

引用格式:丁雪玲,石亮,周毅.国产8K广播级EFP摄像机制造及冬奥应用[J].中国传媒大学学报(自然科学版),2022,29(05):20-27.
文章编号:1673-4793(2022)05-0020-08

国产8K广播级EFP摄像机制造及冬奥应用

丁雪玲¹,石亮^{2*},周毅³

(1. 中央广播电视总台,北京100045;2. 国家广播电视总局广播电视科学研究院,北京100086;3. 中国新闻技术工作者联合会,北京100037)

摘要:在广播级8K摄像机为外企高度垄断的情况下,国产8K广播级EFP摄像机(系统)是我国首套拥有核心自主知识产权的前端制播系统。本文介绍了国产8K超高清摄像系统的技术构架与设计方案,重点分析了其核心技术优势、十大技术亮点以及实现的六大技术指标,并就其在北京冬奥会的实际应用情况进行了解析。国产8K广播级EFP摄像机填补了国内8K图像视觉和广播影视领域摄像产品的空白,有利于改善我国摄录编前端设备落后的现状,并有望以此带动超高清视频全产业链的发展。

关键词:8K摄像机;超高清制播;国产化;北京冬奥会

中图分类号:TN94 文献标识码:A

The development of China's broadcast-grade 8K EFP camera and its application in the XXVI Olympic Winter Games

DING Xueling¹, SHI Liang^{2*}, ZHOU Yi³

(1. China Media Group, Beijing 100045, China; 2. A cademy of Broadcasting Science, NRTA, Beijing 100086, China; 3. China Association of Press of Technicians, Beijing 100037, China)

Abstract: Under the circumstance that the broadcast-grade 8K camera is highly monopolized by foreign companies, the domestic broadcast-grade 8K EFP camera (system) is the first front-end production and broadcasting system with core independent intellectual property rights in China. This paper introduces the technical framework and design scheme of the domestic 8K ultra-high-definition camera system, and focuses on the analysis of its core technical advantages, ten technical highlights and six technical indicators achieved. It analyzes its practical application in the XXVI Olympic Winter Games. The domestic broadcast-grade 8K EFP camera fills the gap of domestic 8K image vision and camera products in the field of broadcast, film and television, which is conducive to improving the current situation of backward front-end equipment for video recording and editing in our country, and is expected to promote the development of the entire ultra-high-definition video industry chain.

Keywords: 8K camera; Ultra HD video production and broadcast; domestic replacement; the XXVI Olympic Winter Games

作者简介(*为通讯作者):丁雪玲(1976-),女,在职研究生,主要从事广播电视超高清设备研究。Email:443974516@qq.com;石亮(1984-),男,主要从事广播电视市场化、产业化研究。Email:shiliang132@163.com;周毅(1957-),男,博士,主要从事超高清设备研发及产业化研究。Email:cxz_1967@163.com

1 8K超高清摄像机市场现状与问题

1.1 8K超高清及其产业链

超高清视频是视频技术继模拟、标清、高清后的新一轮代际演进,与5G、人工智能等同为当前新一代信息技术的重要发展方向。8K超高清(8K UHD)分辨率7680×4320像素,单帧画面的像素数为高清的16倍,清晰度可达到4320电视线,理论清晰度为高清的4倍。8K超高清视频全方位大幅提升视频画质和音效,能给观众提供身临其境般的收视体验;最直观的体现,视频呈现在相同尺寸的显示屏上更加清晰,画质更加出色,具有更丰富的画面细节。

超高清视频的产业链总体可分为核心层、服务层和应用层三个层次。核心层提供硬件设备的生产制造,包括视频生产设备、网络传输设备、终端呈现设备及相关核心元器件,覆盖了超高清视频产业链的上中下游。上游是核心元器件,包括感光器件、储存芯片、编解码芯片、图像芯片、处理器芯片和显示面板。中游是视频生产设备(包括采集、制作、编码和储存)和网络传输设备(卫星传输、有线电视传输、地面广播和互联网传输)。下游是终端呈现设备、平台服务及应用层。

