

文章编号:1007-2780(2018)05-0389-08

大尺寸 8K 显示行业关键技术分析

张 强*, 邵喜斌, 杨 虹

(京东方科技集团股份有限公司, 北京 100176)

摘要:为了更好地进行大尺寸 8K 显示面板的技术开发与推广, 本文系统性地分析了 8K 的市场容量, 详细地阐述了 8K 产业链的核心环节、关键技术及主要参与者, 并从行业的角度对面板技术开发和推广策略进行了思考。主要结论如下: 大尺寸 8K 显示即将在 2020 年迎来爆发, 预计出货 2.425 百万; 内容拍摄、编码/解码、传输和显示是 8K 产业链中最核心的 4 个环节, 各环节需要协同发展, 共同推动 8K 产业走向成熟; 各环节均有相关机构主导, 技术标准基本完善, 如用于编/解码的 H.265、用于信号传输的 ISDB-S3 与 HDMI 2.1、用于面板开发的 BT.2020 建议书等, 而硬件发展相对滞后。基于此, 结合客户需求, 本文提出了高端 8K 面板的核心参数应包含 real 8K、120 Hz、BT.2020 色域、12 bit 和高动态范围, 并从行业的角度对 8K 的合作开发与推广策略进行了初步探讨。

关键词: 8K 显示; 拍摄; 编码/解码; 传输

中图分类号: T-19 **文献标识码:** A **doi:** 10.3788/YJYXS20183305.0389

Key technology analysis of large size 8K display

ZHANG Qiang*, SHAO Xi-bin, YANG Hong

(BOE Technology Group Co., LTD., Beijing 100176, China)

Abstract: In order to develop and promote the large size 8K display better, 8K industry chain was investigated systematically, including market, key link, technologies and players, and the 8K display development and promotion strategies were proposed from the angle of the whole industry. The result shows that 8K market is about to explode in 2020 and the total shipments will be 2.425 millions (M). The 8K process needs to be promoted by the whole industry chain, including content shooting, encoding/decoding, transmission and display. At present, the technical standards of each link, which is led by relevant institutions, have been ready, such as H.265 for encoding/decoding, ISDB-S3 and HDMI 2.1 for transmission and BT.2020 for display. However, the development of the hardware falls behind relatively. Based on the status, and combined with customer requirements, this research indicates that the key parameters of the high-end 8K display should contain real 8K, 120 Hz, BT.2020 color space, 12 bit and HDR. Finally, the development and promotion strategies are discussed.

Key words: 8K display; shooting; encoding/decoding; transmission

收稿日期: 2017-12-08; 修订日期: 2018-01-21.

* 通信联系人, E-mail: zhang_qiang@boe.com.cn

1 引言

随着科学技术的发展,人类社会即将步入物联网时代(Internet of things, IoT),依托于人工智能和大数据,万物将实现互联^[1]。在 IoT 时代,数据量将呈几何速度增长,作为 IoT 最重要的端口之一,显示器件将肩负起展示更多视觉数据的使命,基于此,“8K+”超高清技术成为了最佳的显示解决方案之一,受到了各中游面板厂和下游终端厂的广泛关注。

8K 产业的成熟和 8K 市场的爆发,需要全产业链的协同推进。8K 产业链包含内容拍摄、编码/解码、信号传输和显示 4 个核心环节,各环节均有相关企业和机构主导技术标准的制订和硬件的开发。日本放送协会(NHK)起步较早,发展较快,对 8K 信号的传输进行了大量研究^[2-3],并与显示厂商联合进行了多次商展。此外,在拍摄方面,RED、Sony、Panavision 等厂家也积极规划,不断推出新产品。

同为超高清(Ultra high definition, UHD)显示的 4K 技术,由于片源较少、传输带宽不足等问题^[4],其发展水平一直受到限制。8K 片源的数据量为 4K 的 4 倍,4K 发展面临的问题在 8K 技术中将更为严重。因此,对 8K 产业链的关键技术以及其发展现状、限制因素进行系统性地梳理至关重要。

基于此,本论文较为详细地分析了 8K 产业链各环节的关键技术与主要参与者的动态,并结合终端客户需求,从行业整体的角度对 8K 显示面板的开发与产品推广策略进行了初步探讨。

