

INFORME UIT-R BT.2042-1

Tecnologías para las imágenes de muy alta resolución

(Cuestión UIT-R 40/6)

(2004-2006)

1 Introducción

A lo largo de este Informe se adopta una jerarquía de resolución espacial, preconizada por la Recomendación UIT-R BT.1201, que se presenta igualmente en el Cuadro 1, para clasificar la resolución espacial de imágenes de muy alta resolución (EHRI, *extremely high resolution imagery*). Las limitaciones de las tecnologías disponibles nos obligan a mantenernos en las aplicaciones de imágenes fijas (imágenes no generadas en tiempo real) para obtener las mayores resoluciones. Últimamente han surgido sistemas en tiempo real para sistemas de muy alta resolución, aunque aún están en fase experimental. Básicamente, las aplicaciones en tiempo real en esta esfera pueden definirse en términos de las frecuencias de repetición de cuadros independientes de la jerarquía de resolución espacial.

Se señala a la atención del lector el Cuadro 17, donde se muestran algunas cuestiones que quedan en estudio.

CUADRO 1

Jerarquía de resolución espacial de las EHRI

	EHRI-0	EHRI-1	EHRI-2	EHRI-3
Resolución espacial (número de muestras)	1 920 × 1 080	3 840 × 2 160	5 760 × 3 240	7 680 × 4 320

La jerarquía está basada en el formato de imagen 16:9 comúnmente aceptado.

EHRI-1 a 3 son múltiplos enteros simples del cómputo de píxels de EHRI-0, a saber, $1\,920 \times 1\,080$, en dirección horizontal y vertical, es decir, el multiplicador es el valor del sufijo más 1.

La jerarquía EHRI del Cuadro 1 afecta el dominio espacial y no tiene nada que ver con el eje temporal. La imagen es fija (o no generada en tiempo real). En el caso de imágenes en tiempo real, la clasificación especifica la velocidad de cuadros en el eje temporal.

1.1 Sistemas EHRI en fase de desarrollo en Japón

Recientes hallazgos en la tecnología EHRI han demostrado que pueden utilizarse las jerarquías EHRI-1, 2 del Cuadro 1 para los sistemas en tiempo real. Estos sistemas están aún en fase de desarrollo y se considera que aún tendrán que pasar algunos años para lograr dispositivos EHRI y productos para el soporte de aplicaciones prácticas. No obstante, la aparición de una aplicación revolucionaria EHRI probablemente aceleraría la evolución de los dispositivos esenciales y, por consiguiente, de los componentes del sistema.

CUADRO 2

**Jerarquía EHRI y principales parámetros de los sistemas EHRI
que se están desarrollando en Japón (septiembre de 2002)**

Responsable	Parámetros del sistema						Equipo físico desarrollado
	Jerarquía EHRI	Formato de imagen	Resolución horizontal (píxels)	Resolución vertical (píxels)	Velocidad de cuadros (Hz)	Exploración	
CRL y JVC	EHRI-1	16:9	3 840	2 160	30/60	Progresiva	Cámara y visualización
NTT	EHRI-1	16:9	3 840	2 160	24/48/(96)	Progresiva	Visualización
NHK	EHRI-1	16:9	3 840	2 160	60	Progresiva	Cámara (desarrollada un año antes en 2001)
NHK	EHRI-3	16:9	7 680	4 320	60	Progresiva	Cámara y visualización

CRL: Communications Research Laboratory

JVC: Victor Company of Japan

NTT: Nippon Telegraph and Telephone Corporation

NHK: Japan Broadcasting Corporation

NOTA 1 – Los sistemas experimentales se presentaron al Sector de Radiocomunicaciones (UIT-R) como contribución en septiembre de 2002.

CRL y JVC han desarrollado conjuntamente una cámara y un sistema de visualización con 2 000 líneas de exploración denominado TVAD cuádruple (*Quadruple HDTV*). El sistema de cámara emplea tres sensores CMOS de $3\,888 \times 2\,192$ píxels y emite señales de vídeo en cuatro canales de TVAD. El proyector emplea tres paneles LCD de $3\,840 \times 2\,048$ píxels. La luminosidad producida por el proyector es de 5 200 lm y la relación de contraste es superior a 750:1. La resolución de este sistema corresponde a 2×2 veces $1\,920 \times 1\,080$ píxels.

NTT también ha trabajado en un sistema de cine digital que puede almacenar, transmitir y reproducir imágenes de 2000 líneas de exploración con 10 bits para cada uno de los componentes rojo (R), verde (G) y azul (B). El proyector del sistema es idéntico al de CRL – JVC. Las imágenes que alimentan el sistema son películas cinematográficas de 35 mm a 24 Hz, si el sistema funciona a una velocidad de cuadros de 24 Hz o 48 Hz. El proyector reproduce imágenes con una velocidad de refresco de 96 Hz para evitar las perturbaciones por parpadeo. La resolución de este sistema también corresponde a 2×2 veces $1\,920 \times 1\,080$ píxels.

NHK ha desarrollado un sistema EHRI-3 que incluye una cámara de vídeo y un proyector de reproducción que sucede al anterior sistema basado en EHRI-1. Con este sistema, se emplean cuatro paneles tanto de dispositivo de acoplamiento de cargas (CCD, *charge coupled device*) como pantallas de cristal líquido (LCD, *liquid crystal display*). Como el máximo número de píxels por panel actualmente disponible es de $3\,840 \times 2\,048$ tanto para CCD como para LCD, se combinan cuatro paneles (dos paneles para el verde, uno para el rojo y uno para el azul) para alcanzar una resolución de $8\,k \times 4\,k$ píxels. Los dos paneles del verde se disponen según el método de desviación diagonal de píxel para lograr esta resolución. La resolución del sistema corresponde a 4×4 veces $1\,920 \times 1\,080$ píxels.

