



UNIÓN INTERNACIONAL DE TELECOMUNICACIONES

UIT-T

SECTOR DE NORMALIZACIÓN
DE LAS TELECOMUNICACIONES
DE LA UIT

J.240

(06/2004)

SERIE J: REDES DE CABLE Y TRANSMISIÓN DE
PROGRAMAS RADIOFÓNICOS Y TELEVISIVOS,
Y DE OTRAS SEÑALES MULTIMEDIOS

Mediciones de la calidad de servicio

**Marco para la supervisión a distancia de
la relación señal/ruido de las imágenes
transmitidas utilizando el espectro ensanchado
y la transformada ortogonal**

Recomendación UIT-T J.240

Recomendación UIT-T J.240

Marco para la supervisión a distancia de la relación señal/ruido de las imágenes transmitidas utilizando el espectro ensanchado y la transformada ortogonal

Resumen

Esta Recomendación presenta un marco general para la supervisión a distancia de la calidad de vídeo para la contribución y distribución primaria de la transmisión de televisión digital. En este marco general, se extrae en cada punto de enlace de la cadena de transmisión las características de imagen utilizando el espectro ensanchado y la transformada ortogonal. Las características de imagen extraídas, es decir, los coeficientes, se transmiten a través de un circuito de datos distinto del circuito de transmisión de vídeo, a un centro de supervisión donde se estima la calidad comparando los coeficientes.

A continuación se presenta el marco general para la extracción de los coeficientes. En el apéndice I se presenta un ejemplo de extracción de coeficientes adecuado para la estimación de la relación señal/ruido de cresta (PSNR). Los fundamentos teóricos para la estimación de la PSNR y los resultados de la simulación que muestran la eficacia de este marco general también se recogen en el apéndice I.

Orígenes

La Recomendación UIT-T J.240 fue aprobada el 29 de junio de 2004 por la Comisión de Estudio 9 (2001-2004) del UIT-T por el procedimiento de la Recomendación UIT-T A.8.

PREFACIO

La UIT (Unión Internacional de Telecomunicaciones) es el organismo especializado de las Naciones Unidas en el campo de las telecomunicaciones. El UIT-T (Sector de Normalización de las Telecomunicaciones de la UIT) es un órgano permanente de la UIT. Este órgano estudia los aspectos técnicos, de explotación y tarifarios y publica Recomendaciones sobre los mismos, con miras a la normalización de las telecomunicaciones en el plano mundial.

La Asamblea Mundial de Normalización de las Telecomunicaciones (AMNT), que se celebra cada cuatro años, establece los temas que han de estudiar las Comisiones de Estudio del UIT-T, que a su vez producen Recomendaciones sobre dichos temas.

La aprobación de Recomendaciones por los Miembros del UIT-T es el objeto del procedimiento establecido en la Resolución 1 de la AMNT.

En ciertos sectores de la tecnología de la información que corresponden a la esfera de competencia del UIT-T, se preparan las normas necesarias en colaboración con la ISO y la CEI.

NOTA

En esta Recomendación, la expresión "Administración" se utiliza para designar, en forma abreviada, tanto una administración de telecomunicaciones como una empresa de explotación reconocida de telecomunicaciones.

La observancia de esta Recomendación es voluntaria. Ahora bien, la Recomendación puede contener ciertas disposiciones obligatorias (para asegurar, por ejemplo, la aplicabilidad o la interoperabilidad), por lo que la observancia se consigue con el cumplimiento exacto y puntual de todas las disposiciones obligatorias. La obligatoriedad de un elemento preceptivo o requisito se expresa mediante las frases "tener que, haber de, hay que + infinitivo" o el verbo principal en tiempo futuro simple de mandato, en modo afirmativo o negativo. El hecho de que se utilice esta formulación no entraña que la observancia se imponga a ninguna de las partes.

PROPIEDAD INTELECTUAL

La UIT señala a la atención la posibilidad de que la utilización o aplicación de la presente Recomendación suponga el empleo de un derecho de propiedad intelectual reivindicado. La UIT no adopta ninguna posición en cuanto a la demostración, validez o aplicabilidad de los derechos de propiedad intelectual reivindicados, ya sea por los miembros de la UIT o por terceros ajenos al proceso de elaboración de Recomendaciones.

En la fecha de aprobación de la presente Recomendación, la UIT ha recibido notificación de propiedad intelectual, protegida por patente, que puede ser necesaria para aplicar esta Recomendación. Sin embargo, debe señalarse a los usuarios que puede que esta información no se encuentre totalmente actualizada al respecto, por lo que se les insta encarecidamente a consultar la base de datos sobre patentes de la TSB.

© UIT 2005

Reservados todos los derechos. Ninguna parte de esta publicación puede reproducirse por ningún procedimiento sin previa autorización escrita por parte de la UIT.

