

RECOMENDACIÓN UIT-R BO.788-1*

Velocidad de codificación de las emisiones de televisión de alta definición con calidad de estudio virtualmente transparentes del servicio de radiodifusión por satélite

(Cuestiones UIT-R 92/11 y UIT-R 100/11)

(1992-1994)

La Asamblea de Radiocomunicaciones de la UIT,

considerando

- a) que la televisión de alta definición (TVAD) de banda ancha en RF debe ofrecer calidad de estudio virtualmente transparente;
- b) que las señales digitales de televisión de alta definición con calidad de estudio requieren aproximadamente 1 Gbit/s para lograr una imagen entrelazada y unos 2 Gbit/s para una imagen de exploración progresiva;
- c) que las emisiones por satélite viables requerirán una reducción considerable de estas velocidades binarias, dadas las demandas de espectro de radiofrecuencia y otros aspectos técnicos y económicos;
- d) que la reducción de la velocidad binaria puede conseguirse mediante la codificación en origen que, en el mejor de los casos, puede dar una calidad de imagen virtualmente transparente, libre de cualesquiera de los restantes efectos auxiliares de la codificación perceptibles;
- e) que continuamente se están investigando diversas técnicas de reducción de la velocidad binaria en diversas administraciones de las tres Regiones de la UIT;
- f) que la emisión por satélite de señales de TVAD debe aspirar a ser compatible con los niveles jerárquicos de la red digital, por ejemplo 140 Mbit/s;
- g) que la Conferencia Administrativa Mundial de Radiocomunicaciones para examinar la atribución de frecuencias en ciertas partes del espectro (Málaga-Torremolinos, 1992) (CAMR-92) ha atribuido las bandas 21,4-22 GHz en las Regiones 1 y 3 y 17,3-17,8 GHz en la Región 2 al servicio de radiodifusión por satélite para la TVAD,

recomienda

- 1 que en la actualidad:
 - cuando se desee una calidad de imagen virtualmente transparente para la recepción de emisiones de TVAD-SRS la codificación de la señal de emisión requiere unos 110 Mbit/s;
 - que se requerirían otros 10 a 30 Mbit/s para el sonido del programa, datos auxiliares, trama, y corrección de errores de sincronización y en banda de base;
- 2 que se aliente a los miembros del Sector de Radiocomunicaciones que participan en la realización de las técnicas de reducción de la velocidad binaria, a proseguir sus esfuerzos a fin de alcanzar la misma calidad de imagen con velocidades binarias inferiores a los 140 Mbit/s.

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

ANEXO 1

Objetivos de calidad para la codificación digital de imágenes TVAD con calidad de estudio virtualmente transparente**1 Introducción**

En la presente Recomendación se expone que, en la actualidad, basta una velocidad binaria de unos 110 Mbit/s para proporcionar una calidad de imagen TVAD virtualmente transparente con respecto a la señal de estudio actual.

Además, se alienta a proseguir los esfuerzos de elaboración de técnicas de reducción de la velocidad binaria a fin de alcanzar la misma calidad de imagen con velocidades binarias inferiores.

El propósito de este Anexo es suministrar información técnica de apoyo.

2 Calidad intrínseca de la imagen

Se han elaborado diversos métodos para comprimir la velocidad binaria de las señales con calidad de estudio de unos 1 Gbit/s (imagen entrelazada) para lograr valores inferiores que puedan ser transmitidos razonablemente por el SRS u otros canales de radiocomunicación. Son ejemplos de esos métodos:

- la transformación en coseno discreto (DCT – «discrete cosine transform») híbrida,
- la codificación de sub-banda, y
- la cuantificación vectorial.

La DCT híbrida se ha convertido actualmente en el algoritmo más ampliamente utilizado. Todos estos métodos utilizan la compensación de movimiento en combinación con la codificación de longitud variable (VLC – «variable length code») y/u otras técnicas de codificación.

