únicamente las funciones de compresión en el equipo, pero no especifican el procesamiento previo que va antes de la función de compresión. Una excepción es la del método de implicación que es parte inherente del sistema DV y que no debe confundirse con la implicación utilizada para la gestión de errores en los registradores digitales.

Como la mayoría de los sistemas de procesamiento previo, tales como los de filtrado o de reducción del ruido no siempre son necesarios, los parámetros del procesamiento previo pueden seleccionarse atendiendo al carácter de las imágenes y a las capacidades de un sistema de compresión. Estas alternativas pueden fijarse previamente o pueden ser adaptables.

1.1.4 Velocidad de datos

El método de Perfil MPEG-2 4:2:2 a Nivel Principal define velocidades de datos de hasta 50 Mbits/s. El equipo JPEG de Movimiento 4:2:2 funciona generalmente con velocidades de datos hasta de 50 Mbits/s. El DV 4:1:1 y el DV 4:2:0 funcionan a 25 Mbits/s. El DV 4:2:2 a 50 Mbits/s está en proceso de normalización. El método de Perfil Principal MPEG-2 a Nivel Principal se define para velocidades de datos de hasta 15 Mbits/s.

La selección de la velocidad de datos para el MPEG-2 4:2:2@ML está relacionada con la estructura de grupo de imágenes (GOP) utilizada. Normalmente se utilizarán velocidades binarias inferiores con estructuras GOP más largas y más eficaces, mientras que se emplearán velocidades binarias

superiores con estructuras GOP más sencillas y más cortas. Las imágenes con codificación interior (imágenes I únicamente de Perfil MPEG-2 4:2:2, M-JPEG y DV) a velocidades de datos de 50 Mbits/s pueden dar una calidad de imagen comparable. Las MPEG-2 4:2:2@ML con estructuras GOP más largas y velocidades de datos inferiores pueden dar calidad comparable a las de las estructuras GOP más cortas con velocidades de datos superiores -aunque a expensas de un periodo más largo (véase a continuación el grupo de imágenes).

1.1.5 Grupo de imágenes

Hay tres formas principales para codificar o comprimir una imagen. La más elemental es la codificación de una trama o un cuadro haciendo referencia únicamente a los elementos contenidos en dicho cuadro o trama. Se denomina a ésta codificación interna (o abreviadamente codificación sólo I). La segunda forma de codificar una imagen utiliza la predicción de la compensación del movimiento de una imagen precedente (denominada imagen P) precedente con codificación I. La codificación de la información del error de predicción permite al decodificador reconstruir la imagen de salida adecuadamente. El tercer método utiliza también la predicción de compensación del movimiento, pero deja que la referencia de predicción (denominada trama de guía) preceda y/o siga a la imagen que se está codificando (codificación bidireccional o de imagen B). La selección de la referencia para cada imagen o parte de imagen se efectúa minimizando el número de bits necesarios para codificarla.

Las secuencias de imágenes que utilizan combinaciones de los tres tipos de codificación, que define el MPEG se denominan grupos de imágenes (GOP). Los métodos JPEG de movimiento y DV utilizan únicamente codificación interna al cuadro y por tanto, no se describen en términos de los GOP.

El MPEG-2 permite múltiples alternativas de estructuras GOP, de las que algunas se utilizan más frecuentemente que otras. En general, un GOP se describe en términos de su longitud total y de la secuencia de repetición de los tipos de codificación de la imagen (por ejemplo, 15 cuadros de IBBP). La alternativa óptima de estructura GOP depende de la aplicación específica, de la velocidad de datos utilizada y de ciertas consideraciones sobre la demora.

Como las imágenes sólo-I son menos eficaces y las imágenes B son más eficientes, los GOP más largos con más imágenes B y P darán una calidad de imagen superior para una velocidad de datos determinada. Este efecto se acusa en velocidades de datos inferiores y se reduce en velocidades de datos superiores. A 20 Mbits/s, la utilización de GOP largos (por ejemplo, IBBP) puede ser útil, mientras que a 50 Mbits/s, los GOP más cortos pueden dar la calidad requerida.

Además de afectar a la calidad de la imagen, la elección de la estructura de GOP repercute también en el tiempo empleado. Como una imagen B no puede codificarse hasta que se disponga de la imagen de guía posterior, se introduce un retardo en el proceso de codificación. No obstante, véase que este retardo depende de la distancia entre los cuadros de guía y no de la longitud total de la estructura GOP. Esto significa que puede obtenerse una mezcla de la eficacia de codificación de las estructuras de GOP largas y de la demora inferior de las estructuras GOP cortas, mediante una utilización adecuada de las imágenes P de guía.

