





第2章 视频信号的数字化



本章学习目标

- 熟悉视频信号数字化的过程，掌握均匀量化的原理。
- 理解“量化”是数字电视信号产生失真的主要根源，掌握量化信噪比**SNR**（用分贝表示）与量化比特数 n 之间的关系。
- 熟悉**ITU-R BT.601**、**ITU-R BT.709**、**ITU-R BT.2020**建议和我国数字电视节目制作及交换用视频参数，以及各参数选取的原则和依据。
- 了解**ITU-R BT.656**和**ITU-R BT.1120**视频信号接口标准。

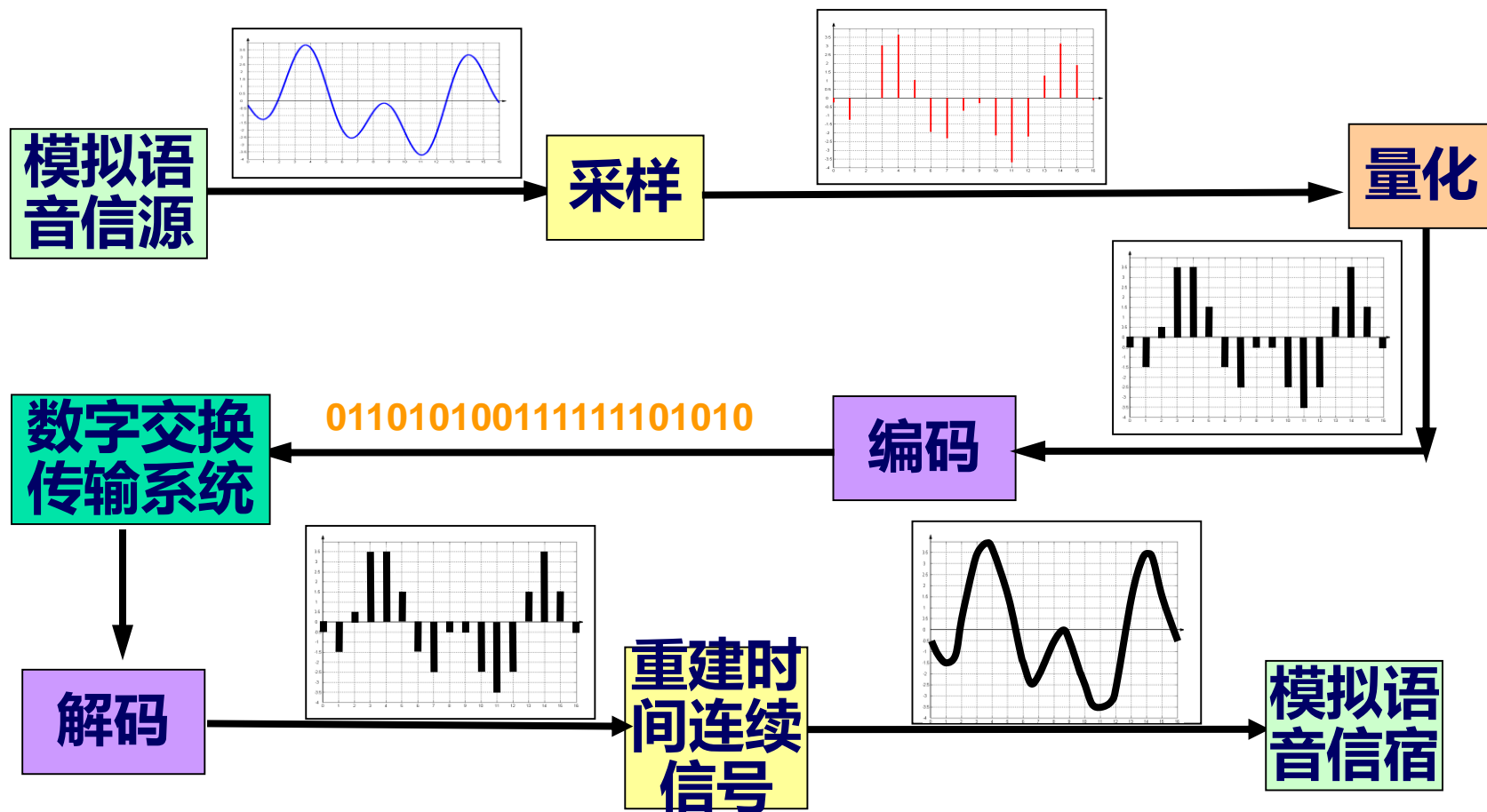


第2章 视频信号的数字化

- 2.1 信号的数字化
- 2.2 视频信号的数字化
- 2.3 数字电视演播室视频信号接口

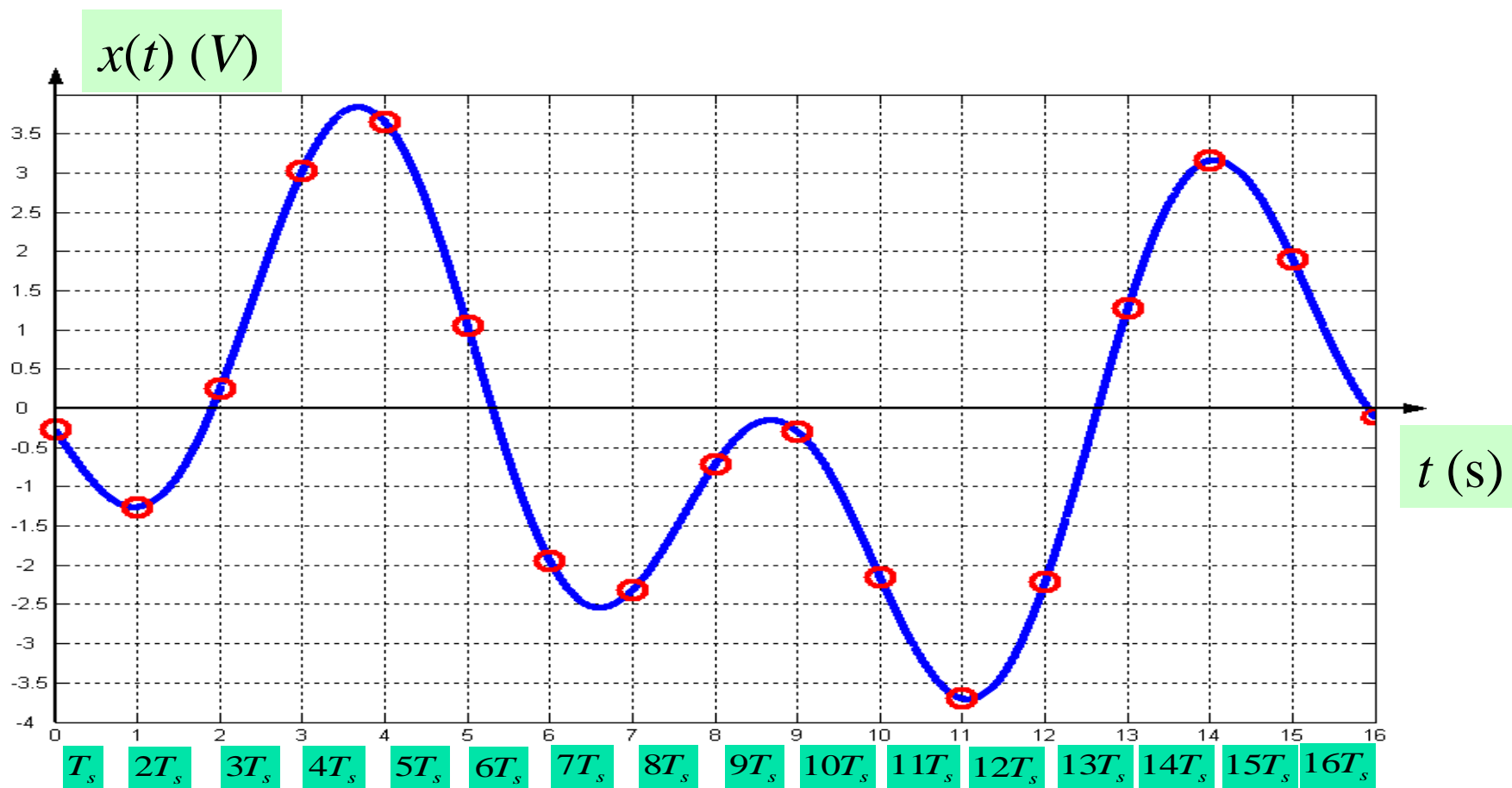
2.1 信号的数字化

□ 模拟信号数字化的三个步骤：采样、量化、编码



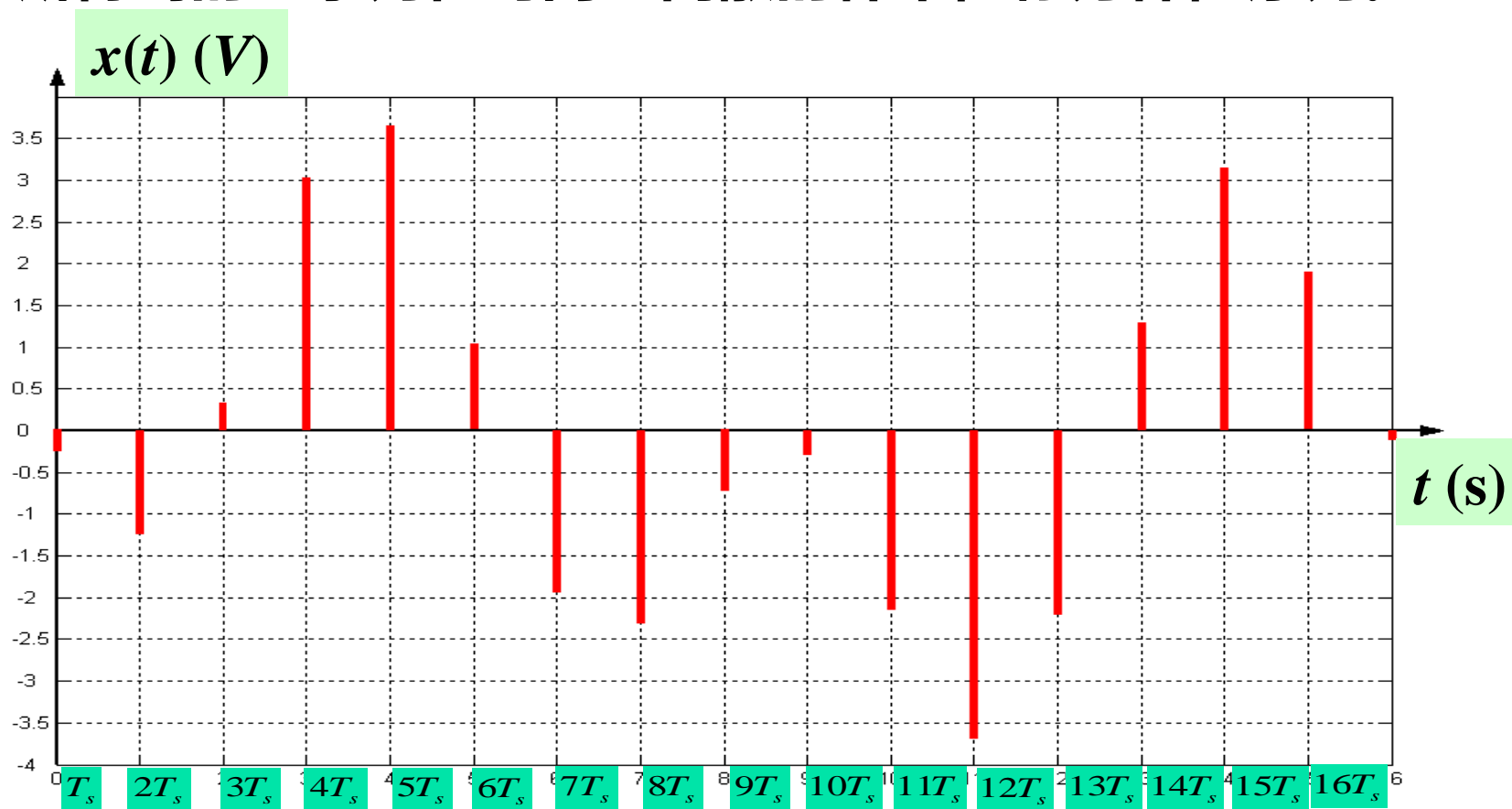
2.1 信号的数字化

■ 采样 (Sampling) : ——时间离散化



2.1 信号的数字化

- **采样：**每隔一定的时间间隔，抽取信号的一个瞬时幅度值（样本值），即在时间上将模拟信号进行离散化。采样后所得到的一系列在时间上离散的样本值称为样值序列。

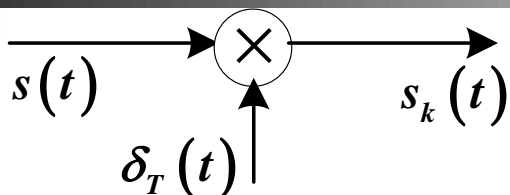




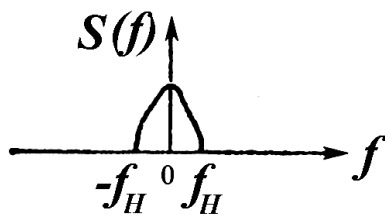
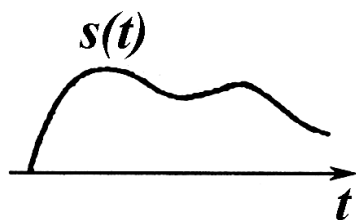
2.1 信号的数字化

- **奈奎斯特 (Nyquist) 采样定理**：只要采样频率**大于或等于声音信号最高频率的两倍** ($f_s \geq 2f_{\max}$)，就可以通过理想低通滤波器，从样值序列中无失真地恢复原始模拟信号。也就是说，在满足奈奎斯特采样定理的条件下，在时间上离散的样值序列包含有采样前模拟信号的全部信息。

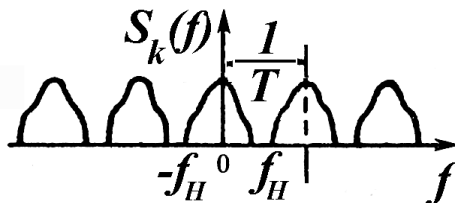
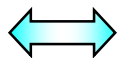
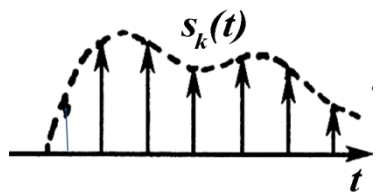
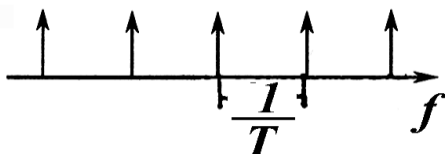
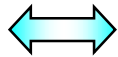
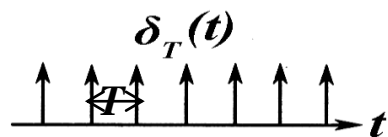
2.1 信号的数字化



