

引用格式:邹峰.超高清电视发展与应用[J].中国传媒大学学报(自然科学版),2022,29(05):10-19.  
文章编号:1673-4793(2022)05-0010-10

# 超高清电视发展与应用

邹峰

(国家广播电视总局安全传输保障司,北京 100866)

**摘要:**本文回顾了国内外超高清电视发展现状及标准制定情况,介绍了我国超高清电视发展政策,总结了中国在超高清电视领域做的主要技术工作,分析了超高清电视产业链,提出了快速丰富超高清视频内容资源,加快建设超高清视频产业集群,推动产业链核心环节向中高端迈进,建立完善产业生态体系,缩小在核心技术方面差距,形成技术、产品、服务和应用协调发展的良好格局。

**关键词:**超高清电视;4K;8K;频道;产业生态体系

**中图分类号:**TN929.5 **文献标识码:**A

## Development of Ultra-High Definition (UHD TV)

ZOU Feng

(Transmission Department NRTA, Beijing 10086, China)

**Abstract:** This paper reviews the development status and standard formulation of Ultra-high definition TV at home and abroad, introduces the development policy of Ultra-high definition TV in China, summarizes the main technical work China has done in the field of Ultra-high definition TV, analyzes the Ultra-high definition TV industry chain, proposes to rapidly enrich the ultra-high definition video content resources, accelerate the construction of Ultra-high definition video industry clusters, and promote the core links of the industry chain to move towards the middle and high end, Establish and improve the industrial ecosystem, narrow the gap in core technology, and form a good pattern of coordinated development of technology, products, services and applications.

**Keywords:** UHDTV; 4K; 8K; channel; industrial ecosystem

### 1 引言

国际上,最早开展超高清电视研发的机构是日本NHK广播电视研究所。从2012年起,日本、韩国、英国、法国、美国等西方主要国家陆续制定了4K超高清电视的研发及播出计划,并在地面、有线、卫星以及IPTV等传输网络开展了不同程度的试验播出。在国

内,央视、上海、江苏、湖南、广东等电视台从2013年开始,陆续开展了4K超高清电视的节目制作和有线电视网中的传输试验。中国电信、中国联通于2015年开始,在IPTV中推出了4K超高清电视点播节目。

2017年广东省基于信息产业发展的总体考虑,在我国率先提出了正式开播4K超高清电视频道,2018年10月16日获得国家广播电视总局批准正式开

**基金项目:**国家重点研发计划“智能媒体融合网络试验与示范”(2018YFB1802200)

**作者简介:**邹峰(1962-),男,教授级高工(二级),主要从事广播电视频率规划、数字声音广播、数字电视、下一代广播电视网和5G广播电视研究。

Email:zoufeng@abs.ac.cn

播。2018年10月1日,CCTV-4K超高清频道正式开播以来,广东、北京、上海和杭州陆续开始了超高清电视播出,其中:中央广播电视总台播出两套4K超高清节目和一套8K超高清节目;广东广播电视台播出的一套4K超高清节目,广州市广播电视台播出的一套4K超高清节目;北京广播电视台播出的一套4K超高清节目和一套8K超高清节目;上海广播电视台播出的一套付费4K超高清节目;杭州广播电视台播出的一套付费4K超高清节目。

## 2 国际超高清电视发展现状

### 2.1 国际电信联盟(ITU)标准

2012年国际电信联盟(ITU)对超高清清晰度电视格式的主要参数值进行了规范,发布了相关的ITU-R BT.2020标准,对超高清清晰度电视传输系统技术参数的规范提供了重要参考<sup>[1]</sup>。同时指出在选择超高清清晰度电视广播传输技术参数值时,需要综合考虑到节目制作本身的参数和限制性因素:即提供超高清清晰度电视服务的时间表、商用解码器的可用性、与本地接收机终端设备相关的成本限制。

ITU另一个大的贡献是对图像增强型的动态范围曲线进行了展望<sup>[1]</sup>,其前提是假设每个人都对将要实际使用的一条或若干条曲线持赞同态度。该解决方案的相关术语是“Extended Image Dynamic Range for Television(面向电视的图像动态范围扩展)”或者更为直接、简单的“HDR(High Dynamic Range,高动态范围)”。对于未来的超高清清晰度电视机而言,这些新的动态范围或曲线将带来更逼真的视频图像再现——其将具有更高的“峰值亮度”(下一代电视机终端的发展趋势)。在未来,最暗的黑景色与最亮的白景色时间的亮度范围将会增大许多,从而使得电视视频图像给人的主观感觉更为逼真。具有高动态范围的电视视频图像看上去会更为生动、闪耀。因此,“高动态范围”被视为UHD-1中“DVB UHD-1 Phase 2”格式的重要技术特征。

ITU与MPEG一直对相关的候选方案进行评估。相关的候选解决方案包括两大类:PQ(Perceptual Quantizer,感知量化)及HLG(Log-Gamma对数伽马)。在视频图像质量、节目制作的便捷程度、与现有系统的后向兼容性等方面,这两类候选解决方案均具备一定的优势。

### 2.2 欧洲

欧洲数字电视标准组织(DVB)于2015年8月

19日出版的DVB SCENE 9月刊(总第46期)刊登了“Dynamic Progress: Towards the Next Phase of DVB UHD TV”<sup>[2]</sup>——《动态进展:面向下一阶段的DVB超高清》一文,介绍了DVB对于UHD-1(4K超高清清晰度电视)广播传输标准两个阶段DVB UHD-1 Phase 1与DVB UHD-1 Phase 2的工作进展和相关展望,是欧洲发展超高清电视的参考性文件。

