

目 录

第1章 引言	1
1.1 本书内容	2
1.2 标准组织	3
第2章 视频简介	4
2.1 模拟与数字	4
2.2 视频数据	4
2.2.1 数字视频	5
2.2.2 最佳连接方法	5
2.3 视频时序	5
2.4 视频分辨率	6
2.4.1 标准清晰度	7
2.4.2 增强清晰度	7
2.4.3 高清晰度	7
2.5 音频与视频压缩	7
2.6 应用框图	7
2.6.1 DVD播放器	8
2.6.2 数字媒体适配器	8
2.6.3 数字电视机顶盒	9
第3章 颜色空间	11
3.1 RGB颜色空间	11
3.1.1 sRGB	12
3.1.2 scRGB	12
3.1.3 scRGB颜色到sRGB颜色的转换	12
3.2 YUV颜色空间	13
3.3 YIQ颜色空间	13
3.4 YCbCr颜色空间	14
3.4.1 RGB与YCbCr颜色空间之间的 转换公式: SDTV	14
3.4.2 RGB与YCbCr颜色空间之间的 转换公式: HDTV	15
3.4.3 4:4:4 YCbCr格式	16
3.4.4 4:2:2 YCbCr格式	17
3.4.5 4:1:1 YCbCr格式	17
3.4.6 4:2:0 YCbCr格式	18
3.5 xvYCC颜色空间	20
3.6 PhotoYCC颜色空间	20
3.6.1 RGB到PhotoYCC的颜色空间 转换	20
3.6.2 PhotoYCC到RGB的颜色空间 转换	21
3.7 HSI、HLS和HSV的颜色空间转换	21
3.8 色度图	23
3.9 关于非RGB颜色空间的注意事项	24
3.10 gamma校准	25
3.10.1 早期的NTSC系统	26
3.10.2 早期的PAL和SECAM系统	26
3.10.3 当前的系统	26
3.10.4 非CRT显示器	27
3.11 恒定亮度问题	27
参考文献	28
第4章 视频信号概述	29
4.1 数字分量视频背景	29
4.1.1 编码范围	29
4.1.2 SDTV采样率的选择	30
4.1.3 EDTV采样率的选择	30
4.1.4 HDTV采样率的选择	30
4.2 480i和480p系统	31
4.2.1 隔行模拟复合视频	31
4.2.2 隔行模拟分量视频	31
4.2.3 逐行模拟分量视频	31
4.2.4 隔行数字分量视频	32
4.2.5 逐行数字分量视频	34
4.2.6 SIF和QSIF	35
4.3 576i和576p系统	35
4.3.1 隔行模拟复合视频	35
4.3.2 隔行模拟分量视频	35
4.3.3 逐行模拟分量视频	36
4.3.4 隔行数字分量视频	36
4.3.5 逐行数字分量视频	37
4.4 720p系统	39
4.4.1 逐行模拟分量视频	39
4.4.2 逐行数字分量视频	39
4.5 1080i和1080p系统	40
4.5.1 隔行模拟分量视频	40
4.5.2 1152i格式	41
4.5.3 逐行模拟分量视频	41
4.5.4 隔行数字分量视频	41
4.5.5 逐行数字分量视频	43
4.6 其他视频系统	45
参考文献	45

第5章 模拟视频接口	46	6.4.4 RGB值：10位数据	98
5.1 S-Video接口	46	6.4.5 BT.601视频接口	99
5.2 SCART接口	47	6.4.6 视频模块接口	102
5.3 SDTV RGB接口	48	6.4.7 BT.656接口	104
5.3.1 7.5 IRE的消隐基底电平	48	6.4.8 缩放视频端口	104
5.3.2 0 IRE的消隐基底电平	50	6.4.9 视频接口端口	105
5.4 HDTV RGB接口	51	6.5 消费分量接口	107
5.4.1 模拟R'G'B'数据生成	51	6.5.1 数字可视接口（DVI）	107
5.4.2 模拟R'G'B'颜色数字化	52	6.5.2 高清晰度多媒体接口（HDMI）	111
5.4.3 约束图像	52	6.5.3 数字平板接口	112
5.5 SDTV YPbPr接口	53	6.5.4 开放LVDS显示器接口	113
5.5.1 模拟YPbPr数据生成	55	6.5.5 吉比特视频接口	115
5.5.2 模拟YPbPr数字化	55	6.6 消费传输接口	116
5.5.3 480p系统的VBI数据	56	6.6.1 USB 2.0	116
5.5.4 576p系统的VBI数据	58	6.6.2 以太网	117
5.6 HDTV YPbPr接口	60	6.6.3 IEEE 1394	117
5.6.1 模拟YPbPr数据生成	62	参考文献	127
5.6.2 模拟YPbPr数字化	63		
5.6.3 720p系统的VBI数据	63		
5.6.4 1080i系统的VBI数据	64		
5.6.5 约束图像	65		
5.7 D型连接头接口	66		
5.8 其他专业视频模拟接口	67		
5.9 VGA接口	69		
参考文献	69		
第6章 数字视频接口	71	第7章 数字视频处理	129
6.1 专业视频分量接口	71	7.1 舍入考虑	129
6.1.1 视频时序	71	7.1.1 截断	129
6.1.2 辅助数据	73	7.1.2 传统舍入	129
6.1.3 并行接口	74	7.1.3 误差反馈舍入	129
6.1.4 串行接口	84	7.1.4 动态舍入	130
6.2 专业视频复合接口	85	7.2 SDTV-HDTV YCbCr转换	130
6.2.1 NTSC视频时序	86	7.2.1 SDTV到HDTV的转换	130
6.2.2 PAL视频时序	89	7.2.2 HDTV到SDTV的转换	131
6.2.3 辅助数据	90	7.3 4:4:4到4:2:2 YCbCr的变换	131
6.2.4 并行接口	92	7.3.1 Y滤波	131
6.2.5 串行接口	93	7.3.2 CbCr滤波	132
6.2.6 TRS-ID	93	7.4 显示增强	133
6.3 专业视频传输接口	94	7.4.1 亮度、对比度、饱和度（颜色）和色调（色彩）	133
6.3.1 串行数据传输接口	94	7.4.2 彩色瞬时改善	133
6.3.2 高数据率串行数据传输接口	96	7.4.3 亮度瞬时改善	134
6.4 IC分量接口	98	7.4.4 锐化	134
6.4.1 YCbCr值：8位数据	98	7.4.5 蓝色延展	135
6.4.2 YCbCr值：10位数据	98	7.4.6 绿色增强	136
6.4.3 RGB值：8位数据	98	7.4.7 动态对比度	136
		7.4.8 颜色校正	136
		7.4.9 色温校正	136
		7.5 视频混合与图形覆盖	137
		7.6 亮度和色度抠像	142
		7.6.1 亮度抠像	142
		7.6.2 色度抠像	145
		7.6.3 超黑色和亮度抠像	151

