

GY

中华人民共和国广播电视和网络视听行业标准

GY/T XXX—XXXX

高动态范围电视系统显示适配元数据 技术要求

Technical requirements for display adaptation metadata of high dynamic range
television systems

(报批稿)

XXXX - XX - XX 发布

XXXX - XX - XX 实施

国家广播电视总局 发布

目 次

前言	III
引言	V
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	1
4 缩略语	1
5 符号与运算	2
5.1 总体要求	2
5.2 算术运算符	2
5.3 逻辑运算符	2
5.4 关系运算符	2
5.5 位运算符	3
5.6 赋值	3
5.7 数学函数	3
5.8 结构关系符	4
5.9 位流语法的描述方法	5
5.10 函数	5
5.11 描述符	6
5.12 保留、禁止和标记位	6
6 端到端系统架构	6
7 元数据语法语义	7
7.1 静态元数据语法	7
7.2 静态元数据语义	7
7.3 动态元数据语法	9
7.4 动态元数据语义	10
8 元数据在编码码流中的封装	12
8.1 元数据在 AVS2 编码码流中的封装	12
8.2 元数据在 ITU-T H.265 编码码流中的封装	15
9 显示适配过程中的元数据转换	15
10 PQ HDR 视频的 HDR 显示适配	17
10.1 HDR 显示适配过程	17
10.2 基础曲线参数获得过程	18
10.3 三次样条曲线参数获得过程	21
10.4 色彩信号动态范围转换过程	29

10.5	色彩调整过程	30
11	PQ HDR 视频的 SDR 显示适配	31
11.1	SDR 显示适配过程	31
11.2	基础曲线参数获得过程	32
11.3	三次样条曲线参数获得过程	33
附录 A (资料性)	一种 HLG HDR 视频显示适配方法	36
附录 B (资料性)	动态元数据提取方法	37
B.1	概述	37
B.2	动态元数据 $\text{minimum_maxrgb_pq}[w]$ 和 $\text{maximum_maxrgb_pq}[w]$ 的计算	37
B.3	动态元数据 $\text{average_maxrgb_pq}[w]$ 的计算	37
B.4	动态元数据 $\text{variance_maxrgb_pq}[w]$ 的计算	38
B.5	基础曲线参数元数据生成过程	38
B.6	三次样条参数元数据生成过程	50
B.7	动态元数据的时域滤波	55
B.8	动态元数据的时域质量环内调节反馈	56
附录 C (资料性)	元数据在 ITU-T H.265 编码码流中的封装	58
参考文献	60

前 言

本文件按照GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

本文件由全国广播电影电视标准化技术委员会（SAC/TC 239）归口。

本文件起草单位：中央广播电视总台、国家广播电视总局广播电视科学研究院、国家广播电视总局广播电视规划院、北京大学、国家广播电视产品质量监督检验中心、中国电子技术标准化研究院、华为技术有限公司、上海海思技术有限公司、索尼（中国）有限公司、广东博华超高清创新中心有限公司、中关村视听产业技术创新联盟、成都索贝数码科技股份有限公司、杭州当虹科技股份有限公司、广州柯维新数码科技有限公司、深圳创维数字技术有限公司。

本文件主要起草人：潘晓菲、周芸、宁金辉、余全合、袁乐、王苦社、吴蔚华、牛朝晖、崔建伟、王珮、郭晓强、胡潇、王惠明、张乾、阮卫泓、徐巍炜、王弋川、李岩、刘新、王亚明、谢超平、陈勇、曾志华、薛涛、王振中、朱易、彭飞、杨辰、邓向冬、张伟民、马思伟、刘毅、陈虎、王正、朱军、刘博、王东飞、魏娜、李小雨、郑涛。

引 言

本文件的发布机构提请注意，声明符合本文件时，可能使用涉及本文件有关内容的相关授权和正在申请的专利如下：

序号	章条编号	专利名称
1	10.4	视频信号的处理方法及装置
2	10.4	一种视频信号处理的方法及装置
3	10.1	一种视频信号处理方法及装置
4	7.2、10.1、11.1	一种图像信号转换处理方法、装置及终端设备
5	10.4、10.5	用于图像处理的方法和装置
6	10.1、11.1	用于生成高动态范围图像的图像处理系统和图像处理方法
7	7、8	图像编解码方法和设备
8	10.4、10.5	图像处理的方法、装置和终端设备
9	10.1	拍照方法、相关设备及计算机存储介质
10	10.1、11.1	一种高动态范围图像合成的方法及装置

本文件的发布机构对于该专利的真实性、有效性和范围无任何立场。

该专利持有人已向本文件的发布机构承诺，他愿意同任何申请人在合理且无歧视的条款和条件下，就专利授权许可进行谈判。该专利持有人的声明已在本文件的发布机构备案。相关信息可以通过以下联系方式获得：

专利持有人姓名：华为技术有限公司。

地址：广东省深圳市龙岗区坂田华为基地A。

请注意除上述专利外，本文件的某些内容仍可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别这些专利的责任。

高动态范围电视系统显示适配元数据技术要求

1 范围

本文件规定了超高清电视高动态范围（HDR）在制作、传输、接收、显示等各个环节HDR视频显示适配的技术要求。

本文件适用于有线电视、直播卫星、地面电视、IPTV/OTT、户外大屏等各类终端的HDR视频显示适配。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

GY/T 315—2018 高动态范围电视节目制作和交换图像参数值（ITU-R BT.2100-1,MOD）

ISO 11664-1:2007/CIE S 014-1:2006 色度 第1部分：标准比色观测器（Colorimetry—Part 1: Standard Colorimetric Observers）

ITU-T T.35 对于非标准化设备ITU-T代码分配程序（Procedure for the allocation of ITU-T defined codes for non-standard facilities）

ITU-T H.265 高效视频编码（High Efficiency Video Coding）

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

动态元数据 dynamic metadata

与每帧图像相关联的元数据，该元数据随画面不同而改变。

3.2

静态元数据 static metadata

与图像序列相关联的元数据，该元数据在图像序列内保持不变。

3.3

源图像 source picture

通过节目制作获得的高动态范围图像。

4 缩略语

下列缩略语适用于本文件。

AVS2 高效音视频编码 第1部分：视频（High efficiency coding of audio and video—Part 1:video）

EOTF	电光转换函数 (Electro-Optical Transfer Function)
HDR	高动态范围 (High Dynamic Range)
HLG	混合对数伽马 (Hybrid Log-Gamma)
IPTV	互联网协议电视 (Internet Protocol Television)
MSB	最高有效位 (Most Significant Bit)
OTT	互联网电视 (Over The Top)
PQ	感知量化 (Perception Quantization)
SDR	标准动态范围 (Standard Dynamic Range)
SEI	补充增强信息 (Supplemental Enhancement Information)

5 符号与运算

5.1 总体要求

本文件中使用的数学运算符和优先级参照C语言，但对整型除法和算术移位操作进行了特定定义。除特别说明外，约定编号和计数从0开始。

5.2 算术运算符

算术运算符定义应符合表1的规定。

表1 算术运算符定义

算术运算符	定义
+	加法运算
-	减法运算 (二元运算符) 或取反 (一元前缀运算符)
×	乘法运算
a^b	幂运算, 表示 a 的 b 次幂。也可表示上标
/	整除运算, 沿向0的取值方向截断。例如, $7/4$ 和 $-7/-4$ 截断至1, $-7/4$ 和 $7/-4$ 截断至-1
÷	除法运算, 不做截断或四舍五入
$\frac{a}{b}$	除法运算, 不做截断或四舍五入
$\sum_{i=a}^b f(i)$	自变量 i 取由 a 到 b (含 b) 的所有整数时, 函数 $f(i)$ 的累加和
$a \% b$	模运算, a 除以 b 的余数, 其中 a 与 b 都是正整数
[.]	下取整

5.3 逻辑运算符

逻辑运算符定义应符合表2的规定。

表2 逻辑运算符定义

逻辑运算符	定义
$a \ \&\& \ b$	a 和 b 之间的与逻辑运算
$a \ \ \ \ b$	a 和 b 之间的或逻辑运算

5.4 关系运算符

关系运算符定义应符合表3的规定。

表3 关系运算符定义

关系运算符	定义
>	大于
>=	大于或等于
<	小于
<=	小于或等于
=	等于
!=	不等于

5.5 位运算符

位运算符定义应符合表4的规定。

表4 位运算符定义

位运算符	定义
&	与运算
	或运算
~	取反运算
$a \gg b$	将 a 以2的补码整数表示的形式向右移 b 位。仅当 b 取正数时定义此运算
$a \ll b$	将 a 以2的补码整数表示的形式向左移 b 位。仅当 b 取正数时定义此运算

5.6 赋值

赋值运算定义应符合表5的规定。

表5 赋值运算定义

赋值运算	定义
=	赋值运算符
++	递增, $x++$ 相当于 $x = x + 1$ 。当用于数组下标时, 在自加运算前先求变量值
--	递减, $x--$ 相当于 $x = x - 1$ 。当用于数组下标时, 在自减运算前先求变量值
+=	自加指定值, 例如 $x += 3$ 相当于 $x = x + 3$, $x += (-3)$ 相当于 $x = x + (-3)$
-=	自减指定值, 例如 $x -= 3$ 相当于 $x = x - 3$, $x -= (-3)$ 相当于 $x = x - (-3)$

5.7 数学函数

数学函数定义见公式(1)至公式(10)。

$$\text{Abs}(x) = \begin{cases} x, & x \geq 0 \\ -x, & x < 0 \end{cases} \dots\dots\dots (1)$$

式中:

x ——自变量。

$$\text{Floor}(x) = \lfloor x \rfloor \dots\dots\dots (2)$$

式中:

x ——自变量。

$$\text{Clip3}(i, j, x) = \begin{cases} i, & x < i \\ j, & x > j \\ x, & \text{其他} \end{cases} \dots\dots\dots (3)$$

式中：
i——下界；
j——上界；
x——自变量。

$$\text{Min}(x, y) = \begin{cases} x, & x \leq y \\ y, & x > y \end{cases} \dots\dots\dots (4)$$

式中：
x——自变量；
y——自变量。

$$\text{Max}(x, y) = \begin{cases} x, & x \geq y \\ y, & x < y \end{cases} \dots\dots\dots (5)$$

式中：
x——自变量；
y——自变量。

$$\text{Median}(x, y, z) = x + y + z - \text{Min}(x, \text{Min}(y, z)) - \text{Max}(x, \text{Max}(y, z)) \dots\dots\dots (6)$$

式中：
x——自变量；
y——自变量；
z——自变量。

$$\text{Sign}(x) = \begin{cases} 1, & x \geq 0 \\ -1, & x < 0 \end{cases} \dots\dots\dots (7)$$

式中：
x——自变量。

$$\text{Log}(x) = \log_2 x \dots\dots\dots (8)$$

式中：
x——自变量。

$$\text{Ln}(x) = \log_e x \dots\dots\dots (9)$$

式中：
x——自变量；
e——自然对数的底，其值为2.718281828....。

$$\text{pow}(x, y) = x^y \dots\dots\dots (10)$$

式中：
x——自变量；
y——自变量。

5.8 结构关系符

结构关系符定义应符合表6的规定。

表6 结构关系符定义

结构关系符	定义
->	例如： $a \rightarrow b$ 表示 a 是一个结构， b 是 a 的一个成员变量

5.9 位流语法的描述方法

位流语法描述方法类似C语言。位流的语法元素使用粗体字表示，每个语法元素通过名字、语法和语义来描述。

语法表描述了所有符合本文件的位流语法的全集，附加的语法限制在相关条中说明。

表7给出了描述语法的伪代码例子。当语法元素出现时，表示从位流中读一个数据单元。

表7 语法描述的伪代码

伪代码
/*语句是一个语法元素的描述符，或者说明语法元素的存在、类型和数值，下面给出两个例子。*/
syntax_element
conditioning statement
/*花括号括起来的语句组是复合语句，在功能上视作单个语句。*/
{
statement
...
}
/*“while”语句测试condition是否为TRUE，如果为TRUE，则重复执行循环体，直到condition不为TRUE。*/
while (condition)
statement
/*“do ... while”语句先执行循环体一次，然后测试condition是否为TRUE，如果为TRUE，则重复执行循环体，直到condition不为TRUE。*/
do
statement
while (condition)
/*“if ... else”语句首先测试condition，如果为TRUE，则执行primary语句，否则执行alternative语句。如果alternative语句不需要执行，结构的“else”部分和相关的alternative语句可忽略。*/
if (condition)
primary statement
else
alternative statement
/*“for”语句首先执行initial语句，然后测试condition，如果condition为TRUE，则重复执行primary语句和subsequent语句直到condition不为TRUE。*/
for (initial statement; condition; subsequent statement)
primary statement

解析过程和解码过程用文字和类似C语言的伪代码描述。

5.10 函数

5.10.1 byte_aligned()

如果位流的当前位置是字节对齐的，返回TRUE，否则返回FALSE。

5.10.2 next_start_code()

在位流中寻找下一个起始码，将位流指针指向起始码前缀的第一个二进制位。函数定义应符合表8的规定。

表8 next_start_code 函数的定义

函数定义	值
next_start_code() {	
stuffing_bit	'1'
while (! byte_aligned())	
stuffing_bit	'0'
while (next_bits(24) != '0000 0000 0000 0000 0000 0001')	
stuffing_byte	'00000000'
}	

5.10.3 read_bits(n)

返回位流的随后n个二进制位，MSB在前，同时位流指针前移n个二进制位。如果n等于0，则返回0，位流指针不前移。

5.11 描述符

描述符表示不同语法元素的解析过程，应符合表9的规定。

表9 描述符

描述符	说明
b(8)	一个任意取值的字节。解析过程由函数read_bits(8)的返回值规定
f(n)	取特定值的连续n个二进制位。解析过程由函数read_bits(n)的返回值规定
r(n)	连续n个‘0’。解析过程由函数read_bits(n)的返回值规定
u(n)	n位无符号整数。在语法表中，如果n是“v”，其位数由其他语法元素值确定。解析过程由函数read_bits(n)的返回值规定，该返回值用高位在前的二进制表示

5.12 保留、禁止和标记位

本文件定义的位流语法中，某些语法元素的值被标注为“保留”（reserved）或“禁止”（forbidden）。

“保留”定义了一些特定语法元素值用于将来对本文件的扩展。这些值不应出现在符合本文件的位流中。

“禁止”定义了一些特定语法元素值，这些值不应出现在符合本文件的位流中。

“标记位”（marker_bit）指该位的值应为‘1’。

位流中的“保留位”（reserved_bits）表明保留了一些语法单元用于将来对本文件的扩展，解码处理应忽略这些位。“保留位”不应出现从任意字节对齐位置开始的21个以上连续的‘0’。

6 端到端系统架构

对于 PQ 曲线的 HDR 视频，HDR 视频端到端系统见图 1。通过节目制作，获得 PQ HDR 视频和静态元数据，PQ HDR 视频技术参数应符合 GY/T 315—2018 的规定。HDR 前处理实现动态元数据的提取，得到用于编码传输的 HDR 视频和元数据，经过编码与封装后，在网络中进行传输。在接收端，HDR 后处理利用传递的 HDR 元数据实现显示适配功能。解码器解码得到 PQ HDR 视频和元数据。对于 SDR 显示终端，利用 PQ HDR 视频和元数据重构得到 SDR 视频进行显示；对于 HDR 显示终端，若终端显示能力与制作传输的 HDR 视频亮度相同，则直接进行 HDR 显示；若终端显示能力与制作传输的 HDR 视频亮度不同，则利用 PQ HDR 视频和元数据根据终端显示能力适配后显示。

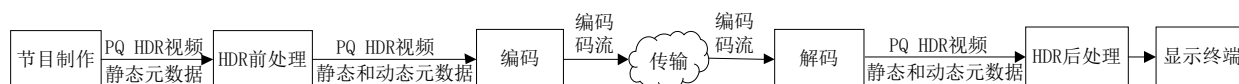


图1 PQ曲线HDR视频端到端系统

对于 HLG 曲线的 HDR 视频，推荐的 HDR 视频端到端系统见图 2。通过节目制作，获得 HLG HDR 视频，HLG HDR 视频技术参数应符合 GY/T 315—2018 的规定。HLG HDR 视频编码后，在网络中进行传输。在接收端，解码器解码得到 HLG HDR 视频，直接在 SDR 与 HDR 终端显示。

如果接收端已经部署了支持 PQ HDR 后处理显示适配功能的解码设备，在编码设备处理能力充足的情况下，也可考虑采用附录 A 的方法进行处理。



图2 HLG曲线HDR视频端到端系统

7 元数据语法语义

7.1 静态元数据语法

静态元数据定义应符合表10的规定。

表10 静态元数据定义

静态元数据定义	描述符
hdr_static_metadata () {	
for (c=0; c<3; c++) {	
display primaries_x[c]	u(16)
display primaries_y[c]	u(16)
}	
white_point_x	u(16)
white_point_y	u(16)
max_display_mastering_luminance	u(16)
min_display_mastering_luminance	u(16)
max_content_light_level	u(16)
max_picture_average_light_level	u(16)
}	

7.2 静态元数据语义

7.2.1 主监视器三基色 X 坐标, 主监视器三基色 Y 坐标 `display primaries_x[c]`, `display primaries_y[c]`

16位无符号整数。分别表示归一化后的主监视器三基色的色度 x 坐标和 y 坐标。该坐标应符合ISO 11664-1:2007/CIE S 014-1:2006中规定的CIE 1931, 以0.00002为单位, 范围为0~50000。 c 的值为0、1、2分别对应于绿、蓝、红三色。

7.2.2 主监视器标准白光 X 坐标, 主监视器标准白光 Y 坐标 `white_point_x`, `white_point_y`

16位无符号整数。分别表示归一化后的显示设备标准白光的色度 x 坐标和 y 坐标, 以0.00002为单位, 范围为0~50000。该坐标应符合ISO 11664-1:2007/CIE S 014-1:2006中规定的CIE 1931, 标准白光坐标为 $x=0.3127$, $y=0.3290$ 。

7.2.3 主监视器最大显示亮度 `max_display_mastering_luminance`

16位无符号整数。表示主监视器的最大显示亮度。以 $1\text{cd}/\text{m}^2$ 为单位, 范围为 $1\text{cd}/\text{m}^2\sim 65535\text{cd}/\text{m}^2$ 。

7.2.4 主监视器最小显示亮度 `min_display_mastering_luminance`

16位无符号整数。表示主监视器的最小显示亮度。以 $0.0001\text{cd}/\text{m}^2$ 为单位, 范围为 $0.0001\text{cd}/\text{m}^2\sim 6.5535\text{cd}/\text{m}^2$ 。

`max_display_mastering_luminance`的值应大于`min_display_mastering_luminance`的值。

7.2.5 显示内容最大亮度 `max_content_light_level`

16位无符号整数。表示显示内容的最大亮度。以 $1\text{cd}/\text{m}^2$ 为单位, 范围为 $1\text{cd}/\text{m}^2\sim 65535\text{cd}/\text{m}^2$ 。

`max_content_light_level`的值为某一显示内容的所有显示图像的最大亮度`PictureMaxLightLevel`的最大值。显示图像最大亮度`PictureMaxLightLevel`计算如下。

- a) 对显示图像有效显示区域内的所有像素依次计算像素的R、G、B分量的最大值`maxRGB`。有效显示区域是由`display_horizontal_size`和`display_vertical_size`共同定义的矩形区域, `display_horizontal_size`是编码图像每行样本数, `display_vertical_size`是编码图像的行数:
 - 1) 将像素的非线性(R' , G' , B')值转换为线性(R, G, B)值, 并校准为以 $1\text{cd}/\text{m}^2$ 为单位的值;
 - 2) 由像素校准后的(R, G, B)值, 计算得到像素R、G、B分量的最大值`maxRGB`。
- b) 显示图像的`PictureMaxLightLevel`等于有效显示区域内的所有像素的`maxRGB`中的最大值。

7.2.6 显示内容最大图像平均亮度 `max_picture_average_light_level`

16位无符号整数。表示显示内容的最大图像平均亮度。以 $1\text{cd}/\text{m}^2$ 为单位, 范围为 $1\text{cd}/\text{m}^2\sim 65535\text{cd}/\text{m}^2$ 。

`max_picture_average_light_level`的值为某一显示内容的所有显示图像的图像平均亮度`PictureAverageLightLevel`的最大值。显示图像平均亮度`PictureAverageLightLevel`计算如下。

- a) 对显示图像有效显示区域内的所有像素依次计算像素的R、G、B分量的最大值`maxRGB`。有效显示区域是由`display_horizontal_size`和`display_vertical_size`共同定义的矩形区域, `display_horizontal_size`是编码图像每行样本数, `display_vertical_size`是编码图像的行数:
 - 1) 将像素的非线性(R' , G' , B')值转换为线性(R, G, B)值, 并校准为以 $1\text{cd}/\text{m}^2$ 为单位的值;
 - 2) 由像素校准后的(R, G, B)值, 计算得到像素R、G、B分量的最大值`maxRGB`。
- b) 显示图像的`PictureAverageLightLevel`等于有效显示区域内的所有像素的`maxRGB`的平均值。

7.3 动态元数据语法

动态元数据定义应符合表11的规定，附录B给出了一种动态元数据提取方法建议。

表11 动态元数据定义

动态元数据定义	描述符
hdr_dynamic_metadata () {	
system_start_code	u(8)
if(system_start_code==0x01){	
num_windows=1	
for(w = 0; w < num_windows; w++) {	
minimum_maxrgb_pq[w]	u(12)
average_maxrgb_pq[w]	u(12)
variance_maxrgb_pq[w]	u(12)
maximum_maxrgb_pq[w]	u(12)
}	
for(w = 0; w < num_windows; w++) {	
tone_mapping_enable_mode_flag[w]	u(1)
if(tone_mapping_enable_mode_flag [w]==1){	
tone_mapping_param_enable_num [w]	u(1)
tone_mapping_param_num [w]++	
for(i=0; i< tone_mapping_param_num [w]; i++){	
targeted_system_display_maximum_luminance_ pq[i][w]	u(12)
base_enable_flag[i][w]	u(1)
if(base_enable_flag[i][w]){	
base_param_m_p[i][w]	u(14)
base_param_m_m[i][w]	u(6)
base_param_m_a[i][w]	u(10)
base_param_m_b[i][w]	u(10)
base_param_m_n[i][w]	u(6)
base_param_K1[i][w]	u(2)
base_param_K2[i][w]	u(2)
base_param_K3[i][w]	u(4)
base_param_Delta_enable_mode[i][w]	u(3)
base_param_enable_Delta[i][w]	u(7)
}	
3Spline_enable_flag[i][w]	u(1)
if(3Spline_enable_flag[i][w]){	
3Spline_enable_num[i][w]	u(1)
3Spline_num++;	
for(j = 0; j < 3Spline_num; j ++) {	
3Spline_TH_enable_mode[j][i][w]	u(2)
if((3Spline_TH_mode[j][i][w]==0) (3Spline_TH_mode[j][i][w]==2)){	
3Spline_TH_enable_MB [j][i][w]	f(8)
}	
3Spline_TH_enable[j][i][w]	f(12)
3Spline_TH_enable_Delta1 [j][i][w]	f(10)
3Spline_TH_enable_Delta2 [j][i][w]	f(10)
3Spline_enable_Strength[j][i][w]	f(8)
}	
}	
}	
}	
}	
}	
color_saturation_mapping_flag[w]	u(1)

表 11 (续)

动态元数据定义	描述符
if(color_saturation_mapping_flag[w]) {	
color_saturation_num[w]	u(3)
for(i = 0; i < color_saturation_num [w]; i++) {	
color_saturation_gain[i][w]	u(8)
}	
}	
}	
}	
}	
}	

7.4 动态元数据语义

7.4.1 系统起始码 system_start_code

8位无符号整数，表示系统版本号。

7.4.2 RGB 分量最大值中的最小值 minimum_maxrgb_pq[w]

12位无符号整数，表示源图像的最小亮度，范围为0~4095。

7.4.3 RGB 分量最大值中的平均值 average_maxrgb_pq[w]

12位无符号整数，表示源图像的平均亮度，范围为0~4095。

7.4.4 RGB 分量最大值中的方差 variance_maxrgb_pq[w]

12位无符号整数，表示源图像的亮度变化范围，范围为0~4095。

7.4.5 RGB 分量最大值中的最大值 maximum_maxrgb_pq[w]

12位无符号整数，表示源图像的最大亮度，范围为0~4095。

7.4.6 色调映射标识 tone_mapping_enable_mode_flag[w]

