

文献引用格式: 冯宁, 宋利, 解蓉. HDR/WCG 关键技术分析及标准化进展[J]. 电视技术 2018 42(2):10-17.

FENG N, SONG L, XIE R. The analyses of key technologies and standardization of HDR[J]. Video engineering 2018, 42(2):10-17.

中图分类号: TN949.197

文献标志码: A

DOI: 10.16280/j.videoe.2018.02.003

HDR/WCG 关键技术分析及标准化进展

冯宁 宋利 解蓉

(上海交通大学 图像通信与网络工程研究所, 上海 200240)

摘要: 为了提升对 HDR 技术整体认知以及其发展情况的整体把握, 本文介绍了 HDR 相关的特点及基本知识, 然后具体介绍了 HDR 相关的转换函数及兼容性等关键技术, 并对现有的主流 HDR 编解码进行了详细介绍和对比, 最后总结了 HDR 最新的标准化进展情况。

关键词: 高动态范围; 宽色域; 转换函数; HDR 编解码; HDR 兼容性

The analyses of key technologies and standardization of HDR

FENG Ning, SONG Li, XIE Rong

(Image communication and network engineering institute of Shanghai Jiaotong University, Shanghai 200240, China)

Abstract: In order to boost cognitive of HDR technology and the overall grasp of the development of HDR, this paper first introduces the characteristics and corresponding general knowledge. Key technologies of HDR, such as TF and compatibility are then presented, followed by the detailed description of schemes of HDR encoding and decoding. At the end, the latest information about HDR standardization is summarized.

Key words: HDR; WCG; EOTF/OETF; HDR encoding/decoding; compatibility of HDR

HDR/WCG 技术是超高清视频服务的关键技术之一, 是现阶段提升视频服务用户体验的主要驱动力, 带动了整个超高清视频服务从拍摄、制作、传输到播放、显示等全链路的技术演进, 成为当前标准化组织和产业联盟的关注焦点。由于存在多种不同的技术途径, 并且各个阵营努力都在努力推广自己的技术方案, 导致不同标准组织中出现和多个技术规范建议。这种多标准、多方案的局面尽管使得视频服务和应用有了更多的灵活度, 但也给 HDR/WCG 技术方案的选择和实施带来了不少困惑。本文通过对 HDR 关键技术的深入分析, 结合当前相关标准化的最新进展, 对代表性技术方案进行了分析比较。论文首先介绍了 HDR 技术基础, 接着对 HDR 显示相关的技术进行了分析, 包括 HDR/SDR 兼容性问题、静态/动态 metadata、SDR/HDR 的转换等。进一步, 通过对代表性的 HDR 编码技术提案的详尽介绍, 比较不同方案的技术特征和局限性。最后, 论文总结了 HDR 标准化的最新进展。

1 HDR 技术基础

1.1 高动态范围

HDR (High Dynamic Range), 即高动态范围图像, 指的是图像区域中最亮像素与最暗像素的比值。影响显示质量的因素主要有 5 个因素: 时间分辨率、空间分辨率、灰度分辨率、色彩空间范围和亮度动态范围。而当前主流的 HDR 综合了其中的多个因素, 其中最主要的就是动态范围有了很大的提升, 并且将色彩空间由原来的 BT. 709 提升到 BT. 2020。对一幅图像来说, 动态范围指的是画面中最大亮度与最小亮度的比值。高的动态范围可以提升图像对亮部和暗部细节的表现。相比传统的 SDR 图像, HDR 图像可以提供更高的动态范围, 还能提供更广的色域和更高的亮度, 可以更加真实地还原场景。

1.2 宽色域

传统的 BT. 709 引入了 Gamma0.5 的幂指数预校正, 可以根据显示器的亮度范围均衡化噪声, 从而

使得整体显示效果更佳。但由于 BT. 709 对高亮区域进行了压缩,并且将显示器的最高亮度限制在 100nit,因此 BT. 709 已经限制了现有显示器的显示能力。BT. 2020 标准是 ITU-R 在 2013 年发布的面向超高清视频制作和显示系统的新一代标准,支持分辨率为 $3840 \times 2160/7680 \times 4320$ 的超高清画面。一方面,相比上一代标准 BT. 709,BT. 2020 将色深由原来的 8bits 提高到了 10 bits/12 bits,从而使灰阶过渡更加平滑,可以提升图像的细节表现;另一方面,BT. 2020 色域范围比 BT. 709 增加了 70%,如图 1 所示,这意味着图像具有更加丰富的颜色表现。除此之外,BT. 2020 在 gamma 校正方面也进行了一定的修正。

