

国 际 电 信 联 盟

ITU-R

国际电联无线电通信部门

ITU-R BT.2087-0 建议书
(10/2015)

**从ITU-R BT.709建议书到
ITU-R BT.2020建议书的
颜色转换**

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.2087-0 建议书

从ITU-R BT.709建议书到ITU-R BT.2020建议书的颜色转换

(2015年)

范围

本建议书解决了当HDTV节目内容包含在UHDTV节目中时，ITU-R BT.709建议书向ITU-R BT.2020建议书颜色转换可采用的方法。建议书规定了两组转换公式。一组基于光电转移函数（OETF）及其倒数。另一组则基于电光转移函数（EOTF）及其倒数。

关键词

UHDTV、颜色转换

国际电联无线电通信全会，

考虑到

- a) ITU-R BT.2020建议书《超高清电视系统节目制作和国际交换的参数数值》规定了UHDTV成像系统的参数数值，UHDTV的特征之一是，根据ITU-R BT.709建议书的规定，其色域要宽于HDTV的色域。
- b) 世界范围内越来越多的电视广播员和节目制作人正开始制作UHDTV节目；
- c) HDTV节目适合用来制作UHDTV节目，这需要从ITU-R BT.709建议书向ITU-R BT.2020建议书的颜色转换；
- d) 要求ITU-R BT.709建议书内容的颜色不应因向ITU-R BT.2020建议书进行颜色转换而发生改变，并且转换方法应可通过数学方式进行定义。

建议

- 1 UHDTV节目制作和国际交换需要从ITU-R BT.709建议书到ITU-R BT.2020建议书的颜色转换时，应当使用附件1中说明的方法。

附件1

从ITU-R BT.709建议书到ITU-R BT.2020建议书 的颜色转换方法

图1显示的方块图体现了从ITU-R BT.709建议书（709建议书）到ITU-R BT.2020建议书（2020建议书）表4中的非恒定亮度信号格式的颜色转换。该方块图的输入和输出以数字的方式表示为 $Y'C'_B C'_R$ 信号或 $R'G'B'$ 信号。

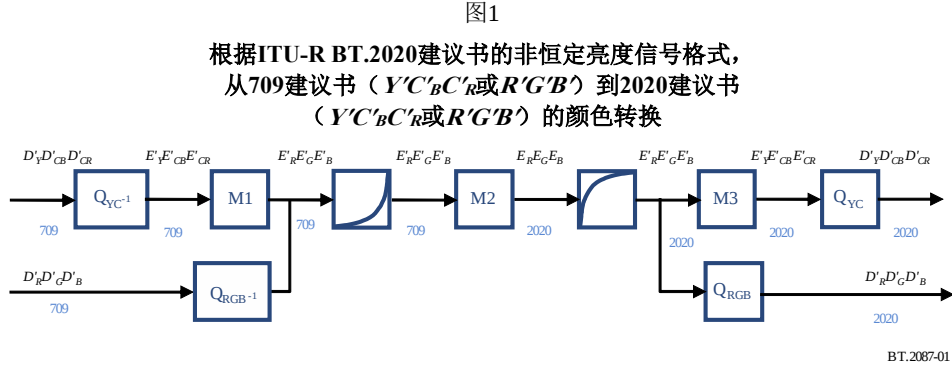


图1中各方块的函数和方程如下：

Q_{YC}^{-1}

在 N_{709} 比特的比特深度以数字形式表示的亮度和色差信号 $D'_Y D'_CB D'_CR$ （709建议书）到归一化亮度和色差信号 $E'_Y E'_CB E'_CR$ （709建议书）的反量化：

$$\begin{aligned} E'_Y &= (D'_Y / 2^{N_{709}-8} - 16) / 219 \\ E'_{CB} &= (D'_{CB} / 2^{N_{709}-8} - 128) / 224 \\ E'_{CR} &= (D'_{CR} / 2^{N_{709}-8} - 128) / 224 \end{aligned}$$

Q_{RGB}^{-1}

在 N_{709} 比特的比特深度以数字形式表示的颜色信号 $D'_R D'_G D'_B$ （709建议书）到归一化颜色信号 $E'_R E'_G E'_B$ （709建议书）的反量化：

$$\begin{aligned} E'_R &= (D'_R / 2^{N_{709}-8} - 16) / 219 \\ E'_G &= (D'_G / 2^{N_{709}-8} - 16) / 219 \\ E'_B &= (D'_B / 2^{N_{709}-8} - 16) / 219 \end{aligned}$$