二值变量，表示传送色调映射标识，值为0或1。

7.4.7 色调映射参数组数量 tone_mapping_param_enable_num[w]

1位无符号整数，表示色调映射参数组的数量，值为0或1。

7.4.8 参考目标显示器最高亮度 targeted_system_display_maximum_luminance_pq[i][w]

12位无符号整数，表示元数据对应的参考目标显示器的最高亮度，范围为0~4095。

7.4.9 基础曲线标识 base_enable_flag[i][w]

二值变量，表示传送基础曲线标识，值为0或1。

7.4.10 基础曲线参数 m_p base_param_m_p[i][w]

14位无符号整数，表示基础曲线参数 m_p ，范围为0~16383。

- 7.4.11 基础曲线参数 m_m base_param_m_m[i][w]
6位无符号整数，表示基础曲线参数 m_m ，范围为0~63。
- 7.4.12 基础曲线参数 m_a base_param_m_a[i][w]
10位无符号整数，表示基础曲线参数 m_a ，范围为0~1023。
- 7.4.13 基础曲线参数 m_b base_param_m_b[i][w]
10位无符号整数，表示基础曲线参数 m_b ，范围为0~1023。
- 7.4.14 基础曲线参数 m_n base_param_m_n[i][w]
6位无符号整数，表示基础曲线参数 m_n ，范围为0~63。
- 7.4.15 基础曲线参数 $K1$ base_param_K1[i][w]
2位无符号整数，表示基础曲线参数 $K1$ ，范围为0~3。
- 7.4.16 基础曲线参数 $K2$ base_param_K2[i][w]
2位无符号整数，表示基础曲线参数 $K2$ ，范围为0~3。
- 7.4.17 基础曲线参数 $K3$ base_param_K3[i][w]
4位无符号整数，表示基础曲线参数 $K3$ ，范围为0~15。
- 7.4.18 基础曲线调整模式 base_param_Delta_enable_mode[i][w]
3位无符号整数，表示基础曲线映射参数的调整系数模式，范围为0~7。
- 7.4.19 基础曲线调整系数 base_param_enable_Delta[i][w]
7位无符号整数，表示基础曲线映射参数的调整系数值，范围为0~127。
- 7.4.20 三次样条标识 3Spline_enable_flag[i][w]
二值变量，表示传送三次样条的标识，值为0或1。
- 7.4.21 三次样条区间组数量 3Spline_enable_num[i][w]
1位无符号整数，表示三次样条区间组数量，值为0或1。
- 7.4.22 三次样条区间模式 3Spline_TH_enable_mode[j][i][w]
2位无符号整数，表示三次样条区间模式，范围为0~3。
- 7.4.23 三次样条区间斜率和暗区偏移量参数 3Spline_TH_enable_MB[j][i][w]
8位无符号整数，表示三次样条区间参数的斜率和暗区偏移量，范围为0~255。
- 7.4.24 三次样条区间位置参数 3Spline_TH_enable[j][i][w]

12位无符号整数，表示色调映射的三次样条区间位置参数，范围为0~4095。

7.4.25 三次样条区间1 偏移量 `3Spline_TH_enable_Delta1[j][i][w]`

10位有符号整数，表示三次样条区间1的偏移量，范围为0~1023。

7.4.26 三次样条区间2 偏移量 `3Spline_TH_enable_Delta2[j][i][w]`

10位有符号整数，表示色调映射的三次样条区间2的偏移量，范围为0~1023。

7.4.27 三次样条调整强度 `3Spline_enable_Strength[j][i][w]`

8位有符号整数，表示三次样条调整强度，范围为0~255。

7.4.28 色彩饱和度映射标识 `color_saturation_mapping_enable_flag[w]`

二值变量，表示传送色彩饱和度映射参数标识，值为0或1。

7.4.29 色彩饱和度值 `color_saturation_enable_num[w]`

3位无符号整数，表示色彩饱和度值参数，范围为0~7。

7.4.30 色彩饱和度增益 `color_saturation_enable_gain[i][w]`

8位无符号整数，表示色彩饱和度增益参数，范围为0~255。

8 元数据在编码码流中的封装

8.1 元数据在 AVS2 编码码流中的封装

元数据封装在 AVS2 码流中的扩展数据 `extension_data()`，其中：静态元数据封装在序列头 `extension_data()` 的 `mastering_display_and_content_metadata_extension()`，对应的扩展编号为“1010”；动态元数据封装在图像头 `extension_data()` 中的 `hdr_dynamic_metadata_extension()`，对应的扩展编号为“0101”。

AVS2码流中HDR静态元数据扩展定义应符合表12的规定，HDR动态元数据扩展定义应符合表13的规定。

表12 AVS2 码流中 HDR 静态元数据扩展定义

AVS2码流中HDR静态元数据扩展定义	描述符
<code>mastering_display_and_content_metadata_extension()</code> {	
<code>extension_id</code>	f(4)
for (c=0; c<3; c++) {	
<code>display primaries_x[c]</code>	u(16)
<code>marker_bit</code>	f(1)
<code>display primaries_y[c]</code>	u(16)
<code>marker_bit</code>	f(1)
}	
<code>white_point_x</code>	u(16)
<code>marker_bit</code>	f(1)
<code>white_point_y</code>	u(16)
<code>marker_bit</code>	f(1)
<code>max_display_mastering_luminance</code>	u(16)

表 12 (续)

AVS2码流中HDR静态元数据扩展定义	描述符
marker bit	f(1)
min_display_mastering_luminance	u(16)
marker bit	
max_content_light_level	u(16)
marker bit	f(1)
max_picture_average_light_level	u(16)
marker bit	f(1)
reserved_bits	r(16)
next_start_code()	
}	

视频扩展标号 extension_id, 4位二进制数 ‘1010’ 标识HDR静态元数据扩展。

表 13 AVS2 码流中 HDR 动态元数据扩展定义

AVS2码流中HDR动态元数据扩展定义	描述符
hdr_dynamic_metadata_extension() {	
extension_id	f(4)
hdr_dynamic_metadata_type	f(4)
itu_t_t35_country_code	0x26
itu_t_t35_terminal_provide_code	0x0004
itu_t_t35_terminal_provide_oriented_code	0x0005
if(system_start_code==0x01) {	
num_windows=1	
for(w = 0; w < num_windows; w++) {	
minimum_maxrgb_pq[w]	u(12)
marker_bit	f(1)
average_maxrgb_pq[w]	u(12)
marker_bit	f(1)
variance_maxrgb_pq[w]	u(12)
marker_bit	f(1)
maximum_maxrgb_pq[w]	u(12)
marker_bit	f(1)
}	
for(w = 0; w < num_windows; w++) {	
tone_mapping_enable_mode_flag[w]	u(1)
if(tone_mapping_enable_mode_flag [w]==1) {	
tone_mapping_param_enable_num [w]	u(1)
tone_mapping_param_enable_num [w]++	
for(i=0; i < tone_mapping_param_enable_num [w]; i++) {	
targeted_system_display_maximum_luminance_pq[i][w]	u(12)
base_enable_flag[i][w]	u(1)
marker_bit	f(1)
if(base_enable_flag[i][w]) {	
base_param_m_p[i][w]	u(14)
base_param_m_m[i][w]	u(6)
marker_bit	f(1)
base_param_m_a[i][w]	u(10)
base_param_m_b[i][w]	u(10)
marker_bit	f(1)
base_param_m_n[i][w]	u(6)

表 13 (续)

AVS2码流中HDR动态元数据扩展定义	描述符
<code>base_param_K1[i][w]</code>	u(2)
<code>base_param_K2[i][w]</code>	u(2)
<code>base_param_K3[i][w]</code>	u(4)
<code>base_param_Delta_enable_mode[i][w]</code>	u(3)
<code>marker_bit</code>	f(1)
<code>base_param_enable_Delta[i][w]</code>	u(7)
<code>}</code>	
<code>3Spline_enable_flag[i][w]</code>	u(1)
<code>if(3Spline_enable_flag[i][w]){</code>	
<code> 3Spline_enable_num[i][w]</code>	u(1)
<code> 3Spline_enable_num[i][w]++;</code>	
<code> for(j = 0; j < 3Spline_enable_num[i][w]; j ++) {</code>	
<code> 3Spline_TH_enable_mode[j][i][w]</code>	u(2)
<code> if((3Spline_TH_mode[j][i][w]==0) (3Spline_TH_mode[j][i][w]==2)){</code>	
<code> 3Spline_TH_enable_MB[j][i][w]</code>	f(8)
<code> }</code>	
<code> marker_bit</code>	f(1)
<code> 3Spline_TH_enable[j][i][w]</code>	f(12)
<code> marker_bit</code>	f(1)
<code> 3Spline_TH_enable_Delta1[j][i][w]</code>	f(10)
<code> 3Spline_TH_enable_Delta2[j][i][w]</code>	f(10)
<code> marker_bit</code>	f(1)
<code> 3Spline_enable_Strength[j][i][w]</code>	f(8)
<code> }</code>	
<code>}</code>	
<code>}</code>	
<code>}</code>	
<code> color_saturation_mapping_enable_flag[w]</code>	u(1)
<code> if(color_saturation_mapping_enable_flag[w]) {</code>	
<code> color_saturation_enable_num[w]</code>	u(3)
<code> for(i = 0; i < color_saturation_enable_num[w]; i++) {</code>	
<code> color_saturation_enable_gain[i][w]</code>	u(8)
<code> marker_bit</code>	f(1)
<code> }</code>	
<code> }</code>	
<code>}</code>	
<code> stuffing_bit</code>	'1'
<code> while(!byte_aligned())</code>	
<code> stuffing_bit</code>	'0'
<code> next_start_code()</code>	
<code>}</code>	

视频扩展标号 `extension_id`，位串 '0101'，标识高动态范围图像扩展。

高动态范围图像元数据类型 `hdr_dynamic_metadata_type`，4位无符号整数，标识动态元数据类型。

ITU-T T.35国家码 `itu_t_t35_country_code`，8位无符号整数，标识ITU-T T.35规定的国家识别码。

ITU-T T.35终端制造商码 `itu_t_t35_terminal_provide_code`，16位无符号整数，标识ITU-T T.35规定的终端制造商码。

ITU-T T. 35终端制造商指向码 `itu_t_t35_terminal_provide_oriented_code`，8位无符号整数，标识ITU-T T. 35规定的终端制造商指向码。

8.2 元数据在 ITU-T H. 265 编码码流中的封装

元数据在ITU-T H. 265编码码流中进行封装，见附录C。

9 显示适配过程中的元数据转换

为了实现显示适配，需将封装在AVS2码流中的HDR元数据转换为所需变量，同时根据终端显示器的最高亮度 (*MaxDisplay*) 和最低亮度 (*MinDisplay*) 计算显示适配所需变量值，变量定义及转换如下。

- minimum_maxrgb*：浮点数， $minimum_maxrgb = minimum_maxrgb_pq[w] \div 4095$ ；以 0.00024 为单位，范围为 0.0000~1.00000。
- average_maxrgb*：浮点数， $average_maxrgb = average_maxrgb_pq[w] \div 4095$ ；以 0.00024 为单位，范围为 0.00000~1.00000。
- variance_maxrgb*：浮点数， $variance_maxrgb = variance_maxrgb_pq[w] \div 4095$ ；以 0.00024 为单位，范围为 0.00000~1.00000。
- maximum_maxrgb*：浮点数， $maximum_maxrgb = maximum_maxrgb_pq[w] \div 4095$ ；以 0.00024 为单位，范围为 0.00000~1.00000。
- tone_mapping_mode_flag*：二值变量， $tone_mapping_mode_flag = tone_mapping_enable_mode_flag[w]$ ，值为 0 或 1。
- tone_mapping_param_num*：1 位无符号整数， $tone_mapping_param_num = tone_mapping_param_enable_num[w]$ ，值为 0 或 1。
- targeted_system_display_maximum_luminance*：浮点数， $targeted_system_display_maximum_luminance = targeted_system_display_maximum_luminance_pq[i][w] \div 4095$ ；以 0.00024 为单位，范围为 0.00024~1.0；当且仅当 *targeted_system_display_maximum_luminance_pq[i][w]* 等于 2080 时，*targeted_system_display_maximum_luminance* 变量只在第 11 章 PQ HDR 的 SDR 显示适配中使用。
- base_flag*：二值变量， $base_flag = base_enable_flag[i][w]$ ，值为 0 或 1。
- m_p_0*：浮点数， $m_p_0 = 10.0 \times base_param_m_p[i][w] \div 16383$ ，以 0.00061 为单位，范围为 0.00000~10.00000。
- m_m_0*：浮点数， $m_m_0 = base_param_m_m[i][w] \div 10.0$ ，以 0.1 为单位，范围为 0.0~6.3。
- m_a_0*：浮点数， $m_a_0 = base_param_m_a[i][w] \div 1023$ ，以 0.00098 为单位，范围为 0.00000~1.00000。
- m_b_0*：浮点数， $m_b_0 = base_param_m_b[i][w] \times 0.25 \div 1023$ ，以 0.00024 为单位，范围为 0.00000~0.25000。
- m_n_0*：浮点数， $m_n_0 = base_param_m_n[i][w] \div 10$ ，以 0.1 为单位，范围为 0.0~6.3。
- k1_0*：无符号整数， $k1_0 = Clip3(0, 1, base_param_K1[i][w])$ ，范围为 0~1。
- k2_0*：无符号整数，指示基础曲线映射参数中的 *k2_0*， $k2_0 = Clip3(0, 1, base_param_K2[i][w])$ ，范围为 0~1。
- k3_0*：浮点数，当 *base_param_K3[i][w]* 为 2 时， $k3_0 = maximum_maxrgb$ 否则， $k3_0 = 1.0$ 。

- base_param_Delta_mode*: 无符号整数, $base_param_Delta_mode = base_param_Delta_enable_mode[i][w]$ 。
- base_param_Delta*: 浮点数, 当 *base_param_Delta_mode* 等于 2 或者 6 时, $base_param_Delta = -(base_param_enable_Delta[i][w] \div 127)$; 否则, $base_param_Delta = base_param_enable_Delta[i][w] \div 127$ 。
- 3Spline_flag*: 二值变量, $3Spline_flag = 3Spline_enable_flag[i][w]$ 。
- 3Spline_num*: 无符号整数, 当 *3Spline_enable_flag[i][w]* 为 1 时, $3Spline_num = 3Spline_enable_num[i][w] + 1$; 否则, $3Spline_num = 1$ 。
- 3Spline_TH_mode*: 无符号整数, 当 *3Spline_enable_flag[i][w]* 为 1 时, $3Spline_TH_mode = 3Spline_TH_enable_mode[j][i][w]$; 否则, $3Spline_TH_mode = 0$ 。
- 3Spline_TH_MB0*: 浮点数, $3Spline_TH_MB0 = (3Spline_TH_enable_MB[j][i][w] \& 0xFC) \div 63$ 。
- 3Spline_TH_MB1*: 浮点数, $3Spline_TH_MB1 = 3Spline_TH_enable_MB[j][i][w] \times 1.1 \div 255$ 。
- base_offset*: 浮点数, $base_offset = (3Spline_TH_enable_MB[j][i][w] \& 0x03) \times 0.1 \div 3$ 。
- 3Spline_TH0*: 浮点数, 当 *3Spline_TH_enable_mode[j][i][w]* 为 0 时, $3Spline_TH0 = 3Spline_TH_enable[j][i][w] \div 4095$; 否则, $3Spline_TH0 = 0$ 。以 0.00024 为单位, 范围为 0.00000~1.00000。
- 3Spline_TH1*: 浮点数, 当 *3Spline_TH_enable_mode[j][i][w]* 不为 0 时, $3Spline_TH1 = 3Spline_TH_enable[j][i][w] \div 4095$; 否则, $3Spline_TH1 = 1.00000$ 。以 0.00024 为单位, 范围为 0.00000~1.00000。
- 3Spline_TH_Delta10*: 浮点数, 当 *3Spline_TH_enable_mode[j][i][w]* 为 0 时, $3Spline_TH_Delta10 = 3Spline_TH_enable_Delta1[j][i][w] \times 0.25 \div 1023$; 否则 $3Spline_TH_Delta10 = 0$ 。以 0.00024 为单位, 范围为 0.00000~0.10000。
- 3Spline_TH_Delta11*: 浮点数, 当 *3Spline_TH_enable_mode[j][i][w]* 不为 0 时, $3Spline_TH_Delta11 = 3Spline_TH_enable_Delta1[j][i][w] \times 0.25 \div 1023$; 否则 $3Spline_TH_Delta11 = 0$ 。以 0.00024 为单位, 范围为 0.00000~0.10000。
- 3Spline_TH_Delta20*: 浮点数, 当 *3Spline_TH_enable_mode[j][i][w]* 为 0 时, $3Spline_TH_Delta20 = 3Spline_TH_enable_Delta2[j][i][w] \times 0.25 \div 1023$; 否则 $3Spline_TH_Delta20 = 0$ 。以 0.00024 为单位, 范围为 0.00000~1.00000。
- 3Spline_TH_Delta21*: 浮点数, 当 *3Spline_TH_enable_mode[j][i][w]* 不为 0 时, $3Spline_TH_Delta21 = 3Spline_TH_enable_Delta2[j][i][w] \times 0.25 \div 1023$; 否则 $3Spline_TH_Delta21 = 0$ 。以 0.00024 为单位, 范围在 0.00000~1.00000。
- 3Spline_Strength0*: 浮点数, 当 *3Spline_TH_enable_mode[j][i][w]* 为 0 时, $3Spline_Strength0 = (3Spline_enable_Strength[j][i][w] - 127) \div 127$; 否则, $3Spline_Strength0 = 0$ 。以 0.0079 为单位, 范围为 -1.0000~1.0000。
- 3Spline_Strength1*: 浮点数, 当 *3Spline_TH_enable_mode[j][i][w]* 不为 0 时, $3Spline_Strength1 = (3Spline_enable_Strength[j][i][w] - 127) \div 127$; 否则, $3Spline_Strength1 = 0$ 。以 0.0079 为单位, 范围为 -1.0000~1.0000。
- color_saturation_mapping_flag*: 二值变量, $color_saturation_mapping_flag = color_saturation_mapping_enable_flag[w]$ 。
- color_saturation_num*: 无符号整数, $color_saturation_num = color_saturation_enable_num[w]$, 以 1 为单位, 范围为 0~7。

- $color_saturation_gain[0]$: 浮点数, $color_saturation_gain[0] = color_saturation_enable_gain[i][w] \div 128$, 以0.0078为单位, 范围为0.0000~2.0000。
- $color_saturation_gain[1]$: 浮点数, $color_saturation_gain[1] = (color_saturation_enable_gain[i][w] \& 0xFC) \div 128$, 以0.0078为单位, 范围为0.0000~2.0000。
- $MaxDisplayPQ$: 16位无符号整数, 表示终端显示器的最高亮度。
- $MinDisplayPQ$: 16位无符号整数, 表示终端显示器的最低亮度。
- $MaxDisplayPQ$: 浮点数, $MaxDisplayPQ = PQ_EOTF^{-1}(MaxDisplayPQ)$, PQ_EOTF^{-1} 应按照 GY/T 315—2018 的要求。
- $MinDisplayPQ$ 浮点数, $MinDisplayPQ = PQ_EOTF^{-1}(MinDisplayPQ)$ 。

10 PQ HDR 视频的 HDR 显示适配

10.1 HDR 显示适配过程

本条描述了PQ内容在HDR终端进行显示适配的过程。接收到的元数据按第9章的规定转换为元数据变量, 据此生成基础曲线参数、三次样条曲线参数, 并生成对应的色调映射曲线, 见图3, 色调映射曲线由一次样条曲线、第一段三次样条曲线、基础曲线和第二段三次样条曲线组成。通过色彩信号动态范围转换、色彩调整完成HDR显示适配过程, 见图4。

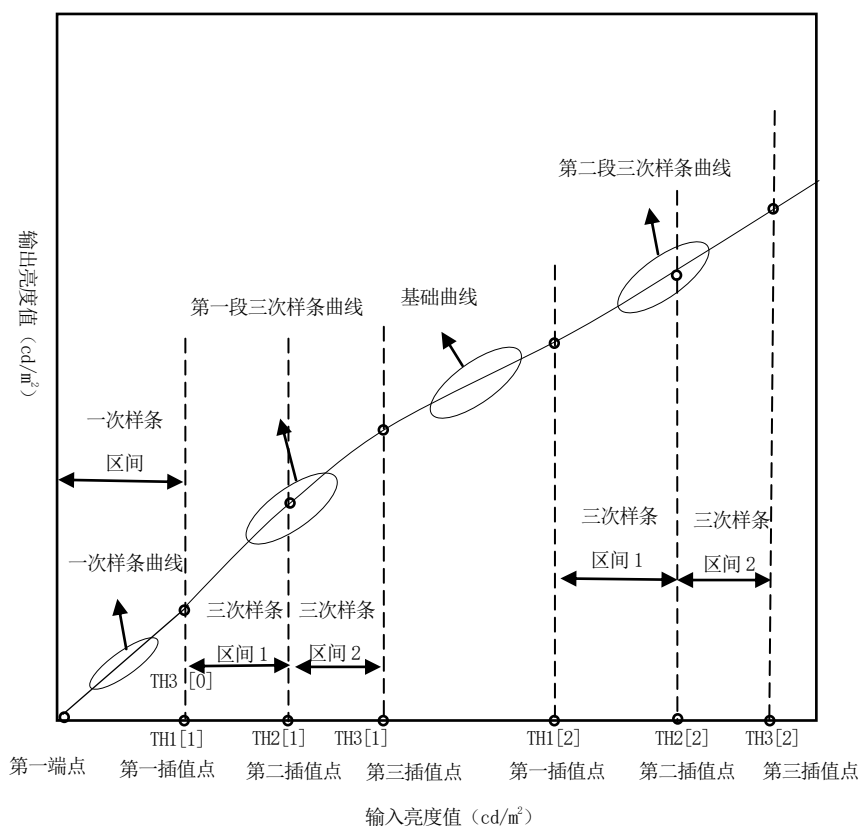


图3 色调映射曲线示意图

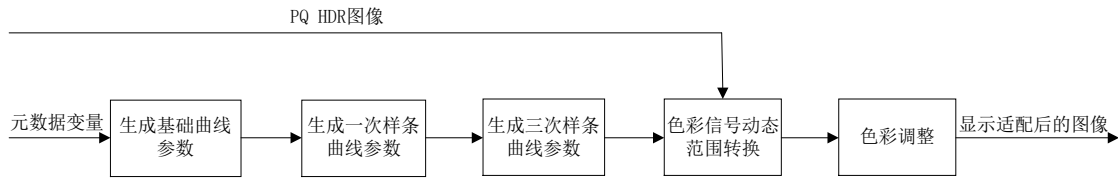


图 4 PQ 内容的 HDR 显示适配过程

输入：RGB像素缓冲区 $f[N_{\text{frame}}][3]$ (N_{frame} 为待处理帧总采样点数目)、元数据变量。

输出：经过HDR显示适配处理后的RGB像素缓冲区 $f_{\text{process}}[N_{\text{frame}}][3]$ 。

HDR显示适配过程如下：

- a) 按照10.2的规定生成基础曲线参数；
- b) 按照10.3的规定生成三次样条曲线参数；
- c) 按照10.4的规定生成经过动态范围转换处理的RGB像素缓冲区 $f_{\text{TM}}[N_{\text{frame}}][3]$ ；
- d) 按照10.5的规定生成 $f_{\text{process}}[N_{\text{frame}}][3]$ 。

10.2 基础曲线参数获得过程

10.2.1 概述

基础曲线参数获得过程如下。

- a) 计算最小亮度校正正值 min_lum ： $min_lum = minimum_maxrgb$ 。
- b) 根据10.2.2计算最大亮度校正正值 max_lum 。
- c) 计算基础曲线参数。
 - 1) 若 $tone_mapping_mode_flag$ 为0，则依次调用10.2.3和10.2.6获得基础曲线参数。
 - 2) 若 $tone_mapping_mode_flag$ 为1且 $base_flag$ 为0，则依次调用10.2.3和10.2.6获得基础曲线参数。
 - 3) 若 $tone_mapping_mode_flag$ 为1且 $base_flag$ 为1：