2 8K 市场容量与市场驱动力分析

2.1 8K 市场容量的统计与预测

图 1 为市调机构 IHS Markit 对 2015 年~2021 年间 UHD (4K/8K) LCD TV Panel 出货量的统计和预测。从图中可以看出:8K LCD TV 将于 2018 年开始上量,并在 2020 年迎来爆发,预计当年的出货量约为 2.425 M,其年增长率为未来几年内最高,约为 99%。2021 年出货量继续增加,将达 3.63 M,2015 年~2021 年的年复合增长

率约为 135%。这表明,8K LCD TV 市场在未来几年内有明显的增长趋势。但相较于 4K,8K 的市场容量仍然较小,基数较低。

对于尺寸而言,面板厂商 8K 的产品策略多由商展级别的大尺寸,转向消费级别的中尺寸,未来 8K LCD TV 的主流尺寸将集中在 60~70 in (1 in=2.54 cm)。

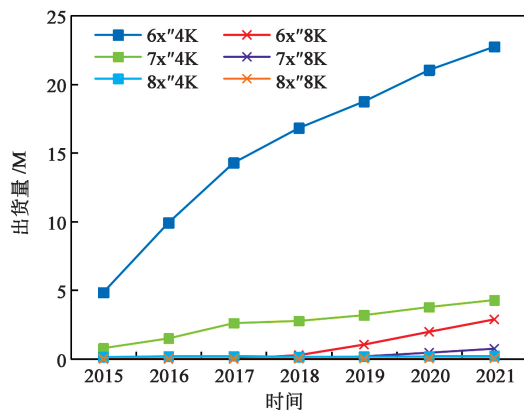


图 1 4K 和 8K LCD TV Panel 出货量统计(按照尺寸)

Fig.1 4K & 8K LCD TV panel shipments (in size)

2.2 8K 市场驱动力分析

图 2 为 IHS Markit 分地域对 8K LCD TV 整机出货量的预测,结果表明:8K TV 最早将于 2018 年在中国和日本上量,随后 2019 年,西欧和北美市场逐渐兴起。按照出货量统计,至 2021 年,中国将占据最大的市场份额,北美、西欧、日本次之。

8K 市场的驱动力可以从其发展历程中进行分析。2013 年全美广播电视展,日本 NHK 联合英国广播公司以及美国广播公司,首次进行

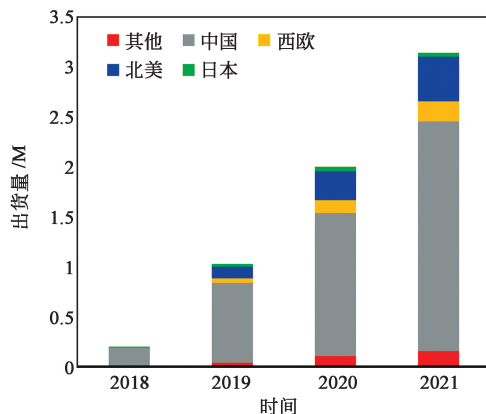


图 2 8K LCD TV Set 出货量预测(按照地域)

Fig.2 8K LCD TV set shipments (in region)

了8K UHD节目的地面传输和接收系统的展示,采用的片源是2012年伦敦奥运会^[5]。随后2014年和2016年,NHK和巴西环球电视台分别与京东方(BOE)联合进行了8K商展,采用的片源分别为2014年巴西世界杯与2016年里约奥运会。2017年,在国际冬季运动博览会上,BOE与Sharp分别展出了各自多个尺寸的8K产品。根据NHK 8K Roadmap透露^[6],2018年将借助平昌冬季奥运会实现8K广播的商业化,并于2020年东京奥运会实现8K普及。这表

明,国际重大体育赛事是8K市场发展强大的利好因素。

3 8K产业链关键技术分析

3.1 8K产业链概述

在TV产业链中,以信号的流向分析,最为核心的四个环节分别是内容拍摄、编码/解码、信号传输以及内容显示,每个环节涉及到的关键技术如表1所示。

表1 8K产业链核心环节与关键技术

Tab.1 Key link and technologies of 8K industry chain

核心环节	内容拍摄	编码/解码	信号传输	内容显示
关键技术	拍摄硬件与技术; 超大数据量的存储 能力	高效、无损的超高清编/解码技术(标准、编码器、解码器)	高带宽的传输能力:卫星/地面广播/有线/Internet	大尺寸、极致画质; 智能交互系统

