

**TECNOLOGÍA DE EVALUACIÓN OBJETIVA DE
LA CALIDAD EN UN ENTORNO DIGITAL**

(1999-2000)

Resumen

Este Informe es una revisión del Informe UIT-R BT.2020 sobre el estado de la tecnología para la evaluación objetiva de la calidad de audio y de vídeo.

El Grupo Mixto de Trabajo (GMT) 10-11Q de Radiocomunicaciones recibió de los Grupos de Trabajo (GT) 11E y 10C y del Grupo de Tareas Especiales (GTE) 10-4 de Radiocomunicaciones la tarea de redactar Recomendaciones sobre evaluación de calidad. Este Informe trata en particular de la Cuestión UIT-R 64/11 – Parámetros de calidad objetiva de la imagen y métodos de medición y de supervisión asociados para imágenes de televisión digitales. Esta Cuestión refleja el interés real de la comunidad de radiodifusores en relación con las técnicas de evaluación y supervisión objetiva de la calidad de la radiodifusión de audio y de vídeo. La televisión y la radio digitales se encuentran actualmente en servicio en diversos países, por lo que está aumentando la demanda de Recomendaciones sobre este asunto.

Se han logrado progresos considerables al haberse completado la Recomendación UIT-R BS.1387 – Método para mediciones objetivas de la calidad de audio percibida, sobre evaluación objetiva de la calidad de audio digital. Está previsto realizar estudios adicionales sobre métodos de supervisión del audio digital. El Grupo de Expertos en Calidad de Vídeo (VQEG, *Video Quality Experts Group*) ha realizado una amplia serie de pruebas de validación para disponer de una referencia completa de métodos de medida objetivos de la calidad de imagen con terminación doble. Pero todavía queda mucho trabajo por realizar en relación con todos los enfoques metodológicos posibles relativos a la evaluación objetiva de la calidad de imagen de la señal de vídeo.

Este Informe constituye un primer paso hacia la resolución de los temas aún pendientes. El Informe está estructurado de la manera siguiente:

- § 1: Evolución de las técnicas de medición, desde señales analógicas a señales comprimidas digitales.
- § 2: Examen de las Recomendaciones.
- § 3: Examen de las actividades y desarrollos en curso.
- § 4: Planteamiento del GMT 10-11Q para la definición de futuras Recomendaciones.
- § 5: Conclusiones actuales sobre objetivos y prioridades para futuras Recomendaciones.

El GMT 10-11Q tiene la intención de colaborar con otras Comisiones de Estudio y otros GT para tener un mejor conocimiento de la situación global de las mediciones digitales y evitar en lo posible la diseminación de soluciones similares pero diferentes. Se considera que la identificación de aplicaciones y requisitos es la forma más razonable de lograr este objetivo.

Este Informe se mantendrá actualizado para tener en cuenta nuevos requisitos y para seguir de cerca la evolución de la evaluación objetiva de la calidad digital.

1 Evolución de las técnicas de medición desde señales analógicas a señales comprimidas digitales

En este punto se expone brevemente la evolución de las mediciones que van desde la utilización de análisis indirectos de la señal hasta el análisis directo del contenido.

Las funciones logísticas bien conocidas (por ejemplo, las líneas de prueba del intervalo de supresión vertical (VBI, *vertical blanking interval*)), que han permitido el diseño y la supervisión de la televisión analógica, ya no son válidas por las razones siguientes:

- La estructura de la señal para transmisión de radiodifusión ha cambiado. Se basa actualmente en la utilización de trenes de transporte digitales para los que se han desarrollado analizadores de protocolo.

- La entrega digital necesita que la compresión sea eficaz utilizando técnicas de codificación no lineales complejas. La utilización de este tipo de técnicas no lineales impide la utilización del análisis mediante las señales de prueba tradicionales.
- La calidad depende ahora en gran medida del contenido y, por tanto, varía en el tiempo, lo cual añade otro nivel de complejidad.

Por estas razones hay poca correlación entre las mediciones objetivas clásicas indirectas y la correspondiente calidad de vídeo y de audio.

Las posibles soluciones son una combinación del análisis de trenes digitales y del contenido de la imagen. El primero se puede tratar con relativa facilidad puesto que el comportamiento y las características del sistema están perfectamente definidas en especificaciones. Por tanto, se han desarrollado nuevos modelos de evaluación objetiva de la calidad de la imagen. La evaluación objetiva de la calidad digital se basa ahora en la extracción de características y en el tratamiento del modelo perceptual o alguna combinación de ambos (teniendo así en cuenta simultáneamente los procesos de codificación y las características de la percepción humana).

A continuación se presenta una lista preliminar de las aplicaciones de medición consideradas en este Informe:

- Desarrollo, evaluación e instalación de códecs y multiplexores estadísticos.
- Supervisión de red en servicio y fuera de servicio.
- Evaluación de la calidad de material de producción comprimido.
- Supervisión de material de entrada genérico.
- Supervisión continua en tiempo real.

Se está por lo tanto considerando la posibilidad de recomendar modelos específicos en los que se desarrollarían equipos de medición para la evaluación y la supervisión de la calidad. Actualmente, se admite que se podrían adoptar diferentes modelos para diferentes dominios específicos de aplicación.

2 Examen de las Recomendaciones

2.1 Recomendaciones e Informes existentes

Audio: Recomendación UIT-R BS.1387 – Método para mediciones objetivas de la calidad de audio percibida.

Vídeo: ANSI [1996].

Recomendación UIT-T J.143 – Requisitos de usuario para mediciones objetivas de la calidad de vídeo perceptual en la televisión digital por cable.

Informe UIT-R BT.2020 – Tecnología de evaluación objetiva de la calidad en un entorno digital.

2.2 Recomendaciones planificadas

Vídeo

GMT 10-11Q de Radiocomunicaciones – Evaluación objetiva de la calidad de vídeo; en cooperación con el Grupo de Expertos en Calidad de Vídeo (VQEG).

Proyecto preliminar de nueva Recomendación UIT-T J.OVQ de la Comisión de Estudio 9 de Normalización de las Telecomunicaciones – Referencia completa, técnicas de medición de la calidad perceptual de vídeo en presencia de una referencia completa.

Proyecto preliminar de nueva Recomendación UIT-T J.OVQ de la Comisión de Estudio 9 de Normalización de las Telecomunicaciones – Referencia reducida, técnicas de medición de la calidad perceptual de vídeo en presencia de una referencia reducida.

Proyecto preliminar de nueva Recomendación UIT-T J.OVQ de la Comisión de Estudio 9 de Normalización de las Telecomunicaciones – Sin referencia, técnicas de medición de la calidad perceptual de vídeo en ausencia de una referencia.

Proyecto de nueva Recomendación P.OVQ de la Comisión de Estudio 12 de Normalización de las Telecomunicaciones – Evaluación objetiva de la calidad de vídeo (referencia completa); en cooperación con el Grupo de Expertos en Calidad de Vídeo (VQEG), este tema de estudio está relacionado con la evaluación de la calidad de vídeo a velocidades binarias de 768 kbit/s y superiores.