1.2 8K摄像系统的特点与能力

8K摄像机是超高清视频产业的开端,摄像机的能力直接决定了8K超高清视频采集环节源视频的质量。从目前的应用来看,8K摄像机主要分为专业广播级摄像机和非广播级摄像机。8K专业广播级摄像机对硬件处理能力要求极高,对数据处理时的散热能力、感光元件尺寸等具有较高要求。同时,8K摄像机需要对高动态、宽色域等提供较好的支持,最大程度记录及还原现场的场景。对于机内录制,需要为后期专业制作和保存提供更丰富的有效信息,录制视频文件的码率会达到数G,使得实时录制需要极高的I/O性能。广播级制作场景的重要性毋庸置疑,对设备及相关系统的稳定性、可靠性要求较高,这些都是非专业广播级设备很难达到的。

1.3 外企高度垄断,国产设备正在追赶

在国际范围内,8K产业链的广播级摄录编制作环节,目前现有的设备品种较少,产品寥寥无几。在我国尚未诞生自己的广播级8K摄像机与摄像系统之前,市场几乎被美国、日本个别企业全部垄断。国内某企业的8K广播级EFP超高清摄像系统率先填补了国内该领域的空白,据调查,受全球疫情与国际标准等因素影响,现

状是8K EFP摄像系统难以进行批量生产,市场上形成“无货可交”的局面。

长久以来,我国广播电视行业的基础设施与设备,一直被美国、欧洲、日本等发达国家垄断,外国企业除在广电行业销售设备外,每年还需向各大电视台收取数目不小的设备升级维护费。在我国电视事业发展的近70年历程里,我国除了付出超级昂贵的设备购买费以及维护费用以外,节目制作端的国家信息科技安全也存在较大的隐患。

目前,我国已有企业切入8K超高清摄像机行业,国产8K广播级摄像机的研制及商业化应用意义重大。目前索尼在电影级摄像机、广播级摄像机领域的全球占有率分别高达68%和85%。

2 国产8K超高清摄像系统技术架构与设计方案

8K超高清摄像系统融合了半导体感光技术、集成电路技术、精密机加工技术、大规模软件系统控制、智能控制和光学传输技术等多项前沿科技,是全球摄像机制造行业的巅峰技术。一套摄像机系统接近20万个零部件,组成整个一讯道的8K超高清系统,其创新难度不言而喻。一个8K讯道摄像机内除了镜头和感光芯片(自主设计,辰芯光制作)是外购和定制之外,本摄像机的成像系统、图像处理系统、声音系统,Tally系统,主控系统、传输系统、同步系统的硬件板件和软件全部为自主研发。

2.1 技术架构

国产8K广播级摄像机主要由光学镜头、光电转换系统、图像信号处理(Image Signal Process, ISP)单元、输入输出单元及附件构成。其中光电转换系统和图像信号处理单元为摄像机的核心部件,如图1所示。

(1)光电转换系统国产8K CMOS芯片。芯片分辨率高达6500万像素以上,具备低读出噪声、高动态范围特性和优异的快门效率以及角度响应,可有效替代日本、欧美厂商的CMOS感光芯片。相较于传统的CCD芯片,CMOS还拥有成像速度快、器件结构简单、体积小、功耗低、性价比高、易于控制的特点。

(2)图像信号处理单元。广播级摄像机的图像信号处理过程涉及到几十个电视标准,如果没有长期的广电技术经验,很难做到标准的完整覆盖,国产8K超高清系统是基于研发者对广电行业专业用户需求和习惯的深入了解在软件部分实现全自主研发的。

