

ITU-R BT.601-6 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

(ITU-R 1/6 号研究课题)

(1982-1986-1990-1992-1994-1995-2007 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。

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。

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_d 或 91_h ，而图案 1001000101 将表示为 145.25_d 或 91.4_h 。

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

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

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 的情况下, 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 00.0_h 到 FF.C_h), 等同的十进制数为 0.00_d 到 255.75_d (包含)。

在本建议书中, 为同步数据预留了 0.00_d 和 255.75_d 级, 同时, 1.00_d 到 254.75_d 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_d 级, 那么量化的亮度信号的十进制值 Y 为:

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

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 $0\cdots$, 并为 0.5 到 0.999 范围中的小数部分返回值 $+1\cdots$, 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_d 级, 那么量化的色差信号的十进制值 C_R 和 C_B 为:

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

以及

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

数字等价值命名为 Y 、 C_R 和 C_B 。

2.5.4 通过量化 E'_{R_D} 、 E'_{G_D} 、 E'_{B_D} 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_D} 、 E'_{G_D} 、 E'_{B_D} , 或者以数字形式直接产生, 那么量化和编码将等同于:

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

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

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

则:

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

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

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

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

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

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

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 ITU-R BT.1361 建议书的附件 2 产生。表 2 列出了产生的整数系数。

表2
亮度和色差公式的整数系数

系数位	分母	亮度 Y			色差 C_R			色差 C_B		
		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	-174	262
10	1 024	306	601	117	524	-439	-85	-177	-347	524
11	2 048	612	1 202	234	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	4 189	-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	3 735	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	-5 450	-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¹

项	特征				
	参数	625		525	
2.6.1	色度坐标值, CIE 1931 ⁽¹⁾	x	y	x	y
	基色 红	0.640	0.330	0.630	0.340
	绿	0.290	0.600	0.310	0.595
	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}			
	$E_R = E_G = E_B$	x		y	
		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	$E = (1.099 L^{0.45} - 0.099)$, 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。
- 为具有更高分辨率的 4:3 和 16:9 宽高比系统定义的 4:4:4²。

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。

¹ 应注意, 为与高清数字电视 (HDTV) 直接兼容, 可使用如 ITU-R BT.1361 建议书中所定义的比色法和其他矩阵方法 (全世界统一的、未来电视和图像系统的比色法和相关特征)。

² 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)。

表 3

参 数	525 行、60 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
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_d 到 255.75_d 220 (8 位) 或 877 (10 位) 量化级带有与 16.00_d 级相对应的黑色级, 峰值白色级与 235.00_d 级相对应。信号级有时可能偏移, 超出 235.00_d 级或低于 16.00_d 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_d 级相对应的零信号。信号级有时可能偏移, 超出 240.00_d 级或低于 16.00_d 级。	
9. 码字的用法	与 0.00_d 和 255.75_d 量化级相对应的码字专门用于同步。 1.00_d 到 254.75_d 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 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
8. 视频信号级与各样本量化级之间的对应关系: — 刻度 — R 、 G 、 B 或亮度信号 ⁽¹⁾ — 各色差信号 ⁽¹⁾	(参见 § 2.4) (数值是十进制的)。 0.00 _d 到 255.75 _d 220 (8 位) 或 877 (10 位) 量化级带有与 16.00 _d 级相对应的黑色级, 峰值白色级与 235.00 _d 级相对应。信号级有时可能偏移, 超出 235.00 _d 级或低于 16.00 _d 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 _d 级相对应的零信号。信号级有时可能偏移, 超出 240.00 _d 级或低于 16.00 _d 级。	
9. 码字的用法	与 0.00 _d 和 255.75 _d 量化级相对应的码字专门用于同步。1.00 _d 到 254.75 _d 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。	

