

国 际 电 信 联 盟

ITU-R

国际电联无线电通信部门

ITU-R BT.2100-0 建议书

(07/2016)

**用于制作和国际节目交换的
高动态范围电视的
图像参数值**

**BT 系列
广播业务
(电视)**



国际电信联盟

前言

无线电通信部门的职责是确保卫星业务等所有无线电通信业务合理、平等、有效、经济地使用无线电频谱，不受频率范围限制地开展研究并在此基础上通过建议书。

无线电通信部门的规则和政策职能由世界或区域无线电通信大会以及无线电通信全会在研究组的支持下履行。

知识产权政策（IPR）

ITU-R的IPR政策述于ITU-R第1号决议的附件1中所参引的《ITU-T/ITU-R/ISO/IEC的通用专利政策》。专利持有人用于提交专利声明和许可声明的表格可从<http://www.itu.int/ITU-R/go/patents/en>获得，在此处也可获取《ITU-T/ITU-R/ISO/IEC的通用专利政策实施指南》和ITU-R专利信息数据库。

ITU-R系列建议书

（也可在线查询 <http://www.itu.int/publ/R-REC/en>）

| 系列 | 标题 |
|------------|------------------------|
| BO | 卫星传送 |
| BR | 用于制作、存档和播出的录制；电视电影 |
| BS | 广播业务（声音） |
| BT | 广播业务（电视） |
| F | 固定业务 |
| M | 移动、无线电定位、业余和相关卫星业务 |
| P | 无线电波传播 |
| RA | 射电天文 |
| RS | 遥感系统 |
| S | 卫星固定业务 |
| SA | 空间应用和气象 |
| SF | 卫星固定业务和固定业务系统间的频率共用和协调 |
| SM | 频谱管理 |
| SNG | 卫星新闻采集 |
| TF | 时间信号和频率标准发射 |
| V | 词汇和相关问题 |

说明： 该ITU-R建议书的英文版本根据ITU-R第1号决议详述的程序予以批准。

电子出版
2017年，日内瓦

© 国际电联 2017

版权所有。未经国际电联书面许可，不得以任何手段复制本出版物的任何部分。

ITU-R BT.2100-0 建议书¹用于制作和国际节目交换的高动态范围
电视的图像参数值

(2016年)

范围

高动态范围电视（HDR-TV）通过提供为了更亮的显示而修正的图片，给观众带来增强的视觉体验，其让亮处变得更亮，同时改善了暗处的细节。本建议书明确了HDR-TV图像的参数，为采用感性量化（PQ）和混合对数伽马（HLG）方法的制作和国际节目交换使用。

关键词

高动态范围、HDR、电视、HDR-TV、图像系统参数、电视制作、国际节目交换、广色域、感性量化、PQ、混合对数伽马、HLG

国际电联无线电通信全会，

考虑到

- a) ITU-R BT.709和BT.2020建议书对用于高清电视（HDTV）和超高清电视（UHDTV）的数字电视图像格式做了详细说明；
- b) 这些电视图像格式一直以来受其所能提供的图像动态范围限制，因为其对传统阴极射线管（CRT）性能（限制图像亮度和暗处的细节）的依赖；
- c) 现代电视显示器能够再现更高亮度的图像，并提供比常规节目制作更高的对比度和更广泛的色域（WCG）；
- d) 观众希望之后的电视制式能提供高于当前HDTV和UHDTV制式的特性，使感受更加真实、现实世界变得更加透明，视觉信息更为准确；
- e) 据报告，HDR-TV能够给电视图像收视者带来更大愉悦；
- f) HDR-TV通过大幅提高亮、亮处的细节、物体的漫反射以及更好的暗处细节带来逐步改善的收视体验；
- g) 扩展的动态范围和颜色域的结合使得HDR-TV拥有更大的颜色容量；
- h) HDR-TV应酌情在一定程度上与现有工作流程和广播商基础设施兼容，

¹ 法国和荷兰的主管部门就HDR-TV的特征和性能表示了关切。需要更进一步的研究，在ITU-R 1-7号决议下，其可能带来对本建议书的修订（如果合适）。

i) 应为HDR-TV图像格式定义包括显示参数在内的参考收视条件，

进一步考虑到

由于HDR技术的快速发展，国际电联（ITU）可能希望考虑尽早更新和改进本建议书，

认识到

ITU-R BT.2390号报告包括实现HDR-TV的两种方法的大量信息，

建议

将本建议书所述感性量化（PQ）或者混合对数伽马（HLG）规范用于HDR-TV的节目制作和国际交换。

注 – 针对采用细调非线性转换功能以符合人类视觉系统的给定位深度，感性量化（PQ）规范实现了一种非常广域的亮度水平。混合对数伽马（HLG）规范通过更精密地适应以往确定的电视转换曲线，实现了与传统显示器某种程度上的兼容。通过资料性附件2中阐述的方法，这些格式的转换可以实现。

