

国 际 电 信 联 盟

**ITU-R**

国际电联无线电通信部门

**ITU-R BT.601-7建议书**

**(03/2011)**

**标准4:3和宽屏16:9显示宽高比  
演播室数字电视编码参数**

**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的知识产权政策在ITU-R第1号决议引用的“ITU-T/ITU-R/ISO/IEC共同专利政策”中做了说明。专利持有者提交专利和许可声明的表格可从<http://www.itu.int/ITU-R/go/patents/zh>获得，该网址也提供了“ITU-T/ITU-R/ISO/IEC共同专利政策实施指南”以及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/zh>）

系列	标题
<b>BO</b>	卫星传送
<b>BR</b>	用于制作、存档和播出的录制；电视电影
<b>BS</b>	广播业务（声音）
<b>BT</b>	<b>广播业务（电视）</b>
<b>F</b>	固定业务
<b>M</b>	移动、无线电定位、业余和相关卫星业务
<b>P</b>	无线电波传播
<b>RA</b>	射电天文
<b>RS</b>	遥感系统
<b>S</b>	卫星固定业务
<b>SA</b>	空间应用和气象
<b>SF</b>	卫星固定业务和固定业务系统间的频率共用和协调
<b>SM</b>	频谱管理
<b>SNG</b>	卫星新闻采集
<b>TF</b>	时间信号和频率标准发射
<b>V</b>	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  
2022年，日内瓦

© 国际电联 2022

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.601-7建议书\*

**标准4:3和宽屏16:9显示宽高比  
演播室数字电视编码参数<sup>1</sup>**

(ITU-R 1/6号研究课题)

(1982-1986-1990-1992-1994-1995-2007-2011年)

**范围**

本建议书还包括表示 525 行或 625 行隔行扫描数字电视图像的像素特征。

本建议书规定了视频信号数字编码方法，包括针对宽高比为 4:3 和 16:9 图像的 13.5 MHz 采样率，这两种图像具备当前传输制式所需的足够性能。

**关键词**

标准清晰度电视 (SDTV)、数字电视图像、数字编码、色差

国际电联无线电通信全会，

考虑到

- a) 电视广播公司和节目制作商在数字演播室标准中的明显优势，数字演播室标准拥有 525 行和 625 行系统通用的最大数目的有效参数值；
- b) 全世界兼容的数字方法将允许开发具备许多共同特点的设备，允许运行的经济性，并促进节目的国际交流；
- c) 期望一个可扩展的兼容数字编码标准族。该标准族中的成员可能与不同质量等级、不同的宽高比相对应，有助于当前生产技术所需的额外处理，并满足未来需求；
- d) 基于部分编码的系统能够满足这些期望的目标；
- e) 表示亮度和色差信号（或者，如果使用了，为红色、绿色和蓝色信号）的样本共址，有助于当前生产技术所需的对数字部分信号的处理，

建议

在那些使用 525 行系统和使用 625 行系统的国家中，将下列内容用作电视演播室数字编码标准的基础。

**1 可扩展的兼容数字编码标准族**

**1.1** 数字编码应允许可扩展的兼容数字编码标准族的建立和发展。它应有可能实现标准族中任何成员间的简单接合。

---

\* 无线电通信第 6 研究组根据 ITU-R 第 1 号决议于 2014 年 11 月和 2017 年 3 月对此建议书进行了编辑性修正。

<sup>1</sup> 标准清晰度电视 (SDTV)。

**1.2** 数字编码应基于对一个亮度信号和两个色差信号（或者，如果使用了，为红色、绿色和蓝色信号）的使用。

**1.3** 必须对这些信号的频谱特征实施控制，以避免混淆现象，同时保留通带响应。附录2叙述了滤波器规范。

## 2 适用于任何族成员的规范

**2.1** 采样结构应在空间上是静态的。例如，本建议书中规定的正交采样结构就是这种情况。

**2.2** 如果样本表示亮度和两个同时的色差信号，那么每一对色差样本都应在空间上共址。如果使用了表示红色、绿色和蓝色信号的样本，那么它们应共址。

**2.3** 为各个族成员采用的数字标准应允许全世界在操作上的接受与应用；实现该目标的一个条件是，对各个族成员，为525行和625行系统规定的每一行的样本数量都应是兼容的（最好是每一行的样本数量都相同）。

**2.4** 在这些规范的应用中，数字单词的内容以十进制和十六进制两种形式表示，分别用下标“d”和“h”来表示。

为避免8位和10位表示法之间的混淆，八个最高有效位被认为是整数部分，而两个额外位，如果存在的话，被认为是小数部分。

例如，位图案10010001将表示为145<sub>a</sub>或91<sub>h</sub>，而图案1001000101将表示为145.25<sub>a</sub>或91.4<sub>h</sub>。

如果没有显示小数部分，那么应假设其具备二进制值00。

## 2.5 从基色（模拟）信号 $E'_R$ 、 $E'_G$ 和 $E'_B$ 定义数字信号 $Y$ 、 $C_R$ 、 $C_B$

本节从定义 $Y$ 、 $C_R$ 、 $C_B$ 信号的角度，描述来自百万分之一预校正基色模拟信号 $E'_R$ 、 $E'_G$ 和 $E'_B$ 的构建规则。通过在§§ 2.5.1、2.5.2和2.5.3中描述的三个步骤，这些信号得以构建。该方法作为一个例子给出，并且在实际操作中，来自这些基色信号或其他模拟信号或数字信号的其他构建方法，可能产生相同的结果。§ 2.5.4提供了一个例子。

### 2.5.1 亮度( $E'_Y$ )和色差( $E'_R - E'_Y$ )和( $E'_B - E'_Y$ )信号的构建

亮度和色差信号的构建如下所述：

$$E'_Y = 0.299 E'_R + 0.587 E'_G + 0.114 E'_B$$

则：

$$(E'_R - E'_Y) = E'_R - 0.299 E'_R - 0.587 E'_G - 0.114 E'_B = 0.701 E'_R - 0.587 E'_G - 0.114 E'_B$$

以及

$$(E'_B - E'_Y) = E'_B - 0.299 E'_R - 0.587 E'_G - 0.114 E'_B = -0.299 E'_R - 0.587 E'_G + 0.886 E'_B$$

将这些信号值作为标准值进行归一化（例如1.0 V最高级），表1显示了从白色、黑色和饱和的基色与补色中获得的值。

表1  
标准信号值

条件	$E_R$	$E_G$	$E_B$	$E_Y$	$E_R - E_Y$	$E_B - E_Y$
白色	1.0	1.0	1.0	1.0	0	0
黑色	0	0	0	0	0	0
红色	1.0	0	0	0.299	-0.701	-0.299
绿色	0	1.0	0	0.587	-0.587	-0.587
蓝色	0	0	1.0	0.114	-0.114	0.886
黄色	1.0	1.0	0	0.886	0.114	-0.886
青色	0	1.0	1.0	0.701	-0.701	0.299
洋红色	1.0	0	1.0	0.413	0.587	0.587