(1) 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。

图 1

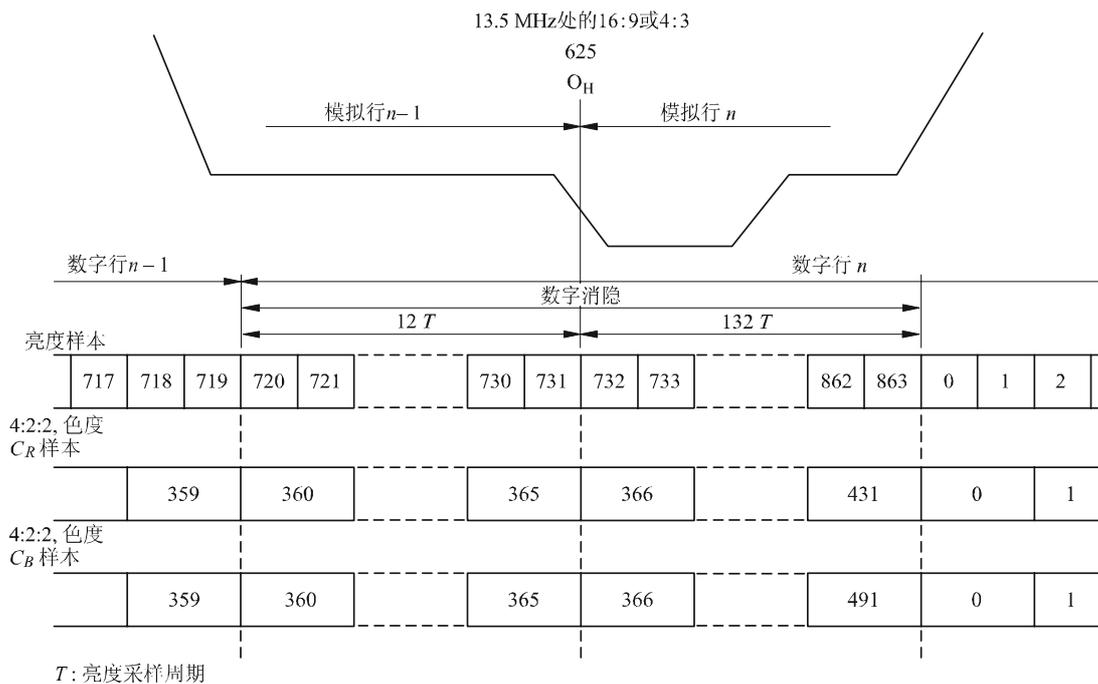
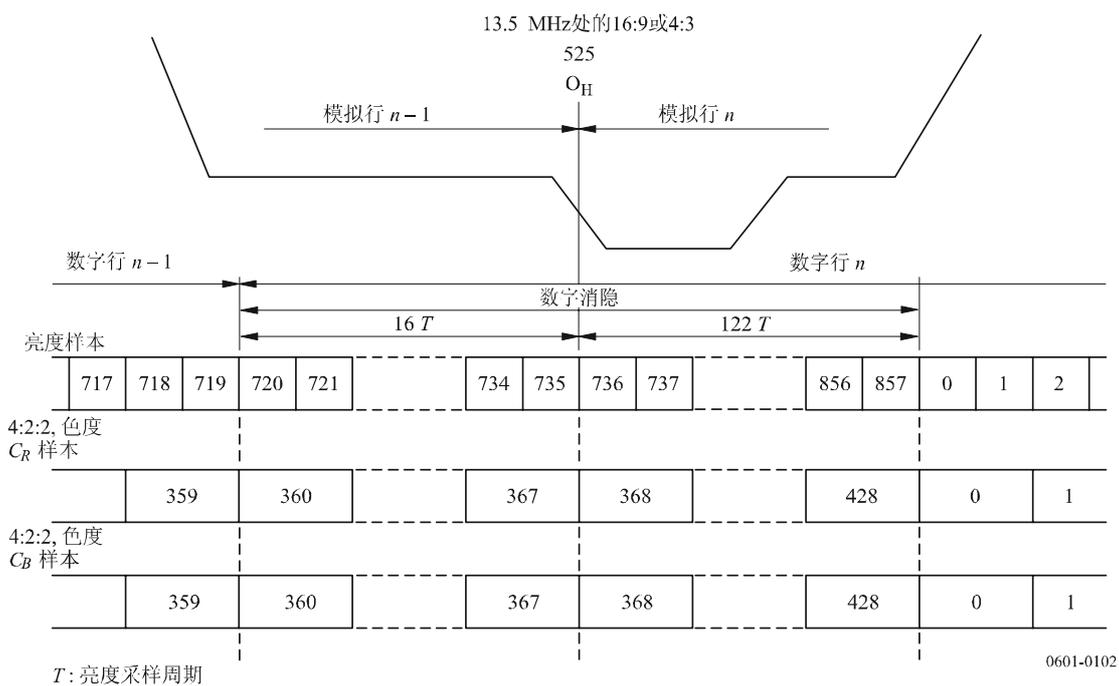