1.1.6 Calidad constante y velocidad de datos constante

Se dice en ocasiones que los sistemas de compresión son de velocidad binaria variable (VBR) o de velocidad binaria constante (CBR). Los sistemas MPEG-2 y JPEG de Movimiento pueden funcionar en los modos de velocidad binaria variable o de velocidad binaria constante; el DV funciona únicamente con velocidad binaria constante. En la práctica, incluso los sistemas

considerados generalmente como de velocidad de datos constante presentan variaciones de la velocidad de datos, pero durante periodos de tiempo reducidos. Otra forma de caracterizar los sistemas de compresión es comparar los sistemas de calidad constante con los de velocidad de datos constante.

Los sistemas de calidad constante tratan de mantener una calidad de la imagen uniforme ajustando la velocidad de datos codificada, generalmente dentro de los límites de una velocidad de datos máxima. Como las imágenes más simples son más fáciles de codificar, van codificadas con velocidades de datos inferiores. Esto se traduce en una compresión más eficaz de las imágenes más sencillas, lo que puede suponer una ventaja significativa para los sistemas de almacenamiento y para la transferencia en tiempo no real de imágenes. El funcionamiento con calidad constante es útil para el registro en disco y para algunos sistemas de grabación tales como los registradores de cinta.

Los sistemas de velocidad de datos constante tratan de mantener una velocidad media de los datos constante a la salida del codificador de compresión. Ello se traduce en una calidad superior con imágenes más simples en una calidad inferior de las imágenes más complejas. Además de mantener una velocidad media de datos constante, algunos sistemas de velocidad constante mantienen también ésta a lo largo de un GOP. La compresión con velocidad de datos constante es útil para la grabación en cinta de vídeo y para los trayectos de transmisión de velocidad de datos fija, tales como los de los servicios de los operadores.

El procesamiento con velocidad de datos constante se caracterizará, evidentemente, por una velocidad de datos ideal. El procesamiento con velocidad de datos variable puede estar restringido a una velocidad de datos máxima. Asegurándose de que esta velocidad de datos máxima es inferior a la velocidad ideal del dispositivo de velocidad de datos constante, la codificación con calidad constante puede actuar en un entorno de velocidad de datos constante.

1.1.7 Edición

La consideración de los parámetros de la compresión relativos a la edición lleva a dos categorías de aplicaciones generales: edición compleja y edición simple de los cortes únicamente (empalmes sin discontinuidad). En el caso de la edición compleja en la que intervienen ciertos efectos o procesamiento y análisis de imágenes complicadas, muchos de los procesos impondrán una nueva decodificación para volver al dominio que señala la Recomendación UIT-R BT.601. En estos casos, puede ser conveniente considerar la ventaja en cuanto a eficacia de codificación de las estructuras complejas de GOP. Sin embargo, en el caso de edición de cortes únicamente, puede ser conveniente efectuar las correcciones totalmente en el dominio comprimido, utilizando empalmes del tren binario. Estos empalmes en el tren binario pueden efectuarse entre dos trenes que utilicen el mismo método de compresión. Puede ser necesario reunir las velocidades de datos y otros parámetros del esquema de compresión para facilitar los empalmes. Algunos trenes binarios comprimidos existentes pueden empalmarse sin discontinuidad (para la edición de los cortes únicamente) en el dominio comprimido con señales de distintas velocidades de datos.

Se están aún desarrollando técnicas para actuar directamente en el dominio comprimido y se están abordando los temas relativos a la edición en dicho dominio, habiéndose observado que se pueden efectuar en él operaciones más complejas. No obstante, debe señalarse que gran parte de la degradación de la imagen que aparece en la descompresión y recompresión para los efectos especiales aparecerá de forma similar si estas operaciones de efectos se realizan directamente en el dominio comprimido, pues las relaciones de los coeficientes de la DCT seguirán estando alterados por los efectos.

Si todos los métodos de codificación de la compresión utilizados en un entorno de edición están bien definidos con normas abiertas, los sistemas pueden incluir la decodificación multiformato. Este

tipo de decodificación permitirá a los dispositivos de recepción procesar trenes comprimidos sobre la base de un número limitado de normas de compresión separadas, con lo que se reducirán los inconvenientes de que haya más de una norma de compresión.

1.1.8 Compresión concatenada

En la medida posible, los sistemas de televisión que utilizan la compresión de vídeo deben mantener esta señal en la forma comprimida, en lugar de utilizar islas de compresión que deben interconectarse sin compresión. Como es probable que se precisen diversas etapas de compresión y descompresión, la capacidad de soportar compresiones y descompresiones concatenadas es un factor clave al elegir un sistema de compresión. Los resultados de los sistemas de compresión concatenada dependerán de si los sistemas son idénticos o implican distintas técnicas y parámetros de compresión.

Hay una serie de factores que influyen en la calidad de los sistemas de compresión concatenados. Todos los sistemas considerados aquí se basan en la técnica de la DCT. Todo lo que cambie la entrada a las respectivas operaciones DCT entre sistemas de compresión concatenada puede traducirse en una cuantificación distinta de los datos que se transforman, lo que a su vez implica una pérdida adicional de información de la imagen. Además, todo cambio que dé lugar a gestiones distintas de la etapa tampón se traducirá en cuantificaciones diferentes.