$$s_k(t) = s(t) \delta_T(t) \\ = \sum_{n=-\infty}^{\infty} s_n \delta(t - nT_s)$$



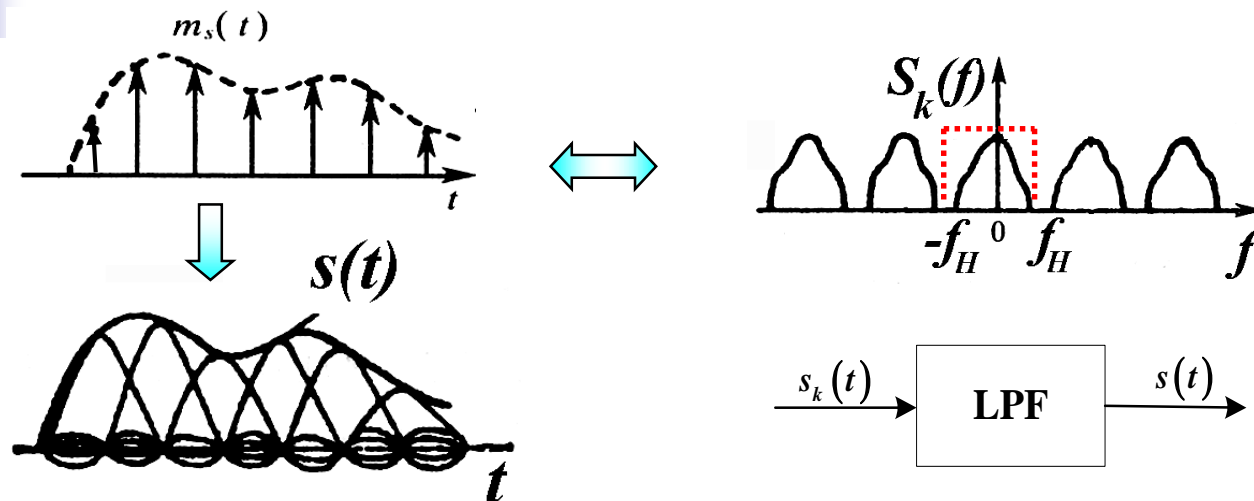
$$\delta_T(f) = \frac{1}{T_s} \sum_{n=-\infty}^{+\infty} \delta(f - nf_s)$$



$\frac{1}{T} \geq 2f_H$ 时,
 $S(f)$ 周期性地
重复而不重叠.

$$S_k(f) = S(f) * \delta_T(f) \\ = S(f) * \frac{1}{T_s} \sum_{n=-\infty}^{+\infty} \delta(f - nf_s) \\ = \frac{1}{T_s} \sum_{n=-\infty}^{+\infty} S(f - nf_s)$$

采样——原始信号重建



$$S_k(f) \cdot \text{rect}\left(\frac{f}{2f_H}\right) = \frac{1}{T_s} \sum_{n=-\infty}^{\infty} S(f - nf_s) \cdot \text{rect}\left(\frac{f}{2f_H}\right) = \frac{1}{T_s} S(f)$$

$$\therefore s(t) = T \left[s_k(t) * 2f_H \text{Sa}(2\pi f_H t) \right] \quad \xrightarrow{T=1/2f_H}$$

$$= \sum_{n=-\infty}^{\infty} s_n \delta(t - nT_s) * \text{Sa}(2\pi f_H t) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} s_n \text{Sa}[2\pi f_H (t - nT_s)]$$

2.1 信号的数字化

- 采样信号频谱：调制信号原始谱 $S(f)$ 在频率位置 $\delta(f - nf_s)$ 的复制。
- 最小采样频率： $f_{s \min} = 2f_H$ —— *Nyquist* 速率
- 最大采样时间间隔： $T_{s \max} = \frac{1}{f_{s \min}} = \frac{1}{2f_H}$ —— *Nyquist* 间隔
- 单位时间内最小采样数目： $N_{\min} = \frac{1}{T_{s \max}} = 2f_H$
- 特点：当采样频率 $f_s \geq 2f_H$ 时，无频谱交叠，信号可以无失真恢复。

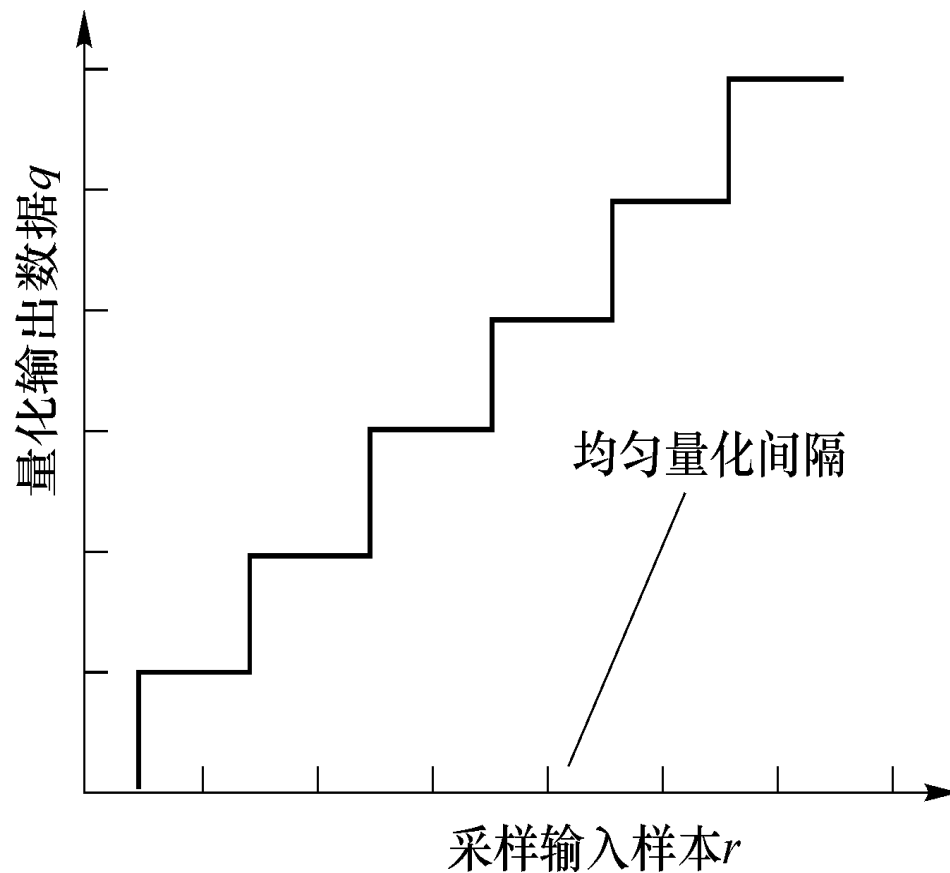
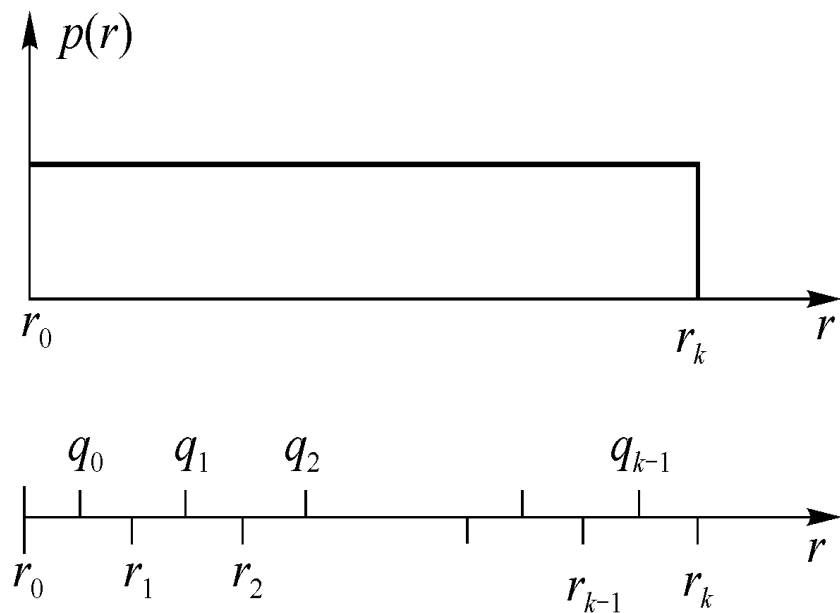


