

宽色域视频图像技术研究与发展

宇欣, 雷志春

引用本文:

宇欣, 雷志春. 宽色域视频图像技术研究与发展[J]. 液晶与显示, 2020, 35(3): 262–271.

YU Xin, LEI Zhi-chun. Overview on research and development of wide color gamut video image technology[J]. *Chinese Journal of Liquid Crystals and Displays*, 2020, 35(3): 262–271.

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.3788/YJYXS20203503.0262>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

基于通用三原色信道的四原色图像颜色表示方法

Representing four-primary-color image based on three-primary-color channels

液晶与显示. 2019, 34(11): 1079–1090 <https://doi.org/10.3788/YJYXS20193411.1079>

宽色域液晶显示系统的研究

Wide color gamut liquid crystal display system

液晶与显示. 2018, 33(7): 606–614 <https://doi.org/10.3788/YJYXS20183307.0606>

显示技术比较及新进展

New developments and comparisons in display technology

液晶与显示. 2018, 33(1): 74–84 <https://doi.org/10.3788/YJYXS20183301.0074>

裸眼3D显示设备关键指标测试方案的研究

Key properties of autostereoscopic display

液晶与显示. 2015(5): 888–893 <https://doi.org/10.3788/YJYXS20153005.0888>

基于金属-电介质-金属结构的滤波器提升LCD色域的研究

Improving the color gamut of LCD by a filter based on metal-dielectric-metal structure

液晶与显示. 2020, 35(1): 19–25 <https://doi.org/10.3788/YJYXS20203501.0019>

文章编号:1007-2780(2020)03-0262-10

宽色域视频图像技术研究与发展

宇 欣,雷志春*

(天津大学 微电子学院,天津 300072)

摘要:简述了宽色域视频图像技术的意义,介绍了可视色域、常规色域、主流宽色域视频标准及其目标色域。鉴于 RGB 三原色配色理论的缺点,介绍了多原色宽色域技术。对宽色域视频图像技术的发展进行了阐述,对现有的扩展色域技术进行了分类,并对当前主流的三原色和多原色宽色域技术及其相应的成像与显示设备进行了详细描述。最后讨论了宽色域技术待解决的问题以及未来的发展趋势,为相关研究人员了解宽色域视频图像技术提供了参考。

关 键 词:宽色域;液晶;视频显示;成像;多原色

中图分类号:TN949.197;TN942.1 **文献标识码:**A **doi:**10.3788/YJYXS20203503.0262

Overview on research and development of wide color gamut video image technology

YU Xin, LEI Zhi-chun*

(School of Microelectronic, Tianjin University, Tianjin 300072, China)

Abstract: The significance of wide color gamut image technology and the concepts of the visible color gamut, the conventional color gamut and the target color gamut of the mainstream wide color gamut video standards are sketched out. In view of the shortcomings of the RGB three-primary-color matching theory, the multi-primary-color wide color gamut technology is introduced. Then, the development of wide color gamut image technology is expounded, the existing extended color gamut technologies are classified, the current mainstream three-primary-color, multi-primary-color wide color gamut technology and their corresponding imaging and display devices are described. Finally, the difficulties and future trends of wide color gamut technology are discussed, which provide reference for relevant researchers to understand the wide color gamut video image technology.

Key words: wide color gamut; liquid crystal; video display; imaging; multi-primary color

收稿日期:2019-08-30;修订日期:2019-09-25.

基金项目:天津市科技计划项目(No. 16YFZCGX00760)

Supported by Tianjin Science and Technology Program(No. 16YFZCGX00760)

* 通信联系人, E-mail: zclei@tju.edu.cn

1 引言

视频图像的色彩是衡量图像质量的重要指标,彩色信号的色域决定了视频图像色彩的丰富度。如果成像、传输与显示技术不能充分覆盖图像的色域,就会导致图像的色度失真、色饱和度下降,从而导致重现图像质量变差、真实感降低,大大降低用户的收视体验。随着人们生活、工作、娱乐和消费方式的改变,宽色域图像的应用范围越来越广。不仅视频广播领域需要宽色域图像源和宽色域显示设备,在诸如电子商务等新兴行业中更加亟需色彩高保真图像。例如,图像的色度和色饱和度直接关系到消费者能否真实地了解商品的颜色信息。欧洲网购服装的退货原因中,服装色差问题占第三位^[1],仅次于尺寸错误和面料手感。因为当前的显示技术尚不能对所有颜色无失真地显示,所以目前尚无法解决由于服装色差造成的退货问题。IHS Technology 的市场调查显示,近年来,宽色域显示器市场占有率逐年上升,预计到2021年将达到27.1%^[2]。因此,宽色域视频图像仍有很大研究与发展空间。

1931年,国际照明委员会CIE制定了CIE 1931 RGB色彩空间和CIE 1931 XYZ色彩空间,并由CIE 1931 XYZ色彩空间导出CIE 1931 xyY色彩空间,做出CIE 1931 xy色度图。为了提高色彩空间感知均匀性,CIE创建了CIE LUV色彩空间,作出CIE 1976 $u'v'$ 色度图。人眼视觉系统可感知的最大色域范围为可视色域,由色度图中舌形曲线表示。

目前高清晰度电视(HDTV)广播系统,其演播室执行国际电信联盟(ITU) Rec. ITU-R BT. 709^[3](Rec.709)建议书,我国广播电影电视行业标准GY/T 155-2000^[4]参照该建议书制订。Rec. 709按当时主流显示器阴极射线管(CRT)设定色度参数,以红(R)、绿(G)、蓝(B)三原色界定的三角形为系统可实现色域,即sRGB色域,也称为常规色域或标准色域。ITU依此规范了现行HDTV广播系统,包括发射端、传输系统以及终端接收设备。sRGB系统的色域覆盖率理论最大值为可视色域的33.25%^[5],显然此数值远远不能满足真实再现自然色彩的需求。Pointer色域^[6]是在实测4 089种实际色样的基础上得到的“物