2012年国际电信联盟(ITU)对超高清清晰度电视格式的主要参数值进行了规范,发布了相关的ITU-R BT.2020标准后,DVB启动了UHD TV Phase 1(超高清清晰度电视第一阶段)的标准化工作,聚焦于低于800万像素数的超高清清晰度电视广播格式规范。

DVB对超高清清晰度电视广播传输格式的初步规范被正式命名为“DVB UHD-1 Phase 1”,2016年,UHD-1系统具备商用化能力,开始为其用户提供相关服务。

DVB UHD-1 Phase 1采用ITU-R BT.2020 UHD-1中所规范的格式之一:3840×2160p、60fps。由于UHD-1终端设备的规模普及尚需时日,既可对超高清清晰度电视原色信号进行解码,又可对ITU-R BT.709所规范的高清晰度电视原色信号进行解码。DVB建议终端设备制造商生产这样的显示器产品:将ITU-R BT.2020的原色映射至ITU-R BT.709显示屏。此外,面向下一代的传输格式,DVB还对通过附加方式提供更高帧率、具备临时可扩展能力的信号处理方式进行了建议。

欧洲“DVB UHD-1 Phase 1”的下一个发展阶段是“DVB UHD-1 Phase 2”,其具备ITU-R BT.2020标准中所规范的更多技术特征,2018年已具备初步商用的能力。

“DVB UHD-1 Phase 2”标准所考量的另一大问题是HFR(Higher Frame Rates,更高帧率)。ITU-R BT.2020标准中对超高清清晰度电视节目制作与交换所规范的最大帧率为120 Hz。虽然具备高帧率特性的电视视频图像(UHD-1广播图像)可提高运动物体再现时的清晰度,但是却增大了用户终端侧解码器的实现复杂度——与帧率60 Hz的解码器终端相比,其需要两倍的内存带宽。

DVB计划超高清电视发展分三步走:UHD1 Phase1→UHD1 Phase2→UHD2(8K超高清清晰度电视3200万像素图像系统),具体参数要求如表1所示。

DVB以及日本韩国等国家都在为2020年之后正式商用UHD-2服务而努力。

表1 DVB超高清电视发展规划

UHDTV Phase	UHD-1Phase 1		UHD-1Phase 2	UHD-2
引入的时间 (Time frame for introduction)	2014-2015		~2017-2018	~2020+
清晰度(Video resolution)	3840x2160	1920x1080	3840x2160	7680x4320
帧率 (Frame rate)	p50/p60	p100/p120	p100/p120	p100/p120
量化比特 (Bit depth)	10		10	10,12,14?
色域 (Color Gamut)	Rec.709		Rec.2020 profile	Full(er)Rec.2020?
高动态范围 (High Dynamic range, HDR)	NO		Yes	Yes

### 2.3 日本

超高清电视已经从研发阶段转向应用推广阶段。2014年2月NHK举行了4K/8K发展蓝图后续会议,讨论了关于如何加速4K/8K发展蓝图的应用。2014年9月发布的临时报告《推动4K和8K发展的新发展蓝图》公布了“2016年开始使用广播卫星(Broadcast Satellite,BS)的4K/8K测试广播”的目标,并在2018年通过卫星广播和其他方式发起4K/8K商业广播。同时成立了超高清电视的“全日本”促销机构的下一代电视和广播促进论坛(NexTV-F)。

2020年东京奥运会正式播出8K电视,开发和研制了涵盖内容制作、播出、传输、接收的一系列功能的4K/8K超高清设施,其中包括多种型号8K演播室摄像机、8K记录产品、8K显示面板、8K电视机以及基于IP架构的8K转播车,并对包括巴西世界杯、里约奥运会开闭幕式在内的多场重大活动进行了8K实况录播试验。

### 2.4 韩国

在两大政府机构KCC(Korean Communications Commission,韩国通信委员会)以及MSIP(Ministry of Science, ICT and Future Planning,韩国科学、信息通信技术与未来规划部)的强力推动之下,2012年,韩国在全球首先进行了基于地面数字电视广播网络的超高清清晰度电视传输试验,并进行试验广播。为此,KBS、MBC、SBS与EBS等韩国主要的地面电视广播商还签署了MOU(Memorandum Of Understanding,谅解备忘录)。2014年4月10日,韩国4K超高清频道“UMAX”正式开播,成为全球首个正式播出的有线4K超高清频道。

通过近几年的相关试验,韩国广播电视机构解决了很多于单个6MHz物理信道内传输4K超高清清晰度电视节目内容的技术问题。另外,KBS、MBC、SBS与EBS等主流广播电视台制作4K超高清清晰度电视节目的能力也大为提高,目前可以达到实时制作4K超高清清晰度直播电视的水平。韩国超高清电视发展规划如表2所示。

表2 韩国超高清电视发展规划

时间	具体规划
2012年	地面数字广播超高清4K传输实验第一阶段
2013年	地面数字广播超高清4K传输实验第二阶段
2014年	SNF数字电视单频网4K实验; 仁川亚运会4K实况转播,使用2个转播站,世界首次使用SNF进行超高清转播,使用HEVC即时编码
2018年	平昌冬季奥运会,8K转播实验