表1
图像空间和时间特性

| 参数 | 值 |
|------------------------------|---|
| 图像容器 ^{1a} 形状 | 16:9 |
| 容器像素数 ^{1b} 水平×垂直 | 7 680 × 4 320 3 840 × 2 160 1 920 × 1 080 |
| 取样点阵 | 正交 |
| 像素纵横比 | 1:1（方形像素） |
| 像素寻址 | 每行像素的顺序是从左向右，行的顺序是从上至下。 |
| 帧频率（Hz） | 120、120/1.001、100、60、60/1.001、50、30、30/1.001、25、24、24/1.001 |
| 图像格式 | 逐行 |

注1a – 容器用来定义图像格式的水平 and 垂直限制。

注1b – 制作应采用实用的、最高分辨率的图像格式。在多数情况下，为了发布，高分辨率制作通常会降低采样至较低的分辨率格式。用较高的分辨率格式制作，然后通过电子的降低采样发布，会比在用于发布的分辨率下制作质量高得多。

表2
系统比色法

| 参数 | | 值 | | |
|--------|---------|----------------------------|--------------------|--------|
| | | 光谱 (资料性) | 色品参数 (CIE、1931) | |
| | | | x | y |
| 主色 | 红基色 (R) | 单色630 nm | 0.708 | 0.292 |
| | 绿基色 (G) | 单色532 nm | 0.170 | 0.797 |
| | 蓝基色 (B) | 单色467 nm | 0.131 | 0.046 |
| 参照白基色 | | 按照ISO 11664-2:2007 的D65 | 0.3127 | 0.3290 |
| 颜色匹配功能 | | CIE 1931 | | |

表3规定的方法可确定用于评估HDTV节目资料和已制成节目的参考收视条件，以便在收视同一资料时设备间提供可重复的结果。编辑、颜色校正和放映等工作的实体能够和将会以多种方式建立高质量的重要收视设施，但本建议书并不认为必须使这些设施绝对整齐划一。

表3
用于评估HDR节目材料的参考收视条件

| 参数 | 值 |
|-----------------------------------|---|
| 背景和环绕 ^{3a} | D65的中性灰 |
| 背景亮度 | 5 cd/m ² |
| 环绕亮度 | ≤ 5 cd/m ² |
| 环境照明 | 避免光线落在屏幕上 |
| 收视距离 ^{3b} | 对于1 920 x 1 080格式：3.2图像高度 对于3 840 x 2 160格式：1.6至3.2图像高度 对于7 680 x 4 320格式：0.8至3.2图像高度 |
| 显示器的峰值亮度 ^{3c} | ≥ 1 000 cd/m ² |
| 显示器的最小值亮度 (黑色亮度) ^{3d} | ≤ 0.005 cd/m ² |

注3a – 背景和环绕在CIE 159:2004 “颜色管理系统：CIECAM02的颜色外观模型”中定义。

注3b – 当图像评估包括分辨率时，应采用较低的收视距离值。当不评估分辨率时，可采用在指示范围的任何收视距离。

注3c – 这不意味着这个亮度必须达到全屏白色，而是小范围的亮点。

注3d – 实际的黑色亮度将使用PLUGE信号来设置，并且其可能随着指示值而变化。

表4和表5分别描述了PQ和HLG格式转换功能。高动态范围电视制作和显示器应一致地使用一个或另一个系统的转换功能，而不是将其混合。资料性附件1阐述了不同转换功能的含义及其在信号链的何处使用。资料性附件3提供了能促进这些转换功能实施的替代方程。