Proyecto de nueva Recomendación P.RSQ de la Comisión de Estudio 12 de Normalización de las Telecomunicaciones – Evaluación objetiva de la calidad de vídeo con terminación doble y anchura de banda de fuente reducida; este tipo de medición se necesita cuando los vídeos fuente y comprimido no están disponibles en la misma ubicación.

Proyecto de nueva Recomendación P.LBQ de la Comisión de Estudio 12 de Normalización de las Telecomunicaciones – Evaluación objetiva de la calidad de vídeo a velocidades binarias bajas (~16 kbit/s a 1,5 Mbit/s); este tema de estudio tratará aplicaciones de videoconferencia y multimedios de baja velocidad.

Proyecto de nueva Recomendación P.TRQ de la Comisión de Estudio 12 de Normalización de las Telecomunicaciones – Evaluación objetiva de la calidad de vídeo con degradaciones de transmisión en redes de paquetes, móviles y otras redes.

3 Examen de las actividades y desarrollos en curso

En este Informe se incluye una revisión de las últimas tendencias relativas a la evaluación de la calidad en un entorno digital y se identifican los principales enfoques metodológicos digitales. Los distintos enfoques se definen en base a las definiciones desarrolladas por la Comisión de Estudio 9 de Normalización de las Telecomunicaciones en la Recomendación UIT-T J.143.

3.1 Identificación de los principales planteamientos metodológicos digitales

3.1.1 Sistemas con terminación doble

Un sistema genérico con terminación doble se diseña para operar con dos entradas, una para el material de referencia y otra para el material bajo prueba. Normalmente, no se requiere que estos sistemas funcionen necesariamente en tiempo real y únicamente pueden trabajar con una biblioteca limitada. El objeto de estos sistemas es fundamentalmente la evaluación (o una categorización) de las prestaciones de códecs digitales, pero se pueden utilizar para evaluar la calidad proporcionada por una cadena de transmisión digital completa que incluya codificación, transmisión y decodificación. Normalmente se estima que la indicación de la calidad de este tipo de sistemas es más precisa.

3.1.2 Sistemas con terminación doble que utilizan referencia reducida

Estos sistemas están diseñados para proporcionar la supervisión de las prestaciones de una red de transmisión digital. La característica principal de estos sistemas es su capacidad de evaluar la calidad en tiempo real y en servicio, sin la utilización de una determinada señal de referencia. La información de la calidad se toma a la entrada de la red y se entrega a cualquier punto nodal junto con la señal. En el punto nodal en el que se evalúa la calidad, la información de la calidad se vuelve a calcular localmente y se compara con la información recibida para realizar la comprobación de la calidad. Los indicadores de calidad suministrados por estos sistemas pueden no ser tan precisos como en el caso de sistemas con terminación doble (con referencia completa). Estos sistemas proporcionan una indicación de la «disponibilidad» del servicio garantizada por la «transparencia» del proceso de transmisión.

3.1.3 Sistemas con terminación única

Esta familia de sistemas se basa en el análisis de material existente «tal y como es». No se conoce el origen de la degradación y resulta difícil ir más allá de algunas limitaciones. Fundamentalmente, los sistemas con terminación única se centran en algunas degradaciones particulares a priori, originadas posiblemente por un codificador digital genérico o debidas a algunas discontinuidades en el enlace de transmisión digital. Asimismo, los indicadores de calidad proporcionados por estos sistemas están limitados en sus prestaciones y actualmente no incluyen todas las degradaciones posibles. Estos sistemas también se pueden utilizar para proporcionar una indicación de la «disponibilidad» del servicio.

3.2 Estado de los sistemas disponibles actualmente o propuestos

El VQEG está evaluando algunos de los métodos de medición objetiva de la calidad de la imagen con terminación doble existentes. El VQEG es una organización informal fomentada por el GMT 10-11Q de la Comisión de Estudio 11 de Radiocomunicaciones y las Comisiones de Estudio 9 y 12 de Normalización de las Telecomunicaciones.

El Cuadro 1 resume la situación actual conocida. La clasificación se ha hecho en función de la familia (D = terminación doble; S = terminación única; RRD = terminación doble con referencia reducida).

Está previsto que en el Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE) se realicen estudios para disponer de un conjunto de escenas de prueba degradadas de forma controlada. Cada escena tendrá asociada una correspondiente escala perceptual, es decir, se calibrarán en pasos sucesivos de diferencias de degradación perceptibles. Se espera que estas escenas sea una buena fuente de referencia para la prueba de los sistemas futuros.

CUADRO 1

Compañía o Laboratorio	Socio	País	Audio	Vídeo	Metodología	Tiempo real	En servicio	Producto comercial	Prueba VQEG
CCETT		Francia		X	S			X	
CCETT		Francia	X		D/S			X	
CRC		Canadá	X		D			X	
CRC ⁽¹⁾		Canadá	X		D			X	
FHG ⁽¹⁾	Opticom	Alemania	X		D	X		X	
KDD		Japón		X	D			X	X
KPN ⁽¹⁾	Opticom	Países Bajos Alemania		X	D			X	
Mitsubishi	NHK	Japón		X	D			X	X
Opticom		Alemania	X		D			X	
Rohde & Schwarz	IFN	Alemania		X	S		X	X	X
Snell & Wilcox		Reino Unido		X	S			X	
TDF		Francia	X	X	RRD			X	
Tektronix	Sarnoff	Estados Unidos de América		X	D			X	X
Tektronix		Estados Unidos de América		X	S	X	X	X	
ECI Telecom		Israel		X	D				
CPqD		Brasil		X	D				X
EPFL		Suiza		X	D				X
KPN	Swiss Telecom	Países Bajos Suiza		X	D				X
NASA		Estados Unidos de América		X	D				X
NTIA		Estados Unidos de América		X	RRD				X
Tapestries	EC ACTS	Consorcio Europeo		X	D				X

⁽¹⁾ Estos productos se realizaron y vendieron antes de que se completase la norma PEAQ (Recomendación UIT-R BS.1387). Algunos de estos productos todavía están disponibles en comercios.

3.3 Calidad objetiva de vídeo: estado actual en el VQEG

El Informe preliminar del VQEG (Documento 10-11Q/56, de 21 de enero de 2000) describe los resultados del proceso de evaluación de los modelos objetivos de calidad de vídeo tal como han sido remitidos. Cada uno de los diez proponentes enviaron un modelo para el cálculo de puntuaciones objetivas a fin de que fueran comparadas con las evaluaciones subjetivas realizadas para una amplia gama de sistemas de vídeo y de secuencias fuente. Se generaron más de 26000 puntuaciones de opinión subjetivas basadas en 20 secuencias de fuentes distintas procesadas por 16 sistemas de vídeo distintos y evaluadas en seis laboratorios independientes a nivel mundial. Las pruebas subjetivas se organizaron en

cuatro cuadrantes: 50 Hz de alta calidad, 50 Hz de baja calidad, 60 Hz de alta calidad y 60 Hz de baja calidad. En este contexto, alta calidad hace referencia a la producción de vídeo de calidad y baja calidad hace referencia a la calidad de distribución. Los cuadrantes de alta calidad incluyen vídeo a velocidades de transmisión comprendidas entre 3 Mbit/s y 50 Mbit/s. Los cuadrantes de baja velocidad incluyen vídeo a velocidades de transmisión entre 768 kbit/s y 4,5 Mbit/s. En la evaluación subjetiva se siguieron rigurosamente los procedimientos de la Recomendación UIT-R BT.500 relativos a la escala de calidad continua de doble estímulo (DSCQS, *double stimulus continuous quality scale*). Los planes de las pruebas subjetivas y objetivas incluían procedimientos para analizar la validación de las puntuaciones subjetivas y cuatro métricas para comparar los datos objetivos con los resultados subjetivos.