如果 $targeted_system_display_maximum_luminance$ 等于 $MaxDisplayPQ$ ，则 $m_p = m_{p_0}$ ， $m_a = m_{a_0}$ ， $m_m = m_{m_0}$ ， $m_n = m_{n_0}$ ， $m_b = m_{b_0}$ ， $K1 = k1_0$ ， $K2 = k2_0$ ， $K3 = k3_0$ ；

如果 $base_param_Delta_mode$ 为3，则 $m_p = m_{p_0}$ ， $m_a = m_{a_0}$ ， $m_m = m_{m_0}$ ， $m_n = m_{n_0}$ ， $m_b = m_{b_0}$ ， $K1 = k1_0$ ， $K2 = k2_0$ ， $K3 = k3_0$ ；

如果 $base_param_Delta_mode$ 为0或者2或者4或者6，则依次调用10.2.4和10.2.6获得基础曲线参数；

如果 $base_param_Delta_mode$ 为1或者5，则依次调用10.2.5和10.2.6获得基础曲线参数。

10.2.2 最大亮度校正正值 max_lum 计算过程

输入： $MaxDisplayPQ$ 、 $max_display_mastering_luminance$ 、 $maximum_maxrgb$ 、 $average_maxrgb$ 、 $variance_maxrgb$ 。

输出：最大亮度校正正值 max_lum 。

计算过程如下。

- a) 计算参考主监视器的显示亮度值 $MaxRefDisplay$ 。

$$MaxRefDisplay = PQ_EOTF^{-1}(max_display_mastering_luminance)。$$

b) 参考最大值MAX1计算见公式(11)。

$$MAX1 = \frac{B \times maximum_maxrgb + A \times (2 \times average_maxrgb)}{+(1 - A - B) \times (variance_maxrgb)} \dots\dots\dots (11)$$

式中, A、B为权重系数。A=(1-B) × (1-F(average_maxrgb ÷ maximum_maxrgb)), F(x)=0.5, A=0.4, B=0.2。

c) 最大亮度校正max_lum按照公式(12)进行计算。

$$max_lum = \begin{cases} MaxRefDisplay & MAX1 > MaxRefDisplay \\ MAX1 & MIN \leq MAX1 \leq MaxRefDisplay \\ MIN & MAX1 < MIN \end{cases} \dots\dots\dots (12)$$

式中, MIN =0.5081。

d) 若max_lum < MaxDisplayPQ, 则max_lum = MaxDisplayPQ。

10.2.3 基础曲线参数获得过程0

输入: MaxDisplayPQ、MinDisplayPQ、minimum_maxrgb、maximum_maxrgb、variance_maxrgb、average_maxrgb、max_lum。

输出: 色彩信号动态范围转换参数值m_p、m_m、m_n、m_a、m_b、K1、K2、K3。

基础曲线参数获得过程0步骤如下。

a) m_m =2.4, m_n =1, K1 =1, K2 =1, K3 =1, m_b = MinDisplayPQ。

b) m_p的中间变量m_p0按照公式(13)进行计算。

$$m_p0 = \begin{cases} p_{valueH0} & avgL > TPH0 \\ p_{valueH0} \times g0(w0) + p_{valueL0} \times (1 - g0(w0)) & TPL0 \leq avgL \leq TPH0 \\ p_{valueL0} & avgL < TPL0 \end{cases} \dots\dots (13)$$

式中, avgL通过公式(14)得到; w0通过公式(15)得到。

$$avgL = average_maxrg \dots\dots\dots (14)$$

$$w0 = \left(\frac{avgL - TPL0}{TPH0 - TPL0} \right) \dots\dots\dots (15)$$

公式(13)~公式(15)中, p_valueH0 =3.5, p_valueL0 =4.0, TPH0 =0.6, TPL0 =0.3; g0(x)为y = x。

c) 基础曲线参数m_p按照公式(16)进行计算。

$$m_p = \begin{cases} m_p0 + p_{deltaH1} & max_lum > TPH1 \\ m_p0 + p_{deltaH1} \times g1(w1) + p_{deltaL1} \times (1 - g1(w1)) & TPL1 \leq max_lum \leq TPH1 \\ m_p0 + p_{deltaL1} & max_lum < TPL1 \end{cases} (16)$$

式中, w1通过公式(17)得到。

$$w1 = \left(\frac{max_lum - TPL1}{TPH1 - TPL1} \right) \dots\dots\dots (17)$$

公式(16)和公式(17)中, p_deltaH1 =0.6, p_deltaL1 =0.0, TPH1 =0.9, TPL1 =0.75; g1(x)为y = x。

d) 基础曲线参数m_a按照公式(18)进行计算。

$$m_a = (MaxDisplayPQ - MinDisplayPQ) \div \left(\frac{m_p \times max_lum^{m_n}}{(K1 \times m_p - K2) \times max_lum^{m_n + K3}} \right)^{m_m} \dots\dots (18)$$

10.2.4 基础曲线参数获得过程 1

输入: $MaxDisplayPQ$ 、 $MinDisplayPQ$ 、 m_p_0 、 m_m_0 、 m_n_0 、 m_a_0 、 m_b_0 、 $k1_0$ 、 $k2_0$ 、 $k3_0$ 、 $targeted_system_display_maximum_luminance$ 、 $base_param_Delta$ 。

输出: m_p 、 m_m 、 m_n 、 m_a 、 m_b 、 $K1$ 、 $K2$ 、 $K3$ 。

获得过程如下:

- a) $m_m = m_m_0$, $m_n = m_n_0$, $K1 = k1_0$, $K2 = k2_0$, $K3 = k3_0$;
- b) $m_b = m_b_0 \times ((MaxDisplayPQ - MinDisplayPQ) \div targeted_system_display_maximum_luminance)$;
- c) $m_a = m_a_0 \times ((MaxDisplayPQ - MinDisplayPQ) \div targeted_system_display_maximum_luminance)$;
- d) $m_p0 = m_p_0 + base_param_Delta \times (Abs((PQ_EOTF(MaxDisplayPQ) - PQ_EOTF(targeted_system_display_maximum_luminance))) \div 100)^N$, 其中 $N = 0.5$, PQ_EOTF 应符合 GY/T 315—2018 的规定;
- e) $m_p = Clip3(3.0, 7.5, m_p0)$ 。

10.2.5 基础曲线参数获得过程 2

输入: $MaxDisplayPQ$ 、 $MinDisplayPQ$ 、 m_p_0 、 m_m_0 、 m_n_0 、 m_a_0 、 m_b_0 、 $k1_0$ 、 $k2_0$ 、 $k3_0$ 、 $targeted_system_display_maximum_luminance$ 、 $base_param_Delta$ 、 $minimum_maxrgb_pq$ 、 $maximum_maxrgb_pq$ 、 $variance_maxrgb_pq$ 、 $average_maxrgb_pq$ 、 max_lum 。

输出: 基础曲线参数 m_p 、 m_m 、 m_n 、 m_a 、 m_b 、 $K1$ 、 $K2$ 、 $K3$ 。

获得过程如下。

- a) 根据 $MaxDisplayPQ$ 、 $MinDisplayPQ$ 、 $minimum_maxrgb_pq$ 、 $maximum_maxrgb_pq$ 、 $variance_maxrgb_pq$ 、 $average_maxrgb_pq$, 调用 10.2.3 获得 m_p_1 、 m_m_1 、 m_n_1 、 m_a_1 、 m_b_1 、 $K1_1$ 、 $K2_1$ 、 $K3_1$ 。
- b) $w0 = base_param_Delta \times (Abs((PQ_EOTF(MaxDisplayPQ) - PQ_EOTF(targeted_system_display_maximum_luminance))) \div 100)^N$, 其中 $N = 0.5$ 。
- c) $w = Clip3(0.0, 1.0, w0)$ 。
- d) $m_p = (1-w) \times m_p_0 + w \times m_p_1$,
 $m_m = (1-w) \times m_m_0 + w \times m_m_1$,
 $m_n = (1-w) \times m_n_0 + w \times m_n_1$,
 $K1 = (1-w) \times k1_0 + w \times K1_1$,
 $K2 = (1-w) \times k2_0 + w \times K2_1$,
 $K3 = (1-w) \times k3_0 + w \times K3_1$ 。
- e) $m_b = MinDisplayPQ$ 。
- f) 基础曲线参数 m_a 按照公式 (19) 进行计算。

$$m_a = \frac{(MaxDisplayPQ - MinDisplayPQ)}{\left(\frac{m_p \times MaxSource^{m_n}}{(K1 \times m_p - K2) \times MaxSource^{m_n + K3}}\right)^{m_m}} \dots \dots \dots (19)$$

式中, $MaxSource = max_lum$ 。

10.2.6 基础曲线参数获得过程 3

输入： m_p 、 m_m 、 m_n 、 m_a 、 m_b 、 $K1$ 、 $K2$ 、 $K3$ 、 $3Spline_TH0$ 、 $3Spline_TH_Delta10$ 、 $3Spline_TH_Delta20$ 。

输出： m_b 。

获得过程如下。

a) 计算 m_{b0} ：

如果 $base_param_Delta_modebase_param_Delta$ 大于等于3，或者 $base_flag$ 等于0时，则 m_b 的中间变量 m_{b0} 按照公式（20）进行计算。

$$m_{b0} = m_b \dots\dots\dots (20)$$

否则 m_{b0} 按照公式（21）进行计算。

$$m_{b0} = \begin{cases} m_b & m_a \leq m_{a_T} \\ (1 - WA) \times m_b & \text{其他} \end{cases} \dots\dots\dots (21)$$

式中， WA 通过公式（22）得到， m_{a_T} 通过公式（23）得到。

$$WA = \left(\frac{MaxDisplayPQ}{max_lum} - \frac{H(max_lum)}{max_lum} \right) \div \left(1 - \frac{H(max_lum)}{max_lum} \right) \dots\dots\dots (22)$$

$$m_{a_T} = \begin{cases} 0.990 & m_p < 2.5 \\ 0.990 - (m_p - 2.5) \times 0.111 & 2.5 \leq m_p < 3.5 \\ 0.879 - (m_p - 3.5) \times 0.102 & 3.5 \leq m_p < 4.5 \\ 0.777 - (m_p - 4.5) \times 0.079 & 4.5 \leq m_p < 7.5 \\ 0.540 & m_p \geq 7.5 \end{cases} \dots\dots\dots (23)$$

式中， $H(max_lum)$ 通过公式（24）得到。

$$H(max_lum) = m_{a_T} \times \left(\frac{m_p \times max_lum^{m_n}}{(K1 \times m_p - K2) \times max_lum^{m_n + K3}} \right)^{m_m} \dots\dots\dots (24)$$

b) 第三插值点 $TH3[1]$ 按照公式（25）进行计算；第三插值点 $TH3[1]$ 在基础曲线的输出值 $VA3$ 按照公式（26）进行计算。

$$TH3[1] = 3Spline_TH0 + 3Spline_TH_Delta10 + 3Spline_TH_Delta20 \dots\dots\dots (25)$$

$$VA3 = m_a \times \left(\frac{m_p \times TH3[1]^{m_n}}{(K1 \times m_p - K2) \times TH3[1]^{m_n + K3}} \right)^{m_m} + m_{b0} \dots\dots\dots (26)$$

c) 计算 m_b ：

如果 $VA3 > TH3[1]$ 且 $VA3 > 0$ ，且 $base_param_Delta_modebase_param_Delta$ 不为2、3、6时，则 m_b 按照公式（27）进行计算。

$$m_b = m_{b0} - (VA3 - TH3[1]) \dots\dots\dots (27)$$

否则 m_b 按照公式（28）进行计算。

$$m_b = m_{b0} \dots\dots\dots (28)$$

10.3 三次样条曲线参数获得过程

10.3.1 概述

三次样条曲线参数获得过程如下，见图3。

a) 计算 $3Spline_num$ 和 $3Spline_TH_mode$ ：

如果 $tone_mapping_mode_flag$ 为0， $3Spline_num = 1$ ， $3Spline_TH_mode = 0$ ；

否则， $3Spline_num$ 和 $3Spline_TH_mode$ 根据第9章得到。

b) 计算三次样条曲线参数。

如果 $tone_mapping_mode_flag$ 为0, 则依次调用10.3.2.2和10.3.3.2, 获得三次样条曲线参数值。

如果 $tone_mapping_mode_flag$ 为1时。

- $3Spline_flag$ 为0时, 则依次调用10.3.2.2以及10.3.2.4和10.3.3.2, 获得三次样条映射曲线参数值。
- $3Spline_flag$ 为1时, 如果 $3Spline_TH_mode$ 为0, 则依次调用10.3.2.3以及10.3.2.4获得一次样条曲线参数; 调用10.3.3.3获得第一段三次样条曲线参数值。
- $3Spline_flag$ 为1时, 如果 $3Spline_TH_mode$ 不为0, 则依次调用10.3.2.2以及10.3.2.4获得一次样条曲线参数; 调用10.3.3.2获得第一段三次样条曲线参数值; 然后调用10.3.3.4获得第二段三次样条曲线参数值。

c) 如果 $3Spline_num$ 等于2, 则调用10.3.3.4获得第二段三次样条曲线参数值。

10.3.2 一次样条曲线参数获得过程

10.3.2.1 一次样条曲线

第一端点和第一插值点 $TH3[0]$ 之间的曲线为一次样条曲线, 见公式(29)。

$$F(L) = MB[0][0] \times L + base_offset \dots\dots\dots (29)$$

10.3.2.2 一次样条曲线参数获得过程0

输入: $average_maxrgb$ 。

输出: $TH3[0]$ 、 $MB[0][0]$ 、 $base_offset$ 。

一次样条曲线参数获得过程0步骤如下。

a) 第一插值点 $TH3[0]$ 按照公式(30)进行计算。

$$TH3[0] = \begin{cases} T_{dmaxL2} & avgL > HLMAXH2 \\ (T_{dmaxL2} \times g2(w2) + T_{dmaxH2} \times (1 - g2(w2))) & HLMAXL2 \leq avgL \leq HLMAXH2 \\ T_{dmaxH2} & avgL < HLMAXL2 \end{cases} \quad (30)$$

式中, $T_{dmaxH2} = 0.25$; $T_{dmaxL2} = 0.1$; $g2(x) = x^N$, $N = 1$; $avgL$ 通过公式(31)得到; $w2$ 通过公式(32)得到。

$$avgL = average_maxrgb \dots\dots\dots (31)$$

$$w2 = \left(\frac{avgL - HLMAXL2}{HLMAXH2 - HLMAXL2} \right) \dots\dots\dots (32)$$

公式(31)和公式(32)中, $HLMAXH2 = 0.6$; $HLMAXL2 = 0.3$ 。

b) $base_offset = 0$ 。

c) 斜率 $MB[0][0]$ 通过公式(33)得到。

$$MB[0][0] =$$

$$\begin{cases} S_{dmaxL3} & avgL > AVMAXH3 \\ S_{dmaxL3} \times g3(W3) + S_{dmaxH3} \times (1 - g3(W3)) & AVMAXL3 \leq avgL \leq AVMAXH3 \dots\dots\dots (33) \\ S_{dmaxH3} & avgL < AVMAXL3 \end{cases}$$

式中, $S_{dmaxH3} = 1.0$; $S_{dmaxL3} = 0.96$; $g3(x) = x^N$, $N = 1$; $avgL$ 通过公式(34)得到; $w3$ 通过公式(35)得到。

$$avgL = average_maxrgb \dots \dots \dots (34)$$

$$w3 = \left(\frac{avgL - AVMAXL3}{AVMAXH3 - AVMAXL3} \right) \dots \dots \dots (35)$$

公式 (34) 和公式 (35) 中, $AVMAXH3=0.6$; $AVMAXL3=0.3$ 。

10.3.2.3 一次样条曲线参数获得过程 1

输入: $3Spline_TH0$ 、 $3Spline_TH_MB0$ 、 $base_offset$ 。

输出: $TH3[0]$ 、 $MB[0][0]$ 、 $base_offset$ 。

第一插值点 $TH3[0]$ 按照公式 (36) 进行计算; 斜率 $MB[0][0]$ 按照公式 (37) 进行计算; 偏移量 $base_offset$ 按照公式 (38) 进行计算。

$$TH3[0] = 3Spline_TH0 \dots \dots \dots (36)$$

$$MB[0][0] = 3Spline_TH_MB0 \dots \dots \dots (37)$$

$$base_offset = base_offset \dots \dots \dots (38)$$

10.3.2.4 一次样条曲线参数获得过程 0

输入: $MaxDisplayPQ$ 、 max_lum 、 $MB[0][0]$ 、 $TH3[0]$ 、 m_p 、 m_m 、 m_n 、 m_a 、 m_b 、 $K1$ 、 $K2$ 、 $K3$ 。

输出: $MB[0][0]$ 、 $TH3[0]$ 。

获得过程如下:

- 如果 $base_param_Delta_mode$ 大于等于3, 或者 $base_flag$ 等于0时, 则跳过步骤b) ~ 步骤e)。
- $MB_mid[0][0] = MB[0][0]$, $TH3_mid[0] = TH3[0]$ 。
- 计算 m_a_T :
如果 $m_p < 2.5$, $m_a_T = 0.990$;
如果 $2.5 \leq m_p < 3.5$, $m_a_T = 0.990 - (m_p - 2.5) \times 0.111$;
如果 $3.5 \leq m_p < 4.5$, $m_a_T = 0.879 - (m_p - 3.5) \times 0.102$;
如果 $4.5 \leq m_p < 7.5$, $m_a_T = 0.777 - (m_p - 4.5) \times 0.079$;
如果 $m_p \geq 7.5$, $m_a_T = 0.540$ 。
- 如果 m_a 小于等于 m_a_T , 则跳过步骤e)。
- 斜率 $MB[0][0]$ 按照公式 (39) 进行计算, 第一插值点 $TH3[0]$ 按照公式 (40) 进行计算。

$$MB[0][0] = \text{Min}(\text{Max}(MB_mid[0][0] + (1 - MB_mid[0][0]) \times (WA)^{N1}, MB_mid[0][0]), 1) \dots (39)$$

$$TH3[0] = \text{Min}(\text{Max}(TH3_mid[0] + (max_lum - TH3_mid[0]) \times (WA)^{N2}, TH3_mid[0]), 1) \dots (40)$$

公式 (39) 和公式 (40) 中, $N1=1.0$, $N2=1.0$, WA 通过公式 (41) 进行计算。

$$WA = \left(\frac{MaxDisplayPQ}{max_lum} - \frac{H(max_lum)}{max_lum} \right) \div \left(1 - \frac{H(max_lum)}{max_lum} \right) \dots \dots \dots (41)$$

式中, $H(max_lum)$ 按照公式 (42) 进行计算。

$$H(max_lum) = m_a_T \times \left(\frac{m_p \times max_lum^{m_n}}{(K1 \times m_p - K2) \times max_lum^{m_n + K3}} \right)^{m_m} \dots \dots \dots (42)$$

10.3.3 三次样条曲线参数获得过程

10.3.3.1 三次样条曲线

第一插值点 $TH1[n]$ 和第二插值点 $TH2[n]$ 之间的曲线为三次样条区间1曲线，见公式（43）。

$$F(L) = MD[0][n] \times (L - TH1[n])^3 + MC[0][n] \times (L - TH1[n])^2 + MB[0][n] \times (L - TH1[n]) + MA[0][n] \dots (43)$$

式中， L 为区间 $[TH1[n], TH2[n]]$ 中的自变量。

第二插值点 $TH2[n]$ 和第三插值点 $TH3[n]$ 之间的曲线为三次样条区间2曲线，见公式（44）。

$$F(L) = MD[1][n] \times (L - TH2[n])^3 + MC[1][n] \times (L - TH2[n])^2 + MB[1][n] \times (L - TH2[n]) + MA[1][n] \dots (44)$$

式中， L 为区间 $[TH2[n], TH3[n]]$ 中的自变量， $0 < n \leq 3Spline_num$ 。

10.3.3.2 三次样条曲线参数获得过程 0

输入： $TH3[0]$ 、 $MB[0][0]$ 、 $base_offset$ 、 m_p 、 m_m 、 m_n 、 m_a 、 m_b 、 $K1$ 、 $K2$ 、 $K3$ 。

输出： $TH1[1]$ 、 $TH2[1]$ 、 $TH3[1]$ 、 $MA[0][1]$ 、 $MB[0][1]$ 、 $MC[0][1]$ 、 $MD[0][1]$ 、 $MA[1][1]$ 、 $MB[1][1]$ 、 $MC[1][1]$ 、 $MD[1][1]$ 。

获得过程如下。

- a) 第一插值点 $TH1[1]$ 按照公式（45）进行计算；第二插值点 $TH2[1]$ 按照公式（46）进行计算；第三插值点 $TH3[1]$ 按照公式（47）进行计算。

$$TH1[1] = TH3[0] \dots (45)$$

$$TH2[1] = TH1[1] + B \dots (46)$$

$$TH3[1] = TH2[1] + C \times TH2[1] - D \times TH1[1] \dots (47)$$

公式（46）和公式（47）中 $B = 0.15$ ， $C = 0.5$ ， $D = 0.5$ 。

- b) 计算 $MA[0][1]$ 、 $MB[0][1]$ 、 $MC[0][1]$ 、 $MD[0][1]$ 、 $MA[1][1]$ 、 $MB[1][1]$ 、 $MC[1][1]$ 、 $MD[1][1]$ 的过程如下。

- 1) 第一插值点 $TH1[1]$ 在一次样条曲线的输出值 $VA1$ 按照公式（48）进行计算；第三插值点 $TH3[1]$ 在基础曲线的输出值 $VA3$ 按照公式（49）进行计算；第二插值点 $TH2[1]$ 在曲线的输出值 $VA2$ 按照公式（50）进行计算。

$$VA1 = MB[0][0] \times TH1[1] + base_offset \dots (48)$$

$$VA3 = m_a \times \left(\frac{m_p \times TH3[1]^{m_n}}{(K1 \times m_p - K2) \times TH3[1]^{m_n + K3}} \right)^{m_m} + m_b \dots (49)$$

$$VA2 = VA1 + \frac{(TH2[1] - TH1[1]) \times (VA3 - VA1)}{TH3[1] - TH1[1]} \dots (50)$$

- 2) 三次样条区间1曲线参数 $MA[0][1]$ 按照公式（51）进行计算；三次样条区间2曲线参数 $MA[1][1]$ 按照公式（52）进行计算。

$$MA[0][1] = VA1 \dots (51)$$

$$MA[1][1] = VA2 \dots (52)$$

- 3) 第一插值点 $TH1[1]$ 在曲线的斜率 $GD1$ 按照公式（53）进行计算；三次样条区间1曲线参数 $MB[0][1]$ 按照公式（54）进行计算；第三插值点 $TH3[1]$ 在曲线的斜率 $GD3$ 按照公式（55）进行计算。

$$GD1 = MB[0][0] \dots (53)$$

$$MB[0][1] = MB[0][0] \dots (54)$$

$$GD3 = m_a \times m_m \times m_p \times K3 \times m_n \times TH3[1]^{m_n - 1} \times DGD3(L) \dots (55)$$

式中， $DGD3(L)$ 通过公式（56）得到。

$$DGD3(L) = \left(\frac{m_p \times TH3[1]^{m_n}}{(K1 \times m_p - K2) \times TH3[1]^{m_n + K3}} \right)^{m_m + 1} \times \left(\frac{1}{TH3[1]^{m_n} \times m_p} \right)^2 \dots (56)$$

- 4) 计算三次样条区间1曲线参数 $MC[0][1]$ 按照公式(57)进行计算、三次样条区间1曲线参数 $MD[0][1]$ 按照公式(58)进行计算、三次样条区间2曲线参数 $MB[1][1]$ 按照公式(59)进行计算、三次样条区间2曲线参数 $MC[1][1]$ 按照公式(60)进行计算、三次样条区间2曲线参数 $MD[1][1]$ 按照公式(61)进行计算。

$$MC[0][1] = \frac{3.0 \times VA2 - 2.0 \times GD1 \times h1 - 3.0 \times VA1 - MB[1][1] \times h1}{h1 \times h1} \dots\dots\dots (57)$$

$$MD[0][1] = \frac{h1 \times GD1 + h1 \times MB[1][1] + 2 \times VA1 - 2.0 \times VA2}{h1 \times h1 \times h1} \dots\dots\dots (58)$$

$$MB[1][1] = \frac{-3.0 \times VA1 \times h2 \times h2 - 3.0 \times VA2 \times h1 \times h1 + 3.0 \times VA3 \times h1 \times h1 + 3.0 \times h2 \times h2 \times VA2 - h1 \times h1 \times h2 \times GD3 - GD1 \times h1 \times h2 \times h2}{2.0 \times h2 \times (h1 \times h1 + h2 \times h1)} \dots\dots\dots (59)$$

$$MC[1][1] = MC[0][1] + 3.0 \times MD[0][1] \times h1 \dots\dots\dots (60)$$

$$MD[1][1] = -\frac{VA3 - VA2 - h2 \times GD3 + MC[0][1] \times h2 \times h2 + 3 \times MD[0][1] \times h1 \times h2 \times h2}{2 \times h2 \times h2 \times h2} \dots\dots\dots (61)$$