1.2 Tecnologías progresivas 1 920 × 1 080/60 Hz en Japón en el año 2003

1.2.1 Estado actual de la tecnología 1 920 × 1 080/60P

– Sistema de cámara basada en la tecnología CCD de 2/3 pulgadas

En 2003, NHK (Japón) desarrolló una cámara de 1 920 × 1 080/60P (60 cuadros por segundo) con tres dispositivos CCD para cada uno de los colores (*R, G, B*), como cámara TVAD de exploración progresiva experimental. La resolución horizontal y vertical de esta cámara es de unas 1 000 líneas de televisión (TVL) y la respuesta a la función de transferencia de modulación (MTF) vertical es aproximadamente el 57% en 700 TVL y el 30% en 1 000 TVL.

– Dispositivos de visualización a 60P disponibles

Durante mucho tiempo se ha considerado difícil conseguir monitores de TRC progresivos 1 080/60 Hz dado que la respuesta de la deflexión horizontal del tubo de rayos catódicos (TRC) necesita un determinado tiempo para alcanzar una condición estable. Una nueva técnica puede solucionar este problema sin modificar la respuesta del circuito de deflexión de los monitores. Con una respuesta algo superior del circuito de vídeo y la utilización de mayor velocidad de lectura de memoria, la parte imagen de la señal de vídeo puede comprimirse en el dominio temporal y dejar un mayor periodo de supresión horizontal en la señal de vídeo. Con esta técnica se logra una exploración progresiva 1 920 × 1 080 a 60 Hz. El monitor profesional puede conseguirse de una de las fábricas de productos de radiodifusión de Japón que utilizan este programa. La especificación de la exploración del monitor de TRC abarca no sólo 24P, sino también 60P.

– Interfaz 1 080/60P

Para lograr en la práctica un sistema 1 080/60P, se considera esencial contar con una interfaz para los componentes del sistema. Afortunadamente existe la Norma SMPTE 372M-2002 que puede utilizarse para las conexiones entre los equipos. El título de esta Norma SMPTE es Television-Dual Link 292M Interface for 1 920 × 1 080 Picture Raster. La Norma utiliza dos conexiones HD-SDI para transmitir datos a 2,970 Gbit/s. La especificación incluye interconexiones 1 920 × 1 080 60P/4:2:2/10 bits. En este Informe, los enlaces son los especificados en la Recomendación UIT-R BT.1120 que pueden transportar los trenes de datos en serie de 10 bits definidos en la Recomendación UIT-R BT.709.

1.2.2 Tecnologías y productos previstos

– Projectores disponibles a finales de 2004

La disponibilidad de proyectores de 1 080/60P es una cuestión de planificación más que de tecnología. La velocidad de procesamiento es una cuestión tecnológica clave para la proyección de señales progresivas. No obstante, eso no es un problema y es una cuestión que está bastante clara y no requiere ninguna nueva técnica para su consecución.

El verdadero problema es el desarrollo de un proyector que se adapte a la demanda y a los precios competitivos del mercado. Una de las fábricas de productos de radiodifusión de Japón prevé actualmente sacar al mercado un proyector 1 920 × 1 080 antes de finales de 2004. Este proyector de multiexploración contempla en su especificación la proyección a 50P y 60P.

– Dispositivos CCD y CMOS para cámaras 1 080/60P

Para la captura de imágenes es necesario contar con cámaras progresivas de 60 Hz a fin de poder tener un verdadero entorno progresivo a 60 Hz. La intención general es conseguir un sensor óptico de cámara 1 080/60P con el refinamiento de un dispositivo CCD actual. En torno a esta velocidad de cuadros ya no es necesario un sensor óptico CMOS que puede proporcionar una velocidad de

procesamiento superior. También se supone que el sistema de cámara con dispositivo CMOS estará disponible al tiempo que las cámaras progresivas a 60 Hz basadas en CCD.

– Dispositivos de almacenamiento

La velocidad de datos del formato progresivo $1920 \times 1080/60$ Hz es dos veces superior a la del entrelazado $1920 \times 1080/60$ Hz. Para poder grabar en una cinta magnética señales progresivas $1920 \times 1080/4:2:2/10$ bits/60 Hz es necesario que el magnetoscopio sea capaz de manejar aproximadamente $1,24 \times 2$ Gbit/s de datos únicamente para el vídeo. La tecnología de compresión se aplica ampliamente a la grabación de vídeo y la calidad de imagen es aceptable. Actualmente existen varios fabricantes que pueden ofrecer magnetoscopios capaces de grabar a una velocidad de vídeo neta de 880 Mbit/s. La combinación de estas tecnologías hace que sea bastante factible lograr un grabador progresivo $1080/60$ Hz. Uno de los fabricantes de productos de radiodifusión de Japón ha presentado especificaciones de un magnetoscopio portátil de la serie HDCAM que puede grabar señales progresivas $1920 \times 1080/4:2:2/10$ bits/60 Hz con un factor de compresión de 2,7.

1.2.3 Resumen

Japón ha contribuido al Informe sobre las reuniones de la Comisión de Estudio 6 de Radiocomunicaciones durante el año 2002 en lo tocante a las imágenes de muy alta resolución. En este Informe se presentan diversos sistemas EHRI progresivos que han adoptado la velocidad de cuadros de 60 Hz. Estos sistemas están en fase experimental pero ya se puede disponer de diversos productos que soportan las señales progresivas a 60 Hz. Dado que los consumidores demandan cada vez más aplicaciones progresivas a 60 Hz, es natural que los productos adaptados a estas aplicaciones experimenten un crecimiento. Hay claras tendencias tecnológicas para responder a estas expectativas.

1.2.4 Bibliografía

Documento 6-9/52, Documento 6P/137 – Progress report on extremely high resolution imagery applicable to digital cinema, contribución de Japón.

Contribución a AHG sobre cine digital en septiembre de 2001 – «Ultra-high definition video camera» de NHK Science & Technical Research Laboratories.

Norma SMPTE 372M-2002 – Television Dual Link 292M Interface for 1920×1080 Picture Raster.