表4

PQ系统参考非线性转换功能

| 参数 | 值 |
|-------------------------|--|
| 输入信号至PQ电光转换功能（EOTF） | 非线性PQ编码值。 EOTF将非线性PQ信号映射到显示光。 |
| 参考PQ EOTF ^{4a} | $F_D = \text{EOTF}[E'] = 10000 Y$ $Y = \left(\frac{\max[(E'^{1/m_2} - c_1), 0]}{c_2 - c_3 E'^{1/m_2}} \right)^{1/m_1}$ <p>其中： E'代表在PQ区间[0,1]的非线性颜色值$\{R', G', B'\}$或者$\{L', M', S'\}$ F_D是显示的线性分量$\{R_D, G_D, B_D\}$、Y_D或I_D的亮度，单位是cd/m^2。^{4b} 因此，当$R'=G'=B'$时，显示的像素是消色差的。 Y代表归一化的线性色值，在范围[0:1]内 $m_1 = 2610/16384 = 0.1593017578125$ $m_2 = 2523/4096 \times 128 = 78.84375$ $c_1 = 3424/4096 = 0.8359375 = c_3 - c_2 + 1$ $c_2 = 2413/4096 \times 32 = 18.8515625$ $c_3 = 2392/4096 \times 32 = 18.6875$</p> |
| 输入信号至PQ光光转换功能（OOTF） | 场景线性光。 OOTF将相对场景线性光映射到显示线性光。 |
| 参考PQ OOTF | $F_D = \text{OOTF}[E] = G_{1886} [G_{709}[E]]$ <p>其中 $E = \{R_s, G_s, B_s; Y_s; \text{ or } I_s\}$是信号，其由场景光决定，通过相机曝光进行缩放 E'是E的非线性表示 F_D是显示的线性分量（$R_D, G_D, B_D; Y_D; \text{ 或 } I_D$）的亮度 $E, R_s, G_s, B_s, Y_s, I_s$的值在范围 [0:1]内 $F_D = G_{1886} [G_{709}[E]] = G_{1886} E'$ $E' = G_{709}[E] = 1.099 (59.5208 E)^{0.45} - 0.099$对于 $1 > E > 0.0003024$ $= 267.84 E$ 对于 $0.0003024 \geq E \geq 0$ $F_D = G_{1886}[E'] = 100E'^{2.4}$</p> |
| 输入信号至PQ光电转换功能（OETF） | 场景线性光。 OETF将相对场景线性光映射到非线性PQ信号值。 |

表4 (结束)

| 参数 | 值 |
|---|---|
| 参考PQ OETF 当在使用参考EOTF的参考监视器上显示时, 此OETF将产生参考OOTF | $E' = \text{OETF}[E] = \text{EOTF}^{-1}[\text{OOTF}[E]] = \text{EOTF}^{-1}[F_D]$ <p>其中</p> $\text{EOTF}^{-1}[F_D] = \left(\frac{c_1 + c_2 Y^{m_1}}{1 + c_3 Y^{m_1}} \right)^{m_2}$ $Y = F_D / 10000$ <p>E'是[0: 1]范围内产生的非线性信号 (R', G', B') F_D, E在光电转换功能中定义 m_1, m_2, c_1, c_2, c_3在电光转换功能中明确</p> |

注4a – 相同的非线性值 (和它的逆值) 应在需要进行非线性表示和线性表示之间的转化时使用。

注4b – 在本建议书中, 当涉及单个颜色分量 (R_D, G_D, B_D) 的亮度时, 其表示所有三个颜色分量具有相同值的等效消色差信号的亮度。

表5

混合对数伽马 (HLG) 系统参考非线性转换功能

| 参数 | 值 |
|-------------------------|--|
| 输入信号至HLG OETF | 场景线性光。 OETF将相对场景线性光映射到非线性信号值。 |
| HLG参考OETF ^{5a} | $E' = \text{OETF}[E] = \begin{cases} \sqrt{E}/2 & 0 \leq E \leq 1 \\ a \cdot \ln(E-b) + c & 1 < E \end{cases}$ <p>其中: E与场景线性光成比例的每个颜色分量$\{R_s, G_s, B_s\}$的信号, 并通过照相机曝光缩放, 归一化为范围[0:12]。^{5b} E'是[0: 1]范围内产生的非线性信号$\{R', G', B'\}$。 $a = 0.17883277, b = 0.28466892, c = 0.55991073$</p> |
| 输入信号至HLG EOTF | 非线性HLG编码值。 EOTF将非线性HLG映射到显示光。 |