公式(57)~公式(61)中, $h1$ 是三次样条区间1表示, 见公式(62); $h1$ 是三次样条区间2表示, 见公式(63)。

$$h1 = TH2[1] - TH1[1] \dots\dots\dots (62)$$

$$h2 = TH3[1] - TH2[1] \dots\dots\dots (63)$$

10.3.3.3 三次样条曲线参数获得过程 1

输入: $TH3[0]$ 、 $MB[0][0]$ 、 $base_offset$ 、 $3Spline_TH_Delta10$ 、 $3Spline_TH_Delta20$ 、 $3Spline_Strength0$ 、 m_p 、 m_m 、 m_n 、 m_a 、 m_b 、 $K1$ 、 $K2$ 、 $K3$ 。

输出: $TH1[1]$ 、 $TH2[1]$ 、 $TH3[1]$ 、 $MA[0][1]$ 、 $MB[0][1]$ 、 $MC[0][1]$ 、 $MD[0][1]$ 、 $MA[1][1]$ 、 $MB[1][1]$ 、 $MC[1][1]$ 、 $MD[1][1]$ 。

获得过程如下。

- a) 第一插值点 $TH1[1]$ 按照公式(64)进行计算、第二插值点 $TH2[1]$ 按照公式(65)进行计算、第三插值点 $TH3[1]$ 按照公式(66)进行计算。

$$TH1[1] = TH3[0] \dots\dots\dots (64)$$

$$TH2[1] = TH1[1] + 3Spline_TH_Delta10 \dots\dots\dots (65)$$

$$TH3[1] = TH1[1] + 3Spline_TH_Delta10 + 3Spline_TH_Delta20 \dots\dots\dots (66)$$

- b) 计算 $MA[0][1]$ 、 $MB[0][1]$ 、 $MC[0][1]$ 、 $MD[0][1]$ 、 $MA[1][1]$ 、 $MB[1][1]$ 、 $MC[1][1]$ 、 $MD[1][1]$ 的过程如下。

- 1) 第一插值点 $TH1[1]$ 在一次样条曲线的输出值 $VA1$ 按照公式(67)进行计算、第三插值点 $TH3[1]$ 在基础曲线的输出值 $VA3$ 按照公式(68)进行计算。

$$VA1 = MB[0][0] \times TH1[1] + base_offset \dots\dots\dots (67)$$

$$VA3 = m_a \times \left(\frac{m_p \times TH3[1]^{m_n}}{(K1 \times m_p - K2) \times TH3[1]^{m_n} + K3} \right)^{m_m} + m_b \dots\dots\dots (68)$$

- 2) 如果 $VA3 > TH3[1]$, 且 $base_param_Delta_mode$ 不为 2、3、6 时, 更新 $VA3$, 见公式(69)。

$$VA3 = TH3[1] \dots\dots\dots (69)$$

- 3) 第二插值点 $TH2[1]$ 在曲线的输出值 $VA2$ 按照公式(70)进行计算。

$$VA2 = VA1 + \frac{(TH2[1]-TH1[1]) \times (VA3-VA1)}{TH3[1]-TH1[1]} + \frac{(VA3-VA1) \times Spline_Strength0}{2} \dots\dots\dots (70)$$

如果 $VA2 > TH2[1]$ ，且 $base_param_Delta_mode$ 不为2、3、6时，更新 $VA2$ ，见公式(71)。

$$VA2 = TH2[1] \dots\dots\dots (71)$$

- 4) 三次样条区间 1 曲线参数 $MA[0][1]$ 按照公式(72)进行计算、三次样条区间 2 曲线参数 $MA[1][1]$ 按照公式(73)进行计算。

$$MA[0][1] = VA1 \dots\dots\dots (72)$$

$$MA[1][1] = VA2 \dots\dots\dots (73)$$

- 5) 三次样条区间 1 曲线参数 $MB[0][1]$ 按照公式(74)进行计算、第一插值点 $TH1[1]$ 在曲线的斜率 $GD1$ 按照公式(75)进行计算、第三插值点 $TH3[1]$ 在曲线的斜率 $GD3$ 按照公式(76)进行计算。

$$MB[0][1] = MB[0][0] \dots\dots\dots (74)$$

$$GD1 = MB[0][0] \dots\dots\dots (75)$$

$$GD3 = m_a \times m_m \times m_p \times K3 \times m_n \times TH3[1]^{m-n-1} \times DGD3(L) \dots\dots\dots (76)$$

式中， $DGD3(L)$ 通过公式(77)得到。

$$DGD3(L) = \left(\frac{m_p \times TH3[1]^{m-n}}{(K1 \times m_p - K2) \times TH3[1]^{m-n} + K3} \right)^{m-m+1} \times \left(\frac{1}{TH3[1]^{m-n} \times m_p} \right)^2 \dots\dots\dots (77)$$

- 6) 三次样条区间 1 曲线参数 $MC[0][1]$ 按照公式(78)进行计算、三次样条区间 1 曲线参数 $MD[0][1]$ 按照公式(79)进行计算、三次样条区间 2 曲线参数 $MB[1][1]$ 按照公式(80)进行计算、三次样条区间 2 曲线参数 $MC[1][1]$ 按照公式(81)进行计算、三次样条区间 2 曲线参数 $MD[1][1]$ 按照公式(82)进行计算。

$$MC[0][1] = \frac{3.0 \times VA2 - 2.0 \times GD1 \times h1 - 3.0 \times VA1 - MB[1][1] \times h1}{h1 \times h1} \dots\dots\dots (78)$$

$$MD[0][1] = \frac{h1 \times GD1 + h1 \times MB[1][1] + 2 \times VA1 - 2.0 \times VA2}{h1 \times h1 \times h1} \dots\dots\dots (79)$$

$$MB[1][1] =$$

$$\frac{-3.0 \times VA1 \times h2 \times h2 - 3.0 \times VA2 \times h1 \times h1 + 3.0 \times VA3 \times h1 \times h1 + 3.0 \times h2 \times h2 \times VA2 - h1 \times h1 \times h2 \times GD3 - GD1 \times h1 \times h2 \times h2}{2.0 \times h2 \times (h1 \times h1 + h2 \times h1)} \dots\dots (80)$$

$$MC[1][1] = MC[0][1] + 3.0 \times MD[0][1] \times h1 \dots\dots\dots (81)$$

$$MD[1][1] = - \frac{VA3 - VA2 - h2 \times GD3 + MC[0][1] \times h2 \times h2 + 3 \times MD[0][1] \times h1 \times h2 \times h2}{2 \times h2 \times h2 \times h2} \dots\dots\dots (82)$$

公式(78)~公式(82)中， $h1$ 是三次样条区间1表示，见公式(83)； $h2$ 是三次样条区间2表示，见公式(84)。

$$h1 = TH2[1] - TH1[1] \dots\dots\dots (83)$$

$$h2 = TH3[1] - TH2[1] \dots\dots\dots (84)$$

10.3.3.4 三次样条曲线参数获得过程 2

输入：3Spline_TH1、3Spline_TH_MB1、3Spline_TH_Delta11、3Spline_TH_Delta21、3Spline_Strength1、 m_p 、 m_m 、 m_n 、 m_a 、 m_b 、 $K1$ 、 $K2$ 、 $K3$ 。

输出： $TH1[2]$ 、 $TH2[2]$ 、 $TH3[2]$ 、 $MA[0][2]$ 、 $MB[0][2]$ 、 $MC[0][2]$ 、 $MD[0][2]$ 、 $MA[1][2]$ 、

$MB[1][2]$ 、 $MC[1][2]$ 、 $MD[1][2]$ 、 $3Spline_num$ 。

获得过程如下。

- a) 第一插值点 $TH1[2]$ 按照公式 (85) 进行计算、第二插值点 $TH2[2]$ 按照公式 (86) 进行计算、第三插值点 $TH3[2]$ 按照公式 (87) 进行计算。

$$TH1[2] = Spline_TH1 \dots \dots \dots (85)$$

$$TH2[2] = 3Spline_TH1 + 3Spline_TH_Delta11 \dots \dots \dots (86)$$

$$TH3[2] = 3Spline_TH1 + 3Spline_TH_Delta11 + 3Spline_TH_Delta21 \dots \dots \dots (87)$$

如果 $TH3[2] < TH3[1]$ ，则 $3Spline_num = 1$ ，并跳过步骤 b) ~ 步骤 j)；

如果 $TH1[2] < TH3[1]$ ，则 $TH1[2]$ 按照公式 (88) 进行计算； $TH2[2]$ 按照公式 (89) 进行计算。

$$TH1[2] = TH3[1] \dots \dots \dots (88)$$

$$TH2[2] = (TH1[2] + TH3[2]) \div 2 \dots \dots \dots (89)$$

- b) 第一插值点 $TH1[2]$ 在基础曲线的输出值 $VA1$ 按照公式 (90) 进行计算、第三插值点 $TH3[2]$ 在基础曲线的输出值 $VA3$ 按照公式 (91) 进行计算。

$$VA1 = m_a \times \left(\frac{m_p \times TH1[2]^{m_n}}{(K1 \times m_p - K2) \times TH1[2]^{m_n + K3}} \right)^{m_m} + m_b \dots \dots \dots (90)$$

$$VA3 = m_a \times \left(\frac{m_p \times TH3[2]^{m_n}}{(K1 \times m_p - K2) \times TH3[2]^{m_n + K3}} \right)^{m_m} + m_b \dots \dots \dots (91)$$

- c) 更新 $VA3$ 、 $TH3[2]$ 、 $TH2[2]$ ：

如果 $3Spline_TH_mode$ 为 1 或 2，且 $base_param_Delta_mode$ 不等于 3 时，则 $VA3$ 按照公式 (92) 进行计算。

$$VA3 = MaxDisplayPQ \dots \dots \dots (92)$$

如果更新后的 $VA3 > TH3[2]$ ，且 $base_param_Delta_mode$ 不为 2、6 时，则 $TH3[2]$ 按照公式 (93) 进行计算； $TH2[2]$ 按照公式 (94) 进行计算。

$$TH3[2] = VA3 \dots \dots \dots (93)$$

$$TH2[2] = TH1[2] + (TH3[2] - TH1[2]) \div 2.0 \dots \dots \dots (94)$$

如果 $3Spline_TH_mode$ 为 1 或 2，且 $base_param_Delta_mode$ 等于 3 时，则 $VA3$ 按照公式 (95) 进行计算。

$$VA3 = targeted_system_display_maximum_luminance \dots \dots \dots (95)$$

- d) 第二插值点 $TH2[2]$ 在曲线的输出值 $VA2$ 按照公式 (96) 进行计算。

$$VA2 = VA1 + \frac{(TH2[2] - TH1[2]) \times (VA3 - VA1)}{TH3[2] - TH1[2]} + \frac{(VA3 - VA1) \times Spline_Strength1}{2} \dots \dots \dots (96)$$

- e) 如果 $3Spline_TH_mode$ 为1或2，且 $VA2 > TH2[2]$ ，且 $base_param_Delta_mode$ 不为2、3、6时，更新后的 $VA2$ 见公式 (97)。

$$VA2 = TH2[2] \dots \dots \dots (97)$$

- f) 三次样条区间1曲线参数 $MA[0][2]$ 按照公式 (98) 进行计算、三次样条区间2曲线参数 $MA[1][2]$ 按照公式 (99) 进行计算。

$$MA[0][2] = VA1 \dots \dots \dots (98)$$

$$MA[1][2] = VA2 \dots \dots \dots (99)$$

- g) 第一插值点 $TH1[2]$ 在曲线的斜率 $GD1$ 按照公式 (100) 进行计算、三次样条区间1曲线参数 $MB[0][2]$ 按照公式 (101) 进行计算。

$$GD1 = m_a \times m_m \times m_p \times K3 \times m_n \times TH1[2]^{m_n - 1} \times DGD(L) \dots \dots \dots (100)$$

$$MB[0][2] = GD1 \dots\dots\dots (101)$$

式中, $DGD(L)$ 通过公式 (102) 得到。

$$DGD(L) = \left(\frac{m_p \times TH1[2]^{m_n}}{(K1 \times m_p - K2) \times TH1[2]^{m_n + K3}} \right)^{m_m + 1} \times \left(\frac{1}{TH1[2]^{m_n \times m_p}} \right)^2 \dots\dots\dots (102)$$

h) 计算 $GD3$:

如果 $3Spline_TH_mode$ 为1, 第一插值点 $TH3[2]$ 在曲线的斜率 $GD3$ 按照公式 (103) 进行计算。

$$GD3 = \begin{cases} (down_T \times (-TH_str) + mid_T \times (1 + TH_str)), & TH_str < 0 \\ (up_T \times TH_str + mid_T \times (1 - TH_str)), & TH_str \geq 0 \end{cases} \dots\dots\dots (103)$$

式中, TH_str 按照公式 (104) 进行计算, mid_T 按照公式 (105) 进行计算, $down_T$ 按照公式 (106) 进行计算, up_T 按照公式 (107) 进行计算。

$$TH_str = Spline_Strength[1] \dots\dots\dots (104)$$

$$mid_T = (VA3 - VA1) \div (TH3[2] - TH1[2]) \dots\dots\dots (105)$$

$$down_T = \max(GD1, down_T1) \dots\dots\dots (106)$$

$$up_T = \max(GD1, up_T1) \dots\dots\dots (107)$$

公式 (106) 中, $GD1$ 通过公式 (100) 得到, $down_T1$ 通过公式 (108) 得到; 公式 (107) 中, $GD1$ 通过公式 (100) 得到, up_T1 通过公式 (109) 得到。

$$down_T1 = (VA3 - VA1) \times 0.1 \div (TH3[2] - TH1[2]) \dots\dots\dots (108)$$

$$up_T1 = (VA3 - VA1) \div (TH3[2] - TH2[2]) \dots\dots\dots (109)$$

如果 $3Spline_TH_mode$ 为2, 则 $GD3$ 通过公式 (110) 得到。

$$GD3 = GD2 - 3Spline_TH_MB \dots\dots\dots (110)$$

如果 $3Spline_TH_mode$ 为3, 则 $GD3 = GD2$, 其中 $GD2$ 通过公式 (111) 得到。

$$GD2 = m_a \times m_m \times m_p \times K3 \times m_n \times TH3[2]^{m_n - 1} \times DGD3(L) \dots\dots\dots (111)$$

式中, $DGD3(L)$ 通过公式 (112) 得到。

$$DGD3(L) = \left(\frac{m_p \times TH3[2]^{m_n}}{(K1 \times m_p - K2) \times TH3[2]^{m_n + K3}} \right)^{m_m + 1} \times \left(\frac{1}{TH3[2]^{m_n \times m_p}} \right)^2 \dots\dots\dots (112)$$

i) 更新 $GD3$: 如果 $3Spline_TH_mode$ 为1或者2, $VA3$ 等于 $TH3[2]$, 且 $base_param_Delta_mode$ 不为2、3、6, $GD3 = 1.0$ 。

j) 三次样条区间1曲线参数 $MC[0][2]$ 按照公式 (113) 进行计算、三次样条区间1曲线参数 $MD[0][2]$ 按照公式 (114) 进行计算、三次样条区间2曲线参数 $MB[1][2]$ 按照公式 (115) 进行计算、三次样条区间2曲线参数 $MC[1][2]$ 按照公式 (116) 进行计算、三次样条区间2曲线参数 $MD[1][2]$ 按照公式 (117) 进行计算。

$$MC[0][2] = \frac{3.0 \times VA2 - 2.0 \times GD1 \times h1 - 3.0 \times VA1 - MB[1][2] \times h1}{h1 \times h1} \dots\dots\dots (113)$$

$$MD[0][2] = \frac{h1 \times GD1 + h1 \times MB[1][2] + 2 \times VA1 - 2.0 \times VA2}{h1 \times h1 \times h1} \dots\dots\dots (114)$$

$MB[1][2] =$

$$\frac{-3.0 \times VA1 \times h2 \times h2 - 3.0 \times VA2 \times h1 \times h1 + 3.0 \times VA3 \times h1 \times h1 + 3.0 \times h2 \times h2 \times VA2 - h1 \times h1 \times h2 \times GD3 - GD1 \times h1 \times h2 \times h2}{2.0 \times h2 \times (h1 \times h1 + h2 \times h1)} \dots\dots\dots (115)$$

$$MC[1][2] = MC[0][2] + 3.0 \times MD[0][2] \times h1 \dots\dots\dots (116)$$

$$MD[1][2] = - \frac{VA3 - VA2 - h2 \times GD3 + MC[0][2] \times h2 \times h2 + 3 \times MD[0][2] \times h1 \times h2 \times h2}{2 \times h2 \times h2 \times h2} \dots\dots\dots (117)$$

公式 (113) ~ 公式 (117) 中, h_1 是三次样条区间1表示, 见公式 (118); h_2 是三次样条区间2表示, 见公式 (119)。

$$h_1 = TH2[2] - TH1[2] \dots\dots\dots (118)$$

$$h_2 = TH3[2] - TH2[2] \dots\dots\dots (119)$$

10.4 色彩信号动态范围转换过程

输入: RGB 像素缓冲区 $f[N_{\text{frame}}][3]$ 、 $3Spline_TH_mode$ 、 m_p 、 m_m 、 m_n 、 m_a 、 m_b 、 K_1 、 K_2 、 K_3 、 $TH3[0]$ 、 $TH2[1]$ 、 $TH3[1]$ 、 $MA[0][1]$ 、 $MB[0][1]$ 、 $MC[0][1]$ 、 $MD[0][1]$ 、 $MA[1][1]$ 、 $MB[1][1]$ 、 $MC[1][1]$ 、 $MD[1][1]$ 、 $TH1[2]$ 、 $TH2[2]$ 、 $TH3[2]$ 、 $MA[0][2]$ 、 $MB[0][2]$ 、 $MC[0][2]$ 、 $MD[0][2]$ 、 $MA[1][2]$ 、 $MB[1][2]$ 、 $MC[1][2]$ 、 $MD[1][2]$ 、 $base_offset$ 。

输出: 经过动态范围转换处理后的RGB色域像素缓冲区 $f_{TM}[N_{\text{frame}}][3]$ 。

转换过程如下。

a) 计算 $f_{MAX}[i]$, $f_{MAX}[i] = \text{Max}(\text{Max}(f[i][0], f[i][1]), f[i][2])$, 其中 i 是像素索引。

b) 计算 $f_{MAX_TM}[i]$:

如果 $0 \leq f_{MAX}[i] < TH3[0]$, $f_{MAX}[i]$ 在曲线的输出值 $f_{MAX_TM}[i]$ 按照公式 (120) 进行计算。

$$f_{MAX_TM}[i] = MB[0][0] \times f_{MAX}[i] + base_offset \dots\dots\dots (120)$$

如果 $TH3[0] \leq f_{MAX}[i] < TH2[1]$, $f_{MAX_TM}[i]$ 的计算见公式 (121)。

$$f_{MAX_TM}[i] = MD[0][0] \times (f_{MAX}[i] - TH3[0])^3 + MC[0][0] \times (f_{MAX}[i] - TH3[0])^2 + MB[0][0] \times (f_{MAX}[i] - TH3[0]) + MA[0][0] \dots (121)$$

如果 $TH2[1] \leq f_{MAX}[i] < TH3[1]$, $f_{MAX_TM}[i]$ 的计算见公式 (122)。

$$f_{MAX_TM}[i] = MD[1][0] \times (f_{MAX}[i] - TH2[1])^3 + MC[1][0] \times (f_{MAX}[i] - TH2[1])^2 + MB[1][0] \times (f_{MAX}[i] - TH2[1]) + MA[1][0] \dots (122)$$

如果 $TH3[1] \leq f_{MAX}[i] \leq TH1[2]$, $f_{MAX_TM}[i]$ 的计算见公式 (123)。

$$f_{MAX_TM}[i] = m_a \times \left(\frac{m_p \times (f_{MAX}[i])^{m_n}}{(K_1 \times m_p - K_2) \times (f_{MAX}[i])^{m_n + K_3}} \right)^{m_m} + m_b \dots\dots (123)$$

如果 $TH1[2] < f_{MAX}[i] < TH2[2]$, $f_{MAX_TM}[i]$ 的计算见公式 (124)。

$$f_{MAX_TM}[i] = MD[0][2] \times (f_{MAX}[i] - TH1[2])^3 + MC[0][2] \times (f_{MAX}[i] - TH1[2])^2 + MB[0][2] \times (f_{MAX}[i] - TH1[2]) + MA[0][2] \dots (124)$$

如果 $TH2[2] \leq f_{MAX}[i] < TH3[2]$, $f_{MAX_TM}[i]$ 的计算见公式 (125)。

$$f_{MAX_TM}[i] = MD[1][2] \times (f_{MAX}[i] - TH2[2])^3 + MC[1][2] \times (f_{MAX}[i] - TH2[2])^2 + MB[1][2] \times (f_{MAX}[i] - TH2[2]) + MA[1][2] \dots (125)$$

如果 $f_{MAX}[i] \geq TH3[2]$:

如果 $3Spline_TH_mode$ 为1或2, $f_{MAX_TM}[i]$ 的计算见公式 (126)。

$$f_{MAX_TM}[i] = MBH \times (f_{MAX}[i] - TH3[2]) + BASEH \dots\dots\dots (126)$$

式中, MBH 通过公式 (127) 得到, $BASEH$ 通过公式 (128) 得到。

$$MBH = 3 \times MD[1][2] \times H1^2 + 2 \times MC[1][2] \times H1 + MB[1][2] \dots\dots\dots (127)$$

$$BASEH = MD[1][2] \times H1^3 + MC[1][2] \times H1^2 + MB[1][2] \times H1 + MA[1][2] \dots\dots (128)$$

式中, $H1$ 通过公式 (129) 得到。

$$H1 = (TH3[2] - TH2[2]) \dots\dots\dots (129)$$

如果 $3Spline_TH_mode$ 不为1、2时, $f_{MAX_TM}[i]$ 的计算见公式 (130)。

$$f_{MAX_TM}[i] = m_a \times \left(\frac{m_p \times (f_{MAX}[i])^{m_n}}{(K_1 \times m_p - K_2) \times (f_{MAX}[i])^{m_n + K_3}} \right)^{m_m} + m_b \dots\dots\dots (130)$$

c) 增益系数 K 通过公式 (131) 进行计算。

$$K = PQ_EOTF(f_{MAX_TM}[i]) \div PQ_EOTF(f_{MAX}[i]) \dots\dots\dots (131)$$

式中, $PQ_EOTF()$ 应按照 GY/T 315—2018 的要求。

d) 进行动态范围转换处理:

进行动态范围转换处理后的像素 $f_{TM}[i][0]$ 、 $f_{TM}[i][1]$ 、 $f_{TM}[i][2]$ 按照公式 (132) 进行计算。

$$\begin{aligned} f_{TM}[i][0] &= PQ_EOTF(f[i][0]) \times K \\ f_{TM}[i][1] &= PQ_EOTF(f[i][1]) \times K \dots\dots\dots (132) \\ f_{TM}[i][2] &= PQ_EOTF(f[i][2]) \times K \end{aligned}$$

10.5 色彩调整过程

输入: RGB像素缓冲区 $f[N_{frame}][3]$ 和 $f_{TM}[N_{frame}][3]$ 、 $color_saturation_gain[0]$ 、 $color_saturation_gain[1]$ 、 $MaxDisplayPQ$ 、 $max_display_mastering_luminance$ 、 $color_saturation_mapping_flag$ 、 $color_saturation_num$ 。