2.1 Comentarios generales sobre los efectos secundarios de la codificación

Los procesos de reducción de la velocidad binaria se basan en la eliminación, en mayor o menor grado, de la información redundante y/o ajena a la imagen (o sonido) de la señal de estudio. Esa supresión entraña inevitablemente efectos secundarios de codificación. El desafío que se le plantea al diseñador de sistemas es el de determinar un algoritmo de codificación tal que los efectos secundarios permanezcan virtualmente imperceptibles bajo condiciones de observación definidas. Pero con algunas imágenes muy críticas, que tienen un alto contenido de partes en movimiento, quizá no se consiga ese objetivo, y aparecerán efectos secundarios visibles en la imagen decodificada, tales como una menor resolución de los detalles finos, información diagonal y, especialmente, representación del movimiento dinámico. En las transmisiones de alta calidad es preciso contar con una velocidad binaria lo suficientemente grande para poder conseguir en la práctica una imagen no degradada en condiciones de recepción nominales, para un alto porcentaje del contenido de imagen previsto en las aplicaciones de radiodifusión.

Para cualquier proceso de reducción de la velocidad binaria, se podría decir en general que cuanto más alta sea la velocidad binaria de transmisión, tanto más baja será la probabilidad de efectos secundarios (defectos) perceptibles en la imagen, ocasionados por el proceso de codificación de la imagen. También se podría decir, en términos bastante generales, que la complejidad creciente del algoritmo de codificación de la imagen posibilita la reducción de la velocidad binaria necesaria para mantener la calidad de imagen subjetiva deseada.

La mayoría de los expertos concuerdan actualmente que para transmitir una señal de TVAD, cuya calidad sea virtual y subjetivamente transparente con respecto a la señal de estudio, bastaría con unos 110-120 Mbit/s para la codificación de la señal de imagen. La gran mayoría de imágenes (incluidas las representaciones de movimiento muy críticas) no tendrían efectos secundarios de codificación perceptibles. Cabe señalar que, en cualquier sistema de imágenes con velocidad binaria reducida, se puede encontrar o determinar imágenes que sobrecargarán la capacidad de información del sistema. Por ejemplo, una imagen compuesta de ruido gaussiano blanco se reproducirá más o menos incorrectamente debido a la completa falta de correlación del contenido de la imagen.

2.2 Objetivos de la radiodifusión por satélite de TVAD de banda ancha en RF

Los objetivos de calidad de servicio del servicio de radiodifusión por satélite para la TVAD de banda ancha de RF serán:

- ser virtualmente transparente con respecto al sistema de TVAD de estudio. Esto implica que virtualmente no existe ninguna reducción perceptible de la resolución espacio/temporal o efectos secundarios adicionales para la imagen de TVAD observada a una distancia tres veces superior a la de la altura de la imagen;
- proporcionar una calidad que pueda ser percibida por el televidente como subjetivamente equivalente a la imagen y el sonido de TVAD producida en estudio.

Cabe señalar que, hasta la fecha, no se ha adoptado ningún método oficial de evaluación para expresar la calidad de las imágenes TVAD (ni de las de televisión de definición convencional) codificadas digitalmente con velocidad binaria reducida. No existe ninguna definición real de la expresión «calidad de estudio virtualmente transparente». Se ha hecho un intento de aplicar el método UIT-R elaborado para las señales de televisión analógica (que actualmente estudia la Comisión de Estudio 6 de Radiocomunicaciones). Este método determina, mediante evaluaciones subjetivas, la diferencia media entre las notas obtenidas en las pruebas y las condiciones de referencia, con la técnica de doble estímulo con escala de calidad continua conforme a las disposiciones de la Recomendación UIT-R BT.500. A efectos de distribución, en los sistemas analógicos convencionales se aplica con frecuencia una diferencia media del 12%.