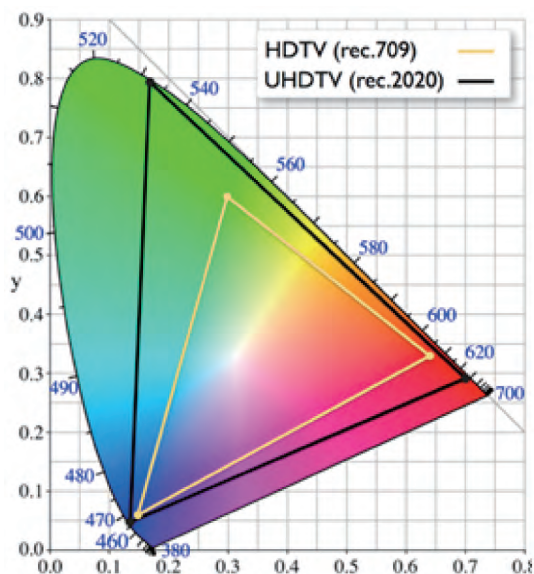


图 1 BT2020 与 BT709 色域对比

1.3 Gamma 校正

Gamma 最早来自于 CRT 显示器。由于物理设备中,电信号的输入和亮度输出并不是呈现线性关系,而这种非线性关系又会随着显示器的不同存在差异,这种非线性程度即称为 gamma。因此,为了使同样的图像在不同的显示器上显示相同的效果,必须对其进行校正使其呈现线性关系,如图 2 所示。Gamma 校正就是通过一个相反的非线性转换,来补偿不同显示器之间的显示效果差异性。通常 gamma 校正的过程是在图像的拍摄过程中进行的,如图 3 所示为拍摄及显示与 gamma 的关系。传统的 CRT 显示器固有 gamma 值为 2.4,通常通过 gamma 为 0.5 的预校正使得其校正后的系统 gamma 值为 1.2,适于室内较暗的环境下观看。

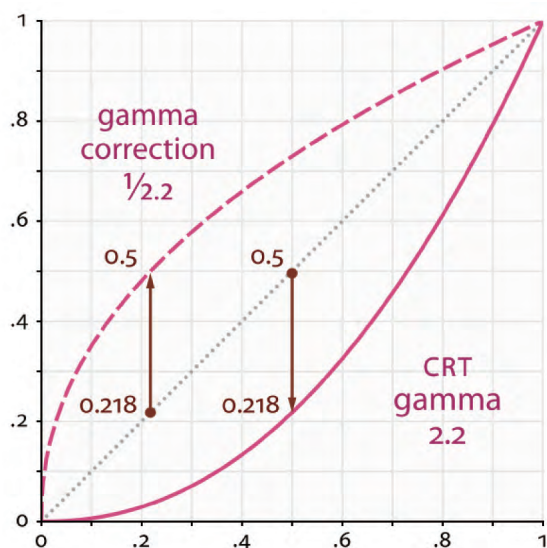


图 2 gamma 校正

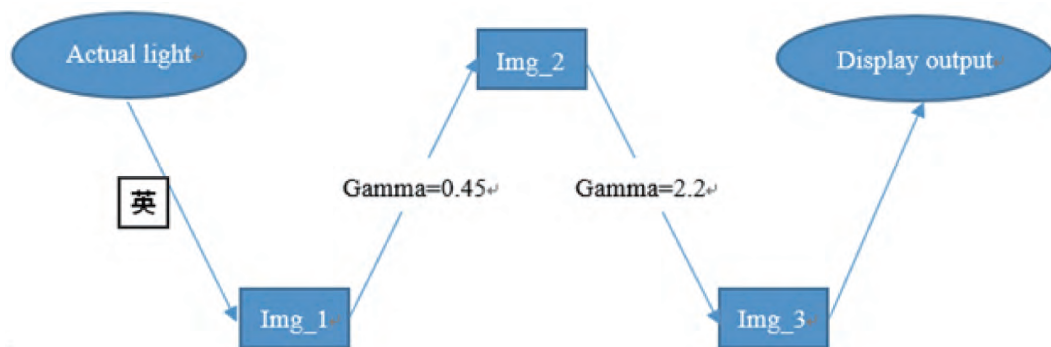


图 3 图像拍摄及显示中的 gamma

1.4 EOTF & OETF

EOTF 全称为 Electrical - Optical Transfer Function,是在显示端定义的电光转换函数,定义了记录

信息的电信号转换为对应光信号的规则;对应 EOTF 在拍摄端有 OETF。EOTF 和 OETF 虽然作用相反,但是其具体表示并不是可逆关系。

由于应用于 SDR 电视制作系统的 gamma OETF 通常进行有损压缩,能记录真实场景的最大亮度仅为 100nits(如图 4 所示),只能在较低的亮度和较低的动态范围表现出不错的效果。而随着 HDR 的兴起及显示器技术的发展,人类更需要一种基于人类视觉感知的可以支持高亮度、高动态范围的 EOTF/OETF 来完美的再现拍摄时的场景动态信息。

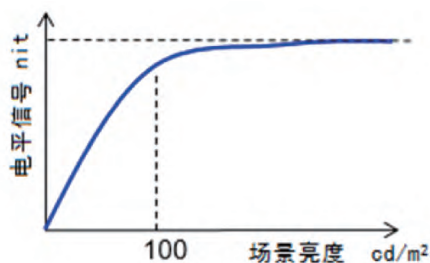


图 4 SDR 信号转换

2 HDR 显示相关技术分析

2.1 HDR 兼容性

这里说的 HDR 兼容性主要包括两方面,一方面是传统 SDR 与 HDR 的兼容性问题,另一方面则是不同 HDR 标准造成 HDR 兼容性问题。

目前 ATSC3.0 中提出的很多方案都考虑了 HDR 与 SDR 的兼容性问题。主要的解决方案就是在传输时加入各种 metadata,然后再解码端使用 metadata 通过 SDR 重建 HDR,以适应不同的显示器。