7.7 视频缩放	151	8.2 PAL概述	193
7.7.1 像素丢弃与复制	152	8.2.1 亮度信息	194
7.7.2 线性插值	152	8.2.2 彩色信息	194
7.7.3 抗混叠重采样	152	8.2.3 彩色调制	194
7.7.4 显示缩放示例	154	8.2.4 复合视频的生成	195
7.8 扫描速率变换	156	8.2.5 PAL标准	199
7.8.1 帧或场丢弃和复制	156	8.2.6 RF调制	200
7.8.2 时域插值	157	8.2.7 模拟频道分配	205
7.8.3 2:2下拉模式	161	8.2.8 亮度方程推导	208
7.8.4 3:2下拉模式	162	8.2.9 PALplus	209
7.8.5 3:3下拉模式	162	8.3 SECAM概述	212
7.8.6 24:1下拉模式	162	8.3.1 亮度信息	212
7.9 逐行到隔行的转换	163	8.3.2 彩色信息	212
7.9.1 扫描线抽取	163	8.3.3 彩色调制	212
7.9.2 垂直滤波	163	8.3.4 复合视频的生成	214
7.10 隔行到逐行变换	164	8.3.5 SECAM标准	214
7.10.1 视频模式：场内处理	164	8.3.6 亮度方程推导	216
7.10.2 视频模式：场间处理	165	8.4 视频测试信号	216
7.10.3 电影模式（使用逆向电视 电影）	167	8.4.1 彩条概述	216
7.10.4 关于频率响应的注意事项	167	8.4.2 EIA彩条（NTSC）	222
7.11 基于DCT的压缩	168	8.4.3 EBU彩条（PAL）	223
7.11.1 DCT	168	8.4.4 SMPTE条（NTSC）	223
7.11.2 量化	169	8.4.5 反转蓝条	223
7.11.3 Z形扫描	170	8.4.6 PLUGE	223
7.11.4 行程长度编码	170	8.4.7 Y条	224
7.11.5 可变长编码	170	8.4.8 红场	224
7.12 关于固定像素显示器的注意事项	171	8.4.9 10级阶梯	224
7.12.1 扩展颜色再生	171	8.4.10 调制斜坡	225
7.12.2 细节校正	171	8.4.11 调制阶梯	225
7.12.3 非均匀量化	171	8.4.12 调制基底	226
7.12.4 缩放与去隔行	171	8.4.13 多波群	226
7.13 应用实例	172	8.4.14 线条	227
参考文献	174	8.4.15 多脉冲	228
第8章 NTSC、PAL和SECAM概述	175	8.4.16 场方波	228
8.1 NTSC概述	175	8.4.17 复合测试信号	228
8.1.1 亮度信息	175	8.4.18 组合测试信号	230
8.1.2 彩色信息	175	8.4.19 T脉冲	231
8.1.3 彩色调制	176	8.5 VBI数据	233
8.1.4 复合视频的生成	177	8.5.1 时间码	234
8.1.5 彩色副载波频率	178	8.5.2 CEA-608隐藏字幕	240
8.1.6 NTSC标准	180	8.5.3 宽屏信令和CGMS	255
8.1.7 RF调制	180	8.5.4 图文电视	260
8.1.8 模拟频道分配	183	8.5.5 AMOL	266
8.1.9 亮度方程推导	192	8.5.6 原始VBI数据	266
		8.5.7 条带VBI数据	267

8.5.8 NTSC/PAL解码器注意事项	267	10.2.2 视频比特流	340
8.5.9 重影消除	267	10.2.3 可选的H.263模式	356
8.6 增强电视编程	268	10.2.4 档次	361
8.6.1 触发器	268	10.2.5 级别	362
8.6.2 传输	268	参考文献	363
8.6.3 传递协议	269		
8.6.4 绑定	269		
参考文献	269		
第9章 NTSC和PAL数字编码和解码	271	第11章 消费DV	364
9.1 NTSC和PAL编码	272	11.1 音频	364
9.1.1 2倍过采样	272	11.1.1 IEC 61834	365
9.1.2 颜色空间转换	272	11.1.2 SMPTE 314M/370M	366
9.1.3 亮度(Y)处理	275	11.1.3 音频辅助数据(AAUX)	366
9.1.4 色差处理	277	11.2 视频	368
9.1.5 模拟复合视频	283	11.2.1 DCT块	368
9.1.6 彩色副载波生成	285	11.2.2 宏块	369
9.1.7 行和场时序	289	11.2.3 超块	371
9.1.8 干净编码	291	11.2.4 压缩	372
9.1.9 带宽受限边生成	292	11.2.5 视频辅助数据(VAUX)	373
9.1.10 电平受限处理	292	11.3 数字接口	374
9.1.11 编码器视频参数	292	11.3.1 IEEE 1394	377
9.1.12 同步锁相支持	295	11.3.2 SDTI	377
9.1.13 alpha通道支持	296	11.4 100Mbit/s DV不同之处	377
9.2 NTSC和PAL数字解码	296	11.5 HDV格式	377
9.2.1 数字化模拟视频	296	11.6 AVCHD格式	377
9.2.2 Y/C分离	298	参考文献	378
9.2.3 色差处理	298		
9.2.4 亮度(Y)处理	302		
9.2.5 用户调整	302		
9.2.6 颜色空间转换	304		
9.2.7 同步锁相	307		
9.2.8 视频时序生成	312		
9.2.9 视频信号类型自动检测	313		
9.2.10 Y/C分离技术	314		
9.2.11 alpha通道支持	322		
9.2.12 解码器视频参数	322		
参考文献	325		
第10章 H.261和H.263	326	第12章 MPEG-1	379
10.1 H.261	326	12.1 MPEG和JPEG	379
10.1.1 视频编码层	328	12.2 质量问题	380
10.1.2 视频比特流	330	12.3 音频概述	380
10.1.3 静止图像传送	337	12.3.1 声音质量	381
10.2 H.263	337	12.3.2 背景理论	381
10.2.1 视频编码层	338	12.4 视频编码层	381

12.5.6 宏块层	393	13.4.11 量化矩阵扩展	436
12.5.7 块层	397	13.4.12 图像显示扩展	438
12.6 系统比特流	400	13.4.13 图像时域可分级扩展	439
12.6.1 ISO/IEC 11172层	401	13.4.14 图像空域可分级扩展	439
12.6.2 包组层	401	13.4.15 版权扩展	440
12.6.3 系统头	402	13.4.16 摄像头参数扩展	441
12.6.4 包层	403	13.4.17 ITU-T ext. D扩展	441
12.7 视频解码	405	13.4.18 条带层	441
12.7.1 快进播放注意事项	405	13.4.19 宏块层	442
12.7.2 暂停模式注意事项	405	13.4.20 块层	448
12.7.3 快退播放注意事项	405	13.5 运动补偿	455
12.7.4 解码后期处理	405	13.5.1 场预测	455
12.8 现实问题	405	13.5.2 帧预测	456
12.8.1 系统比特流终止	405	13.6 PES包	456
12.8.2 时间码	405	13.7 节目流	464
12.8.3 可变比特率	405	13.7.1 包组层	465
12.8.4 约束比特流	406	13.7.2 系统头	466
12.8.5 源采样时钟	406	13.7.3 节目流映射	467
参考文献	406	13.7.4 节目流目录	468
第13章 MPEG-2	407	13.8 传输流	469
13.1 音频概述	407	13.8.1 包层	469
13.2 视频概述	408	13.8.2 适配域	470
13.2.1 级别	408	13.8.3 节目相关信息	473
13.2.2 档次	408	13.8.4 节目关联表	474
13.2.3 可分级性	413	13.8.5 节目映射表	476
13.2.4 传输和节目流	413	13.8.6 传输流描述表	477
13.3 视频编码层	414	13.8.7 条件接收表	478
13.3.1 YCbCr颜色空间	414	13.8.8 网络信息表	479
13.3.2 编码图像类型	414	13.8.9 IPMP控制信息表	479
13.3.3 运动补偿	415	13.9 知识产权管理和保护	479
13.3.4 宏块	415	13.10 在MPEG-2传输流上的MPEG-4.2	
13.3.5 I图像	416	视频	480
13.3.6 P图像	417	13.11 在MPEG-2传输流上的MPEG-4.10	
13.3.7 B图像	418	(H.264)	480
13.4 视频比特流	418	13.12 在MPEG-2传输流上的SMPTE 421M	
13.4.1 视频序列	419	(VC-1) 视频	480
13.4.2 序列头	419	13.13 MPEG-2 PMT/PSM描述符	480
13.4.3 用户数据	421	13.13.1 MPEG-2 AAC音频描述符	481
13.4.4 序列扩展	422	13.13.2 音频流描述符	481
13.4.5 序列显示扩展	423	13.13.3 AVC定时和HRD描述符	481
13.4.6 序列可分级扩展	425	13.13.4 AVC视频描述符	482
13.4.7 图像组 (GOP) 层	427	13.13.5 CA描述符	483
13.4.8 图像层	427	13.13.6 字幕服务描述符	484
13.4.9 内容描述数据	428	13.13.7 版权描述符	485
13.4.10 图像编码扩展	434	13.13.8 数据流对齐描述符	485