### 2.5.2 重新标准化色差信号( $E'_{C_R}$ 和 $E'_{C_B}$ )的构建

$E_Y$ 值的范围是从1.0到0，同时， $(E_R - E_Y)$ 值的范围是+0.701到-0.701，而 $(E_B - E_Y)$ 值的范围是+0.886到-0.886。为恢复色差信号的偏移，以便归一化（即+0.5到-0.5），可按以下方法分别计算重新标准化的红色和蓝色色差信号 $E'_{C_R}$ 和 $E'_{C_B}$ ：

$$E'_{C_R} = \frac{E'_R - E'_Y}{1.402} \\ = \frac{0.701E'_R - 0.587E'_G - 0.114E'_B}{1.402}$$

以及

$$E'_{C_B} = \frac{E'_B - E'_Y}{1.772} \\ = \frac{-0.299E'_R - 0.587E'_G + 0.886E'_B}{1.772}$$

符号 $E'_{C_R}$ 和 $E'_{C_B}$ 将只用来规定重新标准化的色差信号，即与亮度信号 $E_Y$ 具有相同的名义上的峰到峰幅值，因而选为参考幅值。

### 2.5.3 量化

在归一化量化的8位或10位二进制编码， $2^8$ 或 $2^{10}$ ，即256或1024的情况中，规定了同等的空间量化级别，以使二进制数的可用范围为0000 0000到1111 1111（在十六进制记法中为00到FF）或0000 0000 00到1111 1111 11（在十六进制记法中为00.0h到FF.Ch），等同的十进制数为0.00a到255.75a（包含）。

在本建议书中，为同步数据预留了0.00a和255.75a级，同时，1.00a到254.75a级可用于视频。

假如亮度信号只占用了220（8位）或877（10位）级，以提供工作范围，并假设黑色位于16.00<sub>d</sub>级，那么量化的亮度信号的十进制值 $Y$ 为：

$$Y = \text{int} \left\{ (219E'_Y + 16) \times D \right\} / D$$

其中， $D$ 在1或4中任选一个值，分别与8位和10位的量化相对应。操作符 $\text{int}(\ )$ 为0到0.4999范围中的小数部分返回值0...，并为0.5到0.999范围中的小数部分返回值+1...，即它近似大于0.5的小数。

同样，假如色差信号只占用225（8位）或897（10位）级，并假设零级为128.00<sub>d</sub>级，那么量化的色差信号的十进制值 $C_R$ 和 $C_B$ 为：

$$C_R = \text{int} \left\{ (224E'_{C_R} + 128) \times D \right\} / D$$

以及

$$C_B = \text{int} \left\{ (224E'_{C_B} + 128) \times D \right\} / D$$

数字等价值命名为 $Y$ 、 $C_R$ 和 $C_B$ 。

#### 2.5.4 通过量化 $E'_R$ 、 $E'_G$ 、 $E'_B$ 的 $Y$ 、 $C_R$ 、 $C_B$ 构建

如果部分直接源自百万分之一预校正部分信号 $E'_R$ 、 $E'_G$ 、 $E'_B$ ，或者以数字形式直接产生，那么量化和编码将等同于：

$$E'_{R_D} \text{ (以数字形式表示)} = \text{int} \left\{ (219E'_R + 16) \times D \right\} / D$$

$$E'_{G_D} \text{ (以数字形式表示)} = \text{int} \left\{ (219E'_G + 16) \times D \right\} / D$$

$$E'_{B_D} \text{ (以数字形式表示)} = \text{int} \left\{ (219E'_B + 16) \times D \right\} / D$$

则：

$$Y = \text{int} \left\{ (0.299E'_{R_D} + 0.587E'_{G_D} + 0.114E'_{B_D}) \times D \right\} / D$$

$$\approx \text{int} \left\{ \left( \frac{k'_{Y1}}{2^m} E'_{R_D} + \frac{k'_{Y2}}{2^m} E'_{G_D} + \frac{k'_{Y3}}{2^m} E'_{B_D} \right) \times D \right\} / D$$

$$C_R = \text{int} \left[ \left\{ \left( \frac{0.701E'_{R_D} - 0.587E'_{G_D} - 0.114E'_{B_D}}{1.402} \right) \frac{224}{219} + 128 \right\} \times D \right] / D$$

$$\approx \text{int} \left[ \left\{ \left( \frac{k'_{CR1}}{2^m} E'_{R_D} + \frac{k'_{CR2}}{2^m} E'_{G_D} + \frac{k'_{CR3}}{2^m} E'_{B_D} \right) + 128 \right\} \times D \right] / D$$

$$C_B = \text{int} \left[ \left\{ \left( \frac{-0.299E'_{R_D} - 0.587E'_{G_D} + 0.886E'_{B_D}}{1.772} \right) \frac{224}{219} + 128 \right\} \times D \right] / D$$

$$\approx \text{int} \left[ \left\{ \left( \frac{k'_{CB1}}{2^m} E'_{R_D} + \frac{k'_{CB2}}{2^m} E'_{G_D} + \frac{k'_{CB3}}{2^m} E'_{B_D} \right) + 128 \right\} \times D \right] / D$$