$M1$

从归一化亮度和色差信号 $E'_Y E'_CB E'_CR$ （709建议书）到归一化 $R'G'B'$ 颜色信号 $E'_R E'_G E'_B$ （709建议书）的转换：

$$\begin{bmatrix} E'_R \\ E'_G \\ E'_B \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 1.5747 \\ 1 & -0.1873 & -0.4682 \\ 1 & 1.8556 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} E'_Y \\ E'_{CB} \\ E'_{CR} \end{bmatrix}$$



从归一化 $R'G'B'$ 颜色信号 $E'_R E'_G E'_B$ （709建议书）到线性表示的、归一化的RGB颜色信号 $E_R E_G E_B$ （709建议书）的非线性到线性转换，由下列两个方程（二者产生的色彩相互间略有不同）之一完成：

案例#1：若目的是让709建议书显示器¹显示的色彩在建议书2020显示器²予以保留显示，则使用来自ITU-R BT.1886建议书（1886建议书）的电光转移函数（EOTF）的近似值：

$$E = (E')^{2.40}, \quad 0 \leq E' \leq 1$$

案例#2：若来源为直接摄像机输出，且目的是匹配2020建议书直接摄像机输出的色彩，则使用709建议书反光电转移函数（OETF）的近似值（详见附件2）：

$$E = (E')^2, \quad 0 \leq E' \leq 1$$

注1：ITU-R BT.1886建议书规定了用来显示709建议书信号的参考EOTF。该转移函数的表达式为： $L = a(\max[(V+b), 0])^{2.40}$ ；其中 $a = (L_W^{1/2.40} - L_B^{1/2.40})^{2.40}$ 及 $b = L_B^{1/2.40} / (L_W^{1/2.40} - L_B^{1/2.40})$ 。该转移函数的近似归一化形式在本文件中予以显示，可通过设 $L_W = 1$ 及 $L_B = 0$ 发现。

注2 – ITU-R BT.709建议书将 E 或 E' 的范围界定为从0到1之间。但是，视频信号量化的定义允许数值高于1或低于0。上述方程可能也可适用于高于1或低于0的数值。

¹ 709建议书显示器系配备符合ITU-R BT.709建议书标准的RGB基色、D65白点和符合ITU-R BT.1886建议书标准的EOTF的显示设备。

² 2020建议书显示器系配备符合ITU-R BT.2020建议书标准的RGB基色、D65白点和符合ITU-R BT.1886建议书标准的EOTF的显示设备。

M2

从线性表示的、归一化的 RGB 颜色信号 $E_R E_G E_B$ （建议书709）到线性表示的、归一化的 RGB 颜色信号 $E_R E_G E_B$ （建议书2020）的颜色转换：

$$\begin{aligned}
 \begin{bmatrix} E_R \\ E_G \\ E_B \end{bmatrix}_{2020} &= \begin{bmatrix} 0.6370 & 0.1446 & 0.1689 \\ 0.2627 & 0.6780 & 0.0593 \\ 0 & 0.0281 & 1.0610 \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} 0.4124 & 0.3576 & 0.1805 \\ 0.2126 & 0.7152 & 0.0722 \\ 0.0193 & 0.1192 & 0.9505 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} E_R \\ E_G \\ E_B \end{bmatrix}_{709} \\
 &= \begin{bmatrix} 1.7167 & -0.3557 & -0.2534 \\ -0.6667 & 1.6165 & 0.0158 \\ 0.0176 & -0.0428 & 0.9421 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0.4124 & 0.3576 & 0.1805 \\ 0.2126 & 0.7152 & 0.0722 \\ 0.0193 & 0.1192 & 0.9505 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} E_R \\ E_G \\ E_B \end{bmatrix}_{709} \\
 &= \begin{bmatrix} 0.6274 & 0.3293 & 0.0433 \\ 0.0691 & 0.9195 & 0.0114 \\ 0.0164 & 0.0880 & 0.8956 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} E_R \\ E_G \\ E_B \end{bmatrix}_{709}
 \end{aligned}$$



从线性表示的、归一化的 RGB 颜色信号 $E_R E_G E_B$ （建议书2020）到归一化的 $R'G'B'$ 颜色信号 $E'_R E'_G E'_B$ （建议书2020）的线性到非线性转换，是通过应用非线性到线性转换方程的倒数完成的。

