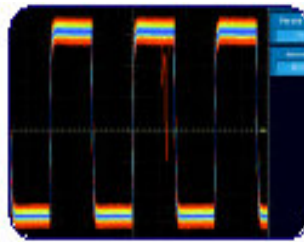


▶ 数字电视基础标准介绍



目录

目录.....	1
一、国内外标准制定情况.....	2
二、数字信号形成框图及简要说明	3
三、ITU-R BT.601-5 (GB/T14857-93) 参数标准介绍	6
四、ITU-R BT.656-4 (GB/T17953-2000) 接口标准介绍	16
五、ITU-R BT.1363-1 抖动标准介绍	25
六、ITU-R BT.709-4(GY/T155-2000)HDTV 参数标准介绍	31
七、ITU-R BT.1120-3(GY/T157-2000)HDTV 接口标准介绍.....	33

一、国内外标准制定情况

1. 演播室数字电视编码参数规范

国际标准：ITU-R BT.601-5 用于标准 4:3 和宽屏 16:9 幅型比数字电视演播室编码参数 (RECOMMENDATION ITU-R BT.605-5 STUDIO ENCODING PARAMETERS OF DIGITAL TELEVISION FOR STANDARD 4:3 AND WIDE-SCREEN 16:9 ASPECT RATIOS-1995)。

国家标准：GB/T14857-93 演播室数字电视编码参数规范。它等效采用国际电联 (ITU) 无线电咨询委员会 (CCIR) 第 601-3 建议书 (1992 年版)。GB/T14857-93 于 1994 年 9 月 1 日开始正式实施。

2. 4:2:2 数字分量图像信号的接口

国际标准：ITU-R BT.656-4 工作在建议书 ITU-R BT.601 (部分 A) 的 4:2:2 级别上的 525 行和 625 行电视系统中的数字分量视频信号的接口 [RECOMMENDATION ITU-R BT.656-4 INTERFACES FOR DIGITAL COMPONENT VIDEO SIGNALS IN 525-LINE AND 625-LINE TELEVISION SYSTEM OPERATING AT THE 4:2:2 LEVEL OF RECOMMENDATION ITU-R BT.601 (PART A) -1998]是当前最新的用于标准清晰度电视演播室接口的国际标准。

国家标准：GB/T 17953-2000 4:2:2 数字分量图像信号的接口。它是我国在 2000 年根据国际标准 ITU-R BT.656-4 制定的国家标准。于 2000 年 8 月 1 日开始实施。

3. 比特串行信号的抖动规范和抖动测量方法

国际标准：ITU-R BT.1363-1 符合 ITU-R BT.656、ITU-R BT.799 和 ITU-R BT.1120 建议书的比特串行信号的抖动规范和抖动测量方法 (RECOMMENDATION ITU-R BT.1363-1 JITTER SPECIFICATIONS AND METHODS FOR JITTER MEASUREMENTS OF BIT-SERIAL SIGNALS CONFORMING TO RECOMMENDATION ITU-R BT.656, ITU-R BT.799 AND ITU-R BT.1120)。此标准制定于 1998 年。

国内标准：目前我国尚未制定相应的国家标准和行业标准。

4. 高清晰度电视节目制作及交换用视频参数值

国际标准：ITU-R BT.709-4 高清晰度电视标准用于制作和国际间节目交换的参数值 (RECOMMENDATION ITU-R BT.709-4 PARAMETER

VALUES FOR THE HDTV STANDARDS FOR PRODUCTION AND INTERNATIONAL PROGRAMME EXCHANGE-2000)。

国内标准：GY/T155-2000 高清晰度电视节目制作及交换用视频参数值。它是 2000 年 6 月 6 日由国家广播电影电视总局发布的我国广播电影电视行业标准。该标准于 2000 年 12 月 1 日开始实施。

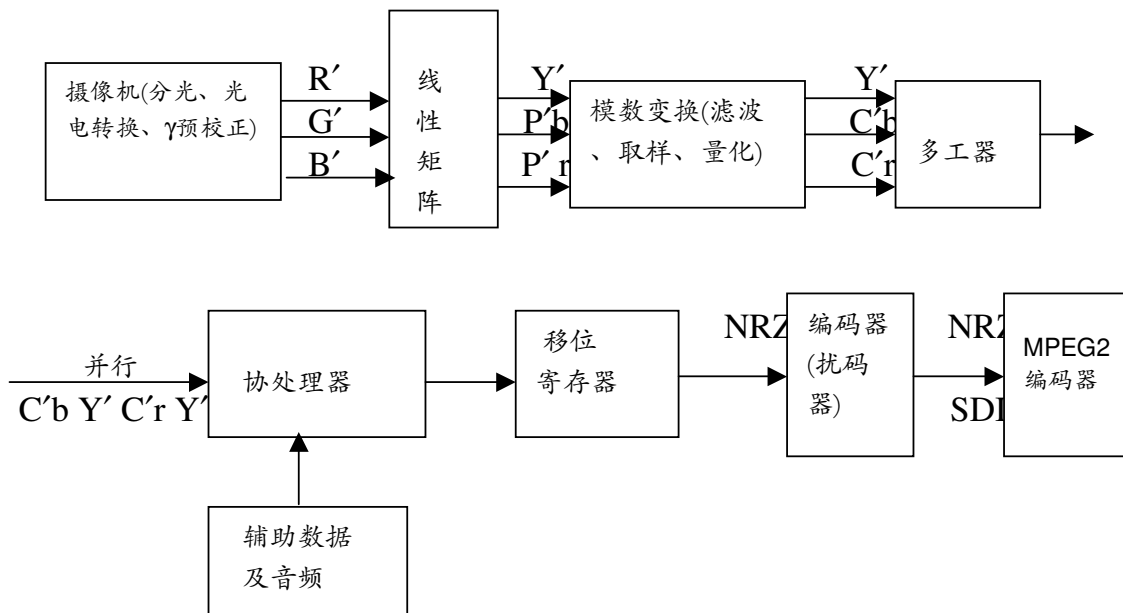
5. 演播室高清晰度电视数字视频信号接口

国际标准：ITU-R BT.1120-3 高清晰度电视演播室信号的数字接口 (RECOMMENDATION ITU-R BT.1120-3 DIGITAL INTERFACES FOR HDTV STUDIO SIGNALS-2000)。

国内标准：GY/T157-2000 演播室高清晰度电视数字视频信号接口。它是 2000 年 6 月 6 日由国家广播电影电视总局发布的我国广播电影电视行业标准。该标准于 2000 年 12 月 1 日开始实施。

二、数字信号形成框图及简要说明

数字信号形成框图



(附于本资料后的图 1 给出了数字信号形成更详细的示意图。图 2 是 SDI 信号转换为模拟的 R、G、B 信号过程的示意图)。

以上框图表明了数字信号的形成过程。拍摄的景物通过摄像镜头中光学透镜组进行分光，以获得 R、G、B 三色光信号。再经过电荷耦合器件 (CCD) 进行光电转换，将三基色光信号转换成电信号 R、G、B。通过放大和 γ 预校正等处理，使信号变为 R'、G'、B'。在线性矩阵中形成模拟亮度和色差分量信号 Y'、P'b、P'r。为使信号数字化必须进行模数变换，它包括滤波、取样、量化等过程。滤波是将视频信号限定在标准规定的视频带宽之内，如我国规定的视频带宽为 6MHz。滤波是为了避免高出视频带宽的成分在取样后的信号频谱中造成混叠现象，以减少不必要的失真。取样就是把时间上连续的模拟信号变成时间上离散的信号，也就是用相隔固定时间的样本代替原信号。为了不失真地传送信号，取样必须满足奈奎斯特 (Nyquist) 取样定律。量化就是把幅度连续的信号变成幅度上离散的量化级的过程。再经过 PCM 编码将对应的量化级表示为相应的二进制码。Y'、C'b、C'r 已经是数字的分量信号。通过多工器变成并行的数字信号 C'b、Y'、C'r、Y'、……。在协处理器中，将辅助数据和数字音频信号插入到视频信号的消息期。然后加入 CRC 校验码将信号送入移位寄存器。在移位寄存器中，以 27MHz 时钟速率下载数据，并以 270MHz 速率移位，形成串行的非归零信号 (NRZ)。通过扰码产生反转变形非归零信号 (NRZI)，这也就是我们常说的 SDI (串行数字接口) 信号。SDI 信号还要经过 MPEG2 压缩编码，信号经复用后完成信源编码过程。

目前的数字摄像机就可完成上述框图的全部工作。数字摄像机由镜头、CCD (电荷耦合器件)、数字信号处理 (DSP) 芯片、存储器和逻辑阵列显示器件 (LCD) 等部件组成。DSP 是数字摄像机的核心。在数字摄像机中，由光学透镜组将图像会聚到 CCD 阵列，在中央控制器作用下 CCD 将光图像信号转换成电图像信号并传送到专用数字信号处理芯片，该芯片负责把电图像信号转换成数字信号。最后经过 MPEG2 实时压缩编码，将信号保存在存储设备中待进一步处理。

附于资料后的图 3 为 4-CCD 数字信号摄取的基本结构图。下面介绍一下 4-CCD 阵列。CCD (Charge Coupled Device) 电荷耦合器件阵列将光敏像元转换为电信号。4-CCD 阵列有两个 G 通道 (G1、G2)，利用 1/2 像素距离的空间像素偏置技术，可消除 G、B、R 各通道特别是 G 通道中的寄生信号。从而提高了各基色信号，尤其是 G 信号的清晰度。高质量的 G 信号对恢复数字图像的质量至关重要。

这里要特别说明一下：数字高清晰度电视系统所用荧光粉中绿色的主波长移向了人眼的最敏感区，这在提高电视屏幕亮度方面起到了决定性作用。所以，人们经过长期实践，在彩色显示器件色品图改进的基础上，对 HDTV 的亮度方程进行了相应地改变。

$$\text{由 } E'_Y = 0.299E'_R + 0.587E'_G + 0.114E'_B$$

调整为： $E'_Y=0.2126E'_R+0.7152E'_G+0.0722E'_B$

在这方面，有这样几个概念必须弄清楚：

1. 亮度方程式是按照三基色（R、G、B）坐标和基准白坐标推导出来的。尽管实际上使用的三基色荧光粉坐标存在着一定差别，但在计算亮度方程式时，采用的是制式标准规定的三基色坐标值。如对 NTSC 制：R 基色 $x=0.670$ 、 $y=0.330$ ；G 基色 $x=0.210$ 、 $y=0.710$ ；B 基色 $x=0.140$ 、 $y=0.080$ ，NTSC 制的基准白规定为 $C_{白}$ ，其 $x=0.310$ 、 $y=0.316$ 。通过矩阵运算可推导出 NTSC 制的亮度方程式为： $E'_Y=0.299E'_R+0.587E'_G+0.114E'_B$ 。根据同样的计算方法可得出 PAL 荧光粉形成 D_{65} 基准白时的亮度方程：

$$E'_Y=0.223E'_R+0.706E'_G+0.071E'_B。$$

由于 NTSC 制彩色电视系统的采用比 PAL 制早十几年，它实际上成为彩色电视理论的基础。所以，尽管其他制式彩色电视系统的理论亮度方程式与 NTSC 制不同，但无论是 PAL 制还是 SECAM 制都沿用了 NTSC 制的亮度方程式。虽然在重现原图像上存在一定误差，但在主要性能上仍能满足人们的视觉对亮度方面的要求。