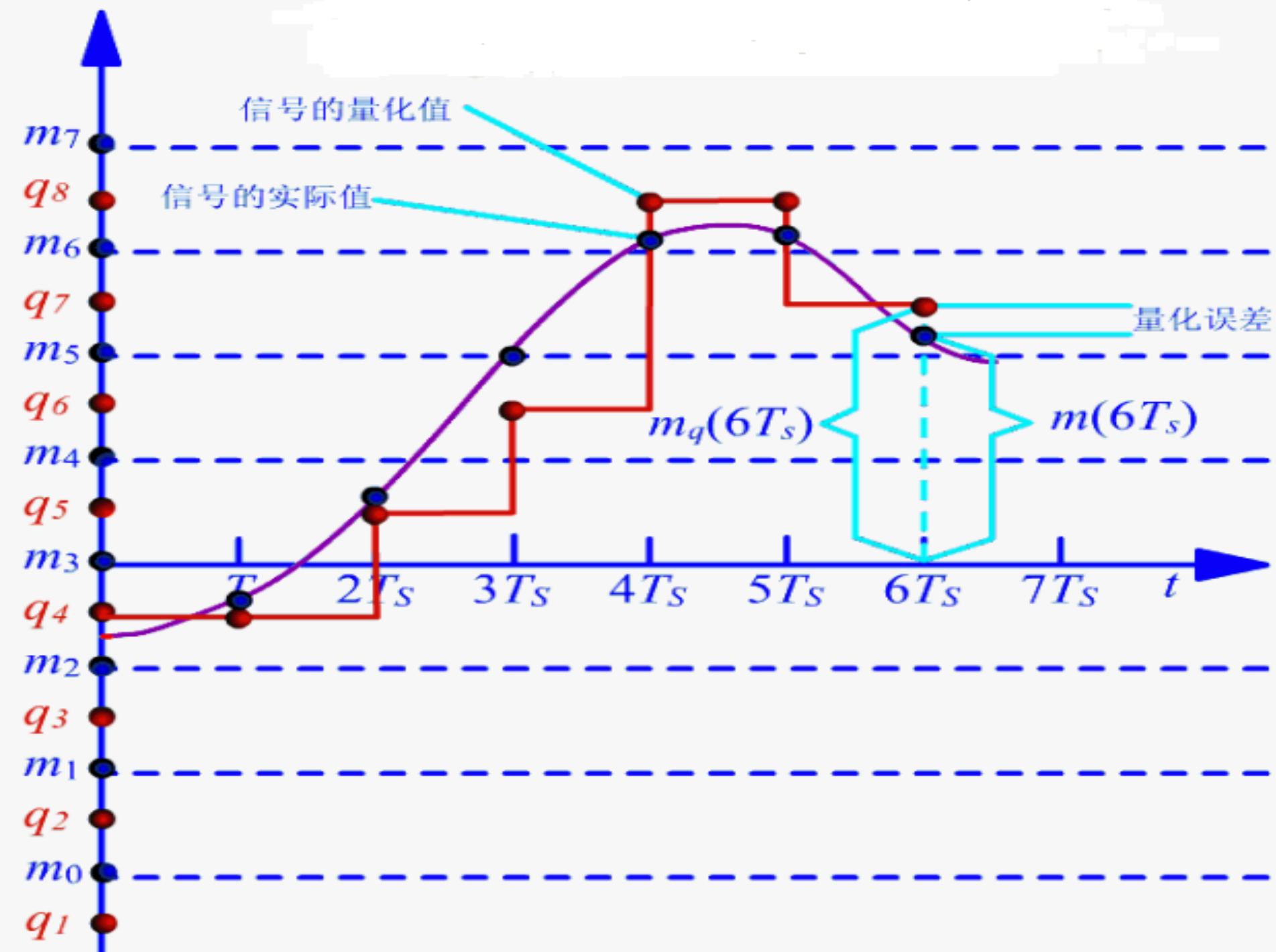
2.1 信号的数字化

- **量化 (Quantization)** : 对每个样值的连续幅度进行离散化, 即用有限个幅度值近似原来连续变化的幅度值, 把模拟信号的连续幅度变为有限数量、有一定间隔的离散值。
 - **均匀量化 (线性量化)** : 量化器的每个量化间隔都相等, 量化电平取各量化区间的中间值。
 - **非均匀量化 (非线性量化)** : 量化器的各个量化间隔是不相等的。

2.1 信号的数字化

■ 均匀量化





2.1 信号的数字化

■ 均匀量化

设输入信号范围为 $[a, b]$ ，量化级数为 M

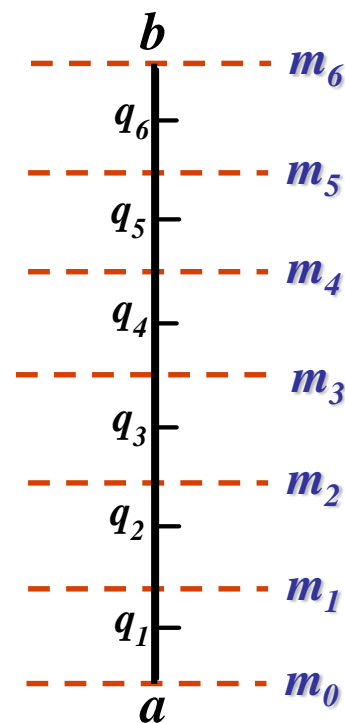
■ 量化间隔： $\Delta = \frac{b-a}{M}$

■ 第 i 个量化区间的终点：

$$m_i = a + i \cdot \Delta, \quad i = 0, 1, 2, \dots, M$$

■ 第 i 个量化区间的量化电平：

$$q_i = \frac{1}{2}(m_{i-1} + m_i) = a + i \cdot \Delta - \frac{\Delta}{2}$$



2.1 信号的数字化

■ 非均匀量化的实现方法

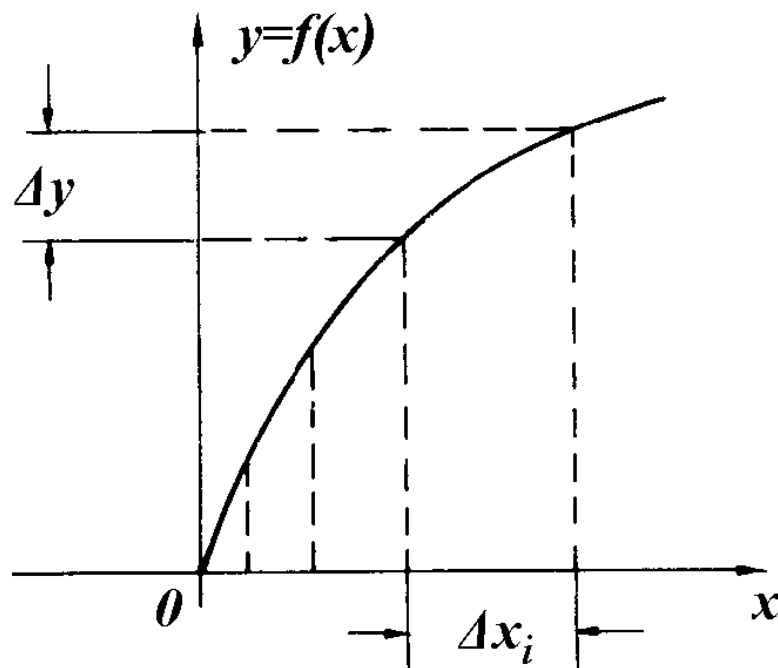
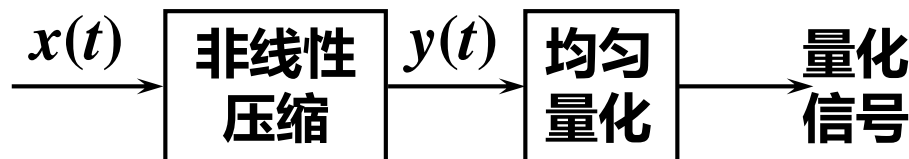
- 非线性变换——压缩；
- 均匀量化（用于分析）

$y = f(x)$ ——压缩曲线

- 输入 x : 0~1; 输出 y : 0~1;
- 对 y 进行均匀量化
- 对应的 x 实现非均匀量化

要求：大 x 信号 Δv 大，小 x 信号 Δv 小；

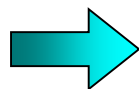
则，压缩特性曲线 $y=f(x)$ ——上凸



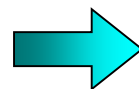
2.1 信号的数字化

■ **编码 (Encoding)** : 采样、量化后的信号还不是数字信号, 需要把它转换成数字编码脉冲, 这一过程称为编码。最简单的编码方式是二进制编码。具体说来, 就是用 n 比特二进制码来表示已经量化了的样值。