(3)其它主要技术环节:①串并转换,把扫描到的

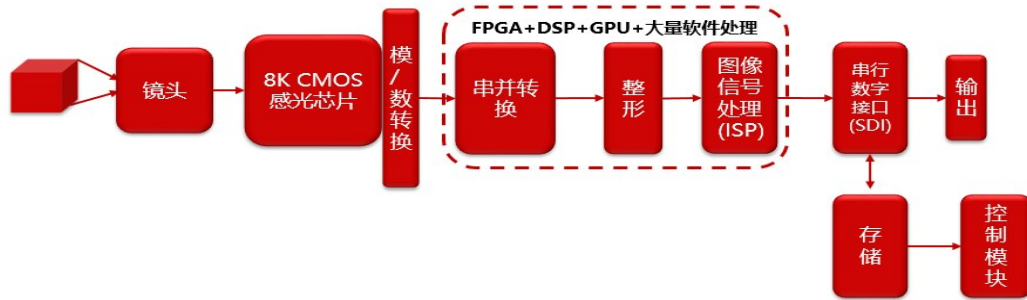


图1 国产8K超高清摄像机技术架构图

串行信号转变为计算机可识别的并行信号,同时降低由于瞬时大量数据、超高速率处理和传输导致的IC芯片处理压力;②整形,加入信号索引、编号信息(例如ID、信号来源、信号属性等)等,将数值变为地址,便于后续进行图像信号处理;③串行数字接口,图像信号和音视频信号的远距离传输。^[1]

2.2 系统组成

一套国产广播级8K EFP摄像机主要包含四部分:感光与光电转换系统、信号与图像处理系统、信号打包传输和无压缩光电传输系统、摄像机控制单元(Camera Control Unit,CCU)机站。

(1)感光与光电转换系统

感光芯片方面,国产8K摄像机定制了有微棱镜设计的CMOS感光芯片,如图2所示。

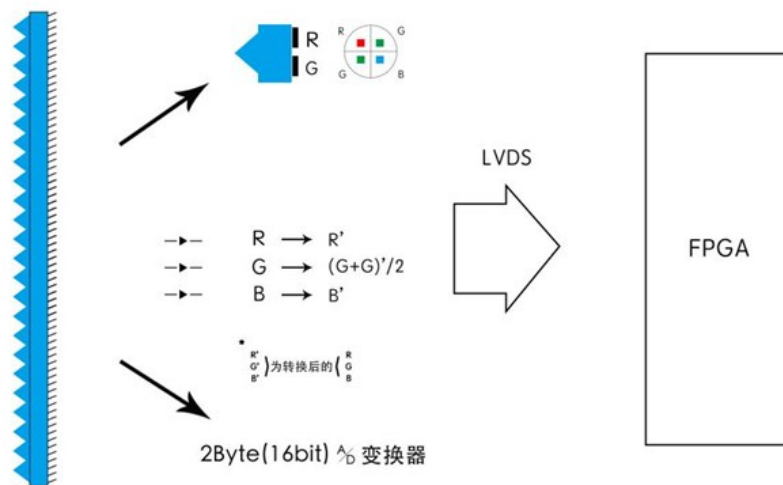


图2 带有微棱镜设计的CMOS感光芯片

按照业界经验,棱镜方式多片传感器,画质会更好。因此国产8K摄像机传感器采用了微棱镜分光技术,兼顾了图像的高分辨率、高画质,同时也提高了图像分光的准确性和色彩还原度。采用微棱镜技术的传感器,大大提高了三基色的隔离度,一定程度上解决了串色的问题,这种不使用渲染方式而提高图像色还原的技术,也是该摄像机的特点。