体真实表面色”,它以576个最大饱和度色样界定出“真实颜色的最大色域”范围,被许多宽色域(WCG)视频标准作为目标色域。

常规色域系统不仅不能显示较鲜艳的自然色,而且不能重显很多物体表面颜色,更无法重现人造色彩。因此,许多研究机构分别研究制定了不同建议书或标准,将三原色选在不同的光谱轨迹上,改变RGB色度值,采用更加饱和的三原色来扩展色域,并被不同摄像机、显示器、打印机、电影放映机等采用,应用于不同场景的视频图像成像与显示。

但是RGB三原色理论无法解释色盲现象,而拮抗理论^[7](Opponent-process theory,也称为四原色说)较三原色理论能够更准确地描述人眼视觉系统。根据拮抗理论,绿色和红色光加性混色形成白光而不能形成黄色光。但是黄色具有其独有的特点,例如,黄色是四原色中不可缺少的原色,是自然界唯一既具有高饱和度、又具有高亮度的色彩^[8-9]。为了兼顾黄色光的重现,在三原色系统下,只能对绿色和/或红色光主波长的选取进行折中^[10]。

三原色混色基于条件配色原理(Metamerism),但是条件配色不满足Luther条件^[11],有其局限性,不适合对色彩要求较高行业的需求。Yamaguchi^[12]等学者详细陈述了超越三原色的必要性。多原色是实现高保真彩色重现的有效手段。因此国内外大学和研究机构都开展了基于多原色的宽色域成像与显示技术研究,一些显示器生产厂家也已经意识到多原色系统的技术优势,开展了多原色成像与显示的研发工作。

本文将详细介绍扩展色域的相关技术、相关国际色域视频标准、当前主流的宽色域视频成像与显示技术的研究进展及其应用,以及宽色域颜色变换。然后介绍基于多原色的宽色域技术研究进展及其应用。最后分析宽色域视频图像技术的发展趋势。

2 扩展色域的相关技术

2.1 传输“负”值色光信号

如图1所示,根据CIE 1931 RGB混色实验结果,为了使用RGB三原色表达高饱和度色光,需要物理上无法实现的“负”值色光。

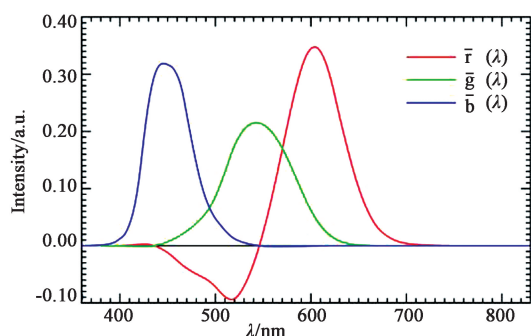


图 1 CIE 1931 RGB 混色曲线

Fig.1 CIE 1931 RGB color mixing curves

为了提高色域范围,国际标准组织针对传输“负”值色光信号先后制定了建议书和标准,采用兼容传输“负”值信号的方式,尽可能多地传输常规色域外的颜色。1998 年,ITU 发布第一个 WCG 国际视频建议书 Rec. ITU-R BT. 1361 (Rec.1361)^[13],将 Pointer 色域作为 WCG 系统的目标色域,色域覆盖率提高到 39.40%^[14]。该建议书通过扩大彩色信号的幅值范围达到扩展色域的目的,采用非对称的 Gamma 校正曲线压缩信号的“负”值部分。我国广电行业标准 GY/T 155-2000 参照此标准增加了扩展色域的内容。但是 Rec.1361 并未得到实际应用,2015 年国际标准组织取消了 Rec.1361^[15]。

真正推动 WCG 研究进程、催化 WCG 高端产业研发的是 2006 年国际电工委员会(IEC)颁布的 WCG 国际标准 IEC61966-2-4^[16-17](xvYCC 色彩空间)。该标准对传输彩色信号的幅值没有限制,并采用对称的 Gamma 校正曲线压缩信号的“负”值部分,采用扩大量化级的方式将色域覆盖率扩大到 37.19%^[18]。

Sony 公司和三菱电机公司推动了 xvYCC 的标准化和商品化^[19]。2006 年,Sony 发布了支持 xvYCC 的利用 RGB 三原色 LED 作为背光光源的液晶电视,三菱电机也发布了支持 xvYCC 的利用半导体激光作为光源的背投电视。随后,Sony 公司推出小型高清 WCG 数码摄像机,满足 xvYCC 标准。

2.2 采用饱和度更高的三原色

2.2.1 Adobe RGB 色域

Adobe 公司 1998 年发布 Adobe RGB 标准,Adobe RGB 使用的红色和蓝色原色与 sRGB 相同,但绿色原色更饱和,改善了 sRGB 难以覆盖的

青绿色区域,色域覆盖了人眼可视色域的 38.7%,Pointer 色域的 80.3%。

目前,很多专业商用大屏显示器以及专业摄影和电竞电脑显示器将 Adobe RGB 宽色域标准作为目标色域,已经实现大于 99% 的 Adobe RGB 色域。Adobe RGB 还包含 sRGB 色域没有覆盖的 CMYK 色彩空间。CMYK 四色技术基于色彩相减原理,普遍用于印刷行业。因此 Adobe RGB 色域标准成为打印机、印染业、很多软件或网站的默认色彩空间。