13.13.9 DTCP描述符	485	13.16 ATSC PMT描述符	499
13.13.10 DTS音频描述符	486	13.16.1 AC-3音频流描述符	499
13.13.11 层次描述符	486	13.16.2 ATSC私有信息描述符	500
13.13.12 IBP描述符	487	13.16.3 组件名称描述符	500
13.13.13 IPMP描述符	487	13.16.4 内容分级描述符	500
13.13.14 ISO 639语言描述符	488	13.16.5 增强信令描述符	501
13.13.15 最大比特率描述符	488	13.16.6 再发行控制描述符	502
13.13.16 元数据描述符	488	13.17 DVB PMT描述符	502
13.13.17 复用缓冲区利用描述符	489	13.17.1 AAC音频描述符	502
13.13.18 私有数据指示器描述符	489	13.17.2 AC-3和增强的AC-3描述符	502
13.13.19 注册描述符	489	13.17.3 适配域数据描述符	503
13.13.20 平滑缓冲区描述符	490	13.17.4 辅助数据描述符	503
13.13.21 STD描述符	490	13.17.5 组件描述符	504
13.13.22 系统时钟描述符	491	13.17.6 国家可用性描述符	504
13.13.23 目标背景网格描述符	491	13.17.7 数据广播ID描述符	504
13.13.24 视频流描述符	492	13.17.8 DTS音频描述符	505
13.13.25 视频窗口描述符	493	13.17.9 扩展描述符	505
13.14 MPEG-4 PMT/PSM描述	493	13.17.10 Mosaic描述符	505
13.14.1 MPEG-4音频描述符	493	13.17.11 家长分级控制描述符	505
13.14.2 外部ES ID描述符	493	13.17.12 私有数据说明符描述符	505
13.14.3 FMC描述符	494	13.17.13 加扰描述符	506
13.14.4 FmxBufferSize描述符	494	13.17.14 服务切换描述符	506
13.14.5 IOD描述符	494	13.17.15 流标识符描述符	506
13.14.6 MultiplexBuffer描述符	495	13.17.16 字幕描述符	506
13.14.7 Muxcode描述符	495	13.17.17 图文电视描述符	507
13.14.8 SL描述符	496	13.17.18 VBI数据描述符	507
13.14.9 MPEG-4视频描述符	496	13.17.19 VBI图文电视描述符	508
13.15 ARIB PMT描述符	496	13.18 OpenCable PMT描述符	508
13.15.1 轮播兼容的复合描述符	496	13.18.1 AC-3音频流描述符	509
13.15.2 组件描述符	496	13.18.2 组件名称描述符	509
13.15.3 条件播放描述符	496	13.18.3 组件名称描述符	509
13.15.4 内容可用性描述符	496	13.18.4 内容分级描述符	509
13.15.5 国家可用性描述符	497	13.18.5 扩展视频描述符	509
13.15.6 数据组件描述符	497	13.18.6 帧率描述符	510
13.15.7 数字复制控制描述符	497	13.18.7 MAC地址列表描述符	510
13.15.8 紧急信息描述符	497	13.18.8 再发行控制描述符	510
13.15.9 层次传输描述符	498	13.18.9 VBI数据描述符	510
13.15.10 链接描述符	498	13.19 隐藏字幕	510
13.15.11 Mosaic描述符	498	13.19.1 CEA-708	510
13.15.12 家长分级控制描述符	498	13.19.2 MPEG-2视频	511
13.15.13 流标识符描述符	498	13.19.3 MPEG-2视频 (SCTE 21)	513
13.15.14 系统管理描述符	498	13.19.4 MPEG-2视频 (SCTE 20)	514
13.15.15 目标区域描述符	499	13.19.5 MPEG-4.10 (H.264) 视频	515
13.15.16 视频解码控制描述符	499	13.19.6 SMPTE 421M (VC-1) 视频	515

13.19.7 VBI标准	516	13.20.43 CP_data_block	520
13.20 VBI标准	516	13.20.44 reserved_bits	520
13.20.1 data_identifier	516	13.20.45 reserved_bits	520
13.20.2 data_unit_ID	516	13.20.46 field_parity	520
13.20.3 data_unit_length	516	13.20.47 line_offset	521
13.20.4 reserved_bits	516	13.20.48 VITC_data_block	521
13.20.5 field_parity	517	13.20.49 stuffing_type	521
13.20.6 line_offset	517	13.21 图文电视	521
13.20.7 framing_code	517	13.22 有效格式描述 (AFD)	522
13.20.8 txt_data_block	517	13.22.1 MPEG-2视频	522
13.20.9 reserved_bits	517	13.22.2 MPEG-4.10 (H.264) 视频	522
13.20.10 field_parity	517	13.22.3 SMPTE 421M (VC-1) 视频	522
13.20.11 line_offset	517	13.23 字幕	523
13.20.12 VPS_data_block	517	13.23.1 数字有线电视字幕	523
13.20.13 reserved_bits	517	13.23.2 DVB字幕	527
13.20.14 field_parity	518	13.24 增强的电视节目安排	528
13.20.15 line_offset	518	13.25 数据广播	529
13.20.16 WSS_data_block	518	13.25.1 轮播	530
13.20.17 reserved_bits	518	13.25.2 在MPEG-2上的IP多播传输	530
13.20.18 reserved_bits	518	13.25.3 数据广播机制	531
13.20.19 field_parity	518	13.26 解码器注意事项	533
13.20.20 line_offset	518	参考文献	535
13.20.21 closed_captioning_data_		第14章 MPEG-4和H.264	537
block	518	14.1 音频概述	538
13.20.22 reserved_bits	518	14.1.1 一般音频对象类型	538
13.20.23 field_parity	518	14.1.2 语音对象类型	539
13.20.24 line_offset	518	14.1.3 合成语音对象类型	539
13.20.25 AMOL48_data_block	519	14.1.4 合成音频对象类型	539
13.20.26 trailer	519	14.2 视觉概述	539
13.20.27 reserved_bits	519	14.2.1 YCbCr颜色空间	540
13.20.28 field_parity	519	14.2.2 视觉对象	540
13.20.29 line_offset	519	14.2.3 MPEG-4.2自然视觉对象类型	540
13.20.30 AMOL96_data_block	519	14.2.4 MPEG-4.2自然视觉档次	541
13.20.31 reserved_bits	519	14.3 图形概述	543
13.20.32 field_parity	519	14.4 视觉层	544
13.20.33 line_offset	519	14.4.1 视觉对象序列	544
13.20.34 framing_code	519	14.4.2 视频对象	545
13.20.35 NABTS_data_block	519	14.4.3 视频对象层	545
13.20.36 reserved_bits	520	14.4.4 视频对象平面组	545
13.20.37 field_parity	520	14.4.5 视频对象平面	545
13.20.38 line_offset	520	14.5 对象描述框架	545
13.20.39 TVG2X_data_block	520	14.5.1 对象描述符流	546
13.20.40 reserved_bits	520	14.5.2 对象内容信息	547
13.20.41 field_parity	520	14.5.3 知识产权管理与保护	547
13.20.42 line_offset	520		

14.6 场景描述	547	参考文献	565
14.7 基本流同步	548	第16章 OpenCable™数字电视	566
14.7.1 同步层	548	16.1 视频能力	567
14.7.2 DMIF应用接口	549	16.2 音频能力	567
14.8 基本流的多路复用	549	16.3 带内系统信息	567
14.8.1 FlexMux	549	16.3.1 所需表	568
14.8.2 在MPEG-2之上的MPEG-4	549	16.3.2 可选表	569
14.8.3 MP4文件格式	550	16.3.3 描述符	570
14.9 知识产权管理与保护 (IPMP)	550	16.4 带外系统信息	571
14.10 MPEG-4.10 (H.264) 视频	550	16.4.1 表	571
14.10.1 档次和级别	550	16.4.2 描述符	573
14.10.2 补充的增强信息	552	16.5 带内数据广播	574
14.10.3 视频编码层	552	16.5.1 数据服务声明	574
14.10.4 网络抽象层	554	16.5.2 服务描述框架	575
参考文献	555	16.6 条件接收	575
第15章 ATSC数字电视	556	16.7 相关技术	575
15.1 视频能力	557	16.8 应用框图	576
15.2 音音频能力	557	参考文献	577
15.2.1 主音频服务: 完整主音频 (CM)	558	第17章 DVB数字电视	578
15.2.2 主音频服务: 音乐和音效 (ME)	558	17.1 视频能力	579
15.2.3 关联服务: 针对视力障碍 (VI) 人群	558	17.2 音音频能力	579
15.2.4 关联服务: 针对听力障碍 (HI) 人群	558	17.3 系统信息	579
15.2.5 关联服务: 对话 (D)	558	17.3.1 所需表	579
15.2.6 关联服务: 解说 (C)	558	17.3.2 可选表	580
15.2.7 关联服务: 画外音 (VO)	558	17.3.3 描述符	583
15.3 节目和系统信息协议	559	17.4 数据广播	586
15.3.1 所需表	559	17.5 条件接收	587
15.3.2 可选表	560	17.5.1 同密	587
15.3.3 描述符	561	17.5.2 多密	587
15.4 E-VSB	562	17.5.3 DVB通用接口	587
15.4.1 音音频能力	562	17.6 应用框图	588
15.4.2 视频能力	562	参考文献	588
15.4.3 节目和系统信息协议	562	第18章 ISDB数字电视	590
15.5 数据广播	562	18.1 ISDB-S (卫星)	590
15.5.1 数据服务声明	563	18.2 ISDB-C (有线)	591
15.5.2 服务描述框架	563	18.3 ISDB-T (地面)	591
15.5.3 触发器 (同步和异步)	563	18.4 视频能力	591
15.5.4 软件下载数据服务	564	18.5 音音频能力	592
15.5.5 传输流文件系统	564	18.6 静态图像能力	592
15.6 应用框图	564	18.7 图形能力	592