为了提高画质,结合微棱镜带来的色分离优势,该系统没有采用传统BAYER分光扫描模式,直接采

用像素点扫描模式,经过图像处理,直接进行YUV编码。如图3所示,给出了FPGA内部转换示意图。

(2)信号与图像处理系统

摄像机图像处理是整个系统中最重要的一部分,国产8K摄像机系统最大的特点是采用了四路实时并行处理的运算方案,其逻辑框图如图4所示。

在这部分,完成了摄像机所需的高动态、色域、彩色矩阵、波分等处理。

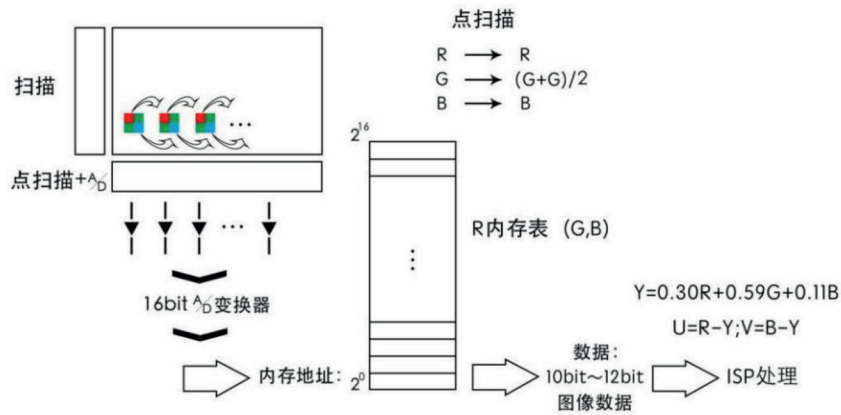


图3 FPGA 内部转换示意图

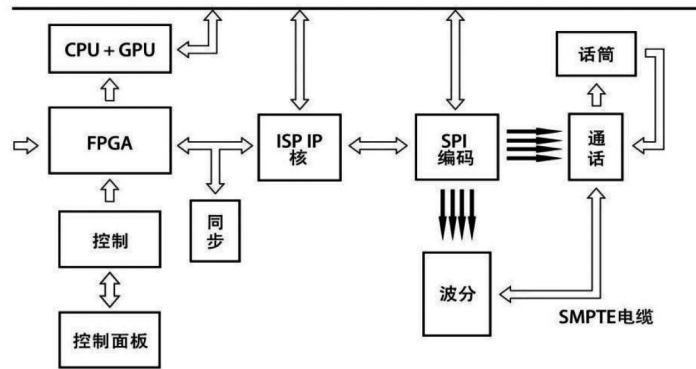


图4 摄像机图像处理示意图

(3)信号打包传输和无压缩光电传输系统

在本系统中,利用自研的微小密集波分复用技术,完成8K无损、无压缩信号传输。

(4)CCU 机站:解码、处理、信号输出接口系统

CCU 机站作为 EFP 系统主要信号端口,在本环节完成各路信号的解码、光电转换、和信号恢复等功能,是整个 EFP 系统最重要的部分之一。图 5 为 CCU 机站前后面板设计图。

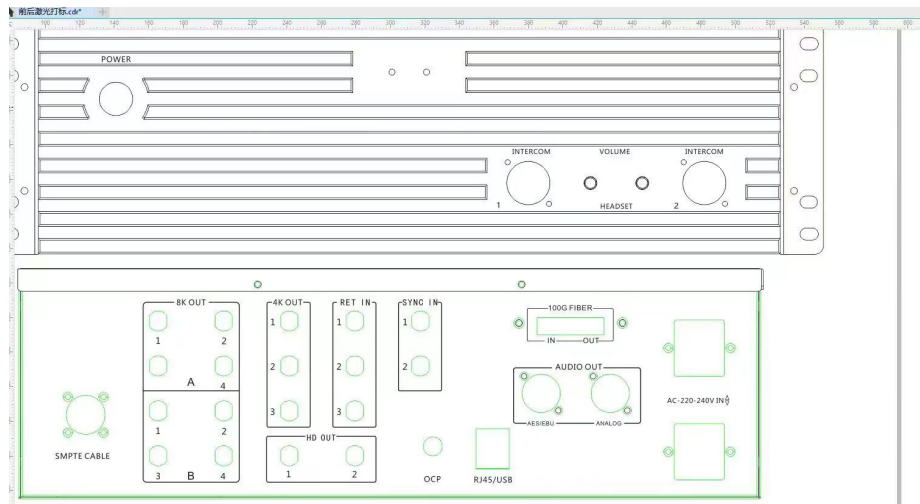


图5 CCU 前后面板设计图

3 技术优势、特点与性能指标

3.1 核心技术优势

(1) 图像采集技术优势

日本某品牌8K摄像系统采用的为棱镜技术,该技术需要3片单色CMOS来分别识别红光、绿光和蓝光,之后再三种单色光合成来实现8K级9000万像素,图片放大会边缘模糊的现象,黑暗环境下拍摄效果非常不理想。由于三块滤镜都必须保证对齐到同一点,因此需要反复校准,对机械加工工艺的要求极高,导致摄像机的生产速度缓慢,且价格昂贵。

