

ITU-R BT.2088号报告

立体电视

(2006年)

1 引言

立体图像系统可以通过平面显示器给人一种深度幻觉。这些系统是为电影、电视和医学造影等其它用途开发的。不应把立体图像系统与全息摄影混为一谈，因为后者需要使用激光，而且总体上与现有的电影或电视技术不相兼容。

固定立体成像技术大致可以追溯到发明照相技术的19世纪中叶，而动态图像则是在20世纪50年代投入商用的。

ITU-R 有关目前立体电视的文件包括一个正在研究的课题、一份提交申请程序的课题、两份报告和两份建议书：

ITU-R 第88/6号课题 – 对立体电视图像的主观评估。

ITU-R BT.312号报告 – 立体电视的系统构成（1990年最后一次更新）。此报告简要介绍了再现立体图像，列举了开发实用立体电视系统的要求，列出了此前有关这一议题的CCIR文件并包括一份简短的书目。

ITU-R BT.2017号报告 – 立体电视MPEG-2多视角类型。

本报告介绍了对MPEG-2视频编码标准（ITU-T H.262/ISO/IEC 13818-2建议书）的修正案，这项1996年批准的标准旨在实现立体图像的编码。

ITU-R BT.1198建议书 – 基于左右眼双频道信号（1995年）的立体电视。

它提供了一份简要（一页）清单，列出了对广播用平面和立体视觉信号间兼容性的要求，还在其考虑的问题当中具体谈到了自由立体显示问题。

ITU-R BT.1438建议书 – 对立体电视图像的主观评估（源于第88/6号课题“对立体电视图像的主观评估”，即原ITU-R第234/11ITU-R号课题）。

这其中包括评估因素、评估方法、收视条件、观测者的视频筛选以及静止和动态的测试材料。

多种原因证明目前是审议立体成像问题的恰当时机：

- 随着广播图像技术的发展，出现了价格更可接受的更大和更平的电视屏幕，因而为立体图像的不同应用提供了理想的平台。
- 个人电脑技术促进了电子游戏液晶显示“快门眼镜”（shutter spectacles）的发展。目前，这些技术的价格可以承受，且已上市提供。

- 数字广播的出现提高了图像编码格式的灵活性。这种灵活性提供了极大提高立体图像平面兼容性的可能。反之，采用模拟技术编码的立体图像则往往出现明显的伪影，如幽灵（ghosting）、闪烁（flicker）或“木偶剧效应”，而且平面兼容性有限。
- 电脑成像的发展已使细致入微的合成立体图像，几乎与平面图像一样易于生成。

2 立体视觉与视差

立体图像系统使用两幅图像，向两只眼睛各提供一幅。为获得正确视差，必须从大约一个瞳孔间距（约65毫米）的位置捕获这些图像。从两点的透视差异可以看出景深，供大脑对分别展示给左右眼的两幅图像进行比较。

图像捕获点的间距狭小给摄影机和镜头带来了局限，甚至在某些情况下限制了允许的光圈和焦距组合。然而使用反射镜可以在一定程度上缓解这类问题。但目前尚不可能为改变其视差而对立体图像进行后处理。因此，摄影机的设计者和操作者都有责任随时考虑到视差效果问题。

在为创新效果而进行的三维制作中，视差往往出现变化。常规视差会使立体图像看上去位于屏幕之后。不过可以通过左右图像的互换倒换视差，使立体图像看上去位于屏幕前面，但这会引起图像失真。为增减视深而变换镜头间距，也可能夸大视差。

视差是微距近拍图像特有的问题，因为焦距相当于或短于目间距。由于景深和/或左右眼间的图像缺少重叠和/或与所见物体和图像捕获点所对的角度很大，都会导致效果不佳。为解决这一问题，可以通过缩小摄影机的镜头间距，在微距作业时有意扭曲视差。还可以为增加图像重叠而使光路倾斜。这是立体显微镜通用的技术。由于视差同时提供了深度和广度的信息，这种视差失真的副作用是图像的广度失真，看上去较实际尺寸大很多。虽然这为制造创新性效果提供了一定空间，但大脑可以予以校正，因为它知道使用的是人造的观视系统。

3 兼容性 – 概述

正如我们希望彩色视频能与单色视频兼容一样，我们也希望立体视频能与常规平面视频相兼容。大多数立体视频系统无法做到与常规视频完全兼容，从而导致在普通显示器上收看时出现图像模糊或闪烁现象。在对每项立体技术进行研究时，还会更详细的讨论这一问题。