En función de la métrica utilizada, existen siete u ocho modelos (de un total de nueve) cuyos resultados muestran una calidad estadísticamente equivalente. La calidad de funcionamiento de dichos modelos es asimismo estadísticamente equivalente a la de la relación entre señal de potencia y ruido (PSNR, *power signal-to-noise ratio*). La PSNR es una medida que no se incluyó originalmente en los planes de prueba, pero que se acordó ulteriormente incluir como modelo objetivo de referencia. También se analizó y se determinó que tres de dichos modelos no generaban valores adecuados debido a problemas del soporte lógico o a otros problemas de naturaleza técnica.

Además del análisis basado en el conjunto completo de datos, se analizaron subconjuntos basados en los cuatro cuadrantes de prueba subjetivos y el conjunto completo de datos con exclusión de determinados sistemas de tratamiento de vídeo a fin de determinar la sensibilidad de los resultados a diversos parámetros dependientes de la aplicación.

En base a este análisis, el VQEG no está actualmente preparado para proponer la inclusión de uno o más modelos en las Recomendaciones de la UIT sobre mediciones objetivas de calidad de imagen. Aunque el VQEG no pudo validar ninguno de los modelos, las pruebas constituyeron un notable éxito. Uno de los logros más importantes de los esfuerzos del VQEG ha sido la recopilación de un nuevo e importante conjunto de datos. Hasta ahora los desarrolladores de modelos han dispuesto para su trabajo de un conjunto de datos de vídeo calificados de forma subjetiva. Es previsible que cuando se publiquen los datos del VQEG los trabajos futuros mejoren enormemente el conocimiento relativo a las mediciones objetivas de la calidad de vídeo.

3.4 Modelo de referencia propuesto para la supervisión en servicio de la calidad de vídeo

Tal como se ha señalado anteriormente, se han definido tres metodologías que representan distintas estrategias de medición para la evaluación de la calidad de vídeo:

- metodología utilizando la referencia completa de vídeo (doble terminación);
- metodología utilizando información de referencia reducida (doble terminación);
- metodología que no utiliza señal de referencia (terminación única).

El GMT 10-11Q opina que el diseño y el desarrollo de un sistema de supervisión de la calidad de vídeo debe considerar una estructura general del procedimiento de medida para las metodologías de referencia reducida y de terminación única (Documento 10-11Q/57, 26 de enero de 2000). El modelo de referencia se compone de las cuatro capas siguientes:

- *Metodología de medición*, define la clase o la estrategia relativa a los requisitos de la aplicación.
- *Método de medición*, compuesto por un conjunto de módulos, algoritmos y elementos asociados, implementados para procesar entradas, tales como señales originales, o datos de referencia procesados, y para proporcionar resultados tales como datos de referencia procesados, el nivel de degradación o la puntuación de la calidad final.
- *Módulo(s) algorítmico(s)*, constituye el bloque básico de las funciones de procesamiento de señal que componen el método. Constituye el núcleo del método a partir del cual se obtiene la calificación objetiva final.
- *Módulo(s) asociado(s)*, es una función adicional que ayuda al módulo o módulos algorítmicos en su funcionamiento mediante el tratamiento de asuntos tales como el fechado, la sincronización, la presentación de datos, etc.

En el Anexo 1 se describe en detalle este enfoque. El GMT 10/11Q recomienda que las Comisiones de Estudio 9 y 12 de Normalización de las Telecomunicaciones, así como el VQEG, utilicen este modelo de referencia. Puede ser adecuada la adaptación futura de este modelo genérico para que se acomoden otras aplicaciones. Está en estudio la utilización de este modelo para aplicaciones de audio.

4 Planteamiento del GMT 10-11Q para la definición de futuras Recomendaciones

4.1 Examen de los requisitos para temas específicos de aplicación

El GMT 10-11Q ha preparado y distribuido un cuestionario para establecer los requisitos y necesidades de la comunidad de radiodifusores en tecnologías de evaluación objetiva de la calidad.

Para el análisis de los datos recogidos en el cuestionario, se considera que es importante tener en cuenta la naturaleza (o el papel) de la compañía que proporciona las respuestas. Por esta razón, los datos resultantes se considerarán de forma separada teniendo en cuenta las categorías preliminares siguientes:

- Radiodifusores.
- Proveedores de red.
- Organismos de regulación.

El cuestionario ha despertado un gran interés entre los radiodifusores, habiéndose recibido más de 20 respuestas. Las respuestas indican que la calidad de servicio es una de las principales prioridades que es necesario sea tratada con urgencia por parte de los organismos de normalización pertinentes.

Del examen de las respuestas se desprenden las consideraciones siguientes:

- Todas las respuestas, excepto una, procedieron de compañías u organizaciones europeas; ello sugiere que se debe enviar otra petición de respuestas a compañías y organizaciones de la Región 2.
- A partir de las respuestas, pueden determinarse cuales son las prioridades de los radiodifusores.
- En general, las respuestas incluían comentarios detallados sobre asuntos que no estaban incluidos de forma explícita en el cuestionario. Dicha información debe ser analizada con atención y recapitulada de una forma adecuada.
- Solamente una respuesta hizo referencia a los requisitos para verificar la calidad del multiplexor o del códec.
- La cuestión que constituye la principal prioridad de los radiodifusores es la supervisión de toda la cadena, desde la producción a la distribución. Los puntos siguientes deben ser considerados puntos de supervisión OBLIGATORIOS:
 - la salida de la cadena de producción (lista para la distribución);
 - todos los nodos de la red de transmisión;
 - el usuario final.

Las consideraciones anteriores pueden sugerir que se demandan requisitos relativos a sistemas de «terminación única» y de «referencia reducida», más que de sistemas con «terminación doble». En base a este análisis preliminar puede concluirse que los radiodifusores están extremadamente interesados en la obtención de normas y productos relacionados diseñados para tratar los aspectos arriba mencionados.

Está previsto que en la reunión del GMT 10-11Q de septiembre de 2000 se presente información adicional sobre los requisitos de los usuarios.