3.2 8K内容拍摄端现状

拍摄8K片源的硬件,其图像传感器至少需要33 M的有效像素。对于图像采集工作,主流的硬件设备为照相机与摄影机,代表产品如图3所示。

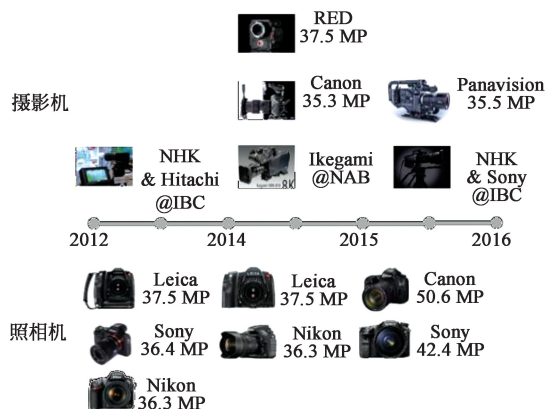


图3 8K拍摄端代表产品及像素数量

Fig.3 Representative product and pixel amount of 8K shooting equipment

其中,8K照相机发展迅速,商业化程度较高。主导的厂商有Leica、Sony、Nikon以及Canon等,每年都有新品上市,且分辨率规格逐年提升,但照相机一般只能用于静态画面的采集,而电视信号的制作只能通过摄影机来完成。

8K摄影机自2012年起发展迅速,NHK、Hitachi、RED、Canon、Ikegami、Panavision以及Sony等在众多场合纷纷展出自家的8K摄影系统。但现阶段,8K摄影机总体的商业化程度较低,多数仅用于商业展示,只有RED和Panavision等少数厂家进行出售或提供租赁服务。

此外,未经压缩的8K片源数据量庞大,需要容量巨大的硬盘进行存储。以12 bit/60 Hz为例,未经压缩的信号的数据量约为66.7 Gbps。拍摄端商业化程度与存储能力的不足,在一定程度上限制了8K片源的产出,造成了8K内容的紧缺。

3.3 8K编码/解码技术

未经压缩的电视信号数据量较大,必须经过信源压缩编码之后才能传输,而在接收显示之前,还需要对压缩过的信号进行解码,该过程中最为核心的技术之一是编/解码技术标准。

目前主流的编/解码标准是H.264,由国际电信联盟电信标准分局(ITU-T)于2003年颁布,其压缩比可达102:1,主要用于全高清(Full high definition, FHD)以下分辨率。而8K庞大的数据量需要压缩比更大、压缩效率更高的H.265编码方式。该标准由ITU-T于2013年颁布,主要

在编码单位和编码架构等方面作了技术升级,其压缩比可达 150 : 1~400 : 1,压缩效率较 H.264 提升了一倍,能够在保证画面质量不变的前提下,使数据传输所需的码率下降 50%^[5]。目前该标准已经完善并在商业化普及中,逐渐挤占 H.264 的市场份额。

专利的过度集中,是 H.265 推广受限的主要原因之一^[7]。目前,H.265 专利主要集中在两大专利池:MPEGLA 与 HEVC Advance,具体成员名单如表 2 所示,双方对专利费用的收取有各自标准。此外,华为与 Technicolor 也掌握着大量的核心专利。图 4 展示了专利持有者在两大阵营中的分布比列。

表 2 H.265 主要的专利阵营
Tab.2 Major patent pools of H.265

专利池	主要成员
MPEGLA	Apple、NHK、NTT、BBC、JVC、NEC、Fujitsu、Hitachi、SK Telecom、Siemens、ETRI 等
HEVC Advance	Mitsubishi、GE、Dolby、MediaTek、Philips、Samsung、Warner Bros 等
其他	华为、Technicolor 等

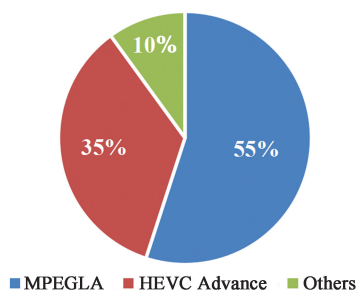


图 4 H.265 专利厂家分布情况

Fig.4 Distribution of H.265 patents players

H.265 技术标准虽然可以支持到 8K 分辨率,但现有的 H.265 编/解码器多适用于 4K,针对于 8K 的硬件尚未商业化普及。日企具备丰富的制作经验,代表厂家为 NHK、三菱、富士通(索喜)以及瑞萨电子等。中国的科研机构和企业也取得了一系列的实绩,如北京大学、华为海思、研华科技、澳视德软件科技等。作为数字电视信号处理的核心硬件,8K 编/解码器商业化程度的提