2. 由三基色坐标和基准白坐标决定的亮度方程式在整个电视系统信号处理过程中，共使用三次。即在摄像端的编码矩阵电路中、接受端的解码矩阵电路中和荧光屏上三基色荧光粉点的混色过程中。显然，只有这三个亮度方程式一致，且整个电路通道处于理想的工作状态下，在接收端才能够正确重现摄像端拍摄的景物。

3. 根据 ITU-R BT.709-4 “高清晰度电视标准用于制作和国际间节目交换的参数值”标准的规定，高清晰度电视的三基色坐标分别为：R 基色 $x=0.640$ 、 $y=0.330$ ；G 基色 $x=0.300$ 、 $y=0.600$ ；B 基色 $x=0.150$ 、 $y=0.060$ 。基准白规定为 D_{65} ， $x=0.3127$ 、 $y=0.3290$ 。由此计算出的 HDTV 亮度信号 E'_Y 的导出式为：

$$E'_Y=0.2126E'_R+0.7152E'_G+0.0722E'_B。$$

三、ITU-R BT.601-5 (GB/T14857-93) 参数标准介绍

1. 4:2:2 模式的编码参数

参数	525 行, 60 场/秒系统	625 行, 50 场/秒系统
1. 编码信号: Y 、 C_R 、 C_B	这些信号由 γ 预校正信号, 即 E'_Y 、 $E'_R - E'_Y$ 、 $E'_B - E'_Y$ 得到。	
2. 整行取样数: — 亮度信号 (Y) — 每种色差信号 (C_R 、 C_B)	858 429	864 432
3. 取样结构	正交, 行、场、帧重复。每行中的 C_R 和 C_B 取样点与 Y 的奇数(1, 3, 5 等)取样点同位。	
4. 取样频率: — 亮度信号 — 每种色差信号	13.5MHz 6.75MHz 取样频率的容差应与相应彩色电视标准的行频容差相一致。	
5. 编码方式	亮度信号和每种色差信号都采用均匀量化的 PCM, 每个取样 8 (可选 10) 比特。	
6. 每个数字有效行的取样数: — 亮度信号 — 每种色差信号	720 360	
7. 模拟对数字水平定时关系: — 从数字有效行末尾到 O_H	16 个亮度时钟周期	12 个亮度时钟周期
8. 视频信号电平与量化级之间的对应关系: — 范围 — 亮度信号 — 每种色差信号	0~255 共 220 个量化级, 黑电平对应于量化级 16, 峰值白电平对应于量化级 235。信号电平可能偶尔超过量化级 235。 在量化级范围中间部分的 225 个量化级, 零信号电平对应于量化级 128。	
9. 码字用法	对应于 0 和 255 量化级的码字专用于同步。量化级 1~254 用于视频。	

整个取样数和有效行取样数示意图见附于资料后的图 4。取样结构示意图见附于资料后的图 5。模拟对数字水平定时关系见附于资料后的图 6 和图 7。视频信号电平与量化级之间的对应关系和码字用法见附于资料后的图 8。

2. 4:4:4 模式的编码参数:

参数	525 行, 60 场/秒系统	625 行, 50 场/秒系统
1. 编码信号: Y 、 C_R 、 C_B 或 R 、 G 、 B	这些信号由 γ 预校正信号, 即 E'_Y 、 $E'_R - E'_Y$ 、 $E'_B - E'_Y$ 或 E'_R 、 E'_G 、 E'_B 得到。	
2. 每种信号整行取样数	858	864
3. 取样结构	正交, 行、场、帧重复。三种取样结构重合, 也与 4:2:2 成员的亮度取样结构重合。	
4. 每种信号取样频率	13.5MHz	
5. 编码方式	均匀量化的 PCM, 每个取样 8 (可选 10) 比特。	
6. 用取样数表示的数字有效行宽度	720	
7. 视频信号电平与每个取样量化级的 8 个最高有效位 (MSB) 之间的对应关系: — 范围 — R 、 G 、 B 或亮度信号 — 每种色差信号	<p>0~255</p> <p>共 220 个量化级, 黑电平对应于量化级 16, 峰值白电平对应于量化级 235。信号电平可能偶尔超过量化级 235。</p> <p>在量化级范围中心部分的 225 个量化级, 零信号电平对应于量化级 128。</p>	

3. γ (伽马) 校正

阴极射线管 (CRT) 是固有的非线性器件。它的光输出强度与加到显像管上的电压大小呈非线性函数关系。这个关系叫做 5 个一半幂定律 (five-halves power law), 即产生在屏幕表面上的光强度与输入电压的 $5/2$ 次方成正比。这个幂函数的指数值称为该器件的 γ (伽马)。CRT 电压对光强度函数的非线性是阴极和控制着电子束电流的栅极之间的静电作用引起的。而 CRT 荧光粉的光输出直到饱和点都是与电子束电流呈十分线性的关系。为了最终得到一个线性的响应, 必须把一个校正系数加到电视系统中。因此, 摄像机中的 RGB 信号要用阴极射线管倒置的函数进行伽马预校正。经伽马校正后的信号用 R' 、 G' 、 B' 表示。一小撇 (') 就表示已经进行了伽马校正。

附于资料后的图 9 是按照数字高清晰度视频参数标准, ITU-R BT.709-4 “高清晰度电视标准用于制作和国际间节目交换的参数值”中规定的 0.45 次幂函数的伽马校正的原理说明图。 γ (伽马) 是个大于 1 的数, 一般在 2.2~2.6 之间, 大多数 CRT 的伽马值为 2.5。用于伽马校正的 $1/\gamma$ 小于 1。在 GB3174-1995 “PAL-D 制电视广播技术规范”国家标准中, 对伽马校正的描述为: 基色信号电压 γ 校正, 约 0.4; $E'_{R, G, B} = (E_{R, G, B})^{0.4}$ 。

当整个系统的伽马值大约为 1.2 时, 对典型的收看条件, 接近于理想状态。这个响应大致上修正了人们的亮度感觉。在数字电视中, 伽马还预校正降低了数字化传输的视频信号所要求的比特数。

目前, 新的液晶 (LCD) 和等离子体 (Plasma) 等显示技术变得越来越流行。所以人们会认为伽马校正未来将不需要。然而人们对亮度的视觉响应也是一个幂函数。强度大约以 $1/3$ 次幂上升。为了得到最好的对比度显示和信噪比 (S/N), 视频编码采用同样的幂函数。这被称为概念编码。所以, 实际上是为了双重目的把伽马校正加到摄像前端。一是为了变换成在视觉感觉上均匀的图像空间; 二是对显示器的非线性进行预校正。

在常规视频系统中, 利用模拟电路在摄像机中完成伽马校正。而在数字系统中, 包括计算机图形制作在内, 伽马校正用得最多的方法是把函数存储在帧缓冲器中的查表电路法。这种电路不仅能实现伽马校正, 同时还可以完成黑切割、白切割功能, 它充分发挥了数字信号处理的优势。查表法还可以进行变型。例如, 不直接在表中存储所希望的伽马特性值, 而是存储伽马特性与线性的差值。这样可以节约存储器的容量。

对于使用 CRT 电视接收机的常规电视广播, 伽马预校正方案的效果一直很好。但随着数字电视的发展, 不断涌现出各种各样的显示器。那末, 仅使用一种伽马预校正曲线, 让它既适合于 CRT 的要求, 又满足 LCD、等离子体 (Plasma) 等显示器的要求几乎是不可能的。因为概念进步了, 节目源和处理系统将呈现出某种规定的线性伽马。那末, 在今后对特定显示器特性的校正将不排除在显示器自身中处理。

4. 模数转换

从某种意义上说, 模拟信号是在时间上连续和幅度上连续的信号。而数字信号则是时间离散和幅度离散的信号。那末, 模数转换就是把时间连续、幅度连续的模拟信号转换为时间离散、幅度离散, 用数码表示的数字信号的过程。

取样、量化及编码是模拟信号数字化的基本过程。以适当的时间间隔观测模拟信号的波形叫做取样。将各个时刻波形的幅度取样值用二进制数表示的过程叫量化。将这些量化后的二进制数以一定的规则排列成顺序的脉冲列叫做编码。

5. 取样定律

所谓取样就是把图像和声音那样在时间上连续的模拟信号每隔一定的时间间隔观测一次，而用这些样本值替代原来连续的模拟信号波形的操作。下面重点从频谱的角度说明遵循取样定律的必要性。

取样定律是 1924 年由 Nyquist (奈奎斯特) 提出的。所以称为奈奎斯特取样定律。它的具体内容是：为使取样后的离散信号仍包含原模拟信号的全部信息，取样频率 f_s 应大于或等于连续信号 $f(t)$ 中最高频率 f_{\max} 的二倍，即 $f_s \geq 2f_{\max}$ 。只有这样，通过取样后的离散信号才能不失真地恢复原信号 $f(t)$ 。

附于资料后的图 10 示出信号取样前后的频谱图比较。图 10 (a) 为取样前原信号的波形和频谱。图 (b) 是取样后的波形和其对应的频谱。频谱图中 f_u 为原信号的最高频率， f_s 为取样频率。 $f_s - f_u$ 为取样后波形所增加频谱的最低频率。要想使取样后的频谱不互相重叠而产生频谱混叠 (aliasing) 现象，必须使 $f_s - f_u \geq f_u$ 即 $f_s \geq 2f_u$ 。图 10 (c) 是恢复原信号所需要的低通滤波器的频率特性。图 10 (d) 是恢复后的连续信号波形和其对应的频谱图。

附于资料后的图 11 示出取样频率选取不当对重现波形的影响。图 11 (a) 为原信号的波形和频谱。图 11 (b) 为取样频率 f_s 低于原信号最高频率 f_u 二倍时的取样后波形和频谱图。 f_a 为取样后所增加频谱的最低频率。显然，在这种情况下，会出现频谱的混叠现象。图 11 (c) 是采用截止频率为原信号上限频率 f_u 的低通滤波器所恢复的波形。从图中可以看出，重现的波形比原信号增加了多余的弯曲失真部分。图 11 (d) 是为避开频谱混叠部分，而采用截止频率为 f_a 的低通滤波器后生成的带有失真的波形。很明显，再现的波形比原信号变得更平滑，这说明：取样时一旦产生频谱混叠现象，那末原信号频谱和取样后增加的频谱就再也不能分开了。不管采用何种低通滤波器都只能得到具有严重失真的再生波形。

为了满足取样定律，通过取样值正确地恢复原信号，作为系统的构成必须满足以下三个条件：

- (1) 为保证完全没有超过标准规定的信号频率上限的频率成分，必须用低通滤波器限制带宽，使 f_{\max} 以上的频谱成分为零。比如，我国电视国家标准规定的视频带宽为 6MHz，那末低通滤波器的截止频率就应选为 6MHz。
- (2) 选择的取样频率为 f_{\max} 的 2 倍以上，且通过取样过程应把原信号变换成理想的脉冲串。即脉冲的幅值应与原信号一致，且各脉冲的宽度应尽可能小。
- (3) 为恢复原信号所使用的插补滤波器应是以 f_{\max} 为截止频率的理想低通滤波器。滤波器通带内平坦且衰减小，阻带衰减尽量大，且通带与阻带间的过渡特性要陡峭。

