

# 电视制式的基本问题

---

## 标清电视制式 (Standard Definition - SD)

### NTSC

标准编号: SMPTE 125M/267M

分辨率: 720 x 486 (DV/MPEG2 等编解码系统使用 480 以适应 8 x 8 的 block)

长宽比: 4:3 (非方形像素, 像素宽小于高)

扫描方式: 隔行扫描、下方一场首先显示

帧率: 29.97 帧/秒

### PAL

标准编号: ITU.BT656/601.5

分辨率: 720 x 576

长宽比: 4:3 (非方形像素, 像素宽大于高)

扫描方式: 隔行扫描、上方一场首先显示

帧率: 25 帧/秒

---

## 高清电视制式 (High Definition - HD)

### 720p

标准编号: SMPTE 296M-2001

分辨率: 1280 x 720

长宽比: 16:9 (方形像素)

扫描方式: 逐行扫描

帧率: 50 帧/秒、59.94 帧/秒、60 帧/秒

### 1080i

标准编号: SMPTE 274M

分辨率: 1920 x 1080

长宽比: 16:9 (方形像素)

扫描方式: 隔行扫描、上方一场首先显示

帧率: 25 帧/秒、29.97 帧/秒、30 帧/秒

### 1080p

标准编号: SMPTE 274M

分辨率: 1920 x 1080

长宽比: 16:9 (方形像素)

扫描方式: 逐行扫描

帧率: 23.98 帧/秒、24 帧/秒、25 帧/秒、29.97 帧/秒、30 帧/秒

---

## 标准机构

### SMPTE

美国电影和电视工程师协会 The Society of Motion Picture and Television Engineers。成立于 1916 年, 现

在有来自世界 85 个国家超过 7500 名的会员，制定电影电视行业的技术标准。

## ITU

国际电信联盟（International Telecommunication Union）。ITU 的历史可以追溯到 1865 年成立的国际电报联盟（International Telegraph Union，ITU）。经联合国同意，1947 年 10 月 15 日国际电信联盟成为联合国的一个专门机构，其总部由瑞士伯尔尼迁至日内瓦。

---

## 关于 PAL 和 NTSC

NTSC 是 National Television System Committee 的缩写，（美国）国家电视标准委员会。其标准主要应用于日本、美国，加拿大、墨西哥等等，PAL 是 Phase Alternating Line (逐行倒相)的缩写。它是西德在 1962 年指定的彩色电视广播标准，它采用逐行倒相正交平衡调幅的技术方法，克服了 NTSC 制相位敏感造成色彩失真的缺点。西德、英国等一些西欧国家，新加坡、中国大陆及香港，澳大利亚、新西兰等国家采用这种制式。PAL 由德国人 Walter Bruch 在 1967 年提出，当时他是为德律风根(Telefunken)工作。“PAL”有时亦被用来指 625 线，每秒 25 格，隔行扫描，PAL 色彩编码的电视制式。PAL 制式中根据不同的参数细节，又可以进一步划分为 G、I、D 等制式，其中 PAL-D 制是我国大陆采用的制式。这两种制式是不能互相兼容的，如果在 PAL 制式的电视上播放 NTSC 的影像，画面将变成黑白，NTSC 制式的也是一样。

---

## 分辨率（Resolution）、画面宽高比（Aspect Ratio）和像素宽高比（Pixel Aspect Ratio）

分辨率就是构成画面的像素的个数，对于程序员来说，最重要的是 I/O 设备中的 FrameBuffer 的分辨率。对于电视信号来说，指信号中含有的可见画面的分辨率。

宽高比是指画面物理显示尺寸的宽度比其高度：

SDTV（1.33 : 1）

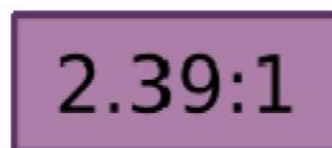
宽屏 SDTV，HDTV（1.78 : 1）



35 毫米胶片（1.5:1）

美国电影（或欧洲 1.66:1）

全景宽银幕电影（或 70mm 胶片 2.20:1）



由画面的分辨率和宽高比可以计算出**像素宽高比**（Pixel Aspect Ratio）：

$$(\text{ResX} * \text{PixW}) / (\text{ResY} * \text{PixH}) = \text{AR} \quad \text{即} \quad \text{PixAR} = \text{PixW} / \text{PixH} = \text{AR} * \text{ResY} / \text{ResX}$$

PAL 制和 NTSC 制的电视在显示时，每个像素覆盖的面积不是正方形的：

PAL 制， $\text{PixAR} = (4/3) * (576/720) = 1.07$ ；

NTSC 制， $\text{PixAR} = (4/3) * (486/720) = 0.9$ 。

而 HDTV 标准都是像素纵横方向的数量比值等同于画面宽高比，像素宽高比都是 1:1，就是方形像素。

我们产生计算机图形时，很多都是按照方形像素的假设来做的，但如果像素宽高比不是 1:1，那么这样产生的图形显示时就会变形了，所以很多图形软件都考虑了各种像素宽高比的影响，输出时进行校正保证画面在那种像素宽高比的显示设备上输出时不变形。下图示意，一个半径为某一固定像素值的圆形在计算机屏幕（通常方形像素）和 PAL 及 NTSC 显示器上显示的结果。



某种画面宽高比的画面在不同宽高比的显示设备上保持其比例进行显示时需要进行一些转换，下面是一些常用方法。

**LetterBox（信箱）** - 较宽画面显示在较窄监视器上，上下留空。



2.35:1 画面显示在 4:3 电视上。

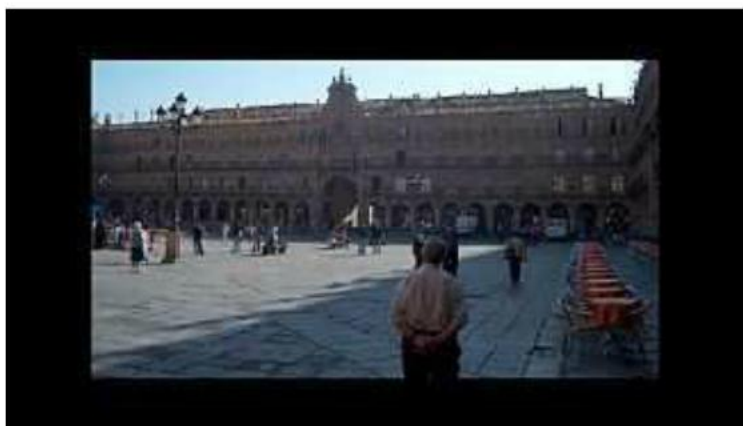
**PillarBox（邮筒）** - 较窄画面显示在较宽监视器上，两侧留空。



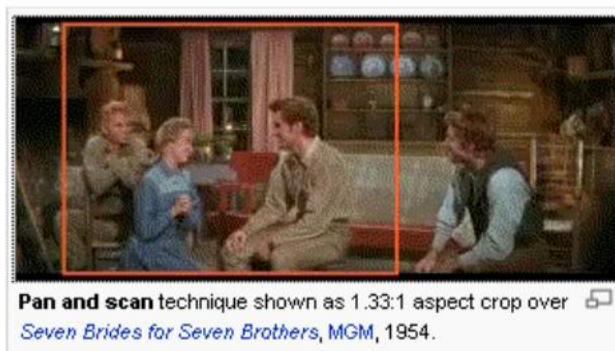
4:3 画面显示在 16:9 电视上。



**WindowBox（窗口）** - 画面经过 LetterBox 和 PillarBox 两道处理显示出来，四边留空。比如用 HD 拍的广告在 SD 广播中做了 LetterBox，但观众用 HD 电视收看这个 SD 画面，又做了 PillarBox。



**Pan and Scan（摇动和扫描）** - 把电影转成电视画面常用的技术之一。编辑人员使用扫描器以 4:3 或者 16:9 点取景框在较宽的电影画面中选取一部分画面，通常集中在主要的人物活动上，制作成宽高比较窄的画面。



## 扫描方式（Scan Mode）

通常显示器分隔行扫描（Interlace）和逐行扫描（Progressive）两种扫描方式。隔行扫描指显示屏在显示一幅图像时，先扫描奇数行，全部完成奇数行扫描后再扫描偶数行，因此每幅图像需扫描两次才能完成，造成图像显示画面闪烁较大。因此该种扫描方式较为落后，通常用在早期的显示产品中。