18.9 字幕	599	19.3.1 RTSP	602
18.10 数据广播	599	19.3.2 RTP	603
18.10.1 数据轮转传输	599	19.3.3 RTCP	604
18.10.2 数据管道	599	19.3.4 RSVP	605
18.10.3 事件信息传输	599	19.4 ISMA	605
18.10.4 独立PES传输	600	19.4.1 档次0	605
18.10.5 交互信道协议	600	19.4.2 档次1	606
18.11 应用框图	600	19.5 在IP上实现广播	606
参考文献	600	19.6 条件接收 (DRM)	606
第19章 IPTV	601	参考文献	606
19.1 技术考虑	601	术语表	608
19.2 多播	601	索引	638
19.3 基于RTSP的解决方案	601		



第1章 引言

几年前，视频的应用还略微局限于模拟方面，主要用于广播和有线电视、VCR、机顶盒、电视和便携式摄像机等。之后，模拟视频大量而迅速地转向数字视频，这种转变主要基于MPEG-2视频压缩标准。

目前，除了传统的DV、MPEG-1和MPEG2音频和视频压缩标准外，还出现了三种高性能的视频压缩标准。在相同的视频质量下，这些新的编解码器能提供更高的压缩比。

- MPEG-4.2。这种视频编解码器在压缩比方面比MPEG-2提高了1.5~2倍。它本来能够占领更多的市场份额，但是由于其复杂性，实际上一直没有得到广泛的认可。而且，很多人也决定干脆等待新的MPEG-4.10（H.264）编解码器的问世。
- MPEG-4.10（H.264）。这种编解码器在压缩比方面比MPEG-2提高了2~3倍。而且，随着编码器的逐步完善且支持MEPG-4.10（H.264）的工具越来越多，MEPG-4.10（H.264）的压缩比和质量也将不断提升。吸取了MPEG-4的教训，MPEG-4.10（H.264）已经能够适应于低价位、单芯片的产品，并且被DVB标准和ARIB标准所采纳。
- SMPTE 421M（VC-1）。这是MPEG-4.10（H.264）的有力竞争者。这种视频编解码器在压缩比方面同样比MPEG-2提高了2~3倍，而且，随着编码器的逐步完善，压缩比和压缩质量也将进一步得到改善。

随着人们对音频相关技术的兴趣不断增加，越来越多的音频编解码技术也随之出现。这些音频相关技术包括：6.1和7.1声道音频技术、多声道无损压缩技术、相同音频质量情况下的低比特率技术以及在需要较高音质且比特率比较合理的条件下为某些应用实现最高音频质量的技术。

除了音频解码外，DVD、HD DVD、蓝光录像机和数字视频录像机（Digital Video Recorder，DVR）也需要使用实时、高质量的音频编码技术。综合这些对音频技术的需求可见，消费市场上的单芯片解决方案通常需要集成DSP用于音频处理。

消费者使用的电子设备也变得更成熟了，能支持更多类型的内容和内部互连方式。目前，主要有以下相关的消费类电子设备。

- HD DVD、蓝光播放器和录像机。除了用来播放CD和DVD，这些先进的HD播放器同样支持播放MPEG-4.10（H.264）和SMPTE 421M（VC-1）格式的内容。有些还包含以太网连接功能，从而能够在电视机上非常便捷地欣赏个人电脑或媒体服务器中的内容。
- 数字媒体适配器。这些小型、低价的盒子使用以太网或802.11连接功能，从而使个人电脑或媒体服务器上的内容能够很容易地在电视机上播放。同时，它们通常支持MPEG-2、MPEG-4.10（H.264）、SMPTE 421M（VC-1）以及JPEG格式的内容。
- 数字机顶盒。有线、卫星机顶盒现在已具有数字视频录像机（DVR）的功能，使得浏览者能很方便地随时观看他们想看的内容。MPEG-4.10（H.264）和SMPTE 421M（VC-1）的使用，有利于增加内容频道，减少数字产品的过早过时。
- 数字电视（Digital Television，DTV）。电视中除集成了调谐器和解码器，甚至在一些电视中还包含数字媒体适配器功能。此外，支持在线观看视频的技术也在不断发展。
- 网络电视（IPTV）机顶盒。这些低价位的机顶盒在那些拥有高速DSL和光纤到户（FTTH，

Fiber To The Home) 功能的地区很受欢迎。MPEG-4.10 (H.264) 和 SMPTE 421M (VC-1) 的使用降低了数字产品过早过时的可能性。

- 便携式媒体播放器。通过使用内置硬盘驱动器 (Hard Disc Drive, HDD)，这些播放器利用 USB 接口或 802.11 网络接口实现与电脑的连接，用于下载多种类型的内容。便携式媒体播放器通常也支持 MPEG-2、MPEG-4.10 (H.264)、SMPTE 421M (VC-1) 以及 JPEG 格式内容的播放。
- 移动视频接收器。这种设备通常集成在手机内，其中 MPEG-4.10 (H.264) 和 SMPTE 421M (VC-1) 用来传送高质量的视频信号。例如，DMB、DVB-H 和 DVB-SH 标准就属于这类应用。

当然，为了生产这类先进的消费产品，不仅需要音频、视频编解码技术的支持，还需要如下技术支持。

- 隐藏字幕、字幕、图文电视与 V-Chip 技术。为了支持数字广播，这些标准已做了更新。
- 先进的视频处理技术。由于视频内容以及视频显示器的分辨率多种多样，导致通常需要高质量的缩放与运动自适应的逐行扫描技术。因为标清 (SD) 电视标准和高清 (HD) 电视标准使用的是不同的色度标准，所以在 HDTV 上观看标清内容或者在 SDTV 上观看高清内容都需要进行修正。
- 复杂的图像合成技术。该技术能够用来渲染复杂的图像，在该图像中可能包含多种视频、屏幕视控系统 (On-Screen Display, OSD)、字幕/子图、文本和图表等元素。
- 基于 IP 网络的 ARIB 与 DVB 技术。随着基于 IP 网络的 ARIB 与 DVB 技术逐步应用，支持 IP 视频的复杂性也在提高。
- 数字版权管理 (Digital Rights Management, DRM)。该技术可以用来防止内容被未授权复制和未授权观看。

本书进行了一些更新，以反映上述这些技术的发展。实现一个实际的视频解决方案并不容易，而且许多工程师对该领域知之甚少或者没有足够的实践经验。对于那些需要理解视频特性并在新一代设计中实现视频技术的工程师，本书无疑是他们了解和使用视频技术的指南。

本书同样适用于需要或渴望了解视频技术的工程师、正在研发新视频产品的 VLSI 设计工程师，以及任何想要评估或了解视频系统的人士。

1.1 本书内容

本书内容按以下方式组织。

第 2 章是视频简介，讨论了各种视频格式和信号及其应用领域，描述了隔行扫描视频与逐行扫描视频之间的区别。这一章还给出了 DVD 播放器和数字机顶盒的结构框图。

第 3 章回顾了常见的颜色空间，说明了各种颜色空间在数学上的关系，以及何时使用某种特定的颜色空间。这一章所讨论的颜色空间包括 RGB、YUV、YIQ、YCbCr、xvYCC、HSI、HSV 和 HLS。此外，这一章还讨论了如何从一个非 RGB 颜色空间变换到 RGB 颜色空间，以及如何进行 gamma 修正。