表5 (延续)

| 参数 | 值 |
|--------------|--|
| HLG参考EOTF | $F_D = \text{OOTF}[E] = \text{OOTF}[\text{OETF}^{-1}[E']]$ <p>因此,</p> $R_D = \alpha Y_S^{\gamma-1} R_S + \beta$ $G_D = \alpha Y_S^{\gamma-1} G_S + \beta$ $B_D = \alpha Y_S^{\gamma-1} B_S + \beta$ <p>其中:</p> <p>R_S, G_S, B_S是场景线性光信号, E,代表归一化为范围[0:12]^{5c}的每个分量。</p> $E = \text{OETF}^{-1}[E'] = \begin{cases} 4E'^2 & 0 \leq E' \leq \frac{1}{2} \\ \exp((E' - c)/a) + b & \frac{1}{2} < E' \end{cases}$ $Y_S = 0.2627R_S + 0.6780G_S + 0.0593B_S$ $\alpha = (L_W - L_B)/12^\gamma$ $\beta = L_B$ <p>并且:</p> <p>F_D是显示的线性分量{$R_D, G_D, \text{ or } B_D$}的亮度, 单位是$\text{cd}/\text{m}^2$。 E'是为OETF定义的非线性信号{R', G', B'}。 R_D, G_D, B_D是每个颜色分量的显示光, 单位是cd/m^2。 $a, b,$和c是为OETF定义的值。 OETF定义如下。 在额定显示峰值亮度为$1000 \text{ cd}/\text{m}^2$时, $\gamma = 1.2^{5e, 5f}$ L_W是以cd/m^2为单位时显示的额定峰值亮度。 L_B是以cd/m^2为单位时黑色的显示亮度。 $E, R_S, G_S, B_S,$和Y_S的额定信号范围为[0:12]。^{5g} 参考显示值不应超过$E' = 1.0$。在显示之前, 这些值应该被削减到1.0。^{5h}</p> |
| HLG输入信号至OOTF | <p>场景线性光。</p> <p>OETF将相对场景线性光映射到显示线性光。</p> |

表5 (结束)

| 参数 | 值 |
|-----------|--|
| HLG参考OOTF | $F_D = \text{OOTF}[E] = \alpha Y_S^{\gamma-1} E + \beta$ $R_D = \alpha Y_S^{\gamma-1} R_S + \beta$ $G_D = \alpha Y_S^{\gamma-1} G_S + \beta$ $B_D = \alpha Y_S^{\gamma-1} B_S + \beta$ $Y_S = 0.2627R_S + 0.6780G_S + 0.0593B_S$ 其中: F_D 是以 cd/m^2 为单位的显示的线性分量 $\{R_D, G_D, \text{或} B_D\}$ 的亮度。 E 与场景线性光成比例的每个颜色分量 $\{R_S, G_S, B_S\}$ 的信号, 并通过照相机曝光缩放, 归一化为范围 $[0:12]$ 。 Y_S 是归一化的线性场景亮度。 $\alpha, \beta,$ 和 γ 是为EOTF定义的。 |

注5a – 当场景光的非线性表示和线性表示需要转化时, 应采用此非线性值的逆值。

注5b – 如果 E 归一化到范围 $[0:1]$, OETF的等价方程式为:

$$E' = \text{OETF}[E] = \begin{cases} \sqrt{3E} & 0 \leq E \leq 1/2 \\ a \cdot \ln(E-b) + c & 1/2 < E \end{cases}$$

其中 $a = 0.17883277, b = 0.02372241, c = 1.00429347$

注5c – 如果 E 归一化到范围 $[0:1]$, E 的等价方程式为:

$$E = \text{OETF}^{-1}[E'] = \begin{cases} E'^2/3 & 0 \leq E' \leq 1/2 \\ \exp((E'-c)/a) + b & 1/2 < E' \end{cases}$$

其中, a, b 和 c 在注5b中定义。

注5d – 此EOTF将伽马应用于信号的亮度分量, 而一些传统显示可能将伽马分别应用于颜色分量。这样的传统显示近似此参考OOTF。

注5e – 对于额定峰值亮度 (L_w) 高于 $1000 \text{ cd}/\text{m}^2$ 的显示, 或通过使用对比度控制来降低有效额定峰值亮度的位置, 系统伽马值应根据以下公式调整, 并可以四舍五入到三位有效数字:

$$\gamma = 1.2 + 0.42 \text{Log}_{10}(L_w/1000)$$

注5f – 对于较亮的背景和环绕条件, 系统伽马值可能会降低。

注5g – 如果 E 归一化到范围 $[0:1]$, α 的等价方程式为:

$$\alpha = (L_w - L_B)$$

注5h – 制作期间, 预期信号值将超过范围 $E' = [0.0 : 1.0]$ 。这提供了处理余量并避免了在级联处理中的信号衰减。这种 E' 值低于0.0或超过1.0, 在制作和交换过程中不应该被削减。值超过1.0不应出现在参考显示上。值低于0.0在参考显示中不应被削减 (即使其代表“负”光), 来允许信号的黑色亮度 (L_B) 通过使用被称为“PLUGE” (见ITU-R BT.814建议书) 的测试信号进行正确设置。