隔行扫描就是每一帧（frame）被分割为两场（field），每一场包含了一帧中所有的奇数扫描行或者偶数扫描行，通常是先扫描奇数行得到第一场，然后扫描偶数行得到第二场。由于视觉暂留效应，人眼将会看到平滑的运动而不是闪动的半帧半帧的图像。但是这时会有几乎不会被注意到的闪烁出现，使得人眼容易疲劳。当屏幕的内容是横条纹时，这种闪烁特别容易被注意到。

每一帧图像由电子束顺序地一行接着一行连续扫描而成，这种扫描方式称为逐行扫描。把每一帧图像通过两场扫描完成则是隔行扫描，两场扫描中，第一场(奇数场)只扫描奇数行，依次扫描 1、3、5...行，而第二场(偶数场)只扫描偶数行，依次扫描 2、4、6...行。隔行扫描技术在传送信号带宽不够的情况下起了很大作用，逐行扫描和隔行扫描的显示效果主要区别在稳定性上面，隔行扫描的行间闪烁比较明显，逐行扫描克服了隔行扫描的缺点，画面平滑自然无闪烁。在电视的标准显示模式中，i 表示隔行扫描，p 表示逐行扫描。

场的命名，以时间顺序（temporal order）成为第一场和第二场（First Field and Second Field），以空间顺序（spatial order）分为上面一场和下面一场（Top Field and Bottom Field, Upper Field and Lower Field），还有

一个含义不清的说法 – 奇数场和偶数场 (Odd Field and Even Field)。注意 NTSC 制中, 是 lower-field-first 的扫描方式, 其它均为 upper-field-first。

回扫 (Retracing) 指 CRT 显示电视画面时, 其电子枪的扫描束在结束一行或一帧/场画面扫描时移动到下一行 (行逆程) 或下一帧/场的第一行开始 (场逆程) 时需要进行的扫描移动, 这个期间, 电子束实际是被关闭的, 所以也叫空白区间 (Blanking Interval)。从一行的结尾到下一行开始的回扫叫水平回扫, 约占每行的 15% 时间, 从一帧/场到下一帧/场的回扫称为垂直回扫 (VBI), 约占一帧/场的 8% 时间。PAL 的总扫描线数是 625 行, NTSC 是 525 行, 1080i 和 1080p 都是 1125 行, 720p 是 750 行。在模拟电视信号中, 行场的同步信息是加在回扫区间的信号中的, 还可以夹带 VITC (Vertical Interval Time Code), VITS (Vertical Interval Test Signal) 和闭路字幕 (Closed Caption)。

隔行扫描产生的抖动, 对于图文字幕尤其明显, 需要专门的防抖动技术予以消除, 通常采用三行平均的算法。另外, 在图文字幕的动画关键帧插值中, 由于一帧中两场的显示时间有前后, 所以参数插值必须按照场时间进行。

另外, 还有一种 Progressive Segmented Frame (PsF) 扫描方式, 还是将一帧分为上下隔行的两场记录和发送, 但播放时是按照一帧逐行在同一时刻显示。发明者们说是要以传统隔行设备记录和传送逐行画面。

---

## 帧率 (Frame Rate)

为什么 NTSC 制是 29.97? 3000/1001。NTSC 制早期发展时需要兼容当时的黑白电视, 包括水平扫描、颜色和声音的传送, 这些限制最后使用减小场扫描频率 (60Hz) 来解决, 最后减小了 1000/1001。

## 时码

LTC (longitudinal/linear timecode) 线性时码 – 时码记录在磁带的专门轨道中, 与音频轨道类似, 信号输入也使用 XLR 接口。

VITC (vertical interval timecode) 时码 – 在场逆程中含有时码信息。克服了 LTC 的缺点 - 在磁带停止或者慢速播放时不能读取。

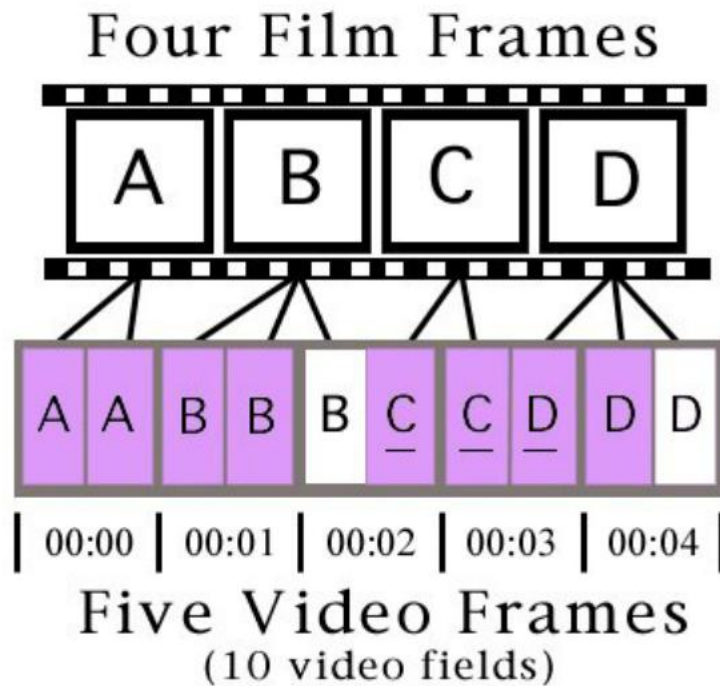
DFTC (Drop frame timecode) – 在 NTSC 制中, 如果时码按照每帧累加, 并按照 30 帧/秒的速率来显示的话, 显示的时间就比实际慢, 每秒差 1000/1001, 每小时累计达到 3.6 秒。所以 DFTC 就是大约数每 1000 帧扔掉一个时码计数, 让计算的时码与实际时间相符。实际计算时以每 10 分钟为一周期, 在其中的 1:06:20、2:13:10、3:20:00、4:26:20、5:33:10、6:40:00、7:46:20、8:53:10 时丢掉一帧的计数。

## 电影到电视影像的转换 (Telecine) 中的帧率转换

电影 (24 帧/秒) 和 PAL (25 帧/秒 – 包括 HD) 每秒只差 1 帧, 所以以前一般来说就直接一帧对一帧进行制作, 这样 PAL 每秒会比电影多放一帧, 也就是速度提高了 1/24, 而且声音的音调会升高。这都是一些 DVD 爱好者不喜欢 PAL 制 DVD 的原因之一。但是据说现在有些 PAL 制 DVD 采取了 24+1 的制作方法, 就是把 24 帧中的一帧重复一次, 从而获得跟电影一样的播放速度。

而 NTSC (29.97 帧/秒 – 包括 HD) 因为每秒约有 30 帧, 不能直接一帧对一帧制作, 所以要通过 2-3 PULLDOWN 等办法把 24 个电影帧转成 30 个视频帧, 这 30 个视频帧里所包含的内容和 24 个电影帧是相等的, 所以 NTSC 的播放速度和电影一样。

2-3 PULLDOWN 的具体解释：电影胶片以 4 帧为一个循环，A 帧转换为视频第 1 帧的两场，B 帧转换为视频第 2 帧的两场和第 3 帧的第一场，C 帧转换为视频第 3 帧的第二场和第 4 帧的第一场，D 帧转换为视频第 4 帧的第二场和第 5 帧的两场，这样以 2:3:2:3 的循序，通过把 B 和 D 帧重复采样一场，将 4 个电影帧转换为 5 个视频帧，视频以 30 帧/秒播放画面动感速度和 24 帧/秒播放的电影一样；实际上上由于是 29.97 帧/秒（ $3000/1001$ ），动感速度还是较电影慢了  $1/1000$ ，以电影帧计算是 23.98 帧/秒（ $24/1001$ ）。



如果把上述循环从电影 B 帧开始看，模式变成了 3:2:3:2，所以也叫 3-2 PULLDOWN，但 SMPTE 标准（RP 197）规定的是 2:3 模式。另外还有 3:3:2:2，2:3:3:2，2:2:3:3 等模式，但产生的颤抖略大。