ÍNDICE

	Página
1 Alcance	1
2 Referencias	1
2.1 Referencia normativa.....	1
2.2 Referencias informativas	1
3 Definiciones.....	1
4 Abreviaturas.....	1
5 Supervisión de la calidad de imagen basada en la extracción de coeficientes de transformada	2
5.1 Configuración de la cadena de transmisión.....	2
5.2 Extracción de las características de imagen	3
5.3 Recorte, redondeo y codificación de los coeficientes	4
5.4 Información adicional.....	4
5.5 Estimación de la PSNR	4
Apéndice I – Ejemplo de implementación.....	6
I.1 Extracción de características	6
I.2 Codificación de los coeficientes.....	6
I.3 Cálculo de la MSE.....	7
I.4 Fundamento teórico	7
I.5 Calidad de funcionamiento.....	8

Recomendación UIT-T J.240

Marco para la supervisión a distancia de la relación señal/ruido de las imágenes transmitidas utilizando el espectro ensanchado y la transformada ortogonal

1 Alcance

Esta Recomendación presenta un marco general para la supervisión automática a distancia de la calidad de imagen. El marco propuesto extrae los coeficientes de transformada de la imagen transmitida y los envía al operador de supervisión a través de un circuito de datos adicional. Dado que la extracción de los coeficientes y su transmisión se realiza aparte de la transmisión de difusión de vídeo, este método no afecta la calidad de imagen del vídeo transmitido y, por consiguiente, puede aplicarse a la supervisión de la transmisión de vídeo que requiere una alta calidad como la contribución y la distribución primaria.

2 Referencias

2.1 Referencia normativa

Las siguientes Recomendaciones del UIT-T y otras referencias contienen disposiciones que, mediante su referencia en este texto, constituyen disposiciones de la presente Recomendación. Al efectuar esta publicación, estaban en vigor las ediciones indicadas. Todas las Recomendaciones y otras referencias son objeto de revisiones por lo que se preconiza que los usuarios de esta Recomendación investiguen la posibilidad de aplicar las ediciones más recientes de las Recomendaciones y otras referencias citadas a continuación. Se publica periódicamente una lista de las Recomendaciones UIT-T actualmente vigentes. En esta Recomendación, la referencia a un documento, en tanto que autónomo, no le otorga el rango de una Recomendación.

- Recomendación UIT-T J.143 (2000), *Requisitos de usuario para mediciones objetivas de la percepción la calidad vídeo en televisión digital por cable.*

2.2 Referencias informativas

- Recomendación UIT-T J.144 (2004), *Técnicas de medición objetiva de la percepción de la calidad vídeo en televisión por cable en presencia de una referencia completa.*
- Recomendación UIT-T J.147 (2002), *Método de medición objetiva de la calidad de imagen mediante el uso de señales de prueba en servicio.*
- Recomendación UIT-R BT.656-4 (1998), *Interfaces para las señales de vídeo con componentes digitales en sistemas de televisión de 525 líneas y 625 líneas que funcionan en el nivel 4:2:2 de la Recomendación UIT-R BT.601 (Parte A).*

3 Definiciones

En esta Recomendación se define el termino siguiente:

- 3.1 nodo:** punto de enlace en la cadena de transmisión.

4 Abreviaturas

En esta Recomendación se utilizan las siguientes siglas.

DEC Decodificador (*decoder*)

ENC Codificador (*encoder*)

- OT Transformada ortogonal (*orthogonal transform*)
- PSNR Relación señal/ruido de cresta (*peak signal-to-noise ratio*)
- SS Espectro ensanchado (*spread spectrum*)
- WHT Transformada de Walsh-Hadamard (*Walsh-Hadamard transform*)

5 Supervisión de la calidad de imagen basada en la extracción de coeficientes de transformada

5.1 Configuración de la cadena de transmisión

En la figura 1 se muestra la configuración hipotética de la cadena de transmisión. Se supone que la señal de la banda base está presente en cada extremo (nodos 0 y 1) del circuito de transmisión de vídeo, donde se incluyen además los equipos de codificación y decodificación.

La señal de vídeo se deriva del flujo principal en los nodos 0 y 1 y estas señales derivadas se introducen en un extractor de características. La información de las características extraídas se transmite a un estimador de PSNR a través de un circuito de datos distinto del circuito de transmisión de vídeo. Dicho estimador mide la calidad PSNR de la transmisión utilizando la información de las características obtenidas en cada nodo.