2.2.2 DCI-P3 色域

DCI-P3 色彩空间是 SMPTE(美国电影和电视工程学会)2007 年发布的 SMPTE RP 431-2 “数字影院质量-参考投影仪和环境”标准^[20]的一部分,DCI-P3 使用的蓝色原色与 sRGB 相同,绿色和红色原色更加饱和,覆盖了人眼可视色域的 41.7%,Pointer 色域的 85.5%。

Canon(佳能)EOS C500 PL^[21]数码摄像机支持 DCI-P3 色域,三星量子点发光二极管(Quantum Dot Light Emitting Diodes, QLED)系列面板^[22]实现了 95% DCI-P3 的色域覆盖率。目前,DCI-P3 已经成为家用大屏显示器的色域标准,例如 JVC DLA-N8、BenQ(明基)W5700 和 L6000 4K 超高清家庭影院投影机^[23-25]。

2.2.3 ITU BT.2020 色域

2012 年,ITU 颁布了面向新一代超高清(Ultra-High Definition, UHD)视频制作与显示系统的 ITU-R BT.2020^[26](Rec.2020)标准,重新定义了电视广播与消费电子领域关于超高清视频显示的各项参数指标。该建议书将新三原色选在了可见光谱轨迹上,大约覆盖了可视色域的 57.2%,Pointer 色域的 99.7%。我国广播电影电视行业标准 GY/T 307-2017^[27]和 GY/T 315-2018^[28]在色度参数方面参照该建议书制订。

尽管 HDR10、Dolby Vision、HDMI2.0、DisplayPort1.4、H. 264/MPEG-4 AVC、H. 265/HEVC^[29-34]等标准支持 Rec.2020,其中 HDR10 可支持 10 bit 位深,Dolby Vision 最高可支持 12 bit 位深。然而到目前为止尚没有完全满足其要求的成像技术和显示技术。目前开发出的以 Rec.2020 色域为目标色域的视频显示技术如下:三星 Q90R 系列电视^[35]采用 LED 背光,全阵列局部调光(FALD)技术,色域覆盖了 Rec.2020 的

69%。Kumakura^[36]等于2015年开发出采用宽色域LED背光的216 cm(85 in)8K液晶显示器(LCD)原型样机,色域覆盖了Rec.2020的85%以上。目前覆盖超过90% Rec.2020色域的显示器采用量子点(Quantum Dot, QD)材料、有源矩阵有机发光二极管(AMOLED)或者激光与液晶相结合来实现,例如:2016年, Lee^[37]等将无镉和低镉量子点材料的组合应用于液晶面板,色域覆盖了Rec.2020的90%以上; Lee^[38]等于2017年开发出可折叠的19.8 cm(7.8 in) AMOLED显示器,色域覆盖了Rec.2020的95%以上;2017年, Sasaki^[39]等采用其新开发的发光材料和器件结构实现了高效长寿命白色串联OLED,通过将该OLED器件与滤光阵列和顶部发光结构相结合,制造出33.7 cm(13.3 in)8K AMOLED面板,覆盖了Rec.2020色域的96%; Fan^[40]等于2018年

开发出采用准直透镜和多层光学薄膜彩色滤光片的侧面发光LED背光的LCD,色域覆盖了Rec.2020的90%以上;2019年, Asakawa^[41]等制造了以激光作为背光光源的39 cm(17 in)8K LCD原型样机,色域覆盖了Rec.2020的97%;科视CP4330-RGB^[42]4K纯激光影院投影仪可以再现Rec.2020色彩空间的95%以上;在2018年国际消费电子展上,海信公司展示了使用RGB激光器的4K激光投影仪,已经开发了178 cm(70 in)和254 cm(100 in)版本,正在开发更大的381 cm(150 in)版本,可以再现Rec.2020色彩空间的97%^[43]。

常规色域及主流的采用饱和度更高的三原色达到宽色域目标的视频标准如表1所示,国际视频标准色度参数如表2所示,色域覆盖范围如图2所示。

表1 常规色域和宽色域视频标准

Tab.1 Conventional color gamut and wide color gamut video standards

色域标准	制定年	制定方	可视色域覆盖率/%	Pointer 色域覆盖率/%
Rec.709	1990	ITU	33.2	70.2
Adobe RGB	1998	Adobe	38.7	80.3
GY/T 155-2000	2000	GY	33.2	70.2
DCI-P3	2007	SMPTE	41.7	85.5
Rec.2020	2012	ITU	57.2	99.7
GY/T 307-2017	2017	GY	57.2	99.7
GY/T 315-2018	2018	GY	57.2	99.7

表2 常规色域和宽色域国际视频标准色度参数

Tab.2 Chromaticity coordinates of conventional color gamut and wide color gamut international video standards

色域标准	Rec.709		Adobe RGB		DCI-P3		Rec.2020	
色度参数 (CIE 1931)	x	y	x	y	x	y	x	y
红(R)	0.640	0.330	0.640	0.330	0.680	0.320	0.708	0.292
绿(G)	0.300	0.600	0.210	0.710	0.265	0.690	0.170	0.797
蓝(B)	0.150	0.060	0.150	0.060	0.150	0.060	0.131	0.046
色度参数 (CIE 1976)	u'	v'	u'	v'	u'	v'	u'	v'
红(R)	0.451	0.523	0.451	0.523	0.496	0.526	0.556	0.517
绿(G)	0.125	0.563	0.076	0.576	0.099	0.578	0.056	0.587
蓝(B)	0.175	0.158	0.175	0.158	0.175	0.158	0.160	0.126