6. 取样频率

在数字电视的发展初期，将取样频率设定为 NTSC 制副载波频率的 4 倍。

$$4f_{sc}=4\times 3.579545=14.3\text{MHz}$$

用“4”来表示亮度信号的取样频率被沿用下来。然而，在确定数字电视有关参数时，一个基本原则就是最大限度地兼容 625 行系统和 525 行系统。SMPTE/EBU 工作小组在 12MHz 到 14.3MHz 范围内进行了详细地考察，最后选定亮度信号的取样频率为 13.5MHz。这是因为：

625 行系统,行频: 15625Hz;

525 行系统,行频: 15734.26Hz±0.0003%。

2.25MHz 是它们的最小公倍数, $2.25\text{MHz}\times 6=13.5\text{MHz}$ 。

对于幅型比为 4:3 的系统,亮度信号的取样频率为 13.5MHz。而对于幅型比为 16:9 的系统,因 $(16/9)\div(4/3)=1.33333$, $13.5\text{MHz}\times 1.33333=18\text{MHz}$ 。所以幅型比为 16:9 系统的亮度信号取样频率为 18MHz。

7. 取样模式和取样结构

主要的取样模式:4:2:2, 4:4:4, 4:1:1, 4:2:0, 如图 5 所示。

4:2:2 是最常用的模式。每种色差信号的取样频率是亮度信号取样频率的一半。每行中的 C_R 和 C_B 的取样点数也是 Y 取样点数的一半。 C_R 和 C_B 的取样点数与 Y 的奇数 (1、3、5……) 取样点重合。Y 的列数应为偶数。在垂直方向上每行都一样。如图 5 中的(c)所示。

4:4:4 模式适用于电视信号源设备和高质量视频处理。它的编码信号是 Y、 C_R 、 C_B 或 R、G、B 信号。对于 R、G、B 信号,因不能对其中的一个分量加权,所以只能用 4:4:4 模式。在 4:4:4 模式,对 Y、 C_R 、 C_B 或 R、G、B 各分量,取样频率相同,在水平和垂直方向上的取样点数也相同,如图 5 (d) 所示。

4:1:1 模式的每种色差信号的取样频率是亮度信号取样频率的四分之一。每行中的 C_R 和 C_B 的取样点数也是 Y 取样点数的四分之一。在垂直方向上每行都相同,如图 5 (a) 所示。

4:2:0 色度亚取样 (Chroma Sub-Sampling) 是 MPEG 应用中重要的预处理。 C_R 和 C_B 取样在水平和垂直方向上都是 Y 取样的一半。也就是说,在水平和

垂直方向上，以等量降低了色度分辨力。4:2:0 模式是在一场的两个相邻行（一帧中的 n 行和 $n+2$ 行）的亮度取样行之内插一个色度取样行。即把设置为 4:2:2 的色度取样行内插在上一场的两个亮度取样行之间，如图 5 (b) 所示。4:2:0 模式对给定的低于 10Mb/s 比特率的节目，可提供较好的图像质量。因此，它对娱乐质量级的节目具有优势。而对馈送级质量的信号，采用 4:2:0 模式有两个缺点。首先，由于采用隔行扫描，垂直分辨力已经不太理想。第二，色度取样的垂直插入是需要采用自适应滤波器的复杂过程。偶尔还会出现低于 4:1:1 模式质量的图像显示。

对各种取样模式，标准中规定的取样结构都为正交式，即从左到右，从上到下，行、场、帧重复。4:2:2 模式的数据传送顺序为： C_B 、 Y 、 C_R 、 Y 、 C_B 、 Y 、 C_R ……。

8. 整行取样和有效行取样数

对于 4:2:2 模式的 625 行系统，在幅型比为 4:3 时：

亮度信号 (Y) 整行取样数：864

每种色差信号 (C_R 、 C_B) 整行取样数：432

亮度信号 (Y) 有效行取样数：720

每种色差信号 (C_R 、 C_B) 有效行取样数：360

对于幅型比为 16:9 的情况，因 $(16/9) \div (4/3) = 1.33333$ ，所以，无论是亮度信号和色差信号的取样频率，亮度信号和色差信号的整行取样数以及亮度信号和色差信号的数字有效行取样数都应是幅型比为 4:3 的对应系统相关数值的 1.33333 倍。

对于幅型比 16:9 的系统：

亮度信号 (Y) 取样频率：18MHz

色差信号 (C_R 、 C_B) 取样频率：9MHz

亮度信号 (Y) 数字有效行取样数：960

色差信号 (C_R 、 C_B) 数字有效行取样数：480

9. 量化

所谓量化就是通过四舍五入的方法，将模拟信号的取样值转换成表示离散幅度的二进制数的过程。在输入信号的动态范围内，对波形的任何部分的量化间隔都相等的量化方式称为均匀量化或线性量化。

下面重复介绍一下电视视频信号和音频信号量化信噪比的计算公式。

(1) 对于电视视频这样单极性信号而言：

如附于资料后的图 12 所示，量化误差 $e(t)=f(t)-f'(t)=\Delta A t/T$ 。式中：

$f(t)$ —输入信号， $f'(t)$ —量化后的阶梯输出信号， ΔA —量化分层间隔， T —取样周期。

在单位电阻上的量化噪声功率：

$$N_q = \frac{1}{T} \int_{-\frac{T}{2}}^{\frac{T}{2}} [e(t)]^2 dt = \frac{1}{T} \int_{-\frac{T}{2}}^{\frac{T}{2}} \left(\frac{\Delta A t}{T} \right)^2 dt = \frac{\Delta A^2}{T^3} \int_{-\frac{T}{2}}^{\frac{T}{2}} t^2 dt$$

$$\left(\text{积分公式: } \int_a^b x^M dx = \frac{x^{M+1}}{M+1} \Big|_a^b \right)$$

$$\therefore N_q = \frac{\Delta A^2}{T^3} \cdot \frac{t^{2+1}}{2+1} \Big|_{-\frac{T}{2}}^{\frac{T}{2}} = \frac{\Delta A^2}{T^3} \cdot \frac{t^3}{3} \Big|_{-\frac{T}{2}}^{\frac{T}{2}} = \frac{\Delta A^2}{12}$$

由以上推导可知，通过概率统计分析可求出量化噪声的长时间平均值。

即，不论信号取样值的概率密度函数如何，单位电阻的量化噪声功率都是量化阶梯高度平方 ΔA^2 的 $1/12$ ， $N_q = \Delta A^2/12$ 是由 W.R 贝内特首先提出的。

以上求得的量化噪声是依据统计规律，所以通常认为下列假定成立，即：

- i. 量化噪声接近于稳定的白噪声；
- ii. 量化噪声与输入信号无关；
- iii. 量化噪声在 $\pm \Delta A/2$ 之间均匀分布。

单极性信号的标称幅度： $S = \Delta A \cdot (2^n - 1)$ ，其中 n 为量化比特数。

量化噪声电压有效值： $N = \sqrt{N_q} = \sqrt{\Delta A^2/12}$

信噪比： $S/N = \Delta A \cdot (2^n - 1) / \sqrt{\Delta A^2/12} = 2\sqrt{3} (2^n - 1)$ 。

\therefore 单极性信号的信噪比： $S/N(\text{dB}) = 20 \lg [2\sqrt{3} (2^n - 1)] = 10.8 + 6n(\text{dB})$ ，式中， n 为量化比特数。

严格地说，对于 8 比特量化的视频亮度信号的标称幅度不是对应于 256 个量化级，而是仅有 220 个量化级，它对应于 219 个量化分层间隔（阶梯）。所以，量化信噪比的计算公式还应加一个修正系数：219/255，它相当于 -1.3dB。对于 10 比特量化，其修正 dB 数为 $20\lg[(940-64)/1023]$ ，也等于 -1.3dB。

所以，量化噪声对应的视频亮度信号的信噪比 $S/N(\text{dB})=9.5+6n(\text{dB})$ 。

(2) 对于双极性的数字音频信号的量化噪声对应的信噪比计算：

其量化噪声的计算与上述单极性信号完全一样，量化噪声电压的有效值 $N=\sqrt{N_q}=\sqrt{\Delta A^2/12}$ 。但信号数值的计算则有所不同。对单极性信号来说，信号的数值为峰-峰幅度；而对双极性而言，如对音频信号，信号幅度应为有效值。 $U_{\text{rms}}=U_{\text{p-p}}/2K_p=\Delta A\cdot(2^n-1)/2K_p$ 。式中， U_{rms} —信号的有效值， $U_{\text{p-p}}$ —信号的峰峰幅度 $[\Delta A\cdot(2^n-1)]$ ， K_p —信号的波峰因数（波高率）。交流信号的波峰因数 K_p 定义为该信号的峰值与有效值之比。如，正弦波的波峰因数为 $\sqrt{2}$ ，三角波的波峰因数为 $\sqrt{3}$ 等。

数字音频信号的量化噪声对应的信噪比： $S/N=U_{\text{rms}}/N=\Delta A\cdot(2^n-1)/2K_p\div\sqrt{\Delta A^2/12}=\Delta A\cdot(2^n-1)/(2K_p\sqrt{\Delta A^2/12})=\sqrt{3}(2^n-1)/K_p$ 。

$S/N(\text{dB})=20\lg[\sqrt{3}(2^n-1)/K_p]=4.77+6n-m$ ，式中， $m=20\lg K_p$ 。

对于正弦波： $K_p=\sqrt{2}$ ， $m=3.01$ 。

$S/N(\text{dB})=1.76+6n(\text{dB})$ ，式中 n 为量化比特数。比特数越高，量化噪声对应的信噪比越好。

这里有一点要特别注意：在计算音频信噪比和视频信噪比时，对信号幅度的定义有所不同。对视频信号来说，无论测试中采用的是白信号、灰信号或黑信号，在信噪比计算时，视频信号的幅度都用标称峰值白电平计算（对 PAL 制为 700mV），而与实际视频信号电平无关。但在进行音频信噪比计算时，采用的是实际的音频信号幅度。

若音频输入信号幅度 a 小于最大输入幅度 A 时，则要引入一个 $20\lg(a/A)$ 的修正系数。

这时，音频信噪比的计算公式应为：

$S/N(\text{dB})=4.77+6n-m+20\lg(a/A)$ 。式中： n —量化比特数， m — $20\lg K_p$ （ K_p 为波峰因数）， a —音频输入信号幅度， A —最大输入信号幅度。

10. 视频信号电平与量化级之间的对应关系

附于资料后的图 8 示出亮度信号电平与量化级之间的对应关系和色差信号与量化级之间的对应关系。就 8 比特量化而言：

量化级范围：0~255($2^8=256$)，共 256 个量化级。

亮度信号：共 220 个量化级，

黑电平的量化级：16

峰值白电平的量化级：235。

每种色差信号：占量化级中间部分的 225 个量化级，

色差信号零电平对应于量化级：128。

色差信号标称峰值电平对应的量化级：16 和 240。

0 和 255 两个量化级的码字用于同步。

量化级 1~254 用于视频信号。

11. GB/T14857-93 标准中的一些印刷错误

错误集中在附录 A 数字编码中所用的信号的定义（补充件）里的 A2.2 再归一化后的色差信号（ E'_{CR} 和 E'_{CB} ）的结构部分（在 GB/T14857-93 的第 4 页）。