针对转换函数的不同,目前 Sony 提出引入一种与 EOTF/OETF 无关的中间模板制作格式 $S - \log 3$,可以最大程度保持图像质量,同时后期处理根据需要转为相应的 EOTF 即可。另外,目前已经有一些 PQ 和 HLG 转换的方案^[1-2]。

2.2 SDR/HDR 的转换

由于当前的 HDR 内容仍然相对缺乏,为了缓解内容不足的问题,同时也为了使系统能具有更好的兼容性,往往需要 SDR 与 HDR 进行转换以适应不同的需求。输入端 SDR 与 HDR 的转换主要经过 Tone Mapping 或者 Inverse Tone Mapping 实现;在输出端主要是通过元数据实现 HDR 与 SDR 的兼容,具体的转换过程会在 HDR 编码方案中介绍。另外,目前已经有多家机顶盒芯片厂商支持 HDR 解码,同时可以支持 HLG 转 HDR10 功能及对 SDR 终端的兼容。2017 年 5 月,由中国电信和中国联通联合多家

主流机顶盒芯片厂商组成的“全 4K 联合技术产业联盟”对该类芯片进行了测试认证,推动了 HDR 产业的发展,也预示着国内 HDR 内容的 IPTV 服务已经不远了。

2.3 动态/静态 metadata

HDR 与 SDR 的兼容性主要通过 HDR 元数据(metadata)实现,主要可以分为静态元数据和动态元数据。

静态元数据规定了用于视频内容母版制作的显示器的色彩容积信息(颜色空间、白点及亮度范围),包括母带制作显示元数据(Mastering Display metadata)、MaxCLL(最大内容亮度水平)及 MaxFALL(最大帧平均亮度水平)。其中母带制作显示元数据在 SMPTE ST 2086^[3]标准中进行了规范,包含了内容的最大亮度、最小亮度和色彩容积信息,静态元数据在 CEA-861.3 中也有相应定义。

动态元数据是与内容相关的,可以在多类显示器上保持创作意图,可以以文件或者视频流的方式通过 HEVC SEI 和 CTA-861-G 进行传输,已经被标准化为 SMPTE ST 2094^[4]。动态 metadata 可以在保持色度的同时,使内容能更加准确地和屏幕特性相适应,能够使视频在硬件支持的情况下逐场景甚至逐帧进行图片性能优化,从而带来更加优质的视频体验。同时,动态元数据的使用可以使 HDR 在解码端转换为 SDR 时能更加真实准确。

使用动态元数据进行 HDR 与 SDR 转换的实质是色彩容积(Color Volume)的转换。色彩容积包含了色域、亮度及白点的综合信息,是决定视频视觉质量的主要因素,图 5 所示为 HDR 与 SDR 色彩容积

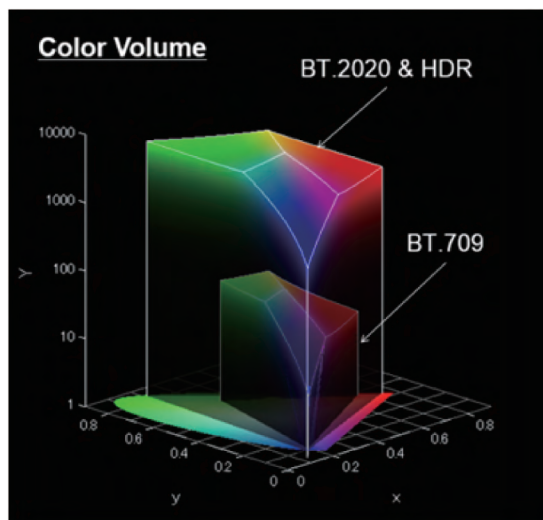


图 5 Color Volume —— HDR vs SDR

的对比。目前,已经标准化的 HDR 色彩容积转换技术包括 Dolby 的参数化色调映射、Philips 的基于参数的色彩容积重构、Technicolor 的基于参考的色彩容积重映射及三星的基于场景的色彩容积映射方法。

视频编码联合组(JCT-VC)最近的几次会议中,也提出 CCV SEI^[5]、UDU SEI^[6]等新的元数据被用于实现 HDR 的兼容性。其中 UDU SEI 相比 TMI

可以节省约 30% 的带宽。

2.4 HDR 编码技术方案^①

2.4.1 MPEG

HDR 不仅仅是一个应用于超高清影视领域的技术,而且成为了 UHD(超高清)影视行业从拍摄、制作、传输到播放、显示等全链路的技术驱动,形成了一个庞大的生态系统。如图 6 所示为 HDR 的编解码流程图^[7]。