输出: 经过色彩调整过程处理的RGB像素缓冲区 $f_{process}[N_{frame}][3]$ 。

色彩调整的具体过程如下。

a) 如果 $color_saturation_mapping_flag=0$, 则经过色彩调整处理过的像素 $f_{color}[N_{frame}][0]$ 、 $f_{color}[N_{frame}][1]$ 和 $f_{color}[N_{frame}][2]$ 按照公式 (133) 进行计算。

$$\begin{aligned} f_{color}[N_{frame}][0] &= f_{TM}[N_{frame}][0] \\ f_{color}[N_{frame}][1] &= f_{TM}[N_{frame}][1] \dots\dots\dots (133) \\ f_{color}[N_{frame}][2] &= f_{TM}[N_{frame}][2] \end{aligned}$$

并结束颜色校正过程。

否则, 执行如下步骤计算 $f_{process}[N_{frame}][3]$ 。

b) 颜色校正参数 $C0$ 按照公式 (134) 进行计算, 颜色校正参数 $C1$ 按照公式 (135) 进行计算。

$$C0 = color_saturation_gain[0] \dots\dots\dots (134)$$

$$C1 = color_saturation_gain[1] \dots\dots\dots (135)$$

线性值转非线性PQ值的计算见公式 (136)。

$$\begin{aligned} f_{TM_PQ}[i][0] &= PQ_EOTF^{-1}(f_{TM}[i][0]) \\ f_{TM_PQ}[i][1] &= PQ_EOTF^{-1}(f_{TM}[i][1]) \dots\dots\dots (136) \\ f_{TM_PQ}[i][2] &= PQ_EOTF^{-1}(f_{TM}[i][2]) \end{aligned}$$

RGB转 $Y C_b C_r$ 的计算见公式 (137)。

$$\begin{aligned} Y &= 0.2627 \times f_{TM_PQ}[i][0] + 0.6780 \times f_{TM_PQ}[i][1] + 0.0593 \times f_{TM_PQ}[i][2] \\ C_b &= -0.1396 \times f_{TM_PQ}[i][0] - 0.3604 \times f_{TM_PQ}[i][1] + 0.5000 \times f_{TM_PQ}[i][2] \dots (137) \\ C_r &= 0.5000 \times f_{TM_PQ}[i][0] - 0.4598 \times f_{TM_PQ}[i][1] - 0.0402 \times f_{TM_PQ}[i][2] \end{aligned}$$

c) $f[i][0]$ 、 $f[i][1]$ 和 $f[i][2]$ 中的最大值 ($f_{MAX}[i]$) 计算见公式 (138) 和 $f_{TM_PQ}[i][0]$ 、 $f_{TM_PQ}[i][1]$ 和 $f_{TM_PQ}[i][2]$ 中的最大值 ($f_{MAX_TM_PQ}[i]$) 计算见公式 (139)。

$$f_{MAX}[i] = \text{Max}(\text{Max}(f[i][0], f[i][1]), f[i][2]) \dots\dots\dots (138)$$

$$f_{MAX_TM_PQ}[i] = \text{Max}(\text{Max}(f_{TM_PQ}[i][0], f_{TM_PQ}[i][1]), f_{TM_PQ}[i][2]) \dots\dots\dots (139)$$

d) 计算 S_{ca} 。

如果 $f_{MAX}[i] > TML$, 且 $color_saturation_num \geq 2$, 则色彩调整系数 S_{ca} 按照公式 (140) 进行计算。

$$S_{ca} = \begin{cases} B - C1 \times SatR \times \left(\frac{f_{MAX}[i] - A \times RML}{RML - A \times RML} \right)^M & TML < f_{MAX}[i] < RML \\ B - C1 \times SatR & f_{MAX}[i] \geq RML \end{cases} \dots\dots\dots (140)$$

式中, $TML = MaxDisplayPQ$, $RML = PQ_EOTF^{-1}(max_display_mastering_luminance)$,
 $SatR = 0.4$, $A = TML \div RML$, $M = 2^{(color_saturation_gain[1] \& 0x3)}$,

$B = Clip3(0.8, 1.0, (\frac{TML_TM}{TML})^{C_0})$ 为强度范围系数, 取值范围为0.8~1.0, 默认值为 $(\frac{TML_TM}{TML})^{C_0}$ 。

$TML_TM = f_{MAX_TM}[i]$, $f_{MAX_TM}[i]$ 的计算见10.4步骤b)中 $f_{MAX}[i] = MaxDisplayPQ$ 时。
 更新后的 S_{ca} 按照公式(141)进行计算。

$$S_{ca} = Clip3(0.0, 1.0, S_{ca}) \dots \dots \dots (141)$$

否则色彩调整系数 S_{ca} 按照公式(142)进行计算。

$$S_{ca} = Clip3(0.8, 1.0, (\frac{f_{MAX_TM_PQ}[i]}{f_{MAX}[i]})^{C_0}) \dots \dots \dots (142)$$

e) 计算 R'_{ca} 、 G'_{ca} 、 B'_{ca} 。

经过饱和度调整之后的 Y' 、 C'_b 和 C'_r 按照公式(143)进行计算。

$$\begin{aligned} Y' &= Y \\ C'_b &= C_b \times S_{ca} \dots \dots \dots (143) \\ C'_r &= C_r \times S_{ca} \end{aligned}$$

Y' 、 C'_b 、 C'_r 转 R'_{ca} 、 G'_{ca} 、 B'_{ca} 的计算按照公式(144)进行计算。

$$\begin{aligned} R'_{ca} &= Y' + 0.0000 \times C'_b + 1.4746 \times C'_r \\ G'_{ca} &= Y' - 0.1645 \times C'_b - 0.5713 \times C'_r \dots \dots \dots (144) \\ B'_{ca} &= Y' + 1.8814 \times C'_b - 0.0001 \times C'_r \end{aligned}$$

f) 线性值的计算见公式(145)。

$$\begin{aligned} R_{color1} &= PQ_EOTF(R'_{ca}) \\ G_{color1} &= PQ_EOTF(G'_{ca}) \dots \dots \dots (145) \\ B_{color1} &= PQ_EOTF(B'_{ca}) \end{aligned}$$

g) 计算 $f_{color}[N_{frame}][0]$, $f_{color}[N_{frame}][1]$ 和 $f_{color}[N_{frame}][2]$: $f_{color}[N_{frame}][0] = R_{color1}$,
 $f_{color}[N_{frame}][1] = G_{color1}$, $f_{color}[N_{frame}][2] = B_{color1}$ 。

h) 计算 $f_{process}[N_{frame}][3]$: $f_{process}[N_{frame}][0] = f_{color}[N_{frame}][0]$, $f_{process}[N_{frame}][1] =$
 $f_{color}[N_{frame}][1]$, $f_{process}[N_{frame}][2] = f_{color}[N_{frame}][2]$ 。

11 PQ HDR 视频的 SDR 显示适配

11.1 SDR 显示适配过程

输入: RGB 像素缓冲区 $f_{process}[N_{frame}][3]$ 、元数据变量。

输出：经过SDR显示适配处理后的RGB像素缓冲区 $f_{process}[N_{frame}][3]$ 。

SDR显示适配过程如下：

- a) 调用11.2生成基础曲线参数；
- b) 调用11.3生成三次样条曲线参数；
- c) 调用10.4生成经过动态范围转换处理的RGB像素缓冲区 $f_{TM}[N_{frame}][3]$ ；
- d) 调用10.5生成 $f_{process}[N_{frame}][3]$ 。

11.2 基础曲线参数获得过程

11.2.1 概述

基础曲线参数获得过程如下。

- a) 计算最小亮度校正值得 min_lum ： $min_lum = minimum_maxrgb$ 。
- b) 根据10.2.2计算最大亮度校正值得 max_lum 。
- c) 计算基础曲线参数。
 - 1) 若 $tone_mapping_mode_flag$ 为0，则依次调用11.2.2和10.2.6获得基础曲线参数。
 - 2) 若 $tone_mapping_mode_flag$ 为1且 $base_flag$ 为0，则依次调用11.2.2和10.2.6获得基础曲线参数。
 - 3) 若 $tone_mapping_mode_flag$ 为1且 $base_flag$ 为1：
 - 如果 $targeted_system_display_maximum_luminance$ 等于 $MaxDisplayPQ$ ，则 $m_p = m_p_0$ ， $m_a = m_a_0$ ， $m_m = m_m_0$ ， $m_n = m_n_0$ ， $m_b = m_b_0$ ， $K1 = k1_0$ ， $K2 = k2_0$ ， $K3 = k3_0$ ；
 - 如果 $base_param_Delta_mode$ 为3，则 $m_p = m_p_0$ ， $m_a = m_a_0$ ， $m_m = m_m_0$ ， $m_n = m_n_0$ ， $m_b = m_b_0$ ， $K1 = k1_0$ ， $K2 = k2_0$ ， $K3 = k3_0$ ；
 - 如果 $base_param_Delta_mode$ 为0、2、4、6，则依次调用10.2.4和10.2.6获得基础曲线参数；
 - 如果 $base_param_Delta_mode$ 为1、5，则依次调用10.2.5和10.2.6获得基础曲线参数。

11.2.2 基础曲线参数获得过程0

输入： $MaxDisplayPQ$ 、 $MinDisplayPQ$ 、 $minimum_maxrgb$ 、 $maximum_maxrgb$ 、 $variance_maxrgb$ 、 $average_maxrgb$ 、 max_lum 。

输出： m_p 、 m_m 、 m_n 、 m_a 、 m_b 、 $K1$ 、 $K2$ 、 $K3$ 。

基础曲线参数获得过程0步骤如下。

- a) $m_m = 2.4$ ， $m_n = 1$ ， $K1 = 1$ ， $K2 = 1$ ， $K3 = 1$ ， $m_b = MinDisplayPQ$ 。
- b) m_p 的中间变量 m_p0 按照公式（146）进行计算。

$$m_p0 = \begin{cases} p_{valueH4} & avgL > TPH4 \\ p_{valueH4} \times g4(w4) + p_{valueL4} \times (1 - g4(w4)) & TPL4 \leq avgL \leq TPH4 \\ p_{valueL4} & avgL < TPL4 \end{cases} \dots (146)$$

式中， $avgL$ 通过公式（147）得到， $w4$ 通过公式（148）得到。

$$avgL = average_maxrgb \dots (147)$$

$$w4 = \left(\frac{avgL - TPL4}{TPH4 - TPL4} \right) \dots (148)$$

公式 (147) 和公式 (148) 中, $p_{valueL4} = 3.5$, $p_{valueL4} = 6.0$, $TPH4 = 0.6$, $TPL4 = 0.1$; $g4(x)$ 为 $y = x$ 。

c) 基础曲线参数 m_p 按照公式 (149) 进行计算。

$$m_p = \begin{cases} m_p0 + p_{deltaH5} & max_lum > TPH5 \\ m_p0 + p_{deltaH5} \times g5(w5) + p_{deltaL5} \times (1 - g5(w5)) & TPL5 \leq max_lum \leq TPH5 \\ m_p0 + p_{deltaL5} & max_lum < TPL5 \end{cases} \quad (149)$$

式中, $w5$ 通过公式 (150) 得到。

$$w5 = \left(\frac{max_lum - TPL5}{TPH5 - TPL5} \right) \dots \dots \dots (150)$$

公式 (149) 和公式 (150) 中, $p_{deltaH5} = 0.6$, $p_{deltaL5} = 0.3$, $TPH5 = 0.75$, $TPL5 = 0.67$; $g5(x)$ 为 $y = x$ 。

d) 基础曲线参数 m_a 按照公式 (151) 进行计算。

$$m_a = (MaxDisplayPQ - MinDisplayPQ) \div \left(\frac{m_p \times max_lum^{m.n}}{(K1 \times m_p - K2) \times max_lum^{m.n + K3}} \right)^{m_m} \dots \dots (151)$$

11.3 三次样条曲线参数获得过程

11.3.1 概述

三次样条曲线参数获得过程如下, 见图3。

a) 计算 $3Spline_num$ 和 $3Spline_TH_mode$:

如果 $tone_mapping_mode_flag$ 为 0, $3Spline_num = 1$, $3Spline_TH_mode = 0$;

否则, $3Spline_num$ 和 $3Spline_TH_mode$ 根据第 9 章得到。

b) 计算三次样条曲线参数:

如果 $tone_mapping_mode_flag$ 为 0, 则依次调用 11.3.2.2 和 11.3.3.2, 获得三次样条曲线参数值;

如果 $tone_mapping_mode_flag$ 为 1 时:

$3Spline_flag$ 为 0 时, 则依次调用 11.3.2.2 以及 10.3.2.4 和 11.3.3.2, 获得三次样条映射曲线参数值;

$3Spline_flag$ 为 1 时, 如果 $3Spline_TH_mode$ 为 0, 则依次调用 10.3.2.3 以及 10.3.2.4 获得一次样条曲线参数和 10.3.3.3 获得第一段三次样条曲线参数值;

$3Spline_flag$ 为 1 时, 如果 $3Spline_TH_mode$ 不为 0, 则依次调用 11.3.2.2 以及 10.3.2.4 获得一次样条曲线参数和 11.3.3.2 获得第一段三次样条曲线参数值; 然后调用 10.3.3.4 获得第二段三次样条曲线参数值。

c) 如果 $3Spline_num$ 等于 2, 则调用 10.3.3.4 获得第二段三次样条曲线参数值。

11.3.2 一次样条区间参数获得过程

11.3.2.1 一次样条曲线

第一端点和第一插值点 $TH3[0]$ 之间的曲线为一次样条曲线, 见公式 (152)。

$$F(L) = MB[0][0] \times L + base_offset \dots \dots \dots (152)$$

11.3.2.2 一次样条曲线参数获得过程 0

输入: *average_maxrgb*。

输出: *TH3[0]*、*MB[0][0]*、*base_offset*。

一次样条曲线参数获得过程0步骤如下:

- a) *TH3[0]* =0;
- b) *base_offset* =0;
- c) 斜率*MB[0][0]*通过公式 (153) 得到:

$$MB[0][0]=\begin{cases} S_{dmaxL6} & avgL > AVMAXH6 \\ S_{dmaxL6} \times g6(w6) + S_{dmaxH6} \times (1 - g6(w6)) & AVMAXL3 \leq avgL \leq AVMAXH6 \\ S_{dmaxH6} & avgL < AVMAXL6 \end{cases} \quad (153)$$

式中, *avgL*通过公式 (154) 得到; *w6*通过公式 (155) 得到。

$$avgL = average_maxrgb \dots\dots\dots (154)$$

$$w6 = \left(\frac{avgL - AVMAXL6}{AVMAXH6 - AVMAXL6} \right) \dots\dots\dots (155)$$

公式 (153) 和公式 (155) 中, *AVMAXH6* = 0.6, *AVMAXL6* = 0.3, *S_{dmaxH6}* = 1.0, *S_{dmaxL6}* = 0.9, *g6(x)*为*y = x*。

11.3.3 三次样条曲线参数获得过程

11.3.3.1 三次样条曲线

第一插值点*TH1[n]*和第二插值点*TH2[n]*之间的曲线为三次样条区间1曲线, 见公式 (156)。

$$F(L) = MD[0][n] \times (L - TH1[n])^3 + MC[0][n] \times (L - TH1[n])^2 + MB[0][n] \times (L - TH1[n]) + MA[0][n] \dots (156)$$

式中, *L*为区间[*TH1[n]*, *TH2[n]*]中的自变量。

第二插值点*TH2[n]*和第三插值点*TH3[n]*之间的曲线为三次样条区间2曲线, 见公式 (157)。

$$F(L) = MD[1][n] \times (L - TH2[n])^3 + MC[1][n] \times (L - TH2[n])^2 + MB[1][n] \times (L - TH2[n]) + MA[1][n] \dots (157)$$

式中, *L*为区间[*TH2[n]*, *TH3[n]*]中的自变量, $0 < n \leq 3Spline_num$ 。

11.3.3.2 三次样条曲线参数获得过程 0

输入: *TH3[0]*、*MB[0][0]*、*base_offset*、*m_p*、*m_m*、*m_n*、*m_a*、*m_b*、*K1*、*K2*、*K3*。

输出: *TH1[1]*、*TH2 [1]*、*TH3[1]*、*MA [0] [1]*、*MB [0] [1]*、*MC[0][1]*、*MD[0][1]*、*MA [1] [1]*、*MB[1][1]*、*MC[1][1]*、*MD[1][1]*。

获得过程如下。

- a) 第一插值点*TH1[1]*按照公式 (158) 进行计算; 第二插值点*TH2 [1]*按照公式 (159) 进行计算; 第三插值点*TH3[1]*按照公式 (160) 进行计算。

$$TH1 [1] = TH3 [0] \dots\dots\dots (158)$$

$$TH2 [1] = TH1 [1] + B \dots\dots\dots (159)$$

$$TH3 [1] = TH2 [1] + C \times TH2 [1] - D \times TH1 [1] \dots\dots\dots (160)$$

公式 (159) 和公式 (160) 中, *B* = 0.15, *C* = 0.5, *D* = 0.5。

- b) 计算 *MA [0] [1]*、*MB[0][1]*、*MC[0][1]*、*MD[0][1]*、*MA [1] [1]*、*MB[1][1]*、*MC[1][1]*、*MD[1][1]*:

- 1) 第一插值点 $TH1[1]$ 在一次样条曲线的输出值 $VA1$ 按照公式 (161) 进行计算; 第三插值点 $TH3[1]$ 在基础曲线的输出值 $VA3$ 按照公式 (162) 进行计算; 第二插值点 $TH2 [1]$ 在曲线的输出值 $VA2$ 按照公式 (163) 进行计算。

$$VA1 = MB[0][0] \times TH1[1] + base_offset \dots\dots\dots (161)$$

$$VA3 = m_a \times \left(\frac{m_p \times TH3[1]^{m_n}}{(K1 \times m_p - K2) \times TH3[1]^{m_n} + K3} \right)^{m_m} + m_b \dots\dots\dots (162)$$

$$VA2 = m_a \times \left(\frac{m_p \times TH2[1]^{m_n}}{(K1 \times m_p - K2) \times TH2[1]^{m_n} + K3} \right)^{m_m} + m_b \dots\dots\dots (163)$$

- 2) 三次样条区间1曲线参数 $MA [0] [1]$ 按照公式 (164) 进行计算; 三次样条区间2曲线参数 $MA [1] [1]$ 按照公式 (165) 进行计算。

$$MA [0] [1] = VA1 \dots\dots\dots (164)$$

$$MA [1] [1] = VA2 \dots\dots\dots (165)$$

- 3) 第一插值点 $TH1[1]$ 在曲线的斜率 $GD1$ 按照公式 (166) 进行计算; 三次样条区间1曲线参数 $MB[0][1]$ 按照公式 (167) 进行计算; 第三插值点 $TH3[1]$ 在曲线的斜率 $GD3$ 按照公式 (168) 进行计算。

$$GD1 = MB[0][0] \dots\dots\dots (166)$$

$$MB[0][1] = MB[0][0] \dots\dots\dots (167)$$

$$GD3 = m_a \times m_m \times m_p \times K3 \times m_n \times TH3[1]^{m_n-1} \times DGD3(L) \dots\dots\dots (168)$$

式中, $DGD3(L)$ 通过公式 (169) 得到。

$$DGD3(L) = \left(\frac{m_p \times TH3[1]^{m_n}}{(K1 \times m_p - K2) \times TH3[1]^{m_n} + K3} \right)^{m_m+1} \times \left(\frac{1}{TH3[1]^{m_n} \times m_p} \right)^2 \dots\dots\dots (169)$$

- 4) 计算三次样条区间1曲线参数 $MC[0][1]$ 按照公式 (170) 进行计算、三次样条区间1曲线参数 $MD[0][1]$ 按照公式 (171) 进行计算、三次样条区间2曲线参数 $MB[1][1]$ 按照公式 (172) 进行计算、三次样条区间2曲线参数 $MC[1][1]$ 按照公式 (173) 进行计算、三次样条区间2曲线参数 $MD[1][1]$ 按照公式 (174) 进行计算。

$$MC[0][1] = \frac{3.0 \times VA2 - 2.0 \times GD1 \times h1 - 3.0 \times VA1 - MB[1][1] \times h1}{h1 \times h1} \dots\dots\dots (170)$$

$$MD[0][1] = \frac{h1 \times GD1 + h1 \times MB[1][1] + 2 \times VA1 - 2.0 \times VA2}{h1 \times h1 \times h1} \dots\dots\dots (171)$$

$$MB[1][1] =$$

$$\frac{-3.0 \times VA1 \times h2 \times h2 - 3.0 \times VA2 \times h1 \times h1 + 3.0 \times VA3 \times h1 \times h1 + 3.0 \times h2 \times h2 \times VA2 - h1 \times h1 \times h2 \times GD3 - GD1 \times h1 \times h2 \times h2}{2.0 \times h2 \times (h1 \times h1 + h2 \times h1)} \dots\dots\dots (172)$$

$$MC[1][1] = MC[0][1] + 3.0 \times MD[0][1] \times h1 \dots\dots\dots (173)$$

$$MD[1][1] = - \frac{VA3 - VA2 - h2 \times GD3 + MC[0][1] \times h2 \times h2 + 3 \times MD[0][1] \times h1 \times h2 \times h2}{2 \times h2 \times h2 \times h2} \dots\dots\dots (174)$$

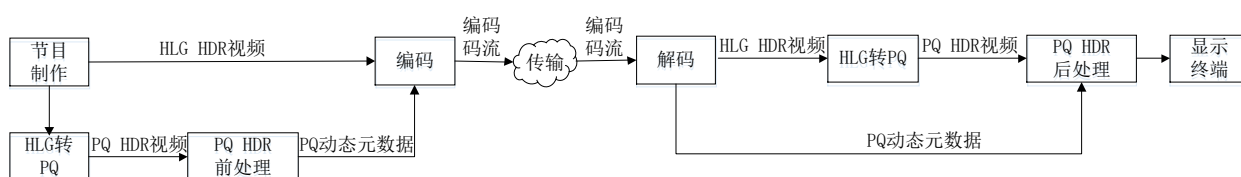
公式 (170) ~公式 (174) 中, $h1$ 是三次样条区间1表示, 见公式 (175); $h2$ 是三次样条区间2表示, 见公式 (176)。

$$h1 = TH2[1] - TH1[1] \dots\dots\dots (175)$$

$$h2 = TH3[1] - TH2[1] \dots\dots\dots (176)$$

附 录 A
(资料性)
一种 HLG HDR 视频显示适配方法

对于HLG HDR视频，也可在前端将HLG HDR视频转换为PQ HDR视频，按照PQ HDR视频的前处理方法获得PQ HDR动态元数据。视频编码时，对HLG HDR视频进行编码并封装PQ HDR动态元数据。在接收端，解码器解码得到HLG HDR视频和PQ HDR动态元数据，将HLG HDR视频转换为PQ HDR视频，利用PQ HDR视频动态元数据对PQ HDR视频进行显示适配处理。具体处理过程见图A. 1。



图A. 1 HLG HDR视频显示适配过程

附 录 B
(资料性)
动态元数据提取方法

B.1 概述

本附录描述了在HDR前处理阶段提取元数据的方法。

HDR元数据提取过程如下：

- a) 调用 B. 2、B. 3 和 B. 4 计算元数据 *minimum_maxrgb_pq*、*maximum_maxrgb_pq*、*average_maxrgb_pq* 和 *variance_maxrgb_pq*；
- b) 调用 B. 5 生成基础曲线参数元数据；
- c) 调用 B. 6 生成三次样条曲线参数元数据；
- d) 调用 B. 7 对动态元数据进行时域滤波；
- e) 调用 B. 8 节对元数据进行质量控制。

B.2 动态元数据 *minimum_maxrgb_pq[w]* 和 *maximum_maxrgb_pq[w]* 的计算

minimum_maxrgb_pq[w] 和 *maximum_maxrgb_pq[w]* 的计算过程如下。

- a) $f[index][0]$ 、 $f[index][1]$ 和 $f[index][2]$ 中的最大值 ($f_{MAX}[index]$) 按照公式 (B. 1) 进行计算。

$$f_{MAX}[index] = \text{Max}(\text{Max}(f[index][0], f[index][1]), f[index][2]) \dots \dots \dots (B. 1)$$