## 色彩空间介绍 (Video Demystified Chapter 3)

色彩空间是表示一组颜色的数学模型。最常用的 3 种色彩空间是：

RGB – 应用于计算机图形

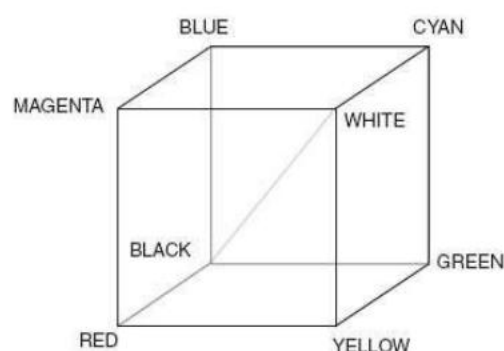
YIQ, YUV, 或者 YCbCr – 视频领域使用

CMYK – 印刷领域

但这些都不直接对应直观的色调 (Hue)、饱和度 (Saturation) 和亮度 (Brightness) 的说法，所以还有 HSI 和 HSV 的模型。

### RGB 色彩空间

红绿蓝三基色相加产生其它颜色，使用三维笛卡尔 (Cartesian) 坐标系表示：



**Figure 3.1. The RGB Color Cube.**

	Nominal Range	White	Yellow	Cyan	Green	Magenta	Red	Blue	Black
<b>R</b>	0 to 255	255	255	0	0	255	255	0	0
<b>G</b>	0 to 255	255	255	255	255	0	0	0	0
<b>B</b>	0 to 255	255	0	255	0	255	0	255	0

**Table 3.1. 100% RGB Color Bars.**

彩色显示器都使用红绿蓝三基色相加产生其它颜色，所以 RGB 空间使用非常普遍。但 RGB 模型没有区分亮度和色度信息，造成处理不便和数字处理数据量比较大的问题。

### YUV 色彩空间

YUV 模型被 PAL 和 NTSC 电视系统所采用。黑白电视系统只使用 Y 亮度信息，彩色电视在加入 UV 信息。

$$Y = 0.299R + 0.587G + 0.114B$$

$$U = -0.147R - 0.289G + 0.436B = 0.492(B - Y)$$

$$V = 0.615R - 0.515G - 0.100B = 0.877(R - Y)$$

$$R = Y + 1.140V$$

$$G = Y - 0.395U - 0.581V$$

$$B = Y + 2.032U$$

RGB: 0-255,

Y: 0-255,

U: 0 - +/-112

V: 0 - +/-157.

通常都会转换到 0-255 的范围之内。

### YIQ 色彩空间

在 NTSC 复合信号中有应用。I 是 in-phase (同相位), Q 是 quadrature (正交), 是调制信号的方法。

$$Y = 0.299R + 0.587G + 0.114B$$

$$I = 0.596R - 0.275G - 0.321B = V\cos 33^\circ - U\sin 33^\circ = 0.736(R - Y) - 0.268(B - Y)$$

$$Q = 0.212R - 0.523G + 0.311B = V\sin 33^\circ + U\cos 33^\circ = 0.478(R - Y) + 0.413(B - Y)$$

(I/Q 就是把 U/V 相位旋转了 33 度)

$$R = Y + 0.956I + 0.621Q$$

$$G = Y - 0.272I - 0.647Q$$

$$B = Y - 1.107I + 1.704Q$$

RGB: 0-255,

Y: 0-255,

I: 0 - +/-152,

Q: 0 - +/-134.

### YCbCr 色彩空间 (有时也被称为 YUV 空间)

这是世界通用的分量信号的色彩空间 (ITU.601/709 标准), 实际上是一个经过缩放和位移的 YUV 空间。

其中 Y 的归一化范围是 16-235, Cb/Cr 是 16-240。

标清转换公式:

视频 RGB (16-235) 和 YCbCr:

$$Y_{601} = 0.299R + 0.587G + 0.114B$$

$$Cb = -0.172R - 0.339G + 0.511B + 128$$

$$Cr = 0.511R - 0.428G - 0.083B + 128$$

$$R = Y_{601} + 1.371(Cr - 128)$$

$$G = Y_{601} - 0.698(Cr - 128) - 0.336(Cb - 128)$$



$$B = Y601 + 1.732(Cb - 128)$$

计算机 RGB (0-255) 和 YCbCr:

$$Y601 = 0.257R + 0.504G + 0.098B + 16$$

$$Cb = -0.148R - 0.291G + 0.439B + 128$$

$$Cr = 0.439R - 0.368G - 0.071B + 128$$

$$R = 1.164(Y601 - 16) + 1.596(Cr - 128)$$

$$G = 1.164(Y601 - 16) - 0.813(Cr - 128) - 0.391(Cb - 128)$$

$$B = 1.164(Y601 - 16) + 2.018(Cb - 128)$$

高清转换公式:

视频 RGB (16-235) 和 YCbCr:

$$Y709 = 0.213R + 0.715G + 0.072B$$

$$Cb = -0.117R - 0.394G + 0.511B + 128$$

$$Cr = 0.511R - 0.464G - 0.047B + 128$$

$$R = Y709 + 1.540(Cr - 128)$$

$$G = Y709 - 0.459(Cr - 128) - 0.183(Cb - 128)$$

$$B = Y709 + 1.816(Cb - 128)$$

计算机 RGB (0-255) 和 YCbCr:

$$Y709 = 0.183R + 0.614G + 0.062B + 16$$

$$Cb = -0.101R - 0.338G + 0.439B + 128$$

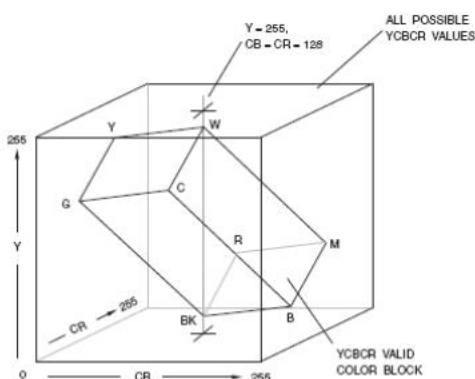
$$Cr = 0.439R - 0.399G - 0.040B + 128$$

$$R = 1.164(Y709 - 16) + 1.793(Cr - 128)$$

$$G = 1.164(Y709 - 16) - 0.534(Cr - 128) - 0.213(Cb - 128)$$

$$B = 1.164(Y709 - 16) + 2.115(Cb - 128)$$

YCbCr 转换成 RGB 会产生非法值



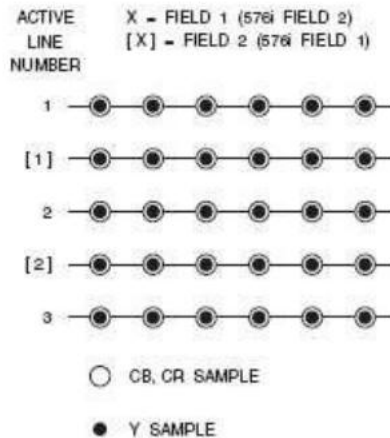
YCbCr 的格式:

4:4:4 – 每个像素有 Y, Cb, Cr 三个分量。

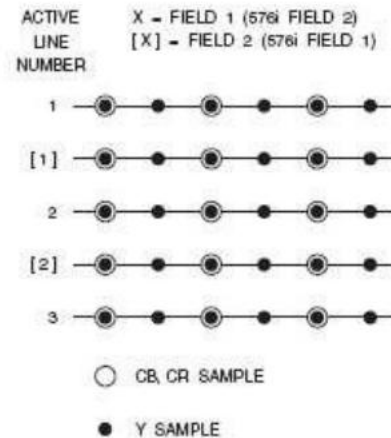
4:2:2 – 水平方向上, 每 2 个像素有 2 个 Y, 和 1 个 Cb, 1 个 Cr 分量。