高至关重要。

3.4 8K 信号的传输

经过压缩的 8K 信号数据量依然庞大,需要高速带宽进行传输,业内多选择 100 Mbps 作为基本要求。电视信号传输的分为卫星传输、地面无线广播传输、有线传输以及 Internet 传输,其中前三者 NHK 进行了测试,其多项测试标准与成果已经提交 ITU 进行国际化认证^[2-3]。Internet 传输分为固定网络和移动网络,主导企业为各国网络运营商。

3.4.1 卫星传输

卫星传输在高带宽方面优势显著,NHK 对该技术进行了深入研究^[3]。将片源以 H.265 编码标准进行压缩后,上行传输至 12GHz 波段的广播卫星,并且引入了 16APSK (Amplitude Phase Shift Keying) 高阶调制方式,来提升信噪比,同时采用的滚降系数为 0.03、符号率为 33.756 Mbaud、带宽占用约为 34.5 MHz,由此实现了单个卫星转发器 100 Mbps 的传输码率。上述核心参数已经通过了日本无线工业及商贸联合会 (ARIB) 的标准认证,在日本国内形成了第三代卫星数字广播综合服务标准 (ISDB-S3): Transmission system for advanced wide band digital satellite broadcasting。NHK 将其作为 UHD TV 卫星广播的传输方式,向国际电信联盟无线通信委员会 (ITU-R) 提交了建议报告,以求形成国际标准。

近几年,NHK 在卫星传输 8K 内容方面取得了一系列的实绩,如 2015 年加拿大女足世界杯与 2016 年巴西里约奥运会等赛事的现场直播。

此外,NHK 还对多路复用技术和卫星播送系统进行了研究,以求实现更好的传输效果。NHK 计划采用广播卫星于 2018 年借助韩国平昌冬奥会实现 8K 卫星广播的商业化,并于 2020 年借助东京奥运会实现 8K 广播的普及^[6]。

3.4.2 地面无线广播传输

地面无线广播传输方式具备以下两大优势:易于实现本地化,并且可以作为卫星传输方式的重要补充。早在 2011 年,NHK 就开展了大容量无线传输技术的研究。

用于测试的频段为特高频 (UHF),频宽为 6 MHz,采用的传输机制为正交频分复用技术 (OFDM),来实现多载波传输,以及 4096 QAM (Quadrature Amplitude Modulation) 的超高阶调

制方式。此外,为了充分利用信道资源,并提升通信质量,NHK在发射端和接收端分别使用了双极化(水平及垂直方向极化)天线(2×2 MI-MO)。此技术参数在带宽占用为 5.57 MHz 的情况下,实现了 91.8 Mbps 的传输码率,达到了 27 km 的无损传输,这一传输效果可以满足商业需求。

无线传输示意图如图 5 所示^[8],图中右上方为双极化、4096 QAM 的传输方式,作为对比,左下方为现在商用级的水平单极化、64 QAM 的传输方式,其所用的标准为地面数字广播综合服务标准(ISDB-T)。

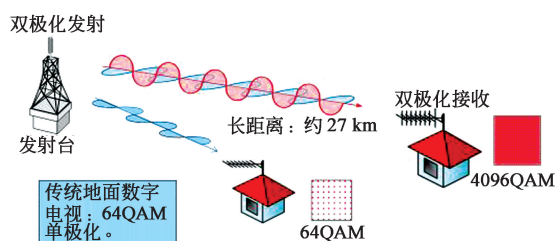


图 5 8K 地面无线传输实验

Fig.5 Terrestrial transmission experiment of 8K

3.4.3 有线传输

有线传输是电视信号传输的另一重要形式,一般采用光纤与同轴电缆混合的方式进行传输,其中光纤用于主干线传输,而同轴电缆用于光接收机到用户终端的分配。针对同轴电缆,NHK 基于现有的第二代欧洲数字有线电视标准(DVB-C2)进行了改进,主要是通过两个或两个以上 6 MHz 的物理信道进行绑定,获得 100 Mbps 的传输码率,由此将 8K 超大数据量信号用多个频道分别传送,推动了多载波传输方式的研究。2014 年,NHK 利用日本现有的大规模商用有线网络进行了 8K 传输测试,结果表明,现有的有线电视网络设备可适用于 8K 多载波的传输方式^[3]。