## 3 中国超高清电视发展政策

中国发展4K超高清电视是贯彻落实中央创新驱

动发展战略、促进文化与科技融合、深化广播电视供给侧结构性改革的重要举措,对于满足人民群众日益增长的精神文化需求,提升广播电视传播力、影响力

和舆论引导力,促进和推动文化产业与民族工业发展都具有重要意义。围绕超高清高质量发展的目标,国家有关部门坚持从实际出发,通过多方协同,发布了一系列规范和促进4K超高清发展的相关政策,为推进4K超高清电视技术及产业健康有序发展营造了良好的政策环境和发展氛围。

### 3.1 联合制定印发《超高清视频产业发展行动计划(2019-2022年)》

为推动产业链核心环节向中高端迈进,加快建设超高清视频产业集群,建立完善产业生态体系,2019年2月,工业和信息化部、国家广播电视总局、中央广播电视总台联合制定并印发《超高清视频产业发展行动计划(2019-2022年)》(简称《行动计划》)。《行动计划》提出按照“4K先行、兼顾8K”的总体技术路线,大力推进超高清视频产业发展和相关领域的应用。坚持市场主导、企业主体;坚持系统布局、统筹推进;坚持整机带动、重点突破;坚持应用牵引、融合创新;坚持开放发展、合作共赢。《行动计划》指出到2022年我国超高清视频产业的发展目标:超高清视频内容资源极大丰富,网络承载能力显著提高,超高清视频产业总体规模超过4万亿元。4K产业生态体系基本完善,产业发展支撑体系基本健全,8K关键技术产品研发和产业化取得突破,形成

一批具有国际竞争力的企业和技术、产品、服务、应用协调发展的良好格局<sup>[3]</sup>。

### 3.2 组织编制《超高清视频标准体系建设指南(2020版)》

为近一步落实《行动计划》,工业和信息化部和国家广播电视总局共同组织国内相关研究机构,编制了《超高清视频标准体系建设指南(2020版)》,包括产业发展综述、总体要求、建设内容和重点工作等4个部分。介绍了超高清视频的技术、产业发展现状和产业生态体系的构成。明确了“系统布局,统筹推进;急用先行,应用牵引;开放发展,合作共赢”的基本原则。提出了到2020年,初步形成超高清视频标准体系,制定急需标准20项以上;到2022年,进一步完善超高清视频标准体系,制定标准50项以上。规划了超高清视频标准体系框架由“基础通用”、“内容制播”、“网络与业务平台”、“终端呈现”、“安全与监管”和“行业应用”6个部分组成(图1),涉及安防监控、文教娱乐、医疗健康、智能交通、工业制造等行业应用。在重点工作部分,提出加强统筹协调、实施动态更新、加快标准研制、加强宣传培训、推进国际合作等5项措施,统筹推进标准的制定、实施和国际化工作<sup>[4]</sup>。

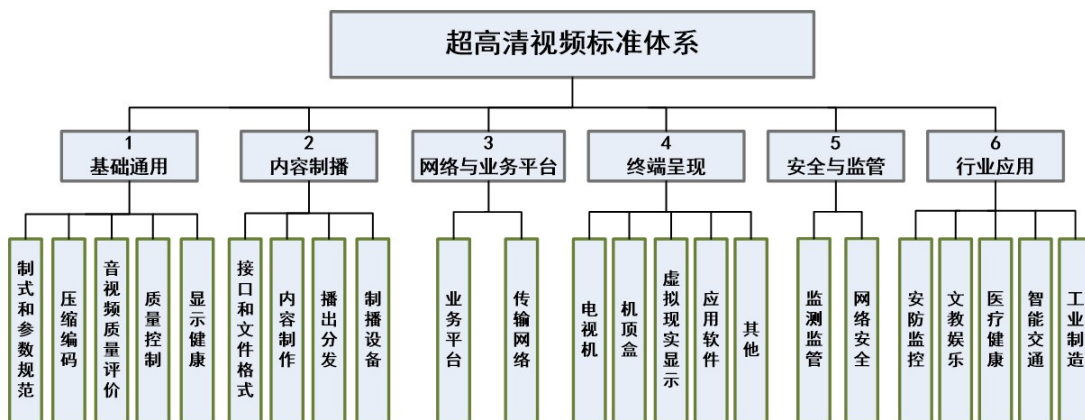


图1 超高清视频标准体系

## 4 超高清电视技术研究与应用

自2012年起,我国的企业、科研和播出机构就一直在跟踪研究超高清电视技术。特别是2018年中国超高清电视正式开播以来,结合实际播出、产业生态建设和产品制造,进行了大量研究工作,为中国超高清发展和国际超高清标准化建设做出了贡献。

### 4.1 确定超高清和高清电视节目同播流程

超高清播出成本较高,探讨超高清和高清电视节目同播一直是各国广播电视技术工作者的研究课题。中国广电工作者经过几年的探索解决了这一难题。超高清和高清电视节目同播流程包括录播流程和直播流程。

录播流程分为两种方式,一种是在播出端采用固定参数下转换为高清信号进行播出(图2)。前期制作时,采用SDR调光方式对超高清HDR信号进行拍摄和收录。后期制作时,将高清SDR素材采用固定参数上转换为超