其中， $k'$ 和 $m$ 分别表示整数系数和整数系数的位长。亮度和色差公式的整数系数应按照附件2产生。

表2  
亮度和色差公式的整数系数

系数位	分母	亮度Y			色差CR			色差CB		
		$k'_{Y1}$	$k'_{Y2}$	$k'_{Y3}$	$k'_{CR1}$	$k'_{CR2}$	$k'_{CR3}$	$k'_{CB1}$	$k'_{CB2}$	$k'_{CB3}$
$m$	$2^m$									
8	256	77	150	29	131	-110	-21	-44	-87	131
9	512	153	301	58	262	-219	-43	-88	<b>-174</b>	262
10	1 024	306	601	117	524	-439	-85	-177	-347	524
11	2 048	612	1 202	<b>234</b>	1 047	-877	-170	-353	-694	1 047
12	4 096	1 225	2 404	467	2 095	-1 754	-341	-707	-1 388	2 095
13	8 192	2 449	4 809	934	<b>4 189</b>	-3 508	-681	-1 414	-2 776	4 190
14	16 384	4 899	9 617	1 868	8 379	-7 016	-1 363	-2 828	-5 551	8 379
15	32 768	9 798	19 235	<b>3 735</b>	16 758	-14 033	-2 725	-5 655	-11 103	16 758
16	65 536	19 595	38 470	7 471	33 516	-28 066	<b>-5 450</b>	-11 311	-22 205	33 516

注1 – 加粗的数值表示从最近的整数值优化修改而来的数值。

为了获得4:2:2部分 $Y$ 、 $C_R$ 、 $C_B$ ，低通滤波器和二次采样都必须在上述4:4:4  $C_R$ 、 $C_B$ 信号上执行。应注意的是，以这种方式产生的 $C_R$ 、 $C_B$ 部分与那些在采样之前通过模拟滤波产生的部分之间，可能存在细微的差别。

### 2.5.5 $Y$ 、 $C_R$ 、 $C_B$ 信号的限制

$Y$ 、 $C_R$ 、 $C_B$ 信号形式的数字编码可以表示比那些由 $R$ 、 $G$ 、 $B$ 信号相应范围支持的范围更大的信号值范围。正因为这样，作为电子图像生成或信号处理的结果，产生 $Y$ 、 $C_R$ 、 $C_B$ 信号是可能的，尽管只是个别有效，但当转变为 $R$ 、 $G$ 、 $B$ 时，将导致值超出范围。通过应用 $Y$ 、 $C_R$ 、 $C_B$ 信号的限制，它将比在这些信号成为 $R$ 、 $G$ 、 $B$ 形式之前一直等待来防止值超出范围更加方便和有效。限制还能在保持亮度和色调值的方法中应用，通过仅仅牺牲饱和度，来最大限度地降低主观缺陷。

2.6 颜色与光电转换特征<sup>2</sup>

项	特征				
	参数	625		525	
2.6.1	色度坐标值, CIE 1931 <sup>(1)</sup>	<i>x</i>	<i>y</i>	<i>x</i>	<i>y</i>
	基色 红	0.640	0.330	0.630	0.340
	基色 绿	0.290	0.600	0.310	0.595
	基色 蓝	0.150	0.060	0.155	0.070
2.6.2	为相同基色信号假定的色度 – 基准白色	$D_{65}$			
		<i>x</i>		<i>y</i>	
	$E_R = E_G = E_B$	0.3127		0.3290	
2.6.3	在非线性预校正之前的光电转换特征	假定为线性			
2.6.4	在源处总的光电转换特征 <sup>3</sup>	$E = (1.099 L^{0.45} - 0.099)$ , 对于 $1.00 \geq L \geq 0.018$ $E = 4.500 L$ , 对于 $0.018 > L \geq 0$ 其中: $L$ : 传统比色法的图像亮度 $0 \leq L \leq 1$ $E$ : 相应的电信号。			

(1) 规定的色度坐标是那些当前由625行和525行传统系统使用的坐标。

## 3 族成员

下列族成员定义为:

- 当有必要为两种宽高比保持同样的模拟信号带宽和数字率时, 定义为针对宽高比4:3和宽屏16:9宽高比系统的4:2:2。
- 为具有更高彩色分辨率的4:3和16:9宽高比系统定义的4:4:4<sup>4</sup>。

<sup>2</sup> 人们认识到, 现在使用的一种做法是, 当使用SDTV播放HDTV制作的节目时, 其HDTV像素图在不改变原节目色度的情况下映射至SDTV像素图。

<sup>3</sup> 在典型制作实践中, 会对图像源的编码功能进行调整, 以便在ITU-R BT.2035建议书所规定的基准观看环境下, 在一个具备ITU-R BT.1886建议书参考编码功能的基准显示器上观看时, 最终的图像具有需要的效果。尽管ITU-R BT.2035建议书所列的某些参数适用于观看HDTV信号, 但仍应使用SDTV信号的缩放观看距离。

<sup>4</sup> 在4:4:4的族成员中, 采样信号可能是亮度和色差信号(或者, 如果使用了, 为红色、绿色和蓝色信号)。

## 附件1

## 族成员的编码参数

## 1 4:2:2族成员的编码参数值

当有必要为两种宽高比保持同样的模拟信号带宽和数字率时，应用于4:2:2族成员的规范（参见表3）将用于中心数字演播室设备之间的标准数字接口中，并用于宽高比4:3的数字电视或宽屏16:9数字电视的国际节目交换中。

表3

参数	525行、60/1.001字段/秒系统	625行、50字段/秒系统
1) 编码的信号： $Y$ 、 $C_R$ 、 $C_B$	这些信号从百万分之一预校正信号中获得，即： $E_Y$ 、 $E_R - E_Y$ 、 $E_B - E_Y$ （参见§ 2.5）。	
2) 每一总行的样本数量： - 亮度信号（ $Y$ ） - 各色差信号（ $C_R$ 、 $C_B$ ）	858 429	864 432
3) 采样结构	正交、线、字段和帧重复。在每一行中， $C_R$ 和 $C_B$ 样本与奇数的（第1、第3、第5等） $Y$ 样本共址。	
4) 采样频率： - 亮度信号 - 各色差信号	13.5 MHz 6.75 MHz 采样频率的容差应与相应的彩色电视标准的行频率容差相一致。	
5) 编码形式	归一化量化的PCM、每样本的8或10位，针对亮度信号和各色差信号。	
6) 每一数字有效行的样本数量： - 亮度信号 - 各色差信号	720 360	
7) 模-数水平时间关系： - 从数字有效行的末端到 $O_H$ 。	16亮度时钟周期	12亮度时钟周期

表3 (结束)