4:1:1 – 水平方向上, 每 4 个像素有 4 个 Y, 和 1 个 Cb, 1 个 Cr 分量。

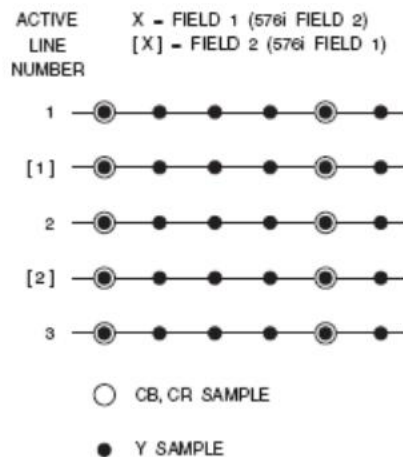
4:2:0 – 每个 2x2 像素块, 有 4 个 Y, 和 1 个 Cb, 1 个 Cr 分量。有 3 种变体。



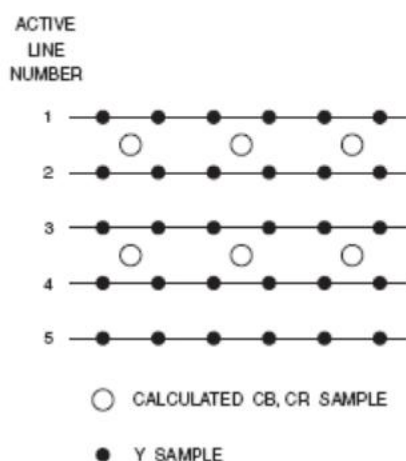
**Figure 3.2. 4:4:4 Co-Sited Sampling.** The sampling positions on the active scan lines of an interlaced picture.



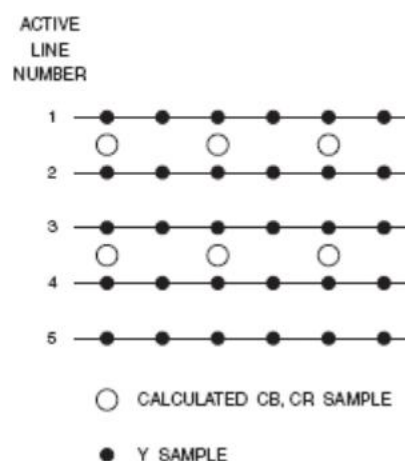
**Figure 3.3. 4:2:2 Co-Sited Sampling.** The sampling positions on the active scan lines of an interlaced picture.



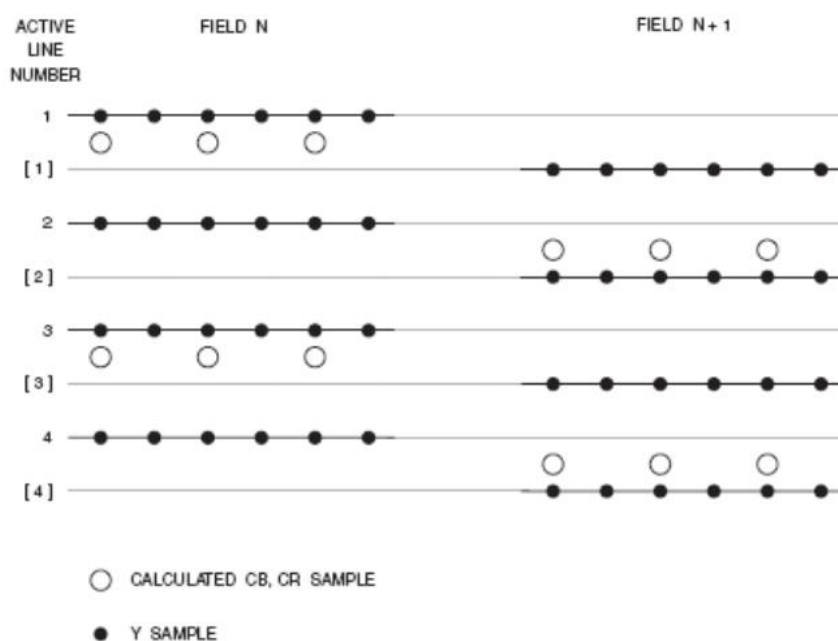
**Figure 3.5. 4:1:1 Co-Sited Sampling.** The sampling positions on the active scan lines of an interlaced picture.



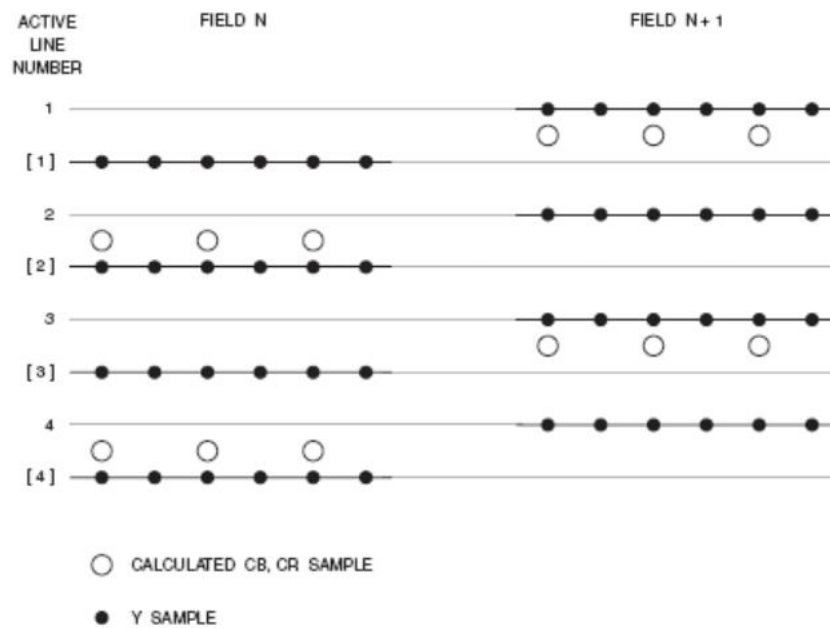
**Figure 3.7. 4:2:0 Sampling for H.261, H.263, and MPEG-1. The sampling positions on the active scan lines of a progressive or noninterlaced picture.**



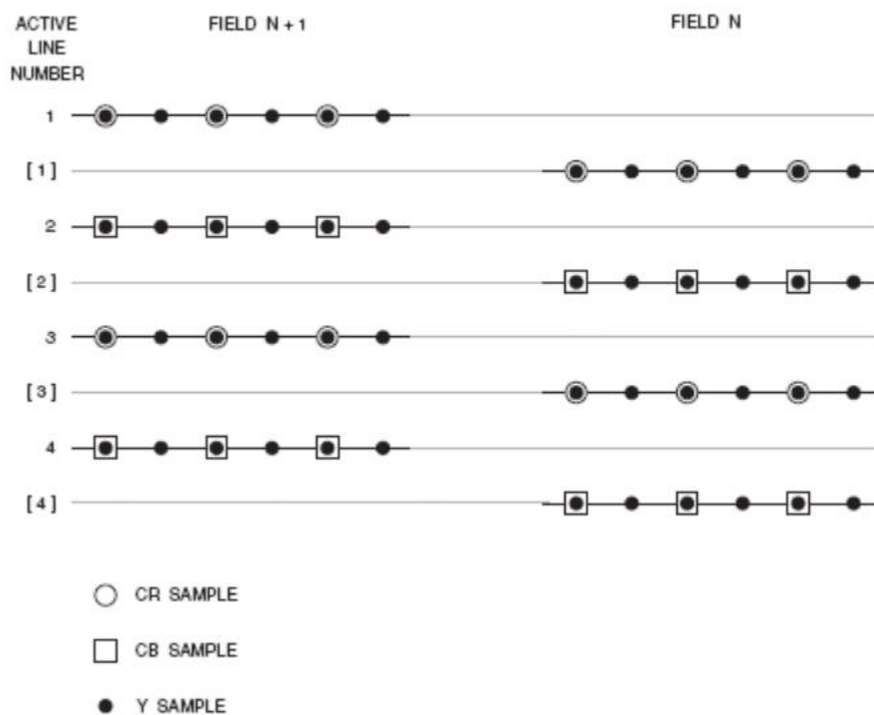
**Figure 3.8. 4:2:0 Sampling for MPEG-2, MPEG-4 Part 2 and H.264. The sampling positions on the active scan lines of a progressive or noninterlaced picture.**