把声音(模拟量)按照固定时间间隔, 转换成有限个数字表示的离散序列



模/数转换



11011100 11001101

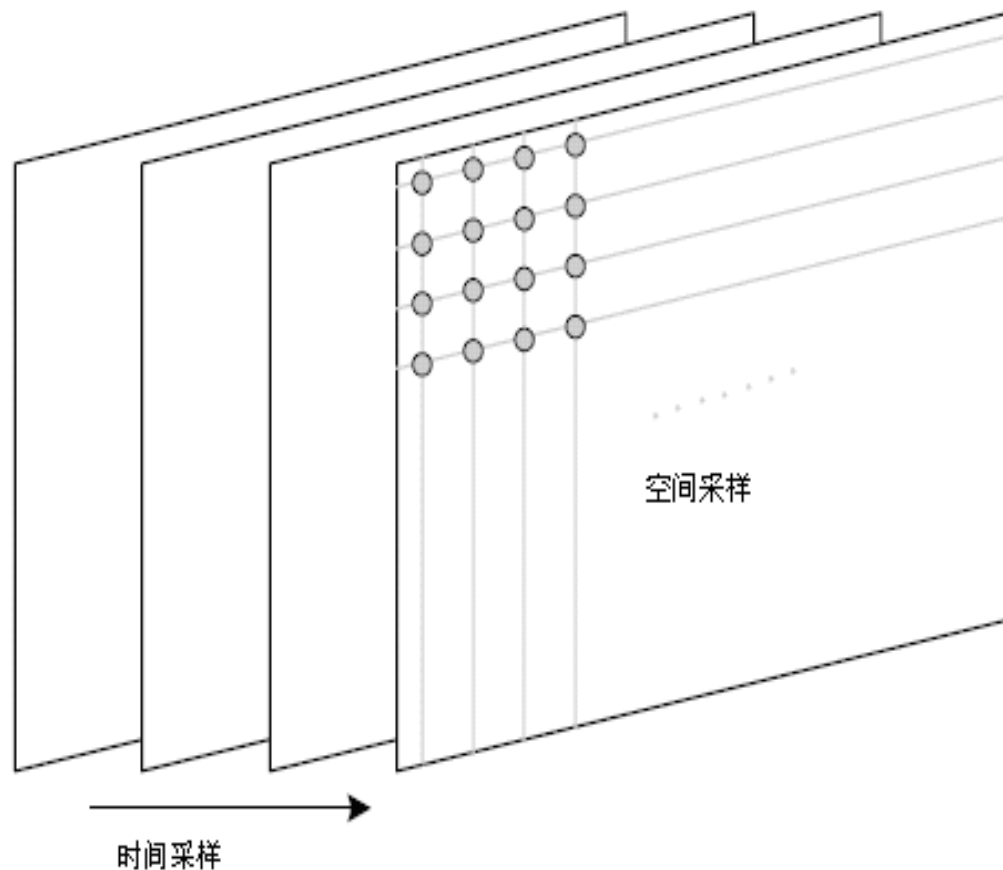


第2章 视频信号的数字化

- 2.1 信号的数字化
- **2.2 视频信号的数字化**
- 2.3 数字电视演播室视频信号接口

2.2 视频信号的数字化

- 在时间轴上(t轴)分为**一系列离散的帧**。
- 每帧图像在垂直方向(y轴)上离散为**一条一条的扫描行**。
- 每行在水平方向(x轴)上采样, 得到**一个一个像素**。



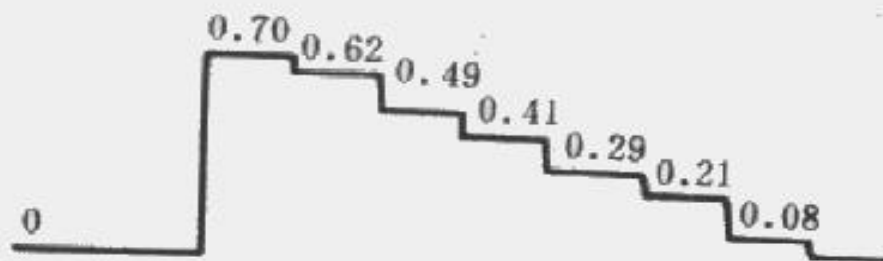


2.2 视频信号的数字化

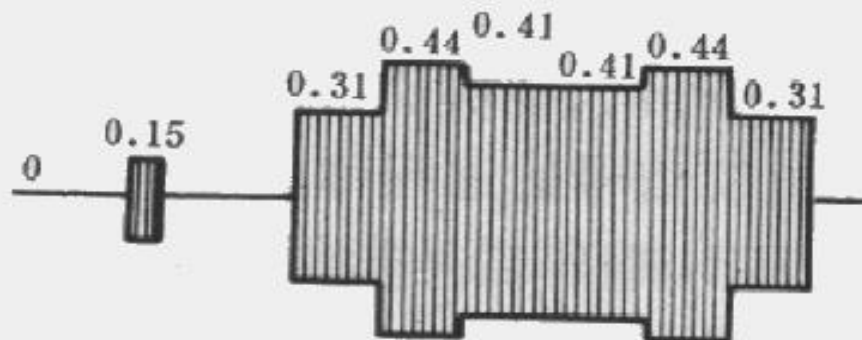
对彩色电视信号的数字化处理主要有**分量数字编码**和**复合数字编码**两种方式。

- **复合数字编码**：首先用一个高速A/D转换器对彩色全电视信号进行数字化，然后在数字域中进行亮、色分离，以获得所希望的 YC_bC_r ，或RGB分量数据。
- **分量数字编码**：首先把模拟的彩色全电视信号分离成YUV、YIQ或RGB彩色空间中的分量信号，然后用三个A/D转换器分别对它们进行数字化。