2 Consideraciones generales sobre las actuales tecnologías EHRI

2.1 Procesamiento de imagen fija e imagen por imagen (práctica actual en la confección de programas)

Es bien sabido que en las películas cinematográficas más recientes se utilizan con frecuencia y de manera intensiva efectos ópticos digitales y que el procesamiento avanzado de imágenes hace que estas películas sean atractivas para la mayor parte del público. Estos efectos ópticos digitales, es decir, el tratamiento electrónico de la película, inauguran una nueva era en la producción, que sustituye eficaz y económicamente al antiguo y bien conocido procesamiento óptico por técnicas de postproducción en estudio. Dichas técnicas están basadas en la generación de gráficos por ordenador, reducción de brillos y composición por incrustación cromática, y permiten retocar escenas y eliminar fondos y colores no deseados en las películas antiguas y deterioradas a la vez que se modifican la gradación y los colores.

Actualmente existen en el mercado varios sistemas de este tipo que se utilizan con éxito. El sistema completo se compone de un analizador de películas con CCD, un grabador de películas de salida y

un procesador de señales basado en estaciones de trabajo de alta velocidad. Para producir esos efectos se emplean comúnmente estaciones de trabajo y programas informáticos especiales. Los equipos pueden tratar películas de muy alta resolución, es decir, de más de 40 veces la resolución de la señal de televisión convencional.

2.2 Gráficos por ordenador (CG, *computer graphics*)

Pueden generarse por ordenador diversos tipos de imágenes gráficas de alta calidad. Las imágenes no se generan en tiempo real y no existen problemas tecnológicos importantes. Si la capacidad del disco empleado es suficiente y se utiliza un ordenador de alta velocidad, parámetros tales como la resolución espacial, el formato de la pantalla, la resolución temporal, etc. se pueden adaptar en principio a las necesidades. No obstante, la creación de imágenes en movimiento en tiempo real es difícil de realizar con la tecnología actual. Ello depende de la complejidad de la imagen y de la tecnología CG empleada. La generación de imágenes mediante una tecnología CG sencilla posibilita algunas aplicaciones en tiempo real, como sistemas de realidad virtual, simuladores de vuelo y máquinas de juegos.

En la producción actual de programas de TVAD se requieren aproximadamente 0,25 h para generar un solo cuadro de una figura humana con un ordenador de 800 MIPS. Para producir imágenes de nivel EHRI-3 con la misma tecnología, se requerirán cuatro horas a fin de generar una imagen con una resolución 4×4 veces superior. La utilización de unidades de procesamiento central (CPU) de gran capacidad en términos de millones de instrucciones por segundo (MIPS) y equipos gráficos especializados es indispensable para generar imágenes CG de alta resolución.

3 Tecnologías y dispositivos para EHRI

3.1 Dispositivos de visualización

El número de monitores de visualización TVAD domésticos de alta calidad en Japón ha empezado a aumentar gracias a la introducción de los servicios de radiodifusión digital por satélite para TVAD. El precio de estos monitores está descendiendo significativamente en comparación con años anteriores.

También se están popularizando los ordenadores personales no sólo en la oficina, sino también en todos los hogares en todo el mundo. Este fenómeno coincide con una gran penetración de Internet. El formato GUI para las máquinas «Windows» requiere mucha más capacidad de visualización que el VGA (640×480); por ejemplo, como el XGA (1024×768) y el SXGA (1280×1024). El dispositivo de visualización de las estaciones de trabajo comunes cuenta con una resolución de SXGA o UXGA (1600×1200). Se considera que para 2005 habrá monitores TFT LCD (pantallas de cristal líquido) WUXGA (1920×1200) y QXGA (3200×2400) disponibles en el mercado y que se utilizarán para determinadas aplicaciones.

Con la llegada de la era multimedia y, especialmente, después de la aparición de las aplicaciones interactivas en televisión, se han modificado los requisitos para la visualización, que en adelante ha de tener las características necesarias tanto para la visualización en televisión como en ordenador personal (PC). Estas características difieren en los siguientes aspectos:

- La no linealidad gamma de la visualización en un TRC ha sido previamente ecualizada antes de la radiodifusión, mientras que las imágenes generadas por un PC no tienen esta preecualización. La visualización simultánea de estas dos imágenes en la misma pantalla queda, así, comprometida.
- Es fundamental para cualquier monitor de PC la uniformidad de la resolución de la imagen en toda la pantalla. Por otra parte, un monitor de televisión no requiere esta uniformidad,

sino una mayor luminosidad. Estas dos características son difíciles de mantener en un mismo monitor de visualización.

- Por norma general, la visualización en pantallas de televisión cuenta con una sobreexploración cercana al 10%, mientras que en los PC no existe este fenómeno. Aparte del TRC, hay otras nuevas alternativas de tecnologías de visualización hoy en día. Los dispositivos de tipo proyección y de panel se han creado para obtener pantallas de mayor tamaño, necesarias para la presentación de imágenes a un público numeroso. Para la visualización de tipo proyector se utilizan las tecnologías TRC, LCOS (cristal líquido sobre silicio) y DMD (dispositivo digital de microespejo). Para las pantallas de panel planas se utiliza principalmente la tecnología PDP (panel de visualización de plasma). También se están generalizando los dispositivos de panel de LC (cristal líquido) de diversas dimensiones. Para los ordenadores hoy en día hay disponibles paneles XGA de 15 pulgadas, SXGA de 17 pulgadas y WUXGA de 24 pulgadas. También se están popularizando las aplicaciones de televisión en paneles LC que pueden utilizar los paneles de 28 pulgadas disponibles para estas aplicaciones.

Tanto los TRC como los PDP utilizan un efecto electroluminiscente de fósforo *G/B/R*. Por otro lado los dispositivos LC controlan la cantidad de luz generada por una bombilla y los dispositivos DMD, por la activación o desactivación de espejos, reflejan la luz proyectada en un bloque de lentes. Para la visualización en color, se separan las luces roja, azul y verde a partir de una única fuente luminosa gracias a un «prisma dicrómico» y a continuación se dirigen hacia un bloque de modulación para cada proyector.