案例#1：若目的是让709建议书显示器显示的色彩予以保留，则使用1886反EOTF的近似值：

$$E' = E^{1/2.40}, \quad 0 \leq E \leq 1$$

案例#2：若来源为直接摄像机输出，并且目的是匹配2020建议书直接摄像机输出的色彩，则使用2020建议书OETF的近似值（详见附件2）：

$$E' = E^{1/2}, \quad 0 \leq E \leq 1$$

注3：ITU-R BT.2020建议书将 E 或 E' 的范围界定为从0到1之内。但是，视频信号量化的定义允许数值高于1或低于0。上述方程可能也可以适用于高于1或低于0的数值。

M3

从归一化 $R'G'B'$ 颜色信号 $E'_R E'_G E'_B$ （2020建议书）到归一化亮度和色差信号 $E'_Y E'_{CB} E'_{CR}$ （2020建议书）的转换：

$$\begin{bmatrix} E'_Y \\ E'_{CB} \\ E'_{CR} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.2627 & 0.6780 & 0.0593 \\ -0.1396 & -0.3604 & 0.5000 \\ 0.5000 & -0.4598 & -0.0402 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} E'_R \\ E'_G \\ E'_B \end{bmatrix}$$



在 N_{2020} 比特的比特深度归一化颜色信号 $E'_R E'_G E'_B$ （2020建议书）到数字表示的颜色信号 $D'_R D'_G D'_B$ （2020建议书）的量化：

$$\begin{aligned} D'_R &= \text{INT}[(219 \times E'_R + 16) \times 2^{N_{2020}-8}] \\ D'_G &= \text{INT}[(219 \times E'_G + 16) \times 2^{N_{2020}-8}] \\ D'_B &= \text{INT}[(219 \times E'_B + 16) \times 2^{N_{2020}-8}] \end{aligned}$$



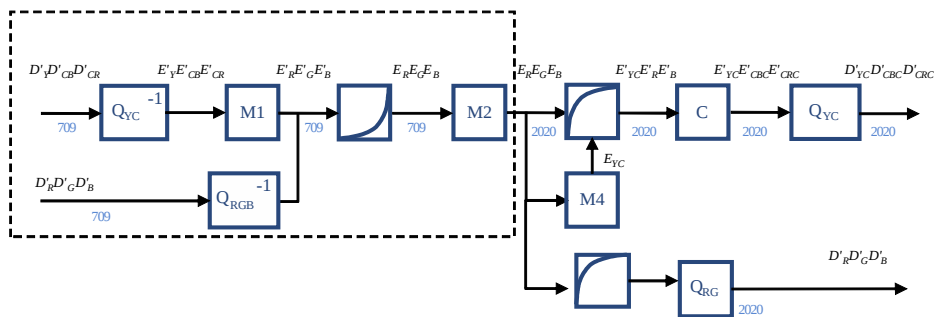
在 N_{2020} 比特的比特深度归一化亮度和色差信号 $E'_Y E'_{CB} E'_{CR}$ （2020建议书）到数字表示的亮度和色差信号 $D'_Y D'_{CB} D'_{CR}$ （2020建议书）的量化：

$$\begin{aligned} D'_Y &= \text{INT}[(219 \times E'_Y + 16) \times 2^{N_{2020}-8}] \\ D'_{CB} &= \text{INT}[(224 \times E'_{CB} + 128) \times 2^{N_{2020}-8}] \\ D'_{CR} &= \text{INT}[(224 \times E'_{CR} + 128) \times 2^{N_{2020}-8}]. \end{aligned}$$

图2显示的方块图体现了从709建议书到BT.2020建议书表4中的恒定亮度信号格式的颜色转换。该方块图的输入信号为数字表示的 $R'G'B'$ 和 $Y'CbCr$ 。其输出信号为数字表示的 $R'G'B'$ 和 $Y'CbCr$ ，其中所增加的下标“c”表示的是恒定亮度信号格式。

图2

根据ITU-R BT.2020建议书中的恒定亮度信号格式，
从709建议书（ $Y'CbCr$ 或 $R'G'B'$ ）到2020建议书
（ $Y'CbCr$ 或 $R'G'B'$ ）的颜色转换



BT.2087-02

图2中各方块的函数和方程如下：

就虚线框里的五个方块而言，其所应用的等式和输入/输出信号与图1的有关说明一致。这些方块符合从数字表示的亮度和色差 $D'_Y D'_{CB} D'_{CR}$ 和颜色 $D'_R D'_G D'_B$ 信号（709建议书）到线性表示的、归一化的RGB信号 $E_R E_G E_B$ （2020建议书）的转换。