图 2



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。

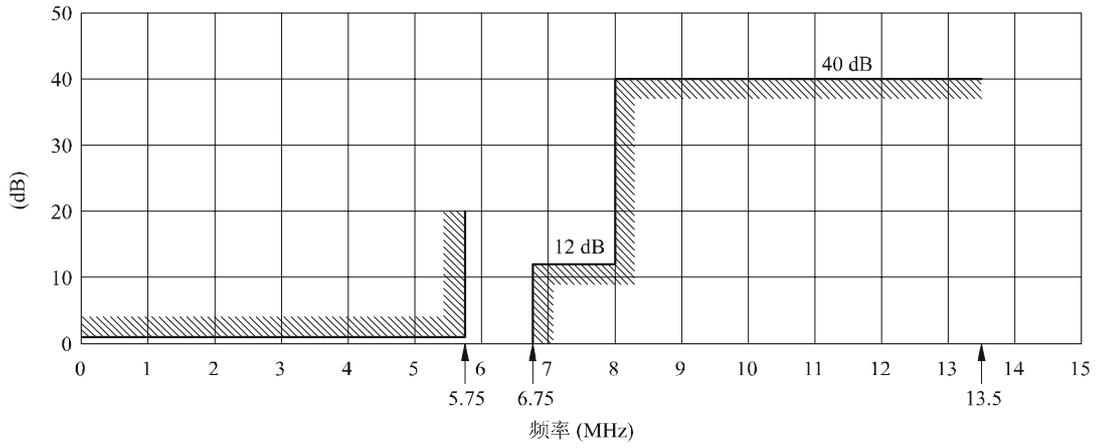
因滤波和编码亮度和色差部分而造成的总的时延应是相同的。在色差滤波器（图 4a）和 4b）中的时延通常是亮度滤波器（图 3a）和 3b）时延的两倍。由于难以使用没有超出通带容差的模拟时延网络来均衡这些时延，因此建议应在数字域中均衡大块的时延偏差（在采样周期的整数倍数中）。在校正任何余数的过程中，应注意的是，解码器中的采样—保持电路引入了一个为一半采样周期的平坦时延。

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。

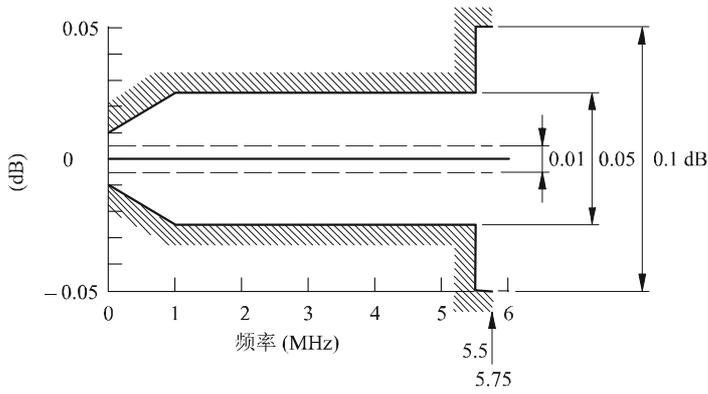
对附录 2 中提供的规范进行了修改，以尽可能在整个部分信号链中保留 Y 、 C_R 、 C_B 信号的谱含量。不过，认识到，色差谱特征必须由插入图像监视器中或部分信号链末端上的、慢卷滤波器来形成。