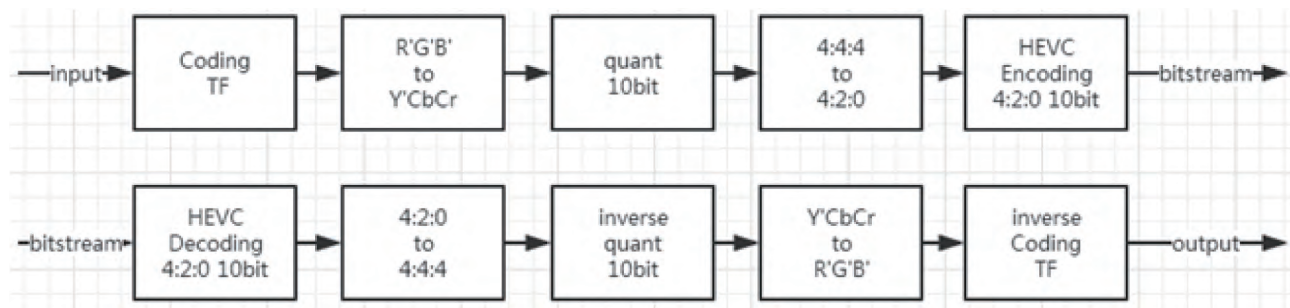


图 6 HDR 编解码流程图

HDR 编码前分别进行、量化和颜色降采样,最后进行 HEVC 编码。首先,编码中的 OETF 主要是将场景亮度转为电平信号;然后将输入从 RGB 色彩空间转换到 Y'CbCr,再量化为 10 bit,然后进行颜色降采样为 4:2:0,最后送入 HEVC 进行编码并输出码流。解码过程如图 5,步骤与编码相对应。

其中,从 HDR 输入到进行 HEVC 编码前的步骤为 HDR 预处理,经过测试其顺序不能随便颠倒,否则视频质量会一定程度地下降。

2.4.2 Dolby

Dolby 使用现有的解决方案和工具,提出一个从

拍摄、制作到分发和显示的完整的 HDR 系统——Dolby Vision,支持 OTA、MVPD、宽带等多种传输方案。其中 EOTF 使用其提出的基于 Barten 模型的 PQ 曲线,支持的最大亮度可以达到 10000nits。编解码方面,Dolby 使用称为 Dolby Layered 的双层编码方案,需要 metadata,并且使用需要支付专利费用。Dolby 的编解码流程如图 7 所示,其采用基层加增强层,基层包含基本的 SDR 信息,增强层包含 HDR 与 SDR 的残差信号,解码端解码器直接解码出 SDR,然后通过残差信号与 metadata 从 SDR 中恢复 HDR。

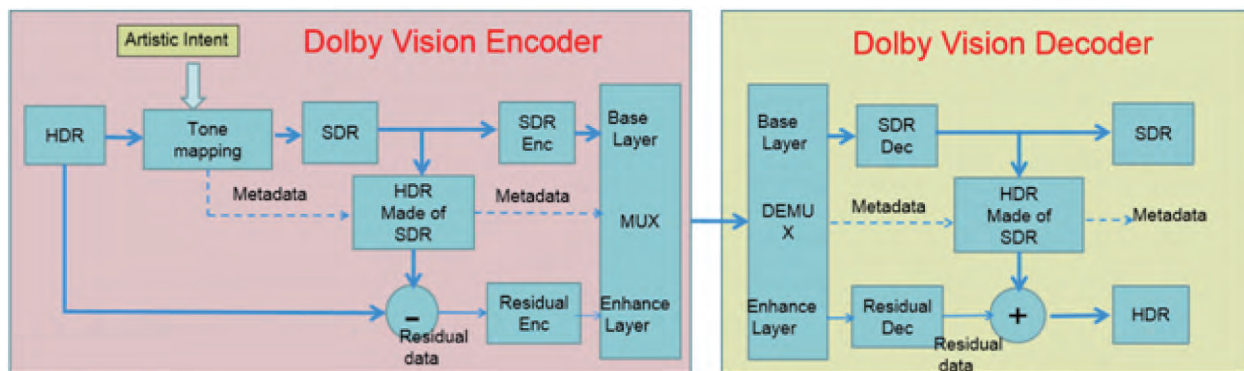


图 7 HDR 编解码方面流程图——Dolby

码率方面,不论传输内容为 HDR 还是 HDR&SDR,其码流在 SDR 传输的基础上增加了 10%~30%。另外,Dolby 提出一种新的用于 HDR 的颜色空间 ICtCp,认为其颜色表现比 YCbCr 要好,

并且经过 remapping 和 IPT-PQ 处理后,传输 HDR

^① HDR 编码方案参考了 MPEG 方案和各公司在 ATSC3.0 中的提案

内容会节约 15 – 25% 的码流。当然 ,Dolby 同时也表示这些结果是与内容和算法密切相关的。

2.4.3 BBC & NHK

与 Dolby 从显示端的出发点不同 ,BBC 和 NHK 的提案是基于演播室信号入手 ,在输入端定义了光电转换特性(OETF) 曲线。BBC&NHK 提出的 HLG 方案采用 10bit 量化 ,色彩空间采用 BT. 2020 ,使用 HEVC Main 10 编码。HLG 可以直接向下兼容现有的 SDR 显示器 ,采用单层的 HEVC 码流传输 ,不需要分层编码 ,并且不需要预处理和后处理步骤。另外 ,BBC&NHK 强调了他们的方案是显示器独立的。码流方面 ,HDR 比 SDR 增加约 10% 。