目前,NHK 已将相应的技术参数提交至 ITU-T 组织,以推动国际标准的制定。

3.4.4 Internet 传输

网络电视(IPTV)因其丰富的影片资源与便捷的连接方式,具备强大的竞争力,其信号传输依托于固定宽带网络或移动宽带网络,无论何种网络,均需要至少 100 Mbps 的下行带宽才能传输

8K 信号。

对于固定宽带网络,现阶段总体的平均可用带宽较低:据 Akamai 公司统计,2017 年第一季度全球平均带宽约为 7.2 Mbps,韩国居首,约为 28.6 Mbps,中国大陆名列 74 位,为 7.6 Mbps,其他具有代表性的国家和地区如表 3 所示。这表明,采用固定网络进行 8K 的大面积传输存在较大难度。

表 3 全球固定网络现状(2017 年第一季度)

Tab.3 Global fixed Internet status(2017 Q1)

国家/地区	排名	平均可用带宽/Mbps
全球	—	7.2
韩国	1	28.6
中国香港	2	21.9
新加坡	3	20.3
日本	4	20.2
中国大陆	74	7.6

值得一提的是,虽然固定网络的平均带宽较低,但高带宽技术已经完善,未来不会成为传输 8K 的瓶颈。以中国大陆为例,各运营商均推出 200 Mbps 的宽带网络,甚至规划了 500 Mbps 的商业化。如何进行高带宽网络的普及推广,是急需解决的问题。

对于移动宽带网络,目前正处于第四代移动通信网络(4G)时代,理论的下行峰值带宽约为 100~150 Mbps,但实际可用带宽远不足以支撑 8K 信号传输。第五代移动通信网络(5G)正在建设中,其理论的下行峰值带宽可达 10 Gbps,能够完美地以无线的方式进行 8K 信号的传输。中国大陆 5G 发展的 Roadmap 由中国 IMT-2020 (5G)推进组进行规划:2018 年进行大规模的试验网络建设,2019 年进行正式网络建设,2020 年可实现商业化。这一日程,与 8K 显示市场的爆发时间相吻合。

3.4.5 Video 接口

将解压后的电视信号经过 Video 接口传输到 TV 整机进行显示,是传输的后段过程,该过程需要 Video 接口具备足够的带宽。如前所述,解压后的 12 bit/60 Hz 信号传输所需的带宽约为 66.7 Gbps,考虑到常用的 4:2:0 的 YUV 颜色编码

方式,编码后的数据量减半,传输带宽约为 33.4 Gbps。

目前可以满足此带宽的 Video 接口为 DisplayPort (DP) 1.4,但受限于推广等方面的原因,DP 接口一般只用于 PC 端,TV 端一般采用高清晰度多媒体接口(HDMI)。HDMI 已经商业化的最新标准为 HDMI 2.0b,最高可提供 18 Gbps 的

带宽,分辨率最高支持到 4K @ 60 Hz^[9]。2017 年 1 月,HDMI 2.1 标准发布,其带宽高达 48 Gbps,是 8K TV 信号传输的必需接口,目前用于测试的规格(CST 2.1)正在修订中,预计 2018 年 Q1-Q3 可用^[10],而符合 HDMI 2.1 标准的硬件最早也将于 2018 年才能产出。HDMI 2.0b、DP 1.4 和 HDMI 2.1 接口的规格对比如表 4 所示。

表 4 高带宽接口规格

Tab.4 Specification of high bandwidth interface

接口名称	发布时间	最高带宽/Gbps	支持分辨率 @刷新率	目前市场
HDMI 2.0b	2016.05	18	4K@60Hz	主要用于 4K
DP 1.4	2015.02	32.4	8K@60Hz	主要用于 PC
HDMI 2.1	2017.01	48	8K@120Hz	开发中

3.5 8K 显示关键技术参数分析

2012 年,ITU-R 通过了《超高清电视系统节目制作和国际交换的参数数值》(以下简称 BT.2020 建议书),作为最具国际影响力的标准,此建议书从像素数量、刷新率、量化深度、色彩空间等方面规范了 UHD TV (4K/8K)的关键技术参数^[11]。

3.5.1 像素数量

BT.2020 建议书定义的 UHD 包含两种分辨率:4K 与 8K,其像素数目分别为 3 840×2 160 和 7 680×4 320,像素的纵横比为 1 : 1。