高清HDR,并与前期制作的超高清HDR信号一起进行调色、渲染等后期制作得到用于播出的超高清HDR信号。对于超高清频道,直接进行播出。对于高清频道,采用固定参数下转换的方式得到高清SDR信号后进行播出。

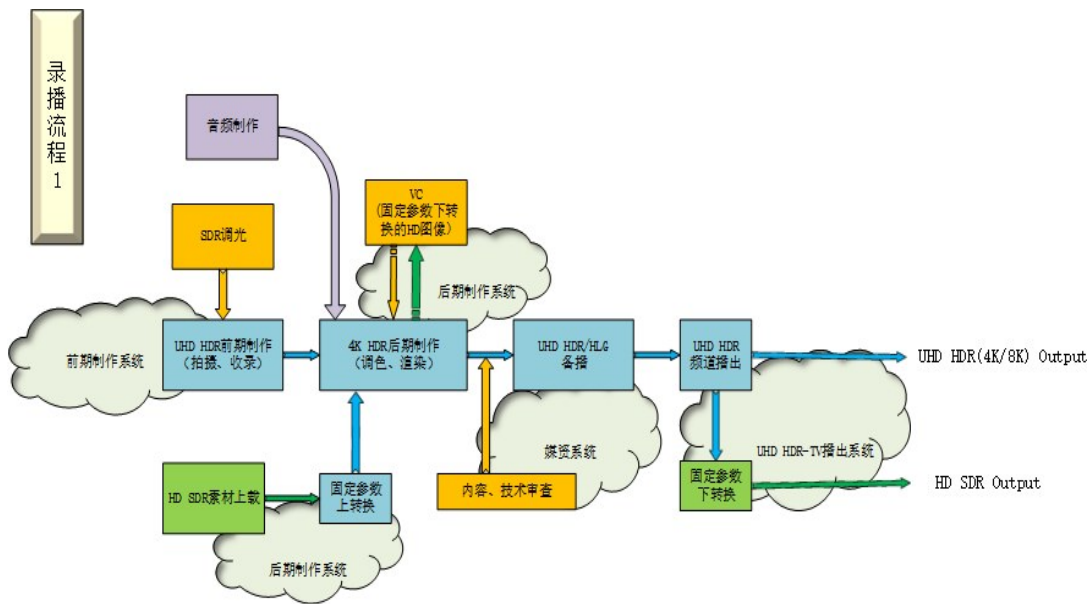


图2 固定参数下转换

二是使用在媒资系统通过动态参数下转换的方式进行转码的文件进行播出(图3)。与固定参数下转换的

方式不同,采用动态参数下转换的方法,可以根据内容特性进行动态转换,获得更加精细的转换效果。

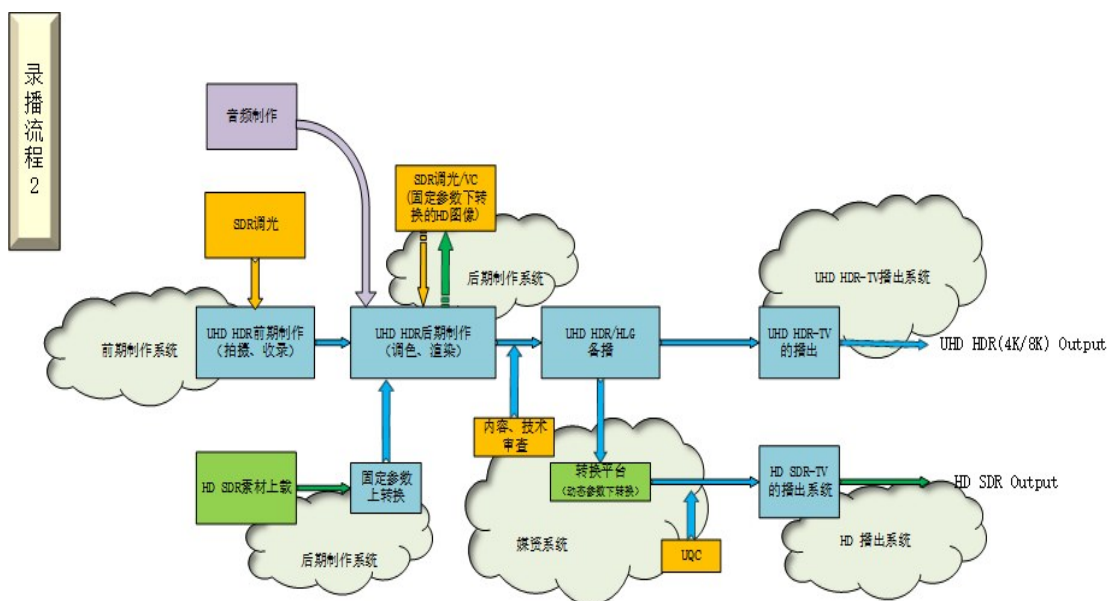


图3 动态参数下转换

直播节目制播流程:前期制作采用SDR调光,对于高清信号或素材,要在前期系统或者总控系统按照固定参数上转换的方式转换成超高清信号后,进入直

播制作系统;4K/8K HDR信号直接用于超高清频道播出,高清频道的播出信号,是使用超高清频道信号在播出端采用固定参数下转换而来(图4)。

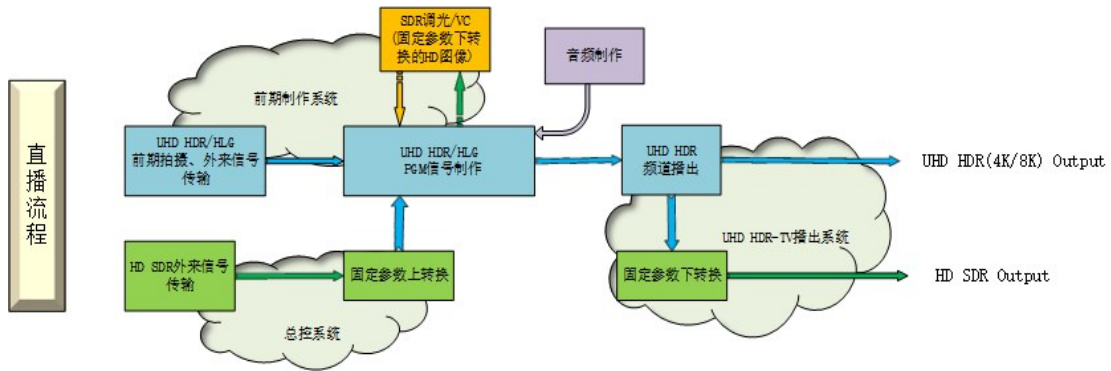


图4 直播流程

### 4.2 优化了HDR与SDR的电平映射关系,并成为ITU标准

在超高清和高清电视同播时,为了同时保证超高清和高清的播出质量必须兼顾HDR与SDR的电平。以中央电视台为代表的科技工作者,进行了大量实验工作和理论分析和比较(表3、表4),对HDR与SDR的电平映射关系进行了优化调整,明确4K HLG75%亮度电平对应HD SDR90%亮度电平,即79%HLG对应100%SDR,将HDR参考白电平定为79%HLG,在