- (1) 标准中的“A2.2 再归一化后的色差信号（ E'_C 和 E'_C ）的结构”的标题应改为“A2.2 再归一化后的色差信号（ E'_{CR} 和 E'_{CB} ）的结构”。
- (2) GB/T14857-93 第 4 页的文字叙述（不包括表格）从上数第 11 行中的“ E'_C ”应改为“ E'_{CR} ”。
- (3) 第 4 页第 12 行中的“ E'_C ”应改为“ E'_{CB} ”。
- (4) 第 4 页第 13 行中的“ E'_C ”与“ E'_C ”应改为“ E'_{CR} ”与“ E'_{CB} ”

12. 在 GB/T14857-93 和 ITU-R BT.601-5 标准中取样表示方法的不同

在两个标准里图像信号取样和模拟行同步之间关系的图形表示中，对每个取样的表示方法也略有不同。在 GB/T14857-93 标准中，每个取样是以箭头（↑）表示（见图 6）；而在 ITU-R BT.601-5 标准中，取样是以方框的形式表示（见图 7）。在取样点的所属关系上，后者表示的更加明确。但应特别注意：在 ITU-R BT.601-5 的示意图（图 7）中，取样点的确切位置应在每个方框的起始点，这与 GB/T14857-93 示意图中的标注完全一致。

13. 在 GB/T14857-93 和 ITU-R BT.601-5 中有关公式的差别

在 GB/T14857-93 中的 6 个公式为：

$$E'_R (\text{数字形式}) = \text{int}(219E'_R) + 16$$

$$E'_G (\text{数字形式}) = \text{int}(219E'_G) + 16$$

$$E'_B (\text{数字形式}) = \text{int}(219E'_B) + 16$$

$$Y = 77/256 E'_R + 150/256 E'_G + 29/256 E'_B$$

$$C_R = 131/256 E'_R - 110/256 E'_G - 21/256 E'_B + 128$$

$$C_B = -44/256 E'_R - 87/256 E'_G + 131/256 E'_B + 128$$

前三个公式中的 E'_R 、 E'_G 、 E'_B 应为归一化电平,而后三个公式中的 E'_{RD} 、 E'_{GD} 、 E'_{BD} 是量化级电平,两者都用相同的符号表示,极易造成混淆。而在 ITU-R BT.601-5 中则表达得非常确切,对应的公式如下:

$$E'_{RD} \text{ (数字形式)} = \text{int}(219E'_R) + 16$$

$$E'_{GD} \text{ (数字形式)} = \text{int}(219E'_G) + 16$$

$$E'_{BD} \text{ (数字形式)} = \text{int}(219E'_B) + 16$$

$$Y = 77/256 E'_{RD} + 150/256 E'_{GD} + 29/256 E'_{BD}$$

$$C_R = 131/256 E'_{RD} - 110/256 E'_{GD} - 21/256 E'_{BD} + 128$$

$$C_B = -44/256 E'_{RD} - 87/256 E'_{GD} + 131/256 E'_{BD} + 128$$

14. 视频信号编码常用符号的含义

由亮度和色度信号 E'_Y 、 $E'_R - E'_Y$ 、 $E'_B - E'_Y$ 编码

(1) E_Y 、 $E_R - E_Y$ 、 $E_B - E_Y$: 未经Y校正的亮度信号和色差信号。

(2) E'_Y 、 $E'_R - E'_Y$ 、 $E'_B - E'_Y$: Y校正后的亮度信号和色差信号。

[注: 在模拟视频中, 常用 P_r 、 P_b 表示色差信号。

$$P_r = E'_R - E'_Y, P_b = E'_B - E'_Y,$$

P_r 、 P_b 为未经压缩的原始的 (Primary) 基色色差信号。附于资料后的表 1 列出了 100/0/100/0 彩条的亮度信号、色差信号、色度信号和复合信号归一化电平的数据。

由表 1 中所列复合信号的数据可以看出: 黄条和青条的最大值分别超出白电平的 78% 和 46%; 而红条和蓝条的最小值又分别比黑电平低 46% 和 78%。显然, 用这样的复合信号对图像载波进行调制时, 将造成严重的过调制。对模拟视频信号, 通常规定: 在 100/0/100/0 彩条情况下, 复合信号电平的最大变化范围应限制在 -0.33~+1.33 的界限之内。为此, 在模拟视频中, 引入了加权的色差信号 E'_u 和 E'_v 。

$$E'_u = 0.493(E'_B - E'_Y)$$

$$E'_v = 0.877(E'_R - E'_Y)$$

$$\text{全电视信号: } e_m = E'_Y + E'_u \sin 2\pi f_{sc} t \pm E'_v \cos 2\pi f_{sc} t$$

(3) E'_{CR} 、 E'_{CB} : 特指为数字化再次归一化的色差信号。

$$E'_{CR} = 0.713(E'_R - E'_Y) = 0.500 E'_R - 0.419 E'_G - 0.081 E'_B$$

$$E'_{CB} = 0.564(E'_B - E'_Y) = -0.169 E'_R - 0.331 E'_G + 0.500 E'_B$$

[注：在数字视频中，将色差信号压缩在-0.500~+0.500 范围内。]

(4) Y 、 C_R 、 C_B ：亮度信号、色差信号量化前（取整前）的十进制值。

$$Y=219(E'_Y)+16$$

$$C_R=224(E'_{CR})+128$$

$$C_B=224(E'_{CB})+128$$

(5) Y 、 C_R 、 C_B ：亮度信号、色度信号量化后的量化级。

Y 、 C_R 、 C_B 分别为 Y 、 C_R 、 C_B 的取整值。

由基色信号 E'_R 、 E'_G 、 E'_B 编码

(1) E_R 、 E_G 、 E_B ：未经 Y 校正的基色信号。

(2) E'_R 、 E'_G 、 E'_B ： Y 校正后的基色信号

(3) E'_{RD} 、 E'_{GD} 、 E'_{BD} ：以量化级表示的基色电平。

$$E'_{RD} \text{ (数字形式)} = \text{取整}(219 E'_R)+16$$

$$E'_{GD} \text{ (数字形式)} = \text{取整}(219 E'_G)+16$$

$$E'_{BD} \text{ (数字形式)} = \text{取整}(219 E'_B)+16$$

(4) Y 、 C_R 、 C_B ：以量化级表示的亮度和色差信号。

$$Y = \text{取整} (77/256 E'_{RD} + 150/256 E'_{GD} + 29/256 E'_{BD})$$

$$C_R = \text{取整} (131/256 E'_{RD} - 110/256 E'_{GD} - 21/256 E'_{BD})$$

$$C_B = \text{取整} (-44/256 E'_{RD} - 87/256 E'_{GD} + 131/256 E'_{BD})$$

四、ITU-R BT.656-4 (GB/T17953-2000) 接口标准介绍

(一)、国际、国内标准制定情况

1. 国内标准

GB/T17953-2000 “4:2:2 数字分量图像信号的接口”是我国在2000年根据国际标准 ITU-R BT.656-4 制定的国家标准。于2000年8月1日开始实施。

2. 国际标准

ITU-R BT.656-4 “工作在建议书 ITU-R BT.601（部分 A）的 4:2:2 级别上的 525 行和 625 行电视系统中的数字分量视频信号的接口”是当前最新的国际标准。

(二)、关于“接口”的定义

ITU-R BT.656-4 和 GB/T17953-2000 是个接口标准。

接口是一种规范,它是描述两台设备或两个系统之间相互连接的规范。接口在单一源和单一受体间提供单向互连。

并行接口是把数据字的每个比特通过分离的通道同时进行传送的接口。

串行接口是把一个数据字（和相继数据字）的每个比特通过单一通道顺序传送的接口。

数据信号以 8 比特字或 10 比特字编码的二进制信息形式呈现。这些信号包括视频信号、定时基准信号和辅助信号（含音频信号）。

(三)、接口的通用信号格式

在接口的通用信号格式中，规定了视频数据的编码特性、视频数据格式、接口信号结构、视频定时基准码（SAV、EAV）。辅助数据和消隐期间的数据字等问题。

1. 视频数据的编码特性

ITU-R BT.601-5 给出了视频编码的基本参数。在 ITU-R BT.656-4 中补充了数字场消隐和数字场识别的有关特性,如表 2 所示。

表 2.场间隔定义

系统	625 行	525 行
V—数字场消隐		
第一场 开始(V=1)	第 624 行	第 1 行
结束(V=0)	第 23 行	第 20 行
第二场 开始(V=1)	第 311 行	第 264 行
结束(V=0)	第 336 行	第 283 行
F—数字场识别		
第一场 F=0	第 1 行	第 4 行
第二场 F=1	第 313 行	第 266 行

对 625 行系统, V—数字场消隐,在第一场是从 624 行开始 ($V=1$), 到第 23 行结束 ($V=0$)。但要特别注意: 第 23 行 ($V=0$) 已在场的正程, 而不在场消隐期间内。所以在 625 行系统, 第一场的数字场消隐期共有 24 行, 而在模拟视频信号中, 场消隐期为 25 行。第二场数字场消隐期是从第 311 行开始

($V=1$), 在第 336 行结束 ($V=0$)。同样, 第 336 行也在场正程, 而不在场消隐期内。但在第二场中, 数字场消隐期的总行数为 25 行。这就是说, 第二场的数字场消隐期的起始行号、结束行号以及场消隐期的总行数(第二场)与模拟视频第二场的消隐期完全相同。至于 F—数字场识别, 第一场 $F=0$, 从第 1 行到第 312 行; 第二场 $F=1$, 从第 313 行到第 625 行。第一场共 312 行而第二场为 313 行。对于模拟视频第一场和第二场的总行数都是 312.5 行。

2. 视频数据格式

视频数据字以 27 兆字/秒复用传送,其顺序是:

C_B 、Y、 C_R 、Y、 C_B 、Y、 C_R。

其中 C_B 、Y、 C_R 是共位的亮度和色差取样, 紧接着的 Y 字对应于下一个亮度取样。

3. 接口信号结构

图 4 示出视频取样数据如何加到接口数据流中。对于 625 行系统, 模拟信号的行基准点 O_H 对应于数字行亮度信号的第 732 个取样点和色度信号的第 366 个取样点。数字有效行的最后一个完整取样点对应于 C_B359 、Y718、 C_R359 序列。数字有效行第一个取样点对应于 C_B0 、Y0、 C_R0 序列。Y719 后是四个码字的定时基准信号 EAV。而 C_B0 前是定时基准信号 SAV。首尾包括 EAV 和 SAV 在内的区间为数字行消隐期。数字行的正程由 C_B0 、Y0、 C_R0 序列开始到 Y719 结束。数字视频整行由 EAV 开始, 到 Y719 结束。

4. 视频定时基准码 (SAV、EAV)

SAV 和 EAV 是两个定时基准信号。SAV 是 Start of Active Video 的缩写。意为有效视频起始, 而 EAV 是 End of Active Video 的缩写, 表示有效视频结束。SAV 在每个视频数据块的开始, 后面紧接着视频数字有效行。它标志数字有效行由它后面开始。EAV 在每个视频数据块的结尾。它表示上一行数字有效行在它前面已经结束。