4.2 Coordinación con otras Comisiones de Estudio y otros GT, incluidas las Comisiones de Estudio 9 y 12 de Normalización de las Telecomunicaciones

El modelo de referencia propuesto proporciona una base sólida para la coordinación de distintos enfoques técnicos y para futuras recomendaciones destinadas a la implementación de metodologías de referencia reducida y de terminación única. Mediante declaraciones de coordinación con las Comisiones de Estudio 9 y 12 de Normalización de las Telecomunicaciones así como con el VQEG, se pedirá que todos ellos adopten el mismo enfoque para el desarrollo de especificaciones técnicas comunes para Recomendaciones de la UIT relativas a la medición de la calidad objetiva de la imagen. El GMT 10-11Q tiene la intención de solicitar con especial énfasis contribuciones a otras Comisiones de Estudio, otros GT y a los Miembros del Sector para que se propongan especificaciones técnicas para todo o parte(s) del modelo de referencia. Las contribuciones deberían enviarse lo antes posible para su consideración en la reunión de septiembre de 2000 del GMT 10-11Q, y en ningún caso después de la siguiente reunión a celebrar en la primavera del 2001.

5 Opinión actual del GMT 10-11Q

El GMT 10-11Q reconoce el excelente trabajo realizado por el VQEG sobre la evaluación de la metodología de doble terminación de referencia completa. Actualmente se reconoce la necesidad urgente de metodologías de referencia reducida y de terminación única que puedan ser utilizadas para la supervisión operacional de la radiodifusión de televisión y de los servicios multimedia asociados.

De cara al futuro trabajo del VQEG, el GMT 10-11Q apoya la idea de evaluar en paralelo modelos de medición objetiva de la calidad de vídeo de terminación única, de doble terminación y de referencia reducida, pero recomienda que se otorgue la máxima prioridad a la investigación y validación de sistemas de referencia reducida y de terminación única.

Debido a que la supervisión de la calidad de señales de vídeo que se emiten utilizando, por ejemplo, sistemas de distribución por satélite, por cable, terrestres y redes digitales de banda ancha, requiere que se utilicen métodos objetivos de evaluación, todos los organismos de normalización deben acordar un método común para cada uno de los enfoques metodológicos y para cada área de aplicación específica.

Por lo tanto, el modelo de referencia descrito en el Anexo 1 debe utilizarse como marco de referencia para el desarrollo y evaluación de los métodos de medición propuestos que abarquen las tres metodologías. Este modelo de referencia recomendado proporciona una base sólida que permite coordinar los enfoques técnicos y las futuras recomendaciones para la implementación de las metodologías de referencia reducida y de terminación única. Mediante una declaración de coordinación dirigida a las Comisiones de Estudio 9 y 12 de Normalización de las Telecomunicaciones y al VQEG, se ha solicitado a éstas que adopten este enfoque para el desarrollo de especificaciones técnicas comunes a incluir en Recomendaciones de la UIT para la medición objetiva de la calidad de la imagen. El GMT 10-11Q promueve que dicha colaboración para la definición de una o varias soluciones comunes se establezca en el seno del VQEG.

El GMT 10-11Q tiene la intención de solicitar con gran interés contribuciones a otras Comisiones de Estudio, otros GT y de los Miembros del Sector para que se propongan especificaciones técnicas para todo o parte(s) del modelo de referencia. Las contribuciones deberían enviarse lo antes posible para su consideración en la reunión de septiembre de 2000 del GMT 10-11Q, y en ningún caso más tarde de la siguiente reunión a celebrar en la primavera de 2001.

Sin embargo, no se debe comprometer la evaluación adecuada de los métodos objetivos para actuar con precipitación. En consideración de la importancia de este asunto, el GMT 10-11Q tiene previsto asignar recursos importantes a la preparación del proceso de decisión que seguirá a la entrega de los resultados futuros del VQEG.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANSI [1996] Norma ANSI T1.801.03. Digital transport of one way video signals – Parameters for objective performance assessment. American National Standards Institute. Estados Unidos de América.

ANEXO 1

Método para la supervisión de la calidad de vídeo en servicio en redes de radiodifusión de televisión digital

1 Introducción

Tanto el UIT-T como el UIT-R han identificado la necesidad de nuevas recomendaciones sobre métodos objetivos de evaluación de la calidad de vídeo, y ambos han establecido Cuestiones de estudio relacionadas con este asunto (C. UIT-R 64/11, C. UIT-T 11/12 y C. UIT-T 22/9).

La gestión de la calidad de servicio en redes de televisión digital obliga a elegir la técnica de vídeo adecuada para las mediciones de calidad de vídeo. Se han identificado algunos requisitos críticos:

- calidad de las señales entrantes,
- supervisión en servicio, en tiempo real y continua de la calidad de servicio en redes operativas, etc.

En este Anexo se describe el método genérico recomendado para la evaluación de la calidad de vídeo en redes de radiodifusión de televisión digital.

2 Conceptos generales

El diseño y desarrollo de un medidor de calidad de vídeo obliga a considerar la estructura general del procedimiento de medida. Esta estructura se compone de varias capas.

- *Metodología de medición*, define la clase o estrategia relativa a los requisitos de la aplicación.
- *Método de medición*, compuesto por un conjunto de módulos, algorítmicos y asociados, implementados para procesar entradas tales como señales originales o datos de referencia procesados, y para proporcionar resultados tales como datos de referencia procesados, nivel de degradación o puntuación de la calidad final.

- *Módulo(s) algorítmico(s)*, constituye el bloque básico de las funciones de procesamiento de señal del método. Constituye el núcleo del método a partir del que se obtiene la calificación objetiva final.
- *Módulo(s) asociado(s)*, función adicional que ayuda al módulo o módulos algorítmicos en su funcionamiento tratando asuntos tales como datación, sincronización, presentación de datos, etc.

3 Enfoque técnico para la supervisión de la calidad de servicio en la red

3.1 Metodología de medición

La Comisión de Estudio 9 de Normalización de las Telecomunicaciones (Documento Temporal 36. J.OVQ – Methodologies for video quality assessment on networks in operation) ha definido tres clases que representan distintas estrategias de medición para la evaluación de la calidad de vídeo; éstas han sido adoptadas por el GMT 10-11Q de Radio-Comunicaciones:

- metodología utilizando la referencia de vídeo completa;
- metodología utilizando información de referencia reducida;
- metodología que no utiliza señal de referencia.

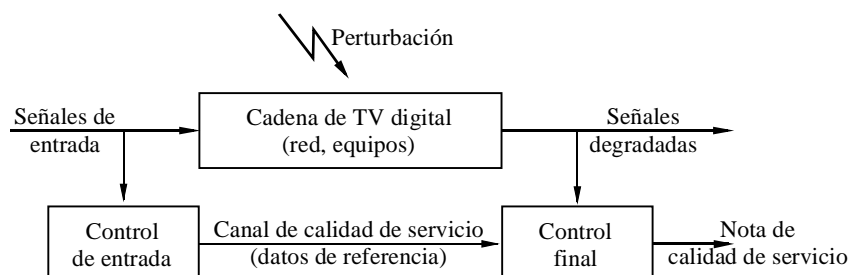
Cada una de estas metodologías ofrece un enfoque específico para su utilización operacional. Cada metodología se adapta a un campo específico de aplicaciones. Ello se debe a las limitaciones de su implementación técnica:

- relevancia de los datos medidos,
- disponibilidad de la referencia,
- sincronización de las señales o datos originales y degradados,
- canal de transmisión para los datos de referencia,
- implementación en tiempo real,
- utilización en servicio, etc.

