

INFORME UIT-R BT.2088

Televisión estereoscópica

(2006)

1 Introducción

En una pantalla plana, los sistemas de imágenes estereoscópicas permiten tener una impresión de profundidad. Se han elaborado para cine, televisión y otras aplicaciones como la obtención de imágenes médicas. No hay que confundirlos con la holografía, que necesita un láser y que, en general, no es compatible con las tecnologías actuales de cine o televisión.

La tecnología para la formación de imágenes estereoscópicas fijas existe prácticamente desde el invento de la fotografía, a mediados del siglo XIX. En cuanto a las imágenes en movimiento, su explotación comercial se remonta a los años 50.

Los documentos del UIT-R en curso sobre televisión estereoscópica comprenden una Cuestión en vigor y una nueva Cuestión en proceso de aprobación, dos Informes y dos Recomendaciones, a saber:

Cuestión UIT-R 88/6 – Evaluación subjetiva de las imágenes de televisión estereoscópica.

Informe UIT-R BT.312 – Constitución de un sistema de televisión estereoscópica (última versión: 1990). En este Informe se describe brevemente una serie de técnicas para la reproducción de imágenes estereoscópicas, se enumeran los requisitos necesarios para la elaboración de sistemas prácticos de televisión estereoscópica así como documentos anteriores del CCIR sobre el tema y se facilita además una breve bibliografía.

Informe UIT-R BT.2017 – Perfil multivisión MPEG-2 para televisión estereoscópica.

En este Informe figura la Enmienda 3 a la norma de codificación de vídeo MPEG-2 (Recomendación UIT-T H.262/Norma ISO/CEI 13818-2), ratificada en 1996, que permite la codificación de imágenes estereoscópicas.

Recomendación UIT-R BT.1198 – Televisión estereoscópica basada en dos señales de canal de ojo derecho y ojo izquierdo (1995).

En esta Recomendación se facilita una breve lista de requisitos (sólo una página) de compatibilidad entre señales monoscópicas y estereoscópicas de radiodifusión, y se hace concretamente referencia a la visualización autoestereoscópica en uno de sus *considerando*.

Recomendación UIT BT.1438 – Evaluación subjetiva de las imágenes de televisión estereoscópica (a partir de la Cuestión UIT-R 88/6 del mismo nombre, anteriormente Cuestión UIT-R 234/11).

En esta Recomendación se examinan los siguientes temas: factores y métodos de evaluación, condiciones de visualización, cribado visual de observadores y materiales de prueba, tanto estáticos como en movimiento.

Ha llegado el momento de examinar nuevamente el tema de la formación de imágenes estereoscópicas, por diversos motivos:

- Los avances tecnológicos en materia de difusión de imágenes ha dado lugar a la creación de grandes pantallas planas a precios cada vez más asequibles. Estas pantallas proporcionan una plataforma ideal para diversos sistemas de imágenes estereoscópicas.
- La tecnología aplicada a las computadoras personales ha fomentado la fabricación de gafas con obturadores LCD para juegos informáticos, que son ahora económicas y fáciles de adquirir.
- La llegada de la radiodifusión digital ha favorecido una mayor flexibilidad en los formatos de codificación de imágenes. Gracias a esta flexibilidad se pueden obtener imágenes estereoscópicas de una gran compatibilidad monoscópica, contrariamente a las imágenes estereoscópicas codificadas con técnicas analógicas en las que se observan generalmente perturbaciones (desdoblamiento de la imagen, parpadeo o efectos «marioneta») y presentan una compatibilidad monoscópica limitada.
- Gracias a la evolución alcanzada en la formación de imágenes por computadora, se pueden obtener en este momento imágenes estereoscópicas de síntesis sumamente detalladas casi con tanta facilidad como imágenes monoscópicas.

2 **Visión estereoscópica y paralaje**

Los sistemas de imágenes estereoscópicas utilizan dos imágenes, una sola presentada a cada ojo. A fin de lograr un paralaje correcto, estas imágenes deben captarse desde posiciones separadas por una distancia similar a la separación de los ojos (unos 65 mm), o distancia interocular. La diferencia de perspectiva desde las dos posiciones permite percibir la profundidad cuando el cerebro compara ambas imágenes presentadas separadamente al ojo derecho y al ojo izquierdo.