图2（针对恒定亮度信号格式）中的‘M4’和‘C’方块与图1（针对非恒定亮度信号格式）中的方块不同。相同的非线性函数和量化方程应用于、‘Q_{YcCc}’和‘Q_{RGB}’方块。为了区分非恒定和恒定信号格式，兹此为恒定亮度信号格式增添了下标‘c’。

M4

从线性表示的、归一化的RGB颜色信号 $E_R E_G E_B$ （2020建议书）到归一化的恒定亮度信号 E_{Yc} （2020建议书）：

$$[E_{Yc}] = [0.2627 \quad 0.6780 \quad 0.0593] \begin{bmatrix} E_R \\ E_G \\ E_B \end{bmatrix}$$



从线性表示的、归一化的RB颜色信号 $E_R E_B$ 和归一化的恒定亮度信号 E_{Yc} （2020建议书）到非线性表示的、归一化的R'B'颜色信号 $E'_R E'_B$ 和归一化的恒定亮度信号 E'_{Yc} （2020建议书）的线性到非线性转换，是通过应用非线性到线性转换方程的倒数完成的。

案例#1：若目的是让709建议书显示器显示的色彩在建议书2020显示器予以保留显示，则使用1886建议书反EOTF的近似值：

$$E' = E^{1/2.40}, \quad 0 \leq E \leq 1$$

案例#2：若来源为直接摄像机输出，并且目的是匹配2020建议书直接摄像机输出的色彩，则使用2020建议书OETF的近似值（详见附件2）：

$$E' = E^{1/2}, \quad 0 \leq E \leq 1$$

注4：ITU-R BT.2020建议书将 E 或 E' 的范围界定为从0到1之内。但是，视频信号量化的定义允许数值高于1或低于0。上述方程可能也可适用于高于1或低于0的数值。

C

从非线性表示的、归一化的R'B'颜色信号 $E'_R E'_B$ 和归一化的恒定亮度信号 E'_{Yc} （2020建议书）到归一化的色差信号 $E'_{CBc} E'_{CRc}$ （2020建议书）的转换：

$$E'_{CBc} = \begin{cases} \frac{E'_B - E'_{Yc}}{2 \times 0.9702} & , -0.9702 \leq E'_B - E'_{Yc} \leq 0 \\ \frac{E'_B - E'_{Yc}}{2 \times 0.7910} & , 0 < E'_B - E'_{Yc} \leq 0.7910 \end{cases}$$

$$E'_{CRc} = \begin{cases} \frac{E'_R - E'_{Yc}}{2 \times 0.8591} & , -0.8591 \leq E'_R - E'_{Yc} \leq 0 \\ \frac{E'_R - E'_{Yc}}{2 \times 0.4969} & , 0 < E'_R - E'_{Yc} \leq 0.4969 \end{cases}$$



在 N_{2020} 比特的比特深度归一化的颜色信号 $E'_R E'_G E'_B$ （2020建议书）到数字表示的颜色信号 $D'_R D'_G D'_B$ （2020建议书）的量化：

$$\begin{aligned} D'_R &= \text{INT}[(219 \times E'_R + 16) \times 2^{N_{2020}-8}] \\ D'_G &= \text{INT}[(219 \times E'_G + 16) \times 2^{N_{2020}-8}] \\ D'_B &= \text{INT}[(219 \times E'_B + 16) \times 2^{N_{2020}-8}] \end{aligned}$$



在 N_{2020} 比特的比特深度归一化的恒定亮度和色差信号 $E'_{Yc} E'_{CBc} E'_{CRc}$ （2020建议书）到数字表示的恒定亮度和色差信号 $D'_{Yc} D'_{CBc} D'_{CRc}$ （2020建议书）的量化：

$$\begin{aligned} D'_{Yc} &= \text{INT}[(219 \times E'_{Yc} + 16) \times 2^{N_{2020}-8}] \\ D'_{CBc} &= \text{INT}[(224 \times E'_{CBc} + 128) \times 2^{N_{2020}-8}] \\ D'_{CRc} &= \text{INT}[(224 \times E'_{CRc} + 128) \times 2^{N_{2020}-8}] \end{aligned}$$

附件2（资料性）

用于颜色转换的非线性转移函数

在视频系统中，从景物光到显示光的信号流概念如图3模型所示，其由四个函数组成：为创意渲染而进行的摄像机调整、光电转移函数（OETF）、电光转移函数（EOTF）及为对观看环境作出补偿而进行的显示器调整。