1000尼特监视器上,参考白亮度为260尼特(图5),确保4K HDR与HD SDR同播时,均获得良好的节目技术质量,统一了消费端电视图像观感,使消费端电视在超高清电视和高清电视上显示超高清节目和高清节目时获得统一的观感。同时提高了HDR图像的平均亮度,使HDR效果更加明显。

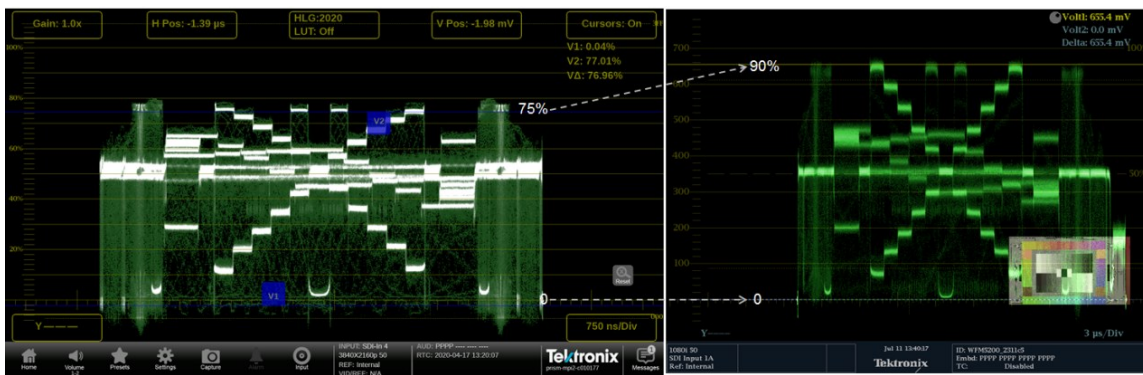
考虑到当前同播流程基于SDR调光,由于摄像机拐点位置不一致及拐点之上处理不同等原因,实际操作中会存在较大偏差,故将映射关系中SDR基准调整为90%,处于拐点之下,便于调光参考(图6、图7)。

表3 HLG到SDR信号映射关系

HLG signal level (IRE)	HLG display luminance cd/m <sup>2</sup> (1 000 cd/m <sup>2</sup> monitor)	SDR signal level (IRE)
0	0	0
40	29.7	40
75	203	90
79	260	100
100	1000	109

表4 SDR到HLG信号映射关系

SDR signal level (IRE)	HLG signal level (IRE)	HLG display luminance cd/m <sup>2</sup> (1 000 cd/m <sup>2</sup> monitor)
0	0	0
40	40	29.7
90	75	203
100	79	260
109	82.5	324