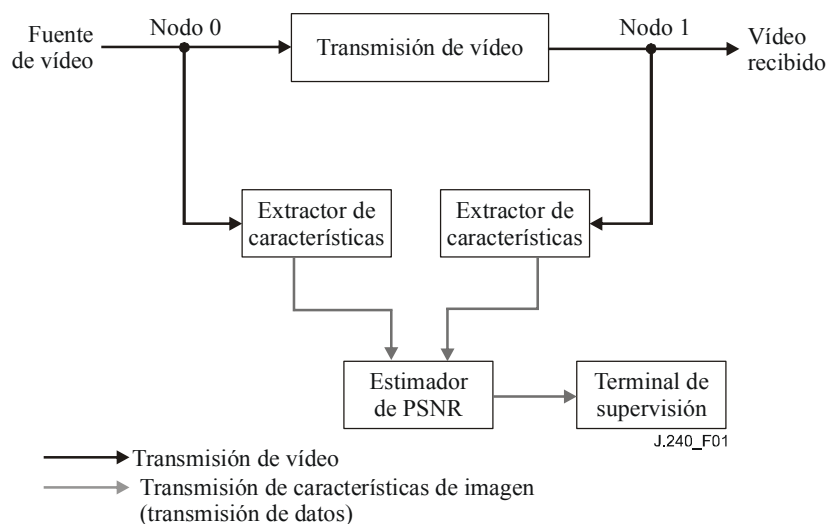


Figura 1/J.240 – Configuración básica

Aunque la configuración de la figura 1 está prevista para la supervisión de un solo enlace, puede ampliarse para supervisar una cadena de transmisión poniendo en cascada los enlaces como se muestra en la figura 2. En ella, los extractores de características están conectados a cada nodo de la cadena de transmisión y la información obtenida se transmite al estimador de PSNR. En este estimador, se selecciona la información de características de los dos nodos del enlace cuya calidad de transmisión se va a supervisar y se estima la PSNR utilizando la información seleccionada.

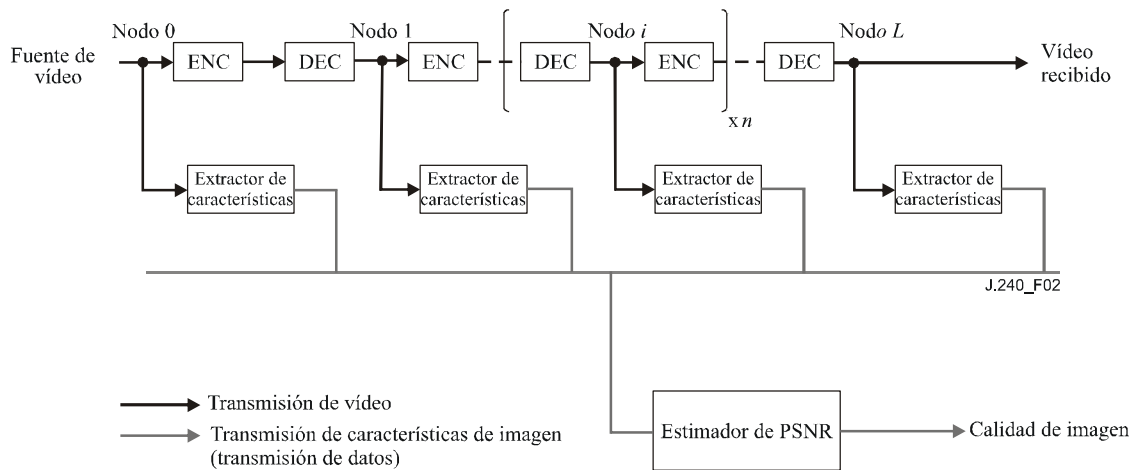


Figura 2/J.240 – Supervisión de la cadena de transmisión

5.2 Extracción de las características de imagen

Se extraen las características de imagen en cada bloque de píxeles después de dividir la imagen de entrada en bloques de tamaño $N_x \times N_y$. Cuando el número de píxeles en horizontal y en vertical no sea igual al múltiplo de N_x y N_y , respectivamente, se adicionarán píxeles de relleno con un valor de píxel medio para que el número sea igual al producto de N_x y N_y .

En la figura 3 se muestran los pasos a seguir para extraer las características de imagen. Estas características se obtienen gracias a la combinación del espectro ampliado y la transformada ortogonal. Sean $x_f^{(b)}(n)$ y $s_{PN}^{(b)}(n)$ la señal de entrada del bloque b en el cuadro f y la secuencia PN del bloque b , respectivamente, siendo n el índice de píxeles. La característica de imagen $R_f[b]$ utilizando la transformada ortogonal (OT) viene dada por:

$$R_f[b] = \text{Amp} \left\{ X_f^{(b)}[k_0] \right\} \quad (1)$$

$$X_f^{(b)}[k] = (SSOT) \left\{ x_f^{(b)}(n) \right\} \equiv OT \left\{ x_f^{(b)}(n) s_{PN}^{(b)}(n) \right\} \quad (2)$$

donde *SSOT* significa espectro ampliado y transformada ortogonal (*spread spectrum and orthogonal transform*). $\text{Amp}[Z]$ es la componente de amplitud de Z , y k_0 representa la posición del coeficiente extraído.

También puede definirse $R_f[b]$ de la siguiente manera aplicando la transformada ortogonal inversa OT^{-1} después de multiplicar otra secuencia PN s_{PN2} :

$$R_f[b] = \text{Amp} \left\{ y_f^{(b)}[n_0] \right\} \quad (3)$$

$$y_f^{(b)}[n] = (SSOT_2) \left\{ x_f^{(b)}(n) \right\} \equiv OT^{-1} \left\{ X_f^{(b)}(k) s_{PN2}^{(b)}(k) \right\} \quad (4)$$

siendo n_0 la posición del coeficiente extraído (en este caso, píxel). Esta segunda aplicación mejora la efectividad del espectro ampliado gracias a la aleatorización en el dominio espacial además de en el dominio de frecuencias.