En el caso de la codificación MPEG, todo cambio en la alineación de la estructura de la GOP entre etapas de compresión en cascada dará lugar a cuantificaciones diferentes, pues las transformadas de imagen P y B funcionan a base de predicciones de la imagen con compensación de movimiento, mientras que las transformadas de imagen I funcionan con toda la imagen.

Para la codificación MPEG, M-JPEG y DV, todo cambio en la alineación espacial de la imagen entre etapas de compresión en cascada se traducirá en cuantificaciones diferentes, pues la entrada a todo bloque DCT particular se habrá modificado. Cualquier tipo de efecto u otros procesamientos entre etapas de compresión en cascada cambiarán de forma similar la cuantificación.

Los procesos de compresión concatenada que se interconectan según la norma UIT-R BT.601 experimentarán una degradación mínima de la imagen a lo largo de las generaciones sucesivas si el método de codificación de compresión y los parámetros de compresión, incluyendo la alineación espacial y temporal, son idénticos en cada paso de compresión.

No siempre es posible evitar los métodos y/o parámetros de compresión con mezcla. En algunas aplicaciones, la degradación total de la imagen debida a la compresión y descompresión en cascada se minimizará tratando de mantener el nivel máximo de la calidad de compresión en todo el proceso y utilizando únicamente niveles de la calidad de compresión inferiores cuando ocasionalmente sea necesario, tales como los utilizados en la adquisición, o utilizando servicios de operadores. No obstante, para algunas aplicaciones que deben utilizar en mayor medida los niveles de calidad de compresión inferiores, puede mantenerse la calidad de la imagen total óptima volviendo únicamente al nivel de calidad de compresión superior cuando así lo aconsejen los requisitos de procesamiento de la imagen.

Además de los aspectos de calidad que acaban de examinarse, se pueden obtener ventajas operativas permaneciendo en el dominio comprimido. En este dominio, pueden facilitarse las transferencias más rápidas que las de tiempo real así como las más lentas. Además, algunos usuarios aceptarán con agrado el procesamiento de la imagen en el dominio comprimido como forma posible de lograr un procesamiento de la imagen más rápido que el realizado en tiempo real.

1.2 Niveles de calidad

Aunque se utilizarán niveles de la calidad de la compresión distintos en las diferentes categorías de aplicaciones, los usuarios tratarán de minimizar el número total de niveles de calidad en su funcionamiento. Las diferencias de calidad vendrán unidas a diferencias del coste del equipo y de su explotación que son propias de la categoría de aplicación. Por ejemplo, un funcionamiento típico de radiodifusión puede tener tres niveles de calidad de la compresión.

El nivel máximo de calidad de la compresión, que generalmente exige la velocidad de datos máxima, se utilizará en aplicaciones que requieran la máxima calidad de la imagen y en aplicaciones que impliquen una amplia manipulación post-producción. Un atributo clave de este nivel de calidad es la capacidad para efectuar procesamientos de múltiples generaciones con una pequeña degradación de la imagen. Por tanto, podría utilizarse el nivel de calidad de compresión máximo en algunas aplicaciones de producción de calidad superior, pero las aplicaciones de producción que exijan la calidad máxima continuarán utilizando almacenamiento y procesamiento sin compresión. También se utilizará la calidad de compresión máxima en imágenes críticas y para archivar contenidos de programas que probablemente tengan que reutilizarse junto con un procesamiento posterior adicional de producción.

Se podrá utilizar un nivel de calidad de compresión medio en aplicaciones que requieran una buena calidad de la imagen y en aplicaciones que impliquen una cierta manipulación post-producción limitada. Este nivel de calidad servirá para un número limitado de generaciones de procesamiento, y puede utilizarse para la adquisición de noticias, la edición de éstas, la distribución de programas de red y la producción de programas locales. El nivel de calidad se utilizaría también para archivar contenidos de programas que puedan reutilizarse, pero no es probable que implique un procesamiento de producción adicional significativo.

El nivel de calidad de compresión inferior se utiliza en aplicaciones que son más sensibles al coste que a la calidad. Este nivel de calidad no servirá normalmente para el procesamiento posterior, pero podría utilizarse en la presentación de programas o en el almacenamiento en masa para una búsqueda de acceso rápido. La calidad de compresión inferior no se utilizará generalmente para archivar contenidos de programas que puedan ser reutilizados.

Estos ejemplos de niveles de calidad de compresión máxima, media e inferior no corresponden necesariamente a categorías particulares de comportamiento absoluto, sino que deben tomarse como niveles de calidad relativa a interpretar conforme a los requisitos específicos de los criterios de un usuario particular. En el Parte B, Compresión, figuran más detalles de aplicaciones específicas y su utilización de la compresión.