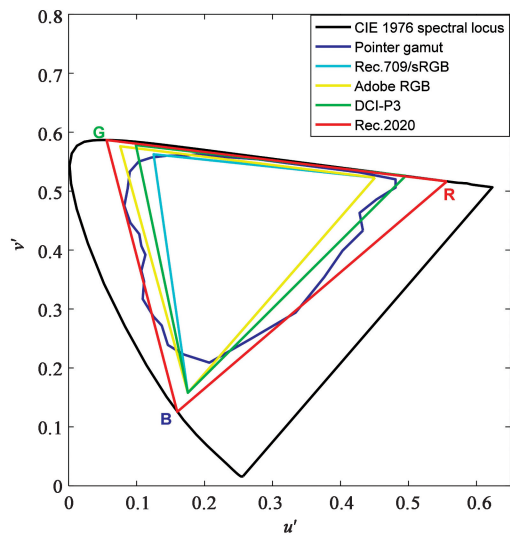


图 2 常规色域和宽色域国际视频标准色域覆盖范围
Fig.2 Gamut coverage of conventional color gamut and wide color gamut international video standards

2.2.4 覆盖 Pointer 色域的最佳色域和基于 RGB 三原色的最大色域

尽管国际标准化组织制定了多种基于三原色的图像色域标准,但是所有这些标准都不是最优的。为了兼顾黄色/金色的重现,只能对绿色/红色光的主波长进行折中选取。一些学者探讨了不兼顾黄色/金色重现情况下的三原色色域覆盖情况^[10,44]。例如 Jansen^[44] 计算出基于 RGB 三原色的最大色域,覆盖了可视色域的 83.4% 和 Pointer 色域的 96.8%。Jansen 还计算出覆盖 Pointer 色域的最佳色域,并覆盖可视色域的 58.6%。表 3 示出其色度参数,色域覆盖范围如图 3 所示。

表 3 覆盖 Pointer 色域的最佳色域和基于 RGB 三原色的最大色域色度参数

Tab.3 Chromaticity coordinates of optimal RGB color space for Pointer's gamut coverage and maximum achievable color gamut using RGB primaries

色域	覆盖 Pointer 色域的最佳色域		基于 RGB 三原色的最大色域	
	x	y	x	y
色度参数 (CIE 1931)				
红(R)	0.708	0.292	0.735	0.265
绿(G)	0.131	0.819	0.059	0.829
蓝(B)	0.131	0.046	0.168	0.009

续 表

色域	覆盖 Pointer 色域的最佳色域		基于 RGB 三原色的最大色域	
色度参数 (CIE 1976)	u'	v'	u'	v'
红(R)	0.556	0.517	0.623	0.507
绿(G)	0.042	0.586	0.010	0.575
蓝(B)	0.160	0.126	0.254	0.016

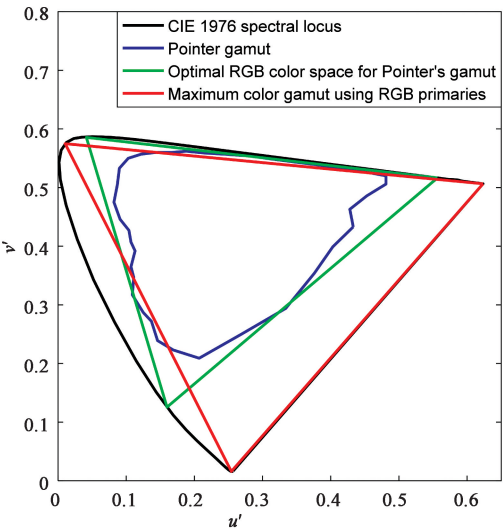


图 3 覆盖 Pointer 色域的最佳色域和基于 RGB 三原色的最大色域

Fig.3 Optimal RGB color space for Pointer's gamut coverage and maximum achievable color gamut using RGB primaries

3 基于多原色的宽色域技术

3.1 多原色成像技术

为了能使色彩高保真地重现色彩,需在信源端提供多原色视频信号。Yamaguchi^[12] 等通过多原色转换方法由三刺激值或多光谱数据的图像生成多原色信号,用于相机成像。除上述转换方法,开发多原色图像传感器已经引起了业界的关注,目前已有几种多原色图像传感器类型,拓宽了 RGB 三原色图像传感器的色域覆盖范围。例如青色、黄色、绿色、品红色(Cyan, Yellow, Green and Magenta, CYGM)图像传感器^[45],红、绿、蓝和宝石蓝四原色(Red, Green, Blue and Emerald, RGBE)图像传感器^[46]。Sony

公司的 RGBE 四原色 CCD 图像传感器已经投入了实际应用, ICX456、Cyber-Shot DSC-F828 摄像机采用 RGBE 四原色图像传感器。图 4(a) 示出 RGBE 四原色图像传感器的彩色滤光阵列 (Color Filter Array, CFA), 与图 4(b) 所示当前

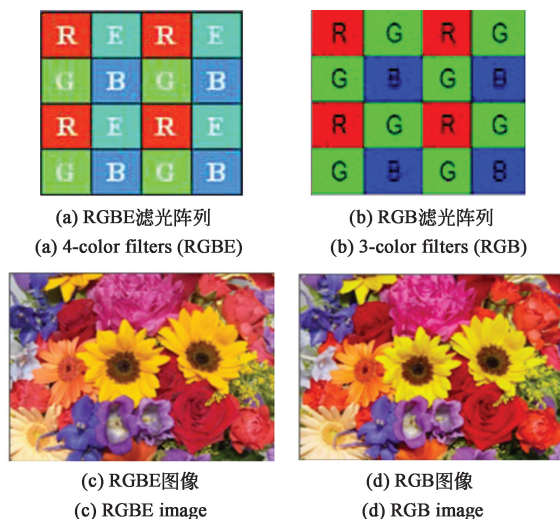


图4 RGBE 和 RGB 彩色滤光阵列和图像^[46]
Fig.4 RGBE and RGB color filter arrays and images^[46]