SAV 和 EAV 两个定时基准信号都由四字序列组成。其格式为 FF 00 00 XY, 数值以十六进制记数法表示。头三个字 FF 00 00 是固定前缀。第四个字 XY 给出两场识别 (F)、场消隐状态 (V) 和行消隐状态 (H) 等信息。FF 和 00 值仅用于定时基准信号。定时基准信号内的比特分配见表 3。

表 3: 视频定时基准码

数据比特编码	第一字(FF)	第二字(00)	第三字(00)	第四字(XY)
9(MSB)	1	0	0	1
8	1	0	0	F
7	1	0	0	V
6	1	0	0	H
5	1	0	0	P ₃
4	1	0	0	P ₂
3	1	0	0	P ₁
2	1	0	0	P ₀
1	1	0	0	0
0	1	0	0	0

F=0 表示在第一场

F=1 表示在第二场

V=0 表示在场正程

V=1 表示在场消隐期

H=0 表示有效视频起始 (SAV)

H=1 表示有效视频结束 (EAV)

P₀、P₁、P₂、P₃为保护比特。F和V与后面的H及保护比特同步改变状态。

保护比特P₀、P₁、P₂、P₃的比特状态取决于F、V、H的比特状态，如表4所示。在接收器中,这种安排容许校正1比特误码和检出2比特误码。

表 4.保护比特

F	V	H	P ₃	P ₂	P ₁	P ₀
0	0	0	0	0	0	0
0	0	1	1	1	0	1
0	1	0	1	0	1	1
0	1	1	0	1	1	0
1	0	0	0	1	1	1
1	0	1	1	0	1	0
1	1	0	1	1	0	0
1	1	1	0	0	0	1

5. 消隐期中的数据字

出现在数字消隐期间，而又不是用于时间基准码或辅助数据的数据字应填充相应于C_B、Y、C_R、Y.....信号的消隐电平的80.0_h、10.0_h、80.0_h、10.0_h.....序列到复用数据中的合适位置。

(四)、比特并行接口

1. 并行接口的一般描述

描述视频信号的数字码字的各个比特用并行的 8 对(或 10 对)导线传送,每对导线载有每个分量信号 C_B 、 Y 、 C_R 、 Y 相同有效位比特的复用数据流。比如,连接触点 3 和 16 的导线对专门传送数据 9 (MSB) 信号,而连接触点 4 和 17 的导线对则专门传送数据 8 信号。辅助数据也用这 8 对导线传输。辅助数据是在消隐期间以时分复用方式加到数据流中。另一对导线(连接触点 1 和 14) 提供 27MHz 的同步时钟。

2. 并行接口数据格式

并行接口载有 8 个(或 10 个)并行数据比特形式的数据和一路分开的同步时钟。数据以 NRZ (非归零信号) 方式编码。

3. 时钟信号

时钟信号是 27MHz 方波, 0 到 1 的正向跳变瞬间代表数据传送时刻。如图 13 所示。

时钟周期: $T=1/1728f_H=37ns$

时钟脉冲宽度: $t=18.5\pm 3ns$

数据定时——发端: $t_d=18.5\pm 3ns$

f_H : 行频

这里要特别指出: GB/T17953—2000 中的图 2 画得不够确切。数据的定时基准(两次数据跳变的中间时刻)应对准时钟信号正向跳变的 50%电平处。而不应是 GB/T17953-2000 图 2 中所示的对应于正向跳变的终点。

在 ITU-R BT.656-4 中给出了正确的图示。见附于本资料后的图 13。

4. 并行接口的电气特性

每个线路驱动器(源端)有一路平衡输出,而相应的线路接收器(收端)有一路平衡输入(见图 14)。

逻辑约定:

线路驱动器的 A 端对 B 端为正时,对应于二进制 1; 为负时,对应于二进制 0 (见图 14)。

(1) 线路驱动器特性 (发端) :

输出阻抗: 最大 110Ω 。

共模电压: $-1.29V \pm 15\%$ (两端都相对于地)。

信号幅度: $0.8 \sim 2.0V_{p-p}$, 在 110Ω 电阻性负载上测量。

上升和下降时间: 小于 $5ns$, 在 20% 和 80% 幅度点间测量, 负载电阻应为 110Ω 。上升和下降时间差不得超过 $2ns$ 。

(2) 线路接收器特性 (收端)

输入阻抗: $110\Omega \pm 10\Omega$

最大输入信号: $2.0V_{p-p}$

最小输入信号: $185mV_{p-p}$

最大共模信号: $\pm 0.5V$, 包括 0 到 $15kHz$ 范围内的干扰 (两端对地)。

微分时延: 当时钟对数据的微分时延在 $\pm 11ns$ 范围内时, 数据必须能被正确读出。

5. 并行接口接插件的机械部分

并行接口采用 ISO 文件 2110-1980 规定的 25 芯 D 型超小型接插件。触点分配示于表 5。

表 5. 接点安排

接点	信号线	接点	信号线
1	时钟	14	返回时钟
2	系统地 A	15	系统地 B
3	数据 9(MSB)	16	返回数据 9
4	数据 8	17	返回数据 8
5	数据 7	18	返回数据 7
6	数据 6	19	返回数据 6
7	数据 5	20	返回数据 5
8	数据 4	21	返回数据 4
9	数据 3	22	返回数据 3
10	数据 2	23	返回数据 2
11	数据 1	24	返回数据 1
12	数据 0	25	返回数据 0
13	电缆屏蔽		

(五)、比特串行接口

1. 串行接口的一般描述

10 比特字的复用数据流以比特串行形式通过单一通道传送。在传送前，要进行附加编码以实现频谱成形、字节同步并利于时钟恢复。

2. 编码

并行接口采用 25 芯 D 型连接器,结构复杂,传送距离短,只适用于小型设备。串行接口信号 (SDI) 可用同轴电缆 (或光缆) 传输,十分方便。因其数据率高,信号必须经过编码处理——扰码,以正确地恢复原信号。

扰码是用于串行数据传输的一项技术。它适用于所有现行格式的串行数字视频系统。

采用生成多项式 $G1(x) \times G2(x)$ 对未编码比特流加扰。式中:

$$G1(x) = x^9 + x^4 + 1 \quad \text{产生加扰的 NRZ 信号,}$$

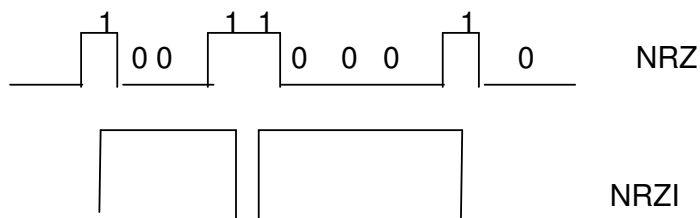
$$G2(x) = x + 1 \quad \text{产生无极性的 NRZI 信号。}$$

加扰后, (1) 可确保有足够多的跳变沿, 以进行可靠的时钟恢复; (2) 尽量减少传输信号的低频成分, 扩散能量谱, 有利于射频发射。

NRZ: Non-Return to Zero 非归零信号。高为 1, 低为 0。

NRZI: Non-Return to Zero Inverted 反转非归零信号。

NRZI 信号数据的跳变沿用于表示每一个数据 1, 不变代表数据 0。NRZI 格式使信号对极性不敏感。



3. 传送顺序

对串行信号先传送每个 10 比特字的最低有效位。

4. 逻辑约定

串行信号以 NRZI 形式传送, 而与它的比特极性无关。

5. 传送媒介

比特串行数据流可用同轴电缆或光纤载体传送。

6. 串行接口电气特性

(1) 线路驱动器特性 (源端)

输出阻抗:

线路驱动器为不平衡输出, 源阻抗为 75Ω 。在 $5\sim 270\text{MHz}$ 频率范围内, 反射损耗不小于 15dB ,

信号幅度:

在不接任何传输线的输出端跨接的 75Ω 电阻负载上测得的峰峰信号幅度在 $800\text{mV}\pm 10\%$ 之间。

直流偏移:

与信号幅度中点为基准的直流偏移在 $+0.5\text{V}$ 到 -0.5V 之间。

上升和下降时间:

上升和下降时间由 20% 和 80% 幅度点间确定, 并且在直接连到输出端的 75Ω 电阻负载上测量。其值应在 0.75ns 到 1.50ns 之间。上升和下降时间相差不应超过 0.50ns 。

输出抖动:

对线路驱动器的输出抖动特性规定如下:

$$f_1=10\text{Hz}$$

$$f_3=100\text{kHz}$$

$$f_4=1/10 \text{ 时钟速率}$$

$$A_1=0.2\text{UI}$$

$$A_2=0.2\text{UI}$$

UI 为单位间隔, 是抖动测量单位。1UI 和 0.2UI 分别对应 3.7ns 和 0.74ns 。目前, 正在考虑将定时抖动定为 1UI。在 ITU-R BT.1363 中给出了“固有和输出抖动通带”的有关规定, 如图 15 所示。 f_1 为定时抖动通频带的低端频率, 一般为 10Hz 。 f_3 为校正抖动 (Alignment Jitter) 通频带的低端频率, 它应在 $1\text{kHz}\sim 100\text{kHz}$ 之间。在 ITU-R BT.656-4 及 GB/T17953-2000 中, f_3 规定为 100kHz 。 f_4 为定时抖动和校正抖动通频带的高端频率, $f_4=1/10$ 时钟速率。

$f_1\sim f_4$ 形成定时抖动测量通频带。在这一通带内, 容许的最大峰-峰抖动规定为 A_1 。 $f_3\sim f_4$ 形成校正抖动测量通频带。通带内容许的最大峰-峰抖动规定为 A_2 。

(2) 线路接收器特性 (收端):

终接阻抗:

电缆终接 75Ω ，在 $5\sim 270\text{MHz}$ 频率范围内反射损耗至少为 15dB 。

接收器灵敏度:

当线路接收器连接到在允许的极限信号幅度限值下工作的线路驱动器或与一个在 270MHz 有 40dB 损耗，其损耗特性为 $1/f$ 的电缆连接时，线路接收器都必须能够正确读出随机二进制数据。

干扰抑制:

当直接连到工作在规定的最下限信号幅度的线路驱动器时，线路接收器必须在叠加以下电平干扰信号时，也能正确读出二进制数据:

直流: $\pm 2.5\text{V}$

1kHz 以下: 2.5Vp-p

$1\text{kHz}\sim 5\text{MHz}$: 100mVp-p

5MHz 以上: 40mVp-p

需要规定输入抖动容限。输入抖动用短电缆（2米）测量。

在 ITU-R BT.1363 “符合 ITU-R BT.656、BT.799 及 BT.1120 建议书的串行信号测量中使用的抖动技术规范及抖动测量方法”中，对“输入抖动容限”进行了描述。

输入抖动容限是随频率变化的正弦抖动的峰—峰幅度。当把它加到设备输入端时，将使差错性能发生规定的劣化。对输入抖动容限的要求用抖动模板（如图 16 所示）来规定，它覆盖要考核的整个频率范围。该模板表示设备不造成差错性能规定劣化而必须接受的抖动最小量。满足抖动容限要求的设备必须具有大于该要求的实际抖动容限（如图 17 所示）。