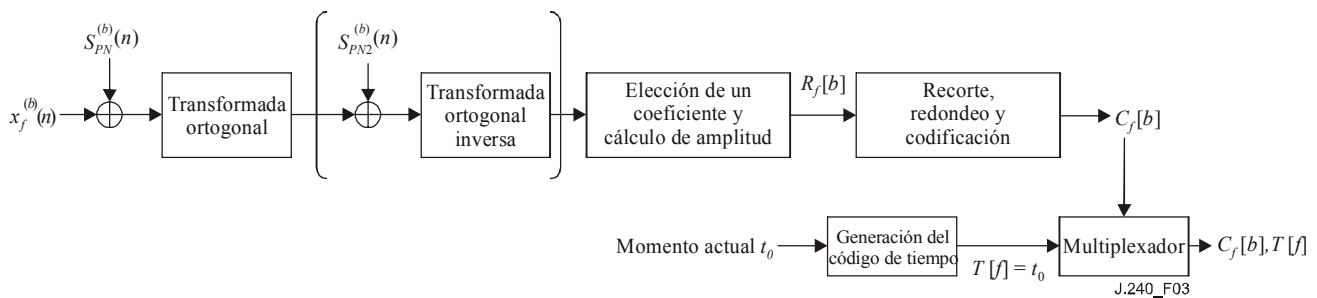


Figura 3/J.240 – Funcionamiento del extractor de características

En cada bloque pueden utilizarse distintas secuencias PN, pero han de utilizarse las mismas secuencias PN en todos los nodos de la cadena de transmisión para cada bloque de la imagen. Se trata de un requisito obligatorio para la sincronización de los nodos, que se describe en 5.3.

5.3 Recorte, redondeo y codificación de los coeficientes

El coeficiente $R_f[b]$ extraído se inserta en el circuito de datos. Dado que $R_f[b]$ suele ser un número real, se le aplica el recorte y el redondeo para expresar el coeficiente en una longitud en bits limitada. También puede opcionalmente aplicarse una codificación de compresión para comprimir los datos, dado que la distribución de probabilidad de $R_f[b]$ es sesgada y, por consiguiente, se supone que el volumen de información se reducirá. Todos los coeficientes codificados en un cuadro o campo se empaquetan y se desvían al circuito de datos.

5.4 Información adicional

Como información adicional para la estimación de la PSNR, puede obtenerse del extractor de características la información temporal $T[f]$. La información temporal describe la correspondencia del número de cuadros o campos con el momento de salida de los coeficientes, que se multiplexa con los coeficientes codificados $C_f[b]$ en la última etapa del funcionamiento del extractor de características. Cuando se dispone de un código temporal como el código de tiempo longitudinal (LTC, *longitudinal time code*) y código de tiempo de intervalo vertical (VITC, *vertical interval time code*), éste puede transmitirse en vez de utilizar el tiempo de extracción, método que se utiliza para ajustar el retardo de las características de imagen en el estimador de PSNR.

5.5 Estimación de la PSNR

En la figura 4 puede verse el funcionamiento del estimador de PSNR. En primer lugar, la información multiplexada enviada desde los dos nodos ubicados a cada extremo del enlace supervisado se demultiplexa y se obtienen los coeficientes codificados $C_{0f}[b]$, y $C_{1f}[b]$ y la información temporal $T_0[f]$ y $T_1[f]$. Cuando el orden de llegada de los coeficientes y la información temporal no corresponden al orden de salida del extractor de características, la información recibida ha de clasificarse para asegurarse de que los coeficientes y la información temporal siguen el mismo orden que los cuadros.

A continuación, si los coeficientes están codificados, se descodifican y se obtienen los coeficientes $D_{0f}[b]$ y $D_{1f}[b]$. A continuación se ajusta el retardo entre los dos nodos utilizando los coeficientes y la información temporal $T_0[f]$ y $T_1[f]$.