La clasificación de la metodología permite diferenciar cada solución para identificar su dominio de aplicación en relación con su enfoque técnico y sus limitaciones. Ello también conduce a la elección de un procedimiento específico para verificar la calidad de funcionamiento teniendo además en cuenta el contexto de la utilización.

Para su implementación, la primera estrategia de medición necesita una gran cantidad de información de referencia en el punto de comparación final. Si bien ello es posible en pruebas de laboratorio, no es realista pensar que ocurra lo mismo en una red en funcionamiento y en una red sin una intensa compresión, submuestreo y sincronización con datos de referencia. Estos procesos implican la utilización en el equipo de prueba final que implemente algoritmos muy elaborados. Con ello se aumenta la complejidad del soporte físico objetivo. En consecuencia, en la primera estrategia la relación entre costes y prestaciones de la misma se encuentra a niveles menos competitivos.

FIGURA 1
Metodología con datos de referencia reducidos



La aplicación de la segunda estrategia utilizando puntos de control de entrada y finales, se adapta bien a la supervisión automática y continua de la calidad de las señales en redes de televisión digital. Es de utilidad para medir en servicio la diferencia entre las señales de entrada y de salida. Ofrece la ventaja de analizar la transparencia de los enlaces de transmisión. Por otro lado, la velocidad binaria de los datos de referencia está bastante limitada. Es evidente la ventaja que supone la estrategia en la que se utiliza una referencia reducida para la supervisión de la red. La señal original se representa mediante un flujo de datos reducido de referencia, compuesto por las características relevantes de las prestaciones de la señal y de la degradación. Esta información puede despacharse fácilmente mediante el canal de calidad de servicio y ser ofrecida a todos los puntos de control finales.

La tercera estrategia se considera una opción a la segunda, debiendo utilizarse cuando no existan datos reducidos. Tal es el caso cuando no es posible acceder a las señales originales o cuando el canal que transmite los datos de referencia se ha interrumpido o está averiado.

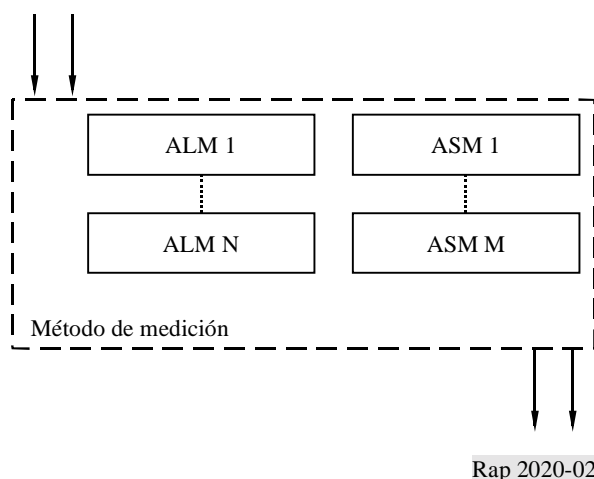
La metodología que se propone sea normalizada para la supervisión de la calidad de vídeo en redes de televisión digital es la de «doble terminación con información de referencia reducida», con una configuración facultativa en la que no se necesite referencia.

3.2 Método de medición

El objetivo de esta propuesta es describir una representación conceptual del método de medición recomendado. Es lo más genérico posible a fin de permitir la definición de una estructura general que sea fácil de adoptar y de ser seguida por los proponentes y por los organismos de normalización. Esta descripción genérica también será tan abierta como sea posible, permitiendo la mejora de los algoritmos y de las técnicas empleadas.

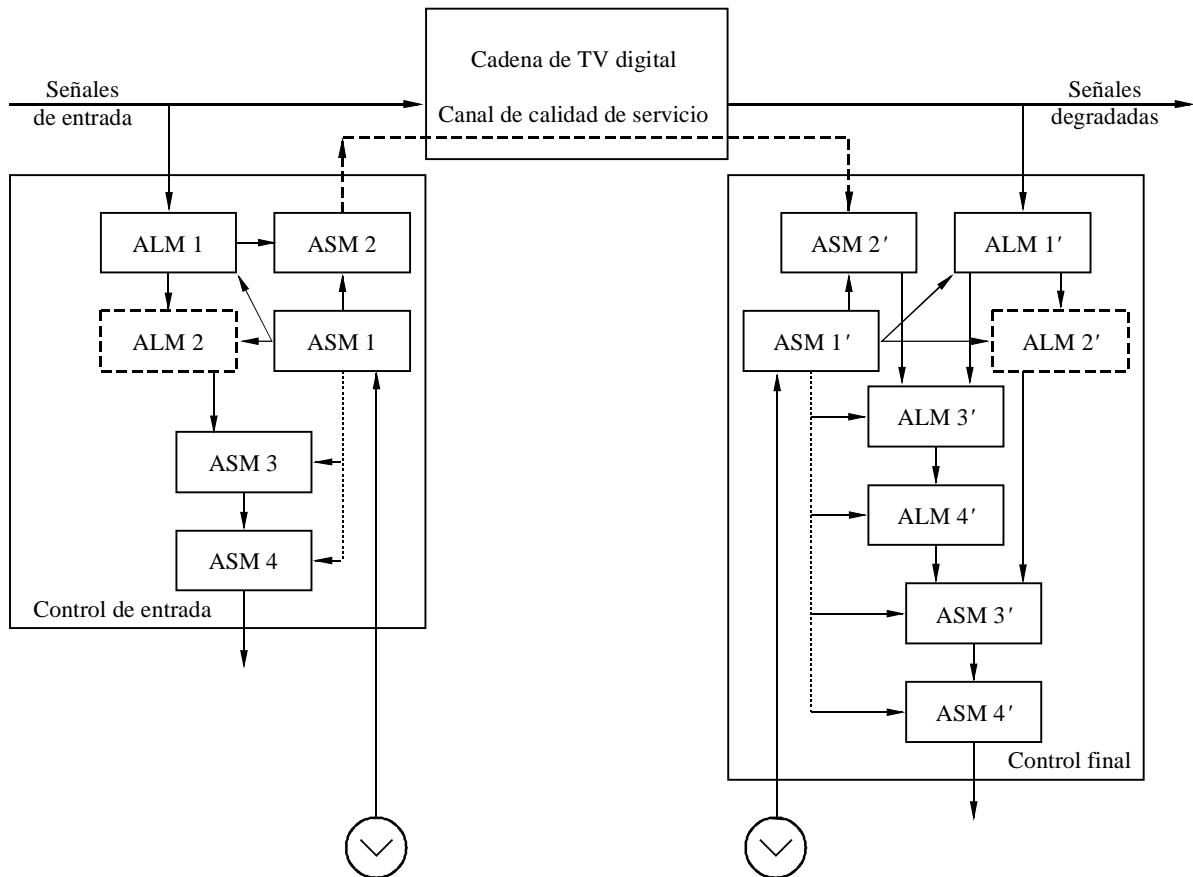
A fin de seguir la estrategia de medición recomendada en el § 3.1, la estructura del método de medición debe describirse como el núcleo de procesamiento implementado en los puntos de medición de control de entrada y de control final. Una configuración típica para este método es la estructura que se muestra a continuación, que se compone de módulos algorítmicos (ALM) y de módulos asociados (ASM).