频率 $f_1\sim f_2$ 形成低频抖动容限通频带。在这一通频带内，至少应该容许 $A_1\text{UI}$ 的峰—峰正弦抖动而不超过规定的差错准则。

频率 $f_3\sim f_4$ 形成高频抖动容限通频带。在这一通频带内，至少应该容许 $A_2\text{UI}$ 的峰—峰正弦抖动而不超过规定的差错准则。

在 f_2 与 f_3 之间抖动容限要求的斜率应该是每 10 倍频 -20dB 。 f_2 与 f_3 的关系为： $f_2=f_3/(A_1/A_2)$ 。

(3) 电缆和连接件

所选电缆应符合电磁辐射方面有关标准的规定。所用电缆应有 75Ω 的标称特性阻抗。连接件应有符合标准 BNC 型的机械特性 (IEC 出版物 169-8)，其电气性能应允许它用于频率高达 850MHz 的 75Ω 电路。

(六)、光接口特性

光接口特性的规范应遵照 ITU-R BT.1367 建议书的一般规则 (符合 ITU-R BT.656、ITU-R BT.799 和 ITU-R BT.1120 建议书信号的串行数字光纤传输系统)。

其指标如下:

上升和下降时间: $<1.5\text{ns}$ (20%到 80%)

输出抖动:

$$f_1=10\text{Hz}$$

$$f_3=100\text{kHz}$$

$$f_4=1/10 \text{ 时钟速率}$$

$$A_1=0.135\text{UI} \text{ (UI: 单位间隔)}$$

$$A_2=0.135\text{UI}$$

还需要规定输入抖动, 输入抖动用 2 米短电缆测量。

(七)、对其它业务的干扰

在处理和传输数字数据, 如高数据率的数字视频信号时, 会产生可能引起串扰或干扰的宽能量谱。特别要注意在本建议书中所描述的以下事实: 在建议书 ITU-R BT.601 (部分 A) 中规定的 13.5MHz 取样频率 (标称值) 的第 9 次和 18 次谐波落在 121.5MHz 和 243MHz 的导航应急频道上。因此, 在设计和使用接口时, 必须采取适当的预防措施以保证这些频率不受干扰。

五、ITU-R BT.1363-1 抖动标准介绍

ITU-R BT.1363-1 “符合 ITU-R BT.656、ITU-R BT.799 和 ITU-R BT.1120 建议书的比特—串行信号的抖动规范和抖动测量方法”是数字电视又一最基础的标准。它所针对的三个标准的当前版本分别是 ITU-R BT.656-4 “工作在建议书 ITU-R BT.601 (部分 A) 的 4:2:2 级别上的 525 行和 625 行电视系统中的数字分量视频信号接口”、ITU-R BT.799-3 “工作在 ITU-R BT.601 (部分 A) 推荐的 4:4:4 级 525 行和 625 行电视系统的数字分量视频信号接口”和 ITU-R BT.1120-3 “用于 HDTV 演播室信号的数字接口”。也就是说, ITU-R BT.1363-1 是适用于标准清晰度和高清晰度电视的串行数字信号的抖动规范和抖动测量方法。本标准将以 ITU-R BT.656 的 270Mb/s 串行数字接口 (SDI) 信号作为例子

进行论述，但同样的概念适用于串行传输的从 3.1Mb/s 的 AES-3 音频数据流到 1.5Gb/s 高清晰度电视 SDI 的所有信号。

(一)、抖动的含义及其危害

在 ITU-R BT.1363-1 中给抖动下的定义为：抖动是数字信号的跳变对它们的理想位置在时间上的变化。正如图 18 所示，抖动的观测一般在数字数据信号的有效瞬间（significant instant）——跳变的零交叉点（zero crossings）上进行。

抖动是数字信号在形成、编码、处理、传送和变换中，所造成的数据跳变位置与它们理想状态的偏移。抖动也可以设想为串行数据流的相位变化或调制。

抖动的测量单位为 UI（单位间隔）。它代表一个时钟循环的周期。对 NRZ 或 NRZI 编码信号相应于串行数据间隔的最小标称时间。在图 18a 中示出了 NRZI 数据信号和相关的时钟标记。 $1TU=1/270MHz=3.7ns$ 。

抖动是串行数字传输系统性能中最重要的参数之一。它能够在数字数据的传送和恢复中引起差错。如，抖动能够造成恢复的时钟和数据在时间上的瞬间偏差。当这种偏差变得足够大时，数据可能被译错。另外，如果抖动通过数/模转换处理被传递，数字信号中的抖动可能会降低模拟信号的性能。表征和测量抖动性能对串行数字系统可靠和可预测的工作非常重要。

(二)、抖动的分类

相同大小的抖动量因抖动速率不同，会对数字接收机产生截然不同的影响。图 19 示出了不同的抖动频率成分使数字接收机失锁的抖动幅度频率曲线。从图 19 中可以看出抖动速率越高，对设备影响越严重，如频率为 10Hz 幅度为 60 μ s 的抖动或频率为 1kHz 幅度为 500ns 的抖动才会使数字接收机失锁；而在 1MHz，1.2ns 的抖动就会使数字接收机失锁。可见抖动频率成分的高低对设备的正常运行影响很大。所以抖动的分类一般主要以抖动所包含的频率成分为依据进行划分。

抖动按所包含的频率成分可大致分为绝对抖动（absolute jitter）、定时抖动（timing jitter）、校正抖动（Alignment jitter）和低频抖动（low-frequency jitter），可参看图 20。

绝对抖动是信号上非常低到非常高的频率所有抖动频率分量的集合。实际上不可能精确地测出绝对抖动。这是因为很难产生一个绝对基准的数据沿。

除了定时抖动、校正抖动和低频抖动之外，漂移（wander）也包含在绝对抖动之中。信号跳变位置以非常低的频率变化（典型值为 10Hz 以下）称为漂

移。漂移一般对时钟提取和电解码，以精确恢复数字数据流的能力方面没有影响。因为这种低频变化能够被锁相环跟踪（除非漂移使数据率变到基准振荡器控制范围之外）。然而，漂移可能使后续的码流处理出现问题。漂移通常定义为频率分量低于一个特殊频率的抖动。在 SDI 应用中，这个指定的切换点是 10Hz。测量漂移和绝对抖动时，要求用于识别沿抖动的时钟基准极为稳定，本身无抖动分量。一般提取时钟的锁相环达不到这个要求。这样准确的基准信号源可采用一台高 Q 值的晶体振荡器。漂移测量的有关问题可参考 VM700T 视频测量装置 SDI 应用中的漂移测量的相应论述。

2. 定时抖动

定时抖动是发生速率高于规定速率（典型值 f_1 为 10Hz 或更低）的信号跳变位置的变化。如上所述，产生的变化低于这个规定频率的称为漂移。

定时抖动通常用于表征整个系统的运行状况。它能够通过把时钟恢复系统环路滤波器带宽设定为 f_1 来测量。这样，结果中将包括环路滤波器截止频率以上到测量上限频率的所有频率的抖动。定时抖动一般不明确给出引起数据恢复差错的对应的抖动值。

3. 校正抖动

在 ITU-R BT.1363-1 中，给校正抖动下的定义是：信号的跳变相对于从该信号中提取的时钟跳变在位置上的变化。时钟提取处理的带宽确定了校正抖动的低频限值。这个带宽通常在 1kHz~100kHz 间选取一点。校正抖动低频限值的典型值为 1kHz 或 100kHz。

校正抖动与绝对抖动、定时抖动及低频抖动相比，它是最重要的抖动测量。校正抖动能够直接给出影响数字接收机正确恢复数据能力的信息。数字接收机产生这种类型差错的原因是锁相环路不能跟踪输入信号的定时变化。如果定时误差变得足够大，解码器将“滑动”1 比特，这会在解码的数据中造成一个误码。并要产生一个字的帧差错。直到下一个定时基准到来之前，它将不会被校正。

4. 低频抖动

低频抖动是定时抖动和校正抖动之间的差。它所覆盖的频率范围是 $f_1 \sim f_3$ 。在串行链路中，低频抖动一般不造成多大问题。即使比较大的低频抖动也能被串行链路接受。因为锁相环能跟踪这些低频的定时变化并维持正确的数据恢复。但是，我们必须注意：这个频带的抖动存在于恢复的并行时钟。如果在并行领域，把恢复的并行时钟作为基准信号，那么对监视器来说，这个参数就很重要。

低频抖动能够由定时抖动减去校正抖动而得到。对大多数类型的抖动，比如正弦或随机抖动，这都会给出准确的结果。而如果抖动源是个复杂的波形，如方波，这种计算将对频率和工作周期有所影响。

以上对抖动的分类原则是按其所包含的频率成分进行划分。如果按在系统中抖动累积的模型可把抖动分成随机抖动和系统抖动两种类型。

随机抖动定义为与系统中产生的其它抖动不相关的抖动。如，由限幅电路的热噪声产生的边缘抖动就是随机抖动的一个例子。由于它是不相关的，随机抖动按功率相加，幅度以方和根（有效值）进行计算。

系统抖动是与系统中的其它抖动完全相关的抖动。由专用数据序列产生的定时变化是系统抖动的一个例子。因为级联相同的再生源，同样的状态会出现在每个部分。由于系统抖动是相关的，它将以算术式进行累积。

大部分抖动是随机抖动和系统抖动的组合。然而，通过几个再生源以后，由于算术式累积，系统抖动通常占主导地位。因此，对简单的累积模型常把所有抖动都按系统抖动处理。

（三）、设备和系统的抖动参数

数字设备的抖动参数包括输入抖动容限、抖动传递和固有抖动。输出抖动是抖动的网络（系统）参数，它可用于规定设备接口的抖动限值。

1. 输入抖动容限

输入抖动容限定义为：当把该正弦抖动的峰-峰幅度加到设备的输入端，会引起规定的差错性能劣化。输入抖动容限适用于大多数串行数字输入。

对设备输入抖动容限的要求用抖动模板来规定。它覆盖一个规定的正弦幅频范围（见图 21）。这个模板给出设备不发生差错性能规定程度的劣化，而必须接受的最小抖动。满足抖动容限要求的设备必须有一个大于这个要求的实际抖动容限（见图 22）。

输入抖动容限的要求用表 6 给出的参数规定。

表 6. 输入抖动容限

参数	单位	描述
数据率	比特/秒	串行比特率。
f_1	Hz	规范的低频频率限值
f_2	Hz	低频抖动容限 A_1 的上边带沿频率
f_3	Hz	高频抖动容限 A_2 的下边带沿频率
f_4	Hz	规范高频频率限值
A_1	UI	f_1 到 f_2 的低频抖动容限
A_2	UI	f_3 到 f_4 的高频抖动容限
差错判据		差错起始判据
测试信号		用于测量的测试信号

频带 f_1 到 f_2 形成低频抖动容限通带。在这个通带至少应该允许 A_1 UI 峰-峰正弦抖动的输入，而不使设备超过规定的差错判据。同样，频带 f_3 到 f_4 形成高频抖动容限通带。在这个通带至少应该允许 A_2 UI 峰-峰正弦抖动的输入，而不使设备超过规定的差错判据。UI（单位间隔）是 A_1 和 A_2 的单位。