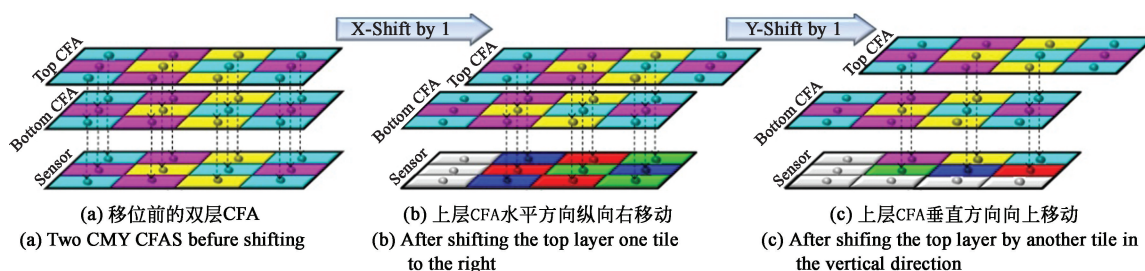


图6 移动的彩色滤光片阵列组合成 CMY(a)、RGB(b)和 RGBCMY(c)模式^[48]。
Fig.6 Combinations of the layers, shown in the bottom, result in CMY(a), RGB(b), and RGBCMY(c) modes using shiftable layers of color filter arrays^[48].

Sajadi^[48]等使用可移动的双层 CFA 开发出具有可切换原色功能的相机,可以在同一相机中切换多组彩色原色(即 RGB、CMY 和 RGBCY),如图 6 所示。在 RGBCY 模式下的色彩保真度高于 RGB 或 CMY 模式,如图 7 所示。

3.2 多原色显示技术

多原色是实现高保真彩色重现的有效手段,国内外大学和研究机构都开展了基于多原色的 WCG 显示技术研究。Yang^[49]等于 2005 年开发出采用 RGBCMY 六原色滤光阵列的 LCD 原型样机,大约覆盖了可视色域的 38%;Chino^[50]等于 2006 年开发出基于白色 LED 背光和红色、蓝色、

流行的 Bayer 彩色滤波阵列相比,多了宝石蓝滤镜。由于“负”绿色和蓝色的绝对幅值远小于“负”红色的绝对幅值,第四原色(E)的光谱波段位于“负”值红色波长部分(参见图 1),也就是红色的补色。因此 Sony 公司以 E 为第四原色设计的 RGBE 四原色图像传感器,可获得人眼视觉特性的绝大部分色度信息,色彩重现误差减小,蓝绿色和红色的重现增强,如图 4(c)和(d)所示。

Brauers^[47]等利用 7 个光学带通滤波器开发出多光谱相机,与 RGB 相机相比,扩展了区分更多光谱的功能,如图 5 所示。



图5 七原色多光谱相机^[47]
Fig.5 Multispectral camera using seven optical bandpass filters^[47]

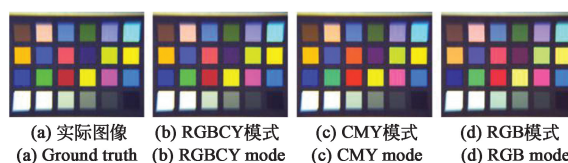


图7 实际图像以及 CMY、RGB 和 RGBCY 模式图像对比^[48]。

Fig.7 Comparison between the ground truth and simulated images for RGB, CMY and RGBCY modes^[48].

黄绿色和翠绿色(Red, Blue, Yellowish green and Emerald green, R-B-YG-EG)四原色滤光阵列的 LCD 原型样机,大约覆盖了可视色域的

40%; Ueki^[51]等于 2009 年开发出 122 cm(60 in) R_1CGR_2BY 五原色滤光阵列的 LCD 原型样机, 大约覆盖了可视色域的 42%。图 8 示出上述彩色滤光阵列。

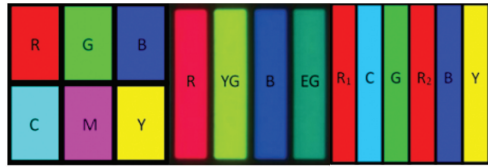


图 8 多原色彩色滤光片阵列
Fig.8 Multi-primary color filter arrays

2010 年, Cheng^[9]等采用 RGBCY 五原色宽色域冷阴极荧光灯 (Cold Cathode Fluorescent Lamp, CCFL) 背光的 LCD 原型样机, 大约覆盖了可视色域的 43%。夏普 LCD-70XU30A、LCD-80X8800A^[10]采用 RGBY 彩色滤光阵列 Quattron 和 Quattron Pro 四色技术实现了更宽广的色域范围, 黄色、金色与青绿色的重现得以增强, 从原理上说, 可以更好地满足拮抗理论。天津大学于 2018 年开发出基于白色和宝石蓝色 (White and Emerald, WE) LED 背光单元 (Backlight Unit, BLU) 的高动态范围 WCG 显示器, 大约覆盖了可视色域的 46%^[52-54]。白色 LED 背光通过 RGB 滤光阵列产生所需的 RGB 三原色, 与宝石蓝色 LED 一起实现 RGBE 四原色显示。图 9 示出普通白光显示器与 WE 背光高动态范围 WCG 显示器显示效果对比图。

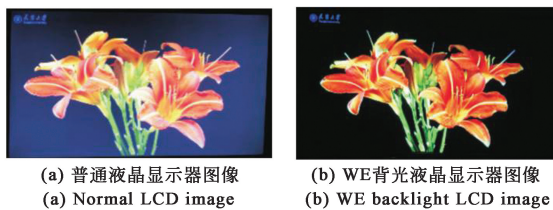


图 9 普通液晶显示器与 WE 背光液晶显示器对比
Fig.9 Comparison of normal LCD with WE backlight LCD

图 10 示出该系统可重现色域的测试结果。图中的 $RwGwBw$ 三角形表示只使用白色 LED 背光单元能取得的色域覆盖范围 (white BLU color gamut, E 原色混合比例为 0), $ReGeBe$ 三角形表示只使用宝石蓝色 LED 背光单元能够覆盖的色域范围 (Emerald BLU color gamut, E 原色