参数	525行、60/1.001字段/秒系统	625行、50字段/秒系统
8) 视频信号级与量化级之间的对应关系： - 刻度 - 亮度信号 - 各色差信号	(参见§ 2.4) (数值是十进制的)  0.00 <sub>d</sub> 到255.75 <sub>d</sub> 220 (8位) 或877 (10位) 量化级带有与16.00 <sub>d</sub> 级相对应的黑色级, 峰值白色级与235.00 <sub>d</sub> 级相对应。信号级有时可能偏移, 超出235.00 <sub>d</sub> 级或低于16.00 <sub>d</sub> 级。 在量化刻度中心部分的225 (8位) 或897 (10位) 量化级带有与128.00 <sub>d</sub> 级相对应的零信号。信号级有时可能偏移, 超出240.00 <sub>d</sub> 级或低于16.00 <sub>d</sub> 级。	
9) 码字的用法	与0.00 <sub>d</sub> 和255.75 <sub>d</sub> 量化级相对应的码字专门用于同步。1.00 <sub>d</sub> 到254.75 <sub>d</sub> 级可用于视频。 当8位码字在10位系统中进行处理时, 零中的两个LSB添加于8位码字。	

## 2 针对族成员4:4:4的编码参数值

表4中提供的规范应用于4:4:4族成员, 该规范适用于电视源设备和高质量视频信号处理的应用中。

表4

参数	525行、60/1.001字段/秒系统	625行、50字段/秒系统
1) 编码的信号: $Y$ 、 $C_R$ 、 $C_B$ 或 $R$ 、 $G$ 、 $B$	这些信号从百万分之一预校正信号中获得, 即: $E_Y$ 、 $E_R - E_Y$ 、 $E_B - E_Y$ 或 $E_R$ 、 $E_G$ 、 $E_B$ 。	
2) 各信号每一总行的样本数量	858	864
3) 采样结构	正交、线、字段和帧重复。这三种采样结构将一致, 并也与4:2:2族成员的亮度采样结构相一致。	
4) 各信号的采样频率	13.5 MHz	
5) 编码形式	归一化量化的PCM、每样本8或10位。	
6) 在样本数量中表示的数字有效行的持续时间	720	
7) 模-数水平时间关系: - 从数字有效行的末端到 $O_H$ 。	16时钟周期	12时钟周期

表4（结束）

参数	525行、60/1.001字段/秒系统	625行、50字段/秒系统
8) 视频信号级与各样本量化级之间的对应关系： - 刻度 - <i>R</i> 、 <i>G</i> 、 <i>B</i> 或亮度信号 <sup>(1)</sup> - 各色差信号 <sup>(1)</sup>	（参见§ 2.4）（数值是十进制的）。  0.00 <sub>d</sub> 到255.75 <sub>d</sub>  220（8位）或877（10位）量化级带有与16.00 <sub>d</sub> 级相对应的黑色级，峰值白色级与235.00 <sub>d</sub> 级相对应。信号级有时可能偏移，超出235.00 <sub>d</sub> 级或低于16.00 <sub>d</sub> 级。  在量化刻度中心部分的225（8位）或897（10位）量化级带有与128.00 <sub>d</sub> 级相对应的零信号。信号级有时可能偏移，超出240.00 <sub>d</sub> 级或低于16.00 <sub>d</sub> 级。	
9) 码字的用法	与0.00 <sub>d</sub> 和255.75 <sub>d</sub> 量化级相对应的码字专门用于同步。1.00 <sub>d</sub> 到254.75 <sub>d</sub> 级可用于视频。  当8位码字在10位系统中进行处理时，零中的两个LSB添加于8位码字。	