1.3 Consideraciones operacionales

Los sistemas de todos los niveles de calidad de compresión deben ser plenamente funcionales en las aplicaciones a las que están destinados. El equipo que emplee compresión debe funcionar y actuar de la misma manera o mejor que la de los equipos analógicos similares o digitales sin compresión. La utilización de la compresión en cualquier sistema no debe impedir el funcionamiento de éste.

Si es posible seleccionar y alterar las características de la compresión formando parte del funcionamiento normal de un sistema comprimido, dicha selección y alteración deben ser fáciles de aplicar mediante un diseño deliberado del fabricante. Los sistemas con características de compresión variables deben tener interfaces de usuario fáciles de aprender y de funcionamiento intuitivo. Además, las selecciones y alteraciones de un sistema comprimido no deben dar lugar a confusión o comprometer la función y las características de los sistemas que se conectan a él.

Puede emplearse más de un método o parámetro únicos de compresión en una instalación de producción de televisión y en dicho caso, todos ellos deben ser intercambiables. Las características de compresión utilizadas en el proceso de post-producción deben concatenarse e interfundirse con las del método MPEG-2 MP@ML para la emisión.

Es de sobra sabido que la integración de los sistemas de vídeo con compresión en sistemas complejos debe efectuarse mediante interfaces normalizadas. No obstante, incluso con este tipo de interfaces, se producen demoras de la señal de entrada/salida debido al procesamiento de la compresión (codificación/decodificación). Los diseñadores de sistemas saben que han de tenerse en cuenta estas demoras de la compresión, así como la sincronización de los trenes binarios y de las señales de audio, vídeo y metadatos. Una codificación eficaz del vídeo depende del coste de la demora del códec, de forma que hay que llegar a un equilibrio entre la demora mínima del códec y la calidad necesaria de la imagen. Esto puede ser especialmente importante en los casos de entrevistas en directo, especialmente cuando la anchura de banda disponible es pequeña y los requisitos en cuanto a tiempo real elevados. Los sistemas con compresión deben diseñarse para evitar las pérdidas de sincronismo o la interrupción de las relaciones temporales.

Los trenes binarios de señal comprimida deben diseñarse de forma que pueden entrar en un formato y dividirse en paquetes para permitir su transporte por el mayor número posible de circuitos y redes de comunicaciones. Véase que los trenes binarios comprimidos son muy sensibles a los errores y, por tanto, deben emplearse cuando sea necesario métodos adecuados de codificación del canal y de protección de errores.

Debe preverse que la información del intervalo vertical analógico seleccionado pase por el sistema de compresión, aunque no se comprima necesariamente con el vídeo. Además, determinadas partes del espacio de datos auxiliares de las señales digitales pueden llevar datos (por ejemplo, metadatos) y hay que prever la posibilidad de cursar partes seleccionadas de estos datos por un trayecto transparente en sincronismo con los datos de vídeo y de audio.

1.4 Almacenamiento

Cuando se almacena un tren binario de vídeo comprimido y se accede a un medio de almacenamiento en el que se encuentra puede haber atributos necesarios de almacenamiento y compresión del medio de almacenamiento que dependan de la aplicación deseada.

1.4.1 Interfaces

La Recomendación UIT-R BT.601 constituye el método por defecto de interfaz. No obstante, a medida que aparezcan interfaces de red con el acceso de anchura de banda garantizado y la funcionalidad necesarios, incorporarán métodos de copia digital entre dispositivos de almacenamiento. Como los dispositivos de almacenamiento pueden aceptar y dar datos que representan señales de vídeo en tiempo no real, la red debe también permitir la transferencia de ficheros de forma más rápida y más lenta que la del tiempo real, para obtener una mayor flexibilidad. El interfaz de red debe tener las opciones de velocidad binaria variable (VBR o calidad constante) y de velocidad binaria constante (CBR) a diversas velocidades binarias y, de forma facultativa, la de transferencia de trenes binarios optimizados para modos auxiliares. De esta manera un dispositivo posterior en la cadena podrá copiar un fichero directamente de un dispositivo primario para reproducirlo en un modo auxiliar en un dispositivo secundario.

1.4.2 Requisitos en cuanto a velocidad de datos

Cuando sea posible, los usuarios preferirán grabar los datos de llegada directamente como ficheros en un dispositivo de almacenamiento de datos en vez de decodificarlos y volverlos a codificar para el almacenamiento. Como habrá distintas velocidades binarias de compresión del vídeo,

dependiendo de la aplicación, toda conexión de red con el dispositivo debe ser capaz de aceptar una amplia gama de velocidades de datos de entrada y de salida.

Tanto los dispositivos de cinta como los servidores de vídeo basados en disco tendrán que ser capaces de almacenar trenes de vídeo comprimidos con velocidades binarias variables. Ello exigirá un interfaz que pueda dar cabida a los requisitos de un tren de datos VBR.