La estrecha separación de los puntos de captación de la imagen plantea ciertas dificultades en cámaras y lentes. En algunos casos, esto limita las posibles combinaciones de apertura y longitud focal. Aunque se pueden utilizar espejos para resolver en cierta medida este problema, por ahora es imposible efectuar la posproducción de imágenes estereoscópicas para modificar su paralaje. Corresponde pues tanto al diseñador de la cámara como a su operador tener en cuenta los efectos del paralaje en todo momento.

En la producción de imágenes 3D se varía a menudo el paralaje para obtener efectos especiales. Con el paralaje convencional, la imagen estereoscópica aparece detrás de la pantalla. Sin embargo, se puede invertir el paralaje intercambiando las imágenes izquierda y derecha para que la imagen aparezca delante de la pantalla, con las consiguientes distorsiones de la imagen. Se puede también acentuar el paralaje variando la distancia entre las lentes para aumentar o reducir la aparente profundidad.

El paralaje plantea problemas cuando se trata de imágenes en primer plano puesto que la longitud focal puede ser comparable a la distancia interocular, o incluso más corta, lo cual puede producir efectos desagradables debido a la poca profundidad de campo y/o superposición insuficiente entre la imagen captada por el ojo izquierdo y la captada por el ojo derecho y/o los grandes ángulos formados por el objeto observado y los puntos de captación de la imagen. Para resolver este problema, se puede deformar deliberadamente el paralaje reduciendo en la cámara la distancia entre las lentes. Es posible también desviar los trayectos ópticos para aumentar la superposición de imágenes. Esta técnica se suele utilizar en estereomicroscopía. Dado que el paralaje no sólo facilita informaciones de profundidad sino también con respecto a la amplitud, un efecto colateral de esta

distorsión del paralaje consiste en que se otorga a la imagen una amplitud poco realista, ya que parece mucho más grande de lo que es en realidad. Este método permite obtener efectos especiales, que el cerebro puede compensar porque sabe que está utilizando un sistema de visualización artificial.

3 Compatibilidad – Aspectos generales

Del mismo modo que es conveniente que el vídeo en color sea compatible con el vídeo monocromático, también lo es que el vídeo estereoscópico sea compatible con el vídeo monoscópico convencional. La mayoría de los primeros sistemas de vídeo estereoscópico no eran verdaderamente compatibles con los sistemas de vídeo convencional y, por ese motivo, las imágenes eran borrosas y/o parpadeaban cuando se visualizaban en una pantalla normal. Este problema se examina con mayor detalle en cada técnica estereoscópica.

4 Técnicas y tecnologías para la visualización de imágenes

La estereoscopia se conoce desde hace más de un siglo y su origen se remonta a los trabajos de Wheatstone y Brewster sobre formación de imágenes estáticas en los años 1830. Debido a que las principales tecnologías de imágenes en movimiento estereoscópicas suponían la separación de imágenes por color, los sistemas de imágenes animadas estereoscópicas no alcanzaron su desarrollo hasta después de la 2ª Guerra Mundial, cuando empezó a difundirse la película en color.

Un cierto número de sistemas se ha presentado en el mercado para visualizar imágenes en movimiento estereoscópicas. La mayoría de ellos, con excepción en especial de los sistemas de multiplexación temporal y los sistemas que utilizan el efecto Pulfrich, ha sido elaborado a partir de técnicas fotográficas (imagen fija) estereoscópicas. Entre estas técnicas pueden mencionarse el anaglifo cromático, el anaglifo por polarización y el anaglifo integrado.

4.1 Pantallas separadas

4.1.1 Gafas 3D

Las imágenes formadas en el ojo izquierdo y el ojo derecho pueden ser visualizadas mediante «minipantallas» separadas que se insertan en una montura, como los cristales ópticos de un par de gafas. Estos dispositivos se utilizaron en algunos de los primeros videojuegos de «realidad virtual». Como este tipo de gafas y las imágenes formadas se desplazan con el movimiento de la cabeza, causando un cierto desconcierto, y son de pequeño tamaño, la resolución es limitada. Esta técnica no es verdaderamente adecuada para la visualización de imágenes en grupo.