表6和表7描述了不同的亮度和色差信号表示，适合颜色取样，和/或源代码。非恒定亮度（NCL）格式广泛使用，并且被认为是默认格式。恒定强度（CI）是在本建议书中新引进的，除非各方都同意，否则其不应被用作节目交换。

表6

非恒定亮度 $Y'C'_B C'_R$ 信号格式^{6a}

| 参数 | PQ值 | HLG值 |
|-------------------------|--|---|
| R' 、 G' 、 B' 的衍生物 | $\{R', G', B'\} = \text{EOTF}^{-1}(F_D)$ 其中 $F_D = \{R_D, G_D, B_D\}$ | $\{R', G', B'\} = \text{OETF}(E)$ 其中 $E = \{R_S, G_S, B_S\}$ |
| Y' 的衍生物 | $Y' = 0.2627R' + 0.6780G' + 0.0593B'$ | |
| 色差信号的衍生物 | $C'_B = \frac{B' - Y'}{1.8814}$ $C'_R = \frac{R' - Y'}{1.4746}$ | |

注6a – 为了与先前的术语使用保持一致， Y' 、 C'_B 和 C'_R 使用主要符号，表示其来自非线性 Y 、 B 和 R 。

表7

恒定强度 $I C'_T C'_P$ 信号格式^{7a, 7b}

| 参数 | PQ值 | HLG值 |
|---------------------------|--|---|
| L 、 M 、 S 色域 | $L = (1688R + 2146G + 262B)/4096$ $M = (683R + 2951G + 462B)/4096$ $S = (99R + 309G + 3688B)/4096$ | |
| L' 、 M' 、 S'^c 的衍生物 | $\{L', M', S'\} = \text{EOTF}^{-1}(F_D)$ 其中 $F_D = \{L_D, M_D, S_D\}$ | $\{L', M', S'\} = \text{OETF}(E)$ 其中 $E = \{L_S, M_S, S_S\}$ |
| I 的衍生物 | $I = 0.5L' + 0.5M'$ | |
| 色差信号的衍生物 | $C'_T = (6610L' - 13613M' + 7003S')/4096$ $C'_P = (17933L' - 17390M' - 543S')/4096$ | |

注7a – 新引进的 I 、 C'_T 和 C'_P 符号不采用主符号来简化标记。

注7b – 颜色应该被限制在由表2中的RGB颜色原色定义的三角形之内。

注7c – 下标 D 和 S 分表代表显示光和场景光。

表8
颜色取样

| 参数 | 值 | | |
|----------------------------------|--|---------------------------|-------------------------------|
| 编码信号 | $R', G', B' \text{ or } Y', C'_B, C'_R, \text{ or } I, C_T, C_P$ | | |
| 取样点阵 $- R', G', B', Y', I$ | 正交、线和图像重复共址 | | |
| 取样点阵 $- C'_B, C'_R, C_T, C_P$ | 正交、线和图像相互重复共址 第一个（左上）取样与第一个 Y' 或 I 取样共址。 | | |
| | 4:4:4系统 | 4:2:2系统 | 4:2:0系统 |
| | 每个的水平取样数量均与 Y' 或 I 分量的数量相同。 | 水平取样数量是 Y' 或 I 分量的一半。 | 水平和垂直取样数量均为 Y' 或 I 分量的一半。 |

表9描述了两种不同的信号表示，“窄”和“全”。广泛使用的是窄范围表示，其被认为是默认表示。全范围表示是在本建议书中新引进的，除非各方都同意，否则其不应被用作节目交换。