混合比例为最大), 而 $RwGwGeBeBw$ 多边形表示采用白色和宝石蓝色 LED 背光单元、在不同 E 色混合比例情况下达到的色域覆盖范围 (WE BLU color gamut), 当固定 E 原色混合比例时是四边形色域。

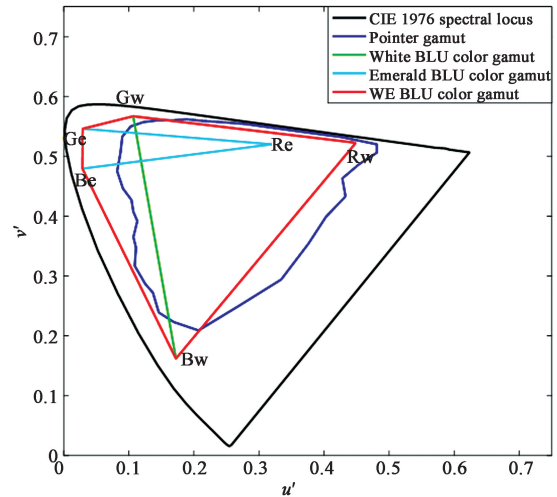


图 10 不同宝石蓝原色混合比情况下的色域覆盖范围
Fig.10 Gamut coverage in the case of different emerald primary color mixing ratios

4 结 论

近年来, 宽色域视频图像技术取得了较大发展, 通过采用更加饱和的三原色以及采用多原色背光或多原色彩色滤光阵列的多原色成像与显示技术大大提高了色域覆盖范围。从事视频显示的研究人员可以综合宽色域标准、显示材料、器件和用途选择所要达到的目标色域。但是目前的三原色技术还不能实现覆盖 Pointer 色域的最佳色域和基于 RGB 三原色的最大色域。而且尽管当前与 WCG 相关的标准通常将 Pointer 色域视为目标色域, 但其不应该是技术发展的最终色域。工业界已经指出了覆盖 Pointer 色域之外的颜色的必要性, 例如霓虹灯、LED 灯和激光等人造光源的颜色超出了 Pointer 色域, 甚至超出了 BT.2020 色域。另外, 通过将量子点技术应用于成像设备, 可以对纯色进行成像, 这些色彩位于 Pointer 色域之外。多原色技术是实现更宽色域的有效方法, 但是目前的多原色技术扩展的色域范围有限, 仍需研究采用更加饱和的多原色实现方法。而且若要通过多原色达到扩展色域的目的, 视频系统必须能够摄取并兼容传播多原色图像, 同时显示

多原色图像。目前的多原色技术将信源端传输的三原色视频图像信号映射到多原色显示系统,即显示端接收到的信号内容仍是三原色。因此,目前还缺乏有效传输多原色图像内容的方法,涉及

到多原色视频图像编解码和三原色与多原色系统的兼容性问题。因此,宽色域视频图像技术还有很大的发展空间,宽色域标准也会随着技术的不断发展而不断更新完善。

参 考 文 献:

- [1] STANLEY H. Growing importance of color in a world of displays and data [EB/OL]. (2015-10-27)[2019-08-15]. http://rohs.exemptions.oeko.info/fileadmin/user_upload/RoHS_Pack_10/Cd_QD_Exs__QD_Vision_c_Importance_of_Quality_in_Displays.pdf.
- [2] SON R, ANALYST S. Wide color gamut market tracker [EB/OL]. (2019-06-20)[2019-09-30]. <https://technology.ihs.com/569924/wide-color-gamut-quantum-dot-market-tracker>.
- [3] ITU. ITU. BT.709-5 Parameter values for the HDTV standards for production and international programme exchange [S]. ITU, 2002.
- [4] 国家广播电影电视总局. GY/T 155-2000 高清晰度电视节目制作及交换用视频参数值[S]. 北京: 国家广播电影电视总局标准化规划研究所, 2000.
State Administration of Radio, Film and Television. GY/T 155-2000 Video parameter values for the HDTV standard for production and programme exchange [S]. Beijing: Standardization Planning Institute of State Administration of Radio, Film and Television, 2000. (in Chinese)
- [5] 李彦. 宽色域 HDTV 系统兼容传输方案及其重显研究[J]. 电视技术, 2009, 12(33): 44-47.
LI Y. Research on compatible transmission schemes of extended gamut HDTV signals and its reproduction [J]. Television technology, 2009, 12(33): 44-47. (in Chinese)
- [6] POINTER M R. The gamut of real surface colours [J]. *Color Research and Application*, 1980, 5(3): 145-155.
- [7] BERNS R S. *Billmeyer and Saltzman Principles of Color Technology* [M]. 3rd ed. New York: John Wiley & Sons, 2000.
- [8] MOURIK H V. Power saving in LCD panels-How to save power while watching TV [EB/OL]. [2019-08-15]. <https://artemis-ia.eu/publication/download/288-atc-scalopes-power-savings-in-lcd-panels-mour>.
- [9] CHENG H C, DAVID I B, WU S H. Five-primary-color LCDs [J]. *Journal of Display Technology*, 2010, 6(1): 3-7.
- [10] BANGERT T. Appendix C: an analysis of quattron [EB/OL]. [2019-08-15] http://www.eecs.qmul.ac.uk/~tb300/pub/Appendix_Quattron.pdf.
- [11] LUTHER R. Aus dem Gebiet der Farbreizmetrik (On color stimulus metrics) [J]. *Zeitschrift für Technische Physik*, 1927, 8: 540-558.
- [12] YAMAGUCHI M, HANEISHI H, OHYAMA N. Beyond Red-Green-Blue (RGB): spectrum-based color imaging technology [J]. *Journal of Imaging Science and Technology*, 2008, 52(1): 10201.
- [13] ITU. ITU. BT.1361 Worldwide unified colorimetry and related characteristics of future television and imaging systems [S]. ITU, 1998.
- [14] XU Y, LI Y, LI G L. A kind of nonlinear quantization method to extend the color gamut of DTV system [C]// *Proceedings of 2009 IEEE 13th International Symposium on Consumer Electronics*. Kyoto: IEEE, 2009: 141-143.
- [15] ITU. BT.1361: Worldwide unified colorimetry and related characteristics of future television and imaging systems [EB/OL]. (2015-02-12)[2019-08-15]. <https://www.itu.int/rec/R-REC-BT.1361/en>.
- [16] International Electrotechnical Commission. IEC 61966-2-4 Multimedia systems and equipment-Colour measurement and management, Part 2-4: Colour management-Extended-gamut YCC colour space for video applications-xvYCC [S]. Geneva: IEC, 2006.
- [17] 温娜, 徐岩. 面向视频应用的扩展色域 YCC 彩色空间-xvYCC 标准简介[J]. 电视技术, 2010, 34(1): 88-90.
WEN N, XU Y. Extended color gamut YCC color space for video applications-introduction to the xvYCC standard