3.5.2 刷新率

BT.2020 建议书规定的超高清显示支持的刷新率应包含 120、120/1.001、100、60、60/1.001、50、30、30/1.001、25、24、24/1.001,而且扫描方式必须为逐行扫描,隔行扫描的方式在 UHD TV 中已经淘汰。

3.5.3 量化深度

BT.2020 建议书规范了 UHD TV 的量化深度(即比特数),建议 4K 系统采用 10 bit,8K 系统采用 12 bit,相较于高清电视系统的 8 bit,在灰阶层次过渡和色深层次表现方面有了很大提升。

3.5.4 色彩空间

在色彩表现力方面,BT.2020 建议书相较于 BT.709 建议书(高清电视系统)进行了很大改进,将 BT.2020 色彩空间引入到 UHD 电视系统,使

得该系统有更为丰富的颜色表现力。BT.709 和 BT.2020 色域在“马蹄图”中的对比如图 6 所示。

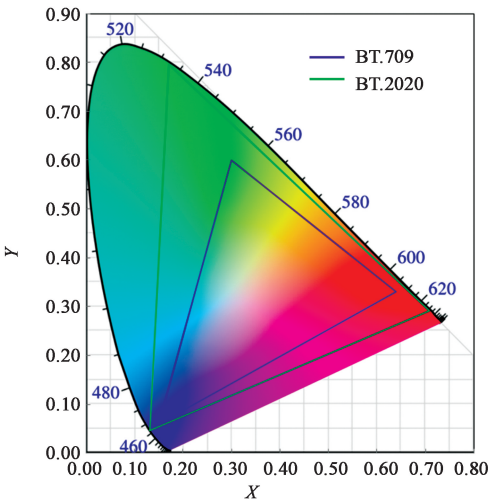


图 6 BT.709 与 BT.2020 色域空间

Fig.6 Color space of BT.709 and BT.2020

BT.2020 建议书作为国际标准,逐渐成为了各面板制造商开发 8K 技术的指导性文件。

日本、中国台湾以及中国大陆的终端客户均对 8K 显示表示了很大的关注度,多家终端厂商均将 8K TV 定位为高端产品,并计划将 2020 年东京奥运会作为推广契机。综合客户需求,高端 8K 面板应具备的核心参数为:real 8K、120 Hz、BT.2020 色域、12 bit 以及 HDR (High dynamic range)等。

为实现上述高端参数,需要克服的核心问题及业内对应的解决方案为:(1)real 8K:需要解决高PPI(每英寸像素数)带来的透过率损失的问题,目前主要采用的技术为像素结构的优化以及新型高透材料的开发,如色阻、液晶^[12]等;(2)120 Hz:业内的主流技术为低电阻的TFT(薄膜晶体管)双铜工艺和高电子迁移率的氧化物制程;(3)BT.2020色域:为实现广色域,新型背光单元荧光粉和色阻材料的开发至关重要,尤其是量子点材料的引入^[13],将极大地提升显示面板的色域范围;(4)HDR:局部调光技术是目前最常用的解决方案,但传统背光的局部调光一般只能进行1 000左右的分区,对比度提升能力有限,随着Micro LED技术的发展与成熟,将其作为背光单元的研究也正在兴起,可实现背光LED的超高密度分区,达到百万级别的对比度。除此之外,与8K配套的驱动电路,如系统芯片(SOC)、驱动芯片(driver IC)、时序控制器(TCON)等,目前还未完善,一定程度上限制了8K显示的发展。

4 8K推广策略浅析

4K的发展遇到了内容紧缺、传输带宽不足等瓶颈,4K产业中出现的问题,在8K发展中将更加明显。8K产业的成熟,需要产业链各环节协同推进。作为8K产业中最重要的一环,

显示面板制造商需要起到更为积极的作用。

如在内容方面,面板制造商在加速自身显示技术发展的同时,需要联动内容制作商,如拍摄设备商或电视平台等,丰富8K片源,并进行长期的推广宣传,逐渐确立观众对8K的认可度与使用习惯;在硬件方面,除发展自身显示面板之外,还应积极与TV整机周边的硬件制造商进行联合开发,确保适用于8K的编/解码器、HDMI 2.1接口等及时产出,以面板的优势带动周边产业的发展。