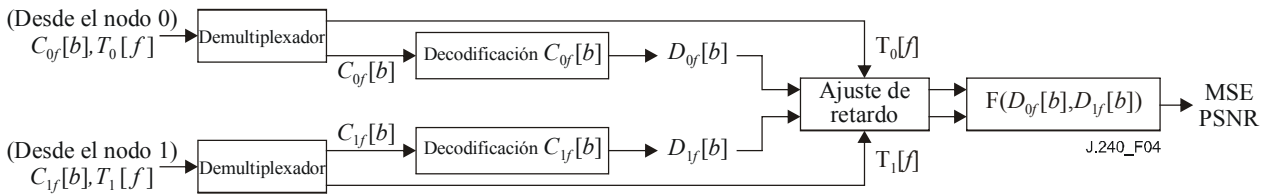


Figura 4/J.240 – Funcionamiento del estimador de PSNR

En la figura 5 se muestra por qué es necesario ajustar el retardo. Hay entre dos nodos un retardo de transmisión de vídeo d_V y entre cada nodo y el estimador de PSNR un retardo de transmisión de datos d_{C0} y d_{C1} . Los coeficientes de la trama "F1" reproducida en el momento t_1 en el lado de transmisión llega al estimador de PSNR en el momento $t_1 + d_{C0}$ desde el nodo 0 y en el momento $t_1 + d_V + d_{C1}$ desde el nodo 1, respectivamente. Por consiguiente, el tiempo de llegada de los coeficientes de ambos nodos suele ser diferente y no se garantiza que los coeficientes para una misma trama lleguen al estimador de PSNR simultáneamente desde ambos nodos. Además, algunos procedimientos de transmisión del circuito de datos no garantizan que el orden de recepción de los coeficientes sea igual al orden de transmisión (es decir, orden por número de trama). Por consiguiente, no tiene sentido comparar los coeficientes que llegan al estimador de PSNR al mismo tiempo desde dos nodos. El estimador de PSNR debe sincronizar los coeficientes procedentes de dos nodos en el bloque "ajuste de retardo" una vez clasificados los coeficientes por orden de transmisión al demultiplexador de salida. Puede para ello utilizarse la información temporal $T_0[f]$ y $T_1[f]$.

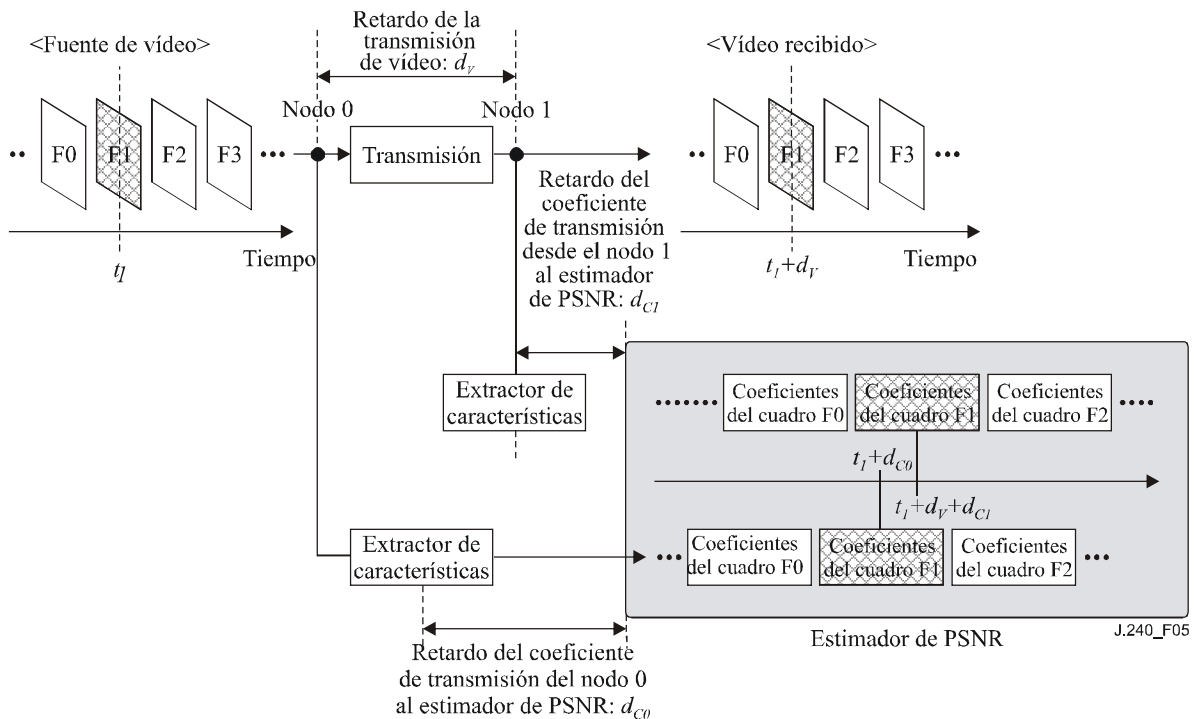


Figura 5/J.240 – Ajustes de retardo entre los nodos

Una vez sincronizados los coeficientes, se calcula la degradación de la calidad de imagen causada por la transmisión de vídeo utilizando los coeficientes $D_{0f}[b]$ y $D_{1f}[b]$. MSE denota la degradación, que puede expresarse de la siguiente manera:

$$MSE = Media(D_{0f}[b] - D_{1f}[b])^2 \quad (5)$$

La PSNR se deriva de la MSE de la siguiente manera:

$$\text{PSNR} = 20 \log_{10} \sqrt{\frac{255^2}{\text{MSE}}} \quad (6)$$

Repitiendo los procedimientos anteriores en todas las tramas, puede obtenerse la calidad de imagen del enlace entre el nodo 0 y el nodo 1. Cuando la PSNR se utilice para una estimación de la calidad subjetiva, es importante utilizar una PSNR recortada, es decir, la PSNR calculada utilizando las regiones de vídeo activas tanto en el vídeo de origen como en el procesado. La PSNR recortada es la más adecuada para las estimaciones subjetivas de calidad.