(a) 亮度信号 Y



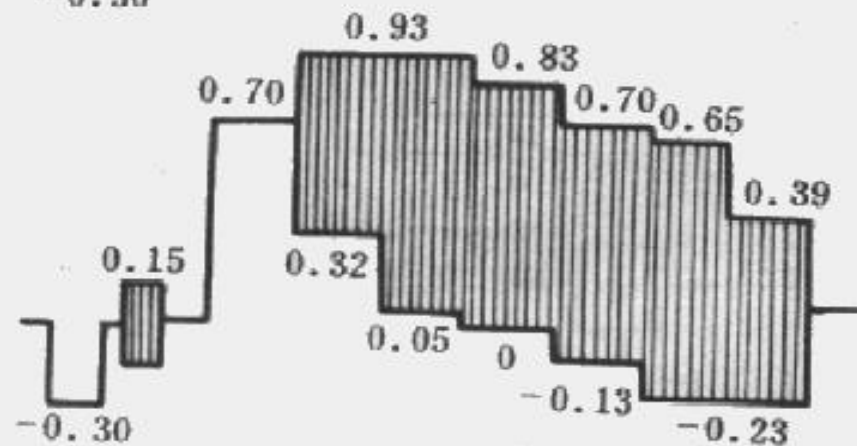
(b) 色度信号 C_k



(c) 复合同步 S

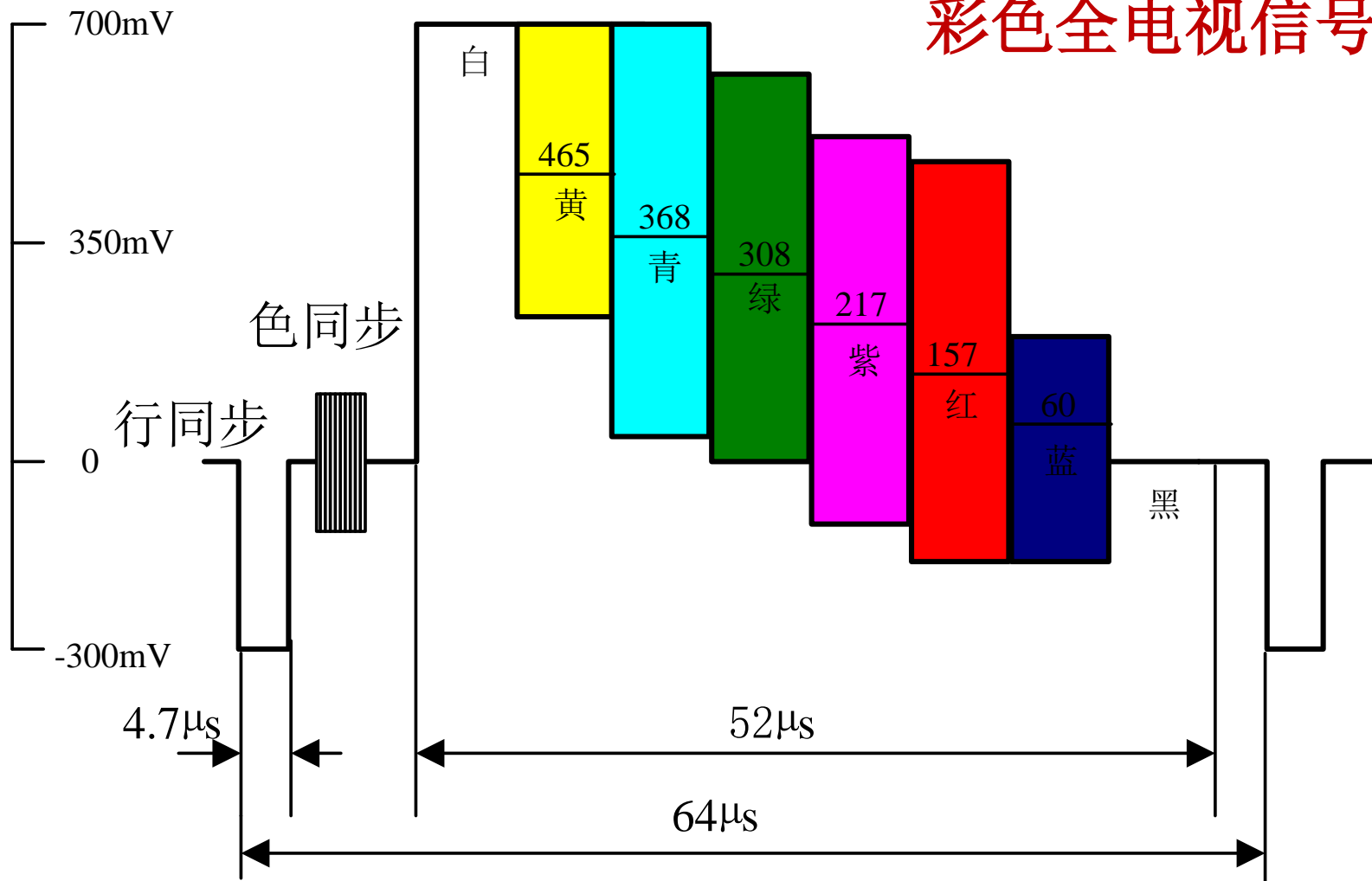


(d) 彩色全电视信号



2.2 视频信号的数字化

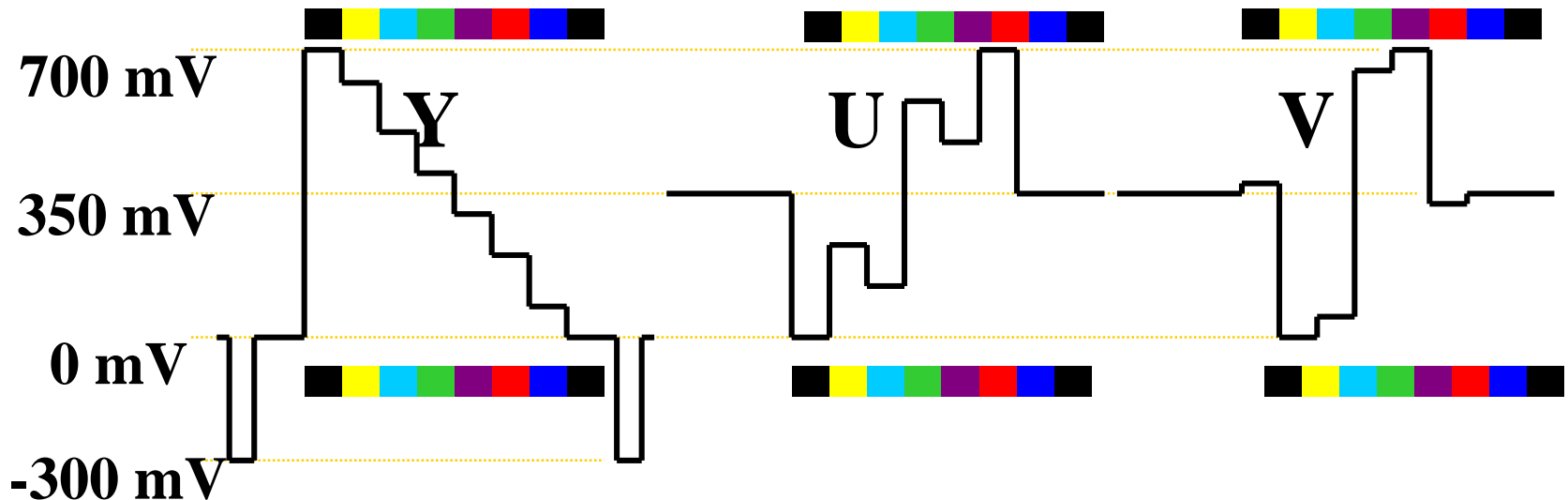
彩色全电视信号



2.2 视频信号的数字化

■ 分量视频 (Component Video)

- 视频分配采用独立的 Y U V 分量
- 对于视频黑白信号，Y 信号为 700 mV
- Y 在 -300mV 处携带同步信息
- U & V 信号的峰-峰值是 700 mV_{pk-pk} 0 在 350 mV





2.2 视频信号的数字化

■ 分量数字编码优点

- ❧ 避免了复合数字编码时因反复解码所引起的质量损伤和器件的浪费，而且编码几乎与电视制式无关。
- ❧ 后期制作的处理方便。
- ❧ 时分复用方式，不会像复合数字编码那样因频分复用带来亮、色串扰，可获得高质量的图像。
- ❧ 亮度信号和色度信号的带宽根据需要取不同值。



2.2 视频信号的数字化

为适应不同图像质量要求，分量编码采样频率的组合有以下几种

Y: U: V=13.5MHz: 13.5MHz: 13.5MHz

=4: 4: 4

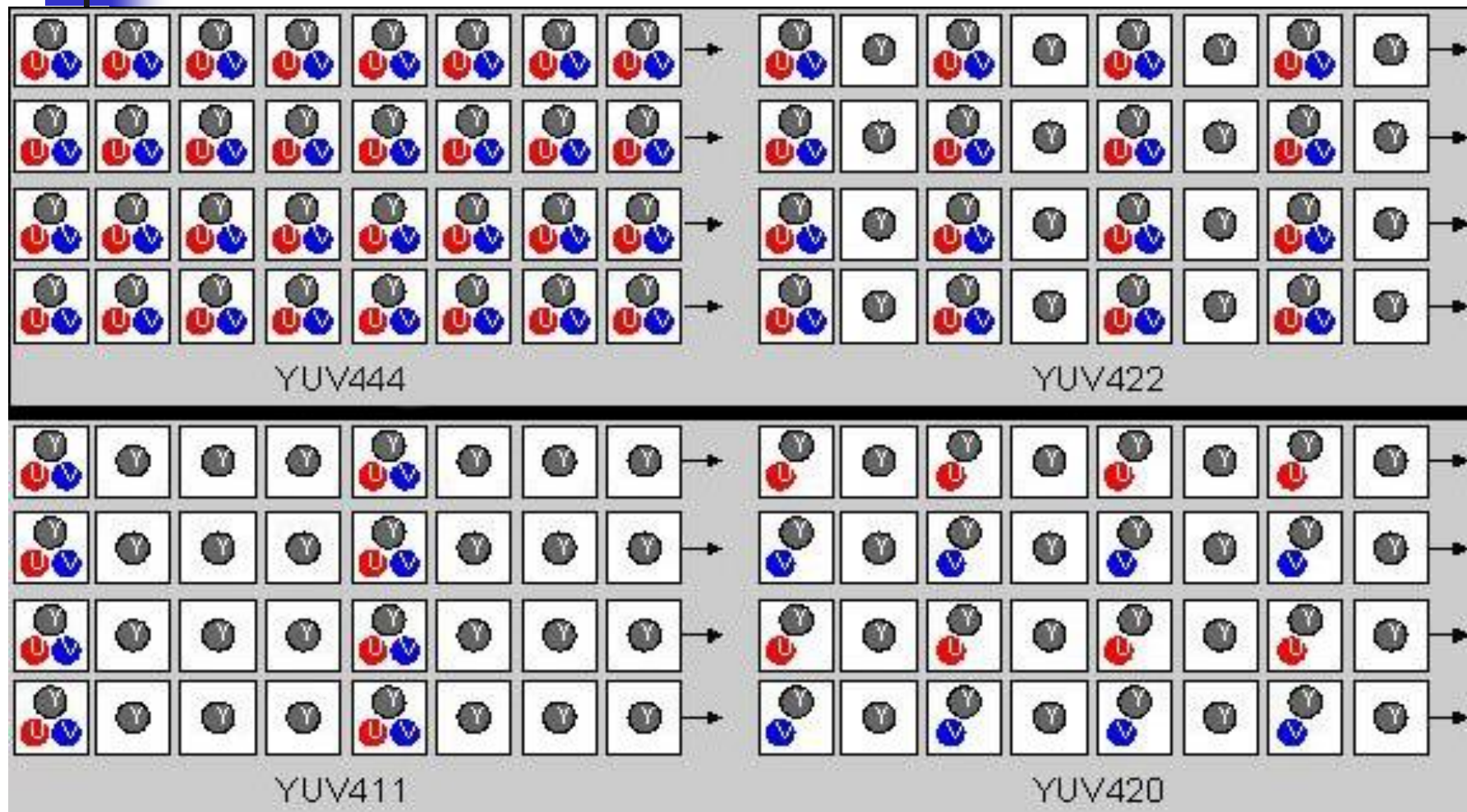
Y: U: V =13.5MHz: 6.75MHz: 6.75MHz

=4: 2: 2

Y: U: V =13.5MHz: 3.375MHz: 3.375MHz

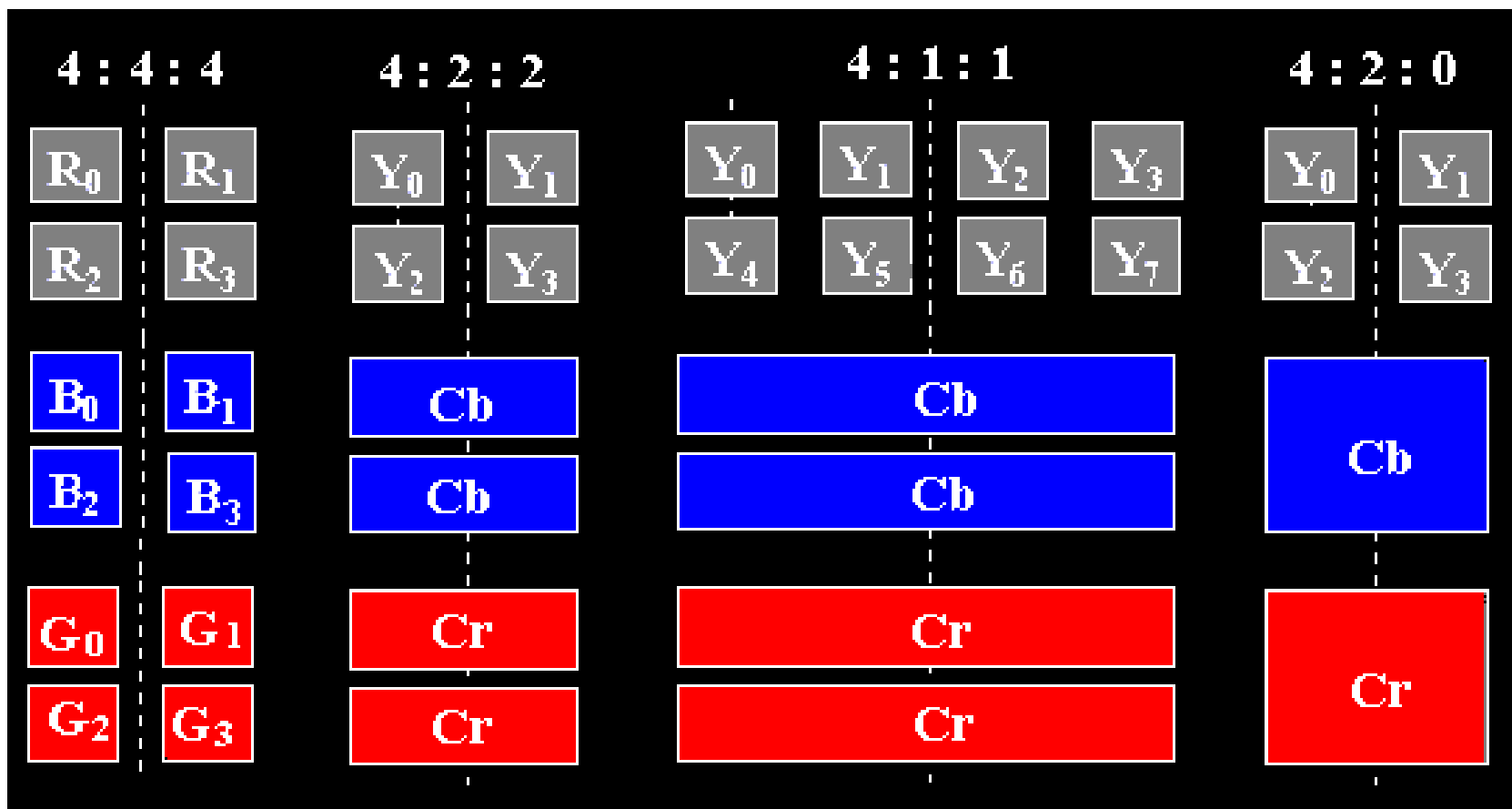
=4: 1: 1(4: 2: 0)