国产8K摄像机系统采用点扫描技术(POV),点扫描是在拜耳滤色阵列的基础上面向广电行业更高色彩采集需求下的一种创新,不同于拜耳滤镜阵列像素扫描且通过插值计算得到像素点的值,点扫描将全部色彩的信息全部存储并还原,因此能够最大限度减少色度的损失。国产8K摄像机拍摄的图像分辨率更高、色彩更鲜艳更丰富、噪点更少,不会有失真、边缘模糊的现象出现,且在黑暗环境下拍摄效果远超其他8K摄像机。

(2) 图像信号处理优势

图像信号处理用来处理图像传感器的输出数据,包括:自动白平衡、色彩校正、伽玛校正、噪声去除、色彩空间转换、边缘加强、色彩与对比度加强等70多项功能的处理。图像信号处理的硬件部分主要为DSP+FPGA,同时通过大量的软件来实现。在计算处理过程中使用了160张(未来会更多)映射表来保证计算的高效性,基于系列映射表的逻辑和映射关系构造的核心算法是一项核心技术壁垒。映射表理论是比较成熟的,技术难点在于如何构建正确的映射关系来得到正确的计算结果,需要前期的持续大量调试积累,需要丰富的行业经验、实践经验和研发经验的积累。

映射表的优势在于,经过串并转换和整形之后的图像信号,其每一个数值都唯一对应着一个地址。之后的计算如果把数值按照地址送入DSP计算,DSP做完一个乘数计算最快需要十几个时钟节拍,加减计算需要4-5个时钟节拍,如果连续做多个加减乘除计算,整个计算的延时就非常严重。8K图像本身数据量非常大,点扫描把全部的图像数据全部存储,因此计算量非常大,如果使用DSP直接计算,理论上可以得出同样的结果,但是实际上延时非常高,很难做到实时高效,在一个时钟节拍内完成一组计算是不可能的。

使用映射表则可以实现一个时钟完成一组计算,做到计算处理的实时高效。

3.2 十大技术亮点

国产8K广播级EFP创新采用内模块式的广播级8K超高清摄像机硬件结构和基于高速算法的软件定义图像恢复流程体系,自主开发了应用大规模可编程门阵列(FPGA),实现摄像多路串行转并行的信号实时转换处理,研制了CMOS高速数据控制与驱动软件、数字图像处理功能软件和摄像机控制软件,设计并生产了适配不同镜头的高精度卡口转接环,使得摄像机可使用各类专业镜头;研发并生产了便于灵活操作的视频录制控制处理单元。在该系统100多项自主创新、自主研发制造的基础上,概要汇总出以下十项亮点:

(1)首创内模块式(含FPGA全套IC)的摄像机集成结构

过去的摄像机是一体化设计,在模拟电路时代,一体化是为了充分降噪而设计,一体化的设备整个设计从零开始,各个环节环环相扣,对厂家的综合性要求特别强,在中国的传统研发环境下达不到广播级的要求。与此同时,一体化最大的问题在于后续的维修、功能变更、固件升级与软件调度都很困难,8K级产品(例如索尼)批量量产的难度也大大增加。

模块式设计的优势在于设计更加灵活,是未来发展的趋势。模块式设计最大的优势在于插拔式的设计可以快速拆卸和拼接,且可以根据客户的需求做更换,维修更方便,功耗也易于控制,同时为以后做轻量级/小型化摄像机提供了先决条件。

(2)三款自主研发实时图像处理、彩色处理IP核

三款IP核解决核心软件与硬件的结合问题。三个IP核一个为JP2000,一个专门做数据整合和规范,一个为ISP(图像信号处理)。ISP处理主要包括:白平衡、伽马处理、消刺边、PQ处理、颜色加宽、色彩处理等。IP核是核心能力与技术壁垒所在,每家厂商都有自己独特的算法,这些算法是国际巨头一直保持领先的重要壁垒之一。