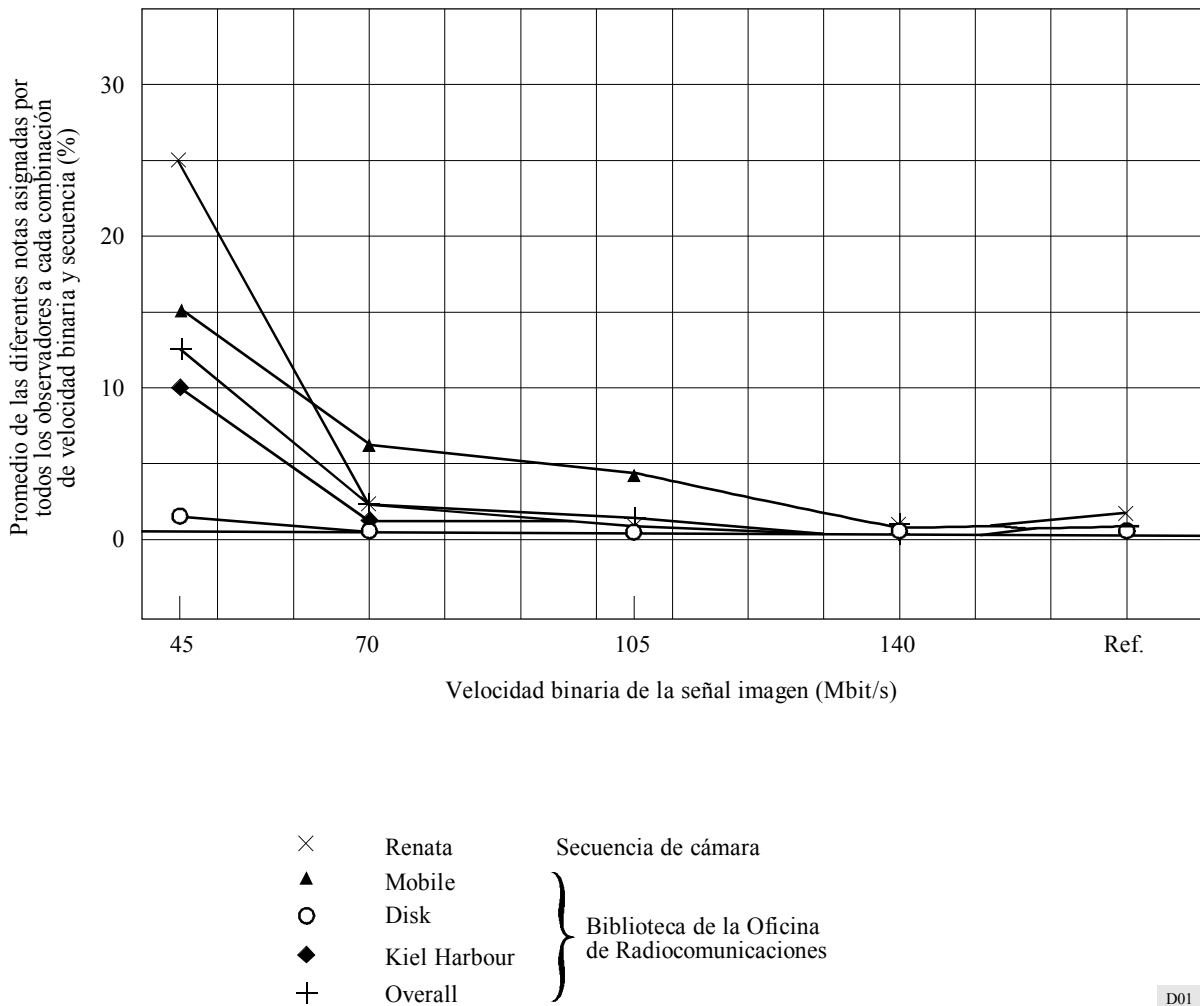
No se sabe con certeza si este valor también es válido para la calidad virtualmente transparente que requiere una señal vídeo subjetivamente libre de efectos secundarios perceptibles, como se ha definido más arriba. Además, es posible que la clasificación de la calidad no sea el método más representativo para describir la calidad de los sistemas de codificación de imagen que utilizan reducción de la velocidad binaria en los que, con un algoritmo dado, los efectos secundarios de la codificación dependen del contenido real de una secuencia vídeo y de la velocidad binaria máxima disponible, y en los que los efectos secundarios pueden ser sistemáticos. La Comisión de Estudio 6 de Radiocomunicaciones tiene previsto evaluar la calidad de los sistemas TVAD en función de la criticidad del contenido de los programas y su probabilidad de ocurrencia. Esto también definirá la «característica de fallo de la imagen según su contenido» de un sistema, y proporcionará una medida más útil de un sistema que la simple calificación de la calidad. Se supone que los sistemas TVAD de banda ancha en RF son capaces de transmitir cualquier imagen producida por una cámara o un dispositivo de generación de imágenes, que será representativa del material de programa típico.