Apéndice I

Ejemplo de implementación

I.1 Extracción de características

Para la extracción de características de imagen se aplica la transformada Walsh-Hadamard (WHT, *Walsh-Hadamard transform*) como transformada ortogonal. Los parámetros del extractor de características son $N_x = N_y = 8$, incluida la transformada inversa. Por consiguiente, se puede obtener el coeficiente extraído $R[b]$ de la siguiente manera:

$$R[b] = x_{SSS}^{(b)}(n_0) \quad (I-1)$$

$$x_{SSS}^{(b)}(n) = \text{WHT}^{-1} \left[\text{WHT} \left\{ x^{(b)}(n) s_{PN}^{(b)}(n) \right\} s_{PN_2}^{(b)}(n) \right] \quad (I-2)$$

I.2 Codificación de los coeficientes

A continuación se detalla la codificación de los coeficientes. Cuando se aplica el sistema de extracción de características expuesto a una señal de entrada de 8 bit/píxel, el coeficiente $R[b]$ tendrá al final una longitud de 15 bits, como se muestra en la figura I.1 (la longitud de bits se incrementa en teoría por $\log_2 \sqrt{N_x N_y}$ para $N_x \times N_y$ WHT, ya que los coeficientes de la transformada aumentan por $\sqrt{N_x N_y}$ cuando se aplica $N_x \times N_y$ WHT).

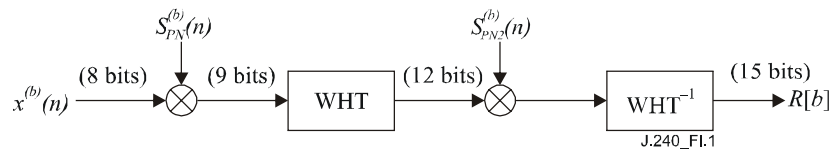


Figura I.1/J.240 – Incremento de la longitud en bits en el extractor de características

Suponiendo que el formato de la señal de vídeo sea 720×480 , 30 fps, la anchura de banda necesaria para el trayecto de referencia será $\frac{720 \times 480}{8 \times 8} \times 15 \times 30 = 2430000$ [bit/s]. No obstante, esta velocidad no es práctica y por consiguiente ha de aplicarse una cuantificación para reducir la longitud en bits de $R[b]$. Por ejemplo, cuando $R[b]$ se cuantifica a 8 bits, la velocidad binaria de los coeficientes resulta $\frac{720 \times 480}{8 \times 8} \times 8 \times 30 = 1296000$ [bit/s], que es una velocidad binaria casi dos veces

inferior a la utilizada con 15 bits. Si es necesaria una reducción aún mayor de la velocidad binaria, puede ampliarse el tamaño del bloque para la extracción de características (es decir, N_x y N_y) y hacerse una reducción espacial de los coeficientes.

I.3 Cálculo de la MSE

La ecuación I-4 sólo define la utilización de una determinada función utilizando los coeficientes de dos nodos. No obstante, en un caso típico, la MSE viene dada por la siguiente ecuación:

$$MSE = \sum_{b=0}^{N_b-1} (D_i[b] - D_j[b])^2 / N_b / scale \quad (I-3)$$

siendo N_b y $scale$ el número de bloques en la trama y el factor de scale depende del tamaño del bloque para la extracción de características y el número de bits cuantificados para $R_f[b]$.

I.4 Fundamento teórico

En esta cláusula se muestra el modelo teórico para la estimación de la PSNR basada en la comparación de los coeficientes. Cabe señalar que no se incluye en esta cláusula la transformada ortogonal inversa por mor de simplicidad.

Se denominan $x^{(b)}(n)$ y $x'^{(b)}(n)$ el valor de píxel de la imagen de origen y de la imagen recibida del bloque b , respectivamente. Así, la MSE de un campo de la imagen recibida puede expresarse de la siguiente manera:

$$MSE = \sum_{b=0}^{N_b-1} \sum_{n=0}^{N_p-1} [x^{(b)}(n) - x'^{(b)}(n)]^2 / (N_p N_b) \quad (I-4)$$

donde N_b es el número de bloques en el campo y N_p el número de píxeles en un bloque, respectivamente. A continuación, $s_{PN}^{(b)}(n)$ denota la secuencia PN del bloque y amplía el espectro de $x^{(b)}(n)$ y $x'^{(b)}(n)$. Así, la MSE puede expresarse de la siguiente manera, dado que $[S_{PN}^{(b)}(n)]^2 = 1$:

$$MSE = \sum_{b=0}^{N_b-1} \sum_{n=0}^{N_p-1} [x^{(b)}(n) \cdot s_{PN}^{(b)}(n) - x'^{(b)}(n) \cdot s_{PN}^{(b)}(n)]^2 / (N_p N_b) \quad (I-5)$$