(3)自主研发的全套AI图像处理系统软件

AI图像处理系统可以明显提升用户使用体验,可以通过学习掌握摄影师的使用习惯,会把不同摄影师和用户的使用习惯智能存储在特定用户区,在底层会把用户使用较多的功能和比较通用的功能加以归纳和提炼,自动做出按键板常用功能的判别与调整,在

按键板上呈现,增加使用者的便捷度。

(4)首创基于密集波分系统的CCU无损传输设备

CCU用于控制摄像机拍摄的画面,并传给电视台供其使用切换台来做实况转播。相比索尼公司的

CCU机箱,机箱集成度高、尺寸小,使用起来更加轻便灵活。CCU的线性电源还可以做到杂波和纹波低于1毫伏,保证在线性电源瞬间电流非常大的情况下,CCU设备在直播的过程中仍然不会中断或者断电,提升CCU的高可靠性。

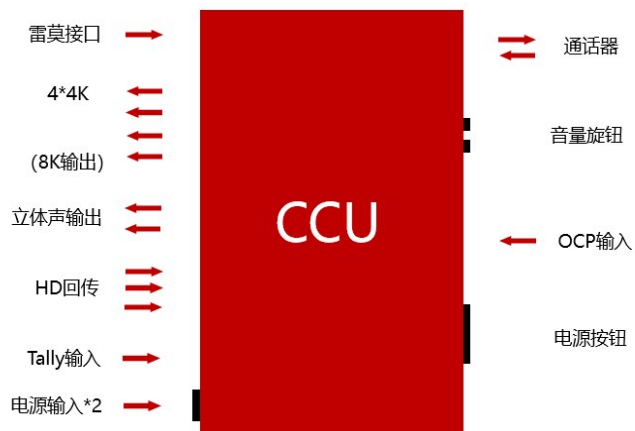


图6 CCU示意图

(5)国产超小型密集波分合波器与分波器
超小型密集波分合波器与分波器,解决了大容量、高速度和多业务同时传输时外国同行无法解决的

传输问题,密集波分系统可以做到最大64路并行,合波器与分波器的尺寸仅有50mm左右。

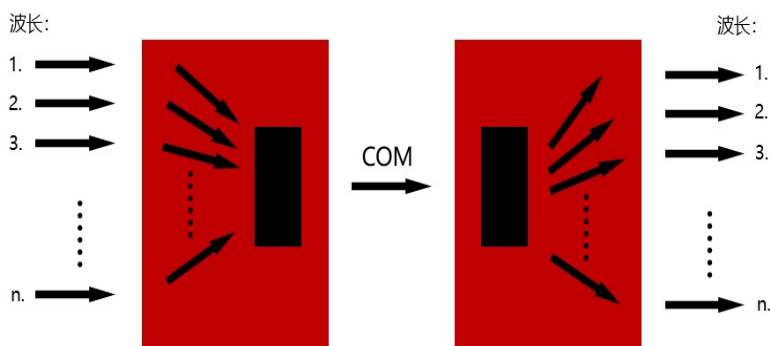


图7 合波器与分波器

(6)创新制作成功基于密集波分的传输系统
8K视频因为数据量巨大,传输过程需要压缩和解压,在广电节目制作过程中,会有多台摄像机同时记录

并传输数据,在这种制作背景下,需要保障视频数据传输的完整性和实时性,不能出现非常严重的卡顿和延时现象,8K视频对传输质量和带宽有非常高的要求。

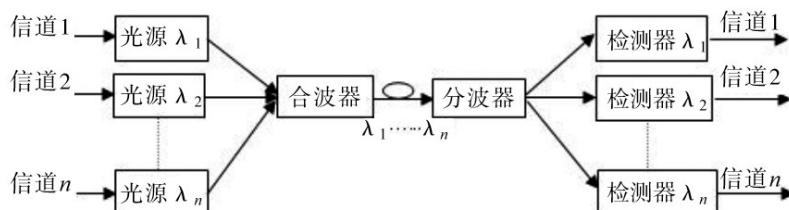


图8 密集波分系统示意图

波分复用 WDM 是把携带不同信息的多个波长的光信号复用到一根光纤中进行传送的方式。密集波分复用系统优势在于,相较于传统 WDM,相邻波长间隔更窄,可以实现超大容量、超长距离传输,实现数据的透明传输,节约光纤资源。