式中, $index$ 为像素索引值, $0 \leq index < N_{frame}$ 。

- b) 计算 f_{MAX_MIN} , f_{MAX_MAX} 。

$$f_{MAX_MIN} = 1.0, f_{MAX_MAX} = 0.0;$$

for ($i=0; i < N_{frame}; i++$) {

$$f_{MAX_MIN} = \text{Min}(f_{MAX_MIN}, f_{MAX}[i])$$

$$f_{MAX_MAX} = \text{Max}(f_{MAX_MAX}, f_{MAX}[i])$$

}

- c) 元数据 *minimum_maxrgb_pq[w]* 按照公式 (B. 2) 进行计算；元数据 *maximum_maxrgb_pq[w]* 按照公式 (B. 3) 进行计算。

$$minimum_maxrgb_pq[w] = \text{Floor}(f_{MAX_MIN} \times 4095) \dots \dots \dots (B. 2)$$

$$maximum_maxrgb_pq[w] = \text{Floor}(f_{MAX_MAX} \times 4095) \dots \dots \dots (B. 3)$$

B.3 动态元数据 *average_maxrgb_pq[w]* 的计算

average_maxrgb_pq[w] 的计算过程如下。

- a) $f[index][0]$ 、 $f[index][1]$ 和 $f[index][2]$ 中的最大值 ($f_{MAX}[index]$) 按照公式 (B. 4) 进行计算。

$$f_{MAX}[index] = \text{Max}(\text{Max}(f[index][0], f[index][1]), f[index][2]) \dots \dots \dots (B. 4)$$

- b) 平均值 $f_{MAX_LINE_AVG}$ 计算见公式 (B. 5)。

$$f_{MAX_LINE_AVG} = \frac{\sum_{i=0}^{N_{frame}-1} PQ_EOTF(f_{MAX}[i])}{N_{frame}} \dots \dots \dots (B. 5)$$

- c) 元数据 $average_maxrgb_pq[w]$ 按照公式 (B.6) 进行计算。

$$average_maxrgb_pq[w] = \text{Floor}(\text{PQ_EOTF}^{-1}(f_{\text{MAX_LINE_AVG}}) \times 4095) \dots\dots\dots (B.6)$$

B.4 动态元数据 $variance_maxrgb_pq[w]$ 的计算

$variance_maxrgb_pq[w]$ 的计算过程如下。

- a) $f[index][0]$ 、 $f[index][1]$ 和 $f[index][2]$ 中的最大值 ($f_{\text{MAX}}[index]$) 按照公式 (B.7) 进行计算。

$$f_{\text{MAX}}[index] = \text{Max}(\text{Max}(f[index][0], f[index][1]), f[index][2]) \dots\dots\dots (B.7)$$

- b) 10%数量对应的 $f_{\text{MAX}}[index]$ 值 $f_{\text{MAX_A}}$ 按照公式 (B.8) 进行计算。

$$\frac{N(f_{\text{MAX_A}})}{N_{\text{frame}}} = 0.1 \dots\dots\dots (B.8)$$

式中, $N(x)$ 表示 $f_{\text{MAX}}[N_{\text{frame}}]$ 在 $f_{\text{MAX}}[N_{\text{frame}}] < x$ 范围内数量。

- c) 90%数量对应的 $f_{\text{MAX}}[index]$ 值 $f_{\text{MAX_B}}$ 按照公式 (B.9) 进行计算。

$$\frac{N(f_{\text{MAX_B}})}{N_{\text{frame}}} = 0.9 \dots\dots\dots (B.9)$$

式中, $N(x)$ 表示 $f_{\text{MAX}}[N_{\text{frame}}]$ 在 $f_{\text{MAX}}[N_{\text{frame}}] < x$ 范围内数量。

- d) 元数据 $variance_maxrgb_pq[w]$ 按照公式 (B.10) 进行计算。

$$variance_maxrgb_pq[w] = \text{Floor}((f_{\text{MAX_B}} - f_{\text{MAX_A}}) \times 4095) \dots\dots\dots (B.10)$$

B.5 基础曲线参数元数据生成过程

B.5.1 概述

输入: RGB像素缓冲区 $f[N_{\text{frame}}][3]$ 。

输出: $base_param_m_p[i][w]$ 、 $base_param_m_m[i][w]$ 、 $base_param_m_n[i][w]$ 、
 $base_param_m_a[i][w]$ 、 $base_param_m_b[i][w]$ 、 $base_param_K1[i][w]$ 、 $base_param_K2[i][w]$ 、
 $base_param_K3[i][w]$ 。

基础曲线参数生成过程如下。

- a) $f[index][0]$ 、 $f[index][1]$ 和 $f[index][2]$ 中的最大值 ($f_{\text{MAX}}[index]$) 按照公式 (B.11) 进行计算。

$$f_{\text{MAX}}[index] = \text{Max}(\text{Max}(f[index][0], f[index][1]), f[index][2]) \dots\dots\dots (B.11)$$

式中, $index$ 是像素索引, $0 \leq index < N_{\text{frame}}$ 。

- b) 暗区变量 R_{DARK} 按照公式 (B.12) 进行计算; 暗区变量 L_{DARK} 按照公式 (B.13) 进行计算。

$$R_{\text{DARK}} = \frac{N_{\text{DARK}}}{N_{\text{frame}}} \dots\dots\dots (B.12)$$

$$L_{\text{DARK}} = \frac{\text{PQ_EOTF}^{-1}(DARK)}{\text{max_lum}} \dots\dots\dots (B.13)$$

公式 (B.12) 和 (B.13) 中, N_{DARK} 为 $f_{\text{MAX}}[N_{\text{frame}}]$ 在 $0 \leq f_{\text{MAX}}[N_{\text{frame}}] \leq \text{PQ_EOTF}^{-1}(DARK)$ 范围内的数量, $DARK$ 为暗区最高亮度值。

- c) 亮区变量 R_{BRIGHT} 按照公式 (B.14) 进行计算; 亮区变量 L_{BRIGHT} 按照公式 (B.15) 进行计算。

$$R_{\text{BRIGHT}} = \frac{N_{\text{BRIGHT}}}{N_{\text{frame}}} \dots\dots\dots (B.14)$$

$$L_{\text{BRIGHT}} = \text{Clip3}(0.08, 1.0, \frac{\text{max_lum} - \text{targeted_lum}}{\text{max_lum}}) \dots\dots\dots (\text{B. 15})$$

公式 (B. 14) 和 (B. 15) 中, N_{BRIGHT} 为 $f_{\text{MAX}}[N_{\text{frame}}]$ 在 $f_{\text{MAX}}[N_{\text{frame}}] \geq \text{targeted_lum}$ 范围内的数量, targeted_lum 按照公式 (B. 16) 进行计算, max_lum 按照公式 (B. 17) 进行计算。

$$\text{targeted_lum} = \text{targeted_system_display_maximum_luminance} \dots\dots (\text{B. 16})$$

式中, $\text{targeted_system_display_maximum_luminance}$ 为制作时参考目标显示器亮度。

$$\text{max_lum} = \begin{cases} \text{MaxRefDisplay} & \text{MAX1} > \text{MaxRefDisplay} \\ \text{MAX1} & \text{MIN} \leq \text{MAX1} \leq \text{MaxRefDisplay} \\ \text{MIN} & \text{MAX1} < \text{MIN} \end{cases} \dots\dots (\text{B. 17})$$

式中, $\text{MIN} = 0.5081$, $\text{MaxRefDisplay} = \text{PQ_EOTF}^{-1}(4000)$, $\text{MAX1} = 0.2 \times (\text{maximum_maxrgb_pq} \div 4095) + 0.8 \times (\text{average_maxrgb_pq} \div 4095) + 0.4 \times (\text{variance_maxrgb_pq} \div 4095)$, maximum_maxrgb_pq 、 average_maxrgb_pq 和 $\text{variance_maxrgb_pq}$ 计算见 B. 2、B. 3 和 B. 4。

d) 如果当前帧为场景切换帧, 则基础曲线参数元数据生成过程如下。否则使用与上一帧相同的基础曲线参数元数据生成过程:

1) 如果源视频为 PQ 视频, 则

如果 $R_{\text{DARK}} \geq q1 \times L_{\text{DARK}}$ 且 $R_{\text{BRIGHT}} \geq w1 \times L_{\text{BRIGHT}}$, $q1=0.5$, $w1=0.5$, 则调用 B. 5. 2 生成基础曲线参数元数据;

如果 $R_{\text{BRIGHT}} \geq w2 \times N_{\text{BRIGHT}}$, $w2=1.75$, 则调用 B. 5. 5 生成基础曲线参数元数据;

如果 $R_{\text{DARK}} \geq q2 \times N_{\text{DARK}}$, $q2=4.0$, 则调用 B. 5. 4 生成基础曲线参数元数据;

否则, 调用 B. 5. 3 生成基础曲线参数元数据。

2) 如果源视频为 HLG 视频, 则

如果 $R_{\text{DARK}} \geq q1 \times L_{\text{DARK}}$ 且 $R_{\text{BRIGHT}} \geq w1 \times L_{\text{BRIGHT}}$, $q1=0.5$, $w1=0.5$, 则调用 B. 5. 2 生成基础曲线参数元数据;

如果 $R_{\text{BRIGHT}} \geq w2 \times N_{\text{BRIGHT}}$, $w2=1.75$, 则调用 B. 5. 5 生成基础曲线参数元数据;

如果 $R_{\text{DARK}} \geq q2 \times N_{\text{DARK}}$, $q2=4.0$, 则调用 B. 5. 4 生成基础曲线参数元数据;

否则, 调用 B. 5. 6 生成基础曲线参数元数据。

B. 5. 2 基础曲线参数元数据生成过程1

输入: RGB 像素缓冲区 $f[N_{\text{frame}}][3]$ 。

输出: $\text{base_param_m_p}[i][w]$ 、 $\text{base_param_m_m}[i][w]$ 、 $\text{base_param_m_n}[i][w]$ 、 $\text{base_param_m_a}[i][w]$ 、 $\text{base_param_m_b}[i][w]$ 、 $\text{base_param_K1}[i][w]$ 、 $\text{base_param_K2}[i][w]$ 、 $\text{base_param_K3}[i][w]$ 。

生成过程如下。

a) $\text{base_param_m_m}[i][w] = 24$, $\text{base_param_m_n}[i][w] = 10$, $\text{base_param_K1}[i][w] = 1$, $\text{base_param_K2}[i][w] = 1$, $\text{base_param_K3}[i][w] = 1$, $\text{base_param_m_b}[i][w] = 0$ 。

b) $L3$ 和 $N3$ 按照公式 (B. 18) 和公式 (B. 19) 进行计算。

$$L3 = \frac{\sum_{i=0}^{N_{\text{frame}}-1} q(i)}{\text{Num}} \dots\dots\dots (\text{B. 18})$$

$$N3 = L3 \dots\dots\dots (\text{B. 19})$$

公式 (B. 18) 中, $q(i)$ 通过公式 (B. 20) 得到。

$$q(i) = \begin{cases} f_{\text{MAX}}[i] & 0.15 \leq f_{\text{MAX}}[i] \leq 0.35 \\ 0 & \text{其他} \end{cases} \dots\dots\dots (\text{B. 20})$$

Num为 $f_{\text{MAX}}[N_{\text{frame}}]$ 在 $0.15 \leq f_{\text{MAX}}[N_{\text{frame}}] \leq 0.35$ 范围内的数量。

- c) 计算 $HISA_Length[0]$ 、 $HISA_Length[1]$ 、 $HISA_Length[2]$ 和 $HISA_Num[0]$ 、 $HISA_Num[1]$ 、 $HISA_Num[2]$ ：

$Half_Num$ 按照公式 (B. 21) 进行计算。

$$Half_Num = N(defusingLight) - N(midLight) \dots\dots\dots (\text{B. 21})$$

式中, $N(x)$ 表示 $f_{\text{MAX}}[N_{\text{frame}}] < x$ 范围内的像素数量, $defusingLight$ 通过公式 (B. 22) 得到。

$$defusingLight = 0.35 + (max_lum - 0.35) \times Ratio \dots\dots\dots (\text{B. 22})$$

公式 (B. 21) 和 (B. 22) 中, $midLight=0.35$, $Ratio=\frac{2}{3}$, max_lum 通过公式 (B. 23) 得到。

$$max_lum = \begin{cases} MaxRefDisplay & MAX1 > MaxRefDisplay \\ MAX1 & MIN \leq MAX1 \leq MaxRefDisplay \\ MIN & MAX1 < MIN \end{cases} \dots\dots\dots (\text{B. 23})$$

式中, $MIN = 0.5081$, $MaxRefDisplay = PQ_EOTF^{-1}(4000)$, $MAX1 = 0.2 \times (maximum_maxrgb_pq \div 4095) + 0.8 \times (average_maxrgb_pq \div 4095) + 0.4 \times (variance_maxrgb_pq \div 4095)$, $maximum_maxrgb_pq$ 、 $average_maxrgb_pq$ 和 $variance_maxrgb_pq$ 计算见B. 2、B. 3和B. 4。

0.15到 max_lum 之间平分6段的每段长度 $HISA_Length[0]$ 以及 $HISA_Length[0]$ 对应的数量 $HISA_Num[0]$ 按照公式 (B. 24) 进行计算、0.15到 max_lum 之间平分3段的每段长度 $HISA_Length[1]$ 以及 $HISA_Length[1]$ 对应的数量 $HISA_Num[1]$ 按照公式 (B. 25) 进行计算、0.15到 max_lum 之间平分2段的每段长度 $HISA_Length[2]$ 以及 $HISA_Length[2]$ 对应的数量 $HISA_Num[2]$ 按照公式 (B. 26) 进行计算。

$$HISA_Length[0] = \frac{(max_lum - 0.15)}{6}; HISA_Num[0] = N(HISA_Length[0]) \dots\dots\dots (\text{B. 24})$$

$$HISA_Length[1] = \frac{(max_lum - 0.15)}{3}; HISA_Num[1] = N(HISA_Length[1]) \dots\dots\dots (\text{B. 25})$$

$$HISA_Length[2] = \frac{(max_lum - 0.15)}{2}; HISA_Num[2] = N(HISA_Length[2]) \dots\dots\dots (\text{B. 26})$$

- d) 计算 $M1$ 、 $N1$: $midLight$ 到 $defusingLight$ 范围内的平均值 $M1$ 按照公式 (B. 27) 进行计算。

$$M1 = \frac{\sum_{i=0}^{N_{\text{frame}}-1} q(i)}{Num_1} \dots\dots\dots (\text{B. 27})$$

式中, $q(i)$ 通过公式 (B. 28) 得到。

$$q(i) = \begin{cases} f_{\text{MAX}}[i] & midLight \leq f_{\text{MAX}}[i] \leq defusingLight \\ 0 & \text{其他} \end{cases} \dots\dots\dots (\text{B. 28})$$

式中, Num_1 为 $f_{\text{MAX}}[N_{\text{frame}}]$ 在 $midLight \leq f_{\text{MAX}}[N_{\text{frame}}] \leq defusingLight$ 范围内的数量, $midLight = 0.35$ 。

如果 $HISA_Num[0] > Half_Num$ 或 $HISA_Num[1] > Half_Num$ 或 $HISA_Num[2] > Half_Num$, 则 $midLight$ 到 $defusingLight$ 范围内的平均值 $N1$ 按照公式 (B. 29) 进行计算。

$$N1 = \frac{\sum_{i=0}^{N_{\text{frame}}-1} q1(i)}{Num_1} \dots\dots\dots (\text{B. 29})$$

式中， Num_1 为 $f_{MAX}[N_{frame}]$ 在 $midLight \leq f_{MAX}[N_{frame}] \leq defusingLight$ 范围内的数量， $q1(i)$ 通过公式 (B. 30) 得到。

$$q1(i) = \begin{cases} f_{MAX}[i] & midLight \leq f_{MAX}[i] \leq defusingLight \\ 0 & \text{其他} \end{cases} \dots\dots\dots (B. 30)$$

更新 $q1(i)$:

如果 $q1(i) \geq targeted_lum$, $q1(i) = targeted_lum$,

$targeted_lum = targeted_system_display_maximum_luminance$, $midLight = 0.35$ 。

如果 $HISA_Num[0] \leq Half_Num$ 且 $HISA_Num[1] \leq Half_Num$ 且 $HISA_Num[2] \leq Half_Num$, 则 $N1$ 的计算见公式 (B. 31)。

$$N1 = \frac{\sum_{i=0}^{N_{frame}-1} q2(i)}{Num_2} \dots\dots\dots (B. 31)$$

式中， $q2(i)$ 通过公式 (B. 32) 得到。

$$q2(i) = \begin{cases} f_{MAX}[i] & midLight \leq f_{MAX}[i] \leq defusingLightH \\ 0 & \text{其他} \end{cases} \dots\dots\dots (B. 32)$$

更新 $q2(i)$: 如果 $q2(i) \geq targeted_lum$, 则 $q2(i) = targeted_lum$ 。

Num_2 为 $f_{MAX}[N_{frame}]$ 在 $midLight \leq f_{MAX}[N_{frame}] \leq defusingLightH$ 范围内的数量， $midLight = 0.35$, $defusingLightH$ 的计算见公式 (B. 33)。

$$defusingLightH = 0.35 + (max_lum - 0.35) \times RatioH \dots\dots\dots (B. 33)$$

式中， $RatioH = \frac{5}{6}$ 。

e) 计算 $ratio[0]$ 、 $ratio[1]$ 、 $ratio[2]$

计算 $f_{MAX}[N_{frame}]$ 的直方图 $His[i]$, $0 \leq i < 1024$:

for ($i=0$; $i < 1024$; $i++$)

```
{
    His[Floor( $f_{MAX}[i] \times 1023$ )]++;
}
```

计算 $max_content$:

$HisThreshold = N_{frame} \times 4 \div (1024 \times 10)$

for ($i=1024$; $i >= 622$; $i-=4$)

```
{
    max_content = i;
    if ((His[i] + His[i - 1] + His[i - 2] + His[i - 3]) > HisThreshold) {
        break;
    }
}
```

$max_content = max_content \div 1024$;

$Num_3 = N(L3)$, $Num_4 = N(M1) - N(L3)$, $Num_5 = N(max_content) - N(M1)$;

$NumAll = Num_3 + Num_4 + Num_5$;

$ratio[0] = (targeted_lum \div max_content) \times (Num_3 \div (L3 \times NumAll \div max_content))$;

$ratio[1] = (targeted_lum \div max_content) \times (Num_4 \div ((M1 - L3) \times NumAll \div max_content))$;

$$ratio[2] = (targeted_lum \div max_content) \times (Num_5 \div ((max_content - M1) \times NumAll \div max_lum));$$

f) 更新ratio[0]和ratio[1]

$$MaxRatio = \text{Max}(\text{Max}(ratio[0], ratio[1]), ratio[2]);$$

$$adjust = (1 - (targeted_lum \div max_content)) \div (MaxRatio - (targeted_lum \div max_content));$$

$$adjust = \text{Clip3}(0, 1, adjust);$$

$$ratio[0] = (ratio[0] - (targeted_lum \div max_content)) \times adjust + (targeted_lum \div max_content);$$

$$ratio[1] = (ratio[1] - (targeted_lum \div max_content)) \times adjust + (targeted_lum \div max_content);$$

g) 更新N3和N1

$$N3 = L3 \times ratio[0];$$

$$N1 = (M1 - L3) \times ratio[1] + N3;$$

h) 计算m_p和m_a:

根据 (M1, N1)、(L3, N3) 得到方程, 见公式 (B. 34) 和 (B. 35):

$$m_a \times \left(\frac{m_p \times M1^{m_n}}{(m_p-1) \times M1^{m_n+1}} \right)^{m_m} + m_b = N1 \dots\dots\dots (B. 34)$$

$$m_a \times \left(\frac{m_p \times L3^{m_n}}{(m_p-1) \times L3^{m_n+1}} \right)^{m_m} + m_b = N3 \dots\dots\dots (B. 35)$$

公式 (B. 34) 和 (B. 35) 中, $m_m = 2.4$, $m_n = 1.0$, $m_b = 0.0$;

求解方程得到m_p和m_a, 见公式 (B. 36)。

$$m_p = 1 + \left(\left(\frac{N1}{N3} \right)^{\frac{1}{m_m}} \times L3 - M1 \right) \div \left(M1 \times L3 \times \left(1 - \left(\frac{N1}{N3} \right)^{\frac{1}{m_m}} \right) \right) \dots\dots\dots (B. 36)$$

$$m_a = \frac{N1}{(m_p \times M1 \div ((m_p-1) \times M1 + 1))^{m_m}}$$

i) 更新m_p和m_a:

变量f_{MAX_997}按照公式 (B. 37) 进行计算。

$$\frac{N(f_{MAX_997})}{N_{frame}} = 0.997 \dots\dots\dots (B. 37)$$

式中, N(x)表示f_{MAX}[N_{frame}]在f_{MAX}[N_{frame}] < x范围内数量。

变量Threshold按照公式 (B. 38) 进行计算。

$$Threshold = \begin{cases} 12.0 & f_{MAX_997} \geq 0.75 \\ 12.28 - (f_{MAX_997} - 0.7) \div (0.75 - 0.7) \times (12.28 - 12.0) & 0.7 \leq f_{MAX_997} < 0.75 \dots\dots\dots (B. 38) \\ 12.28 & f_{MAX_997} < 0.7 \end{cases}$$

如果m_p + 10 × m_a > Threshold, 且m_p > 3.5, 则循环执行以下步骤:

$$m_p -= \Delta, \Delta = 0.1;$$

m_a通过公式 (B. 39) 得到。

$$m_a = \frac{N1}{(m_p \times M1 \div ((m_p - 1) \times M1 + 1))^{m_m}} \dots\dots\dots (B. 39)$$

如果 $m_p \leq 3.5$, 则 $m_a = (Threshold - m_p) \div 10.0$, 退出循环, 执行步骤 j);

或者如果 $m_p + 10 \times m_a \leq Threshold$, 则退出循环, 执行步骤 j);

j) 如果 $m_p + 10 \times m_a > Threshold$, 则 $m_a = (Threshold - m_p) \div 10.0$ 。

k) 元数据 $base_param_m_p[i][w]$ 按照公式 (B. 40) 进行计算和元数据 $base_param_m_a[i][w]$ 按照公式 (B. 41) 进行计算。

$$base_param_m_p[i][w] = \text{Floor}(m_p \times 16383 \div 10.0) \dots\dots\dots (B. 40)$$

$$base_param_m_a[i][w] = \text{Floor}(m_a \times 1023) \dots\dots\dots (B. 41)$$

B. 5.3 基础曲线参数元数据生成过程2

输入: RGB像素缓冲区 $f[N_{\text{frame}}][3]$ 。

输出: $base_param_m_p[i][w]$ 、 $base_param_m_m[i][w]$ 、 $base_param_m_n[i][w]$ 、 $base_param_m_a[i][w]$ 、 $base_param_m_b[i][w]$ 、 $base_param_K1[i][w]$ 、 $base_param_K2[i][w]$ 、 $base_param_K3[i][w]$ 。

生成过程如下。

a) $base_param_m_m[i][w] = 24$, $base_param_m_n[i][w] = 10$, $base_param_K1[i][w] = 1$, $base_param_K2[i][w] = 1$, $base_param_K3[i][w] = 1$, $base_param_m_b[i][w] = 0$ 。

b) 计算 $L3$ 、 $N3$ 。

计算 $f_{\text{MAX}}[N_{\text{frame}}]$ 的直方图 $His[i]$, $0 \leq i < 1024$:

```
for (i=0; i < 1024; i++)
```

```
{
```

```
     $His[\text{Floor}(f_{\text{MAX}}[i] \times 1023)]++;$ 
```

```
}
```

计算 $max_content$:

```
 $HisThreshold = N_{\text{frame}} \times 4 \div (1024 \times 10)$ 
```

```
for (i=1024; i >= 622; i-=4)
```

```
{
```

```
     $max\_content = i;$ 
```

```
    if ( $(His[i] + His[i - 1] + His[i - 2] + His[i - 3]) > HisThreshold$ 
```

```
        ) {
```

```
        break;
```

```
    }
```

```
}
```

$max_content = max_content \div 1024$;