**Figure 3.9. 4:2:0 Sampling for MPEG-2, MPEG-4 Part 2 and H.264. The sampling positions on the active scan lines of an interlaced picture (top\_field\_first = 1).**



**Figure 3.10. 4:2:0 Sampling for MPEG-2, MPEG-4 Part 2 and H.264. The sampling positions on the active scan lines of an interlaced picture (top\_field\_first = 0).**



**Figure 3.11. 4:2:0 Co-Sited Sampling for 576i DV and DVCAM. The sampling positions on the active scan lines of an interlaced picture.**

### HSI, HLS 和 HSV 色彩空间

H – hue 色度，S – saturation 饱和度，I – intensity，L – lightness，V – value 都指亮度。一些系统用来提供直观的色彩表达方式。HSI 和 HLS 等同，HSV 与之的不同点在于从 RGB 计算亮度值的公式不同，同时影响



到饱和度值的计算。HSI 的 I 值等量依赖于 RGB 值，适合用来进行亮度处理；HSV 的饱和度动态空间比较大，适合用来调整饱和度和色度。

### 色品图 chromaticity diagram

1931 年 CIE 组织(International Commission on Illumination or Commission Internationale de l'Eclairage)绘制了色品图，把所有的 RGB 表示的颜色放置在一个图形中。

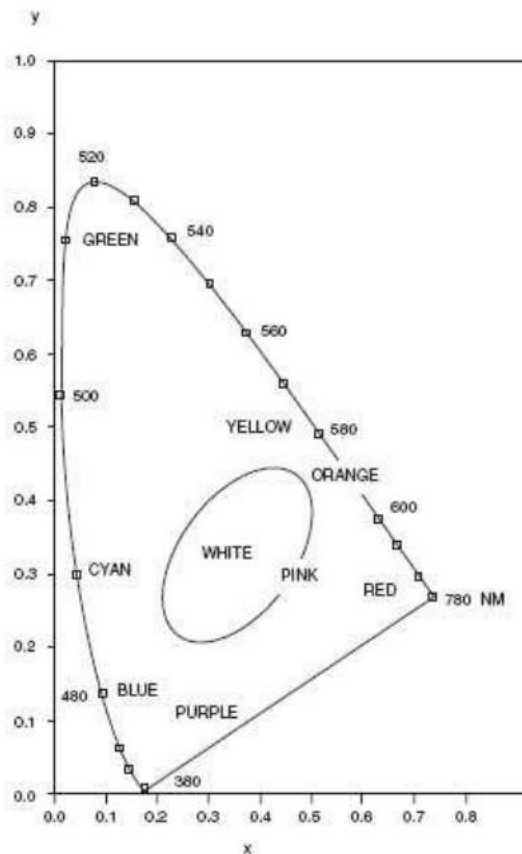


Figure 3.14. CIE 1931 Chromaticity Diagram Showing Various Color Regions.

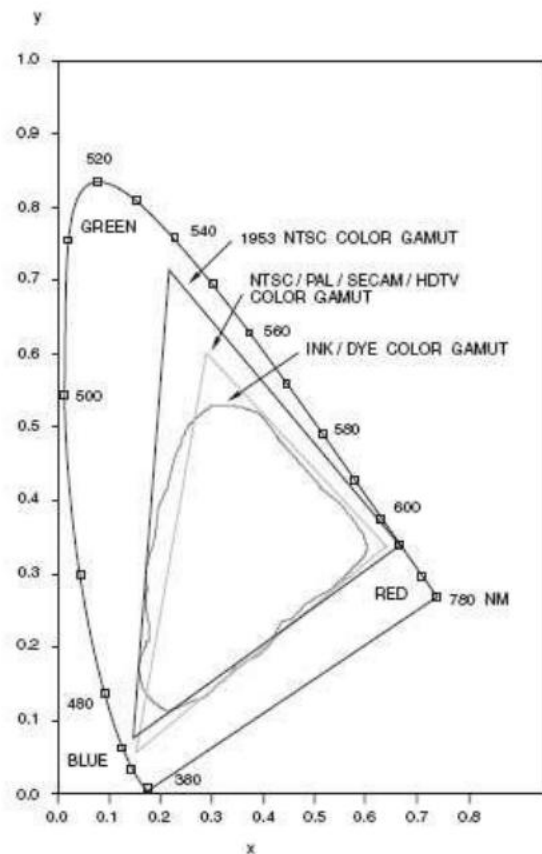


Figure 3.15. CIE 1931 Chromaticity Diagram Showing Various Color Gamuts.

坐标计算公式： $x = R/(R + G + B)$ ， $y = G/(R + G + B)$ ， $z = B/(R + G + B)$

由于  $x+y+z$  总是 1，所以一个颜色值可以用  $x,y$  在二维平面图上唯一代表。

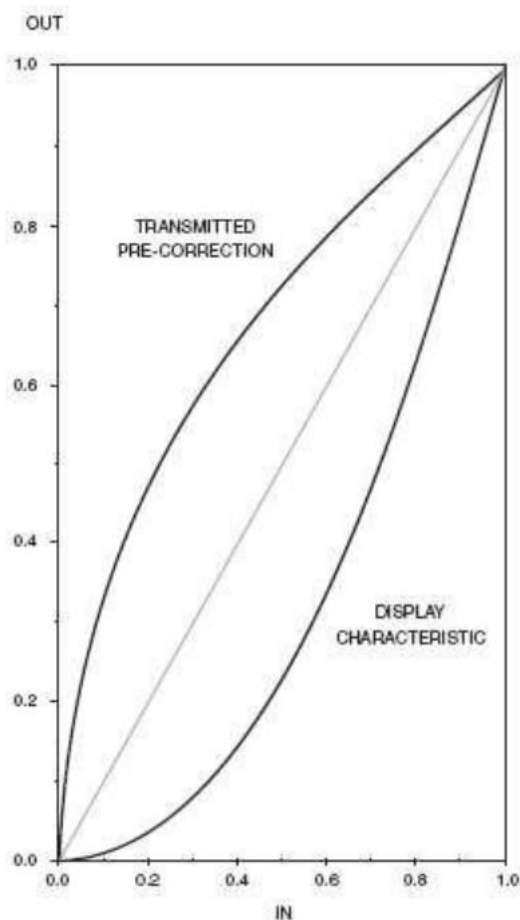
沿形状的曲线外沿一周是红绿蓝三基色（波长从 700nm 到 400nm），以及各种最饱和颜色，下方直线是紫色线。形状内部越接近中心饱和度越小，直至白色。形状外不是颜色区，图中没有黑色。

注意各种电视制式都不能产生所有 RGB 可以表示的颜色，只能覆盖一定的区域。

### Gamma 校正

在电视和图形监视器中，显像管发生的电子束及其生成的图像亮度并不是随显像管的输入电压线性变化，输入电压与对应亮度的转换关系曲线，称为伽玛曲线（Gamma Curve）。以传统 CRT（Cathode Ray Tube）屏幕的特性而言，该曲线通常是一个乘幂函数， $Y=(X+e)^\gamma$ ，其中，Y 为亮度、X 为输出电压、e 为补偿系数、乘幂值（ $\gamma$ ）为伽玛值，改变乘幂值（ $\gamma$ ）的大小，就能改变 CRT 的伽玛曲线。电子流与输入电压相比

是按照指数曲线变化的，输入电压的指数要大于电子束的指数。这说明暗区的信号要比实际情况更暗，而亮区要比实际情况更高。所以，要重现摄像机拍摄的画面，电视和监视器必须进行伽玛补偿。这种伽玛校正也可以由摄像机完成。我们对整个电视系统进行伽玛补偿的目的，是使摄像机根据入射光亮度与显像管的亮度对称而产生的输出信号，所以应对图像信号引入一个相反的非线性失真，即与电视系统的伽玛曲线对应的摄像机的伽玛曲线，它的值应为  $1/\gamma$ ，我们称为摄像机的伽玛值。电视系统的伽玛值约为 2.2，所以电视系统的摄像机非线性补偿伽玛值为 0.45。彩色显像管的伽玛值为 2.8，它的图像信号校正指数应为  $1/2.8 = 0.35$ ，但由于显像管内外杂散光的影响，重现图像的对比度和饱和度均有所降低，所以现在的彩色摄像机的伽玛值仍多采用 0.45。在实际应用中，我们可以根据实际情况在一定范围内调整伽玛值，以获得最佳效果。