表9

数字10和12比特整数表示

| 参数 | 值 | | | |
|---|--|-------------|----------------------------------|------------|
| 编码信号 | $R', G', B' \text{ or } Y', C'_B, C'_R, \text{ or } I, C_T, C_P$ | | | |
| 编码格式 | $n = 10、12$ 每个分量 | | | |
| R', G', B', Y', I 的量化 | 窄范围 | | 全范围 | |
| | $D = INT[(219 \times E' + 16) \times 2^{n-8}]$ | | $D = INT[E' \times 2^n]^{9a}$ | |
| C'_B, C'_R, C_T, C_P 的量化 | $D = INT[(224 \times E' + 128) \times 2^{n-8}]$ | | $D = INT[(E' + 0.5) \times 2^n]$ | |
| 量化水平 | 10比特编码 | 12比特编码 | 10比特编码 | 12比特编码 |
| 黑色 ($R' = G' = B' = Y' = I = 0$) DR', DG', DB', DY', DI | 64 | 256 | 0 | 0 |
| 消色差 ($C'_B = C'_R = 0$) DC'_B, DC'_R, DC_T, DC_P | 512 | 2048 | 512 | 2048 |
| 额定峰值 ($R' = G' = B' = Y' = I = 1$) DR', DG', DB', DY', DI | 940 | 3760 | 1023 | 4092 |
| 额定峰值 ($C'_B = C'_R = \pm 0.5$) DC'_B, DC'_R, DC_T, DC_P | 960 | 3840 | 1023 | 4092 |
| 视频数据 ^{9a, 9b, 9c} | 4到 1019 | 16到 4079 | 0到 1023 | 0到 4092 |

注9a – $E > 1023/1024$ 的10比特值无法表示。为了一致，12比特值应该被削减至值4092/4096。

注9b – 信号可能延伸到黑色（次黑）以下，超过额定峰值（超白），但不得超过视频数据范围。

注9c – 视频数据范围外的窄范围值被用于某些接口的定时信号，因此不应采用。当通过这些接口传输时，全范围信号可能被削减至窄视频数据范围。

表10介绍了一种16比特浮点信号表示。目前，不存在用于这种格式的实时接口。预计此格式最初将在基于文件的工作流和节目交换中使用。

表10

浮点（FP）信号表示

| 参数 | 值 |
|--------|---|
| 信号表示 | 线性 R, G, B 。 |
| 信号编码 | 按照IEEE标准754-2008的16比特浮点。 |
| PQ规范化 | R, G, B 中的每个值为1.0，在参考显示上得到1.0 cd/m ² 。 |
| HLG规范化 | 值为1.0表示信号的额定峰值白色。 |

附件1 (资料性)

OETF、EOTF和OOTF的关系

本建议书大量使用下列术语：

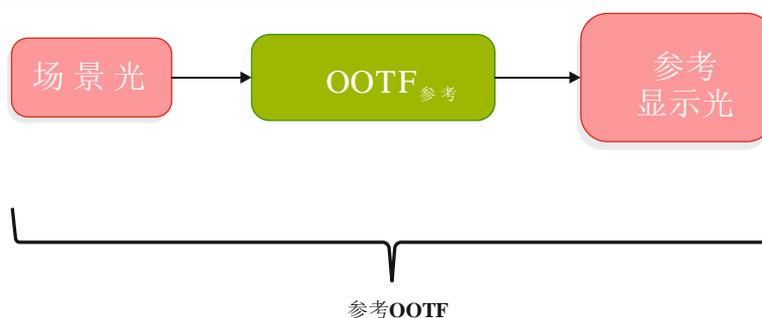
OETF：光电转换功能，其将线性场景光转化为视频信号，通常是在照相机内进行。

EOTF：电光转换功能，其将视频信号转化为显示的线性光输出。

OOTF：光光转换功能，其具有应用“再现意图”的功能。

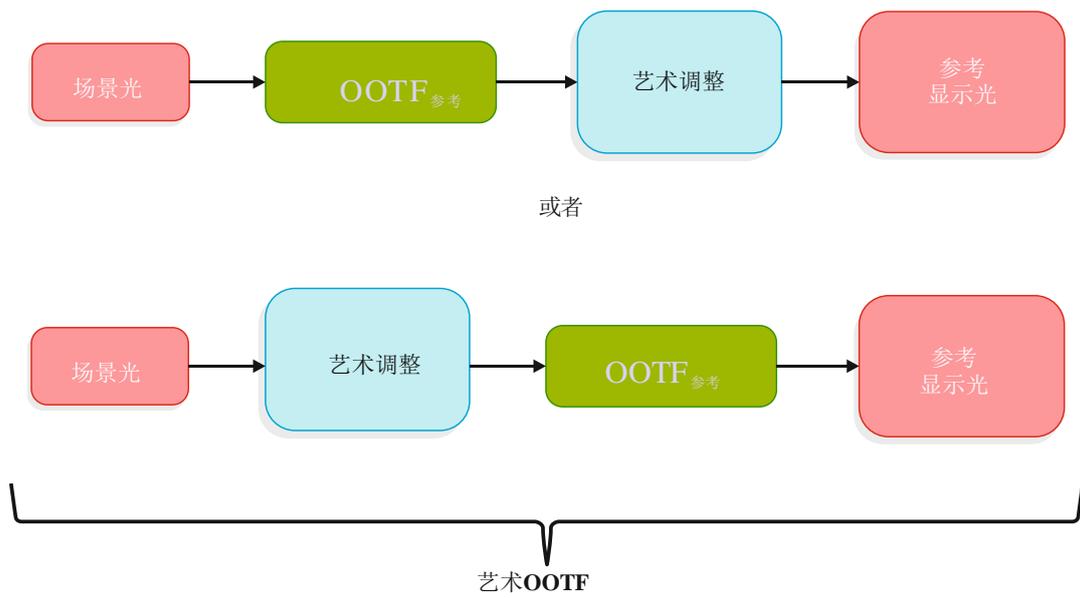
这些功能是相互关联的，所以三者中只有两个是独立的。给定任何两个可以计算第三个。本部分解释其在电视系统中如何发生，并且介绍其是怎样相互关联的。