A continuación se ofrece un ejemplo de medición realizada por la RAI para determinar la calidad del códec de TVAD EUREKA-256, para ilustrar la necesidad de una definición correcta de la expresión «calidad de estudio virtualmente transparente».

La Fig. 1 da los resultados de algunas pruebas de evaluación oficiales limitadas (véase el Apéndice 1 para otros detalles sobre las condiciones de medición). Para cinco secuencias vídeo diferentes, la figura arroja la diferencia media de notas entre las imágenes (de estudio)

decodificadas y no codificadas en función de la velocidad binaria disponible para la señal de imagen. A 140 Mbit/s, ninguna secuencia produce efectos secundarios visibles. Con una codificación a 105 Mbit/s, empiezan a aparecer efectos secundarios, que se mantienen dentro de un porcentaje bajo de las notas medias. Por consiguiente, estos resultados parecen apoyar el valor de unos 110 Mbit/s, considerado como necesario en la presente Recomendación. Por otra parte, si se aplica el criterio común de 12% como límite de calidad a efectos de distribución, bastaría con unos 60 Mbit/s.

FIGURA 1
Resultados de las mediciones de la calidad de la imagen efectuadas
en el ejemplo de códec TVAD. Pruebas con formato de TVAD de estudio 1 920/2:1/50.
Distancia de observación: 3H para TVAD



2.3 Necesidad de holgura

La calidad disponible de los equipos de TVAD con calidad de estudio para los consumidores mejorará en la medida en que se consigan mejores características de equipo. Asimismo, es probable que aumente con el tiempo la resolución de las pantallas TVAD disponibles actualmente. También aumentarán las expectativas del público con respecto a la calidad. Por consiguiente, también tendrá que evolucionar de forma correspondiente la calidad de funcionamiento descrita para la TVAD-SRS. Además, puede que en el futuro se introduzcan nuevos servicios, como la estereoscopia y algunas formas de holografía. En consecuencia, será necesario contar con una cierta holgura para incorporar todos estos posibles desarrollos. Cabe suponer que ese margen lo ofrecerá

la mejora potencial de los algoritmos de codificación en la fuente. Esos algoritmos mejorados no sólo deben considerarse como una manera de reducir la velocidad binaria necesaria para una calidad determinada, sino que también se deben utilizar para aumentar la calidad de reproducción exigida por las mejoras de los equipos de estudio y las pantallas, y las mayores expectativas del público televidente.

La calidad de funcionamiento definida en los puntos anteriores será necesaria en el futuro para las emisiones de TVAD de banda ancha en RF del SRS para que pueda ofrecer una calidad similar a la que se prevé que entregarán otros medios de entrega de TVAD, como las redes de fibras ópticas (por ejemplo, la RDSI-BA) y los medios de grabación (por ejemplo, discos y casetes). La TVAD de banda ancha en RF del SRS tiene la posibilidad de proporcionar la misma calidad de servicio a todos los televidentes en cualquier parte en zonas de servicio relativamente grandes. La disponibilidad de una banda de frecuencias adecuada para este servicio permitirá su implementación correcta, con una calidad equivalente a la de otros medios de entrega.

2.4 Panorama de los diversos estudios que se efectúan actualmente

Las simulaciones de computadora efectuadas en Japón, Estados Unidos de América y Europa con DCT híbrida y cuantificación vectorial, confirman convenientemente que, con una velocidad binaria de unos 120 Mbit/s (sólo vídeo), se puede conseguir una calidad de imagen excelente sin degradaciones notables.

Con una velocidad binaria de 60 Mbit/s (sólo vídeo), las simulaciones de computadora indicaron que los métodos de DCT híbrida con compensación de movimiento pueden conseguir una buena calidad de imagen para la mayoría de las imágenes, a excepción de una pequeña degradación observada en imágenes de prueba específicas.