### 模拟信号幅度的表示单位

这里的 YUV 模拟信号是针对 ITU.601 规定的 SD 的 PAL 和 NTSC 来说的。对于 HD，由于根本没有这样的模拟 YUV 信号传送（见 Digital Video and HDTV 335 页，即使 SD 的分量信号实际上也不用模拟 YUV），也就不存在一个 HD YCbCr 信号到 YUV 的转换公式，

对于 PAL 制，画面信号的亮度范围 ITU.601 规定为 0 到 700mV，即归一化的 Y 的 0 到 1 线性对应于 0 到 700mV；UV 和 Y 的单位一致，也就是色度幅度信号  $\sqrt{U^2 + V^2}$  的 0 到 1 线性对应于 0 到 700mV，显示时再乘以 2。

0 叫做 Blanking Level（等同于 Black Level），100 叫做 White Level。

PAL 制我们也可以采用计算机化的 0 – 100%来显示，有利于表示 100%，75%彩条的标准位置。

顺便指出，HD 系统的信号范围和 PAL 制相同；尽管示波器显示对于 HD 的 YCbCr 转换后的显示无意义。

NTSC 的情况如下：

总的画面信号亮度范围是 0 到  $714\frac{2}{7}\text{mV}$ ，或者用 IRE 单位表示，0 到 100 IRE，所以每个 IRE 单位约为  $71.4\text{mV}$ 。IRE 是 Institute of Radio Engineers，是 IEEE（美国电气电子工程师协会）的前身。

在日本 N 制中，Y 的 0 到 1 被线性映射到上述整个物理范围。

在美国 N 制中，Y 的 0 到 1 被线性映射到 7.5 – 100 IRE 之间，或者  $53\frac{4}{7}\text{mV}$  到  $714\frac{2}{7}\text{mV}$  之间。

色度幅度信号  $\sqrt{U^2 + V^2}$  的 0 到 1 映射范围相同，注意美国 N 制时映射到 0 到 92.5 IRE。

这里 0 叫做 Blanking Level，100 叫做 White Level。在日本 N 制中 Black Level 等同于 Blanking Level；美国 N 制的 Black Level 则是 7.5 IRE，被称为黑电平提升（setup, lift, pedestal [‘pedistl]支架等等）；日本 N 制，PAL 制，HD 被对应地称为 “0 Setup”。

N 制我们也可以采用计算机化的 0 – 100%来显示，在日本 N 制中等同于 IRE 表示，但在美国 N 制中 0 到 100%映射在 7.5 到 100 IRE 的区域内，因此不同于 IRE 显示。

有的文档（包括 Video Demystified）中，对 PAL 信号也用 IRE 表示。Video Demystified 710 页把 IRE 定义成把 Blanking Level 到 White Level 之间等分为 100 份的单位，而不是只限于 N 制的相当于  $71.4\text{mV}$  的单位。除了美国 N 制外，其它制式 Black Level 等同于 Blanking Level，所以这些制式中 IRE 等同于百分比，在 PAL 制和 HD 中相当于 70mV。

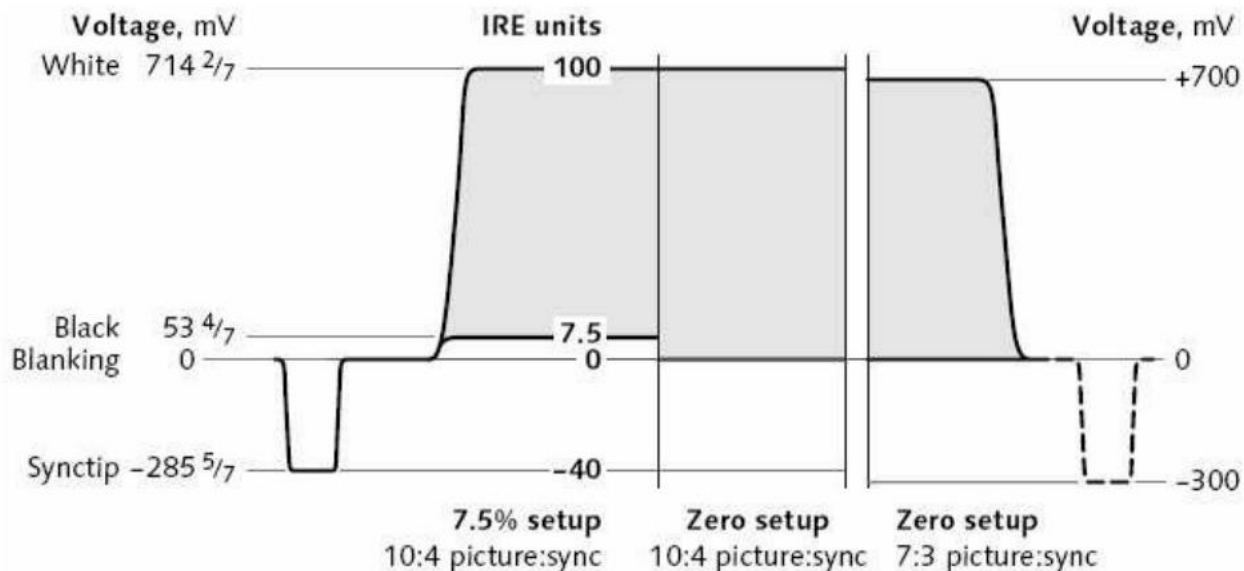


Figure 27.2 **Comparison of 7.5% and zero setup.** The left-hand third shows the video levels of composite 480i video, with 7.5% setup and 10:4 picture-to-sync ratio. This coding is used in some studio equipment and in most computer monitor interfaces. The middle third shows zero setup and 10:4 picture-to-sync, as used in 480i video in Japan. EBU N10 component video, 576i systems, and HDTV use zero setup, 700 mV picture, and 300 mV sync, as shown at the right.

# 视音频信号种类和物理接口

---

## 模拟视频信号的格式

### 复合信号 Composite Video

在一路信号中，使用不同的频率把亮度、色度、同步等所有视频信号结合在一起。只使用一个连接线传输即可。标准的 PAL 和 NTSC 信号就是复合信号。信号使用 BNC 或者“莲花”端子连接。

### 分量信号 Component Video

使用 3 路信号分别传输模拟的经过 Gamma 校正的 RGB 信号，或者更常见地，YPbPr 信号，就是模拟 YUV 信号经过某种线形变换之后的形式，通常线缆上或者接口上会标注 Y、Pb、Pr 或者 Y、U、V 或者 Y、R-Y、B-Y 等。信号使用 BNC 或者“莲花”端子连接。

### S-Video 或 Y/C

用两路信号分别传送亮度信号 Y 和将 U、V 正交调制而成的色度信号 C。信号使用专门的 4 针 mini-DIN 端子连接。

---

## 数字视频信号的格式

### SDI

Serial Digital Interface 串行数字接口。SMPTE 定义的专业视频数据传输接口，速率为 143Mb/s 或者 360Mb/s，通常用来传输非压缩视频数据。HD SDI 标准由 SMPTE 292M 定义，速率为 1.485 Gbit/s。SMPTE 372M 定义了 Dual Link SDI，速率为 2.970 Gbit/s，最近又定义了 3G-SDI，同样速率，都是为 HD 电视之上的数字影院使用。SDI 信号一般使用同轴电缆和 BNC 端子连接，传输距离设计为演播室内部使用（300 米以内）。

Standard	Name	Bitrates	Example Video Formats
SMPTE 259M	SD-SDI	270 Mb/s, 360 Mb/s, 143 Mb/s, 177 Mb/s	480i, 576i
SMPTE 344M		540 Mb/s	480p, 576p
SMPTE 292M	HD-SDI	1.485 Gb/s, and 1.485/1.001 Gb/s	720p, 1080i, 1080p
SMPTE 372M	Dual Link HD-SDI	2.970 Gb/s, and 2.970/1.001 Gb/s	1080p 10b 50/60 fps
SMPTE 424M	3G-SDI	2.970 Gb/s, and 2.970/1.001 Gb/s	1080p 10b 50/60 fps