在电视系统中，显示器的光与照相机捕捉的光不是线性相关的。相反，采用整体非线性—OOTF。“参考”OOTF补偿相机条件和显示之间的色调感知差异。“参考OOTF”的规范和使用允许一致的端到端图像再现，这在电视制作中很重要。



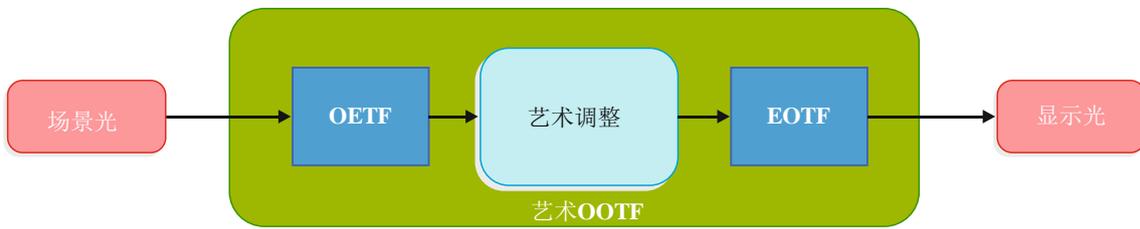
BT.2100-Ann1-01

可以进行艺术调整以增强画面。这些改变了OOTF，从而可能被称为“艺术OOTF”。艺术调整可以在参考OOTF之前或之后应用。



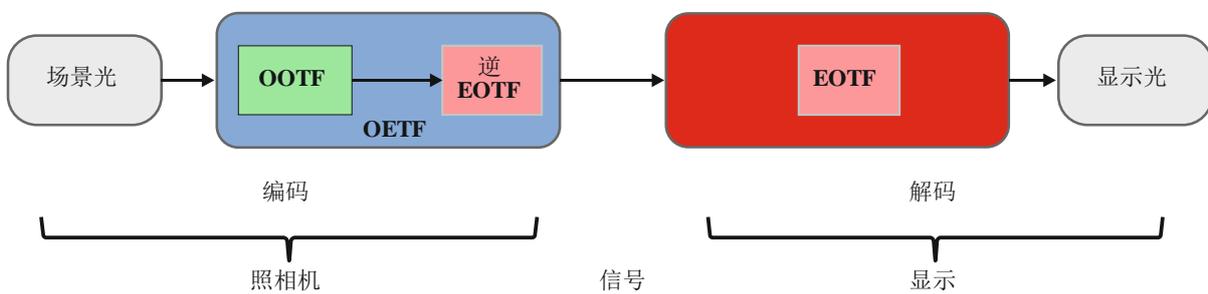
BT.2100-AnnI-02

总的来说，OOTF是OETF、艺术调整和EOTF的连结。



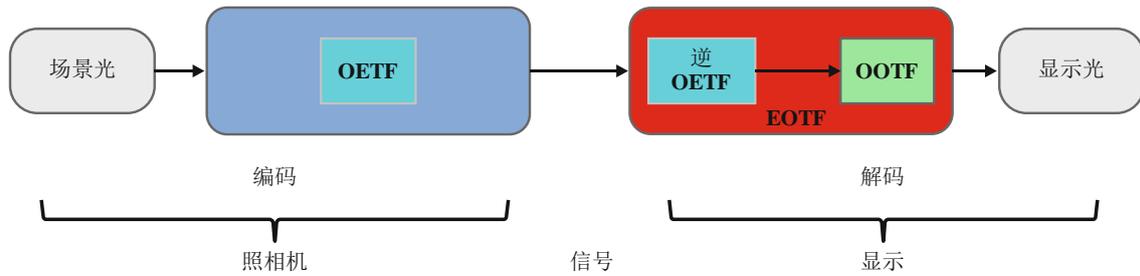
BT.2100-AnnI-03

PQ系统采用如下所示的模型设计，其中OOTF在照相机中（或施加于制作过程中）。



BT.2100-AnnI-04

HLG系统采用如下所示的模型设计，其中OOTF在显示器中。



BT.2100-Ann1-05

三个非线性OETF、EOTF和OOTF中，只有两个是独立的。在功能符号（下标表示颜色分量）：

$$\begin{aligned} OOTF_R(R, G, B) &= EOTF_R(OETF_R(R, G, B)) \\ OOTF_G(R, G, B) &= EOTF_G(OETF_G(R, G, B)) \\ OOTF_B(R, G, B) &= EOTF_B(OETF_B(R, G, B)) \end{aligned}$$

如果这种连结用符号 \otimes 表示则会更清楚。通过此符号，可得出这三种非线性的以下三种关系：

$$\begin{aligned} OOTF &= OETF \otimes EOTF \\ EOTF &= OETF^{-1} \otimes OOTF \\ OETF &= OOTF \otimes EOTF^{-1} \\ OOTF^{-1} &= EOTF^{-1} \otimes OETF^{-1} \\ EOTF^{-1} &= OOTF^{-1} \otimes OETF \\ OETF^{-1} &= EOTF \otimes OOTF^{-1} \end{aligned}$$

PQ方法由其EOTF定义。对于PQ，OETF可以使用上述等式的第三行从OOTD得出。用一种互补的方式，HLG方法由其OETF定义。对于HLG，EOTF可以使用上述等式的第二行从OOTF得出。

附件2 (资料性)

HLG和PQ信号之间的转化