<sup>(1)</sup> 如果已使用的话。

## 附件1的 附录1

### 数字编码标准中使用的信号定义

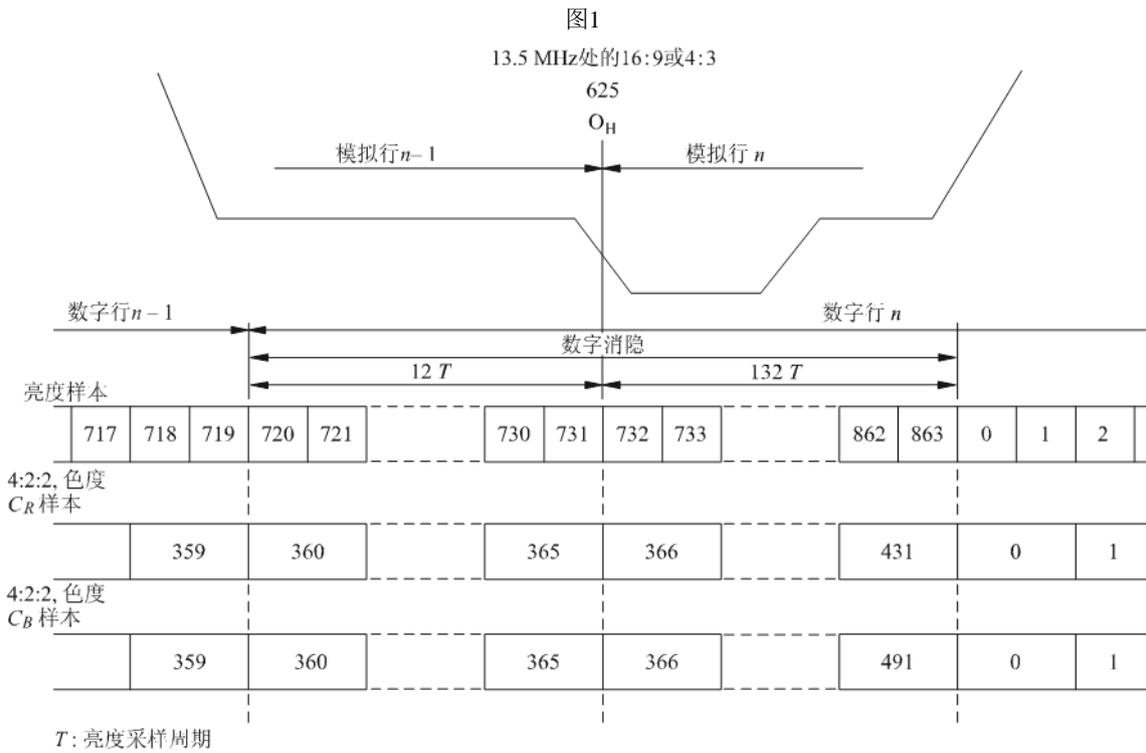
#### 1 数字有效行与模拟同步参考的关系

数字有效行亮度样本与模拟同步参考之间的关系在下图中显示：

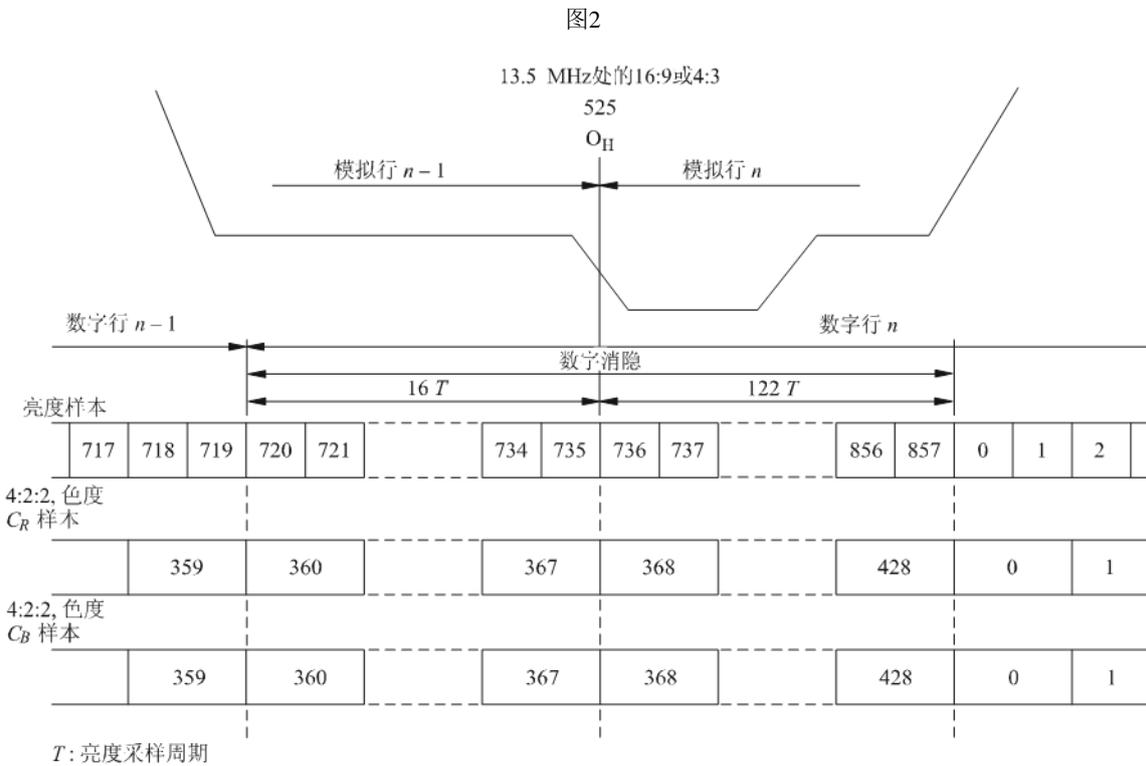
- 图1针对的是625行。
- 图2针对的是525行。

在两个图中，采样点出现在每一个方块的开始处。

4:2:2族中各自的色差样本数可以通过用亮度样本数除以2获得。对称地选择（12,132）和（16,122），以便处理这些与允许的变化相关的数字有效行。它们并不形成数字行规范的一部分，并且只与模拟接口相关。



BT.601-01



BT.601-02

## 附件1的 附录2

### 滤波特性

#### 1 滤波器实际操作的一些指南

在编码和解码过程中使用的有关滤波器的建议中，假设在数-模转换后的后滤波器中提供了有关  $(\sin x/x)$  特征的校正。滤波器带通容差加上  $(\sin x/x)$  校正器、加上理论上的  $(\sin x/x)$  特征应与单独为滤波器提供的容差相同。如果在设计过程中将滤波器、 $(\sin x/x)$  校正器和时延平衡器都作为一个独立的单元来处理，那么这是最容易实现的。

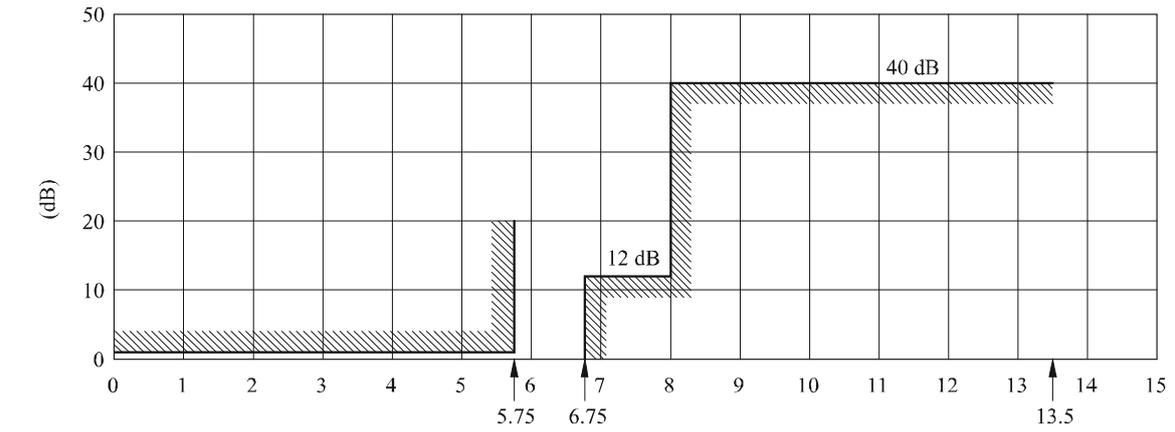
因滤波和编码亮度和色差部分而造成的总的时延应是相同的。在色差滤波器（图4a)和4b)）中的时延通常是亮度滤波器（图3a)和3b)）时延的两倍。由于难以使用没有超出通带容差的模拟时延网络来均衡这些时延，因此建议应在数字域中均衡大块的时延偏差（在采样周期的整数倍数中）。在校正任何余数的过程中，应注意的是，解码器中的采样-保持电路引入了一个为一半采样周期的平坦时延。

振幅波纹的通带容差和组时延认为是非常严格的。当前的研究表明，为了实现大量级联的编码和解码操作而不牺牲4:2:2编码标准潜在的高质量，这是必要的。因当前可用测量设备性能的限制，制造商可能难以在生产基础上经济地对单个滤波器是否满足容差要求进行验证。尽管如此，为在实践中满足规定的特性要求，设计一些滤波器也是可能的，并要求制造商在生产环境方面尽最大努力来使每一个滤波器都满足指定的模板要求。