4.1.2 Pantallas separadas y gafas prismáticas

También pueden utilizarse pantallas separadas a una cierta distancia a condición de que los rayos luminosos recibidos por el ojo sean desviados de forma correcta, lo cual se consigue mediante gafas con espejos o prismas. Esta técnica exige que el espectador mueva lo menos posible la cabeza, lo que puede causar gran fatiga.

4.2 Gafas anaglíficas

Las gafas anaglíficas superponen dos imágenes que a continuación separan para visualizarlas mediante un filtro óptico.

4.2.1 Separación por filtros de color (anaglifo cromático)

En las gafas anaglíficas cromáticas puede utilizarse cualquier tipo de combinación de colores mutuamente excluyentes. Para lograr la reproducción de todos los colores de la imagen nuevamente combinada en el cerebro, debe utilizarse un par de colores ojo izquierdo/ojo derecho complementarios (rojo/cian, verde/magenta o azul/amarillo). Se ha convenido en utilizar el par rojo/cian ya que esta combinación tiene características simples de longitudes de onda paso bajo/paso alto. Aunque para la combinación verde/magenta, es mejor la correspondencia de valores de luminancia (véase el Cuadro 1), la característica eliminación de banda/paso de banda necesaria es más difícil de reproducir de forma precisa y coherente.

CUADRO 1

**Valores y relaciones de luminancia de colores complementarios
utilizados para la representación anaglífica
(con colorimetría PAL/SECAM/NTSC/TVDE)**

Color 1	Color 2	Relación de luminancia
Rojo	Cian	
$Y' = 0,299$	$Y' = 0,701$	2,34
Verde	Magenta	
$Y' = 0,587$	$Y' = 0,413$	1,42
Azul	Amarillo	
$Y' = 0,114$	$Y' = 0,886$	7,77

Los filtros coloreados se utilizan en el momento en que se capta la imagen mediante dos cámaras separadas. A continuación ambas imágenes se combinan y, para visualizarlas, se presentan como una sola imagen. Unas gafas con lentes de color rojo/cian separan luego las dos partes de la imagen en imágenes destinadas respectivamente al ojo izquierdo y al ojo derecho. El espectro de transmisión combinado de estos dos filtros se asemeja a la luz blanca. Se trata de la tecnología estereoscópica más barata y más antigua para imágenes en movimiento y existe un número considerable de imágenes en este formato. Es un sistema de fácil aplicación en cine y televisión aunque, debido a la información incompleta que cada ojo recibe sobre los colores, el realismo de las imágenes es reducido. De hecho, con este sistema cada ojo recibe sólo una parte de los colores. Pero una de las ventajas de este sistema es que para su aplicación sólo hace falta un proyector de cine o una pantalla de televisión, y como para el espectador la separación de la imagen es pasiva, no se necesita ni energía eléctrica, ni circuitos, ni sincronización, ni distribución.

4.2.2 Anaglifo por polarización o vectógrafo

Este procedimiento es similar al utilizado con los filtros de color pero, en este caso, la separación de las imágenes se basa en la polarización de la luz a $+45^\circ$ para el ojo derecho y a -45° para el ojo izquierdo. Este sistema, patentado para la proyección de imágenes fijas antes de 1900 [McKay, 1953], fue utilizado por primera vez en cine en los años 50 por Arch Oboler y aplicado hasta 1990 en los cines IMAX. Como cada ojo recibe todo el espectro de una imagen, este sistema polarizado ofrece un realismo de las imágenes superior al obtenido por el sistema de filtros de color. Sin embargo, nunca tuvo gran difusión porque necesitaba proyectores especializados, con lo cual

resultaba poco económico para un gran número de pequeñas salas de cine. Con todo, si bien tiene la ventaja de ser pasivo, ya que sólo necesita que el espectador lleve un par de gafas polarizadas, constituye una técnica de difícil aplicación en un sistema de televisión.