下述图表阐明了从PQ信号到HLG信号的转化。信号处理是PQ信号被PQ EOTF解码以产生表示线性显示光的信号。然后，该信号由HLG逆EOTF编码以产生等效的HLG信号。当该HLG信号随后由显示器中的HLG EOTF解码时，结果将是通过PQ EOTF对原始PQ信号解码而产生的相同的显示光。HLG逆EOTF是HLG逆OOTF，随后是HLG OETF。对于HLG逆OOTF，黑色亮度应为零，同时伽马参数由PQ信号的峰值决定。



BT.2100-Ann201

下述图标阐明了从HLG信号到PQ信号的转化。信号处理是HLG信号被HLG EOTF解码以产生表示线性显示光的信号。然后，该信号由PQ逆EOTF编码以产生等效的PQ信号。当该PQ信号随后由显示器中的PQ EOTF解码时，结果将是通过HLG EOTF对原始HLG信号解码而产生的相同的显示光。对于HLG EOTF，黑色亮度应为零，同时伽马应被设置为表5中规定的值（假定峰值亮度为1000 cd/m²）。



BT.2100-Ann202

附件3 (资料性)

电光参数表示以及光电转换功能

本附件与合适的参数集相结合有助于参考光电转移功能（OETFs），以及本建议书的参考电光转换功能（EOTFs）的实施。

一个EOTF可以由等式（1）表示：

$$L(V) = \left(\frac{c - (V - m)st}{V - m - s} \right)^{1/n} \quad (1)$$

其中：

V ： 非线性颜色值

L ： 相应的线性颜色值。

参数集 $\{s, t, c, n, m\}$ 可以根据所需的应用来设置。

一个OETF可以由等式（2）表示：

$$V(L) = \frac{sL^n + c}{L^n + st} + m \quad (2)$$

值得注意的是，如果参数 s 、 t 、 c 、 n 和 m 在等式（1）和等式（2）中给定了相同的值，那么 $L(V)$ 和 $V(L)$ 是彼此的数学倒数。

在特定应用中，根据等式（3）去规范等式（1）和等式（2）中的 V 是有必要的：

$$\hat{V} = \frac{V - p}{k} + m \quad (3)$$

其中：

V ： 非线性颜色值

\hat{V} ： 规范的非线性颜色值，代替等式（1）和等式（2）中的 V 。

参数 k 和 p 可以根据所需的应用来设置。

在特定应用中，根据等式（4）去规范等式（1）和等式（2）中的 L 是有必要的：

$$\hat{L} = \frac{L - b}{a} \quad (4)$$

其中：

L ： 线性颜色值

\hat{L} ： 规范的非线性颜色值，代替等式（1）和等式（2）中的 L 。

参数 a 和 b 可以根据所需的应用来设置。