第 4 章是视频信号概述，回顾了视频时序以及各种视频格式的模拟信号和数字信号表示方法，这些视频格式包括 480i、480p、576i、576p、720p、1080i 和 1080p。

第 5 章讨论了消费类应用和专业视频应用中的模拟视频接口，包括模拟 RGB、YPbPr、S-Video 和 SCART 接口。

第 6 章讨论了半导体、专业视频设备和消费类设备中的各种数字视频接口，回顾了 BT.601 和

BT.656半导体接口，SDI、SDTI和HD-SDTI专业视频接口，以及DVI、HDMI和IEEE 1394消费产品类视频接口。

第7章讨论了几种数字视频处理技术，例如从YCbCr 4：4：4到YCbCr 4：2：2变换、YCbCr数字滤波器模板、视频缩放、隔行/逐行转换、帧率转换、alpha混合、闪烁过滤和色度抠像。此外，这一章还介绍了亮度、对比度、饱和度、色调和锐度控制等。3

第8章概述了NTSC、PAL和SECAM。这一章首先回顾了各种复合模拟视频信号格式和视频测试信号。这一章所讨论的VBI数据包括时间码、隐藏字幕和扩展数据服务（Extended Data Service, XDS）、宽屏信令与图文电视。此外，这一章还回顾了PALplus、RF调制、BTSC、Zweiton模拟立体声以及NICAM 728数字立体声技术。

第9章讨论了应用于NTSC和PAL制式彩色视频信号编解码的数字技术。同时，这一章还回顾了亮度/色度（Y/C）分离技术并进行了比较分析。

第10章讨论了用于远程视频会议的H.261和H.263视频压缩标准。

第11章讨论了便携式数字摄像机中使用的消费电子类DV视频压缩标准。

第12章回顾了MPEG-1视频压缩标准。

第13章讨论了MPEG-2视频压缩标准。

第14章讨论了MPEG-4视频压缩标准，其中包括MPEG-4.10（H.264）。

第15章讨论了美国使用的ATSC数字电视标准。

第16章讨论了美国使用的OpenCable™数字电视标准。

第17章讨论了欧洲和亚洲使用的DVB数字电视标准。

第18章讨论了日本使用的ISDB数字电视标准。

第19章讨论了IPTV。该技术可以实现通过Internet、DSL、FTTH等广播网络来传送压缩视频。

最后，第20章给出了400多个视频方面的术语。如果遇到不熟悉的术语，可以在这个术语表中找到其定义。4

1.2 标准组织

许多标准化组织参与了视频标准的制定，下面列出了部分组织。

美国先进电视系统委员会（ATSC）：www.atsc.org

日本无线工业及商贸联合会（ARIB）：www.arib.or.jp

美国有线电视实验室：www.cablelabs.com

美国家电行业团体消费电子协会（CEA）：www.ce.org

数字视频广播（DVB）：www.dvb.org

美国电子工业协会（EIA）：www.eia.org

欧洲广播联盟（EBU）：www.ebu.ch

欧洲电信标准协会（ETSI）：www.etsi.org

国际电工委员会（IEC）：www.iec.ch

美国电气电子工程师学会（IEEE）：www.ieee.org

国际标准化组织（ISO）：www.iso.org

国际电信联盟（ITU）：www.itu.int

电缆电信工程师协会（SCTE）：www.scte.org

运动图像和电视工程师协会（SMPTE）：www.smpte.org

视频电子标准协会（VESA）：www.vesa.org

第2章 视频简介

尽管视频信号有很多类型和实现技术，但其目的只是为了实现视觉信息在不同位置之间的传送。这些视觉信息可能是来自于VCR、DVD播放器、本地广播的某个频道、有线电视，或者来自于卫星电视系统、因特网，还可能是其他各种渠道。

但有一点是肯定的，那就是视频信息必须从一个设备传输到另一个设备。可能是从卫星电视机顶盒或DVD播放器传输到电视机，或者在卫星电视机顶盒或电视机内部不同芯片之间传输。这看起来好像很简单，但需要满足很多不同的要求，故存在很多方式来实现这种传输。

2.1 模拟与数字

几年前，大多数的视频设备还主要是为模拟视频而设计的，数字视频还仅限于视频编辑这样的专业应用领域。

目前，普通消费者在日常生活中都用上了数字视频设备，这要得益于这些数字产品价格的不断下降。这种趋势也导致相关技术的快速发展，如DVD播放机和摄像机、数字机顶盒、数字电视(DTV)、便携视频播放器和基于因特网的视频数据传输能力等。

2.2 视频数据

起初，视频仅仅包含灰度（也称为黑白）信息。

在建立彩色广播电视系统的过程中，人们试图用模拟RGB（红、绿、蓝）来发送彩色视频。然而，这种技术占用的带宽是当时使用的灰度解决方案的3倍多，因此必须创建其他的替代方法。于是，人们用Y、R-Y和G-Y数据来表示颜色信息，并开发相应的技术来传输Y、R-Y和G-Y信息。这种技术只需要一个信号，而不是3个独立的信号，因此只需要与原来传输灰度视频信号相同的带宽。6今天广泛使用的NTSC、PAL和SECAM视频标准仍然是建立在这种复合视频信号(composite video signal)基础上的。在第8章和第9章还将更加详细地对其进行讨论。

现在，尽管有很多表示视频的方式，但它们都要通过RGB的数学公式表示出来。在第3章将更加详细地讨论这些表示方法。

S-Video是为了将终端设备连接（目的不是为了广播）在一起而建立的。每组信号由两个模拟信号构成：一个为灰度（Y）信息，另一个是以特定格式传输的模拟R-Y和B-Y颜色信息（也称为C或色度）。这种技术曾经只在S-VHS中可用，但现在大多数消费类视频产品都支持这项技术。在第9章将更加详细地对其进行讨论。

尽管模拟RGB视频数据一直用于专业视频市场，但为了实现与高端消费设备的连接，模拟RGB视频数据也暂时应用于普通视频市场。与S-Video一样，模拟RGB视频数据也不用于广播。

Y、R-Y、G-Y视频信号的另一种形式称为YPbPr，现在通常用于将消费类视频产品连接在一起。其主要优点在于能够在消费类视频产品之间传输高分辨率视频。有些制造商错误地将YPbPr连接器称为YUV、YCbCr或Y (B-Y) (R-Y)。

第5章将详细地讨论各种模拟视频互连方案。

2.2.1 数字视频

目前最通用的数字信号为RGB和YCbCr。RGB是模拟RGB视频信号进行简单数字化后得到的版本。YCbCr基本上是模拟YPbPr视频信号的数字化版本，这种格式由DVD和数字电视所采用。

第6章将更加深入地讨论各种数字视频互连方案。

2.2.2 最佳连接方法

设备的最佳连接方法是什么？对于DVD播放器和数字有线电视/卫星电视/地面机顶盒，按照视频质量由好到差排序，一般的顺序为：

- (1) HDMI (数字YCbCr)
- (2) HDMI (数字RGB)
- (3) 模拟YPbPr
- (4) 模拟RGB
- (5) 模拟S-Video
- (6) 模拟复合视频

有些人可能不同意这个排序。但是，大多数消费类产品都是在YCbCr颜色空间进行数字视频处理的。因此，使用YCbCr作为设备互连格式可以减少所需的颜色空间转换次数。数字信号的颜色空间转换仍然优先选择进行D/A（数字到模拟）转换，接着进行A/D（模拟到数字）转换，所以HDMI RGB排在模拟YPbPr之前。

计算机产业已经对接入计算机显示器的模拟和数字RGB信号进行了标准化。

2.3 视频时序

视频画面尽管看起来好像是连续运动的，其实那是一系列静止的图像。这些图像切换得足够快，使得画面看起来像是连续运动的，如图2-1所示。对于消费类电子产品，通常情况下为每秒50或60张图像，计算机显示器为每秒70~90张图像。一种称为场同步（vertical sync）的特定时序信息被用于指定新图像从什么时候开始显示。