4.2.3 Anaglifo lenticular integrado (autoestereoscopia)

En el sistema de anaglifo lenticular, dos imágenes se presentan simultáneamente en tiras verticales intercaladas. Un sistema lenticular de lentes cilíndricas situado en la pantalla enfoca ambas imágenes en forma separada aproximadamente a una distancia interocular. Para obtener un efecto estereoscópico con este sistema, hay que colocar muy bien la cabeza. Como no se necesitan gafas especiales, se lo conoce como sistema autoestereoscópico.

4.3 Efecto Pulfrich

Utilizando un par de gafas/anteojos con una lente coloreada (ojo izquierdo) y otra lente sin color (ojo derecho), este sistema se basa en el hecho de que el cerebro necesita más tiempo para recibir la imagen oscura. El efecto se observa principalmente en imágenes que se desplazan horizontalmente, de izquierda a derecha en el caso descrito. El sistema tiene la ventaja de que es compatible con pantallas monocromáticas, pero el inconveniente es que requiere un continuo movimiento horizontal en la imagen para crear el efecto de profundidad. No se conoce ninguna aplicación comercial de este sistema.

4.4 Multiplexación temporal

Aplicando este procedimiento se envían en forma secuencial las imágenes al ojo izquierdo y al ojo derecho. Estas imágenes son separadas para el espectador mediante gafas con obturadores alternos sincronizados, generalmente de tipo LCD. Utilizado desde 1990 en los cines IMAX, este sistema se utiliza también en los juegos informáticos y puede ser utilizado para la televisión. Esta técnica, que puede producir imágenes con parpadeo debido a una velocidad de renovación baja (12 imágenes/s para el cine tradicional y 12,5-15 imágenes/s para la televisión con exploración entrelazada), funciona mucho mejor a velocidades de renovación más elevadas con exploración progresiva.

5 Codificación digital de imágenes estereoscópicas y compatibilidad monoscópica

En los sistemas de codificación digital, la codificación de una imagen diferente en cada trama de una imagen intercalada o en cada trama de una imagen con exploración progresiva plantea problemas con respecto a la reducción de datos. Como la imagen para el ojo derecho y la imagen para el ojo izquierdo pueden ser muy diferentes, en particular en las tomas de primer plano, la reducción de datos debida a la codificación de la diferencia entre las imágenes es notablemente menor. Una reconfiguración de esos sistemas dividiendo la señal en dos subtrenes separados (ojo izquierdo y ojo derecho) permitirá obtener una mayor eficacia. Esta configuración, descrita en el Informe UIT-R BT.2017, se ha añadido a la norma de codificación vídeo MPEG-2.

6 Formatos para la producción de imágenes estereoscópicas

Aunque para la presentación estereoscópica hace falta una pantalla especial y, generalmente, una cierta forma de multiplexación y demultiplexación óptica, esa técnica de multiplexación no es intrínsecamente necesaria para la producción de imágenes estereoscópicas. Sólo basta con captar dos trenes de imágenes simultáneos con la distancia de separación adecuada. Resulta relativamente factible luego efectuar la producción y posproducción de imágenes en forma independiente, combinándolas y codificándolas para el formato de reproducción necesario en la etapa de la

presentación. Aunque tal vez se necesitan más equipos, o equipos más elaborados, que para la grabación de imágenes anaglíficas, la producción de imágenes dobles separadas es una técnica más flexible y puede utilizarse para numerosos formatos de reproducción, llegado el caso. Si para la televisión estereoscópica no se elige ningún formato de reproducción estándar, será fundamental mantener las prácticas de producción de dos imágenes separadas. Afortunadamente, gracias a la ampliación del perfil multivisión (MVP) MPEG-2 (véase el Informe UIT-R BT.2017), la señal puede codificarse de esa forma. Se necesitarán también formatos de producción equivalentes. Para que sean admitidos en la anchura de banda de los equipos ya existentes, habrá tal vez que aceptar una cierta pérdida de calidad de la imagen.

7 Conclusión

Convenientemente aplicada, la estereoscopía ofrece a los espectadores una restitución mejorada de las imágenes, logrando despertar su interés, un mayor realismo y, posiblemente, la impresión de quedar más satisfechos. En este sentido, esta tecnología presenta numerosos puntos en común con la tecnología de sonido ambiente, que se ha ganado la entusiasta aprobación del público en los cines y también en los hogares gracias a la televisión.