2.4.4 Technicolor

Technicolor 支持完全开放的 HDR 标准 ,其关于 HDR 的提案为 Prime——它是一个单层编码结构 ,并且需要使用 CRI SEI 元数据 ,其基本流程图如图

8。为了使 SDR 具有更高的保真度 ,Technicolor 提出在编码时加入另一种动态 metadata——CRI(Color Remapping Information) 。CRI 是一种 HEVC 的 SEI (辅助增强信息) ,可以用于显示亮度自适应、从 HDR 内容中获取 SDR(optional CRI) 、从 SDR 重构 HDR(mandatory CRI) 、提升压缩效率(mandatory CRI) 。另外 ,传输过程中 CRI 的丢失不会引起解码端解码失败 ,也不会造成视频质量降低。CRI 具有低的复杂度和高并行结构 ,并且可以由 HM16.7 完美支持 ,现已纳入 SMPTE ST 2094 标准中。

Technicolor Prime 是单层的 ,支持 10 比特量化 ,使用的 metadata 为 HEVC SEI Messages(用于从 SDR 重建 HDR 内容) 。该提案中 ,HEVC 解码器的输出为 SDR ,可以直接通过 HDMI 输出到 SDR 显示器 ,解码器的输出结合 SEI Metadata 可以重新生成 HDR 内容。

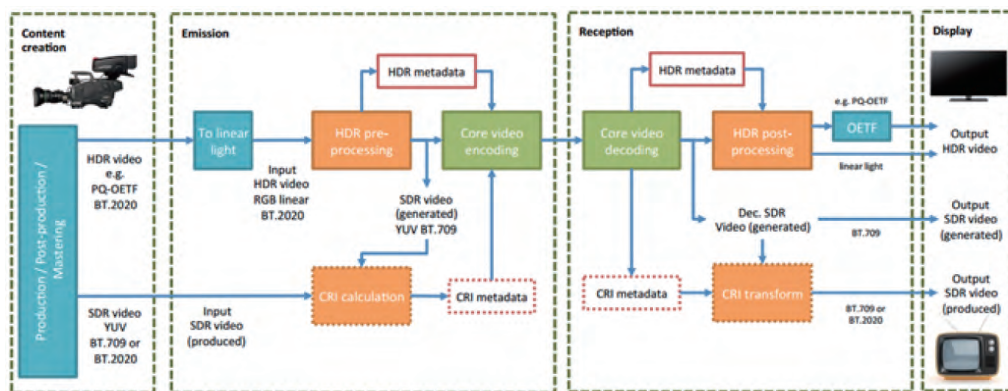


图8 Technicolor 关于 HDR 的提案——Prime

2.5 亮度调整

通常 ,输入到编码器之前的 Y' 经过量化和降采样 ,并根据原始输入像素计算得到的亮度 Y_0 存在一定的偏差 ,会引入较大的噪声。通过亮度调整(Luma Adjustment) 可以使两者尽可能保持一致 ,从而减小误差。亮度调整的基本过程如图 9 所示 ,首先需要根据输入的 RGB 计算出初始亮度 Y_0 ,然后将经过量化和降采样的 $D_{Y'}$ 分量重新上采样和反量化 ,从而

得到一个候选的 Y' 分量 ,对 $D_{Y'}$ 使用区间二分法迭代得到与初始亮度 Y_0 最接近的 Y' 分量 ,即表示亮度调整过程完成^[8]。经过 HEVC 编码后 ,主观质量评价的结果显示 :采用固定的 MOS(平均意见得分) 指标时 ,使用该预处理技术比不使用该技术带来平均 –20% 的码率增益。2017 年 MPEG 的几次会议中也有关于亮度调整的新提案被提出^[9]。