Además, los trenes de vídeo comprimidos pueden almacenarse en un dispositivo de cinta o en un servidor de disco registrando cada tren con velocidades binarias medias distintas.

1.4.3 Gestión de recursos

Un dispositivo de cinta debe poder aceptar y presentar ficheros de vídeo comprimido en una amplia gama de valores. Un sistema integrado tendrá que saber cómo controlar el dispositivo de cinta para adaptarse a un canal de entrada/salida que pueda tener una velocidad de datos programable en vez de una constante.

Los dispositivos de almacenamiento deben especificar la gama de velocidades de datos que pueden registrar y reproducir. Un servidor de vídeo basado en disco tendrá además la capacidad de aceptar múltiples canales de entrada/salida. Puede ser necesaria una señalización adicional para asegurar que la anchura de banda del canal y el número de canales pueden dar la señalización adecuada al sistema.

1.4.4 Sincronización de audio, vídeo y metadatos

Hay múltiples dispositivos de almacenamiento que pueden registrar datos de vídeo, datos de audio y metadatos en partes diferentes del medio o en medio separados por diversas razones. La información de sincronización debe incluirse para facilitar la temporización adecuada de los datos reconstruidos a la velocidad normal de reproducción.

1.4.5 Emulación de magnetoscopio

Cuando un dispositivo de almacenamiento que utiliza vídeo comprimido pretende actuar como magnetoscopio o emular a uno de ellos, puede aplicar modos auxiliares de magnetoscopio. Dichos modos auxiliares pueden incluir la presentación en modo de saltos con el fin de identificar el contenido, imágenes por pasos y en cámara lenta para identificar puntos de edición y en cámara lenta con calidad de radiodifusión. No obstante, la eliminación de la redundancia de la señal de vídeo mediante la compresión reducirá de forma natural las posibilidades de reducción en modo auxiliar de gran calidad. Los métodos y parámetros de compresión deben permitir actuar al modo auxiliar cuando la aplicación del usuario lo requiera. Si el dispositivo de grabación debe reconfigurar los datos en el medio de grabación para dar una mejor funcionalidad de modo auxiliar, dicha conversión debe ser transparente y no imponer pérdidas de conversión.

1.5 Capacidad de interfuncionamiento

El término capacidad de interfuncionamiento puede resultar confuso porque tiene distintos significados en ámbitos diferentes de trabajo. Los sistemas con compresión confunden aún más el significado de la capacidad de interfuncionamiento debido a los aspectos de transferencias de programas, concatenación, conexión en cascada, calidad de la codificación y la decodificación, y pruebas de conformidad. El intercambio de programas requiere la capacidad de interfuncionamiento a tres niveles: el nivel físico, los protocolos utilizados y las características de compresión. Este capítulo considera únicamente la compresión, mientras que otros capítulos se ocupan de los enlaces físicos y los protocolos.

Considerando las transferencias de programas, el Grupo de Trabajo ha determinado la existencia de diversos tipos de capacidad de interfuncionamiento. El primer ejemplo identificado es el de

interfuncionamiento según la Recomendación UIT-R BT.601 decodificando las señales comprimidas para obtener una tabla y recodificándolas. Éste es el método actual por defecto que se entiende bien. Se espera la identificación de otros métodos de interfuncionamiento en el futuro. Una tarea adicional de este Grupo de Trabajo es categorizar los métodos de interfuncionamiento, explorar sus características y relacionarlas con las diversas aplicaciones, así como desarrollar las posibles limitaciones en cuanto a las características de los dispositivos y sistemas, necesarias para asegurar los niveles predecibles de calidad que desean los usuarios para aplicaciones específicas.

1.6 Pruebas de conformidad

La capacidad de interfuncionamiento entre productos de vídeo comprimidos es fundamental para la realización satisfactoria de los sistemas que utilizan la compresión aunque el interfuncionamiento es posible ajustándose a la Recomendación UIT-R BT.601, es conveniente efectuar el interfuncionamiento en el nivel comprimido para minimizar las pérdidas de concatenación. En el interfuncionamiento con compresión pueden intervenir codificadores y decodificadores que utilicen el mismo método y los mismos parámetros de compresión, el mismo método de compresión con parámetros distintos o incluso métodos distintos de compresión. Las pruebas de conformidad constituyen un paso fundamental para asegurar una capacidad de interfuncionamiento adecuada.

Los fabricantes y usuarios de sistemas de compresión pueden utilizar las pruebas de conformidad de diversas maneras. Los codificadores pueden ensayarse para verificar que producen trenes binarios válidos. Los decodificadores pueden ensayarse para verificar que una gama de trenes binarios adecuados pueden decodificarse correctamente. Las aplicaciones pueden ensayarse para verificar que las características de un tren binario determinado cumplen los requisitos de la aplicación, por ejemplo, si la cantidad de datos utilizados para codificar una imagen se encuentra dentro de los límites específicos. En la práctica, la definición y producción de pruebas de conformidad es más importante que la aplicación de dichas pruebas, de forma que las utilizadas por los fabricantes pueden ser idénticas a las que emplean los usuarios.