FIGURA 2
Estructura del método de medición



La representación genérica propuesta en el punto de control de entrada y en el punto de control final es la estructura de medición que se muestra a continuación. ALM y ASM son los módulos algorítmico y asociado, respectivamente, que componen el método de medición. Los índices N y N' indican que el módulo se encuentra ubicado en el punto de medición de control de entrada para N, o de control final para N'.

FIGURA 3
Estructura detallada del método de medición



ALM 1 y 1': Representación de señal
 ALM 2 y 2': Modelo de evaluación de calidad sin referencia (facultativo)
 ALM 3': Sincronización y comparación de características
 ALM 4': Modelo de evaluación de la calidad con referencia reducida

ASM 1 y 1': Sello de tiempo
 ASM 2 y 2': Tratamiento de los datos de referencia
 ASM 3 y 3': Representación del resultado
 ASM 4 y 4': Interfaces

Rap 2020-03

3.3 Módulos algorítmicos

Los puntos siguientes describen las funciones principales de los módulos algorítmicos. También se describen algunos ejemplos propuestos en la literatura disponible.

3.3.1 ALM 1 y 1': Representación de la señal

Estos ALM son módulos en los que se extraen características específicas de la señal. Actúan en el control de entrada y en el control final, en función de la posición del punto de medición o de la metodología de medición utilizada. El objetivo de este algoritmo es utilizar las características extraídas para medir el impacto de las degradaciones que introducen los equipos o el enlace de transmisión en la señal de vídeo. El hecho de realizar al final de la cadena una comparación entre las características que han sido procesadas, permite disponer de un indicador de la calidad de vídeo (véase el § 3.4.2). Las características de funcionamiento del módulo algorítmico de representación de la señal no sólo dependen de la relevancia de la representación, sino también de la cantidad de información extraída que debe transmitirse. La limitación en la velocidad binaria del canal de datos de referencia condiciona la elección de la técnica finalmente utilizada.

La representación de la señal es una transformación o un conjunto de transformaciones aplicadas al vídeo para cambiar su representación de los valores de luminancia de la matriz de píxeles a otro dominio, que puede ser una nueva matriz de valores transformados o un vector de características obtenido en el dominio inicial o incluso tras una transformación o filtrado matemático.

Transformaciones matemáticas de la señal

En caso de transformaciones, se utilizan bancos de filtros de paso de banda. Cada filtro tiene una selectividad a la frecuencia espacial, al sentido y a la frecuencia temporal [Watson, 1990]. Se utilizan distintos tipos de transformaciones: transformación discreta de coseno, funciones de Gabor, transformada cortex, filtros espejo en cuadratura y ondas pequeñas, etc. [Brétilon y otros, 1999; Daly, 1992; Teo y Heeger, 1994]. En base a la descomposición de la información visual, se utilizan técnicas de resolución múltiple que permiten una buena localización de la información en el tiempo y el espacio. La utilización de dicho esquema de transformación permite representar la información de forma compatible con el sistema visual humano.

Extracción de características

Utilizando la representación de las características mediante vectores sólo pueden alcanzarse velocidades muy bajas de datos de referencia. Este enfoque reduce drásticamente el contenido de imagen en el vector. Es previsible que los parámetros extraídos sean sensibles a las degradaciones introducidas en la señal por el sistema (equipo, red, ...). La mayoría de los enfoques tienden a basar la caracterización de la secuencia de vídeo en parámetros relativos al contenido espacial y temporal o en parámetros que representan la degradación (efecto bloqueo, desdibujamiento, ...). Otra ventaja de este enfoque es que permite la implementación en tiempo real del análisis de vídeo en respuesta a la aleatoriedad de los errores de transmisión. Ello exige algoritmos eficientes y cuyo progreso pueda seguirse computacionalmente.

Un posible enfoque sobre las características espaciales y temporales consiste en la extracción de los bordes de cada cuadro de vídeo de entrada y de salida mediante uno de los muchos métodos existentes (normalmente mediante filtros de Sobel o de Laplace) [Webster y otros, 1993; Ardito y Visca, 1995]. En las imágenes filtradas se calcula el valor medio, la desviación típica, el valor máximo, el mínimo o la energía de los píxeles, parámetros que se utilizan como características de representación de la señal: información espacial y temporal, etc. [Webster y otros, 1993; Baïna y Goudezeune, 1999; Baroncini, 1999].

Por otra parte, el otro tipo de algoritmos utiliza características específicas de las degradaciones de vídeo obtenidas en relación con las técnicas de codificación normalizadas (por ejemplo, MPEG-2). Estas características pueden ser representativas de una o de varias funciones de codificación implementadas en los códecs: la rejilla divisora de bloques de 8×8 píxeles, la transformada discreta de coseno, la cuantificación de sus coeficientes, la estimación de movimiento aplicada a los macrobloques, etc. [Baroncini, 1999; Lauterjung, 1998].

Finalmente, el bloque de representación de la señal es un módulo que tiene como entrada la señal original y como salida la nueva representación.

Después de la transformación matemática de la señal de vídeo o de la extracción de la característica, la salida de ALM 1 es la representación de la señal. La representación de las imágenes de referencia y degradadas puede entonces ser comparada en el ALM 2 a fin de obtener la característica de distorsión.

3.3.2 ALM 3': Sincronización y comparación de características

Para evaluar el impacto de los sistemas de vídeo sobre las señales originales y para medir la calidad de la señal final de vídeo, se realiza la sincronización y la comparación entre las características de las señales de entrada y de salida (véase el § 3.3.1). El resultado se considera una medición de diagnóstico.

El método de evaluación de calidad propuesto es de tipo comparativo. Para realizar la evaluación, se mide la calidad de las señales en uno o varios enlaces de la red; ello exige comparar la representación de dos señales en distintos puntos. Este enfoque obliga a una sincronización precisa entre las mediciones realizadas en el punto de control de entrada y las realizadas en los puntos de control finales.

Además, es indispensable determinar fehacientemente la veracidad de la información del sello de tiempo de cada una de las mediciones que deben ser sincronizadas. Ello asegura la correspondencia entre la datación de la representación de entrada y de salida. La sincronización y el resultado de la comparación se realiza muestra a muestra, cuadro a cuadro o componente a componente, dependiendo de la representación de la señal (matriz o vector).

La comparación se define como la diferencia o diferencia absoluta entre las señales o sus representaciones. La amplitud de la señal resultado de la comparación y sus propiedades estadísticas contienen información acerca de las características de las distorsiones que se han producido. De la señal de error se extraen normalmente muchos parámetros.

A estos efectos, se han utilizado varias funciones de comparación. Algunas de ellas muy próximas a lo que son cálculos de señales de error SNR, MSE, PSNR. Consisten en una comparación general de los valores de la señal.

Se han introducido otros tipos de funciones de comparación que están más adaptadas para realizar la comparación entre componentes de características: relación logarítmica, (\log_ratio), error ($error$) y relación de error ($error_ratio$). La aplicación del valor medio y del valor máximo a las funciones anteriores permite disponer de seis parámetros distintos

obtenidos a partir de las características. Puede obtenerse un conjunto de parámetros objetivo de tamaño significativo a partir de parámetros espaciales y temporales y de parámetros de degradación [Brétilon y otros, 1999; Webster y otros, 1993]. Los resultados constituyen una representación de la degradación que existe entre dos secuencias de vídeo. Dicha salida se inyecta en el módulo siguiente, que es el módulo perceptual.