### SDTI

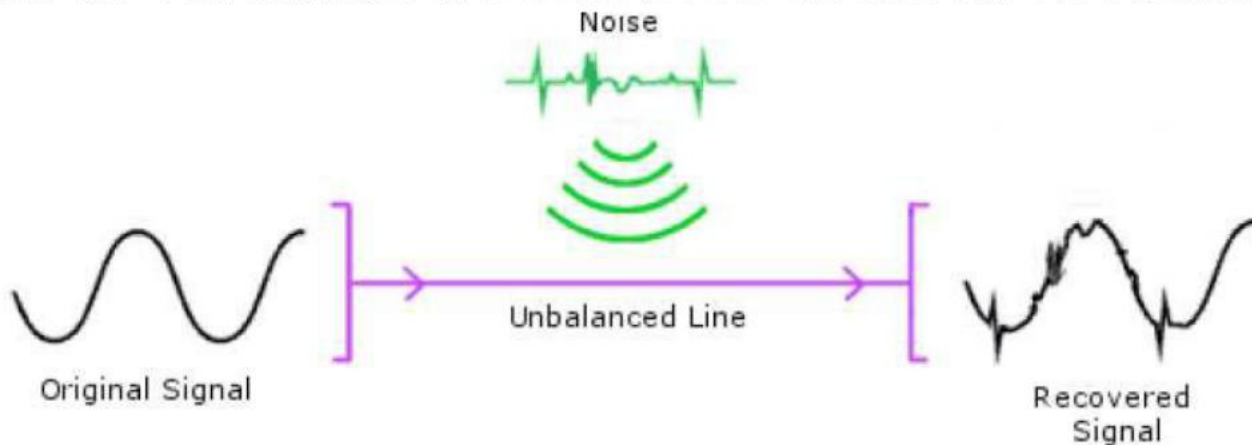
Serial Data Transmission Interface 串行数据传输接口。SMPTE 定义的 SDI 的变体，用来传输任意格式的数据，而非限于非压缩视频数据。主要是压缩到视频流数据(DV, DVCPRO, BetaSX, MPEG2)，由于是在 SDI 实时传输非压缩数据的定义的逻辑和物理结构的基础之上传输压缩数据，所以可以做到超实时(2x, 4x 等)。270Mb/s 速率的 SDTI 由 SMPTE 305M 定义，而 1.5Gb/s 的 HD SDTI 由 SMPTE 348M 定义。



## 模拟音频信号

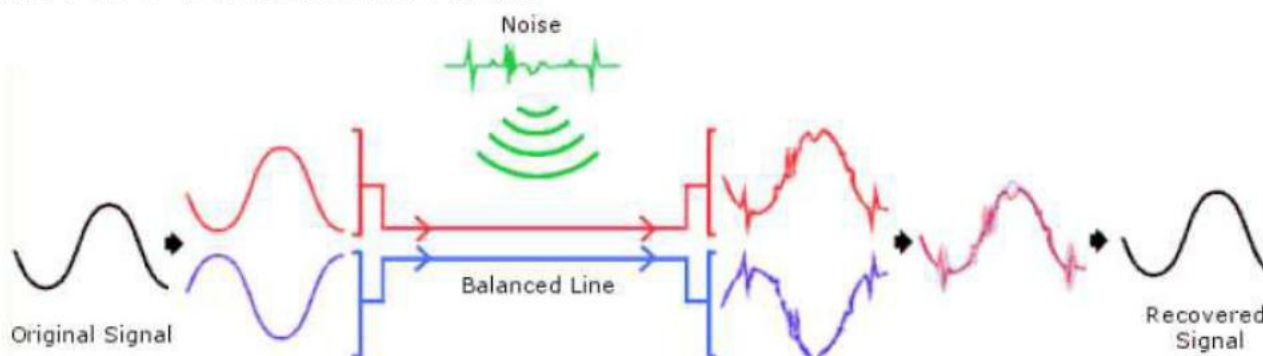
### 非平衡音频连接及其弱点

音频电缆中有 2 根铜线，一条信号线、一条地线，即普通的一条 RCA 线和莲花插头。家用音响多为非平衡输入输出。非平衡连接的弱点在于噪声控制比较差，如下图噪声透过电缆保护层加入到信号中无法去除。



### 平衡音频

平衡音频电缆中采用 3 根导线，2 条传输信号，1 条是地线。源设备通过这 2 条信号线传输相位完全相反的的信号，两条导线制作成具有相当一致的阻抗特性和缠绕方式，所以各自拾取的噪声信号也相同，接收设备收到信号后，将第 2 路反相回来，这样其中的噪声就变成与第 1 路中的噪声反相了，2 路信号相加，即除去了噪声。专业音频设备多使用平衡线路。



平衡音频使用 3 针 XLR 接头（卡农）或 1/4"TRS 接头。



2.5, 3.5 and 6.35 mm TRS plugs



XLR3 cable connectors, female on left and male on right



XLR and 1/4" TRS combo jack.

---

## 数字音频信号的格式

### SDI 嵌入式音频信号

在 SDI 信号中，都提供 16 路单声道音频信号的传输，格式均为 24bit，48KHz 的 PCM 音频。音频数据记录在水平消隐期对应的信号数据中。

### AES/EBU 音频信号

AES/EBU 的全称是 Audio Engineering Society/European Broadcast Union（音频工程师协会/欧洲广播联盟），现已成为专业数字音频较为流行的标准。大量民用产品和专业音频数字设备如 CD 机、DAT、MD 机、数字调音台、数字音频工作站等都支持 AES/EBU。

AES/EBU 是一种通过基于单根绞合线对来传输数字音频数据的串行位传输协议。它无须均衡即可在长达 100m 的距离上传输数据，如果均衡，可以传输更远距离。它提供两个信道的音频数据（最高 24 比特量化），信道是自动计时和自同步的。它也提供了传输控制的方法和状态信息的表示(channel status bit)和一些误码的检测能力。它的时钟信息是由传输端控制，来自 AES/EBU 的位流。它的三个标准采样率是 32kHz、44.1kHz、48kHz，当然许多接口能够工作在其它不同的采样率上。

AES/EBU 提供“专业”和“消费”两种模式。它们两者最大的不同在于信道状态位格式的提供上。专业模式的状态位格式里包括数字信道的源和目的地址、日期时间码、采样点数、字节长度和其它信息。消费模式包括的东西就比较少，但包含了拷贝保护信息。另外，AES/EBU 标准提供“用户数据”，在它的位流里包含用户说明（例如厂商说明等）。

AES/EBU 的普通物理连接媒质有：（1）平衡或差分连接，使用 XLR（卡侬）连接器的三芯话筒屏蔽电缆，参数为阻抗 110Ω，电平范围 0.2V~5Vpp，抖动为±20ns。（2）单端非平衡连接，使用 RCA 插头的音频同轴电缆。（3）光学连接，使用光纤连接器。

---

## 同步 Genlock

Genlock（Generator Lock）同步锁相也是一种帧同步技术，通常用于视频后期处理、非线性编辑（NLE）和演播室。该技术可以使工作站图形系统的输出信号与外部生成的（GEN）信号进行同步（LOCK），从而确保演播室中的所有设备（摄像机、录像机、动画或字幕机等等）之间的有效协作。

各个设备间行、场扫描的同步信号必须一致，如果使用复合信号，则其中的色度付载波的相位也必须相同。广播系统中的同步信号通常使用同步信号发生器产生，其中包含垂直和水平同步脉冲和色度相位脉冲。这个模拟信号通常称为 Black Burst（BB）黑场同步信号。