(7)全新的在板摄像机控制面板(含远程控制单元 OCP)

国产 8K 摄像机采用更低功耗的墨水屏作为显示屏。墨水屏是低功耗、性能优、可靠性高的显示屏产品之一,并且即使操作失误、断电,屏幕上的显示资料依然存在,不会丢失,可以保留证据。目前墨水屏内部的软件和显示均为自主研发,能够局域刷新,刷新速度超过 0.3秒/次。结合用户界面智能定义和推荐,可以提高用户的使用感和操作流畅度。

(8)首创可适配各种摄像机镜头卡口的转接环

自主设计镜头卡口的优势:①稳定性好。广播级摄像机使用的螺丝不允许有微米级的晃动,否则摄像机的法兰距会改变,导致图像模糊,因此对于转接口的设计有着严格要求。8K 广播级摄像机镜头卡口由自主设计,由上海的厂商定制,使用时不会产生微米级晃动;②适配范围大,可应用场合多。8K 广播级摄像机镜头卡口支持 EF 卡口、PL 卡口及 B4 卡口等,而目前索尼的 8K 广播级摄像机镜头卡口只能适配自家镜头,如果想要使用其他品牌的镜头需要用转接口。

(9)设计制作航空铝机壳、广播级专用 EFP、ENG 机壳

国产 8KEFP 摄像机目前使用的是航空铝材质机壳,为国内首款使用航空铝材质的国产 EFP 摄像机,符合未来 EFP 摄像机机壳发展的趋势。而在研的 ENG 摄像机外壳选择了碳纤维,碳纤维具有轻便灵活、结实可靠的优点,非常适用于外景拍摄的要求。

(10)研制大功率超低噪波线性电源系统

研制的线性电源系统,相比其他品牌的开关电源,具有电磁干扰较小、纹波系数低;稳压率较高、瞬态电流跟进能力强;设计简单、维修成本低、抗雷击性能好的优点。

3.3 实现的六大性能指标

(1)高清晰度:7680×4320、8192×4320(电影机使用)

(2)高帧率:50p、60p、59.94p

(3)高动态:SDR:11;HDR:HLG-1000/PQ

(4)宽色域:BT.2020及REC.709

(5)高信噪比:65dB以上

(6)增益:模/数双增益(解决亮暗场的不同增益特点)

4 国产 8K 广播级 EFP 摄像机的冬奥应用

2022年1月,《中央广播电视总台 8K 超高清电视节目制播技术要求(暂行)》正式发布,文件为总台在 8K 超高清电视节目制作与播出方面的工作提供了技术性的规范。总台国家重点实验室经过多轮测试,认定国产 UDCAM-9000型 8K EFP 摄像机,是目前唯一一款四项关键技术指标(高清晰度、高帧率、高动态范围、宽色域)全部满足总台 8K 技术规范的国产产品。

2022年2月,国产 8K 广播级 EFP 摄像机经总台超高清视音频国家重点实验室的主观评价与客观测试后,正式应用于北京冬奥国家速滑馆(冰丝带)。因各项性能指标突出,顺利通过奥林匹克广播公司(OBS)现场测试,并被允许进入国际电视公共信号系统使用。