- [J]. *Standard, Testing & Equipment*, 2010, 34(1): 88-90. (in Chinese)
- [18] XU Y, LI Y, LI G L. Two kinds of methods to extend the color gamut of DTV system with extended quantization levels [C]//*Proceedings of 2009 2nd International Congress on Image and Signal Processing*. Tianjin: IEEE, 2009: 1-4.
- [19] 芦苇.崭露头角的新一代显示技术色彩标准 xvYCC[J].*实用影音技术*, 2006(5): 11-13.
LU W. Up-and-coming new generation display technology color standard xvYCC [J]. *Practical Audio-Visual Technique*, 2006(5): 11-13. (in Chinese)
- [20] SMPTE. SMPTE RP 431-2 D-cinema quality-reference projector and environment [S]. SMPTE, 2007.
- [21] CANON. Selecting the color space-canon EOS C500 PL instruction manual [EB/OL]. [2019-08-15]. <https://www.manualslib.com/manual/703125/Canon-Eos-C500-PL.html?page=142>.
- [22] SAMSUNG. Samsung TV serie QLED 2018-unterschiede und Vergleich der QLED Fernseher 2018 (Q6FN, Q7FN, Q8FN, Q8CN, Q8DN, Q9FN) [EB/OL]. [2019-08-15]. <https://www.zambullo.de/fernseher/samsung-tv-serie-qled-2018-unterschiede-und-vergleich-der-qled-fernseher-2018-q6fn-q7fn-q8fn-q8cn-q9fn.html>.
- [23] 李玮盛.达到 DCI-P3 色准的高端原生 4K 杰作 JVC DLA-N8[J].*家庭影院技术*, 2019(5): 28-31.
LI W S. High-end native 4K masterpiece of DCI-P3 color standard JVC DLA-N8 [J]. *Home Theater Technology*, 2019(5): 28-31. (in Chinese)
- [24] 李玮盛.令人意外的广色域惊喜之作 BenQ(明基)W5700[J].*家庭影院技术*, 2019(3): 39-41.
LI W S. Surprisingly wide color gamut surprise BenQ (BenQ) W5700 [J]. *Home Theater Technology*, 2019(3): 39-41. (in Chinese)
- [25] 李玮盛.展现力量的意义,来自激光的强力进化 BenQ(明基)L6000[J].*家庭影院技术*, 2019(4): 52-55.
LI W S. Showing the meaning of power, from the powerful evolution of laser BenQ (BenQ) L6000 [J]. *Home Theater Technology*, 2019(4): 52-55. (in Chinese)
- [26] ITU. BT.2020-1 Parameter values for ultra-high definition television systems for production and international programme exchange [S]. ITU, 2014.
- [27] 国家新闻出版广电总局.GY/T 307-2017 超高清晰度电视系统节目制作和交换参数值[S].2017.
State Administration of Press, Publication, Radio, Film and Television, GY/T 307-2017 Parameter values for ultra-high definition television systems for production and programme exchange [S]. 2017. (in Chinese)
- [28] 国家新闻出版广电总局.GY/T 315-2018 高动态范围电视节目制作和交换图像参数值[S].2018.
State Administration of Press, Publication, Radio, Film and Television, GY/T 307-2018 Image parameter values for high dynamic range television for use in production and programme exchange [S]. 2018. (in Chinese)
- [29] MAXWELL A. Dolby vision vs. HDR10: what you need to know [EB/OL]. (2016-05-02)[2019-08-15]. <https://hometheaterreview.com/dolby-vision-vs-hdr10-what-you-need-to-know/>.
- [30] DOLBY VISION. Dolby vision content delivery for home distribution specification [S]. San Francisco: Dolby Laboratories, Inc., 2018.
- [31] STAFF T. HDMI 2.0a spec released, HDR capability added [EB/OL]. (2018-04-08)[2019-08-15]. <https://www.twice.com/industry/hdmi-20a-spec-released-hdr-capability-added-56694>.
- [32] COMPREHENSIVE. DisplayPort 1.4-Ready for 8K@60 Hz and 4K@120 Hz HDR displays & USB type-C integration [EB/OL]. [2019-08-15]. <https://www.comprehensiveco.com/displayport14.html>.
- [33] ITU. Recommendation H.264 Advanced video coding for generic audiovisual services [S]. ITU, 2013.
- [34] FRANÇOIS E, FOGG C, HE Y W, *et al.* High dynamic range and wide color gamut video coding in HEVC: status and potential future enhancements [J]. *IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology*, 2016, 26(1): 63-75.
- [35] SAMSUNG. Übersicht zur Serie Samsung Q90R in Fernseher [EB/OL]. [2019-08-15]. <https://www.zambullo.de/fernseher/serie/samsung/q/q90r>.
- [36] KUMAKURA T, YOSHIDA S, TOMIYOSHI A, *et al.* Development of a novel wide-gamut 8K 120Hz LCD complying with ITU-R BT.2020 [J]. *SID Symposium Digest of Technical Papers*, 2015, 46(1): 1070-1073.
- [37] LEE E, WANG C M, HOTZ C, *et al.* "Greener" quantum-dot enabled LCDs with BT.2020 color gamut [J]. *SID Symposium Digest of Technical Papers*, 2016, 47(1): 549-551.