4 显示工艺与技术

立体成像技术已有100多年历史，可追溯到Wheatstone和Brewster在19世纪30年代进行的静态成像研究工作。由于立体动态图像主要涉及以色彩分离图像的技术，立体动态图像技术直到彩色胶片得到广泛使用的二次世界大战之后才研制完成。

投入商用的一系列系统被用于收视立体动态图像。多数这些显然不具有时间复用和普尔弗里希效应的系统，都是从静止图像立体摄影技术发展而来的。这些技术包括彩色立体影像、偏光立体影像和集成立体影像。

4.1 离散图像显示

4.1.1 头戴式显示

可利用眼镜式离散显示展示左右眼的图像。这些技术曾用于早期的“虚拟现实”电子游戏。但这些显示及图像与头同步运动，可能使人感觉不适，因为显示器的面积很小，分辨率也很有限。这项技术不适用于群体收视。

4.1.2 配备棱镜的宽银幕显示器

离散显示也可在较远的距离使用，但条件是需要通过具有面镜和棱镜的眼镜适当弯曲通向眼睛的光路。这种技术需要收视者尽量减少头部运动，因此很容易使人感到疲劳。

4.2 立体影像显示

立体影像显示器可同时叠映两个图像，随后再为了收视而通过光学过滤将它们分离。

4.2.1 光学过滤分离（彩色立体影像）

所有相互排斥的色彩组合，都可用于彩色立体影像显示。为全色彩再现中性重组图像，应使用左右眼补充色彩—红色/青色、绿色/品红或蓝色/黄色。通常的做法是同时使用红色和青色，因为这一组合具有简单的低通/高通波长特性。虽然绿色/品红更接近于亮度值（见表1），这一组合需要更难以准确无误再现的带阻/带通特性。

表 1

用于立体图像显示（利用PAL/SECAM/NTSC/SDTV比色法）的
互补色的亮度值和亮度比

色彩 1	色彩 2	亮度比
红色	青色	
$Y' = 0.299$	$Y' = 0.701$	2.34
绿色	品红	
$Y' = 0.587$	$Y' = 0.413$	1.42
蓝色	黄色	
$Y' = 0.114$	$Y' = 0.886$	7.77

两台摄像机在图像捕捉阶段使用滤色镜，然后将两个图像混合，并为了收视而表现为单一图像。配有红色/青色镜片的眼镜，将图像的两个部分分为左眼和右眼图像。这两个滤色镜的综合透射谱近乎白光。这是一种最便宜也是最古老的立体动态图像技术，目前尚存有大

量这类格式的资料。这是一种电影和电视都易于推行的制式，只是由于左右眼受到的色彩信息不全而影响图像的逼真度。在采用这一制式时，每只眼睛其实处于部分色盲的工作状态。然而这一制式的好处是，它只需要一台放映机或电视显示器，而且向收视者提供的图像分离是无源的，因而无需电源、电路、同步或分配。

4.2.2 偏光立体影像或矢量图形

这一程序类似于滤光程序，但为了进行图像分离，它依赖于右眼+45°偏光和左眼-45°偏光。这一制式的专利是1900年前[McKay, 1953年]为静止投影而申请的，由Arch Oboler于上世纪50年代最先在电影院推出，并在IMAX影院沿用至上世纪90年代。与滤光镜系统相比，它提供了极高的逼真度，因为每只眼都能在偏光系统中接收到全光谱图像。然而它从未得到广泛采用，因为它需要专用投影仪，对许多小影院不够经济实惠。然而这一制式具有依然保持无源系统的优势，只需要收视者佩戴偏光眼镜。不过，在电视系统中很难推行这一技术。

4.2.3 光栅/集成立体影像（自由立体）

光栅立体影像系统在隔行垂直图片条中同时采用双图像显示。屏幕上的圆柱形双凸透镜随即分别对准两个图像，相隔大约瞳孔间距。该系统依靠精确的头部定位取得立体效果，无需收视眼镜，故称为自由立体系统。

4.3 普尔弗里希效应

这一系统采用一只着色（左眼）另一只无色（右眼）的眼镜/护目镜，依据的是大脑接收暗影所需的较长传送时间。主要在利用上述方案从左至右横向移动图像时，才能看到这种效果。这一系统的优点是与单色显示兼容，但缺点是靠图像横向运动产生景深效果。尚未听说此系统投入商用。

4.4 时域复用

这是一个顺序传送左眼和右眼图像的程序。此时，通过采用LCD的交变同步快门的有源眼镜，对提供给观众的图像加以分离。这种系统自上世纪90年代以来一直用于IMAX影院，目前用于电脑游戏，还可用于电视。以这一技术制作的图像会因为低刷新率（标准影院为12图像/秒，隔行扫描电视为12.5-15图像/秒）而出现闪烁的毛病。当采用逐行扫描的更高刷新率时，这项技术的效果会大幅度提高。