国家速滑馆“冰丝带”是速度滑冰的比赛场地,该项目共设 10 个小项,产生 14 块金牌,是北京冬奥会产生金牌数量最多的单个场馆。大道速滑 8K 转播系统 1月 28 日开始设备入场搭建。系统从 2月 5 日至 19 日共运行 15 天,转播大道速滑的全部赛事。速度滑冰 8K 公共信号制作现场共使用 6 台 8K EFP 摄像机,其中 5 号机和 6 号机采用国产 8K 超高清广播级 EFP 摄像机。该摄像机全部采用国产元器件,其技术指标与技术参数符合 8K 国际标准。比赛现场国产 8K 摄像机和进口 8K 摄像机搭配使用进行节目制作,完美地完成了 8K 直播任务,并且呈现了细节丰富、美轮美奂的影像效果,国产 8K 摄像机在整个赛程期间的优异表现,得到了 OBS、NHK 等国际电视同行的赞扬。北京冬奥会是奥运会历史上首次使用 8K 技术进行开幕式直播,这也是 8K 超高清直播系统中,第一次出现由中国企业自主研发、生产的全国产的 8K EFP 讯道摄像机系统。^[2]

5 结束语

加快发展超高清视频产业,能够直接带动制播设备、终端产品、显示面板、芯片等产业链整体换代,拉动“双千兆”新型基础设施建设,促进内容繁荣和应用创新,形成万亿级新兴产业集群。

《超高清视频产业发展行动计划(2019-2022年)》

发布实施几年来,我国在超高清视频领域取得了一系列标志化成果,基本完成了阶段性预设目标。8K关键技术产品研发和产业化取得一定突破,4K终端基本普及,国内已开播2个8K、8个4K超高清电视频道。一系列重大活动带动8K超高清摄像系统与摄录编设备的爆发式增长,如:中央广播电视总台《2021、2022年春节联欢晚会》已经全面实验8K录制与直播(电影院线播放)、2021年中国共产党成立100周年相关庆祝活动、2022年卡塔尔足球世界杯以及2022年北京冬奥会等,同时在未来5G网络和AI的加持下,8K将会覆盖到消费者工作和生活中的更多领域。^[3]

但是,摄录编环节的薄弱,严重制约全产业链发展。世界广播电视事业诞生100多年来,我国的前端采集设备特别是摄录系统从未真正实现国产化,长期依赖进口。广播级摄像机一直是广播电视大国高端科技竞争的主战场,包括中国在内的全球数百万个电视演播室里的摄录编制作系统,在过去七十年一直被日本、欧美等国外公司牢牢霸占。出现这种状况的最主要原因之一就是摄像机(系统)的研制与生产的技术门槛过高,因为它汇集了精细光学、感光器件、半导体电子技术、大规模软件技术、数字音视频技术、精密机加工、自动控制技术、高速存储技术和计算机技术等尖端高新技术于一体,尤其是8K广播级EFP摄像机更被誉为“皇冠上的明珠”。

目前已经研发、生产落地的中国首台(套)8K广播级EFP摄像机,是适用于各电视台、影视制作机构的8K演播室专用摄像机系统。经过技术对比检测,技术水平处于国际领先,初步解决了国产替代化问题,也成为解决困扰中国广播电影电视行业几十年“卡脖子”问题的表率。该系统拥有完全自主知识产权,除镜头外,均为国内企业自主研发生产,拥有自有商标。

作为中国高端制造的重要分支,国产8K EFP摄像系统填补了国内目前8K图像视觉和广播影视领域摄像产品的空白,通过研发掌握了一批8K超高清摄像机及拍摄设备的技术专利,下一步将通过推进这个项目产品的市场化和产业化,有力的促进和带动国内光学镜头制作、光学精加工、CMOS芯片、镜头卡口设计与制作、高端监视器、精密工业设计加工、相关软件开发等一系列高端产业联动发展,践行中国创造的升级换代。

参考文献(References):

- [1] 周毅.一种广播级8K高清摄像机、摄像机控制单元、传输系统:中国,202011090270.8[P]. 2020-11-09.
- [2] 高勇.北京冬奥会超高清体育转播国产化设备介绍——8K超高清演播室摄像机系统[J].现代电视技术,2022(4),40-41.
- [3] 丁雪玲,石亮.国产8K广播级EFP摄像机系统冬奥直播应用解析[J].中国传媒科技,2022(4),27-30.

编辑:龙学锋