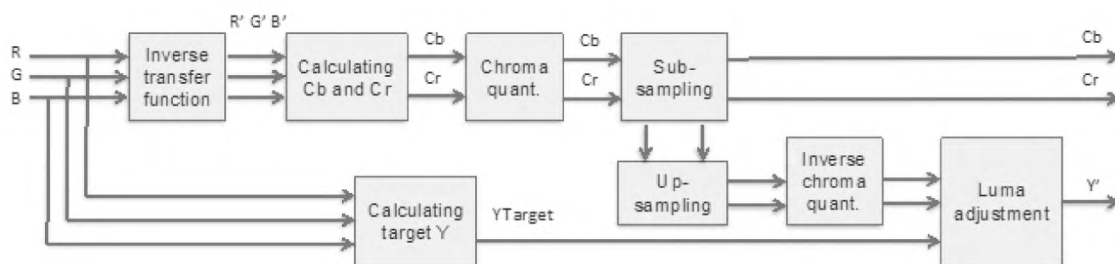


图9 HDR 的亮度调整示意图

2.6 HDR 编码相关理论

2.6.1 Chroma QP offset

10 比特、BT. 709 的 SDR 内容的 YUV 其亮度分量 Y 取值通常分布在 [64, 960], 其色度分量 Cb 和 Cr 同样分布在 [64, 960] 区间内; 而研究发现 10 比特、BT. 2020 的 HDR 内容其 YUV 的亮度分量 Y 分布在 [64, 960], 但是其色度分量 Cb 和 Cr 取值几乎都集中在值为 512 的中间点。这意味着 Cb 和 Cr 的值几乎为零, 可以参看公式 (1) (2), 其中 BitDepth 表示视频的位深。如果 HDR 内容没有占据整个 BT. 2020 颜色空间, Cb 和 Cr 就更加接近于 0。现有的编码器并不能很好的平衡 HDR 内容的亮度和色度的比特率的分配, 会导致比特率分配从色度向亮度分量的转移。如果色度分量没有分配足够的比特率, 那么会导致颜色失真, 通常表现为白色区域出现蓝绿色和品红色。

改善该现象的方法之一是使用负的 Chroma QP offset^[9], 这样可以减小量化色度分量的 QP 值, 相当于将 Cb 和 Cr 的分布区间进行了水平拉伸, 从而使比特率分配从亮度部分转移到色度, 实现色度和亮度比特率分配的均衡。在低码率时颜色失真更加容易被察觉, 因此 Chroma QP offset 下界为绝对值较大的负值, 而上界为较小的正值或者零。

$$Cb = Clip_c \left(\left(\frac{D'_{Cb}}{1 \ll (BitDepth_c - 8)} - 128 \right) / 224 \right) \quad (1)$$

$$Cb = Clip_c \left(\left(\frac{D'_{Cb}}{1 \ll (BitDepth_c - 8)} - 128 \right) / 224 \right) \quad (2)$$

2.6.2 VUI

VUI 语义元素可以提供在视频系统设计中使用的关于编码信号的有用参数或属性。HEVC 中的 VUI 语义元素可以用于传递描述视频编码信号特征的元数据, 比如为 NCL Y' CbCr 或者 CI ICTCP。常

见的一些语义元素如 transfer_characteristics, matrix_coeffs 等。

2.6.3 SEI

SEI 语义元素有两类。一类是可以提供视频内容相关的描述性信息, 包括其参看观看环境、制作过程及如何被显示器解释等; 另一类主要用于根据解码码流启动相应的后处理过程, 比如显示适应中从一个 color Volume 转到另一个 Color Volume。

使用较多的 SEI 语义元素有:

(1) Master Display Color Volume (MDCV) SEI (在 SMPTE ST 2086 标准中定义)

(2) Content Light Level information (CLL) SEI (在 CEA-863.1 标准中定义)

(3) Content Color Volume (CCV) SEI^[10]

(4) Ambient Viewing Environment (AVE) SEI

(5) Tone Mapping Information (TMI) SEI (用于在编码视频序列中携带多条色调映射曲线, 用于将解码后图像转换为映射图像, 比如转为适配目标显示器)

(6) Color Remapping Information (CRI) SEI (用于传递将解码图像从一种 Color Volume 映射到另一种的信息)

3 HDR 标准化进展

3.1 HDR10

HDR10 标准具体内容为: 核心编码器采用 HEVC Main 10 profile 电光转换标准使用 SMPTE ST 2084; 色采样: 4: 2: 0; 色深: 10bits; 色域符合 BT. 2020; 支持静态元数据 SMPTE ST 2086 标准和可选的 Content Light Level SEI 信息 (MaxCLL 和 MaxFALL)。HDR10 系统框图如图 10 所示, 具体转换过程与 MPEG 方案类似, 此处不再介绍。

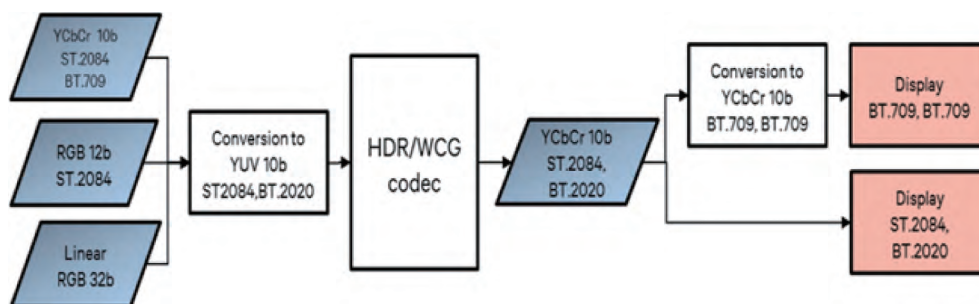


图 10 HDR10 系统框图示意

3.2 EOTF/OETF 标准

3.2.1 Dolby——PQ 曲线

PQ (Perceptual Quantizer), 即感知量化, 是由 Dolby Vision 提出的一种 HDR 标准, 规定了显示端的电-光转换特性 (EOTF), 同时也定义了一个对应的 inverse - EOTF。该标准于 2015 年 3 月被 SMPTE 正式采纳为 SMPTE ST 2084 标准。杜比公司结合人眼视觉特性, 进行理论分析和基于观看者的偏好研究实验, 绘制出了 PQ 曲线。在满足动态范围要求的情况下, PQ 曲线仅需要 12bits 即可以实现平滑灰阶过渡, 有效的提高了编码效率。PQ 支持的最高亮度为 10000nits。