### 双电平同步信号 Bi-level Sync

传统的 BB 信号。有一个同步脉冲，从消隐电平向下到达同步峰值电平-285 5/7mV 或者-300mV。双电平同步信号主要用于标清设备，也可以用于高清设备。

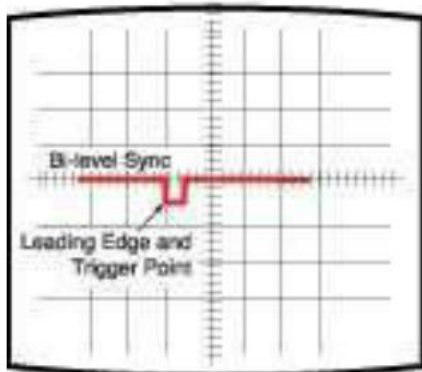


Figure 1

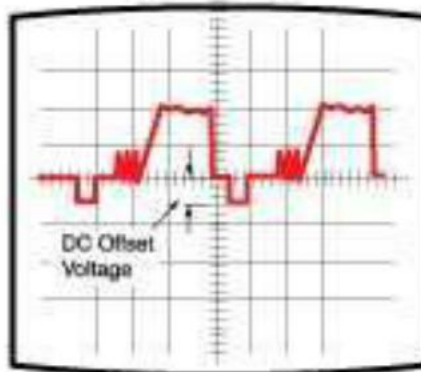


Figure 2

### 三电平同步信号 Bi-level Sync

有 2 个反向的脉冲，从消隐电平向下到达同步峰值电平-300mV，再向上到达+300mV，然后回到消隐电平。三电平的主要好处是使接收端的模拟电路更容易找到同步信号，也更容易在信号送往显示电路前从中剔除同步信号，避免串扰。三电平同步信号应用于高清设备中，是 SMPTE 的 HD 标准之一（SMPTE 240）。

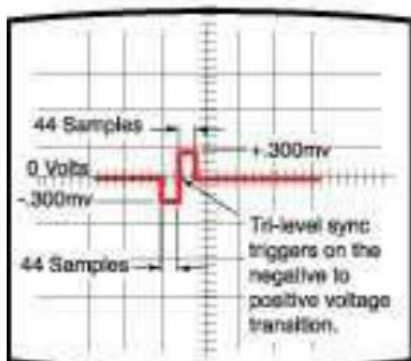


Figure 3

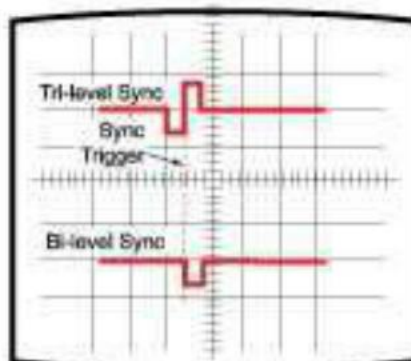


Figure 4

## 视音频信号端子

### BNC 端子



Bayonet Neill-Concelman (Neill-Concelman 卡销)：一种同轴电缆连接头，现在由 IEC-168 标准定义。广泛应用于专业视频领域。在贝尔实验室工作的 Paul Neill 曾经开发了一种带螺纹的接头，被美国海军采用，叫做 N 接头，后来 Carl Concelman 又开发了一种接头，采用了滑入在旋转卡住的办法，称为 C 接头。两人合作开发了一种类似的较小的接头，成了现在的 BNC。

### RCA 莲花插头 RCA plug, RCA phono (唱机) connector

RCA 是 Radio Corporation of American 的缩写词，因为 RCA 接头由这家公司发明的。RCA 俗称莲花插座，几乎所有的电视机、影碟机类产品都有这个接口。它并不是专门为哪一种接口设计，既可以用在音频，又可以用在普通的视频信号，也是 DVD 分量(YCrCb)的插座，只不过数量是三个。RCA 接头是目前为止最为常见的一种音/视频接线端子。这种双线连接方式的端子早在收音机出现的时代便由 RCA 录音公司发明出来，还有一个更老式、也比较奇怪的称呼叫做“唱盘”接头。

RCA 端子采用同轴传输信号的方式，中轴用来传输信号，外沿一圈的接触层用来接地，可以用来传输数字音频信号和模拟视频信号。RCA 音频端子一般成对地用不同颜色标注：右声道用红色，左声道用黑色或白色。有的时候，中置和环绕声道连接线会用其他的颜色标注来方便接线时区分，但整个系统中所有的 RCA 接头在电气性能上都是一样的。一般来讲，RCA 立体声音频线都是左右声道为一组，每声道外观上是一根线。



不像射频接口那样包含了音频信号，复合视频 (Composite) 通常采用黄色的 RCA (莲花插座) 接头。“复合”含义是同一信道中传输亮度和色度信号的模拟信号，但电视机如果不能很好的分离这两种信号，就会出现虚影。



色差 (Component) 通常标记为 Y/Pb/Pr，用红、绿、蓝三种颜色来标注每条线缆和接口。绿色线缆 (Y)，传输亮度信号。蓝色和红色线缆 (Pb 和 Pr) 传输的是颜色差别信号。色差的效果要好于 S 端子，因此不少 DVD 以及高清播放设备上均采用该接口。如果使用优质的线材和接口，即使采用 10 米长的线缆，色差线也能传输优秀的画面。

### Mini-DIN 端子





德国标准机构 Deutsches Institut für Normung 早期开发的一组多针的电气接口称为 DIN 端子，后来开发了更小的接头，叫 Mini-DIN。包括 3 针到 9 针共 7 个完全不同的标准。其中，4 针被 S-Video 信号标准采用作为专用接头；6 针则被 PS/2 键盘鼠标设备采用。



S 端子（S-Video）连接采用 Y/C（亮度/色度）分离式输出，使用四芯线传送信号，接口为四针接口。接口中，两针接地，另外两针分别传输亮度和色度信号。因为分别传送亮度和色度信号，S 端子效果要好于复合视频。不过 S 端子的抗干扰能力较弱，所以 S 端子线的长度最好不要超过 7 米。

### 射频端子



天线和模拟闭路连接电视机就是采用射频（RF）接口。作为最常见的视频连接方式，它可同时传输模拟视频以及音频信号。RF 接口传输的是视频和音频混合编码后的信号，显示设备的电路将混合编码信号进行一系列分离、解码在输出成像。由于需要进行视频、音频混合编码，信号会互相干扰，所以它的画质输出质量是所有接口中最差的。有线电视和卫星电视接收设备也常用 RF 连接，但这种情况下，它们传输的是数字信号。

### VGA 端子



VGA（Video Graphics Array）还有一个名称叫 D-Sub。VGA 接口共有 15 针，分成 3 排，每排 5 个孔，是显卡上应用最为广泛的接口类型，绝大多数显卡都带有此种接口。它传输红、绿、蓝模拟信号以及同步信号（水平和垂直信号）。使用 VGA 连接设备，线缆长度最好不要超过 10 米，而且要注意接头是否安装牢固，否则可能引起图像中出现虚影。

### DVI 端子

DVI（Digital Visual Interface）接口与 VGA 都是电脑中最常用的接口，与 VGA 不同的是，DVI 可以传输数字信号，不用再经过数模转换，所以画面质量非常高。目前，很多高清电视上也提供了 DVI 接口。需要注意的是，DVI 接口有多种规范，常见的是 DVI-D（Digital）和 DVI-I（Intergrated）。DVI-D 只能传输数字信号，大家可以用它来连接显卡和平板电视。DVI-I 则在 DVI-D 可以和 VGA 相互转换。



## HDMI



HDMI (High Definition Multimedia Interface) 接口是最近才出现的接口，它同 DVI 一样是传输全数字信号的。不同的是 HDMI 接口不仅能传输高清数字视频信号，还可以同时传输高质量的音频信号。同时功能跟射频接口相同，不过由于采用了全数字化的信号传输，不会像射频接口那样出现画质不佳的情况。对于没有 HDMI 接口的用户，可以用适配器将 HDMI 接口转换位 DVI 接口，但是这样就失去了音频信号。高质量的 HDMI 线材，即使长达 20 米，也能保证优质的画质。

## IEEE 1394



IEEE 1394 也称为火线或 iLink，它能够传输数字视频和音频及机器控制信号，具有较高的带宽，且十分稳定。通常它主要用来连接数码摄像机、DVD 录像机等设备。IEEE 1394 接口有两种类型：6 针的六角形接口和 4 针的小型四角形接口。6 针的六角形接口可向所连接的设备供电，而 4 针的四角形接口则不能。