3.1.1 TRC

Con un TRC de 20 pulgadas se puede obtener una resolución de unas 1 000 líneas con una separación de los orificios de la máscara de 0,3 mm aproximadamente. En equipos de alto nivel se emplea ya una separación de 0,15 mm. La separación de los orificios de la máscara depende de diversos factores técnicos, tales como su grosor y las condiciones de fabricación. Con el nivel tecnológico actual se estima que el límite puede ser de 0,16 mm aproximadamente para un TRC de 40 pulgadas. El tamaño del punto de exploración del haz electrónico es actualmente de 1 a 2 mm aproximadamente. Para obtener una mejor resolución es necesario reducir el tamaño del punto de exploración a 0,5 ó 1 mm.

Asimismo, es necesario aumentar la velocidad de excitación de los circuitos de deflexión del TRC, lo que se consigue reduciendo la anchura del conductor del yugo y disminuyendo las pérdidas del núcleo. Para reducir los errores de deflexión será necesario un circuito de compensación digital.

En el Cuadro 3 se muestran las aplicaciones de alta resolución típicas del TRC y algunos de los parámetros de los productos ya disponibles en el mercado.

CUADRO 3

Dispositivos de TRC disponibles para aplicaciones de alta resolución

Esfera de aplicación		Medicina	Visualización gráfica	Monitor de TVAD
Visualización	Dimensión	21 pulgadas	32 pulgadas	30 pulgadas
	Formato de imagen		1:1	19:6
Número de píxels		2 048 × 2 560	2 048 × 2 048	1 920 × 1 080

CUADRO 3 (Fin)

Esfera de aplicación		Medicina	Visualización gráfica	Monitor de TVAD
Punto de fosforescencia		Ninguno, color continuo (blanco y negro)	0,31 mm	
Relación de contraste		10 bits D/A		
Exploración	Horizontal	186 kHz	126,8 kHz	
	Vertical	72 Hz no entrelazado	60 Hz no entrelazado	
Dimensión física	Profundidad		1 000 mm	
	Peso		100 kg	

3.1.2 Dispositivos de proyección

Hay diversas tecnologías y, por consiguiente, diferentes productos de proyección de luz disponibles en el mercado. A continuación se presentan ejemplos típicos de los distintos proyectores para aplicaciones de alta resolución.

CUADRO 4

Dispositivos de proyección disponibles para aplicaciones de alta resolución

Modelo	MARQUEE 9500LC	JVC DLA-M4000L	Sony VPL-FE100J	Barco ELM R12
Tipo de proyección	3 TRC y 3 lentes de proyección	3 dispositivos D-ILA 1 600 W Xenon	3 paneles LC 120 W UHP × 4	3 dispositivos DLP 3 000 W Xenon
Dispositivos de modulación de la luz	TRC de 9 pulgadas	D-ILA de 0,9 pulgadas (1 397, 760)	Dispositivo de polisilicio 1,8 pulgadas (1 310 × 720)	DMD de 1,1 pulgadas (1 310 × 720)
Resolución	2 500 × 2 000	1 365 × 1 024	1 280 × 1 024	1 280 × 1 024
Salida de luz (lumen)	1 300	4 000	3 500	12 000
Dimensión de la pantalla (pulgadas)		60~600	40~500	~800
Contraste	—	—	—	500:1
Frecuencia de exploración (horizontal/vertical)	15~152 kHz/ 38~180 Hz	15~82 kHz/ 50~78 Hz	15~100 kHz/ 50~120 Hz	
Consumo de energía	650 W	2 200 W	770 W	3 750 W
Peso (kg)	80	70	34,5	143

3.1.3 Paneles de visualización

En las zonas urbanas de ciudades muy pobladas, como Tokio, pueden observarse con frecuencia grandes paneles publicitarios en las fachadas de los edificios de los barrios más frecuentados. Aunque la dimensión del panel de visualización es grande, está principalmente diseñado para televisión de definición convencional o imágenes de calidad inferior. El número de dispositivos luminosos necesarios para este tipo de visualización es su principal limitación.

Las tecnologías de PDP han sido objeto de estudio durante mucho tiempo. Tras un largo periodo de estudio, recientemente han aparecido en el mercado paneles a todo color de 50 pulgadas y se prevé que en breve haya disponibles paneles de 60 pulgadas. Su resolución vertical es de 640-1 024.

En el caso de LCD de visión directa, la disponibilidad de un LCD de gran dimensión es un problema básico en términos de tecnología y coste. Para visualizar imágenes de alta resolución es necesario contar con una pantalla de gran tamaño.

3.2 Tecnología de captura de imágenes

3.2.1 Cámara electrónica de imágenes

Se supone que la resolución espacial marginal de un sistema de lentes típico es del orden de 100 líneas/mm. Por tanto, la resolución vertical que se puede obtener con un sistema de lentes de 1 pulgada (zona de exploración CCD de $14 \times 7,8$ mm) es $7,8 \times 100 \times 2 = 1\,560$ líneas, y se considera que en un sistema por encima del nivel EHRI-1 ($3\,840 \times 2\,160$) será necesario un sistema óptico de más de 1 pulgada. NHK, el ente de radiodifusión pública de Japón, está estudiando sistemas de cámara de muy alta resolución. El objetivo es obtener un sistema de cámaras que produzca más de 4 000 líneas de exploración. En el Cuadro 6 se muestran especificaciones del sistema de cámara que se está desarrollando.

CUADRO 5

CCD disponibles para aplicaciones de alta resolución

	PDP	PDP
Dimensión de la pantalla de visualización (pulgadas)	42	60
Formato de imagen	16:9	16:9
Dimensiones del píxel (mm)	$0,90 \times 0,51$	$0,972 \times 0,972$
Número de píxels	$1\,024 \times 1\,024$	$1\,366 \times 768$
Nivel de cuantificación	256	256
Número de colores ($\times 10^4$)	1 677	1 670
Luminancia (cd/m^2)	500	450
Contraste	500:1	Más de 500:1
Ángulo de visión (grados)	160	No disponible
Potencia (W)	250	No disponible
Comentarios	Producto disponible	En fase de desarrollo