A partir de la ecuación de Parseval, puede modificarse la ecuación (I-5) de la siguiente manera:

$$MSE = \sum_{b=0}^{N_b-1} \sum_{k=0}^{N_p-1} |X_{SS}^{(b)}[k] - X'_{SS}{}^{(b)}[k]|^2 / (N_p N_b) = \sum_{b=0}^{N_b-1} \sum_{k=0}^{N_p-1} |E_{SS}^{(b)}[k]|^2 / (N_p N_b) \quad (I-6)$$

siendo $X_{SS}^{(b)}[k]$ y $X'_{SS}{}^{(b)}[k]$ el espectro ensanchado de $x^{(b)}(n)$ y $x'^{(b)}(n)$, respectivamente, y $E_{SS}^{(b)}[k]$ puede expresarse como $E_{SS}^{(b)}[k] = X_{SS}^{(b)}[k] - X'_{SS}{}^{(b)}[k]$.

A partir de la ecuación I-6, dado que $X'_{SS}{}^{(b)}[k]$ puede obtenerse de la imagen recibida, se confirma que la MSE puede calcularse transmitiendo los componentes de frecuencia del espectro ensanchado de las imágenes. No obstante, en este método de transmisión de coeficientes, todos los componentes de frecuencia no pueden transmitirse dada la restricción de anchura de banda del enlace de datos de referencia. Por consiguiente, este método de aplicación asume la transmisión de un solo componente por bloque. Cuando se denomina k_0 el componente de frecuencia que ha de transmitirse, la potencia del componente de frecuencia k_0 puede expresarse de la siguiente manera:

$$|E_{SS}^{(b)}[k_0]|^2 = \sum_{k=0}^{N_p-1} |E_{SS}^{(b)}[k]|^2 / N_p + D^{(b)}[k_0] \quad (I-7)$$

En la ecuación anterior, si el espectro de la imagen de origen está uniformemente ensanchado, puede obtenerse $D^{(b)}[k] = 0$. No obstante, la distribución real de $|E_{SS}^{(b)}[k]|^2$ difiere en cierta medida de la potencia media en el bloque, dado que los componentes de frecuencia del espectro ensanchado son aleatorios. Así, aplicando la ecuación I-7 a la ecuación I-6 se obtiene la siguiente fórmula:

$$MSE = \sum_{b=0}^{N_b-1} \left(|E_{SS}^{(b)}[k_0]|^2 - D^{(b)}[k_0] \right) / N_b = \sum_{b=0}^{N_b-1} |E_{SS}^{(b)}[k_0]|^2 / N_b - \sum_{b=0}^{N_b-1} D^{(b)}[k_0] / N_b \quad (I-8)$$

Además, como característica del espectro ensanchado, se asume que la dispersión $D^{(b)}[k_0]$ está equilibrada entre los bloques de una trama, es decir $\sum_b D^{(b)}[k_0] \approx 0$. Así, se puede obtener una MSE aproximada de la siguiente manera:

$$MSE \cong \sum_{b=0}^{N_b-1} |E_{SS}^{(b)}[k_0]|^2 / N_b \quad (I-9)$$

La ecuación I-9 muestra que puede hacerse una estimación de la MSE transmitiendo un solo componente de frecuencia utilizando las características del espectro ensanchado. Por último, aplicando $X_{SS}^{(b)}[k] = A^{(b)}[k]e^{j\theta[k]}$ y $X'_{SS}{}^{(b)}[k] = A'^{(b)}[k]e^{j\theta'[k]}$, asumiendo que $\theta \approx \theta'$ (el componente de fase apenas se ve afectado por la degradación de la transmisión), la ecuación I-9 puede expresarse de la siguiente manera:

$$MSE = \sum_{b=0}^{N_b-1} |(A^{(b)}[k_0] - A'^{(b)}[k_0])e^{j\theta[k_0]}|^2 / N_b = \sum_{b=0}^{N_b-1} |A^{(b)}[k_0] - A'^{(b)}[k_0]|^2 / N_b \quad (I-10)$$

La ecuación I-10 implica que finalmente puede expresarse la MSE estimada mediante la diferencia de los componentes de amplitud de los coeficientes. En caso de utilizarse la WHT, no se incluyen números complejos, por lo que esta teoría se simplifica en gran medida.

1.5 Calidad de funcionamiento

Se codificaron seis secuencias de prueba SDTV con MPEG-2 TM5 a cuatro velocidades binarias y se midió la PSNR de la imagen decodificada. Se utiliza WHT como transformada ortogonal así como una transformada inversa. Se examinaron las cuatro velocidades binarias del enlace de datos de referencia. Además, como método de comparación, también se examinó la medición de la PSNR sin espectro ensanchado. Las condiciones de la prueba se detallan en el cuadro I.1.