亮度值 $L3$ 按照公式 (B. 42) 进行计算; 亮度值 $N3$ 按照公式 (B. 43) 进行计算。

$$L3 = max_content \dots\dots\dots (B. 42)$$

$$N3 = targeted_system_display_maximum_luminance \dots\dots\dots (B. 43)$$

c) 亮度值 $L2$ 按照公式 (B. 44) 进行计算; 亮度值 $N2$ 按照公式 (B. 45) 进行计算。

$$L2 = \frac{\sum_{i=0}^{N_{\text{frame}}-1} f_{\text{MAX}}[i]}{N_{\text{frame}}} \dots\dots\dots (B. 44)$$

$$N2 = \frac{\sum_{i=0}^{N_{\text{frame}}-1} q(i)}{N_{\text{frame}}} \dots\dots\dots (B. 45)$$

式中, $q(i)$ 通过公式 (B. 46) 得到。

$$q(i) = \begin{cases} N3 & f_{\text{MAX}}[i] \geq N3 \\ f_{\text{MAX}}[i] & \text{其他} \end{cases} \dots\dots\dots (B. 46)$$

d) 亮度值 $L1$ 按照公式 (B. 47) 进行计算; 亮度值 $F1$ 按照公式 (B. 48) 进行计算。

$$L1 = \text{Perceprual_1nit} \dots\dots\dots (B. 47)$$

*Perceprual_1nit*计算见B. 5. 7。

$$F1 = \text{PQ_EOTF}^{-1}(1) \dots\dots\dots (B. 48)$$

e) 计算 $M1$ 、 $N1$:

如果 $L2 < \text{PQ_EOTF}^{-1}(\text{DARK})$ 或者 $N2 < \text{PQ_EOTF}^{-1}(\text{DARK})$, 则 $M1 = N1$, $N1 = F1$;
否则, $M1 = L2$, $N1 = N2$ 。

f) 计算 m_p 和 m_a :

根据 ($M1$, $N1$)、($L3$, $N3$) 得到方程, 见公式 (B. 49) 和公式 (B. 50)。

$$m_a \times \left(\frac{m_p \times M1^{m_n}}{(m_p-1) \times M1^{m_n+1}} \right)^{m_m} + m_b = N1 \dots\dots\dots (B. 49)$$

$$m_a \times \left(\frac{m_p \times L3^{m_n}}{(m_p-1) \times L3^{m_n+1}} \right)^{m_m} + m_b = N3 \dots\dots\dots (B. 50)$$

式中, $m_m = 2.4$, $m_n = 1.0$, $m_b = 0.0$;

求解方程得到 m_p 和 m_a , 见公式 (B. 51)。

$$m_p = 1 + \left(\left(\frac{N1}{N3} \right)^{\frac{1}{m_m}} \times L3 - M1 \right) \div \left(M1 \times L3 \times \left(1 - \left(\frac{N1}{N3} \right)^{\frac{1}{m_m}} \right) \right) \dots\dots\dots (B. 51)$$

$$m_a = \frac{N1}{(m_p \times M1 \div ((m_p-1) \times M1 + 1))^{m_m}}$$

g) 更新 m_p 和 m_a :

如果 $m_p + 10 \times m_a > \text{Threshold}$ 且 $m_p > 3.5$, 其中 Threshold 的计算见公式 (B. 37) 和 (B. 38), 则循环执行以下步骤:

$m_p -= \Delta$, $\Delta = 0.1$;

m_a 通过公式 (B. 52) 得到。

$$m_a = \frac{N1}{(m_p \times M1 \div ((m_p-1) \times M1 + 1))^{m_m}} \dots\dots\dots (B. 52)$$

如果 $m_p \leq 3.5$, 则 $m_a = (\text{Threshold} - m_p) \div 10.0$, 退出循环, 执行步骤h);

或者如果 $m_p + 10 \times m_a \leq \text{Threshold}$, 则退出循环, 执行步骤h)。

h) 如果 $m_p + 10 \times m_a > \text{Threshold}$, 则 m_a 按照公式 (B. 53) 进行计算。

$$m_a = (\text{Threshold} - m_p) \div 10.0 \dots\dots\dots (B. 53)$$

i) 元数据 $\text{base_param_m_p}[i][w]$ 按照公式 (B. 54) 进行计算; 元数据 $\text{base_param_m_a}[i][w]$ 按照公式 (B. 55) 进行计算。

$$\text{base_param_m_p}[i][w] = \text{Floor}(m_p \times 16383 \div 10.0) \dots\dots\dots (B. 54)$$

$$\text{base_param_m_a}[i][w] = \text{Floor}(m_a \times 1023) \dots\dots\dots (B. 55)$$

B.5.4 基础曲线参数元数据生成过程3

输入：RGB像素缓冲区 $f[N_{\text{frame}}][3]$ 。

输出： $base_param_m_p[i][w]$ 、 $base_param_m_m[i][w]$ 、 $base_param_m_n[i][w]$ 、 $base_param_m_a[i][w]$ 、 $base_param_m_b[i][w]$ 、 $base_param_K1[i][w]$ 、 $base_param_K2[i][w]$ 、 $base_param_K3[i][w]$ 。

生成过程如下。

- a) $base_param_m_m[i][w] = 24$ ， $base_param_m_n[i][w] = 10$ ， $base_param_K1[i][w] = 1$ ， $base_param_K2[i][w] = 1$ ， $base_param_K3[i][w] = 1$ ， $base_param_m_b[i][w] = 0$ ， $base_param_m_a[i][w] = \text{Floor}(\text{targeted_system_display_maximum_luminance} \times 1023)$ 。
- b) T_p' 和 T_p 之间占总像素的比例 v 的计算见公式 (B.56)。

$$v = R(T_p') - R(T_p) \dots\dots\dots (B.56)$$

公式 (B.56) 中， $R(x)$ 表示 $f_{\text{MAX}}[N_{\text{frame}}]$ 在 $f_{\text{MAX}}[N_{\text{frame}}] < x$ 范围内的数量占总像素数的比例， T_p 的计算见公式 (B.57)， T_p' 的计算见公式 (B.58)，公式 (B.58) 中 max_lum 的计算见公式 (B.59)。

$$T_p = \text{PQ_EOTF}^{-1}(1) \dots\dots\dots (B.57)$$

$$T_p' = T_p \times \frac{max_lum}{\text{targeted_system_display_maximum_luminance}} \dots\dots\dots (B.58)$$

$$max_lum = \begin{cases} \text{MaxRefDisplay} & \text{MAX1} > \text{MaxRefDisplay} \\ \text{MAX1} & \text{MIN} \leq \text{MAX1} \leq \text{MaxRefDisplay} \dots\dots\dots (B.59) \\ \text{MIN} & \text{MAX1} < \text{MIN} \end{cases}$$

式中， $\text{MIN} = 0.5081$ ， $\text{MaxRefDisplay} = \text{PQ_EOTF}^{-1}(4000)$ ， $\text{MAX1} = 0.2 \times (\text{maximum_maxrgb_pq} \div 4095) + 0.8 \times (\text{average_maxrgb_pq} \div 4095) + 0.4 \times (\text{variance_maxrgb_pq} \div 4095)$ ， maximum_maxrgb_pq 、 average_maxrgb_pq 和 $\text{variance_maxrgb_pq}$ 计算见B.2、B.3和B.4。

- c) 基础曲线参数 m_p 按照公式 (B.60) 进行计算，元数据 $base_param_m_p[i][w]$ 按照公式 (B.61) 进行计算。

$$m_p = c \times v + d \dots\dots\dots (B.60)$$

$$base_param_m_p[i][w] = \text{Floor}(m_p \times 16383 \div 10.0) \dots\dots\dots (B.61)$$

式中， c 和 d 可以逐帧变化，建议值为 $c = 7$ ， $d = 3$ 。

B.5.5 基础曲线参数元数据生成过程4

输入：RGB像素缓冲区 $f[N_{\text{frame}}][3]$ 。

输出： $base_param_m_p[i][w]$ 、 $base_param_m_m[i][w]$ 、 $base_param_m_n[i][w]$ 、 $base_param_m_a[i][w]$ 、 $base_param_m_b[i][w]$ 、 $base_param_K1[i][w]$ 、 $base_param_K2[i][w]$ 、 $base_param_K3[i][w]$ 。

生成过程如下：

- a) $base_param_m_m[i][w] = 10$ ， $base_param_m_n[i][w] = 4$ ， $base_param_K1[i][w] = 1$ ， $base_param_K2[i][w] = 1$ ， $base_param_K3[i][w] = 1$ ， $base_param_m_b[i][w] = 0$ 。
- b) 计算 $L3$ 、 $N3$ ：
计算 $f_{\text{MAX}}[N_{\text{frame}}]$ 的直方图 $His[i]$ ， $0 \leq i < 1024$ ：

```

for(i=0; i<1024; i++)
{
    His[Floor( $f_{MAX}[i] \times 1023$ )]++;
}

```

计算 $max_content$:

$$HisThreshold = N_{frame} \times 4 \div (1024 \times 10)$$

```

for(i=1024; i>=622; i-=4)
{
    max_content= i;
    if((His[i]+ His[i-1]+ His[i-2]+ His[i-3])>HisThreshold)
    {
        break;
    }
}

```

$$max_content = max_content \div 1024;$$

亮度值 $L3$ 按照公式 (B. 62) 进行计算; 亮度值 $N3$ 按照公式 (B. 63) 进行计算。

$$L3 = max_content \dots \dots \dots (B. 62)$$

$$N3 = targeted_system_display_maximum_luminance \dots \dots \dots (B. 63)$$

式中, max_lum 通过公式 (B. 64) 得到。

$$max_lum = \begin{cases} MaxRefDisplay & MAX1 > MaxRefDisplay \\ MAX1 & MIN \leq MAX1 \leq MaxRefDisplay \\ MIN & MAX1 < MIN \end{cases} \dots \dots \dots (B. 64)$$

$MIN = 0.5081$, $MaxRefDisplay = PQ_EOTF^{-1}(4000)$, $MAX1 = 0.2 \times (maximum_maxrgb_pq \div 4095) + 0.8 \times (average_maxrgb_pq \div 4095) + 0.4 \times (variance_maxrgb_pq \div 4095)$, $maximum_maxrgb_pq$ 、 $average_maxrgb_pq$ 和 $variance_maxrgb_pq$ 计算见B. 2、B. 3和B. 4。

c) 亮度值 $L2$ 按照公式 (B. 65) 进行计算; 亮度值 $N3$ 按照公式 (B. 66) 进行计算。

$$L2 = \frac{\sum_{i=0}^{N_{frame}-1} f_{MAX}[i]}{N_{frame}} \dots \dots \dots (B. 65)$$

$$N2 = \frac{\sum_{i=0}^{N_{frame}-1} q(i)}{N_{frame}} \dots \dots \dots (B. 66)$$

式中, $q(i)$ 通过公式 (B. 67) 得到。

$$q(i) = \begin{cases} N3 & f_{MAX}[i] \geq N3 \\ f_{MAX}[i] & \text{其他} \end{cases} \dots \dots \dots (B. 67)$$

d) 亮度值 $L1$ 按照公式 (B. 68) 进行计算; 亮度值 $F1$ 按照公式 (B. 69) 进行计算。

$$L1 = Perceptual_1nit \dots \dots \dots (B. 68)$$

$Perceptual_1nit$ 计算见B. 5. 7。

$$F1 = PQ_EOTF^{-1}(1) \dots \dots \dots (B. 69)$$

e) 计算 $M1$ 、 $N1$:

如果 $L2 < PQ_EOTF^{-1}(DARK)$ 或者 $N2 < PQ_EOTF^{-1}(DARK)$, 则 $M1 = L1$, $N1 = F1$;

否则, $M1 = L2$, $N1 = N2$ 。

f) 计算 $base_param_m_p[i][w]$ 、 $base_param_m_a[i][w]$ 。

根据 $(M1, N1)$ 、 $(L3, N3)$ 得到方程，见公式 (B.70) 和 (B.71)。

$$m_a \times \left(\frac{m_p \times M1^{m_n}}{(m_p-1) \times M1^{m_n+1}} \right)^{m_m} + m_b = N1 \dots \dots \dots (B.70)$$

$$m_a \times \left(\frac{m_p \times L3^{m_n}}{(m_p-1) \times L3^{m_n+1}} \right)^{m_m} + m_b = N3 \dots \dots \dots (B.71)$$

式中， $m_m=1.0$ ， $m_n=0.4$ ， $m_b=0.0$ ；

求解方程得到 m_p 和 m_a ，见公式 (B.72)。

$$m_p = 1 + \left(\left(\frac{N1}{N3} \right)^{\frac{1}{m_m}} \times L3 - M1 \right) \div \left(M1 \times L3 \times \left(1 - \left(\frac{N1}{N3} \right)^{\frac{1}{m_m}} \right) \right) \dots \dots \dots (B.72)$$

$$m_a = \frac{N1}{(m_p \times M1 \div ((m_p-1) \times M1 + 1))^{m_m}}$$

元数据 $base_param_m_p[i][w]$ 按照公式 (B.73) 进行计算；元数据 $base_param_m_a[i][w]$ 按照公式 (B.74) 进行计算。

$$base_param_m_p[i][w] = \text{Floor}(m_p \times 16383 \div 10.0) \dots \dots \dots (B.73)$$

$$base_param_m_a[i][w] = \text{Floor}(m_a \times 1023) \dots \dots \dots (B.74)$$

B.5.6 基础曲线参数元数据生成过程5

输入：RGB像素缓冲区 $f[N_{frame}][3]$ 。

输出： $base_param_m_p[i][w]$ 、 $base_param_m_m[i][w]$ 、 $base_param_m_n[i][w]$ 、 $base_param_m_a[i][w]$ 、 $base_param_m_b[i][w]$ 、 $base_param_K1[i][w]$ 、 $base_param_K2[i][w]$ 、 $base_param_K3[i][w]$ 。

生成过程如下。

- a) $base_param_m_m[i][w] = 24$ ， $base_param_m_n[i][w] = 10$ ， $base_param_K1[i][w] = 1$ ， $base_param_K2[i][w] = 1$ ， $base_param_K3[i][w] = 1$ ， $base_param_m_b[i][w] = 0$ 。

- b) 计算 $L3$ 、 $N3$ 。

计算 $f[N_{frame}][3]$ 的直方图 $His[3][i]$ ， $0 \leq i < 1024$ ：

```
for(i=0; i < 1024; i++)
{
    His[0][Floor(f[i][0] × 1023)]++;
    His[1][Floor(f[i][1] × 1023)]++;
    His[2][Floor(f[i][2] × 1023)]++;
}
```

计算 $max_content_RGB[0]$ 、 $max_content_RGB[1]$ 、 $max_content_RGB[2]$ ：

$HisThreshold = N_{frame} \times 4 \div (1024 \times 10)$

```
for(i=1024; i >= 622; i-=4)
{
    for(k=0; k < 3; k++)
```

```

{
    max_content_RGB[k]= i;
    if((His[k][i]+ His[k][i-1]+ His[k][i-2]+ His[k][i-3])>HisThreshold
        count = 0 ;
        for(j = i; j < i + 5; j ++){
            if(His[k][j] > HisThreshold ÷ 3){
                count ++;
            } else {
                break;
            }
        }
    for(j = i - 1; j > i - 5; j --){
        if(His[k][j] > HisThreshold ÷ 3){
            count ++;
        } else {
            break;
        }
    }
    if(count >= 8){
        break;
    }
}

```

计算max_content:

$$max_content = \text{Median}(max_content_RGB[0], max_content_RGB[1], max_content_RGB[2])$$

$$max_content = max_content \div 1024;$$

亮度值L3按照公式 (B. 75) 进行计算; 亮度值N3按照公式 (B. 76) 进行计算。

$$L3 = max_content \dots\dots\dots (B. 75)$$

$$N3 = targeted_system_display_maximum_luminance \dots\dots\dots (B. 76)$$

c) 亮度值L2按照公式 (B. 77) 进行计算; 亮度值N2按照公式 (B. 78) 进行计算。

$$L2 = \frac{\sum_{i=0}^{N_{frame}-1} f_{MAX}[i]}{N_{frame}} \dots\dots\dots (B. 77)$$

$$N2 = \frac{\sum_{i=0}^{N_{frame}-1} q(i)}{N_{frame}} \dots\dots\dots (B. 78)$$

式中, q(i)通过公式 (B. 79) 得到。

$$q(i) = \begin{cases} N3 & f_{MAX}[i] \geq N3 \\ f_{MAX}[i] & \text{其他} \end{cases} \dots\dots\dots (B. 79)$$

d) 亮度值L1按照公式 (B. 80) 进行计算; 亮度值F1按照公式 (B. 81) 进行计算。

$$L1 = Perceprual_1nit \dots\dots\dots (B. 80)$$

Perceprual_1nit计算见B. 5. 7。

$$F1 = PQ_EOTF^{-1}(1) \dots\dots\dots (B. 81)$$

e) 计算M1、N1:

如果 $L2 < PQ_EOTF^{-1}(DARK)$ 或者 $N2 < PQ_EOTF^{-1}(DARK)$, 则 $M1 = N1, N1 = F1$;
 否则, $M1 = L2, N1 = N2$ 。

f) 计算 m_p 和 m_a :

根据 $(M1, N1)$ 、 $(L3, N3)$ 得到方程, 见公式 (B. 82) 和公式 (B. 83)。

$$m_a \times \left(\frac{m_p \times M1^{m_n}}{(m_p-1) \times M1^{m_n+1}} \right)^{m_m} + m_b = N1 \dots\dots\dots (B. 82)$$

$$m_a \times \left(\frac{m_p \times L3^{m_n}}{(m_p-1) \times L3^{m_n+1}} \right)^{m_m} + m_b = N3 \dots\dots\dots (B. 83)$$

式中, $m_m = 2.4, m_n = 1.0, m_b = 0.0$;
 求解方程得到 m_p 和 m_a , 见公式 (B. 84)。

$$m_p = 1 + \left(\left(\frac{N1}{N3} \right)^{\frac{1}{m_m}} \times L3 - M1 \right) \div \left(M1 \times L3 \times \left(1 - \left(\frac{N1}{N3} \right)^{\frac{1}{m_m}} \right) \right) \dots\dots\dots (B. 84)$$

$$m_a = \frac{N1}{(m_p \times M1 \div ((m_p-1) \times M1 + 1))^{m_m}}$$

g) 更新 m_p 和 m_a :

如果 $m_p + 10 \times m_a > Threshold$ 且 $m_p > 3.5$, 其中 $Threshold$ 的计算见公式 (B. 37) 和 (B. 38), 则循环执行以下步骤:

$m_p -= \Delta, \Delta = 0.1$;

m_a 通过公式 (B. 85) 得到。

$$m_a = \frac{N1}{(m_p \times M1 \div ((m_p-1) \times M1 + 1))^{m_m}} \dots\dots\dots (B. 85)$$

如果 $m_p \leq 3.5$, 则 $m_a = (Threshold - m_p) \div 10.0$, 退出循环, 执行步骤h);
 或者如果 $m_p + 10 \times m_a \leq Threshold$, 则退出循环, 执行步骤h)。

h) 如果 $m_p + 10 \times m_a > Threshold$, 则 m_a 按照公式 (B. 86) 进行计算。

$$m_a = (Threshold - m_p) \div 10.0 \dots\dots\dots (B. 86)$$

i) 更新 m_a 和 m_p :

$numTH1TH3 = 0$;

for ($i = 0$; $i < 0.225 \times 1025$; $i ++$) {

$numTH1TH3 += his[i]$;

}

$darkratio = numTH1TH3 \div N_{frame}$;

$mprange = m_p > 5.5 ? 2.0 : (m_p - 3.5)$;

$marange = m_p > 5.5 ? 0.1 : (mprange \div 2.0 \times 0.1)$;

if ($darkratio > 0.05$ && $darkratio \leq 0.4$) {

$m_p -= (darkratio - 0.4) \div (0.05 - 0.4) \times mprange$;

$m_a += (darkratio - 0.4) \div (0.05 - 0.4) \times marange$;

}

j) 元数据 $base_param_m_p[i][w]$ 按照公式 (B. 87) 进行计算; 元数据 $base_param_m_a[i][w]$ 按照公式 (B. 88) 进行计算。

$$base_param_m_p[i][w] = \text{Floor}(m_p \times 16383 \div 10.0) \dots\dots\dots (B. 87)$$

$$base_param_m_a[i][w] = \text{Floor}(m_a \times 1023) \dots\dots\dots (B. 88)$$

B. 5.7 Perceptual_1nit的计算方法

Perceptual_1nit的计算方法如下：

- a) 亮度值Lp通过公式 (B. 89) 进行计算。

$$N(Lp) = (N(L0) - N(1)) \times Rate + N(1) \dots\dots\dots (B. 89)$$

式中，N(x)表示f_{MAX}[N_{frame}]在f_{MAX}[N_{frame}]<x范围内数量，L0 =5，Rate =0.3。

- b) 亮度值Perceptual_1nit通过公式 (B. 90) 进行计算。

$$Perceptual_1nit = \text{PQ_EOTF}^{-1}(Lp) \dots\dots\dots (B. 90)$$

B. 6 三次样条参数元数据生成过程

B. 6.1 概述

三次样条参数元数据生成过程如下：

- a) 如果源视频为PQ视频，则调用B. 6. 2生成三次样条参数元数据；
- b) 如果源视频为HLG视频，则调用B. 6. 3生成三次样条参数元数据；

B. 6.2 三次样条参数元数据生成过程1

输入：RGB像素缓冲区f[N_{frame}][3]。

输出：3Spline_TH_enable[0][i][w]、3Spline_TH_enable_Delta1[0][i][w]、
3Spline_TH_enable_Delta2[0][i][w]、3Spline_enable_strength[0][i][w]、
3Spline_TH_enable[1][i][w]、3Spline_TH_enable_Delta1[1][i][w]、
3Spline_TH_enable_Delta2[1][i][w]、3Spline_enable_strength[1][i][w]。

生成过程如下。

- a) TH1[1] =0.15，TH3[1] =0.35。
- b) f[index][0]、f[index][1]和f[index][2]中的最大值（f_{MAX}[index]）按照公式 (B. 91) 进行计算。

$$f_{MAX}[index] = \text{Max}(\text{Max}(f[index][0], f[index][1]), f[index][2]) \dots\dots (B. 91)$$

- c) 第二插值点TH2[1]按照公式 (B. 92) 进行计算。

$$TH2[1] = \frac{\sum_{i=0}^{N_{frame}-1} q(i)}{Num} \dots\dots\dots (B. 92)$$

式中，q(i)通过公式 (B. 93) 得到。

$$q(i) = \begin{cases} f_{MAX}[i] & TH1[1] \leq f_{MAX}[i] \leq TH3[1] \\ 0 & \text{其他} \end{cases} \dots\dots\dots (B. 93)$$

Num为f_{MAX}[N_{frame}]在TH1[1]≤f_{MAX}[N_{frame}]≤TH3[1]范围内数量。

- d) 元数据 3Spline_TH_enable[0][i][w] 按照公式 (B. 94) 进行计算；元数据 3Spline_TH_enable_Delta1[0][i][w] 按照公式 (B. 95) 进行计算、3Spline_TH_enable_Delta2[0][i][w]按照公式 (B. 96) 进行计算。

$$3Spline_TH_enable[0][i][w] = \text{Floor}(TH1[1] \times 4095) \dots\dots\dots (B. 94)$$

$$3Spline_TH_enable_Delta1[0][i][w] = \text{Floor}((TH2[1] - TH1[1]) \times 4.0 \times 1023) \dots\dots (B. 95)$$

$$3Spline_TH_enable_Delta2[0][i][w] = \text{Floor}((TH3[1] - TH2[1]) \times 4.0 \times 1023) \dots\dots (B. 96)$$

- e) 数量值 Num_{11} 按照公式 (B. 97) 进行计算; 数量值 Num_{12} 按照公式 (B. 98) 进行计算。

$$Num_{11} = N(TH2[1]) - N(TH1[1]) \dots\dots\dots (B. 97)$$

$$Num_{12} = N(TH3[1]) - N(TH2[1]) \dots\dots\dots (B. 98)$$

式中, $N(x)$ 表示 $f_{MAX}[N_{frame}]$ 在 $f_{MAX}[N_{frame}] < x$ 范围内的数量。

- f) 计算 $3Spline_enable_strength[0][i][w]$ 。

$Splien_Strength_1 = 0$;

如果 $Num_{11} < Num_{12}$, $Splien_Strength_1 += \Delta$

如果 $2 \times Num_{11} < Num_{12}$, $Splien_Strength_1 += 2 \times \Delta$

否则, 不更新 $Splien_Strength_1$

其中, $\Delta = -0.1$ 。

$3Spline_enable_strength[0][i][w]$ 按照公式 (B. 99) 进行计算。

$$3Spline_enable_strength[0][i][w] = \text{Floor}((Splien_Strength_1 + 1.0) \times (255 \div 2)) \dots\dots (B. 99)$$