3.3.3 ALM 2, 2' y 4': Modelo de evaluación de la calidad

En este punto se fusionan las características previamente definidas en un único valor de predicción de la calidad, ya que la ocurrencia simultánea de varios tipos de degradaciones influye en el juicio subjetivo. El propósito del modelo es calcular una puntuación de la calidad perceptual. Por ejemplo, se pueden manejar los resultados de la comparación de características y sopesar los resultados teniendo en cuenta las propiedades de la visión humana. Por tanto, la puntuación de calidad global se calcula mediante los parámetros de la señal.

Dado que la calidad está influenciada por múltiples tipos de degradaciones [Martens y Kayargalde, 1996], las mediciones más relevantes de la degradaciones individuales se deben utilizar conjuntamente a fin de evaluar la calidad objetiva perceptual mediante un único valor. A tal fin, se establece un modelo combinatorio. Existen varios tipos de modelos para representar este proceso fundamentado en un enfoque basado en el aprendizaje.

El modelo más común, es una combinación lineal de las mediciones de las degradaciones individuales. Un proceso de optimización determina los coeficientes de ponderación. Este proceso persigue minimizar la distorsión, como error cuadrático medio, entre la evaluación objetiva y una evaluación subjetiva. El proceso funciona sobre un conjunto numeroso de secuencias de acondicionamiento. Este enfoque se implementa en varios métodos de evaluación de la calidad [Algazi y otros, 1994; Webster y otros, 1993]. El factor que representa la calidad que ofrece el modelo es el coeficiente de correlación. Se ha propuesto una variante de este enfoque para sistemas analógicos (Recomendación UIT-R BT.654 – Calidad subjetiva de la imágenes de televisión en relación con las principales degradaciones de la señal de televisión compuesta analógica; Manual del UIT-R sobre Métodos de evaluación subjetiva de señales de televisión), que se ha aplicado a una señal de imagen digital [Xu y Hauske].

El enfoque que utiliza una combinación lineal tiene esencialmente el inconveniente de que la combinación de degradaciones puede influir en la calidad percibida de una forma no lineal. Por tanto, deben proponerse métodos específicos. En este sentido, se han utilizado técnicas de aprendizaje avanzadas, tales como las redes neuronales. A título de ejemplo, se ha investigado dicha posibilidad para predecir la calidad con la escala normalizada de 5 notas [Kotani y otros, 1995; Brétilon y otros, 1999].

Los métodos basados en el aprendizaje tienen la gran ventaja de que una vez que se han establecido, son simples y fáciles de implementar. Un inconveniente general de dichos métodos es que las características de funcionamiento del modelo están ligadas a la adecuación de las secuencias de acondicionamiento utilizadas para establecerlo.

El modelo de evaluación de la calidad puede aplicarse a las metodologías de doble terminación 1 y 2, tal como ALM 4', o a degradaciones específicas para una metodología de terminación única. En este último caso, se considera que el modelo es una opción, tal como ocurre en ALM 2 y 2', que se implementa en los puntos de medida y que proporciona mediciones de la calidad cuando no hay datos de referencia disponibles.

3.4 Módulos asociados

En los puntos siguientes se describen las funciones principales relacionadas con los módulos asociados. Asimismo, se presentan algunos ejemplos propuestos en la literatura sobre esta materia.

3.4.1 ASM 1 y 1': Sello de tiempo

Los puntos de medición necesitan disponer de una referencia temporal para sincronizar los parámetros de calidad procesados. La comparación que se obtiene entre los parámetros debe calcularse para el mismo sello de tiempo. Los ASM 1 y 1' son los pilotos de los medidores de calidad en los puntos de medición. Representan los elementos que programan todo el sistema. Los módulos de sello de tiempo arrancan todos los procesos de medición. Asimismo, proporcionan sellos de tiempo para dar formato, por un lado, a los datos de referencia transmitidos a través del canal de calidad de servicio mediante ASM 2 y 2', y, por otro lado, a la información de calidad de servicio transmitida al sistema de supervisión mediante ASM 4 y 4'. Los módulos de sello de tiempo deben utilizar un reloj unificado común al que pueda accederse a lo largo de toda la red.

Un ejemplo de referencia temporal unificada es el reloj del sistema interno (STC, *system time clock*) MPEG-2. Su utilización es muy útil como referencia de tiempo a fin de generar sellos de tiempo para el medidor de calidad. Este reloj de referencia interno MPEG-2 está disponible en cada punto de medición de la red [Baña y Goudezeune, 1999]. Se consigue así la sincronización del funcionamiento de los equipos de entrada y de salida, pudiéndose realizar la comparación de los parámetros. El sistema etiqueta todas las mediciones realizadas con sellos de tiempo específicos que se encuentran en el flujo MPEG-2.

3.4.2 ASM 2 y 2': Tratamiento de los datos de referencia

Para que la información de referencia de la señal esté disponible en todo el trayecto de las redes de televisión digitales, ésta debe transmitirse a las estaciones de control finales.

Una posible solución es transmitir los parámetros de entrada dentro de banda con los programas de televisión digital en un canal de calidad de servicio dedicado multiplexado en el flujo de transporte MPEG-2. La velocidad binaria necesaria para que la transmisión de los parámetros sea posible es del orden de unos pocos kbit/s. De esta forma, los parámetros se difunden fácilmente a todos los puntos de medida de control finales [Baïna y Goudezeune, 1999].

Con este objetivo, en el seno del DVB se propuso y finalmente se normalizó la creación de un canal de calidad de servicio (Recommendation for the usage of a user defined signalling channel embedded in a MPEG-2. Document TM1957(Rev.3) – Transport Stream under the Packet Identifier PID 0x001D. DVB). Se propuso la multiplexación del canal de calidad de servicio en el flujo MPEG-2. DVB ha editado las recomendaciones para la utilización de un número de identificación de paquete (PID, *packet identification*) MPEG-2 específico reservado para el canal de calidad de servicio. Varias aplicaciones utilizan este canal de calidad de servicio.

Un ejemplo de implementación propuesta describe como se debe establecer la sección de datos de prueba con información sobre la calidad de servicio. Hace referencia al PID de un flujo elemental para el cual son válidos los valores de la medición, la descripción del contenido en texto claro, los valores de las mediciones procesadas y los sellos de tiempo. Esta información de referencia se multiplexa en el punto de control de entrada y se transporta a través de la red hasta que se entrega al punto de control final (Recommendation for the usage of a user defined signalling channel embedded in a MPEG-2. Document TM1957(Rev.3) – Transport Stream under the Packet Identifier PID 0x001D. DVB).

El medidor de calidad debe poder manejar este canal de calidad de servicio para la información de referencia y para generar los parámetros de calidad necesarios para la supervisión de la red. A tal fin, se deben implementar medios para la inserción y la extracción en forma de módulos asociados en los puntos de medida de entrada y finales ASM 2 y 2'. En [Lauterjung, 1999; Veillard y Negru, 1999; Brétilon y Baïna, 1999] se propone un ejemplo de implementación.