PQ 曲线的数学表达式如 (1) 所示, 其中 L 是表示电平信号亮度级水平 (Luma), $PQ_{TF(L)}$ 表示转换后的显示亮度 (Luminance), 其余为常量:

$$PQ_{TF(L)} = \left(\frac{c_1 + c_2 L m_1}{1 + c_3 L m_1} \right) m_2 \quad (3)$$

$$\text{其中, } m_1 = \frac{2610}{4096} \times \frac{1}{4} = 0.1593017578125$$

$$m_2 = \frac{2523}{4096} \times 128 = 78.84375$$

$$c_1 = c_3 - c_2 + 1 = \frac{3424}{4096} = 0.8359375$$

$$c_2 = \frac{2413}{4096} \times 32 = 18.8515625$$

$$c_3 = \frac{2392}{4096} \times 32 = 18.6875$$

3.2.2 BBC & NHK——HLG 曲线

HLG (Hybrid - Log Gamma), 是由 BBC 和 NHK 提出的另一种 HDR 标准, 规定了输入端的光电转换特性 (OETF), 目前正在申请成为 ITU 标准。图 11 所示为 SDR - Gamma 与 HLG 曲线的对比图, 可以看到 HLG 曲线分为两段, 在线性光亮度较小时, 其与 SDR 的 gamma 曲线重合, 当亮度较高时, 其曲线呈现对数特性。支持 10 比特量化和最大亮度 4000nit。

HLG 曲线的数学表达式如下:

$$E' = \begin{cases} r \sqrt{E} & 0 \leq E \leq 1 \\ a \ln(E - b) + c & 1 < E \end{cases} \quad (4)$$

其中 E' 是电平信号, E 表征光照强度。变量 r 为参考电平, 一般取 0.5。a、b、c 均为常量, 其值分别为 0.17883277、0.28466892、55991073。

3.3 HDR 标准化状态

(1) 美国电影与电视工程师协会 (SMPTE):

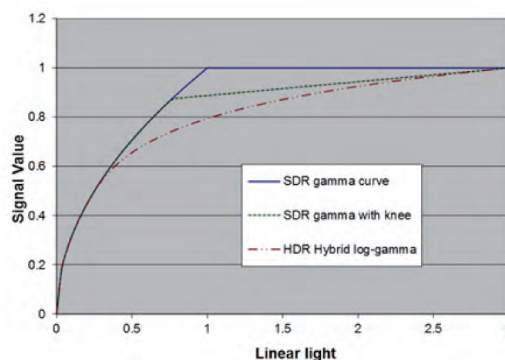


图 11 HLG 曲线与传统 SDR - Gamma 曲线对比 (BBC)

Dolby 的 PQ 曲线被其标准化为 ST 2084; Philips 的动态元数据被其标准化为 ST 2094。

(2) 美国消费电子协会 (CEA): 于 2015 年 8 月定义了“兼容性 HDR 显示器”, 并宣布 HDR 兼容的显示器需要满足 HDR10 标准。

(3) 超高清联盟 (UHD Alliance): 2016 年 CES 会议上发布了支持 HDR 的“Ultra HDR Premium”: 分辨率为 3840*2160, BT. 2020 色域, 色深 10bit, 颜色空间 DCI - P3, 并需要符合 SMPTE ST 2084。

(4) 高级电视系统委员会 (ATSC): ATSC3.0 标准增加对 HDR 显示的支持。

(5) MPEG: 定义了用于 HDR 制作的两种码流格式: NCL Y'CbCr 和 CI IC₁C₂ (dolby), 这两种格式同时也被 ITU - R 纳入 BT. 2100^[12] 标准; 提出了关于向后兼容和显示适应的多种方案^[13]。

(6) ITU - R: 2016 年 2 月提交了关于 HDR 的草案 BT. HDR, 该标准包括 BT. 2020 色域, 色深 10bits, 色彩样 4:2:0, 颜色空间 YCbCr, NCL 制式; ITU - R BT. 2100 规定了使用 PQ 和 HLG 进行内容制作的 HDR 电视的图像参数; BT. 2390 更加详尽地介绍了 HDR 及其内容制作相关的背景知识, 可以用于指导 HDR 端到端系统的设计。

(7) 2016 年 Technicolor 和 Philips 联合提出了新的 HDR 标准 Advanced HDR。Advanced HDR 的输入类型灵活, 使用动态元数据, 进行单层编码传述, 基于内容实现的兼容性 SDR 比通过 HLG 兼容性得到的 SDR 质量更好。