Las transmisiones de prueba de soporte físico realizadas en Europa parecen confirmar estos estudios de computadora (véase también el § 2.2). En Europa se han emprendido varios proyectos de investigaciones amplios para continuar los estudios sobre la radiodifusión de TVAD digital. Mientras que en el caso de la radiodifusión por satélite se hace hincapié en los requisitos de calidad definidos en la presente Recomendación (RACE 2075, HD-SAT), los métodos de codificación para la radiodifusión terrenal de la TVAD digital deben ofrecer la mejor calidad posible (no necesariamente igual a la calidad de estudio) teniendo en cuenta las limitaciones de anchura de banda de los canales de televisión terrenal (RACE 2082, DTTB).

En Estados Unidos de América y Canadá se están realizando pruebas subjetivas con cuatro sistemas de soporte físico con compresión digital, que funcionan con velocidades binarias de 20-25 Mbit/s (velocidad nominal de datos de la señal de imagen de 17 Mbit/s), destinados a la radiodifusión terrenal de TVAD digital. Observadores no expertos asignaron una calidad de imagen excelente a una amplia gama de imágenes fijas y secuencias en movimiento utilizando el método de doble estímulo con escala de calidad continua con las condiciones estipuladas en la Recomendación UIT-R BT.500. Las diferencias medias entre las notas de las pruebas y la señal de referencia de estudio (1125/2:1/60 Hz) variaron entre 2% y 14%.

Teniendo en cuenta estos estudios, habrá que investigar los procedimientos de evaluación, incluidas las imágenes y secuencias vídeo de origen adecuadas para la TVAD con codificación digital, y autorizar un procedimiento de normalización para conseguir una evaluación subjetiva única.

3 Conclusiones sobre codificación en la fuente de la imagen

Existe una relación muy estrecha entre la calidad de imagen requerida y la velocidad binaria necesaria para la codificación de la imagen. Las simulaciones mediante computadora, las evaluaciones de soporte físico y las pruebas en el terreno efectuadas hasta el momento han puesto de

manifiesto que 110 Mbit/s (sólo vídeo) pueden satisfacer los requisitos de calidad más alta posible (calidad de estudio transparente). Una vez que se hayan conseguido más adelantos en las técnicas de compresión, esta velocidad binaria también proporcionará cierta holgura para incorporar las futuras señales de estudio perfeccionadas (con progresión) y/o técnicas de representación mejorada.

Todavía no se ha demostrado que velocidades binarias muy por debajo de esta cifra puedan también cumplir los requisitos de calidad más elevada. Los trabajos en curso indican que las técnicas de codificación desembocarán en velocidades binarias de anchura de banda vídeo de un orden de 45-70 Mbit/s que satisfacen los requisitos de calidad descritos. Si no se necesita una transparencia estricta con respecto a la calidad de estudio, es decir, si se acepta que ciertas imágenes muy críticas pueden tener efectos secundarios de codificación perceptibles, no cabe duda de que se pueden alcanzar estas velocidades y otras aún más bajas.

Todo refinamiento de las técnicas de codificación que resulte en requisitos de velocidad binaria más baja entrañará una disminución correspondiente de la anchura del canal RF y, por consiguiente, el incremento correspondiente de la capacidad de una banda SRS dada.

APÉNDICE 1

Detalles de las condiciones de medición del ejemplo de códec

Sistema:	EU256
Algoritmo:	DCT híbrida con compensación de movimiento y codificación (VLC) de entropía
Material de origen:	Cinco secuencias 4:2:2 producidas digitalmente proporcionalizadas a TVAD 1920/2:1/50
Observación:	Monitores 4:2:2 de alta calidad a 3H de la imagen TVAD virtual
Método:	Evaluaciones subjetivas conforme al método de doble estímulo con escala de calidad continua descrito en la Recomendación UIT-R BT.500
Observadores:	No expertos

APÉNDICE 2

Lista de abreviaturas

RDSI-BA:	Red digital de servicios integrados – banda ancha
DCT:	«Discrete cosine transform»: Transformación en coseno discreto
DTTB:	«Digital terrestrial television broadcasting»: Radiodifusión terrenal de televisión digital
EUREKA:	«European Research Programme»: Programa Europeo de Investigaciones
RACE:	«Research and development on advanced telecommunication technologies in Europe»: Investigación y desarrollo de tecnologías de telecomunicación avanzadas en Europa
RAI:	«Radio Televisione Italiana»: Radio Televisión Italiana
VLC:	«Variable length code»: Código de longitud variable