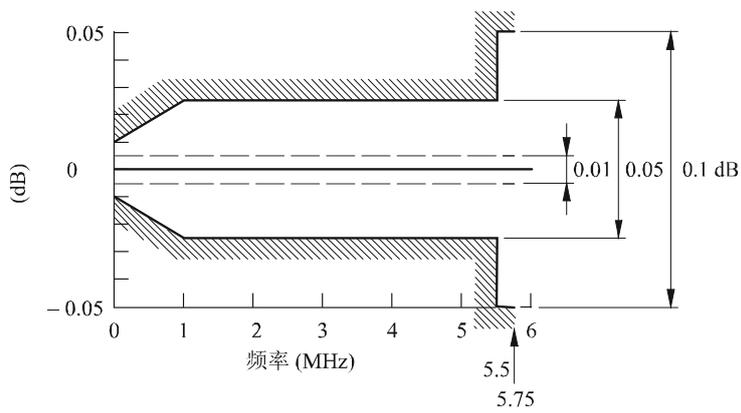
对附录2中提供的规范进行了修改，以尽可能在整个部分信号链中保留Y、 $C_R$ 、 $C_B$ 信号的谱含量。不过，认识到，色差谱特征必须由插入图像监视器中或部分信号链末端上的、慢卷滤波器来形成。

图3

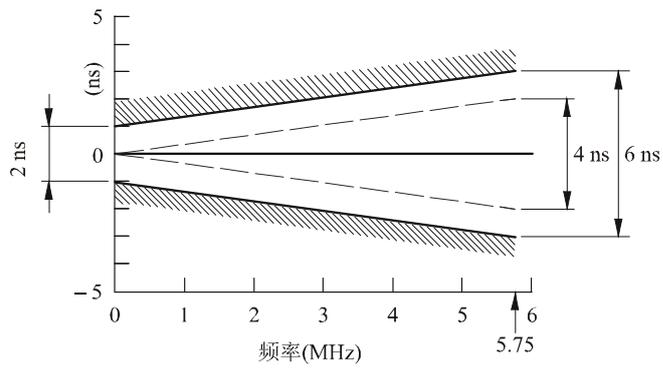
亮度、RGB或4:4:4色差信号的滤波器模板



a) 有关插入损耗/频率特征的模板



b) 通带波纹容差

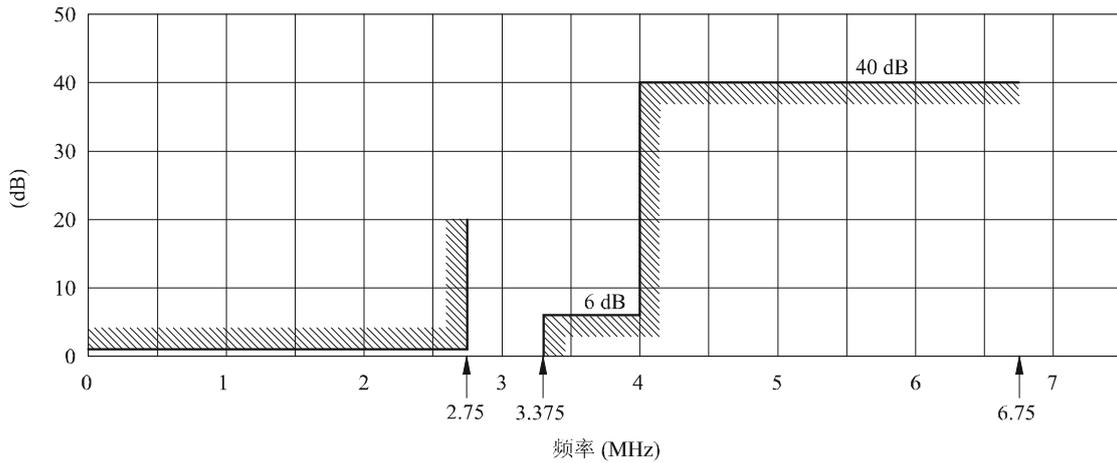


c) 通带组时延容差

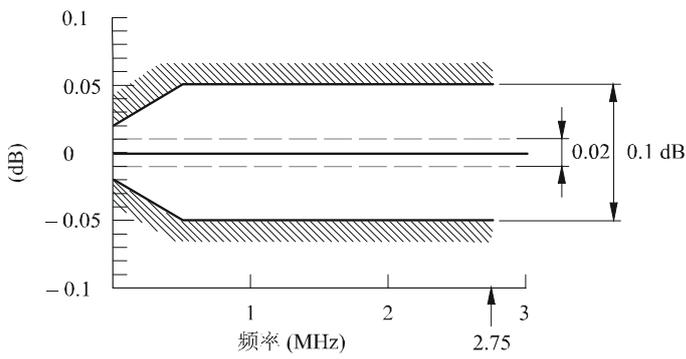
注1 — 在b)和c)中显示的最低值是针对1 kHz(而不是针对0 MHz)的。