CUADRO 6

**Especificaciones provisionales del futuro sistema
de cámara de NHK de Japón**

Píxel horizontal (/línea)	4 400
Número de líneas verticales	2 250
Número de píxels (activo)	800×10^4
Formato de imagen	16:9
Cuadros (/s)	60
Sistema de exploración	Progresivo
Sistema de imagen	RGB 3CCD
Tamaño de imagen CCD (mm)	$32,2 \times 17,2$ (equivalente a 2,5 pulgadas)
Sistema de lente	Lente focal fija (f : 50 mm)

Cuando se requiere más resolución es necesario que disminuya la dimensión del píxel sin que varíe el tamaño del dispositivo de captación de imágenes. La baja sensibilidad causada por un tamaño de píxel más pequeño se contrarresta aumentando la superficie de recepción lumínica, utilizando un elemento de alta sensibilidad y reduciendo el nivel de ruido. En lo referente a la cantidad y tamaño de los píxels, se ha logrado un dispositivo CCD de 2 millones de píxels (2/3 en el sistema óptico) para la TVAD. La mayor superficie de los dispositivos de captación de imágenes pueden abarcar hasta EHRI-1, pero es necesario contar con nuevas tecnologías para aumentar la resolución. La reducción de la S/N de una cámara disminuye la tasa de compresión, por lo que la reducción de nivel de ruido es fundamental.

3.2.2 Telecine

En telecine se emplean actualmente los tres métodos de captación de imágenes siguientes: cámara de tubo captador o sensor de zona, explorador de punto móvil y explorador láser. La mayoría de los problemas que originan estas técnicas de alta resolución afectan a operaciones de telecine en tiempo real. En aplicaciones que no son en tiempo real casi todos los problemas desaparecen debido a la exploración a baja velocidad.

3.2.3 Cámara electrónica de imágenes fijas

Las fotografías con sales de plata en película de 35 mm tienen una calidad de imagen casi equivalente a la de la clase EHRI-1. Se pueden obtener resoluciones mucho mayores aumentando el tamaño de la película.

Se ha construido para imágenes fijas un CCD de $100 \times 50 \text{ mm}^2$ con 51 millones de píxels, lo que corresponde a una resolución superior EHRI-3. Tiene 10080 elementos horizontales y 5040 elementos verticales y puede funcionar a una velocidad de hasta 5 cuadros/s.

En 2001, ya podían encontrarse en las tiendas de productos electrónicos cámaras electrónicas de imágenes fijas de 3 millones de píxels.

3.3 Tecnología de transmisión

3.3.1 Transmisión óptica

Con una longitud de onda de 1,55 μm se ha obtenido una velocidad de transmisión superior a 2,5 Gbit/s y una distancia entre radioenlaces de 100 km. Como el sistema óptico tiene una elevada capacidad de transmisión en comparación con otros sistemas, se prevé que sea el sistema de transmisión básico para cualquier aplicación futura de imágenes digitales.

En el Cuadro 7 se muestran diversos campos que pueden ser importantes para el desarrollo de la tecnología de transmisión óptica para futuras señales de alta velocidad binaria en las aplicaciones en EHRI en tiempo real. Aunque es evidente que serán necesarias nuevas tecnologías, la multiplexación por división de longitud de onda densa (DWDM) para la transmisión óptica ya está bien implantada. Pueden encontrarse ya en varios lugares del mundo redes ópticas de gran capacidad basadas en DWDM.

CUADRO 7

Posibilidades de desarrollo tecnológico de la transmisión por enlaces ópticos

	Si la relación de transmisión aplicada es 150 Mbit/s para EHRI-0 y EHRI-1 en tiempo real ⁽¹⁾	Si la relación de transmisión aplicada es de 600 Mbit/s para EHRI-2 y EHRI-3 en tiempo real ⁽¹⁾
Tecnología de transmisión por enlaces ópticos	Técnica de transmisión óptica hasta 100 Gbit/s Tecnología de transmisión por ondas de luz coherente Tecnología de modulación de la luz DWDM (10 ondas) Tecnología de amplificación de la luz	Técnica de transmisión óptica hasta el nivel de Tbit/s Tecnología de transmisión por ondas de luz coherente Tecnología de modulación de la luz DWDM (100 ondas) –

⁽¹⁾ Véase en el Cuadro 15 la definición de tiempo real para EHRI-0 -1 -2 -3.

3.3.2 Radiodifusión por satélite

Para la radiodifusión por satélite se pueden utilizar frecuencias de la banda 21,4-22 GHz (600 MHz) atribuida por la Conferencia Administrativa Mundial de Radiocomunicaciones para examinar la atribución de frecuencias en ciertas partes del espectro (Málaga, Torremolinos, 1992) (CAMR-92) y/o frecuencias muy superiores. En este caso, considerando la anchura de banda del tubo de ondas progresivas (TOP), es posible construir repetidores de radiodifusión por satélite con anchuras de banda de unos 300 MHz. No obstante, en la realidad, los problemas de atenuación y absorción atmosférica de las señales radioeléctricas de la banda de 21 GHz se podrían superar, en función del sistema de alimentación de energía y de las dimensiones del satélite, variando la potencia de transmisión de acuerdo con la pluviosidad de cada región. Para ello se necesita mejorar las siguientes técnicas:

- TOP de gran rendimiento, livianos y de alta potencia de salida;
- antenas espaciales sintéticas;
- tecnología sintética de alimentación de energía eléctrica;
- tecnología de control de la potencia de transmisión.

3.3.3 Televisión por cable (CATV)

En comparación con la transmisión analógica actual a través de redes de televisión por cable, la transmisión de señales EHRI a través de las redes CATV requiere las siguientes medidas:

- utilización de múltiples canales de TV analógica;
- canales de transmisión de alta calidad;
- bandas más anchas y mayor velocidad;
- utilización de la tecnología digital y óptica.

En el Cuadro 8 se muestran ejemplos de posibles combinaciones entre la anchura de banda y los niveles de modulación de cada grupo jerárquico de transmisión EHRI.