5 数字立体图像编码和平面兼容性

在每个隔行扫描图像域或每个逐行扫描图像帧中对不同图像进行编码，都会给数字编码系统带来数据压缩问题。由于左眼和右眼的图像之间存在巨大差异，可对图像间差异进行的数据压缩数量会大幅减少。但可以通过将信号分为两个不同子流（左眼和右眼）的系统重新

配置方式提高效率。这种配置已被纳入MPEG-2视频编码标准，并在ITU-R BT.2017号报告中作了说明。

6 立体制作格式

虽然立体表现方式需要专用显示器，通常需要某种形式的光复用和解复用，立体制作本身不需要这类复用。唯一需要的是截取两个间距适当的同步图像流。这样便很适于对离散式资料进行制作和后制作，只需对提供给呈现阶段的必要再制作格式的资料进行综合与编码。尽管离散的双图像制作可能较立体彩色图像录制工作需要更多设备，或更多复杂设备，但它本身具有更高的灵活性，可在必要时用于多种再制作格式。如果尚未选择立体电视的标准再制作格式，保持离散双图像制作方式将是至关重要的。幸运的是，MPEG-2 MVP扩展（见ITU-R BT.2017号报告）能够以这种方式实现信号编码。另外还需要相应的制作格式。如果将它们安排在现有设备的带宽内，可能需要容忍一定程度的图像质量下降。

7 结论

实施顺利的话，立体增强型图像再现方式能够令观众感到更加身临其境、更高的逼真度，还可能得到更大的满足感。它在这方面与环绕立体声技术有着许多共性，因为这种立体声技术提高了观众在影视方面的体验。

近来尤其在显示器和数字编码方面的技术发展，使我们离实际的大规模推行立体电视更近了一步。在这方面，立体成像技术也与自数字广播推出以来得到广泛采用的环绕立体声技术，有着很多共同之处。

就成像技术而言，立体技术是研究人员、开发人员、制造商和广播商未来面临的主要挑战，因为平面数字电视广播技术已是地位稳固。对这种新媒体的制作格式和传送格式进行标准化和重新定义，依然任重道远。

具体而言，ITU-R目前需要开展工作的领域包括：

- 确定通用的立体显示格式是否必要或理想，如有必要，需要为其评估和选择确定性和定量的性能标准；
- 为简便的节目交换和分配确定通用的立体制作格式；
- 为立体制作设备确定理想的特性和性能；
- 确定推荐的立体制作方式；
- 确定立体质量标准和质量控制程序；
- 确定立体电视发射系统是否较平面发射系统更易于受信号强度效应、干扰效应、拓扑效应或其它影响整个系统性能的发射相关因素的影响。

8 参考文献

有关这一议题的资料很多。以下的参考文献远不是全部，但相信可以为希望进一步钻研的人提供一个起点。

通用参考文献

- WOODS, DOCHERTY and 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 February 1991, San Jose, California, United States of America.
- 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, [May 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. [June-September, 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. and 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. and 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. and 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, and BAKER [October, 1994] 3-D for the Nineties-A Wide-Field Stereo IMAX® Camera, 103:648.
- HIRUMA and FUKUDA [December, 1993] Accommodation Response to Binocular Stereoscopic TV Images and Their Viewing Conditions, 102:1137.
- LIPTON [May 1991] The Evolution of Electronic Stereoscopy, 100:332.
- MAYHEW [June 1991] Vision III Single-Camera Autostereoscopic Methods, 100:416.

- MAYHEW [June 1993] A 35mm Autostereoscopic System for Live-Action Imaging Using a Single Camera and Lens, 102:505.
- MAYHEW and HALLOWS [September 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 [April 1997] The Relation Between Size Distortion and Shooting Conditions for Stereoscopic Images, 106:225.
- YANO and YUYAMA [January 1991] Stereoscopic HDTV: Experimental System and Psychological Effects, 100:14.

References from previous ITU-R Reports:

- HIRUMA, N. and FUKUDA, T. [December, 1990] Accommodation response to binocular stereoscopic TV images and their viewing conditions. J. SMPTE, 102, 12, p. 2047-2054
- YAMANOUE, H. *et al.* [October, 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, Japan
- JULESZ, B. [1971] Foundations of Cyclopean Perception. The University of Chicago Press, Chicago, IL United States of America
- 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. and 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. and 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
-