图 3

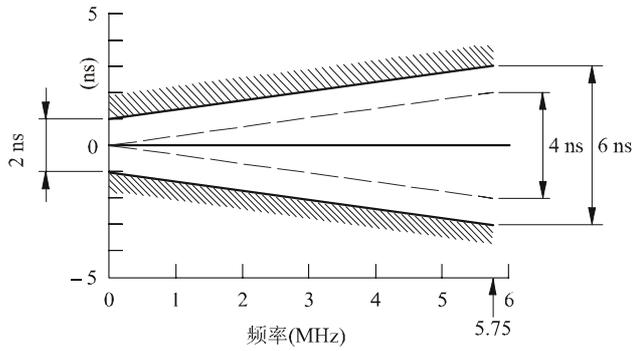
亮度、RGB 或 4 : 4 : 4 色差信号的滤波器模板



a) 有关插入损耗/频率特征的模板



b) 通带波纹容差

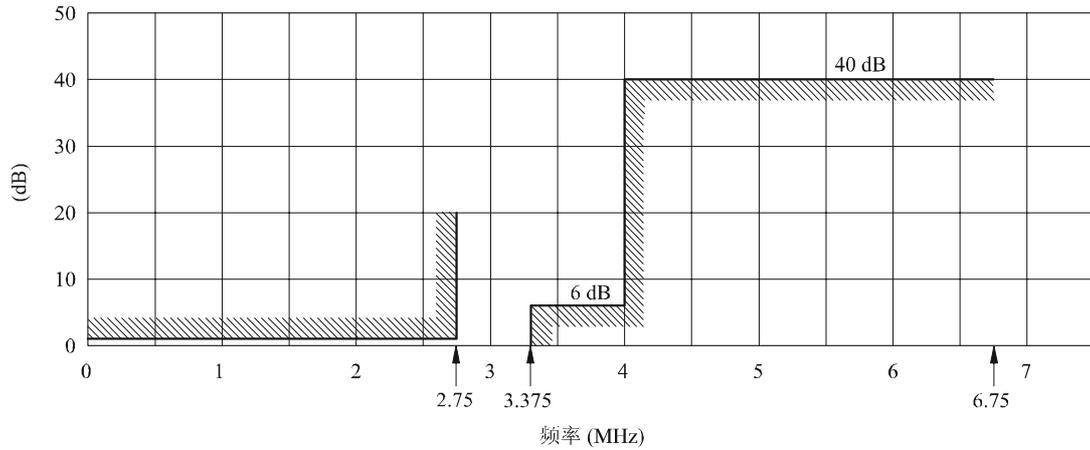


c) 通带组时延容差

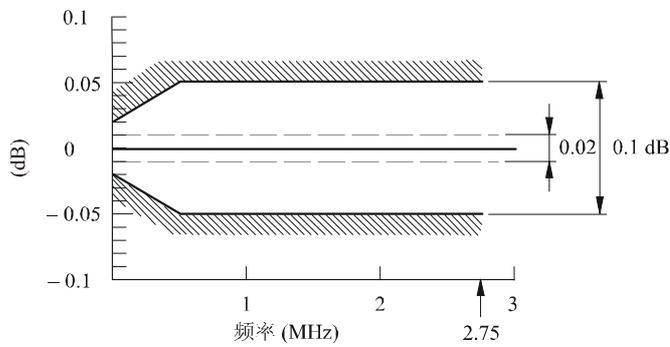
注1 — 在b)和c)中显示的最低值是针对1 kHz(而不是针对0 MHz)的。