CUADRO 8

Anchura de banda y niveles de modulación para la transmisión EHRI

Jerarquía de transmisión EHRI en tiempo real⁽¹⁾ (después de la compresión)	Combinación de anchura de banda y número de niveles de modulación
EHRI-0 (50 Mbit/s)	12 MHz/MAQ-64
EHRI-0 y 1 (65-130 Mbit/s)	24-36 MHz/MAQ-64 18 MHz/MAQ-256
EHRI-2 y 3 (500 Mbit/s)	100 MHz/MAQ-256 (se requiere cable de fibra óptica)

⁽¹⁾ Véase en el Cuadro 15 la definición de jerarquía de transmisión en tiempo real.

3.4 Tecnología de almacenamiento

3.4.1 Unidades de cinta magnética

La tecnología extrapolada de algunas unidades de cinta magnética actuales (8 mm, 1/2 pulgadas) muestra que puede esperarse una capacidad de almacenamiento de datos máxima de entre 400 Gbytes y 1 000 Gbytes (véase el Cuadro 9).

CUADRO 9

Capacidad de datos máxima de algunas unidades de cintas magnética en 2005

Unidad de cinta magnética	Casete de 8 mm	Casete de 1/2 pulgada
Capacidad de datos disponible (Gbytes)	400	1 000

Puede no ser factible la grabación en tiempo real de señales EHRI en cinta magnética. Es obligatorio aplicar una compresión para reducir la cantidad total de datos así como su velocidad de transmisión que, de otro modo, sería demasiado alta para la grabación. En el Cuadro 10 se muestran las estimaciones de capacidad de grabación de cada formato de registro de datos que se examina.

En el Cuadro 10, la grabación en tiempo real de una señal EHRI-3 indica claramente la necesidad de compresión desde el punto de vista de la capacidad de grabación, ya que su relación es superior a 1/30. Las estimaciones se basan únicamente en la capacidad total de los medios disponibles para los registradores. Es también importante tener en cuenta la velocidad de datos para la grabación real de trenes de datos EHRI, pero este tema debe ser objeto de un examen más detallado.

CUADRO 10

Capacidad de grabación estimada de los registradores de cinta en el año 2005

Jerarquía EHRI ⁽¹⁾	Velocidad binaria de 60 cuadros/s de la señal EHRI en tiempo real (Gbit/s)	Tipo de casete de registrador de cinta	EHRI en tiempo real (hora)			Imagen fija (N.º de páginas)
			Relación de compresión			Relación de compresión
			1/60	1/30	1/4	1/10
EHRI-0 2 millones de píxels	2.5 4:2:2 10 bits/píxel	8 mm 1/2 pulgadas	21,3 53,3	10,7 26,8	1,4 3,5	$7,68 \times 10^5$ $1,92 \times 10^6$
EHRI-1 8 millones de píxels	10 4:2:2 10 bits/píxel	8 mm 1/2 pulgadas	5,3 13,3	2,67 6,68	0,35 0,88	$1,92 \times 10^5$ $4,8 \times 10^5$
EHRI-2 19 millones de píxels	40 4:4:4 12 bits/píxel	8 mm 1/2 pulgadas	1,3 3,25	0,67 1,68	0,09 0,23	$4,8 \times 10^4$ $1,2 \times 10^5$
EHRI-3 33 millones de píxels	72 4:4:4 12 bits/píxel	8 mm 1/2 pulgadas	0,74 1,85	0,37 0,93	0,05 0,12	$2,6 \times 10^4$ $6,7 \times 10^4$

⁽¹⁾ Véase en el Cuadro 15 la definición de jerarquía en tiempo real.

3.4.2 Discos

La tendencia tecnológica, a juzgar por los discos actuales, sugiere que hasta el año 2005 cabría esperar un aumento de cuatro a nueve veces la capacidad de grabación en comparación con la actual. El Cuadro 11 indica la capacidad de grabación de cada tamaño de disco existente actualmente en el mercado.

CUADRO 11

Capacidad de grabación posible en el año 2005

Medio de almacenamiento	Tamaño (mm)	Capacidad de grabación actual (Gbyte)	Capacidad de grabación futura (Gbyte)
MD	64	0,14	0,56-1,25
CD-ROM, CD-R	120	0,64	2,56-5,76
DVD-ROM, DVD-R	120	4,7	18,8-42,3

Puede no ser factible la grabación de señales de EHRI en tiempo real en términos de tiempo de grabación y velocidad de transmisión de datos disponible. Se considera obligatorio aplicar la compresión para reducir la cantidad total de datos así como su velocidad de transmisión, que de otro modo es demasiado elevada para su grabación. En el Cuadro 12 se muestra la capacidad de grabación estimada de cada formato de disco considerado.

CUADRO 12

Capacidad de grabación calculada para los discos de vídeo en el año 2005 Jerarquía EHRI ⁽¹⁾	Velocidad binaria de 60 cuadros/s de la señal EHRI en tiempo real (Gbit/s)	Medio de almacenamiento Disco	EHRI en tiempo real (hora)			Imágenes fijas (Nº de páginas)
			Índice de compresión			Índice de compresión
			1/60	1/30	1/4	1/10
EHRI-0 2 millones de píxels	2.5 4:2:2 10 bits/píxel	MD	0,06	0,03	–	2×10^3
		CD	0,3	0,1	0,02	9×10^3
		DVD	2,3	1,1	0,15	$8,1 \times 10^4$
EHRI-1 8 millones de píxels	10 4:2:2 10 bits/píxel	MD	0,01	0,01	–	5×10^2
		CD	0,06	0,03	–	2×10^3
		DVD	0,56	0,28	0,04	2×10^4
EHRI-2 18 millones de píxels	40 4:2:2 12 bits/píxel	MD	–	–	–	1×10^2
		CD	0,02	0,01	–	6×10^2
		DVD	0,14	0,07	–	$5,1 \times 10^3$
EHRI-3 32 millones de píxels	72 4:2:2 12 bits/píxel	MD	–	–	–	7×10
		CD	0,01	–	–	3×10^2
		DVD	0,08	0,04	–	$2,8 \times 10^3$

⁽¹⁾ Véase en el Cuadro 15 la definición de jerarquía en tiempo real.