DSC测试卡 4K HLG Y电平75%      映射      HD SDR Y电平90%  
=79%HLG映射100%SDR

图5 4K HLG75%亮度电平对应 HD SDR90%亮度电平

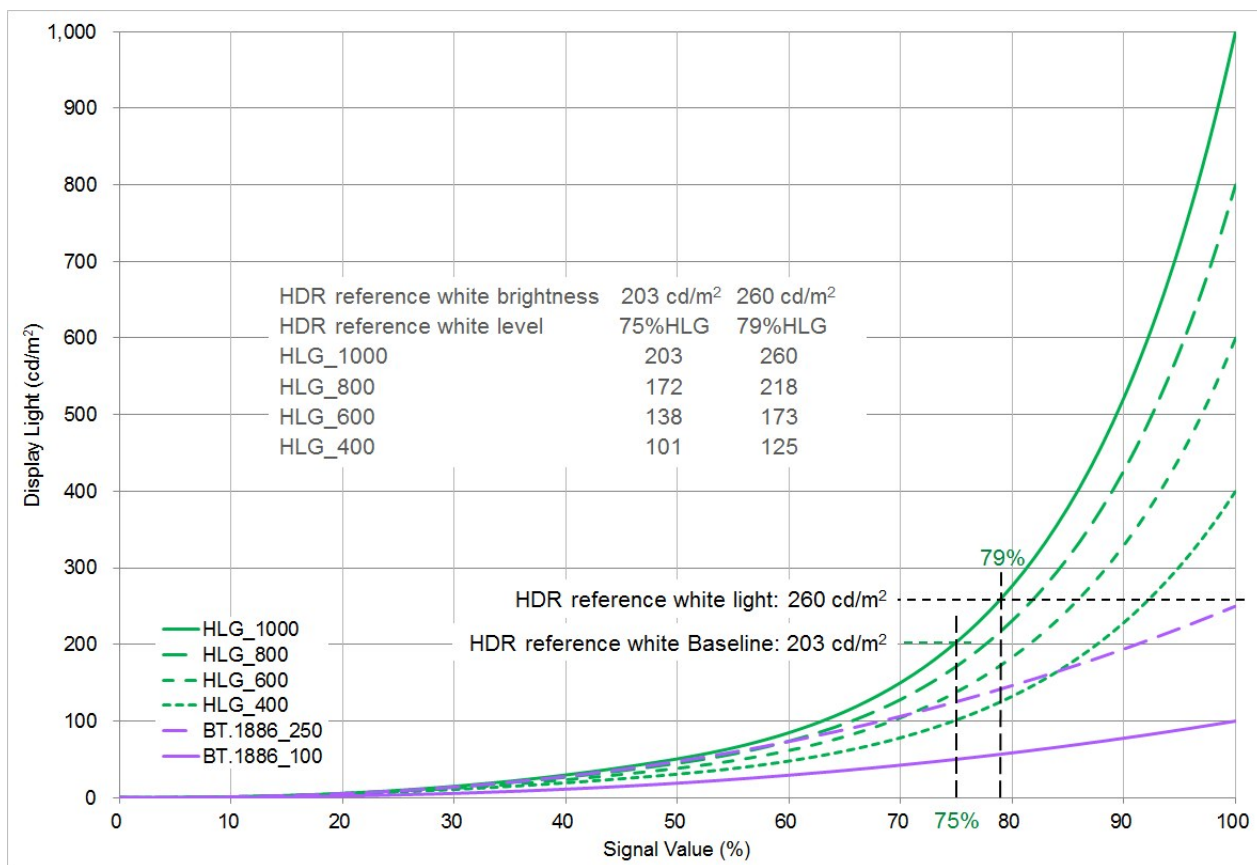


图6 不同EOTF曲线对比

### 4.3 提出HDR视频制作使用“HLG(窄范围)+超白”电平

为使超高清节目大动态范围的场景下更好地展现高对比度的光影效果,保留更多HDR信息,ITU-R BT.2100规定了“窄范围”和“全范围”两种不同的信号表示法。窄范围被广泛使用,是默认值。中央电

视台在实践基础上,考虑到HLG不需要元数据和向后兼容SDR的特点,以及在高清时代台内采用的是窄范围。同时考虑到使用超白,能够利用窄范围之外更多的比特位,提高视频信号的动态范围,提升视频质量。最终提出台内使用“HLG(窄范围)+超白”电平,可以保留更高的亮度范围。图8是具体参数设置。