5 结 论

本论文对8K产业链的核心环节,如内容拍摄、编码/解码、传输和显示,进行了系统地分析,对其中涉及到的关键技术以及主要参与者进行了较为完善的梳理,全文主要结论如下:8K市场将于2020年迎来爆发;8K产业链各环节均有相关机构进行主导,核心技术标准基本完善,但硬件的发展相对滞后;针对于显示端,通过对国际标准BT.2020建议书以及客户需求的分析,得出了高端8K显示面板应包含的技术参数为real 8K、120 Hz、BT.2020色域、12 bit和HDR;在8K推广方面,面板制造商需要联动内容、IC、整机周边等制造商,共同进行8K的开发和宣传,从源头盘活整个产业链,确立观众对8K的认可度与使用习惯,从而更好地进行8K产品的推广。

参 考 文 献:

- [1] 代微.物联网新时代的来临[J].现代商业,2012,14(4):52-55.
Dai H. The coming of the era of Internet of things [J]. *Modern Business*, 2012, 14(4): 52-55. (in Chinese)
- [2] NHK 研究所.日本8K超高清电视技术研究——基于8K super high vision (SHV)的研究(上)[J].影视制作,2015,21(9):30-37.
NHK. Study on the technologies of Japanese 8K UHD TV——Based on 8K super high vision (SHV) (I) [J]. *Audio & Video Production*, 2015, 21(9): 30-37. (in Chinese)
- [3] NHK 研究所.日本8K超高清电视技术研究——基于8K super high vision (SHV)的研究(下)[J].影视制作,2015,21(10):26-32.
NHK. Study on the technologies of Japanese 8K UHD TV——Based on 8K super high vision (SHV) (II) [J]. *Audio & Video Production*, 2015, 21(10): 26-32. (in Chinese)
- [4] 严星.浅谈4K技术[J].视听,2016,11(6):221-222.
YAN X. Introduction of the 4K technology [J]. *Radio & TV Journal*, 2016, 11(6): 221-222. (in Chinese)
- [5] 徐军,钱占飞,贺岸,等.4K超高清电视发展趋势研究报告[J].中国数字电视,2013,10(10):24-29.
XU J, QIAN Z F, He A, et al. Study on the development trend of the 4K UHD TV [J]. *China Digital TV*, 2013, 10(10): 24-29. (in Chinese)

- [6] MITSURU N. Current status of 8K super hi-vision broadcasting and related display technologies [R]. *China: Display Innovation*, 2017.
- [7] 梁立伟. 如果 H.265 开征专利费我们怎么办? [J]. *A&S: 安全 & 自动化*, 2015, 22(1): 68-70.
LIANG L W. If the royalty of the H.265 would be imposed, what shall we do? [J]. *A&S: Safety & Automation*, 2015, 22(1): 68-70.
- [8] 李远东. NHK 完成 8K 超高清电视长距离无线传输试验[J]. *世界广播电视*, 2014, 28(3): 12.
LI Y D. NHK has completed the long distance wireless transmission experiment of 8K UHD TV [J]. *International Broadcast Information*, 2014, 28(3): 12. (in Chinese)
- [9] HDMI Forum, Inc. Overview of HDMI 2.0b [EB/OL]. [2016-05]. https://www.hdmi.org/manufacturer/hdmi_2_0/index.aspx.
- [10] HDMI Forum, Inc. Overview of HDMI 2.1 [EB/OL]. [2017-01]. https://www.hdmi.org/manufacturer/hdmi_2_1/.
- [11] ITU-R. Rec. ITU-R BT.2020: Parameter values for ultra-high definition television systems for production and international programme exchange [S], 2012.
- [12] 王菲菲, 邵喜斌. 负型液晶在 ADS 广视角技术中的应用[J]. *液晶与显示*, 2016, 31(8): 760-767.
WANG F F, SHAO X B. Application of negative LC in ADS wide view technology [J]. *Chinese Journal of Liquid Crystals and Displays*, 2016, 31(8): 760-767. (in Chinese)
- [13] 齐永莲, 王丹, 邱云, 等. 超高色域图案化量子点彩膜的研究[J]. *液晶与显示*, 2017, 32(3): 169-176.
QI Y L, WANG D, QIU Y, *et al.* Ultra-high color gamut and patterned color filter based on quantum dot photoresist [J]. *Chinese Journal of Liquid Crystals and Displays*, 2017, 32(3): 169-176. (in Chinese)

作者简介: 张强(1990—), 男, 河北衡水人, 硕士, 现为京东方研发中心中级研究员, 主要从事半导体液晶显示方面的研究。E-mail: zhang_qiang@boe.com.cn