每张静止图像是由扫描线（scan line）组成的，即沿着显示器从上到下、一行接着一行进行显示的数据线，如图2-1所示。另一种称为行同步（horizontal sync）的时序信息用于指定新扫描线什么时候开始显示。

行同步和场同步信息通常通过以下三种方式之一进行传输：

- (1) 单独的行同步和场同步信号；
- (2) 单独的复合同步信号；
- (3) 嵌入视频信号的复合同步信号。

复合同步信号是由场同步和行同步信号组合而成的。

使用模拟RGB视频的计算机和消费类设备通常采用技术（1）或（2）。支持复合视频或模拟

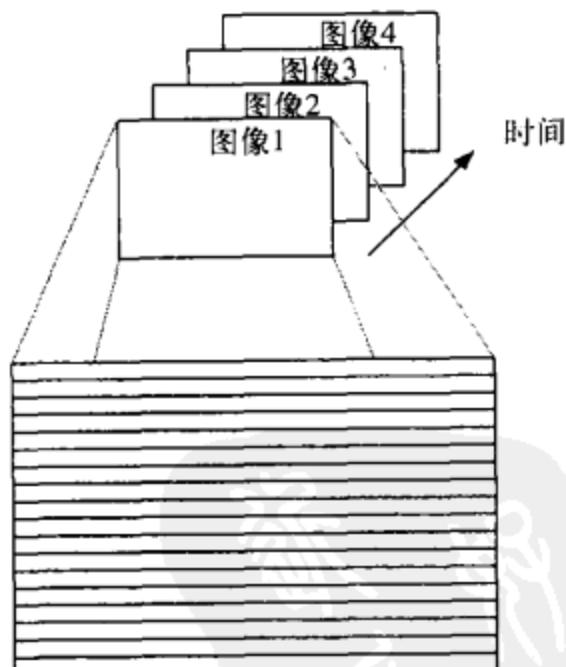


图2-1 视频是由一系列静止图像组成的，每张图像是由多个独立的数据线组成的

YPbPr视频的消费类设备通常采用技术(3)。

对于数字视频，通常要么采用技术(1)，要么就是将时序编码字嵌入数字视频流中。这个问题将在第6章详细讨论。

隔行与逐行

由于视频是由一系列静止图像组成的，因此，简单地连续显示每幅完整的图像是有意义的，也就是一张接一张地显示每幅图像。

上面所讲的就是逐行显示(progressive) [或称为非隔行(non-interlaced)显示]的基本技术。对于将图像以逐行方式“绘制”到屏幕上的设备(如CRT)，每张图像都是从显示器的左上角开始，一直向右移动，直到到达显示器的右边缘为止，然后向下扫描一行，重复地从左到右进行扫描。这个过程一直持续到整个屏幕全部被刷新一次为止，如图2-2所示。

8 在电视发展的早期，采用一种称为“隔行显示(interlacing)”的技术来减少每幅图像所需发送的数据量。这种方式先发送奇数行的数据，接着发送偶数行的数据(如图2-3所示)，因此每次发送的数据量为一幅图像数据量的一半。

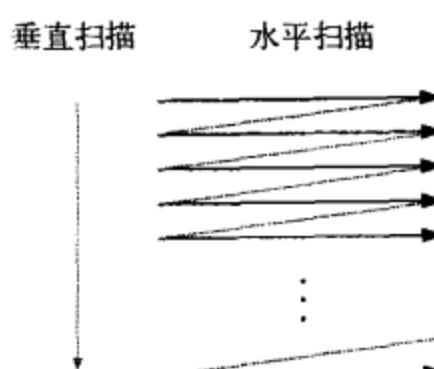


图2-2 逐行显示器一行接一行地连续“绘制”出每幅图像

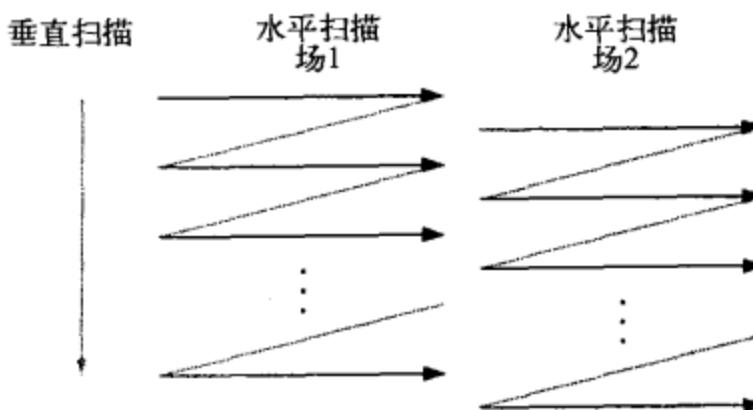


图2-3 隔行显示器先“绘制”图像的一半(奇数行)，然后“绘制”图像的另一半(偶数行)

既然隔行显示方式有这个优点，那么为什么还要多余地使用逐行显示方式呢？

在隔行显示方式中，每个扫描线更新的频率只有同等情况下逐行显示方式的一半。所以，为了避免由于过低的帧率而导致颜色对比显著的边缘出现闪烁，要限制扫描线之间的变化，这本质上是由于在垂直方向上对图像进行了低通滤波。而逐行显示方式对线之间的变化就没有这种限制，因此，逐行显示方式能够提供更高分辨率(在垂直方向上)的没有闪烁的图像。

现在，大多数广播(包括HDTV)都仍然以隔行方式发射信号。大多数基于CRT的显示器也是隔行方式显示，而LCD、等离子以及计算机显示器都是采用逐行方式。

2.4 视频分辨率

在现实生活中，人们对于视频分辨率的概念往往有一些模糊的认识。我们通常见到的视频分辨率为 720×480 或 1920×1080 。然而，那只是水平采样和垂直扫描线的数目，并不等于说必须具有这么多有用信息。

例如，可以以 13.5MHz 的频率对模拟视频信号进行采样，生成每行720个采样点。对同样的信号以 27MHz 的频率采样可以生成每行1440个采样点。但这仅仅是每行的采样数目不同，视频内容的分辨率并没有改变。

因此，视频质量通常用线分辨率（lines of resolution）来度量。本质上是表示在显示器上可以显示多少不同的黑白垂直线。然后将这个数目归一化为1：1显示宽高比（对于4：3的显示器，将该数除以 $3/4$ ，而对于16：9的显示器则除以 $9/16$ ）。当然，对于宽屏（16：9）显示器，这会使得视频分辨率较低，与直觉不相符。

2.4.1 标准清晰度

标准清晰度（standard-definition）视频通常定义为480或576的隔行有效扫描线的视频，分别称为“480i”和“576i”。

固定像素（非CRT）、具有4：3宽高比的消费类显示器通过转换后，对应于 $720 \times 480\text{i}$ 或 $720 \times 576\text{i}$ 的有效分辨率。而对于16：9的宽高比，转换后的有效分辨率对应于 $960 \times 480\text{i}$ 或 $960 \times 576\text{i}$ 。

2.4.2 增强清晰度

增强清晰度（enhanced-definition）视频通常定义为具有480或576逐行有效扫描线的视频，分别称为“480p”或“576p”。

固定像素（非CRT）具有4：3宽高比的消费类显示器转换后的有效分辨率对应于 $720 \times 480\text{p}$ 或 $720 \times 576\text{p}$ 。而对于16：9的宽高比，转换后的有效分辨率对应于 $960 \times 480\text{p}$ 或 $960 \times 576\text{p}$ 。

标准清晰度和增强清晰度的差异在于，标准清晰度是隔行的，而增强清晰度是逐行的。

9

2.4.3 高清晰度

高清晰度（high-definition）视频通常定义为具有720逐行（720p）或1080隔行（1080i）有效扫描线的视频。固定像素（非CRT）、具有16：9宽高比的消费类显示器转换后的有效分辨率分别为 $1280 \times 720\text{p}$ 或 $1280 \times 1080\text{i}$ 。

但是，HDTV显示器在技术上定义为能够显示最少720p或1080i有效扫描线。它还必须能够用至少540逐行（540p）或810隔行（810i）有效扫描线来显示16：9的视频画面。这样，在制造具有4：3宽高比、基于CRT的HDTV和具有16：9宽高比、分辨率为 $1024 \times 1024\text{p}$ 、 $1280 \times 768\text{p}$ 、 $1024 \times 768\text{p}$ 的LCD/等离子等显示器时，能够降低制造费用。