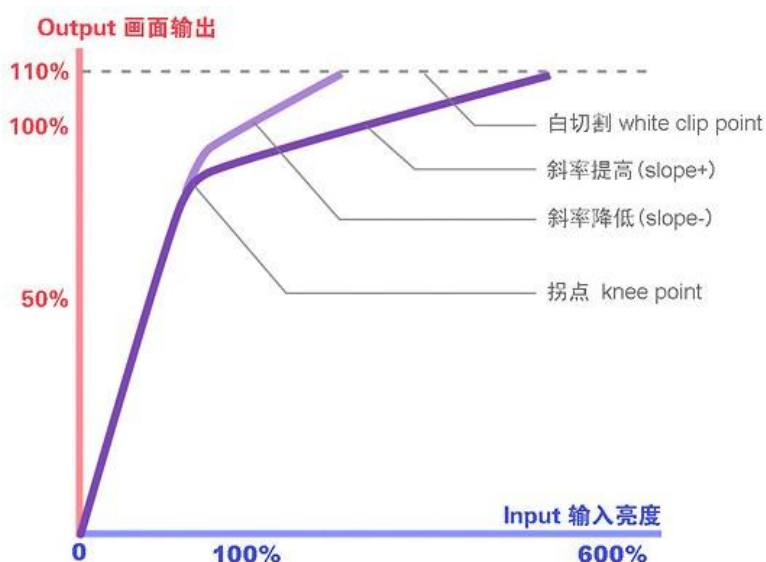


图7 SDR基准调整

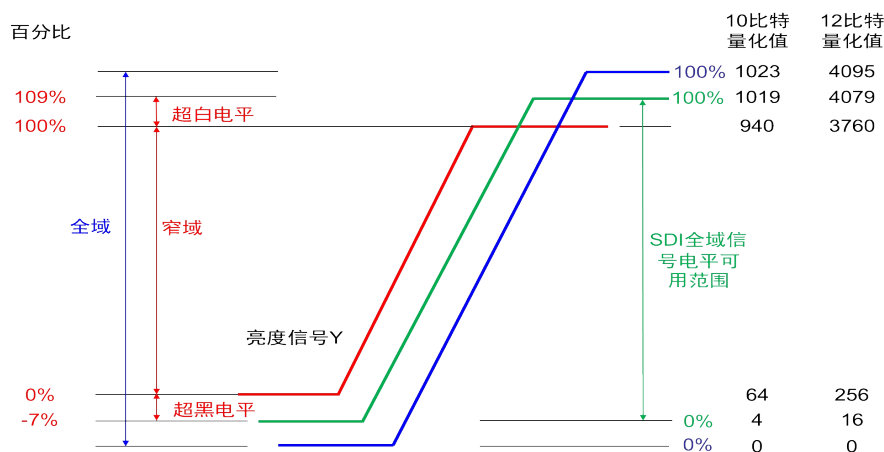


图8 信号电平

#### 4.4 实现 8K VR 视频 (7680×4320, 50/60fps) 实时编码

国家广播电视总局广播电视科学研究院与北京大学等单位,在深入研究 VR 视频 FOV 编码关键技术基础上,实现了 8K VR 视频 (7680×4320, 50/60fps) 实时编码。该项成果的出现,节约了大量传输带宽,与现有的 HEVC 80Mbps 视频传输码率相比,终端同等观看体验下,本系统传输码率为 20Mbps 左右,实际节约 70% 左右的码率,大幅领先国外相关方案。并且用户视角切换 MtHQ (Motion to High Quality, VR 视角高低清画质内容切换延时) 小于 160 ms。

#### 4.5 超高清视频图像质量主观评价用测试图像

中央广播电视总台和国家广播电视总局广播电视规划院共同研究、设计、拍摄、制作了具有我国自主知识产权的超高清测试图像。测试图像包括特殊制作的演播室静物、人物、外景、夜景、HDR 场景,还包括体育比赛、晚会综艺等常见的节目类型。在设计制作测试图像时,既考虑到测试图像的功能性,又考虑到画面的艺术性,并体现了特有的中国文化元素。可以用于对超高清电视系统和设备的性能检测和质量评估。对提高超高清视频节目图像质量、规范超高清系统建设、引导超高清视频设备的研发和生产起到重要作用。

目前 4K 超高清测试图像已经发布为我国行业标准,8K 超高清测试图像已立项作为行业标准正在编



制过程中。同时,已经完成的4K/8K超高清测试图像被提交至ITU国际标准组织,成为国际标准的一部分,填补了国际上视频格式为50P的超高清测试图像的空白。

## 5 超高清电视产业发展现状

超高清电视发展必将带动巨大的产业发展。工信部超高清“三年行动计划”估计到2022年底,我国超高清产业将达到4万亿元。相关产业分四大部分,如图9所示。

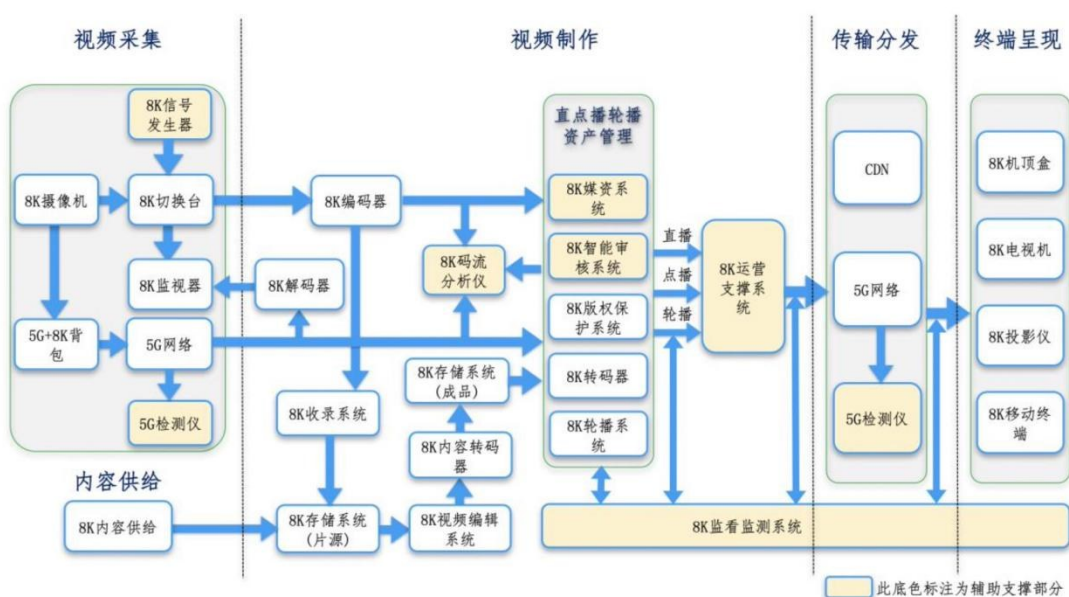


图9 超高清产业链组成

### 5.1 超高清产业链——视频采集部分

超高清视频采集需要记录的信息量和所产生的数据量巨大,对采集设备的要求极高。目前主要有摄像机、监视器、切换台、5G背包等设备用于超高清视频采集,其中8K摄像机、监视器、切换台通常基于4链路12G SDI基带传输,5G背包采用8K深压缩编码格式传输。这些年来,国内厂商正逐步推出一系列的8K超高清视频采集产品,有效支撑了越来越多的8K超高清视频内容生产需要。作为移动化5G+超高清采集设备,5G背包在超高清现场直播、远程制作、现场信号回传等场景有着比较广泛的应用前景。