图4

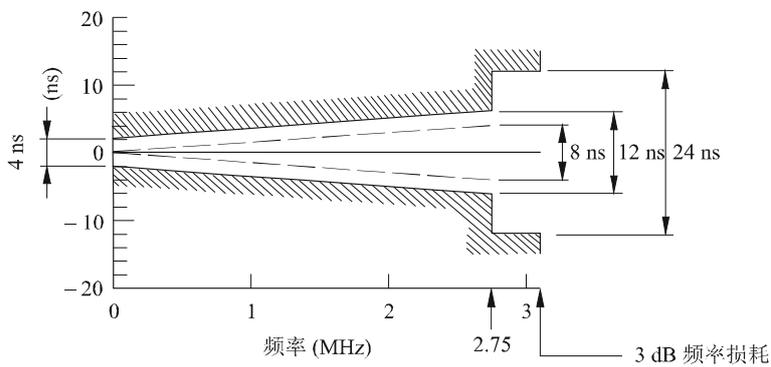
4:2:2色差信号的滤波器模板



a) 有关插入损耗/频率特征的模板



b) 通带波纹容差

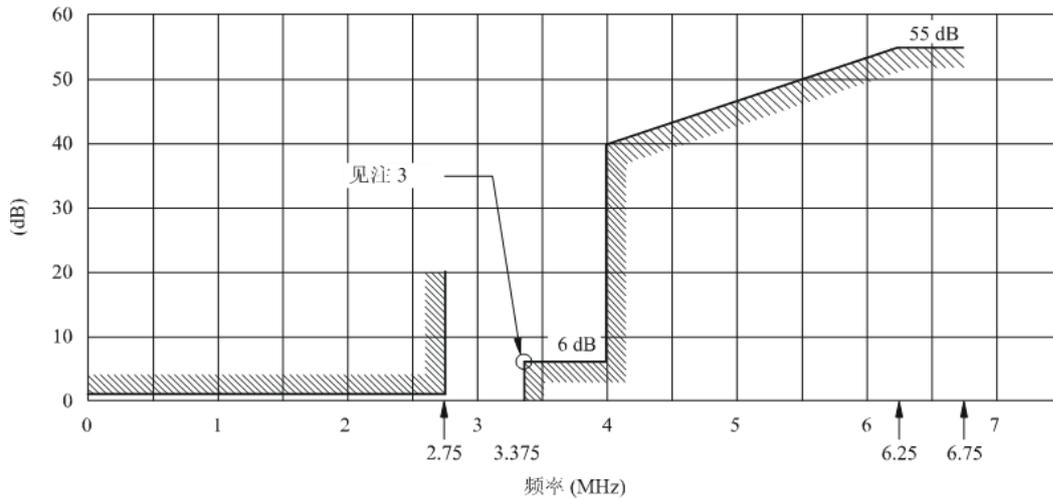


c) 通带组时延容差

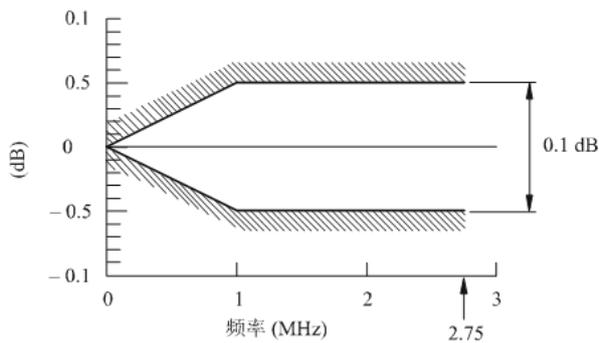
注1 — 在b)和c)中显示的最低值是针对1 kHz(而不是针对0 MHz)的。

图5

从4:4:4到4:2:2色差信号采样率转换的数字滤波器模板



a) 有关插入损耗/频率特征的模板



b) 通带波纹容差

BT.601-05

图3、图4和图5的注释:

注 1 – 波纹和组时延规定为与它们在1 kHz频率上的值有关。实线是实际限制，虚线是为理论设计而给出的建议限制。

注 2 – 在数字滤波器中，实际限制与设计限制是相同的。设计中的时延失真为零。

注 3 – 在数字滤波器中（图5），振幅/频率特征（在线性刻度上）应与半振幅点呈斜对称，这在图上做了显示。

注 4 – 在有关编码和解码过程中使用的滤波器的建议中，假设在数-模转换后的后滤波器中提供了有关采样和保持电路（ $\sin x/x$ ）特征的校正。

## 附件2

## 常规色域系统亮度和色差等式整数系数的推导

由于等式系数确定的比特长度，数字系统可能在亮度和色差信号中产生计算错误。此外，数字亮度和色差信号根据信号处理序列，即模拟矩阵量化后的信号与RGB信号量化后数字矩阵信号之间的差异可能会在数值上略有差别。为减少此类错误和差距，应优化数字等式的整数系数。优化程序和若干比特长度的整数系数结果见下文。

## 1 数字等式

在以下等式中， $m$ 和 $n$ 分别表示整数系数和数字信号的比特长度。

常规色域系统的数字亮度等式如下：

$$D'_Y = \text{INT} \left[ 0.299 D'_R + 0.587 D'_G + 0.114 D'_B \right] \quad (1)$$

$$= \text{INT} \left[ \frac{r'_{Y1}}{2^m} D'_R + \frac{r'_{Y2}}{2^m} D'_G + \frac{r'_{Y3}}{2^m} D'_B \right] \quad (2)$$

$$\approx \text{INT} \left[ \frac{k'_{Y1}}{2^m} D'_R + \frac{k'_{Y2}}{2^m} D'_G + \frac{k'_{Y3}}{2^m} D'_B \right] \quad (3)$$

其中 $r'$ 和 $k'$ 分别表示如下系数的实际数值和整数系数：

$$r'_{Y1} = 0.299 \times 2^m \quad k'_{Y1} = \text{INT} [r'_{Y1}]$$

$$r'_{Y2} = 0.587 \times 2^m \quad k'_{Y2} = \text{INT} [r'_{Y2}]$$

$$r'_{Y3} = 0.114 \times 2^m \quad k'_{Y3} = \text{INT} [r'_{Y3}]$$

常规色域系统的数字色差等式如下：

$$D'_{CB} = \text{INT} \left[ \frac{-0.299 D'_R - 0.587 D'_G + 0.886 D'_B}{1.772} \times \frac{224}{219} + 2^{n-1} \right] \quad (4)$$

$$= \text{INT} \left[ \frac{r'_{CB1}}{2^m} D'_R + \frac{r'_{CB2}}{2^m} D'_G + \frac{r'_{CB3}}{2^m} D'_B + 2^{n-1} \right] \quad (5)$$

$$\approx \text{INT} \left[ \frac{k'_{CB1}}{2^m} D'_R + \frac{k'_{CB2}}{2^m} D'_G + \frac{k'_{CB3}}{2^m} D'_B + 2^{n-1} \right] \quad (6)$$

$$D'_{CR} = \text{INT} \left[ \frac{0.701 D'_R - 0.587 D'_G - 0.114 D'_B}{1.402} \times \frac{224}{219} + 2^{n-1} \right] \quad (7)$$

$$= \text{INT} \left[ \frac{r'_{CR1}}{2^m} D'_R + \frac{r'_{CR2}}{2^m} D'_G + \frac{r'_{CR3}}{2^m} D'_B + 2^{n-1} \right] \quad (8)$$

$$\approx \text{INT} \left[ \frac{k'_{CR1}}{2^m} D'_R + \frac{k'_{CR2}}{2^m} D'_G + \frac{k'_{CR3}}{2^m} D'_B + 2^{n-1} \right] \quad (9)$$