2.5 音频与视频压缩

近年来，数字电视、DVD播放机和摄像机、数字视频摄像机等消费类电子产品取得了一些最新进展，这归功于音频和视频压缩标准。这些压缩标准主要有：带有Dolby® Digital的MPEG-2、DTS、MPEG-1或MPEG-2音频。

新的音频和视频编解码器，像MPEG-4 HE-AAC、MPEG-4.10（H.264）和SMPTE 421M（VC-1），在保持同样质量时，提供了比以往编解码方法更高的压缩效率。这些进展使得可以使用新的视频发布方式（面向消费者和家庭内部）、新的消费产品（如便携视频播放器和移动视频/移动电话）和更多的有线/卫星电视频道。

2.6 应用框图

下面几个简化的框图有助于我们认识视频流是如何经过各种相应处理的。

2.6.1 DVD播放器

图2-4为基本DVD播放机的简化框图，其中显示的是公共模块。如今所有这些模块都集成在一个廉价的芯片上了。

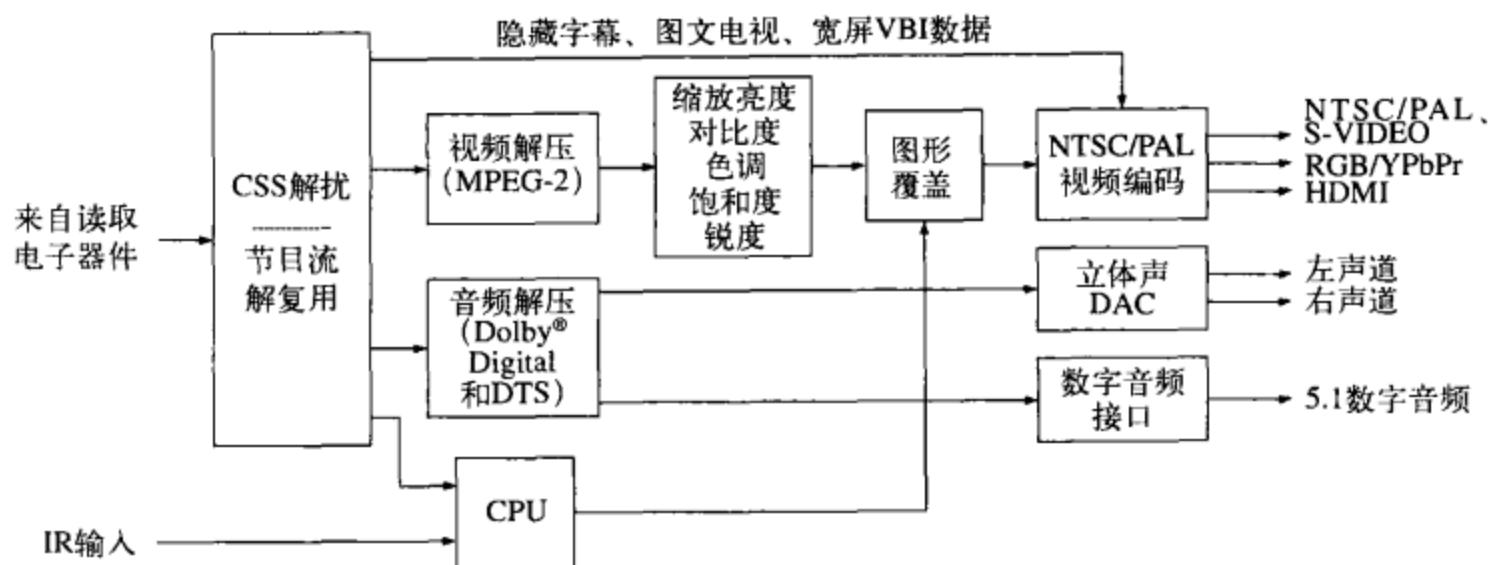


图2-4 简化的基本DVD播放机框图

除了播放DVD（基于MPEG-2视频压缩技术）外，目前，DVD播放器还有望处理MP3和WMA音频、MPEG-4视频（DivX视频）、JPEG图像等。同时有望具有特定的播放模式，如以各种速度慢/快进和快/慢退等。对DVD音频和SACD的支持也是很流行的。

DVD播放机的一个新增功能是能够接入到家庭网络中，用于播放一些存放于PC中的媒体（音乐、视频、图像等）。这些“网络化的DVD播放机”也包括播放一些准备事后浏览的内容，如来源于因特网的电影和下载到内部硬盘（HDD）中的媒体。支持对各种闪存卡中的音频、视频和图像进行播放的这类需求也在不断增长。

有些DVD播放机制造商为了快速吸引买家的注意力，对视频的频率响应进行了超频处理，使得其产品看起来与众不同。但因为这种特性通常需要长时间的激励过程，所以很容易失败或需要调试。对于观看电影来讲，很多视频爱好者都认为频率响应应该尽可能平滑。

另一个问题是模拟视频信号的量化等级。尽管很容易产生每个精确的视频量化等级，但这些等级变化得相当快。目前有些评论也指出了这个问题，因为在信号源之间切换时可能会使发生变化的亮度或灰度值具有平均作用，从而使得用户进行的任何校正或手动调整失效。

2.6.2 数字媒体适配器

数字媒体适配器是连接到家庭网络、用于播放存放于PC或媒体存储器中的多媒体内容（音乐、视频、图像等）的设备。这些小而廉价的盒子使得媒体内容很容易在家庭中的任意或所有电视机上欣赏。许多数字媒体适配器支持无线网络功能，这就简化了数字媒体适配器的安装过程。

图2-5是基本的数字媒体适配器的简化框图，图中显示的是公共模块。如今所有这些模块都集成在一个廉价的芯片上了。

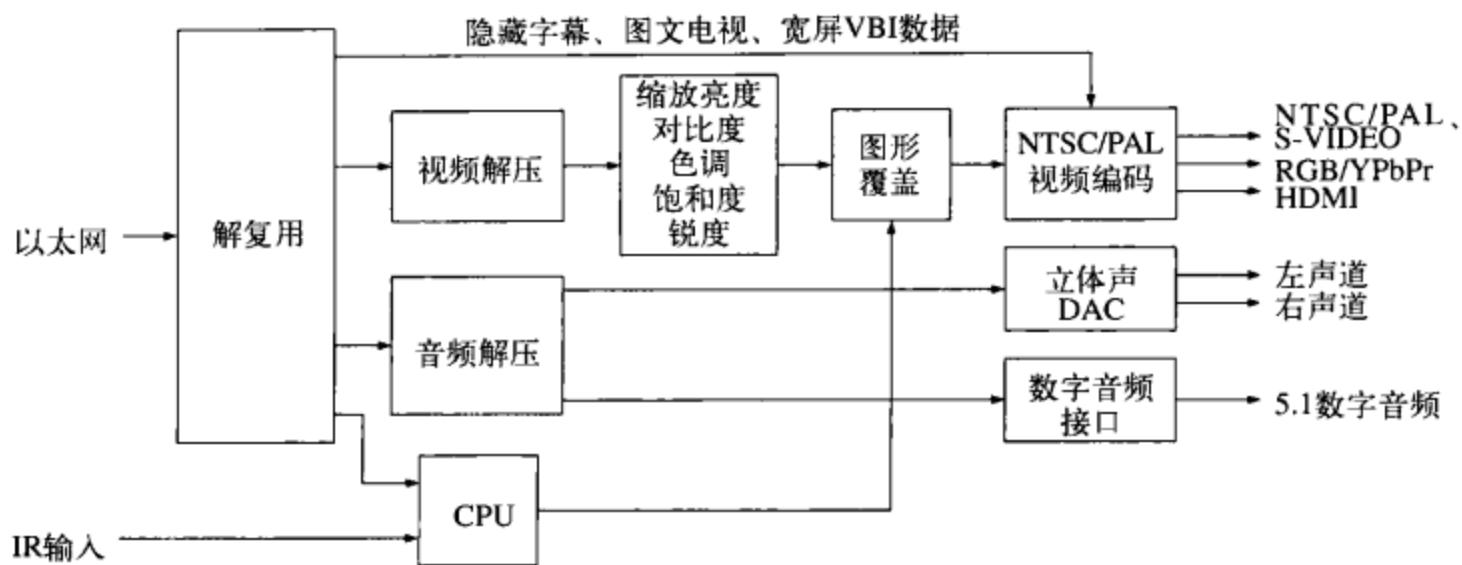


图2-5 简化的数字媒体适配器框图

2.6.3 数字电视机顶盒

数字电视标准可以分为7大类：

- (1) ATSC (美国先进电视系统委员会)
- (2) DVB (数字视频广播)
- (3) ARIB (日本无线工业及商贸协会)
- (4) IPTV (网络电视，包括基于IP的DVB和ARIB)
- (5) 开放数字有线标准，如OpenCable标准
- (6) 带版权保护的数字有线标准
- (7) 带版权保护的数字卫星电视标准