### 5.2 超高清产业链——视频制作部分

超高清视频制作编辑作为超高清内容素材最主要的生产手段,涉及到的产品主要包括快编生产系统、非线性编辑系统、视觉效果包装系统、视频剪辑软件等,国内相关企业实力较强,研发重点放在8K视频编辑系统上。

超高清节目制作过程中切换台是必不可少的环节,从输入和输出接口方面,目前主流的8K切换台以12G-SDI接口为主,并通过4链路12G-SDI方式进行

信号的输入和输出,同时配置8K切换制作过程中辅助功能,包括Tally系统、CG划像音频模块、色彩校正功能等,完成8K直播节目的切换制作。

编解码算法作为音视频制作处理的核心,在整个制作流程中主要涉及到的设备有编码器、解码器和转码器,负责音视频的压缩编码、解析、格式转换、同时也作为一种底层能力是其他编辑播出录制等环节和设备的有力支撑。产品产业化方面,目前参与8K编解码器支持国产化编码标准AVS3的厂家偏少,已有一些基于AVS2/H.265算法的8K编解码器实现产品化。在产品架构方面,以嵌入式硬件编解码和X86服务器产品为代表。

### 5.3 超高清产业链——终端呈现

超高清视频的终端呈现设备主要包括机顶盒、电视机、投影仪等设备,涉及到的核心元器件主要有解码芯片及显示面板等产品。当前阶段,4K超高清电视已逐步普及,8K超高清终端呈现设备已经取得较大成果,特别是8K电视机,可选择的国产化品牌较多,价格也逐步降低。以京东方、康维讯等为代表的国内厂商已经具备了8K超高清监视器的自主设计和

制造能力,近两年均推出了8K超高清监视器产品,主要应用在8K视频的拍摄、制作、监测等环节,能够较好地呈现出原始8K超高清视频的画质与参数,满足画面监视要求。

## 6 超高清电视发展趋势

目前,超高清电视在技术、标准和产业应用方面都取得了一定的进展,我国在超高清电视领域也实现了多项技术的突破,特别在8K超高清电视领域开展了技术试验,并开播了8K试验频道,积累了丰富的经验。随着超高清技术的不断迭代和升级,未来超高清电视在内容供给、节目制播、编码传输等领域将进一步突破。

(1)超高清优质内容供给逐步加强。随着超高清拍摄、制作、存储等技术的发展与应用,越来越多的超高清内容制作机构能够制作出符合超高清技术标准的高质量超高清内容,向用户提供高品质的超高清节目服务,不断增强超高清节目内容的吸引力和竞争力。

(2)超高清节目制播体系IP化转型升级。传统的SDI制播体系布线复杂、传输距离有限、维护成本高,难以满足超高清电视节目制播需求。目前,超高清节目制播体系正逐步向IP化制播技术架构转变,制播流程更加优化。

(3)超高清视频编码效率不断提升。超高清视频数据量显著提升,需要更加高效的视频编码技术,在保证视频质量的前提下提升压缩效率,降低传输带宽。在现有编码技术的基础上,结合深度学习技术,突破传统编码效率瓶颈,进一步提高超高清视频编码效率。

(4)超高清制作设备成本需进一步降低。目前电视台要播出一套超高清节目,一年制作成本将增加1.5亿,从另一个层面阻碍了超高清电视的发展。因此需要进

一步降低制作设备的成本,突破关键技术,实现全国产化。

## 7 结束语

全球超高清电视在飞速发展,我国是世界上最大的超高清电视消费国。但相对于消费电子领域的生成强国,如欧洲、日本等,我们还需要突破一些关键技术,如光电转换器件(Complementary Metal Oxide Semiconductor, CMOS)等,才能变成超高清领域生产和应用强国。目前生产摄像机的CMOS需要进口,特别是生产8K摄像机的CMOS还被禁运,我国只能用4个4KCMOS代替一个8KCOMS生产8K摄像机。因此必须根据自身实际情况制定一份详尽的超高清发展计划,快速丰富超高清视频内容资源,加快建设超高清视频产业集群,推动产业链核心环节向中高端迈进,建立完善产业生态体系,缩小在核心技术方面差距,形成技术、产品、服务和应用协调发展的良好格局,早日实现超高清电视的全民普及。

### 参考文献(References):

- [1] ITU-R BT.2020-2, Parameter values for ultra-high definition television systems for production and international programme exchange [S]. 2015.
- [2] David Wood. Dynamic Progress: Towards the Next Phase of DVB UHD TV[J]. DVB SCENE, 2015(9).
- [3] 工业和信息化部、国家广播电视总局、中央广播电视总台. 超高清视频产业发展行动计划(2019-2022年)[Z]. 2019.
- [4] 工业和信息化部、国家广播电视总局. 超高清视频标准体系建设指南(2020版)[Z]. 2020.
- [5] Report ITU-R BT. 2408-5, Guidance for operational practices in HDR television production[S]. 2022.

编辑:龙学锋