En el caso de MPEG-2, las pruebas de conformidad se centran en los atributos del tren binario sin pruebas de conformidad físicas, pues la norma MPEG-2 no supone una capa física particular. La Norma ISO/IEC 13818-4 describe una serie de pruebas normalizadas. Los conceptos para las pruebas que se especifican en los documentos MPEG-2 pueden ampliarse a otros métodos de compresión, incluyendo los JPEG de movimiento y DV. Estas pruebas de conformidad incluyen pruebas de trenes de transporte, de trenes de programas, de precisión de la temporización, de trenes binarios de vídeo y de trenes binarios de audio. Las pruebas de trenes binarios de vídeo MPEG-2 incluyen una serie de ensayos específicos para el perfil 4:2:2 a nivel principal. Habrá que desarrollar otras pruebas.

PARTE B

Aplicaciones de compresión

1 El modelo de aplicación

La Fig. 1 ofrece una panorámica de la cadena de programa que identifica todas las áreas de aplicación primaria. Cada una de las funciones se describe con más detalle a continuación.

2 Adquisición

La compresión presenta ventajas considerables para la adquisición sobre el terreno, por ejemplo, en noticiarios, programas deportivos, producción electrónica sobre el terreno (EFP), aplicaciones de consumo y utilidades conexas.

Los requisitos de equipo para las aplicaciones sobre el terreno son:

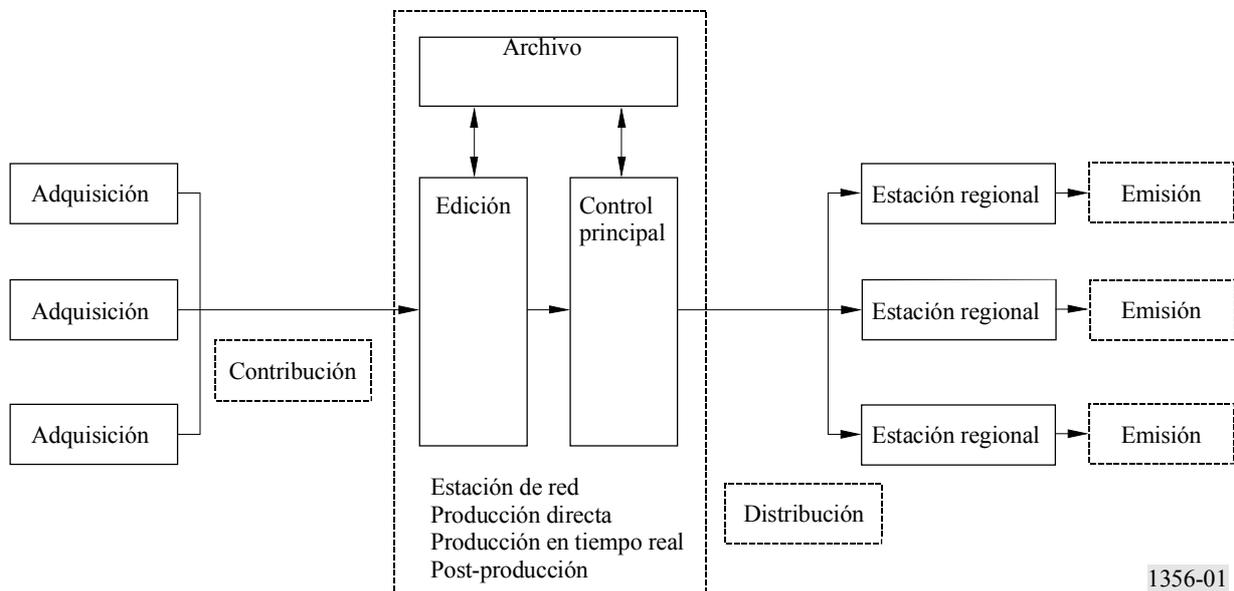
- portabilidad elevada;
- peso reducido;
- consumo de energía reducido (tiempo de funcionamiento prolongado); y
- robustez.

La aplicación de la compresión desempeña un papel significativo en el cumplimiento de estos requisitos debido a la reducida velocidad binaria y los escasos requisitos de capacidad de almacenamiento que permite.

El esquema de compresión utilizado para la adquisición debe permitir la edición en el terreno de la señal.

Para aplicaciones tales como las de EFP y los acontecimientos deportivos, es preferible utilizar una estructura de muestreo 4:2:2. La utilización de la estructura de muestreo inferior a 4:2:2 (tales como la 4:1:1 y la 4:2:0) debe ser aceptable para las aplicaciones de periodismo electrónico, siempre que no se requiera un tratamiento amplio de post-procesamiento.