(8) 2017 年三星和亚马逊联合推出了一个新的 HDR 开源标准 HDR10+: 亚马逊致力于 HDR 的内容创作和分发, 而三星致力于 HDR 4K 显示器的制造, 两者联合可以形成一个能与 Dolby Vision 相抗衡的完整的 HDR 生态链。与 HDR10 不同的是,

HDR10+ 使用了依赖于场景的动态元数据,因此能够更好的进行色彩还原并保持创作者意图;相比同样使用动态元数据的 Dolby Vision 需要收取专利费,HDR10+ 是开源的。除此之外,三星的 2017 款的高端 UHD 电视机已经支持 HDR10+ 标准,并且亚马逊会于 2017 年年底制作并分发相应格式的内容。

(9) HDRTools: HDRTools 是由 ITU-T 和 ISO/IEC 联合制定的支持视频标准化工作的软件,支持 HDR 相关的格式转换、颜色空间、传输函数以及滤波、去噪以及质量评价等特性。更新后的 0.16 版本新增以下功能^[14]——1. 支持对非线性 EXR 序列的处理;2. 增加了双线性、双三次插值等视频缩放模式^[15];3. 支持从 HDR 到有限动态范围显示器的显示映射;支持 full range/video range 判断;4. 扩展了对基于 BT.2390 的显示映射过程的支持;5. 增加了第 27 次 JCTVC 会议中亮度调整方法相关提案^[9]的支持;

(10) HDMI 标准:2015.4 公布的 HDMI 2.0a 对 CTA-861.3 标准中定义的 HDR 静态元数据提供了支持;2016.3 公布的 HDMI 2.0b 与 HDMI 2.0a 一样可以支持 HDR10,同时还能够支持 HLG 格式的 HDR;2017.1 公布的 HDMI 2.1 标准又在 2.0b 的基础上增加了对动态元数据的支持,同时最大分辨率提升为 10K/120Hz。

(11) 现有的关于 HDR 格式的标准有 HDR10、HLG、Dolby Vision、Advanced HDR 及 HDR10+。

参考文献:

- [1] CHAD FOGG, "Conversion between PQ and Hybrid Log-Gamma (HLG)", JCTVC - X0049, Geneva, Switzerland, May. 2016.
- [2] Recommendation ITU - R BT. 2390 - 2, "High dynamic range television for production and international programme exchange" (2017).
- [3] SMPTE ST 2086 "Mastering Display Color Volume Metadata Supporting High Luminance And Wide Color Gamut Images" 2014.
- [4] SMPTE ST 2094 "Dynamic Metadata for Color Transforms of HDR and WCG Images" 2014.
- [5] T. Lu, F. PU, T. Chen et al. "AHG7: On content colour volume SEI message", JCTVC - Z0028, Geneva, CH, Jan. 2017.
- [6] P. Topiwala, W. Dai, M. Krishnan et al. "User Data Unregistered SEI for Backward Compatible HDR Coding", JCTVC - AA0037, Hobart, AU, Apr. 2017.
- [7] Call for Evidence (CfE) for HDR and WCG Video Coding, MPEG document N15083, Geneva, Feb. 2015.
- [8] C. Fogg, A. Norkin, A. Segall, et al. "Conversion and Coding Practices for HDR/WCG Y'CbCr 4:2:0 Video with PQ Transfer Characteristics (Draft 4)", JCTVC - Z1017, Geneva, CH, Jan. 2017.
- [9] A. Tourapis, Y. Su, D. Singer, "Additional methods for Luma Adjustment", JCTVC - AA0039, Hobart, AU, April 2017.
- [10] E. Francois, D. Rusanovskyy, P. Yin, "Signalling Backward Compatibility and Display Adaptation for HDR/WCG Video Coding", JCTVC - AB0039, Torino, IT, Jul. 2017.
- [11] H. Oh, S. Lee, J. Y. Suh, "AHG7: Test report on Content Colour Volume SEI message - TEST1", JCTVC - Z0027, Geneva, CH, Jan. 2017.
- [12] Recommendation ITU - R BT. 2100, "Image parameter values for high dynamic range television for use in production and international programme exchange" (2016).
- [13] E. Francois, D. Rusanovskyy, P. Yin et al. "Signalling Backward Compatibility and Display Adaptation for HDR/WCG Video Coding", JCTVC - Z1012, Geneva, Switzerland, Jan. 2017.
- [14] K. Suehring, B. Li, K. Sharman, et al. "HEVC HM, SCM, SHM and HDRTools software development and software technical evaluation (AHG3)", JCTVC - AB0003, Torino, IT, July 2017.
- [15] A. Tourapis, D. singer, Y. Su, "Scaling support in HDRTools and observations", JCTVC - AB0030, Torino, IT, Jul. 2017.



作者简介:

冯宁(1992—),上海交通大学图像所硕士,主要研究方向为高动态范围(HDR)视频处理与编解码相关研究。

宋利(1975—),男,博士,上海交通大学教授,主要从事图像处理、视频编解码、机器视觉等方面的研究。

解蓉(1974—),女,博士,上海交通大学副教授,主要研究方向为视频编码与通信、视频处理等。

责任编辑:徐弘涛

收稿日期:2017-07-25