Cuadro I.1/J.240 – Condiciones del experimento

Secuencia de prueba	Animadoras, flamencos, hojas verdes, desfile, móvil y calendario, fútbol
Formato de vídeo	704 × 480, 30 fps, 4:2:2
Códec	MPEG-2 modelo de prueba 5
Longitud en bits del coeficiente transmitido	10 bit/ muestra
Velocidad binaria de codificación	45, 22,5, 11,25, 5,125 Mbit/s
Tamaño del bloque (velocidad binaria correspondiente para el enlace de datos de referencia)	8 × 8 (1584 Mbit/s), 16 × 8 (792 Mbit/s), 16 × 16 (396 Mbit/s), 32 × 16 (198 Mbit/s)

En la figura I.2 y en el cuadro I.2 se presentan los resultados del experimento. El error de estimación de la PSNR fue de una media de 24 secuencias (6 títulos × 4 velocidades binarias). El método utilizando el espectro ensanchado tiene un error de estimación 100 veces más pequeño, lo que muestra que la aplicación del espectro ensanchado es muy eficaz para estimar la PSNR.

Cuadro I.2/J.240 – Resultados del experimento

Velocidad binaria del trayecto de referencia [kbit/s]	Error en la estimación de la PSNR [dB]	
	con SS	sin SS
1584	8,33E-04	5,77E+00
792	1,36E-03	5,64E+00
396	1,91E-03	5,70E+00
198	3,05E-03	5,92E+00
106	1,52E-02	6,90E+00
53	3,14E-02	6,96E+00

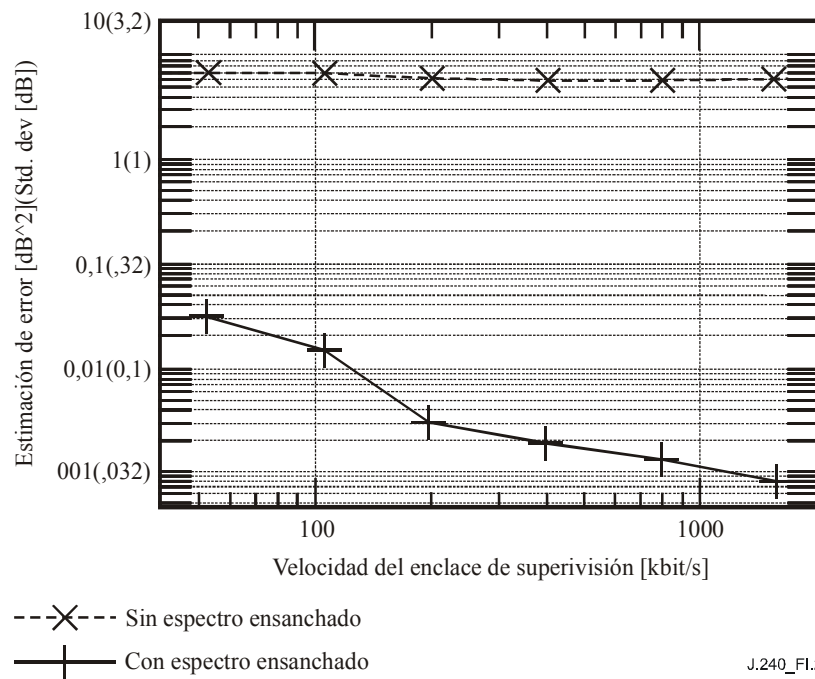


Figura I.2/J.240 – Comparación de la exactitud de la estimación

SERIES DE RECOMENDACIONES DEL UIT-T

Serie A	Organización del trabajo del UIT-T
Serie D	Principios generales de tarificación
Serie E	Explotación general de la red, servicio telefónico, explotación del servicio y factores humanos
Serie F	Servicios de telecomunicación no telefónicos
Serie G	Sistemas y medios de transmisión, sistemas y redes digitales
Serie H	Sistemas audiovisuales y multimedios
Serie I	Red digital de servicios integrados
Serie J	Redes de cable y transmisión de programas radiofónicos y televisivos, y de otras señales multimedios
Serie K	Protección contra las interferencias
Serie L	Construcción, instalación y protección de los cables y otros elementos de planta exterior
Serie M	RGT y mantenimiento de redes: sistemas de transmisión, circuitos telefónicos, telegrafía, facsímil y circuitos arrendados internacionales
Serie N	Mantenimiento: circuitos internacionales para transmisiones radiofónicas y de televisión
Serie O	Especificaciones de los aparatos de medida
Serie P	Calidad de transmisión telefónica, instalaciones telefónicas y redes locales
Serie Q	Conmutación y señalización
Serie R	Transmisión telegráfica
Serie S	Equipos terminales para servicios de telegrafía
Serie T	Terminales para servicios de telemática
Serie U	Conmutación telegráfica
Serie V	Comunicación de datos por la red telefónica
Serie X	Redes de datos y comunicación entre sistemas abiertos
Serie Y	Infraestructura mundial de la información, aspectos del protocolo Internet y Redes de la próxima generación
Serie Z	Lenguajes y aspectos generales de soporte lógico para sistemas de telecomunicación