El Cuadro 12 muestra que la capacidad de grabación prevista cuando mejore la tecnología es nueve veces superior al nivel actual. En este Cuadro se observa que, para las imágenes en movimiento, una relación de compresión inferior a 1/30 reduciría demasiado el tiempo de grabación, mientras que una compresión de 1/60 con EHRI-0 acercaría el tiempo de grabación al del disco láser (LD) analógico actual.

3.5 Tecnología de codificación y tratamiento de imágenes

3.5.1 Generalidades

La categoría EHRI en tiempo real para la (TVAD) contiene enormes cantidades de datos. Resulta por ello importante reducir eficaz y económicamente la velocidad binaria para adaptarse a la anchura de banda disponible de los medios de transmisión y almacenamiento, manteniendo al mismo tiempo una alta calidad de imagen.

En el Cuadro 13 se muestra la relación de compresión prevista en cada etapa de procesamiento del esquema general de reducción de velocidad binaria.

CUADRO 13

Relación de compresión de los datos de imagen de cada elemento en el esquema general de compresión

Relación de compresión en el dominio de frecuencias especial: transformada discreta de coseno	5-10
Compresión en el dominio temporal: compensación del movimiento	2-3
Compresión en función de las características estadísticas de los datos: codificación de longitud variable	1,3-1,5
Relación de compresión media	15-30

3.5.2 Perfil de estudio MPEG-4

MPEG-4 tiene una perspectiva más amplia. Puede aplicarse no sólo a aplicaciones de alta compresión para la transmisión en banda limitada basada en una nueva codificación de objeto, sino también para la compresión de imagen de alta calidad; es decir, compresión de imagen basada en una codificación de 10/12 bits/píxel, codificación de componentes 4:4:4 y codificación de alta resolución.

En el Cuadro 14 se muestran las definiciones propuestas de niveles de perfil de estudio MPEG-4.

CUADRO 14

Definición de los niveles de perfil de estudio MPEG-4

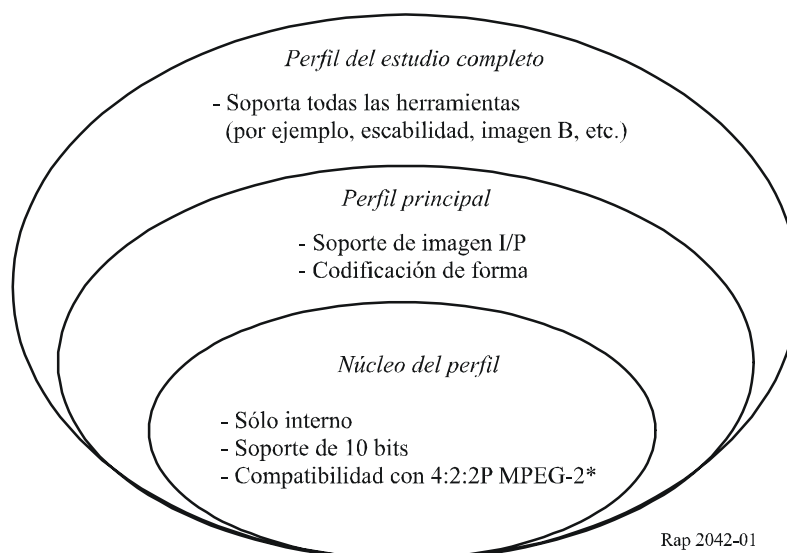
Nivel		Máximo tamaño de imagen	Máxima velocidad de muestreo total ⁽¹⁾	Máxima velocidad binaria	Otros aspectos
Bajo (compatible con MPEG-2)		H: 1 920 píxels V: 1 088 líneas Velocidad de cuadros: 30 Hz	125 337 600 = $1\,920 \times 1\,088 \times 30 \times 2$	300 Mbit/s	4:2:2 10 bits
Principal	422	H: 2 048 píxels V: 2 048 líneas Velocidad de cuadros: 60 Hz	250 675 200 = $1\,920 \times 1\,088 \times 60 \times 2$ > $2\,048 \times 2\,048 \times 30 \times 2$	600 Mbit/s	4:2:2 10 bits
	444		376 012 800 = $1\,920 \times 1\,088 \times 60 \times 3$ > $2\,048 \times 2\,048 \times 30 \times 3$	800 Mbit/s	4:2:2 4:4:4 (YPbPr y RGB) 10 bits
Alto	422	H: 4 096 píxels V: 4 096 líneas Velocidad de cuadros: 120 Hz	805 306 368 = $4\,096 \times 4\,096 \times 24 \times 2$ > $1\,920 \times 1\,088 \times 120 \times 2$	1,2 Gbit/s	4:2:2 10 bits/12 bits
	444		1 207 959 552 = $4\,096 \times 4\,096 \times 24 \times 3$ > $1\,920 \times 1\,088 \times 120 \times 3$	2,5 Gbit/s	4:2:2 4:4:4 (YPbPr y RGB) 10 bits/12 bits

⁽¹⁾ La calidad de funcionamiento del decodificador MPEG-2 se evalúa de acuerdo con la máxima velocidad de muestreo de la luminancia. En el caso de MPEG-4, la velocidad de muestreo total servirá para medir adecuadamente la calidad de funcionamiento de chip, ya que el perfil de estudio MPEG-4 puede tratar más muestras de crominancia, como 4:4:4.

- *Nivel bajo:* Este nivel es básicamente compatible con el MPEG-2 de alto nivel. La diferencia reside en el soporte de 10 bits de MPEG-4. Este nivel resulta útil para convertir y reutilizar activos codificados por [HL@4:2:2P](#) MPEG-2 en aplicaciones de estudio.
- *Nivel principal:* Este nivel pretende abarcar la producción DTV y las aplicaciones de telecine. El sistema de producción para DTV requiere un formato progresivo de $1\,920 \times 1\,080 \times 60$ de los programas de origen. Los equipos de telecine deben soportar formatos de resolución de imagen superiores, como $2\,048 \times 2\,048 \times 4/25/30$, 10 bits por píxel.
- *Nivel alto:* Este nivel está previsto para el soporte de sistemas de súper movimiento y el formato de telecine más elevado. El sistema de súper movimiento soportará en el futuro 120 Hz. Los equipos de telecine más modernos deben soportar formatos de resolución altos, como $4\,096 \times 4\,096 \times 24$, a 10 ó 12 bits.