FIGURA 1
Cadena de programa de televisión genérica



3 Contribución

El contenido adquirido en el terreno y editado sobre la marcha utilizando un editor portátil o alimentador directo debe pasarse al estudio para efectuar un procesamiento posterior y la transmisión definitiva.

Los canales de comunicación disponibles para estos fines pueden tener una anchura de banda diferente de la de la señal comprimida registrada y, posiblemente, una calidad de servicio distinta.

Convendría que la señal comprimida procedente de una fuente de adquisición se ajuste perfectamente a las limitaciones del medio de comunicación. No obstante, debido a la amplia variedad de alternativas en el mercado (por ejemplo DS3, E3 y OC-1 hasta OC-192, con velocidades de datos que van desde las decenas de Mbits a los gigabits) puede no ser posible lograrlo prácticamente sin acudir a la velocidad de datos del canal con anchura de banda para velocidad binaria mínima.

Cuando un sistema con compresión tiene una velocidad binaria superior a la del canal de comunicaciones, las opciones son la transmisión en tiempo más lento del real (que puede no ser práctica para algunas aplicaciones) o una capa adicional de compresión, lo que lleva a errores de concatenación y se traduce en cierta degradación de la calidad de la imagen.

En el caso en que el sistema de compresión utilizado tenga una velocidad de datos inferior a la del canal de comunicaciones, será preferible utilizar un sistema único de compresión, en vez de los sistemas concatenados. La anchura de banda no utilizada puede emplearse para otros fines (por ejemplo, la protección adicional contra errores o la información de servicios auxiliares).

La contribución por satélite entre unidades móviles de producción distantes y los estudios no está siempre disponible debido a la congestión del espectro para este tipo de comunicaciones. En estas circunstancias adversas de comunicaciones puede ser útil una alternativa de compresión con velocidad binaria reducida. No obstante, la utilización de éste como único criterio de selección de la velocidad binaria de la señal comprimida puede tener otras consecuencias negativas.

Una parte importante de las noticias de televisión que se reciben llegan en forma de comunicaciones fijas por satélite. Este tipo de señal se graba en la estación durante 24 h y la selección del formato de compresión adecuado depende de otros criterios que pueden ser distintos de los del equipo de adquisición en el terreno.

4 Compresión en casos de producción directa y en tiempo real

La utilización de la compresión en la producción en el terreno facilitará la demanda por el canal de comunicaciones entre el equipo de adquisición distante y el estudio en el que concluye la producción definitiva. La aplicación de la compresión en los casos de producción en directo y en tiempo real se examina en los puntos sobre adquisición y contribución.

5 Post-producción/explotación

5.1 Edición en tiempo real

La edición en tiempo real suele referirse al más sencillo de los efectos de producción -el corte, que se aplica empalmado el tren binario en los sistemas comprimidos. El empalme debe efectuarse en el dominio comprimido, sin transcodificación.

Es muy conveniente poder efectuar cortes en los trenes binarios comprimidos con distintas velocidades binarias. Esta área del procesamiento de la compresión es actualmente muy incipiente. No obstante, resulta claro que será posible efectuarla entre trenes binarios de la misma familia de compresión.

5.2 Edición de post-producción

La edición de post-producción exige la calidad más alta obtenible. Durante dicho procesamiento de producción se utiliza muy a menudo el tratamiento por capas. Todo efecto de procesamiento distinto de los cortes requiere la decodificación. El tratamiento por capas, como proceso, puede

implicar múltiples recodificaciones posteriores; por tanto, hay que considerar como una posibilidad real la pérdida de la calidad de la imagen.

Para evitar este fenómeno de pérdida de calidad, el productor debe utilizar métodos similares a los que se utilizaban anteriormente para el tratamiento por capas en los entornos analógicos. Uno de estos métodos implicaba la utilización de formatos de procesamiento y almacenamiento de calidad superior con los que se aseguraba que la señal original se degradaba lo menos posible. Se han efectuado amplios estudios sobre concatenación de sistemas comprimidos y en ellos se demuestra que la compresión concatenada tendrá una repercusión negativa en la calidad total de la imagen. La práctica analógica de edición y utilización de almacenamiento intermedio con el formato de calidad máxima disponible también es aplicable en el entorno de compresión. Esto significa que el procesamiento debe efectuarse en el ámbito no comprimido o con la velocidad binaria comprimida máxima disponible para el usuario.

5.3 Post-producción fuera de línea

Se supone que para la post-producción fuera de línea, el usuario tiene requisitos de calidad de la imagen menos exigentes, porque este proceso se utiliza únicamente para la creación de una lista de decisión de edición (EDL). La EDL se utiliza más tarde para la edición real de la copia principal del programa. De esta manera, una facilidad de post-producción puede utilizar de forma eficaz equipo de post-producción de gran calidad y precio elevado. Un aspecto importante de la estación de edición fuera de línea es su capacidad para facilitar las decisiones adecuadas de edición que pueden seguirse de forma precisa en el entorno en línea.