图 4

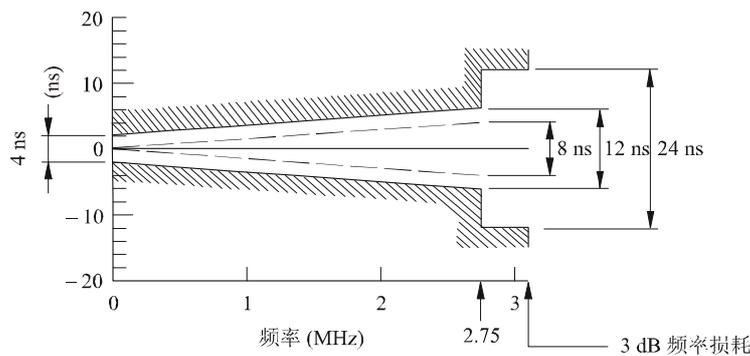
4 : 2 : 2 色差信号的滤波器模板



a) 有关插入损耗/频率特征的模板



b) 通带波纹容差

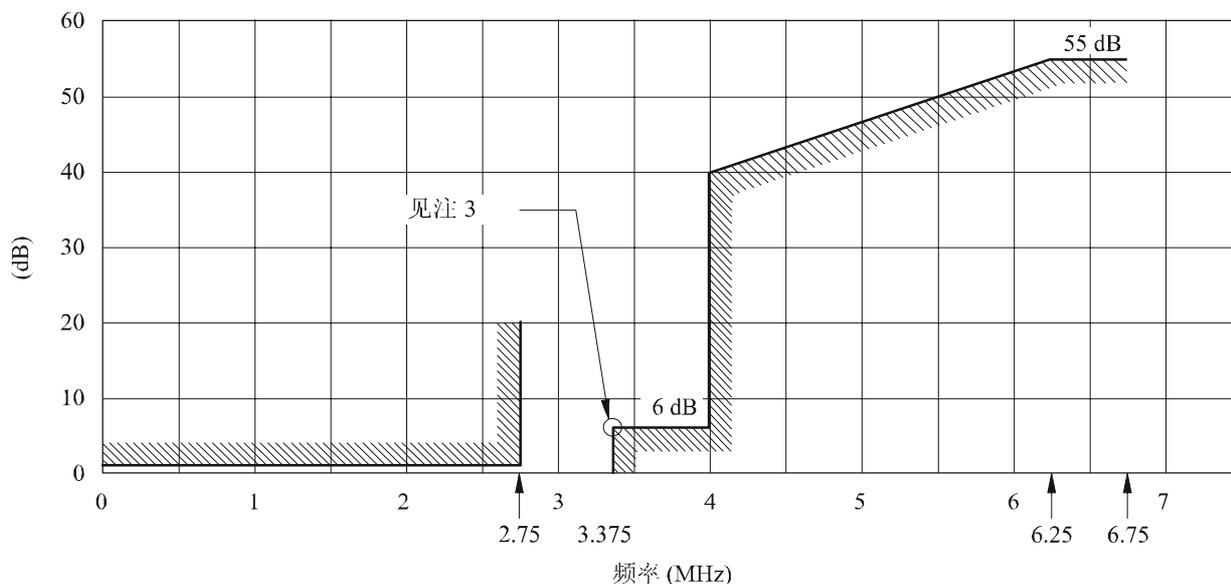


c) 通带组时延容差

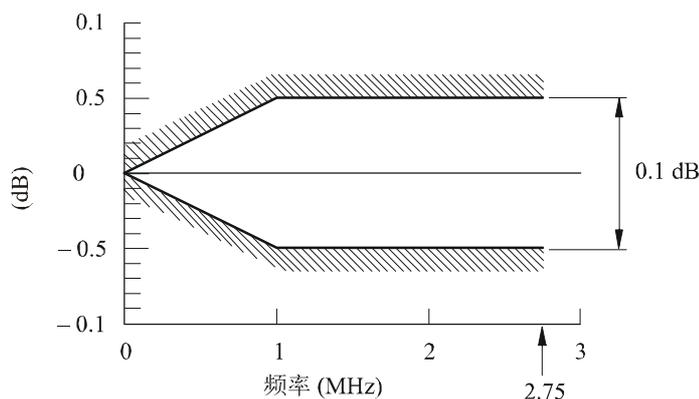
注1 — 在b)和c)中显示的最低值是针对1 kHz(而不是针对0 MHz)的。

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

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，假设在数一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。