2.2 视频信号的数字化



几种采样格式

2.2 视频信号的数字化



彩色图象 $YCrCb$ 样本空间位置

■ 2.2.2 ITU-R BT.601建议

参数		625行/50场	525行/60场
有效扫描行数		576	480
编码信号		Y, C_B, C_R	
每行样点数	亮度信号	864	858
	色差信号	432	429
每行有效样点数	亮度信号	720	
	色差信号	360	
采样结构		正交, 按行、场、帧重复, 每行中的 C_R, C_B 的样点同位置, 并与每行第奇数个亮度的样点同位置	
采样频率	亮度信号	13.5 MHz	
	色差信号	6.75 MHz	
编码方式		亮度和色差信号的每个样值为8bit均匀量化	
量化级	亮度信号	共220个量化级, 消隐电平对应于第16量化级, 峰值白电平对应于第235量化级	
	色差信号	共224个量化级, 色差信号的零电平对应于第128量化级	



第2章 视频信号的数字化

- 2.1 信号的数字化
- 2.2 视频信号的数字化
- **2.3 数字电视演播室视频信号接口**



2.3 数字电视演播室视频信号接口

在演播室中，电视节目制作和编辑等各个环节都需要在不同的数字视频设备之间相互连接。采用电缆连接时有两种**接口方式**：

※比特并行接口：将8bit（或10bit）的视频数据字同时传送。需使用多芯电缆将各个比特位通过各自的专用芯线传送。

※比特串行接口：将视频数据字的各个比特以及相继的数据字通过单一芯线顺序传送。可使用75 Ω 的同轴电缆传送。

2.3 数字电视演播室视频信号接口

■ 2.3.1 ITU-R BT.656建议

■ 1. 接口的通用信号格式

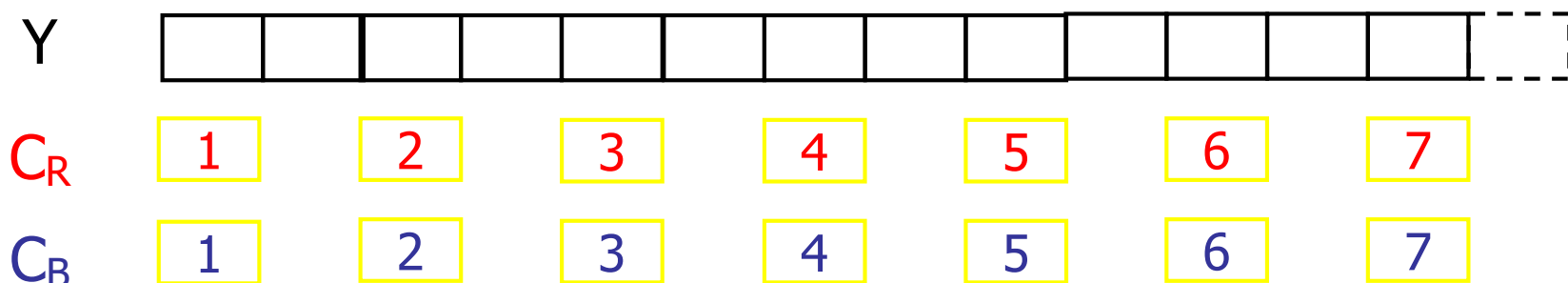
(1) 视频数据编码特性

V—数字场消隐		行号
第一场(奇数场)	开始 (V=1)	第624行
	结束 (V=0)	第23行
第二场(偶数场)	开始 (V=1)	第311行
	结束 (V=0)	第336行
F—数字场识别		
第一场(奇数场)	F=0	1~312
第二场(偶数场)	F=1	313~625

2.3 数字电视演播室视频信号接口

(2) 4: 2: 2分量编码视频数据的时分复用传输

每个采样点的三个数据 Y / C_B / C_R 按以下顺序复用

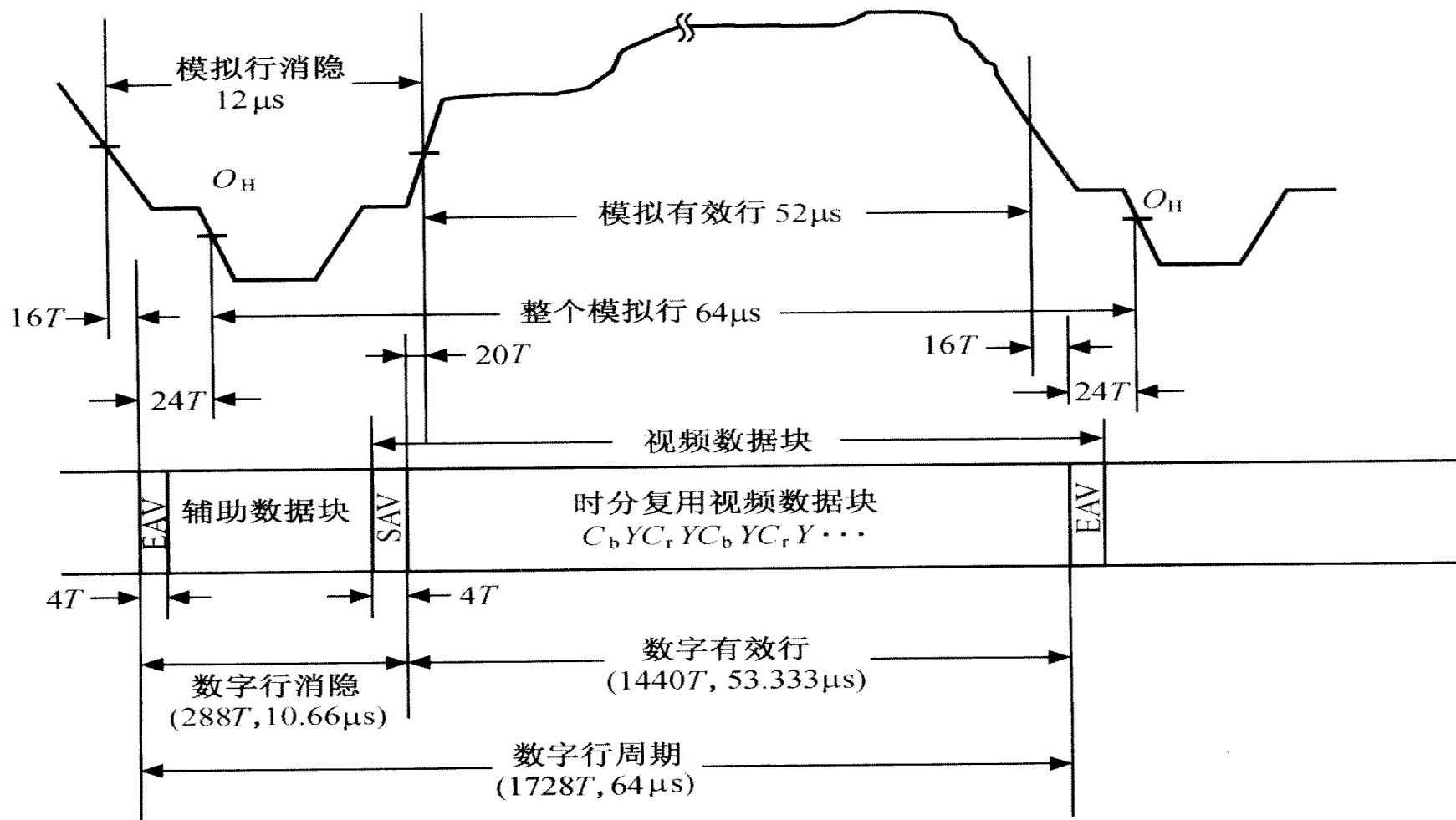


C_{B1} Y_1 C_{R1} Y_2 C_{B2} Y_3 C_{R2} Y_4 C_{B3} Y_5 C_{R3} Y_6

C_{B360} Y_{719} C_{R360} Y_{720}

2.3 数字电视演播室视频信号接口

(3) 视频数据与模拟行同步的定时关系





2.3 数字电视演播室视频信号接口

(4) 视频定时基准信号 (SAV, EAV)

SAV 和EAV分别由4个字组成，格式为：

FF.C 00.0 00.0 XY.0 （16进制）

其中，前3个字是固定的，用于定时基准

XY.0包含了场识别、场消隐和行消隐信息。

数据比特位	第一字 FF.C	第二字 00.0	第三字 00.0	第四字 XY.0
D9 (MSB)	1	0	0	1
D8	1	0	0	F
D7	1	0	0	V
D6	1	0	0	H
D5	1	0	0	P3
D4	1	0	0	P2
D3	1	0	0	P1
D2	1	0	0	P0
D1	1	0	0	0
D0	1	0	0	0