在 f_2 和 f_3 之间，抖动容限要求的斜率应为 20dB/10 倍频。频率 f_2 和 f_3 的关系为： $f_2=f_3/(A_1/A_2)$ 。应该规定达到起始差错的判据。可采用误码率（BER）限值或以在规定的时间内最大误码秒数为判据。

2. 抖动传递

抖动传递是由加到输入端的抖动而引起的设备输出端的抖动。输出抖动与加到输入端抖动之比的频率函数称为抖动传递函数。抖动传递适用于从串行输入产生串行输出的设备，如再生装置等。抖动传递还能够由加到设备的基准信号（如模拟的带色同步的黑场信号）得到。

抖动传递的要求用模板来规定，它是预期的最大抖动增益的频率函数（见图 23）。满足抖动要求的设备要有一个位于该模板内的抖动传递函数（见图 24）。对抖动传递的要求用表 7 中给出的参数规定。

表 7. 抖动传递要求

参数	单位	描述
数据率	比特/秒	串行比特率
f_1	Hz	规范的低频频率限值
f_c	Hz	抖动传递通带的上边带沿频率
P	dB	f_1 到 f_c 的最大抖动增益
测试信号		测量用的测试信号

频率 f_1 到 f_c 形成抖动传递通带。覆盖这一通带的最大抖动增益为 P 。频率从 f_c 到至少 $10f_c$ 的抖动传递模板将以 $20\text{dB}/10$ 倍频降低。 P 的单位为分贝 (dB)。

3. 固有抖动

固有抖动定义为：不加输入抖动时，设备输出端的抖动。它是设备内产生的抖动量的量度，与任何抖动传递无关。固有抖动适用于大多数串行输出。

4. 输出抖动

输出抖动是籍在系统或网络中的设备,在其输出端的抖动。它包括固有抖动和在设备输入端上抖动的抖动传递。输出抖动是网络规范，而不是设备规范。单个设备应规定固有抖动、抖动传递和输入抖动容限等项目。网络接口规范可以采用输出抖动。

固有抖动和输出抖动用峰-峰值来规定，并在整个要求的抖动频带上测量。有两个测量频带，一个是另一个的子频带（见图 25）。固有抖动和输出抖动用表 8 中给出的参数来规定。

表 8. 固有抖动和输出抖动

参数	单位	描述
数据率	比特/秒	串行比特率
f_1	Hz	定时抖动的下边带沿频率
f_3	Hz	校正抖动的下边带沿频率
f_4	Hz	上边带沿频率
A_1	UI	定时抖动限值
A_2	UI	校正抖动限值
t_m	s	测量时间
测试信号		用于测量的测试信号
n		串行时钟分频数

$f_1 \sim f_4$ 形成定时抖动测量通带。覆盖这一通带所容许的最大峰-峰抖动规定为 A_1 。 $f_3 \sim f_4$ 形成校正抖动测量通带。覆盖这一通带，所容许的最大峰-峰规范定为 A_2 。 A_1 和 A_2 的单位为 UI（单位间隔）。通带斜率至少应为 $20\text{dB}/10$ 倍频。除非另有规定，应有最小的相位响应。阻带抑制至少为 20dB 。通带波动应小于 $+1\text{dB}$ 。对于固有抖动测量，测试源的抖动与固有抖动指标相比应可以忽略。

（四）、抖动的的基本测量方法

根据抖动测量原理,所采用的仪器和基准信号的特点,抖动测量的基本方法可大致分成四种:用基准信号触发示波器的测量、借助时钟提取器的抖动测量、利用相位解调器的抖动测量和采用基准信号的相位解调器测量(详细内容见“数字电视基础标准介绍之三”)。

(五)、与抖动有关的术语的定义

1. 抖动: 数字信号的跳变对它们的理想位置在时间上的变化。
2. 定时抖动: 发生速率高于规定频率(典型值为 10Hz 或更低)的信号跳变位置的变化。产生的变化低于这个规定的频率被称为漂移。
3. 校正抖动: 信号的跳变相对于从该信号中提取的时钟跳变在位置上的变化。时钟提取处理的带宽确定了校正抖动的低频限值(1kHz~100kHz,典型值为: 1kHz 和 100kHz)。
4. 单位间隔(UI): 缩写 UI, 它是一个时钟循环的周期。它对应于串行信号跳变间的最小标称时间。
5. 输入抖动容限: 当把该正弦抖动峰-峰幅度加到设备的输入端,会引起规定的差错性能劣化。
6. 抖动传递: 由加到输入端的抖动而引起的设备输出端的抖动。
7. 抖动传递函数: 输出抖动与加到输入端抖动之比的频率函数。
8. 固有抖动: 不加输入抖动时,设备输出端的抖动。
9. 输出抖动: 籍在系统或网络中的设备,其输出端的抖动。它包括固有抖动和在设备输入端上抖动的抖动传递。
10. 时钟提取器: 一种能从串行数据流中提取串行数据时钟,并能输出与时钟有关的触发脉冲的设备。它还可以提供与提取时钟重新定时的串行数字数据信号。
11. 误码率测试仪: 一种确定串行数字信号误码率量值的设备。主要有两种类型:一种是典型的误码率测试仪,另一种是 SMPTE RP165 中描述的场速率 CRC(循环冗余校验)法(EDIT:用交互传递法消除差错)。
12. 抖动发生器: 这个装置可产生包含幅度和频率可调的正弦抖动的串行数字信号。
13. 抖动接收机: 用于解调和测量串行信号中存在的抖动。它通常提供一个与解调抖动成比例的输出。
14. 相位解调器: 一个可提供与两个输入信号相位差成比例的信号作为它的输出的设备。
15. SDI: 串行数字接口的缩写。通常归类于建议书 ITU-R BT.656 系统。
16. DSO: 数字存储示波器的缩写。
17. DUT: 被测装置的缩写。

六、ITU-R BT.709-4(GY/T155-2000)HDTV 参数标准介绍

（一）、国内外标准制定情况

国际标准：ITU-R BT.709-4 高清晰度电视标准用于制作和国际间节目交换的参数值 (RECOMMENDATION ITU-R BT.709-4 PARAMETER VALUES FOR THE HDTV STANDARDS FOR PRODUCTION AND INTERNATIONAL PROGRAMME EXCHANGE) 国际标准由 1990 年开始制定，共有 1990 年、1994 年、1995 年、1998 年、2000 年 5 个版本。这里介绍的是 2000 年最新版本。ITU-R BT.709-4 标准共分二大部分，第一部分：与常规电视有关的高清晰度电视系统。介绍用于 1125/60/2:1 系统和 1250/50/2:1 系统的信号参数。第一部分共讲述 6 个问题，它们分别是：1.光电转换；2.图像特性；3.图像扫描特性；4.信号格式；5.模拟表示；6.数字表示。ITU-R BT.709-4 标准的第二部分讲述：方形像素通用影像格式的高清晰度电视系统。通用影像格式 (CIF) 是指具有不依赖于图像速率的通用图像参数值的格式。它对应于 60/P、30/P、30/PsF、60/I、50/P、25/P、25/PsF、50/I、24/P、24/PsF 等系统。P 表示逐行，I 表示隔行，而 PsF 为分段帧 (Segmented frame) 方式。PsF 是指对图像以逐行方式捕获，而分两段传送。一段为逐行影像的奇数行，第二段为逐行影像的偶数行，即逐行采集分段传送。ITU-R BT.709-4 标准的第二部分也从 6 个方面来阐明其特性。它们分别是：1.光电转换；2.图像特性；3.信号格式；4.模拟表示；5.数字表示；6.图像扫描特性。

国内标准：GY/T155-2000 高清晰度电视节目制作及交换用视频参数值是由国家广播电影电视总局在 2000 年 6 月 6 日批准，从 2000 年 12 月 1 日开始实施的我国行业标准。目前我国尚未制定相关的国家标准。在 ITU-R BT.709-4 标准的前言中建议：对于新制定高清晰度电视节目制作和国际交换参数值的国家和地区应优先选用 ITU-R BT.709-4 标准第二部分中描述的系统。我国制定的行业标准依据了这一要求。在 GY/T155-2000 中规定的我国 HDTV 演播室系统为 1125/25/2:1 和 1125/24/1:1。它对应于 ITU-R BT.709-4 第二部分中的 50/I 和 24/P 系统。即在 GY/T155-2000 标准中对 1125/25/2:1 系统参数值的规定与 ITU-R BT.709-4 标准中的 50/I 系统参数值完全一致，而对 1125/24/1:1 系统的规定与 24/P 系统完全相同。

（二）、高清晰度电视节目制作及交换用视频主要参数值介绍

行业标准：GY/T155-2000

1. 每帧总行数：1125 行；
2. 帧频：25Hz (隔行)；24Hz (逐行)；
3. 行频：28125.000Hz±0.001% (隔行)；

27000.000Hz±0.001% (逐行) ;

4. 每行总取样数:

R、G、B、Y:2640 (隔行) ; 2750 (逐行) ;

C_B、C_R: 1320 (隔行) ; 1375 (逐行) ;

5. 模拟信号标称带宽: 30MHz;

6. R、G、B、Y 取样频率: 74.25MHz;

7. C_B、C_R 取样频率: 37.125MHz;

8. 正向、负向行同步宽度: 44±3T;

9. 正向、负向行同步脉冲幅度: 300±6mV;

10. 幅型比: 16:9;

11. 有效行取样数:

R、G、B、Y: 1920;

C_B、C_R: 960;

12. 帧有效行数: 1080;

13. 同步信号形式: 双极性电平

14. 量化电平 R、G、B、Y 黑电平: 64 (10 比特) ; 16 (8 比特) ;

C_B、C_R 零电平: 512 (10 比特) ; 128 (8 比特) ;

R、G、B、Y 标称峰值电平: 940 (10 比特) ; 235 (8 比特) ;

C_B、C_R 标称峰值电平: 64 和 960 (10 比特) : 16 和 240 (8 比特) ;

15. 亮度信号 E'_Y 的导出式 (模拟编码)

$$E'_Y = 0.2126 E'_R + 0.7152 E'_G + 0.0722 E'_B$$

16. 色差信号 E'_{CB} E'_{CR} 的导出式 (模拟编码)

$$E'_{CB} = (E'_B - E'_Y) / 1.8556$$

$$E'_{CR} = (E'_R - E'_Y) / 1.5748$$

七、ITU-R BT.1120-3(GY/T157-2000)HDTV 接口标准介绍

(一)、国内外标准制定情况

国际标准: ITU-R BT.1120-3 高清晰度电视演播室信号的数字接口

(RECOMMENDATION ITU-R BT.1120-3 DIGITAL INTERFACES FOR HDTV STUDIO SIGNALS) 国际标准由 1994 年开始制定, 共有 1994 年、1998 年和 2000 年三个版本。这里介绍的是 2000 年最新版本。

国内标准: GY/T157-2000 演播室高清晰度电视数字视频信号接口是由国家广播电影电视总局在 2000 年 6 月 6 日批准, 从 2000 年 12 月 1 日开始实施的我国行业标准。