5.4 Presentación/control principal

Este tipo de procesamiento controla el tren de salida de la estación o la red. En este entorno, las decisiones se adoptan siempre en directo y, generalmente, en condiciones dinámicas. El operador debe adoptar decisiones basadas en situaciones específicas, por lo que el tiempo de respuesta y la repetibilidad tienen la máxima importancia. En este punto del procesamiento, el operador tiene poco control sobre la calidad de la imagen y sólo únicamente sobre la entrega del contenido de ésta.

La fiabilidad del equipo también tiene la máxima importancia y toda posibilidad de fallo podría acarrear consecuencias catastróficas para la instalación. Es evidente que la utilización de la compresión no mejorará esta situación. No obstante, si una instalación funciona con señales comprimidas como metodología primaria, es lógico que el control principal siga el esquema de procesamiento de la instalación y conmute las señales comprimidas.

La conmutación en el control principal tendrá lugar a nivel del tren elemental paquetizado (PES). Este proceso puede ir seguido de la codificación en trenes de transporte. No obstante, la calidad de la imagen de salida vendrá predeterminada por el proceso de codificación precedente y la decisión en cuanto a la calidad de la imagen final vendrá dada por la velocidad binaria y la estructura del tren comprimido que se manda.

6 Distribución

6.1 Enlaces de satélite

Los enlaces de satélite suelen estar disponibles como canales analógicos en los que puede utilizarse un proceso de modulación digital adecuado. Ello ofrece una flexibilidad considerable en cuanto a la elección de las velocidades binarias del sistema de compresión del vídeo. Cuando los trenes binarios de entrada están codificados previamente, los codificadores de satélite deben utilizar el

mismo proceso de codificación que el del contenido de la alimentación, o el contenido precodificado debe pasarse directamente al modulador del satélite para que no haya pérdidas de concatenación. Cuando ello no es posible (porque la velocidad binaria disponible es inferior a la del tren binario precodificado) se producirán pérdidas de concatenación.

6.2 Operadores públicos

El tema de los operadores públicos ya se ha tratado en el punto sobre «Contribución» al que se aplican los mismos temas.

Otros aspectos de los enlaces de satélite y de los enlaces de los operadores conciernen a la posibilidad de transferencias en tiempo más rápido que el real, lo que ofrece ventajas en cuanto al coste y operacionales.

6.3 Emisión

La transmisión a los hogares está sujeta a las limitaciones de baja velocidad binaria y probablemente deba ser MPEG-2 MP@ML, con una posible limitación a menos de 8 Mbit/s, y sin duda inferior a 15 Mbit/s.

Puede ser necesaria la inserción de contenido local en algunas circunstancias cuando se use el «empalme» del tren comprimido.

6.4 Distribución en medios por paquetes

La distribución del contenido a los hogares está, al igual que la emisión, sujeta a limitaciones de baja velocidad binaria. No obstante, es probable que se produzca una diferencia importante en la utilización de la técnica VBR y que haya una salida de un único canal.

La inserción de contenido local no será necesaria, pero, en algunos casos, será preciso prever la ramificación interactiva dentro del contenido almacenado.

7 Archivado

7.1 Archivado en línea

Los archivos en línea se grabarán por lo general directamente con trenes binarios comprimidos para evitar los efectos de concatenación de otros sistemas de compresión. El archivado también puede estar asociado a imágenes en modo de consulta rápida y metadatos que ayuden a la recuperación del contenido del archivo. El nivel de calidad de las imágenes en modo de consulta rápida sólo es necesario para el reconocimiento de la imagen, sin que quepa esperar que estas imágenes se utilicen para ningún otro fin.

Los metadatos y las imágenes en modo de consulta rápida se situarán normalmente en el mismo dispositivo de almacenamiento para acceder rápidamente al contenido. Debe ser posible la capacidad de edición completa con contenidos de archivo en línea.

7.2 Archivado casi en línea

Un archivo casi en línea está a mitad de camino entre el archivo que contiene copias del contenido y los metadatos. Generalmente, las imágenes en modo de consulta rápida y los metadatos se almacenarán en el archivo en línea para tener un acceso rápido, mientras que el contenido se almacenará fuera de línea en un servidor distante. Aún es posible aprovechar toda la capacidad de edición del contenido del archivo casi en línea.

7.3 Archivado profundo/a largo plazo

En un archivado profundo, el contenido y todos los metadatos asociados se almacenarán en el archivo, aunque sólo podrá accederse directamente para una consulta rápida a los metadatos y a las imágenes en modo de consulta rápida. Dependiendo de los requisitos del archivo permanente, el contenido puede verse sujeto a un nuevo proceso de compresión tal como el MPEG-2 MP@ML, utilizando una velocidad binaria reducida.