En la Fig. 1 se muestra la estructura propuesta a los perfiles de estudio MPEG-4.

FIGURA 1
Estructura propuesta de los perfiles de estudio MPEG-4



* Nota 1 – La compatibilidad con el perfil 4:2:2 MPEG/2 incluye las dos siguientes funcionalidades:

- compatibilidad con versiones futuras: el decodificador MPEG-4 posee el decodificador de longitud variable (VLD) MPEG-2 y las herramientas de decodificación;
- transparencia de transcodificación: mínima pérdida de calidad en el proceso de transcodificación entre MPEG-4 a 4:2:2 MPEG-2. De ser posible, se prefiere la compatibilidad con versiones anteriores.

El núcleo del perfil es un conjunto mínimo de perfil de estudio e incluye herramientas simples para los requisitos de producción. Este perfil debe proporcionar compatibilidad con el perfil 4:2:2 MPEG-2.

En el Cuadro 15 se muestra la relación de compresión requerida para la transmisión de imágenes EHRI en tiempo real.

Como se ve en el Cuadro 13, los espectadores rara vez percibirán una degradación de la calidad de la imagen después de la distribución secundaria si la relación de compresión se encuentra entre 15 y 30. Será posible una reducción adicional de las velocidades binarias utilizando las características de la sensibilidad visual humana o un filtrado. Por tanto, se considera posible obtener una calidad de distribución secundaria con índices de compresión de hasta 1/25 a 1/50. Sin embargo, por lo que se refiere a la calidad de imagen en el nivel de contribución, un índice de compresión cercano a 1/6 sería el límite.

En el caso más elevado de la jerarquía EHRI, es necesaria una relación de compresión de 300 a 500 para enviar señales a través de un trayecto de transmisión. A fin de obtener este nivel de compresión, se requieren nuevos avances tecnológicos. Una posible solución sería la codificación basada en el conocimiento, que aún se encuentra en la etapa de investigación.

CUADRO 15

Relación de compresión requerida para la transmisión

Jerarquía de la imagen	Perfil 4:2:2 MPEG-2	EHRI-0 en tiempo real	EHRI-1 en tiempo real	EHRI-2 en tiempo real	EHRI-3 en tiempo real
Número efectivo de píxels	720 × 512 (para 525) 608 (para 625)	1 920 × 1 080	3 840 × 2 160	5 760 × 3 240	7 680 × 4 320
Relación de frecuencia de muestreo	4:2:2	4:2:2	4:2:2	4:4:4	4:4:4
Gradación (diferencia de color, luminancia) (bits)	8	10	10	12	12
Velocidad (cuadros/s)	30	60	60	60	60
Velocidad binaria de la señal de origen (Gbit/s)	0,216	2,5	10	40	72
Velocidad de transmisión (Mbit/s)	5-50	60-80	100-150	150-600	150-600
Relación de compresión	20-40	30-40	70-100	70-270	120-480

4 Relación entre EHRI y LSDI

Las imágenes digitales en pantalla grande es una familia de sistemas de imágenes digitales que se utiliza en programas tales como películas, obras de teatro, eventos deportivos, conciertos, eventos culturales, etc., para la grabación y presentación en pantalla grande con calidad de alta resolución en salas de cine, salones de actos y otras salas. Para mayor información acerca de la definición y aplicación de las LSDI, véase el Informe UIT-R BT.2053 – Imágenes digitales en pantalla grande.

El UIT-R ha recomendado una serie de formatos de imagen en la banda de base para aplicaciones LSDI. En el Cuadro 16 se muestra su correspondencia con los formatos EHRI. La jerarquía ampliada de sistemas LSDI utiliza el formato de imagen EHRI-1 (3 840 × 2 160) o EHRI-3 (7 680 × 4 320) como se describe en la Recomendación UIT-R BT.1769 – Valores de los parámetros de la jerarquía ampliada de formatos de imágenes LSDI para la producción y el intercambio internacional de programas. Los aspectos técnicos de la LSDI ampliada y la EHRI coinciden en gran parte. La información técnica sobre LSDI, comprendida la versión ampliada, también se describe en el Informe UIT-R BT.2053.

CUADRO 16

Correspondencia entre EHRI, TV y los formatos LSDI

Jerarquía EHRI (1)	Formato de imagen	Recomendación sobre TV	Recomendación sobre LSDI
EHRI-0	1 920 × 1 080	Rec. UIT-R BT.709	Rec. UIT-R BT.1680
EHRI-1	3 840 × 2 160		Rec. UIT-R BT.1769
EHRI-2	5 760 × 3 240		
EHRI-3	7 680 × 4 320		Rec. UIT-R BT.1769

⁽¹⁾ La clasificación de EHRI figura en § 1 del presente Informe.

5 Parámetros

CUADRO 17

Conjunto de parámetros de las EHRI

Parámetros	Valores
Formato de imagen en la pantalla	16:9 es la relación básica, pero también se pueden adoptar otros valores teniendo en cuenta las diversas aplicaciones
Resolución espacial	Es preferible 1920×1080 y/o sus múltiplos enteros en las pantallas 16:9. También es importante la cuadratura del píxel
Resolución temporal	Con respecto al sistema de exploración, se debe adoptar la exploración progresiva pues presenta caracteres y figuras con franjas laterales y permite también una codificación de imagen más sencilla que los sistemas de exploración entrelazada. Cabe señalar que una resolución espacial más elevada requiere generalmente una resolución temporal mayor. Se considera adecuado un sistema de 60 cuadros/s aproximadamente con exploración progresiva
Gradación	Son esenciales 8 bits para imágenes en movimiento y 10 bits para imágenes fijas. Puede ser necesaria una gradación de 12 bits para atender a manipulaciones de señales complejas tales como composición de imágenes, edición de vídeo y usos secundarios
Colorimetría	Al parecer la colorimetría descrita en la Recomendación UIT-R BT.709 será adecuada durante algún tiempo, pero podría ser necesario un nuevo método que permita obtener una gama de reproducción de colores más amplia