Los recientes avances tecnológicos, en particular con respecto a las pantallas y a la codificación digital, han vuelto aún más factible la aplicación práctica y a gran escala de la televisión estereoscópica. También en este sentido, la formación de imágenes estereoscópicas tiene muchos puntos en común con el sonido ambiente, que ha logrado una amplia difusión desde la creación de la radiodifusión digital.

En términos de tecnología aplicada a la imagen y en un momento en que la radiodifusión de televisión digital monoscópica está sólidamente establecida, la estereoscopía constituye el próximo desafío importante para investigadores, diseñadores, fabricantes y organismos de radiodifusión. Queda aún mucho por hacer en el ámbito de la normalización y reformulación de formatos de producción y distribución aplicados a esta nueva tecnología.

Concretamente, las esferas cuya labor es imprescindible en el UIT-R son las siguientes:

- determinar si es necesario o conveniente un formato de pantalla estereoscópica común y, en ese caso, definir los criterios de funcionamiento cuantitativos y cualitativos para su evaluación y selección;
- establecer formatos de producción estereoscópica comunes para facilitar el intercambio y distribución de programas;
- especificar características deseables y normas de calidad de funcionamiento para los equipos de producción estereoscópica;
- definir prácticas de producción estereoscópica recomendadas;
- definir normas de calidad estereoscópica y procedimientos de control de calidad;
- determinar si los sistemas de emisión de televisión estereoscópica serán más sensibles que los sistemas de emisión monoscópica a la intensidad de las señales, a las interferencias, a las condiciones topográficas o a otros factores relativos a las emisiones que pudieran afectar el funcionamiento de todo el sistema.

8 Referencias y bibliografía

Se dispone de un volumen considerable de material escrito en torno a este tema. Las referencias y bibliografía presentadas a continuación no son de ninguna manera exhaustivas pero constituyen un punto de partida para quienes deseen profundizar su conocimiento.

Referencias generales

- WOODS, DOCHERTY y KOCH [1991] The use of flicker-free television products for stereoscopic display applications in *Stereoscopic Displays and Applications II*, J. Merritt, S. Fisher, editors, Proceedings of SPIE Vol. 1457, 25-27 febrero 1991, San José, California, Estados Unidos de América.
- MCKAY, H.C., [1953] *Three-dimensional photography: principles of stereography*: American Photographic Publishing Company 1953. Republished online at the Stereoscopic Displays Conference website <http://www.stereoscopic.org>.
- BENTON, S.A. ed, [Mayo 2001] *Selected Papers on Three-Dimensional Displays SPIE*. Proceedings of the SPIE – Stereoscopic Displays and Virtual Reality Systems – 13 vols to date. References on Pulfrich effect from http://www.siu.edu/~pulfrich/Pulfrich_Pages/lit_pulf/1_pulf.html.
- PULFRICH, C. [Junio-septiembre, 1922] Die Stereoskopie im Dienste der isochromen und heterochromen Photometrie. *Die Naturwissenschaften*, **10**: Heft 25, p. 553-564; Heft 26, p. 569-574; Heft 27, p. 596-601; Heft 33, p. 714-722; Heft 34, p. 735-743; Heft 35, p. 751-761.
- LYTHGOE, R.J. [1938] Some Observations on the Rotating Pendulum. *Nature*, **141** (March 12 issue), 474.
- LIT, A. [1949] The magnitude of the Pulfrich stereophenomenon as a function of binocular differences of intensity at various levels of illumination. *American Journal of Psychology*, **62**, 159-181.
- LIT, A. e HYMAN, A. [1951] The Magnitude of the Pulfrich Stereophenomenon as a Function of Distance of Observation. *American Journal of Optometry and Archives of the American Academy of Optometry*, **Monograph No. 122**, 1-17.
- LIT, A. [1960a] Magnitude of the Pulfrich stereophenomenon as a function of target thickness. *Journal of the Optical Society of America*, **50**, 321-327.
- LIT, A. [1960b] Magnitude of the Pulfrich stereophenomenon as a function of target velocity. *Journal of Experimental Psychology*, **59**(3), 165-175.
- ALPERN, M. [1968] A Note on Visual Latency. *Psychological Review*, **75**, 260-264.
- CHRISTIANSON, S. y HOFSTETTER, H.W. [1972] Some Historical Notes on Carl Pulfrich. *American Journal of Optometry and Archives of the American Academy of Optometry*, **49**, 944-947.
- RUSHTON, D. [1975] Use of the Pulfrich Pendulum for Detecting Abnormal Delay in the Visual Pathway in Multiple Sclerosis. *Brain*, **98** (Part II), 283-296.
- BRAUNER, J.D. y LIT, A. [1976] The Pulfrich effect, simple reaction time, and intensity discrimination. *American Journal of Psychology*, **89**(1), 105-114.
- NICKALLS, R.W.D. [1986] Nickalls' Theorem and the Pulfrich Illusion. *The Mathematical Gazette*, and related works SMPTE Journal 1991-2000.
- HARRIS, SHAW, DEAN, HENDRIKS, OMIDVAR, MURRAY, y BAKER [Octubre, 1994] 3-D for the Nineties-A Wide-Field Stereo IMAX® Camera, 103:648.
- HIRUMA y FUKUDA [Diciembre, 1993] Accommodation Response to Binocular Stereoscopic TV Images and Their Viewing Conditions, 102:1137.