摄像机调整包括对接近黑色的线性段、预曲折、拐点、拐点斜率及其他事物的调整。709建议书和2020建议书的光电转移函数类似于一个平方根函数。这些光电转移函数偏离 $1/2.0$ -幂函数（包括接近黑色的线性段）的偏差，可以分解为摄像机调整函数。因此，可以将光电转移函数本身视为平方根函数。

基于该概念，该平方函数和平方根函数可以用来进行与案例#2之基于OETF的转移有关的线性和非线性信号表示之间的转移。

图3

关于视频系统中OETF和EOTF的方块图



B T. 2087-03

附件3（资料性）

举例说明颜色转换的两项用例

如附件1所示，有两项通用用例需要从709建议书到2020建议书的颜色转换。在第一个用例（案例#1）中，目的是在2020建议书显示器上保留最初在709建议书显示器上显示的色彩。要注意，709建议书显示器系配备符合ITU-R BT.709建议书标准的RGB基色、D65白点和符合ITU-R BT.1886建议书标准的EOTF的显示设备。同样，2020建议书显示器系配备符合ITU-R BT.2020建议书标准的RGB基色、D65白点和符合ITU-R BT.1886建议书标准的EOTF的显示设备。在第二个用例（案例#1）中，目的是匹配2020建议书直接摄像机输出的色彩。以下实例旨在说明两个用例之间的差异，并提出采用两种不同的转换方法的需要。

在本例中，两台不同的摄像机对一个红色物体进行拍摄：其中一台摄像机符合709建议书的规格，而另一台符合2020建议书的规格。709建议书摄像机连接709建议书显示器，以标准的参考设置进行使用（在符合2035建议书的观看环境中，采用符合1886建议书的EOTF，白电平为100 cd/m²，黑电平为0.005 cd/m²）。同样，2020建议书摄像机连接2020建议书显示器，以同样的参考设置进行使用（在符合2035建议书的观看环境中，采用符合1886建议书的EOTF，白电平为100 cd/m²，黑电平为0.005 cd/m²）。

所选红色物体的亮度为20 cd/m²，其色度与709建议书红基色的色度相同。这可以表示为Yxy坐标系，其中Y = 20, x = 0.64, y = 0.33。

若假设709建议书摄像机配备了使用完美的CIE1931配色函数的传感器，且摄像机光圈得到调整，让红色物体从0.2的传感器产生归一化的Y输出，则结果为10比特709建议书经编码的R'G'B'输出（R' = 914, G' = 64, B' = 64）。经709建议书显示器解码后，输出结果为：Y = 19.8, x = 0.640, y = 0.330。这与最初的景物颜色是非常接近的。

若假设2020建议书摄像机传感器使用了相同的配色函数和相同的光圈设置，则结果为10比特2020建议书经编码的R'G'B'输出（R' = 737, G' = 258, B' = 125）。由于该红色不像对709建议书系统那样，并不接近2020建议书系统的红基色，因此上述数值与709建议书摄像机输出的差异十分大。经2020建议书显示器解码后，输出结果为：Y = 16.2, x = 0.677, y = 0.316。这比最初的景物颜色稍微暗一些，同时也更红一些。该变化是在更大色空间内发生的系统伽马渲染所带来的结果。

这样，就案例#1基于EOTF的转换而言，若709建议书的输出（R' = 914, G' = 64, B' = 64）向2020建议书转换，则结果为2020建议书的输出（R' = 764, G' = 343, B' = 217）。经2020建议书显示器解码后，得到的输出结果为：Y = 20.3, x = 0.634, y = 0.331，这与最初709建议书显示颜色（DeltaE2000色差0.75）是非常接近的。它与2020建议书的拍摄和显示颜色（DeltaE2000色差5.9）的色差十分大。

就案例#2基于OETF的转换而言，若709建议书的输出（ $R' = 914$, $G' = 64$, $B' = 64$ ）转而向2020建议书转换，则结果为2020建议书输出（ $R' = 737$, $G' = 287$, $B' = 173$ ）。经2020建议书显示器解码后，得到的输出结果为： $Y = 17.0$, $x = 0.660$, $y = 0.321$ ，与案例#1相比这能与2020建议书的拍摄和显示颜色（DeltaE2000色差2.3）实现更好匹配。但与最初709建议书显示颜色（DeltaE2000色差3.4）的匹配会更糟。

因此，似乎很明显的一点是，就转换预制作的内容而言（该内容最初在709建议书显示器予以显示），案例#1基于EOTF的转换为最佳选择。除709建议书和2020建议书摄像机的混合直播输出外，案例#2基于OETF的转换为最佳选择。