(二)、基本内容介绍

标准规定了演播室高清晰度电视视频系统的信号格式、比特并行接口和比特串行接口。

1. 数字接口

(1). 视频数据

亮度信号 Y 和经过时分复用的色差信号 C_B 、 C_R 被处理为 20 比特字。每个 20 比特字对应一个色差取样和一个亮度取样，复用组合方式如下：

$$(C_{B1}, Y_1) (C_{R1}Y_2) (C_{B3}, Y_3) (C_{R3}Y_4) \dots\dots$$

其中 Y_i 表示每行第 i 个亮度有效取样，而 C_{Bi} 和 C_{Ri} 表示与 Y_i 取样点位置相同的色差 C_B 和 C_R 分量的取样。由于色差信号取样频率是亮度信号取样频率的一半，因此色差取样的序号“ i ”仅取奇数值。

对于 10 比特系统，数字电平从 0 到 3 和从 1020 到 1023 范围的数据字；对于 8 比特系统，电平为 0 和 255 的数据字，专门用作同步基准数据，不能在视频数据中出现。

除上述 Y 和 C_B/C_R 信号被处理成 20 比特数据流外， Y 、 C_B 、 C_R 和辅助通道数据被处理成 30 比特数据流； R 、 G 和 B 信号也被处理成 30 比特数据流。

(2). 数字视频信号与模拟视频信号波形的定时关系

一个数字行占 m 个时钟周期，数字行开始于相应行的模拟同步信号的基准点 (O_H) 前 f 个时钟周期处。数字有效行开始 (GY/T157-2000 误写为“结束”) 于相应行的模拟同步信号的基准点 (O_H) 后的 g 个时钟周期处。行期间的详细定时关系见附于本资料后的图 26 和表 9。

数字帧/场的起点由数字行的规定起点位置确定，帧/场期间的详细定时关系见附于本资料后的图 27 和表 10。

如表 10 (a) 所示，在隔行扫描中，第一场数字场消隐期间由第二场的最后 2 行 (第 1124 行和第 1125 行) 及第一场的前 20 行 (从第 1 行到第 20 行) 共 22 行组成。而第二场数字场消隐期间由第一场的最后 3 行 (从第 561 行到第 563 行) 和第二场开始的 20 行 (从第 564 行到第 583 行) 共 23 行组成。

在表 10 (b) 逐行扫描的一帧中，由帧开始的前 41 行 (从第 1 行到第 41 行) 和帧结束前的 4 行 (从第 1122 行到 1125 行) 共 45 行组成帧消隐期间。

(3). 视频定时基准码 (SAV 和 EAV)

有两种定时基准码，一种在每个视频数据块的开始（SAV 有效视频起始），另一种在每个视频数据块的终止（EAV 有效视频结束）。这些基准码与视频数据相邻，在帧/场消隐期间内仍然存在，如图 27 所示。

每个定时基准码由 4 个字组成，字的比特分配见附于本资料后的表 11。前三个字是固定前缀，第 4 个字载有定义场识别（F）、帧/场消隐期（V）和行消隐期（H）的信息。在 8 比特系统，只使用其中序号为 2 到 9 的 8 个比特。F 和 V 比特的状态与数字行起点处的 EAV 同步改变。

保护比特 P_0 到 P_3 的取值与 F、V、H 有关，见附于本资料后的表 12。这种编排可以在接收端对高 8 位比特发生的错误进行 1 比特的纠错，2 比特的检错，见附于本资料后的表 13。

(4). 消隐期间的数据字

在数字消隐期间，除定时基准码（SAV 和 EAV）及辅助数据（含音频数据）外，在复用码流中，其它数据字用下列消隐电平填充：

对于 10 比特系统：

- 64 用于 Y、R、G、B 信号；
- 512 用于 C_B 、 C_R （时分复用色差信号）
- 64 为亮度信号黑电平，而 512 为色差信号消色电平。

对于 8 比特系统：

- 16 用于 Y、R、G、B 信号；
- 128 用于 C_B/C_R （时分复用色差信号）；
- 16 为亮度信号黑电平，而 128 为色差信号消色电平。

3. 比特并行接口

表示视频信号数据字的比特用 20 或 30 对屏蔽导线并行传输，20 对导线用于亮度信号 Y 和时分复用的色差信号 C_B 、 C_R 的传输；30 对导线用于 R、G、B 信号或 Y、 C_B 、 C_R 附加一个数据流（辅助通道）的传输。另有一对屏蔽导线传输 74.25MHz 同步时钟信号。数据以非归零码（NRZ）形式实时传送。

(1). 时钟信号与数据的定时关系

系统传输的时钟信号是方波。时钟的上升沿出现在数据持续期的中间，如附于本资料后的图 28 和表 14 所示。

(2). 并行接口的电特性

在传输 Y 和 C_B 、 C_R 分量时，接口使用 21 个线路驱动器和线路接收器。每个线路驱动器是平衡输出，相应的线路接收器是平衡输入，如附于本资料后的图 29 所示。在传输 R、G、B 分量或 Y、 C_B 、 C_R 外加一个附加数据流（辅助通道）时，使用 31 个线路驱动器和线路接收器。

不强制使用 ECL（发射极耦合逻辑）技术，但线路驱动器和接收器必须与 ECL 10k 规范兼容（注：在 GY/T157-2000 中为 ECL 10kH，而在 ITU-R BT.1120-3 中为 ECL 10k），即允许驱动器或接收器采用 ECL。线路驱动器特性见附于本资料后的表 15，接收器特性见表 16。

当随机的数据信号产生如附于本资料后图 31 所示的眼图时，接收器必须能正确地读出数据。

(3). 并行接口的机械特性

(1) 接插件

接口使用 93 芯接插件。电缆接插件上的两个螺杆和设备上的两个螺孔把插头与插座锁在一起。电缆插头为针接点，设备插座为孔接点。插头、插座和电缆必须屏蔽。

接插件上的触点排列见附于本资料后的表 17 和表 18。接插件的机械说明见附于本资料后的图 31、图 32 和图 33。

(2) 连接电缆

按照所传输的信号，可以使用两种多通道电缆：21 或 31 通道电缆；见表 18。电缆由双绞线对组成，每对双绞线都有屏蔽，另外它还有一个总的屏蔽。每对双绞线的标称特性阻抗是 100Ω 。隔行扫描系统在最长传输距离为 20 米和逐行扫描系统在最长传输距离为 14 米时，电缆特性应满足附于本资料后的图 30 的眼图条件。

(4) SDTV 和 HDTV 在并行接口方面的差别

由 ITU-R BT.656-4 规定的 SDTV 并行接口与通过 ITU-R BT.1120-3 规定的 HDTV 并行接口有如下几方面的差别：

对于 Y、 C_B 、 C_R 视频分量信号，SDTV 以 C_B 、Y、 C_R 、Y、 C_B 、Y、 C_R 的顺序，以 10 比特用并行的 10 对导线传送。而 HDTV 的视频信号以复

用组合方式 (C_{B1}, Y_1) (C_{R1}, Y_2) (C_{B3}, Y_3) 、 (C_{R3}, Y_4) ……，以 20 比特字用 20 对屏蔽导线并行传输。

(2) SDTV 在传送 10 比特 Y 、 C_B 、 C_R 分量信号时，SDTV 接口使用 11 个线路驱动器和线路接收器。而 HDTV 接口使用 21 个线路驱动器和线路接收器。

(3) SDTV 并行接口采用 25 芯 D 型接插件，而 HDTV 并行接口使用 93 芯接插件。

4. 比特串行接口

(1) 数据格式

比特串行数据包括视频数据、定时基准码、行序号数据、校验码、辅助数据和消隐数据。在串行化之前，亮度数据 Y 和复用色差数据 C_B/C_R 分别为并行数据。每种数据的字长均为 10 比特。两个并行码流经过复用并串行化。

(a) 行序号数据

行序号由两个数据字表示，行序号数据应直接跟在 EAV 数据之后。行序号数据的比特分配见附于本资料后的表 19。

(b) 校验码

CRCC 用于检测有效数字行、EAV 和行序号数据的误码。CRCC 占两个数据字，由下述多项式表示：

$$EDC(x) = x^{18} + x^5 + x^4 + 1$$

CRCC 的初始值设置为零。从数字有效行的第一个字开始计算到行序号数据的最后一个字结束。计算两个 CRCC 码，一个是亮度数据的循环校验码 (YCR)，另一个是色差数据的循环校验码 (CCR) 校验码应紧跟在行序号数据的后面。校验码的比特分配见附于本资料后的表 20。

(c) 消隐数据

在数字消隐期间，除 SAV、EAV、行序号数据、校验码和辅助数据外。其它数据字用下列量化电平填充：

64 (亮度信号黑电平) 用于亮度数据 Y

512 (色差信号消色电平) 用于色差数据 C_B/C_R

(2) 传输格式

两个并行比特流经过复用、并/串转换和加扰后转换成串行比特码流，通过单一信道传输。

(a) 复用

两个并行码流依次复用成一个并行数据流，排列方式如下：

C_B 、 Y 、 C_R 、 Y 、 C_B 、 Y 、 C_R 、 Y (见附于本资料后的图 35)

(b) 串行化

0 比特的复用并行码流特性转换成串行码流时，先传并行码流的最低位。

(c) 信道编码

采用加扰的反转非归零码 (NRZI)。使用下列生成多项式对串行比特流进行加扰：

$$G(x) = (x^9 + x^4 + 1)(x + 1)$$

加扰器的输入信号为正逻辑信号 (1 代表高电平, 0 代表低电平)。

(3) 同轴电缆接口

同轴电缆接口提供单一发送器和单一接收器间的点对点的连接。同轴电缆接口。同轴电缆接口规定线路驱动器特性 (发送端)、线路接收器特性 (接收器)、传输线和连接器的特性。

(a) 线路驱动器特性 (发送端)

线路驱动器应具有非平衡输出电路，线路驱动器特性见附于本资料后的表 21。

(b) 线路接收器特性(接收端)

线路接收器应具有非平衡输入电路。当线路接收器连接在极限电压下工作的线路驱动器，并通过下限传输电缆条件下的电缆连接时，均应能正确读出接收的数据。线路接收器特性见附于本资料后的表 22。

(c) 传输线特性

相关的传输线特性见附于本资料后的表 23。

(d) 连接器

连接器应具备标准 BNC 连接器的机械特性。连接器应具备 75Ω 的特性和高达 2.4GHz 的可用频率范围。

(4) SDTV 和 HDTV 在串行接口方面的差别

与 SDTV 不同，在串行化之前，在 HDTV 复用后的并行数据流中，在 EAV 后增加了两个码字的行序号数据及两个码字的亮度数据循环校验码（YCR）和两个码字的色差数据循环校验码（CCR）。

5. 光接口

高清晰度电视系统只使用单模光接口。光接口必须遵守以下规范：

上升和下降时间 $<270\text{ps}(20\%\sim 80\%)$

输出抖动容限 $f_1=10\text{Hz}$

$f_3=100\text{kHz}$

$f_4=\text{时钟频率的 } 1/10$

$A_1=0.135\text{UI}$ （UI：单位间隔）

$A_2= 0.135\text{UI}$

测量输入抖动容限时，采用一根短电缆（2 米）。抖动测量方法按 ITU-R BT.1363。

ITU-RBT.1120-3 和 GY/T157-2000 标准的附录“高清晰度电视信号视频接口的比特串行数字检测场”描述用于测试电缆均衡和锁相环的数字测试信号和测量方法。