- LIPTON [Mayo 1991] The Evolution of Electronic Stereoscapy, 100:332.
- MAYHEW [Junio 1991] Vision III Single-Camera Autostereoscopic Methods, 100:416.
- MAYHEW [Junio 1993] A 35mm Autostereoscopic System for Live-Action Imaging Using a Single Camera and Lens, 102:505.
- MAYHEW y HALLOWS [Septiembre 1993] On Usage of the Word Stereoscopic, Re: *A 35mm Autostereoscopic System for Live Action Imaging Using a Single Camera and Lens*, (June 1993 SMPTE Journal, p. 505-511), 104:826, (Letter).
- YAMANOUE [Abril 1997] The Relation Between Size Distortion and Shooting Conditions for Stereoscopic Images, 106:225.
- YANO y YUYAMA [Enero 1991] Stereoscopic HDTV: Experimental System and Psychological Effects, 100:14.

Referencias provenientes de Informes UIT-R anteriores:

- HIRUMA, N. y FUKUDA, T. [Diciembre, 1990] Accommodation response to binocular stereoscopic TV images and their viewing conditions. J. SMPTE, 102, 12, p. 2047-2054.
- YAMANOUE, H. *et al.* [Octubre, 1997] Subjective study on the orthostereoscopic conditions for 3D-HDTV. ITE Tech. Report, Vol. 21, **63**, p. 7-12.
- YAMANOUE, H. *et al.* [1998] Orthostereoscopic conditions for 3-D HDTV. Proc. SPIE, 3295, Stereoscopic displays and Applications IV.
- BERTHOLD, A. [1997] The influence of blur on the perceived quality and sensation of depth of 2D and stereo images. ATR Human Information Processing Research Laboratories Technical Report, TR-H-232, Kyoto, Japón.
- JULESZ, B. [1971] Foundations of Cyclopean Perception. The University of Chicago Press, Chicago, IL Estados Unidos de América.
- PASTOOR, S. [1991] 3D-television: A survey of recent research results on subjective requirements, Signal Processing: Image Communication, 4(1), p. 21-32.
- PASTOOR, S., WÖPKING, M., FOURNIER, J. y ALPERT, T. [1995] Digital stereoscopic imaging & applications (DISTIMA): Human Factors Data, Deliverable ID: R2045/HHI/AT/DS/C/026/b1.
- PERKINS, M.G. [1992] Data compression of stereopairs. IEEE Trans. on Comm., 40(4), p. 684-696.
- STELMACH, L. y TAM, W. J. [1998] Stereoscopic image coding: effect of disparate image-quality in left- and right-eye views, Signal Processing: Image Communication, 14, p. 111-117.