- [38] LEE M T, WANG C L, CHAN C S, *et al.* Achieving a foldable and durable OLED display with BT.2020 color space using innovative color filter structure [J]. *Journal of the Society for Information Display*, 2017, 25(4): 229-239.
- [39] SASAKI T, YAMAOKA R, NOMURA S, *et al.* A 13.3-inch 8 K $\times$ 4 K 664-ppi 120-Hz 12-bit display with super-wide color gamut for the BT.2020 standard [J]. *SID Symposium Digest of Technical Papers*, 2017, 48(1): 123-126.
- [40] FAN J, HSIAO K, LEE Y J, *et al.* A new solution without quantum dots for LCD to achieve more than 90% BT.2020 [J]. *SID Symposium Digest of Technical Papers*, 2018, 49(1): 949-952.
- [41] ASAKAWA Y, ONODA K, KIJIMA H, *et al.* 17-inch 8 K 120-Hz driving and BT 2020 color gamut LCDs with laser backlights [C]//*Proceedings of SPIE-the International Society for Optical Engineering*. 2019: 1-14.
- [42] CHRISTIE. Christie CP4330-RGB pure laser cinema projector [EB/OL]. [2019-08-15]. <https://www.christiedigital.com/emea/cinema/cinema-products/digital-cinema-projectors/christie-cp4330-rgb>.
- [43] LARSEN R. Hisense shows off 'Laser TV' with 97% Rec.2020 & dual LCD display [EB/OL]. (2019-01-15) [2019-08-15]. <https://www.flatpanelshd.com/news.php?subaction=showfull&id=1547542826>.
- [44] JANSEN K. The pointer's gamut-the coverage of real surface colors by RGB color spaces and wide gamut displays [EB/OL]. (2014-02-19)[2019-08-15]. https://www.tftcentral.co.uk/articles/pointers_gamut.htm.
- [45] SHARMA G. *Digital Color Imaging Handbook* [M]. Boca Raton: CRC Press, 2003
- [46] DPREVIEW STAFF. Sony announce new RGBE CCD [EB/OL]. (2003-07-15)[2019-08-15]. <https://www.dpreview.com/articles/1471104084/sonyrgbeccd>.
- [47] BRAUERS J, SCHULTE N, AACH T. Multispectral filter-wheel cameras: geometric distortion model and compensation algorithms [J]. *IEEE Transactions on Image Processing*, 2008, 17(12): 2368-2380.
- [48] SAJADI B, MAJUMDER A, HIWADA K, *et al.* Switchable primaries using shiftable layers of color filter arrays [J]. *ACM Transactions on Graphics*, 2011, 30(4): 1-10.
- [49] YANG Y C, SONG K, RHO S, *et al.* Development of six primary-color LCD [J]. *SID Symposium Digest of Technical Papers*, 2005, 36(1): 1210-1213.
- [50] CHINO E, TAJIRI K, KAWAKAM H, *et al.* Development of wide-color-gamut mobile displays with four-primary-color LCDs [J]. *SID Symposium Digest of Technical Papers*, 2006, 37(1): 1221-1224.
- [51] UEKI S, NAKAMURA K, YOSHIDA Y, *et al.* Five-primary-color 60-inch LCD with novel wide color gamut and wide viewing angle [J]. *SID Symposium Digest of Technical Papers*, 2009, 40(1): 927-930.
- [52] 徐梦层,李昌禄,雷志春.宽色域液晶显示系统的研究[J].液晶与显示,2018,33(7):606-614.
- XU M C, LI C L, LEI Z C. Wide color gamut liquid crystal display system[J]. *Chinese Journal of Liquid Crystals and Displays*, 2018, 33(7): 606-614. (in Chinese)
- [53] DUAN L Y, LEI Z C. Wide color gamut display with white and emerald backlighting [J]. *Applied Optics*, 2018, 57(6): 1338-1344.
- [54] 苏寒松,廖泽龙,雷志春.宽色域的高动态范围显示系统设计 [J].天津大学学报:自然科学与工程技术版,2018,51(6):651-657.
- SU H S, LIAO Z L, LEI Z C. Design of high dynamic range display system with wide color gamut [J]. *Journal of Tianjin University: Science and Technology*, 2018, 51(6): 651-657. (in Chinese)

作者简介:



宇欣(1995—),女,河北张家口人,硕士研究生,2017年于河北工业大学获得学士学位,主要从事 HDR-WCG 视频传输与显示方面的研究。E-mail: silviayu@tju.edu.cn



雷志春(1964—),男,河北省迁安人,博士,教授,1998年于德国多特蒙德大学获得博士学位,主要从事 HDR-WCG 视频显示、图像处理方面的研究。E-mail: zclei@tju.edu.cn