F=0: 第一场期间; F=1: 第二场期间

V=0: 其它位置; V=1: 场消隐期

H=0: 在SAV中; H=1: 在EAV中

为了与8bit接口相兼容, D0和D1的值不作规定



2.3 数字电视演播室视频信号接口

F	V	H	P3	P2	P1	P0
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

P0、P1、P2、P3为保护比特，其值与**F、V、H**的值有关



2.3 数字电视演播室视频信号接口

(5) 消隐期中的数据字

数字消隐期间除了传送SAV、EAV之外，可传送辅助数据。在没有辅助数据的空间则按以下方式填充数据字：

亮度数据字设置为消隐电平，量化等级为10.0h

色差数据字设置为消色电平，量化等级为80.0h



2.3 数字电视演播室视频信号接口

■ 2. 比特并行接口

(1) 接口描述

每帧的视频数据按以下顺序传送：

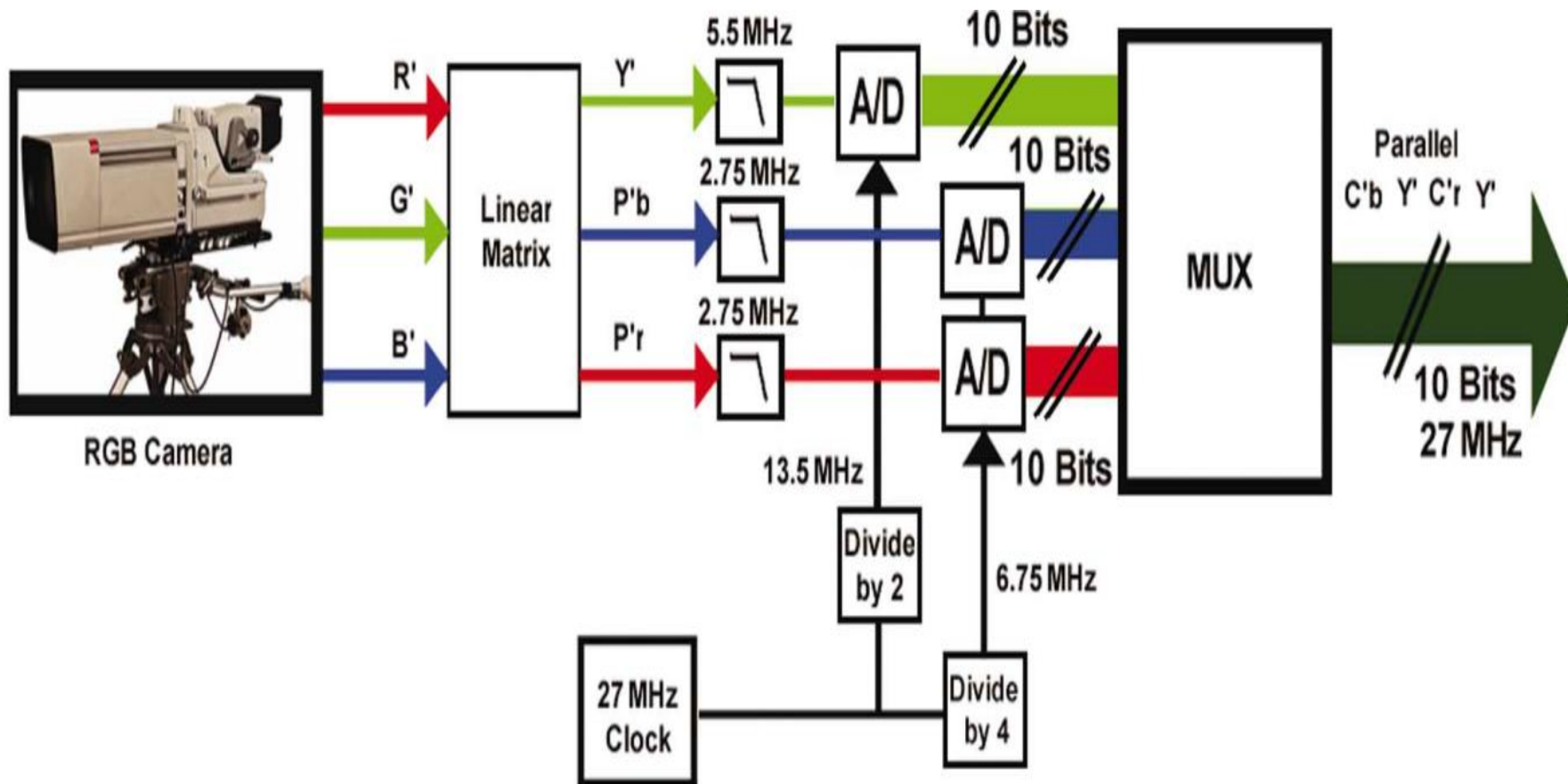
C_{B1} Y_1 C_{R1} Y_2 C_{B2} Y_3 C_{R2} Y_4 C_{B3} Y_5 C_{R3} Y_6

C_{B360} Y_{719} C_{R360} Y_{720}

接口使用25芯的D型超小型接插件

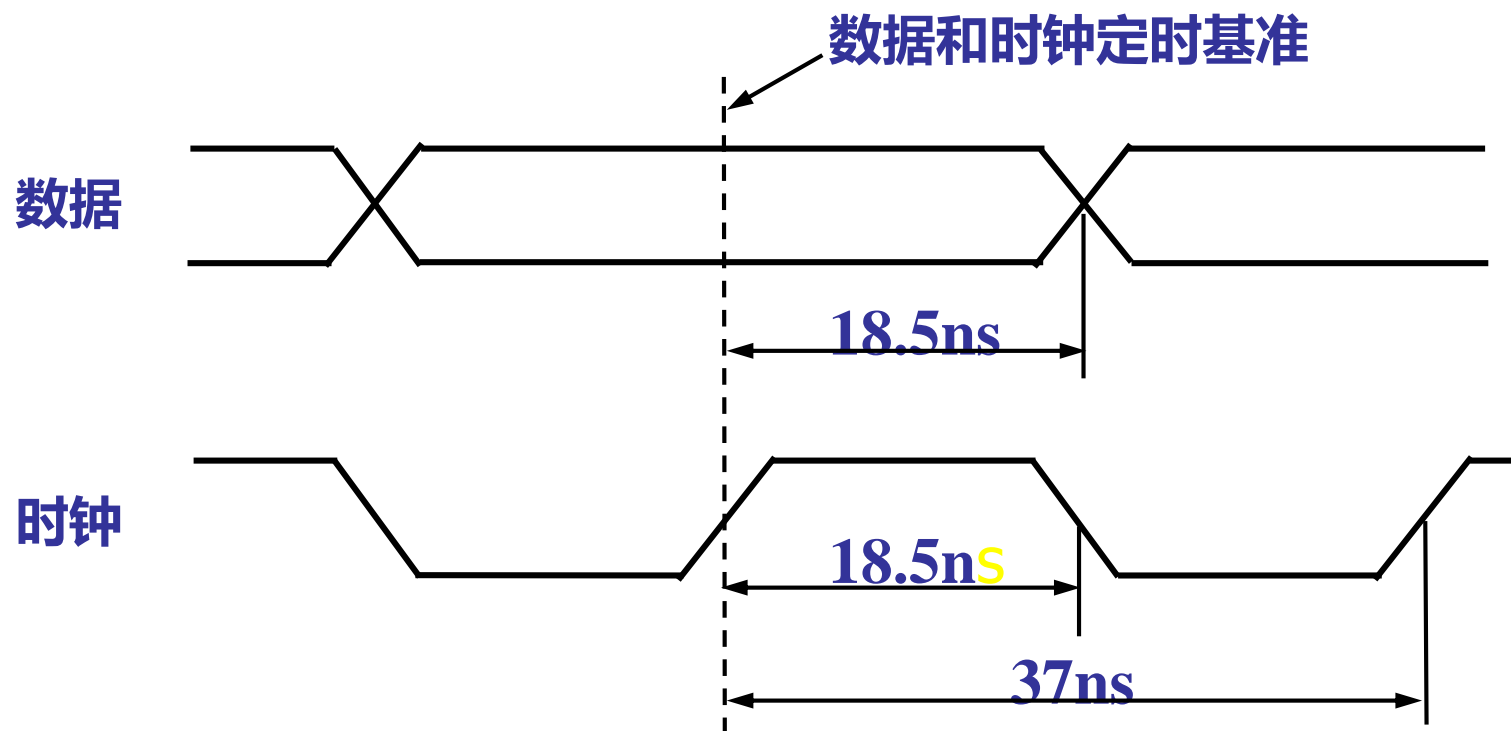
- 10对导线平衡传输10个并行比特位，码型为NRZ码
- 1对导线传输27MHz的时钟信号
- 1对导线为公共地电位连接线
- 1根导线用于电缆屏蔽层防止电磁辐射的接地线

2.3 数字电视演播室视频信号接口



2.3 数字电视演播室视频信号接口

(2) 时钟与数据的定时关系





2.3 数字电视演播室视频信号接口

■ 3. 比特串行接口

(1) 接口描述

每帧的视频数据按以下顺序传送：

$C_{B1} \ Y_1 \ C_{R1} \ Y_2 \ C_{B2} \ Y_3 \ C_{R2} \ Y_4 \ C_{B3} \ Y_5 \ C_{R3} \ Y_6 \dots\dots$
 $C_{B360} \ Y_{719} \ C_{R360} \ Y_{720}$

- 每10bit的数据字经并/串转换电路后变成串行的数据流，数据传输速率为270Mbps，用单芯的75 Ω 同轴电缆传送
- 传送时先传数据字的最低有效位（LSB）
- 电缆的接插件为BNC接头



2.3 数字电视演播室视频信号接口

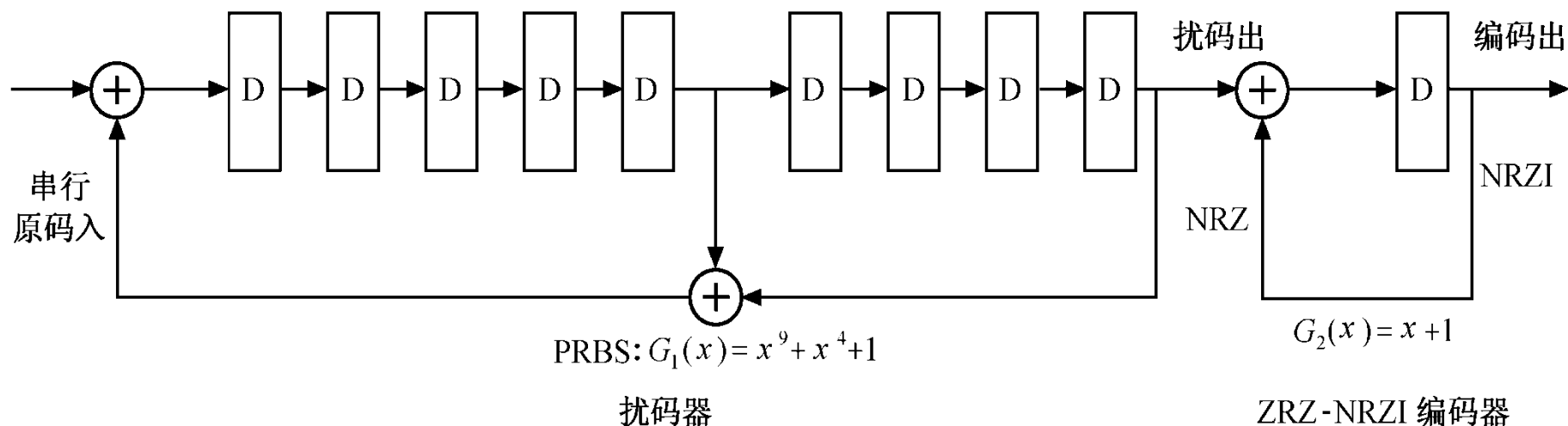
(2) 扰码

由于接收端解码时需要恢复时钟信号，而串行接口不能像并行接口那样使用单独的数据线传输时钟信号，时钟的恢复只能利用信号本身的跳变来产生，这称为自时钟方式。

2.3 数字电视演播室视频信号接口

(3) 码型变换

把非归零码 (NRZ) 变换成倒相的非归零码 (NRZI)。



扰码电路和NRZ-NRZI变换编码电路



2.3 数字电视演播室视频信号接口

■ 2.3.2 ITU-R BT.1120建议

■ 1. 接口的通用信号格式

(1) 视频数据的时分复用传输

先将Y、CR、CB处理成两个码流，即

亮度信号码流： Y1、 Y2、 Y3、 Y4、 Y5、 Y6

色差信号码流： CB1、 CR1、 CB3、 CR3、 CB5

两个码流中都有：EAV和SAV（各4个字）

行序号（2个字）

校验码（2个字）



2.3 数字电视演播室视频信号接口

也可将R、G、B或Y、CB/CR、辅助数据处理成三个码流，即

R码流：R1、R2、R3、R4、R5、R6

G码流：G1、G2、G3、G4、G5、G6

B码流：B1、B2、B3、B4、B5、B6



2.3 数字电视演播室视频信号接口

- **并行传输**时，两个码流以20比特（或三个码流以30比特）并行方式同时传送。

传输数据速率为：148.5 MW/s

- **串行传输**时，将两个码流（或三个码流）复用成一个码流（复用顺序为 C_{B1} ， Y_1 ， C_{R1} ， Y_2 ， C_{B3} ， Y_3 ）。然后经并/串转换进行传输