- g) 计算 $TH1[2]$ 、 $TH3[2]$ 。

计算 $f_{MAX}[N_{frame}]$ 的直方图 $His[i]$, $0 \leq i < 1024$:

for ($i=0$; $i < 1024$; $i++$)

{

$His[\text{Floor}(f_{MAX}[i] \times 1023)]++$;

}

计算 $max_content$:

$HisThreshold = N_{frame} \times 4 \div (1024 \times 10)$

for ($i = 1024$; $i >= 622$; $i -= 4$)

{

$max_content = i$;

if ($((His[i] + His[i - 1] + His[i - 2] + His[i - 3]) > HisThreshold$

) {

break;

}

}

$max_content = max_content \div 1024$;

第一插值点 $TH1[2]$ 按照公式 (B. 100) 进行计算, 第三插值点按照公式 (B. 101) 进行计算。

$$TH1[2] = TH3[1] + ((max_content - TH3[1]) \div U) \times (U - 2) \dots\dots (B. 100)$$

$$TH3[2] = max_content \dots\dots\dots (B. 101)$$

式中, $U=6$ 。

- h) 中间变量值 $highRatio$ 按照公式 (B. 102) 进行计算; 中间变量值 $wholeRatio$ 按照公式 (B. 103) 进行计算。

$$highRatio = R(TH3[2]) - R(TH1[2]) \dots\dots\dots (B. 102)$$

式中, $R(x)$ 表示 $f_{MAX}[N_{frame}]$ 在 $f_{MAX}[N_{frame}] < x$ 范围内数量占总像素数的比例;

$$wholeRatio = (TH3[2] - TH1[2]) \div max_content \dots\dots\dots (B. 103)$$

- i) 更新 $TH1[2]$ 按照公式 (B. 104) 进行计算。

$$TH1[2] = TH1[2] - \text{pow}(highRatio \div wholeRatio, 0.5) \times ((max_content - TH3[1]) \div U) \dots\dots (B. 104)$$

元数据 $3Spline_TH_enable[1][i][w]$ 按照公式 (B. 105) 进行计算；元数据 $3Spline_TH_enable_Delta1[1][i][w]$ 按照公式 (B. 106) 进行计算；元数据 $3Spline_TH_enable_Delta2[1][i][w]$ 按照公式 (B. 107) 进行计算。

$$3Spline_TH_enable[1][i][w] = \text{Floor}(TH1[2] \times 4095) \dots \dots \dots (B. 105)$$

$$3Spline_TH_enable_Delta1[1][i][w] = \text{Floor}((TH2[2] - TH1[2]) \times 4.0 \times 1023) \dots \dots (B. 106)$$

$$3Spline_TH_enable_Delta2[1][i][w] = \text{Floor}((TH3[2] - TH2[2]) \times 4.0 \times 1023) \dots \dots (B. 107)$$

- j) 将 $[TH1[2], TH3[2]]$ 划分为大小相等的8个子区间，计算第2, 3, 4, 5, 6子区间中包含像素数量最少的子区间 n_min 。

$TH2[2]$ 按照公式 (B. 108) 进行计算。

$$TH2[2] = TH1[2] + (TH3[2] - TH1[2]) \times n_min \div N + (TH3[2] - TH1[2]) \div (2 \times N) \dots (B. 108)$$

- k) 更新后的元数据 $3Spline_TH_enable_Delta1[1][i][w]$ 按照公式 (B. 109) 进行计算。

$$3Spline_TH_enable_Delta1[1][i][w] = (TH2[2] - TH1[2]) \times 4.0 \times 1023 \dots \dots (B. 109)$$

- l) 数量值 Num_{21} 按照公式 (B. 110) 进行计算；数量值 Num_{22} 按照公式 (B. 111) 进行计算。

$$Num_{21} = N(TH2[2]) - N(TH1[2]) \dots \dots \dots (B. 110)$$

$$Num_{22} = N(TH3[2]) - N(TH2[2]) \dots \dots \dots (B. 111)$$

式中， $N(x)$ 表示 $f_{MAX}[N_{frame}]$ 在 $f_{MAX}[N_{frame}] < x$ 范围内的数量。

- m) 计算 $3Spline_enable_strength[1][i][w]$ 。

$Splien_Strength_2 = 0$;

如果 $Num_{21} < Num_{22}$, $Splien_Strength_2 += \Delta$;

如果 $2 \times Num_{21} < Num_{22}$, $Splien_Strength_2 += 2 \times \Delta$;

其中, $\Delta = 0.1$ 。

否则, 不更新 $Splien_Strength_2$ 。

元数据 $3Spline_enable_strength[1][i][w]$ 按照公式 (B. 112) 进行计算。

$$3Spline_enable_Strength[1][i][w] = \text{Floor}((Splien_Strength + 1.0) \times (255 \div 2)) \dots (B. 112)$$

B. 6.3 三次样条参数元数据生成过程2

输入: RGB像素缓冲区 $f[N_{frame}][3]$ 。

输出: $3Spline_TH_enable[0][i][w]$ 、 $3Spline_TH_enable_Delta1[0][i][w]$ 、
 $3Spline_TH_enable_Delta2[0][i][w]$ 、 $3Spline_enable_strength[0][i][w]$ 、
 $3Spline_TH_enable[1][i][w]$ 、 $3Spline_TH_enable_Delta1[1][i][w]$ 、
 $3Spline_TH_enable_Delta2[1][i][w]$ 、 $3Spline_enable_strength[1][i][w]$ 。

生成过程如下。

- a) $TH1[1] = 0.15$, $TH3[1] = 0.35$ 。

- b) $f[index][0]$ 、 $f[index][1]$ 和 $f[index][2]$ 中的最大值 ($f_{MAX}[index]$) 按照公式 (B. 113) 进行计算。

$$f_{MAX}[index] = \text{Max}(\text{Max}(f[index][0], f[index][1]), f[index][2]) \dots (B. 113)$$

- c) 第二插值点 $TH2[1]$ 按照公式 (B. 114) 进行计算。

$$TH2[1] = \frac{\sum_{i=0}^{N_{frame}-1} q(i)}{Num} \dots \dots \dots (B. 114)$$

式中, $q(i)$ 通过公式 (B. 115) 得到。

$$q(i) = \begin{cases} f_{\text{MAX}}[i] & TH1[1] \leq f_{\text{MAX}}[i] \leq TH3[1] \\ 0 & \text{其他} \end{cases} \dots\dots\dots (B. 115)$$

*Num*为 $f_{\text{MAX}}[N_{\text{frame}}]$ 在 $TH1[1] \leq f_{\text{MAX}}[N_{\text{frame}}] \leq TH3[1]$ 范围内数量。

- d) 元数据 *3Spline_TH_enable*[0][i][w] 按照公式 (B. 116) 进行计算; 元数据 *3Spline_TH_enable_Delta1*[0][i][w] 按照公式 (B. 117) 进行计算、*3Spline_TH_enable_Delta2*[0][i][w]按照公式 (B. 118) 进行计算。

$$3Spline_TH_enable[0][i][w] = \text{Floor}(TH1[1] \times 4095) \dots\dots\dots (B. 116)$$

$$3Spline_TH_enable_Delta1[0][i][w] = \text{Floor}((TH2[1] - TH1[1]) \times 4.0 \times 1023) \dots (B. 117)$$

$$3Spline_TH_enable_Delta2[0][i][w] = \text{Floor}((TH3[1] - TH2[1]) \times 4.0 \times 1023) \dots\dots (B. 118)$$

- e) 数量值 Num_{11} 按照公式 (B. 119) 进行计算; 数量值 Num_{12} 按照公式 (B. 120) 进行计算。

$$Num_{11} = N(TH2[1]) - N(TH1[1]) \dots\dots\dots (B. 119)$$

$$Num_{12} = N(TH3[1]) - N(TH2[1]) \dots\dots\dots (B. 120)$$

式中, $N(x)$ 表示 $f_{\text{MAX}}[N_{\text{frame}}]$ 在 $f_{\text{MAX}}[N_{\text{frame}}] < x$ 范围内的数量。

- f) 计算*3Spline_enable_strength*[0][i][w]。

*Splien_Strength*₁ = 0;

如果 $Num_{11} < Num_{12}$, *Splien_Strength*₁ += Δ

如果 $2 \times Num_{11} < Num_{12}$, *Splien_Strength*₁ += $2 \times \Delta$

否则, 不更新*Splien_Strength*₁

其中, $\Delta = -0.1$ 。

3Spline_enable_strength[0][i][w]按照公式 (B. 121) 进行计算。

$$3Spline_enable_strength[0][i][w] = \text{Floor}((Splien_Strength_1 + 1.0) \times (255 \div 2)) \dots (B. 121)$$

- g) 计算*TH1*[2]、*TH3*[2]。

计算 $f_{\text{MAX}}[N_{\text{frame}}]$ 的直方图*His*[i], $0 \leq i < 1024$:

for ($i=0$; $i < 1024$; $i++$)

```
{
    His[Floor( $f_{\text{MAX}}[i] \times 1023$ )]++;
}
```

计算*max_content*:

按照 B 5. 6 中步骤 b) 计算 *max_content_RGB*[0], *max_content_RGB*[1], *max_content_RGB*[2]*max_content_mid* =

Median(*max_content_RGB*[0],*max_content_RGB*[1],*max_content_RGB*[2])

cutoff = *max_content_mid*;

sum=0;

for ($i = 0$; $i < 1024$; $i ++$)

```
{
    sum += His[i] ;
    if (sum >= 0.999 ×  $N_{\text{frame}}$ ) {
        his999 = i;
        break;
    }
    else if (sum >= 0.998 ×  $N_{\text{frame}}$ ) {
```

```

        his999 = i;
        his998 = i;
    }
    else if(sum >= 0.997×Nframe) {
        his999 = i;
        his998 = i;
        his997 = i;
    }
}
if(cutoff < his997) {
    numexp = 0;
    over997 = 0;
    over998 = 0;
    for(i = cutoff; i <= maximum_maxrgb_pq ÷ 4095 × 1024; i++)
    {
        numexp += His[i];
    }
    for(i = his997; i <= maximum_maxrgb_pq ÷ 4095 × 1024; i++)
    {
        over997 += His[i];
    }
    for(i = his998; i <= maximum_maxrgb_pq ÷ 4095 × 1024; i++)
    {
        over998 += His[i];
    }
    if((over997 ÷ numexp) >= 0.2 && (over998 ÷ numexp) >= 0.2) {
        cutoff = 1.015 × his999;
    } else {
        cutoff = his997;
    }
}
max_content = cutoff ÷ 1024;

```

第一插值点 $TH1[2]$ 按照公式 (B. 122) 进行计算，第三插值点按照公式 (B. 123) 进行计算。

$$TH1[2] = TH3[1] + ((max_content - TH3[1]) \div U) \times (U - 2) \dots \dots (B. 122)$$

$$TH3[2] = max_content \dots \dots \dots (B. 123)$$

式中， $U=6$ 。

- h) 中间变量值 $highRatio$ 按照公式 (B. 124) 进行计算；中间变量值 $wholeRatio$ 按照公式 (B. 125) 进行计算。

$$highRatio = R(TH3[2]) - R(TH1[2]) \dots \dots \dots (B. 124)$$

式中， $R(x)$ 表示 $f_{MAX}[N_{frame}]$ 在 $f_{MAX}[N_{frame}] < x$ 范围内数量占总像素数的比例；

$$wholeRatio = (TH3[2] - TH1[2]) \div max_content \dots \dots \dots (B. 125)$$

i) 更新 $TH1[2]$ 按照公式 (B. 126) 进行计算。

$$TH1[2] = TH1[2] - \text{pow}(\text{highRatio} \div \text{wholeRatio}, 0.5) \times ((\text{max_content} - TH3[1]) \div U) \dots (B. 126)$$

元数据 $3Spline_TH_enable[1][i][w]$ 按照公式 (B. 127) 进行计算；元数据

$3Spline_TH_enable_Delta1[1][i][w]$ 按照公式 (B. 128) 进行计算；元数据

$3Spline_TH_enable_Delta2[1][i][w]$ 按照公式 (B. 129) 进行计算。

$$3Spline_TH_enable[1][i][w] = \text{Floor}(TH1[2] \times 4095) \dots \dots \dots (B. 127)$$

$$3Spline_TH_enable_Delta1[1][i][w] = \text{Floor}((TH2[2] - TH1[2]) \times 4.0 \times 1023 \dots \dots (B. 128)$$

$$3Spline_TH_enable_Delta2[1][i][w] = \text{Floor}((TH3[2] - TH2[2]) \times 4.0 \times 1023) \dots \dots (B. 129)$$

j) 将 $[TH1[2], TH3[2]]$ 划分为大小相等的8个子区间，计算第2, 3, 4, 5, 6子区间中包含像素数量最少的子区间 n_{min} 。

$TH2[2]$ 按照公式 (B. 130) 进行计算。

$$TH2[2] = TH1[2] + (TH3[2] - TH1[2]) \times n_{min} \div N + (TH3[2] - TH1[2]) \div (2 \times N) \dots (B. 130)$$

k) 更新后的元数据 $3Spline_TH_enable_Delta1[1][i][w]$ 按照公式 (B. 131) 进行计算。

$$3Spline_TH_enable_Delta1[1][i][w] = (TH2[2] - TH1[2]) \times 4.0 \times 1023 \dots \dots (B. 131)$$

l) 数量值 Num_{21} 按照公式 (B. 132) 进行计算；数量值 Num_{22} 按照公式 (B. 133) 进行计算。

$$Num_{21} = N(TH2[2]) - N(TH1[2]) \dots \dots \dots (B. 132)$$

$$Num_{22} = N(TH3[2]) - N(TH2[2]) \dots \dots \dots (B. 133)$$

式中， $N(x)$ 表示 $f_{MAX}[N_{frame}]$ 在 $f_{MAX}[N_{frame}] < x$ 范围内的数量。

m) 计算 $3Spline_enable_strength[1][i][w]$ 。

$Splien_Strength_2 = 0$;

如果 $Num_{21} < Num_{22}$, $Splien_Strength_2 += \Delta$;

如果 $2 \times Num_{21} < Num_{22}$, $Splien_Strength_2 += 2 \times \Delta$;

其中, $\Delta = -0.1$ 。

否则, 不更新 $Splien_Strength_2$ 。

元数据 $3Spline_enable_strength[1][i][w]$ 按照公式 (B. 134) 进行计算。

$$3Spline_enable_Strength[1][i][w] = \text{Floor}((Splien_Strength + 1.0) \times (255 \div 2)) \dots (B. 134)$$

B.7 动态元数据的时域滤波

对于当前帧提取的动态元数据进行动态元数据的时域滤波过程包含:

a) 创建动态元数据队列 $hdr_dynamic_metadata_fifo$, 队列长度为 M , M 为 32 , $hdr_dynamic_metadata_fifo[hdr_dynamic_metadata_fifo_Num]$ 表示队列中第 $hdr_dynamic_metadata_fifo_Num$ 个元数据, $hdr_dynamic_metadata_fifo_Num$ 为队列中有效数据的数量, 初始化为 0 。

b) 调用B. 2~B. 6生成当前第 N 帧动态元数据 $hdr_dynamic_metadata_org$, 其中 N 为帧序号, $N \geq 0$ 。

c) 如果 N 等于 0 或当前帧为场景切换帧, 则 $hdr_dynamic_metadata_fifo[0] = hdr_dynamic_metadata_org$, $hdr_dynamic_metadata_fifo_Num=1$ 。否则:

如果 $hdr_dynamic_metadata_fifo_Num$ 小于 M 则:

$$hdr_dynamic_metadata_fifo[hdr_dynamic_metadata_fifo_Num] =$$

$$hdr_dynamic_metadata_org[hdr_dynamic_metadata_fifo_Num] =$$

$$hdr_dynamic_metadata_fifo_Num+1$$

如果 $hdr_dynamic_metadata_fifo_Num$ 等于 M ，则：

```
for (n = 0; n < M-1; n++) {
    hdr_dynamic_metadata_fifo[n+1] = hdr_dynamic_metadata_fifo[n]
}
```

$hdr_dynamic_metadata_fifo[M-1] = hdr_dynamic_metadata_org$

d) 输出时域滤波之后的元数据 $hdr_dynamic_metadata_filter$ ，见公式（B.135）。

$$hdr_dynamic_metadata_filter = \frac{\sum_{i=0}^{hdr_dynamic_metadata_fifo_Num-1} hdr_dynamic_metadata_fifo[i]}{hdr_dynamic_metadata_fifo_Num} \dots \text{(B.135)}$$

B.8 动态元数据的时域质量环内调节反馈

动态元数据的时域质量环内调节反馈过程如下。

- 调用B.7中的a)创建动态元数据队列 $hdr_dynamic_metadata_fifo$ 。
- 创建和 $hdr_dynamic_metadata_fifo$ 相同长度的三个主观失真队列 $diff_tmhdr1_fifo$ ， $diff_tmhdr2_fifo$ 和 $diff_tmsdr_fifo$ 。
- 调用B.2~B.6生成当前第 N 帧动态元数据 $hdr_dynamic_metadata_org$ ，并根据B.7中b)和c)将 $hdr_dynamic_metadata_org$ 放入队列 $hdr_dynamic_metadata_fifo$ 中，其在队列中的位置为 Num_1 。
- 调用第9章对 $hdr_dynamic_metadata_org$ 进行元数据转换、调用第10章获取显示适配过程的输出帧 $f_{TM1}(N)$ ，其中 $MaxDisplayPQ = PQ_EOTF^{-1}(1000)$ ， $MinDisplayPQ=0$ ；调用第10章获取显示适配过程的输出帧 $f_{TM2}(N)$ ，其中 $MaxDisplayPQ=PQ_EOTF^{-1}(500)$ ， $MinDisplayPQ=0$ ；调用第11章获取显示适配过程的输出帧 $f_{TMSDR}(N)$ ，其中 $MaxDisplayPQ=PQ_EOTF^{-1}(100)$ ， $MinDisplayPQ=0$ 。
- 根据HDR-VDP-2: A calibrated visual metric for visibility and quality predictions in all luminance conditions中质量评价算法计算 $f_{TM1}(N)$ 、 $f_{TM2}(N)$ 以及 $f_{TMSDR}(N)$ 对应的主观失真 $DTM1$ 、 $DTM2$ 、 $DTMSDR$ ，并根据B.7中c)和d)将 $DTM1$ 、 $DTM2$ 、 $DTMSDR$ 放入队列 $diff_tmhdr1_fifo$ 、 $diff_tmhdr2_fifo$ 和 $diff_tmsdr_fifo$ ，其在队列中的位置为 Num_2 。
- 计算 n ：

```
Diff_min = 1.0;
for (i = Num_2; i >= 0; i--) {
    Diff_total = 0.3 * Diff_TM1[i] + 0.4 * Diff_TM2[i] + 0.3 * Diff_TM[i]_SDR;
    if (Diff_total < Diff_min) {
        n = i;
    }
    Diff_min = Min(Diff_total, Diff_min);
}
```

g) 计算 m ：

```
Diff_min = 1.0;
for (i = Num_2; i >= 0; i--) {
    if (i == n) {
        break;
    }
}
```



```

Difftotal = 0.3 × DiffTM1[i] + 0.4 × DiffTM2[i] + 0.3 × DiffTM[i]SDR;
if (Difftotal < Diffmin) {
    m = i;
}
Diffmin = Min(Difftotal, Diffmin);
}

```

h) 计算 ΔC :

如果 n 不等于 $Num2$, 则

$$\Delta C = (hdr_dynamic_metadata_fifo[n] + hdr_dynamic_metadata_fifo[n - 1]) \div 2 - hdr_dynamic_metadata_org;$$

否则,

$$\Delta C = 2 \times hdr_dynamic_metadata_fifo[n] - hdr_dynamic_metadata_fifo[m] - hdr_dynamic_metadata_org.$$

- i) 如果 $D_{TM1} \leq DT \ \&\& \ D_{TM2} \leq DT \ \&\& \ D_{TMSDR} \leq DT$, DT 取值为 0.05, 输出动态元数据 $hdr_dynamic_metadata = hdr_dynamic_metadata_org$ 。
- j) 如果 $D_{TM1} > DT \ || \ D_{TM2} > DT \ || \ D_{TMSDR} > DT$, 调整后的元数据 $hdr_dynamic_metadata_modified = hdr_dynamic_metadata_org + \Delta C$, 将 $hdr_dynamic_metadata_modified$ 放入队列 $hdr_dynamic_metadata_fifo$ 中的 $Num1$ 位置。调用第9章对 $hdr_dynamic_metadata_modified$ 进行元数据转换、调用第10章获取显示适配过程的输出帧 $f'_{TM1}(N)$, 其中 $MaxDisplayPQ = PQ_EOTF^{-1}(1000)$, $MinDisplayPQ = 0$; 调用第10章获取显示适配过程的输出帧 $f'_{TM2}(N)$, 其中 $MaxDisplayPQ = PQ_EOTF^{-1}(500)$, $MinDisplayPQ = 0$; 调用第11章获取显示适配过程的输出帧 $f'_{TMSDR}(N)$ 其中 $MaxDisplayPQ = PQ_EOTF^{-1}(100)$, $MinDisplayPQ = 0$; 根据质量评价算法评估 $f'_{TM1}(N)$ 、 $f'_{TM2}(N)$ 以及 $f'_{TMSDR}(N)$ 的主观失真 D_{TM1} 、 D_{TM2} 、 D_{TMSDR} , 并将 D_{TM1} 、 D_{TM2} 、 D_{TMSDR} 放入队列 $diff_tmhdr1_fifo$, $diff_tmhdr2_fifo$ 和 $diff_tmsdr_fifo$ 中的 $Num2$ 位置。输出动态元数据 $hdr_dynamic_metadata = hdr_dynamic_metadata_modified$ 。

附录 C

(资料性)

元数据在 ITU-T H. 265 编码码流中的封装

元数据在ITU-T H. 265编码码流中的封装见ITU-T H. 274，静态元数据和动态元数据封装在补充增强信息（SEI）中。

静态元数据封装在SEI的mastering_display_colour_volume()和content_light_level_info()中，见表C.1和表C.2。相关语法定义见7.2。

表 C.1 H. 265 编码码流中 HDR 静态元数据扩展定义

	Descriptor
mastering_display_colour_volume(payloadSize) {	
for(c = 0; c < 3; c++) {	
display primaries_x[c]	u(16)
display primaries_y[c]	u(16)
}	
white_point_x	u(16)
white_point_y	u(16)
max_display_mastering_luminance	u(32)
min_display_mastering_luminance	u(32)
}	

表 C.2 H. 265 编码码流中 HDR 静态元数据扩展定义 2

	Descriptor
content_light_level_info(payloadSize) {	
max_content_light_level	u(16)
max_pic_average_light_level	u(16)
}	

动态元数据封装在user_data_registered_itu_t_t35()中，见表C.3。

表 C.3 H. 265 编码码流中 HDR 动态元数据扩展定义

	Descriptor
user_data_registered_itu_t_t35(payloadSize) {	
itu_t_t35_country_code	b(8)
if(itu_t_t35_country_code != 0xFF){	
i = 1	
}	
else {	
itu_t_t35_country_code_extension_byte	b(8)
i = 2	
}	
do {	
itu_t_t35_payload_byte	b(8)
i++	

表 C.3 (续)

} while(i < payloadSize)	
}	

hdr_dynamic_metadata () 语法和语义见7.3、7.4，其他语法和语义如下：

- ITU-T T.35 国家码 `itu_t_t35_country_code`，8位无符号整数，标识 ITU-T T.35 规定的国家识别码。
- ITU-T T.35 终端制造商码 `itu_t_t35_country_code_extension_byte`，8位无符号整数，标识 ITU-T T.35 规定的国家识别码扩展。

参 考 文 献

- [1] ITU-T H.274 Versatile supplemental enhancement information messages for cod
- [2] Rafal Mantiuk, Kil Joong Kim, Allan G.Rempel and Wolfgang Heidrich. HDR-VDP-2: A calibrated visual metric for visibility and quality predictions in all luminance conditions, In: ACM Transactions on Graphics (Proc. of SIGGRAPH'11), 30(4), article no.40, 2011
-