3.4.3 ASM 3 y 3': Representación de resultados

Este módulo es necesario para proponer distintos tipos de representación de las medidas: representaciones gráficas mediante diagramas o mediante curvas. También hace referencia a la representación a corto y a largo plazo con los problemas de colapso temporal y de representación estadística de la medición objetiva de la calidad.

3.4.4 ASM 4 y 4': Interfaces

Existen varias soluciones para la conexión del medidor de calidad al sistema de supervisión. Ello permite recopilar información de calidad para la supervisión de la red y proporcionarla cuando se requiera.

Para realizar la interfaz, se puede utilizar un servidor de páginas HTML con aplicativos JAVA. También es posible utilizar agentes del protocolo de gestión de red simple (SNMP, *simple network management protocol*) o uno o varios PROXY externos específicos. Los agentes permiten conectar los distintos equipos a la base de datos de información de gestión (MIB, *management information base*) y, en consecuencia, al sistema de gestión [Lipski, 1999].

4 Procedimientos de evaluación

Las técnicas de evaluación de modelos se basan normalmente en la comparación de mediciones objetivas con puntuaciones subjetivas, de forma que la elección de la metodología subjetiva tiene una influencia muy importante en los resultados finales.

La propuesta que aquí se hace es estudiar la forma de adaptar las metodologías de los enfoques subjetivo y objetivo para alcanzar resultados óptimos. El objetivo es proponer un procedimiento de evaluación del comportamiento del modelo teniendo en cuenta no solamente consideraciones técnicas sino también los problemas asociados a la implementación.

El objetivo de la normalización es proporcionar técnicas que se adapten a las necesidades de todos los usuarios (radio-difusores, industria de la televisión y fabricantes de equipos de medida y mantenimiento). Los métodos que se recomienden no deben ser sólo eficientes desde un punto de vista teórico, sino que deben ser también adecuados para su implementación sobre una plataforma de soporte físico realista. Por ejemplo, para la supervisión continua de varios programas son necesarios equipos de muy bajo coste. Este tipo de limitación es un criterio mucho más importante que una mejora de 0,05 en el coeficiente de correlación.

5 Conclusiones

El objetivo de esta contribución es proponer una metodología y un método para la supervisión de las redes de radiodifusión de televisión digital.

La propuesta consiste en un modelo conceptual para la descripción de métodos objetivos de evaluación perceptual de la calidad de la señal. Ello conlleva la necesidad de conseguir un acuerdo y un consenso sobre este enfoque genérico que se adapta bien a un gran número de posibles soluciones. Por otro lado, esta propuesta implica comparar distintos algoritmos y módulos asociados de una forma correcta. Ciertamente, una comparación basada en funciones básicas especificadas por la entrada, la salida y por las operaciones internas es mucho más fácil de realizar que intentar la comparación de los resultados obtenidos mediante todos los posibles métodos de medida, desde la representación de la señal a la provisión de puntuaciones de calidad. Esta simplificación es necesaria por la complejidad técnica y la dificultad de identificar una única solución válida mediante un procedimiento de pruebas comparativas.

Además, el proceso de normalización actual, tanto en el UIT-T como en el DVB, refuerza esta propuesta. Con ello se pretende conseguir un resultado con una solución coherente y que tenga en cuenta a los organismos de normalización.

El método propuesto y la estructura genérica pueden ampliarse para describir los medidores de calidad para señales de audio y de vídeo o para servicios audiovisuales combinados.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALGAZI, V. R., OHIRA, H., KOTANI, K. y MIYAHARA, M. [marzo de 1994] Important distortion factors in the encoding of very high quality images. *SPIE*, Vol. 2298. Proc. Human Vision, Visual Processing and Digital Display V, San Diego (CA), Estados Unidos de América.
- ARDITO, M. y VISCA, M. [septiembre de 1995] Correlation between objective and subjective measurements for video compressed systems. IBC Convention, Amsterdam, Países Bajos.
- BAÑNA, J. y GOUDEZEUNE, G. [septiembre de 1999] Equipment and strategies for signal quality monitoring for digital television networks. *Proc. SMPTE J.*
- BARONCINI, V. [15 de diciembre de 1999] Single-ended objective video quality assessment. International Workshop on Quality of Service for Digital Television, Munich, Alemania.
- BRÉTILLON, P. y BAÑNA, J. [15 de diciembre de 1999] Quality monitoring of broadcast audio and video signal. International Workshop on Quality of Service for Digital Television, Munich, Alemania.
- BRÉTILLON, P., BAÑNA, J., JOURLIN, M. y GOUDEZEUNE, G. [septiembre de 1999] Method for image quality monitoring on digital television networks. *SPIE*, Vol. 3845, p. 298-305.
- DALY, S. [1992] The visible difference predictor: An algorithm for the assessment of image fidelity. *SPIE*, Vol. 1666. Human Vision, Visual Processing and Digital Display III, p. 2-15.
- KOTANI, K., KATAYAMA, M., MURAI, T. y MIYAHARA, M. [1995] Objective picture quality scale for color image coding. *ICIP'95*, Vol. 3, p. 133-136, Washington, DC, Estados Unidos de América.
- LAUTERJUNG, J. [6-7 de octubre de 1998] First results of Digital Video Quality Measurements in DVB Networks. International Workshop on Quality of Service for Digital Television, Metz, Francia.
- LAUTERJUNG, J. (Rohde & Schwarz) [15 de diciembre de 1999] The integration of a quality-of-service channel inserter and extractor in a test and measurement instrument. International Workshop on Quality of Service for Digital Television, Munich, Alemania.
- LIPSKI, J. L. [15 de diciembre de 1999] SNMP applied to DTV network equipment supervision. International Workshop on Quality of Service for Digital Television, Munich, Alemania.
- MARTENS, J. B. y KAYARGALDE, V. [1996] Image quality prediction in a multidimensional perceptual space. *Proc. IEEE. Int. Conf. on Image Proc.*, *ICIP'96*, Vol. I, p. 877-880, Lausanne, Suiza.
- TEO, P. C. y HEEGER, D. J. [1994] Perceptual image distortion. *SPIE*, Vol. 2179. Human Vision, Visual Display and Digital Display, p. 127-141.
- VEILLARD, M. (CCETT) y NEGRU, O. (THOMCAST) [15 de diciembre de 1999] Interoperability in a multi-application DVB MG measurement point. International Workshop on Quality of Service for Digital Television, Munich, Alemania.
- WATSON, A. [octubre de 1990] Perceptual component architecture for digital video. *J. of the Optical Society of America*, Vol. 7, **10**, p. 1943-1954.
- WEBSTER, A., JONES, C. T., PINSON, M. H., VORAN, S. D. y WOLF, S. [junio de 1993] An objective video quality assessment system based on human perception. *SPIE*, Vol. 1913, p. 15-26.
- XU, W. y HAUSKE, G. Picture quality evaluation based on error segmentation. *SPIE*, Vol. 2308, p. 1454-1465.