传输数据速率为：1.485Gbit/s



2.3 数字电视演播室视频信号接口

(4) 行序号数据

行序号由两个数据字表示
行序号直接跟在EAV之后

行序号数据的比特分配

字	b9 MSB	b8	b7	b6	b5	b4	b3	b2	b1	b0 LSB
LN0		L6	L5	L4	L3	L2	L1	L0	0	0
LN1		0	0	0	L10	L9	L8	L7	0	0

L0 ~ L10 : 以二进制码表示的行序号



2.3 数字电视演播室视频信号接口

(5) 校验码

校验码由两个数据字表示，紧跟在行序号之后

作用：检测有效行视频数据、EAV和行序号数据中的误码



2.3 数字电视演播室视频信号接口

(6) 定时基准信号

SAV和EAV的定义与SDTV数字分量接口相同

(7) 消隐期中的数据字

与SDTV 4: 2: 2数字分量接口相同

Y或R,G,B数据字设置为消隐电平, 量化等级为10.0h

色差数据字CB,CR设置为消色电平, 量化为80.0h



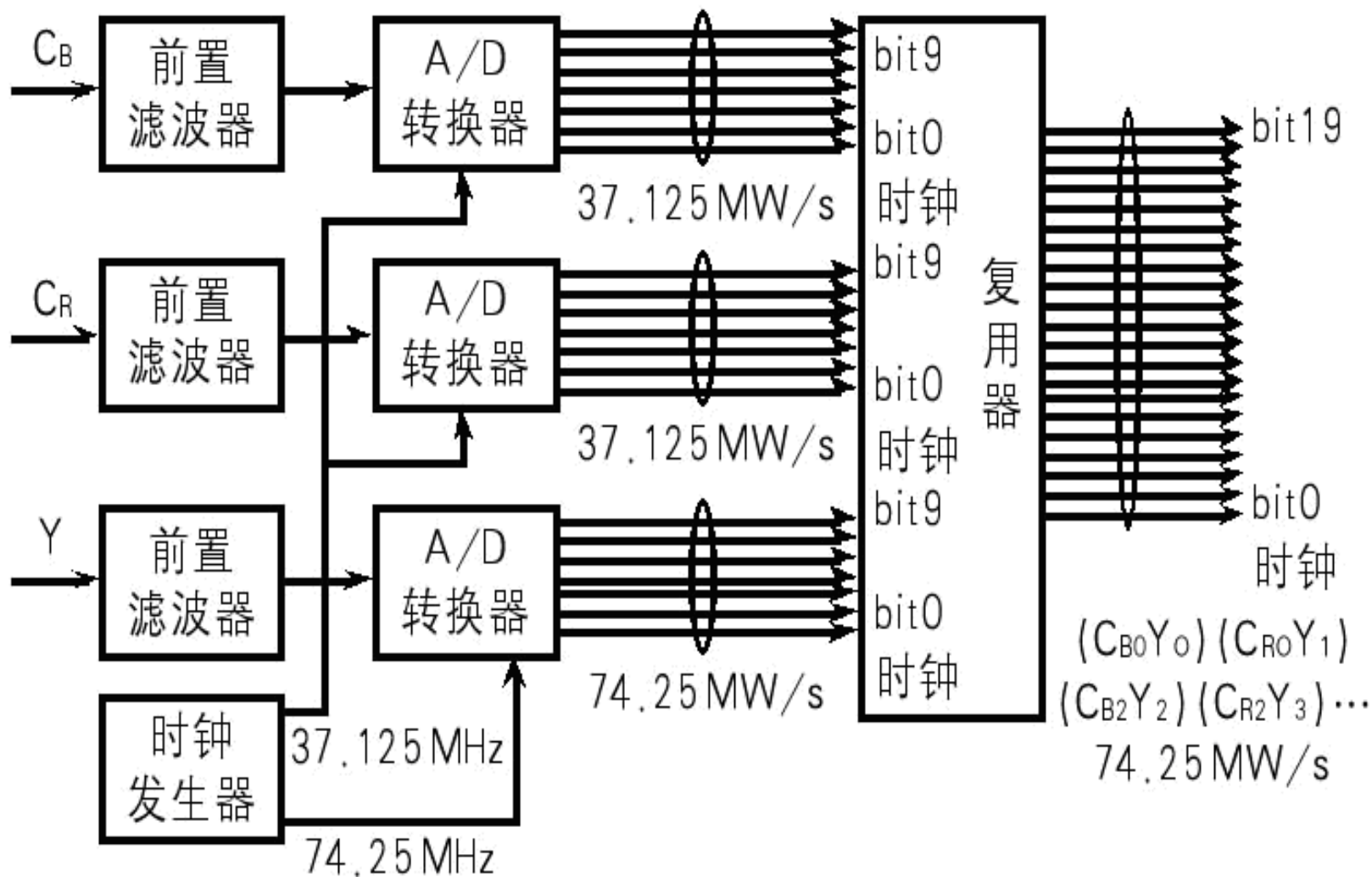
2.3 数字电视演播室视频信号接口

■ 2. 比特并行接口

接口使用93芯接插件

- 20对（或30对）导线平衡传输20（或30）个并行比特
- 1对导线传输74.25MHz的时钟信号
- 15对导线为公共地电位连接线
- 1个导线用于电缆屏蔽层防止电磁辐射的接地线

2.3 数字电视演播室视频信号接口

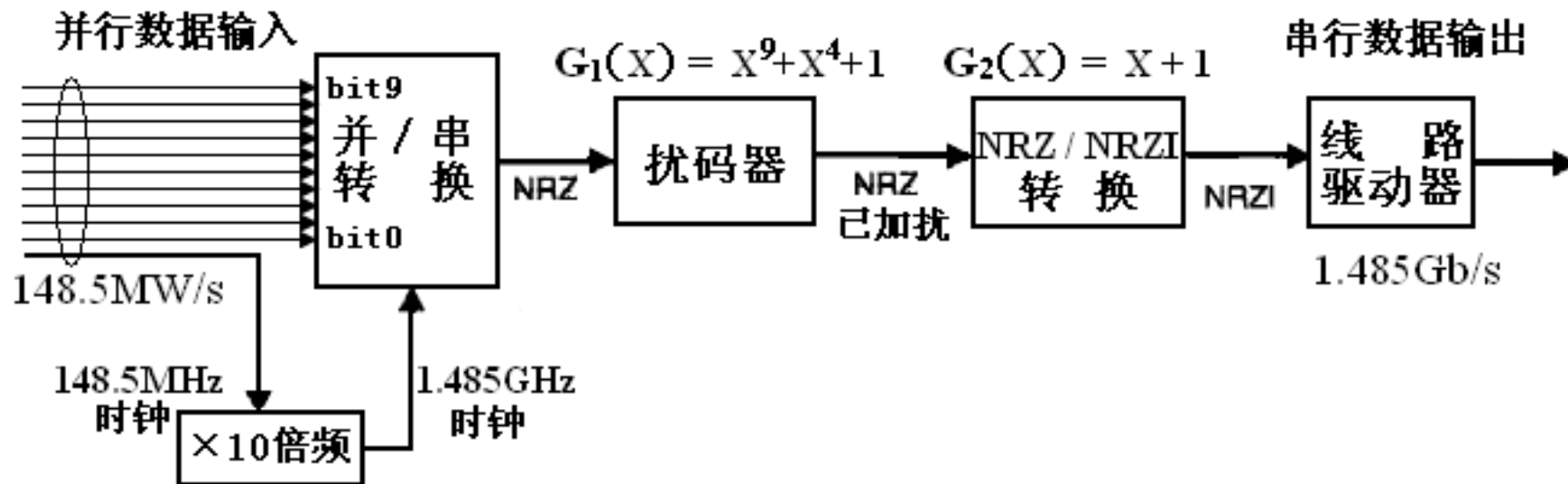


2.3 数字电视演播室视频信号接口

■ 3. 比特串行接口

每帧的视频数据按以下顺序传送（以传送Y, C_B, C_R为例）

C_{B1}, Y₁, C_{R1}, Y₂, C_{B3}, Y₃, C_{R3}, Y₄,





2.3 数字电视演播室视频信号接口

■ HDTV信号的数据传输速率

在SMPTE274M数字电视标准中，采用10bit量化时，
亮度信号的数据传输速率为：

采样频率×量化比特数 = $74.25\text{MHz} \times 10\text{bit} = 742.5\text{Mbps}$

2个色差信号的数据传输速率为：

$2 \times 37.125\text{MHz} \times 10\text{bit} = 742.5\text{Mbps}$

HDTV信号的数据传输速率为：

**亮度信号数据传输速率+ 2个色差信号数据传输速率
= $742.5\text{Mbps} + 742.5\text{Mbps} = 1485\text{Mbps}$**



2.3 数字电视演播室视频信号接口

■ HDTV信号的有效数码率

在SMPTE274M数字电视标准中，采用8bits量化时，

1080/60i信号格式亮度信号的有效数码率为：

每行的有效采样点数×有效扫描行数×量化比特数×帧频
 $=1920 \times 1080 \times 8 \times 30 = 497.664 \text{Mbps}$

2个色差信号的有效数码率为：

$2 \times 960 \times 1080 \times 8 \times 30 = 497.664 \text{Mbps}$

总的有效数码率为：

$2 \times 497.664 = 995.328 \text{Mbps}$ (1080/60i)

1080/50i信号格式的有效数码率为：

$1920 \times 1080 \times 8 \times 25 \times 2 = 829.44 \text{Mbps}$ (1080/50i)



Question?