其中：

$$r'_{CB1} = -\frac{0.299}{1.772} \times \frac{224}{219} \times 2^m \quad k'_{CB1} = \text{INT}[r'_{CB1}]$$

$$r'_{CB2} = -\frac{0.587}{1.772} \times \frac{224}{219} \times 2^m \quad k'_{CB2} = \text{INT}[r'_{CB2}]$$

$$r'_{CB3} = \frac{0.886}{1.772} \times \frac{224}{219} \times 2^m \quad k'_{CB3} = \text{INT}[r'_{CB3}]$$

$$r'_{CR1} = \frac{0.701}{1.402} \times \frac{224}{219} \times 2^m \quad k'_{CR1} = \text{INT}[r'_{CR1}]$$

$$r'_{CR2} = -\frac{0.587}{1.402} \times \frac{224}{219} \times 2^m \quad k'_{CR2} = \text{INT}[r'_{CR2}]$$

$$r'_{CR3} = -\frac{0.114}{1.402} \times \frac{224}{219} \times 2^m \quad k'_{CR3} = \text{INT}[r'_{CR3}]$$

## 2 优化程序

等式(3)显示出由于整数系数确定比特长度造成的包含计算错误的数字矩阵亮度。当系数比特长度增加时，等式(3)的变元（[ ]中的数值）接近等式(2)的变元，使等式之间的错误减少或差距缩小。因此，等式(2)和(3)变元的差可以被看做整数系数的优化结果。由于变元差取决于RGB信号输入，“最小二乘误差”优化得到确定，将整数系数进行调整，使所有输入的二乘方差异变成最小数值，即等式(10)的数值最小化。

$$\varepsilon'_Y = \sum_{\text{for all RGB}} \left\{ \left( \frac{k'_{Y1}}{2^m} D'_R + \frac{k'_{Y2}}{2^m} D'_G + \frac{k'_{Y3}}{2^m} D'_B \right) - \left( \frac{r'_{Y1}}{2^m} D'_R + \frac{r'_{Y2}}{2^m} D'_G + \frac{r'_{Y3}}{2^m} D'_B \right) \right\}^2 \quad (10)$$

除提供最小的r.m.s.误差外，该LSE优化自动减少某个输入色（输入RGB信号的某种组合）的峰值误差以及不同信号处理序列之间的差异（模拟矩阵和数字矩阵）。

优化程序如下：

第1步：对于各整数系数的最初数值  $r'_{ij}$  ( $j = 1, 2, 3$ )，将最接近的整数带入系数  $r'_{ij}$  的实际数值；

第2步：利用最初整数系数，计算r.m.s.误差或输入RGB信号范围内（16至235）8比特系统的乘方差异总数（等式(10)）（不适用总数的简单计算方法见第3段）；

第3步：在用一增加/减少各整数系数时，检查r.m.s.误差。必须全面评估27 ( $= 3^3$ )组合，因为各系数可以有三个值，即增加值、降低值和始终保持不变的值。

第4步：选择r.m.s.误差最低的系数组合。这种组合是优化的结果。

相同程序适用于色差等式，使用等式(11)和(12)。

$$\begin{aligned} \varepsilon'_{CB} = \sum_{\text{对所有RGB}} & \left\{ \left( \frac{k'_{CB1}}{2^m} D'_R + \frac{k'_{CB2}}{2^m} D'_G + \frac{k'_{CB3}}{2^m} D'_B + 2^{n-1} \right) \right. \\ & \left. - \left( \frac{r'_{CB1}}{2^m} D'_R + \frac{r'_{CB2}}{2^m} D'_G + \frac{r'_{CB3}}{2^m} D'_B + 2^{n-1} \right) \right\}^2 \end{aligned} \quad (11)$$

$$\begin{aligned} \varepsilon'_{CR} = \sum_{\text{对所有RGB}} & \left\{ \left( \frac{k'_{CR1}}{2^m} D'_R + \frac{k'_{CR2}}{2^m} D'_G + \frac{k'_{CR3}}{2^m} D'_B + 2^{n-1} \right) \right. \\ & \left. - \left( \frac{r'_{CR1}}{2^m} D'_R + \frac{r'_{CR2}}{2^m} D'_G + \frac{r'_{CR3}}{2^m} D'_B + 2^{n-1} \right) \right\}^2 \end{aligned} \quad (12)$$

### 3 平方差总和的简单计算方法

将整数和实际系数值的差额表述为  $\delta_{ij} = k'_{ij} - r'_{ij}$ ，数字RGB信号为  $X_j$ ，等式(10)至(12)的平方差总和可表示如下：

$$\varepsilon'_i = \frac{1}{2^m} \sum_{X_1=L}^H \sum_{X_2=L}^H \sum_{X_3=L}^H (\delta_{i1}X_1 + \delta_{i2}X_2 + \delta_{i3}X_3)^2 \quad (13)$$

其中  $L$  和  $H$  分别表示输入信号范围内的较低和较高边界，整数系数为此优化。

由于  $L$  和  $H$  在所探讨的数字系统中是恒定的， $X_j$  的总和也是恒定的。因此，等式(13)只能表述为  $\delta_{ij}$  的函数。

$$\varepsilon'_i = \frac{1}{2^m} \left\{ N_1 (\delta_{i1}^2 + \delta_{i2}^2 + \delta_{i3}^2) + 2N_2 (\delta_{i1}\delta_{i2} + \delta_{i2}\delta_{i3} + \delta_{i3}\delta_{i1}) \right\} \quad (14)$$

其中：

$$\begin{aligned}
 N_1 &= \sum_{X_2=L}^H \sum_{X_3=L}^H \left( \sum_{X_1=L}^H X_1^2 \right) = \sum_{X_1=L}^H \sum_{X_3=L}^H \left( \sum_{X_2=L}^H X_1^2 \right) = \sum_{X_1=L}^H \sum_{X_2=L}^H \left( \sum_{X_3=L}^H X_1^2 \right) \\
 &= (H-L+1)^2 \{H(H+1)(2H+1)/6 - (L-1)L(2L-1)/6\} \\
 N_2 &= \sum_{X_3=L}^H \left( \sum_{X_1=L}^H \sum_{X_2=L}^H X_1 X_2 \right) = \sum_{X_1=L}^H \left( \sum_{X_2=L}^H \sum_{X_3=L}^H X_2 X_3 \right) = \sum_{X_2=L}^H \left( \sum_{X_3=L}^H \sum_{X_1=L}^H X_3 X_1 \right) \\
 &= (H-L+1) \{H(H+1)/2 - (L-1)L/2\}^2
 \end{aligned}$$

因此，r.m.s.误差或等式(10)至(12)的计算可简单地由等式(14)进行。

---