起初这些机顶盒都是基于MPEG-2视频和Dolby®Digital或MPEG音频，目前的机顶盒支持新的先进音视频标准，如MPEG-4 HE-AAC音频、Dolby®Digital Plus音频、MPEG-4.10（H.264）视频和SMPTE（VC-1）视频。

图2-6是数字电视机顶盒的简化结构图，图中显示的是公共音视频处理模块。数字机顶盒用于接收数字电视广播，这些数字电视广播可能来自地面台站（空中电波）、有线或卫星。在数字电视内部就可能包含这些电路。

目前的许多电视机顶盒有两个调谐器，并具有数字视频摄像（VCR）功能。这使得在浏览一个内部HDD时，还可以往另一个内部HDD中读入节目。在数字电视接收机中，有了这两个调谐器，还可以支持PIP特性（即将2个输入影像输出到同一画面上）。

12

13

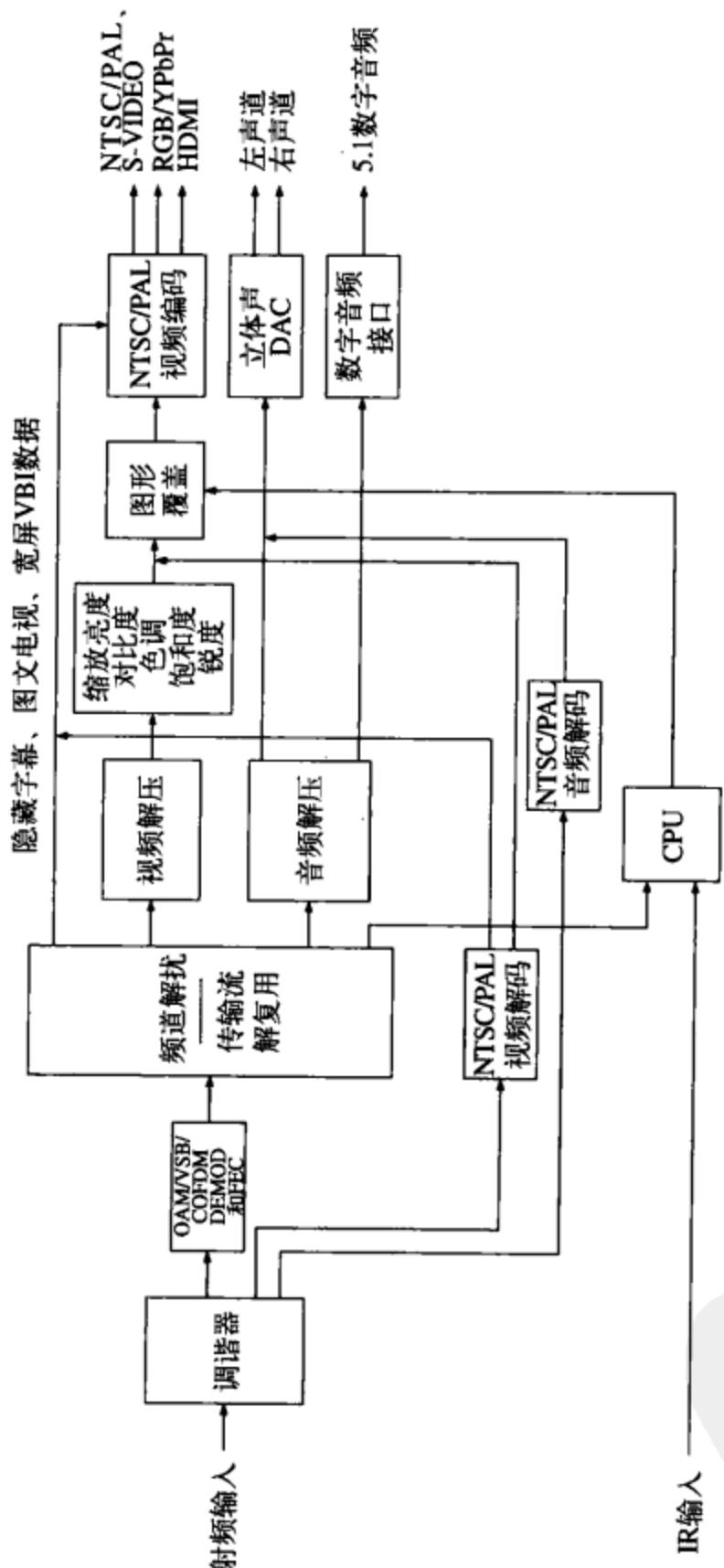


图2-6 数字电视机顶盒的简化框图

第3章 颜色空间

颜色空间 (color space) 是颜色集合的数学表示。三个最常用的颜色模型是：RGB（用于计算机图形学中）；YIQ、YUV或YCbCr（用于视频系统中）；CMYK（用于彩色打印）。但是，这些颜色空间都与色度、饱和度和亮度这些直观概念没有直接的关系。这使得人们暂时去寻求其他的模型，如HSI和HSV，来简化编程、处理和终端用户操作。

所有的颜色空间都能够由RGB信息推导而来，像摄像机和扫描仪这样的设备都采用RGB信息。

3.1 RGB颜色空间

红、绿和蓝（RGB）颜色空间广泛应用于计算机图形学和显示器。红绿蓝是三种基本的加性颜色（各个颜色成分相加来形成所需的颜色），可以用三维的笛卡尔坐标系统来表示RGB颜色空间（见图3-1）。图中立方体的对角线所代表颜色的每个基本颜色分量都相等，对角线上不同的点具有不同的灰度值。表3-1包含的RGB值具有100%的幅度、100%饱和彩条（color bar）和公共的视频测试信号。

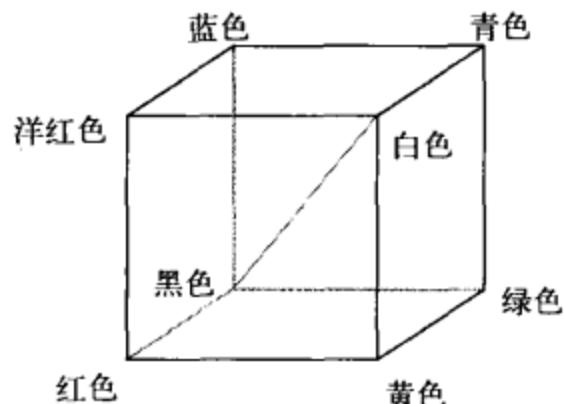


图3-1 RGB颜色立方体

15

表3-1 100%RGB彩条

标称范围	白色	黄色	青色	绿色	洋红色	红色	蓝色	黑色
R	0~255	255	255	0	0	255	255	0
G	0~255	255	255	255	255	0	0	0
B	0~255	255	0	255	0	255	0	255

RGB颜色空间是计算机图形学最通常的选择，因为彩色显示器采用红、绿和蓝三色来生成目标颜色。因此，选择RGB颜色空间简化了系统的架构与设计。同时，由于RGB颜色空间已经使用了很多年，因此，采用RGB颜色空间设计的系统可以利用大量已有的软件模块。

但是，当处理现实世界图像时，使用RGB颜色空间并不是很有效。要在RGB颜色立方体中生成任何一种颜色，三个RGB分量都需要占用相同的带宽。这就使得每个RGB颜色分量的帧缓冲需要同样的像素深度和显示分辨率。同时，在RGB颜色空间处理图像通常也不是最有效的方法。例如，为了修改给定像素的亮度或颜色值，必须同时从帧缓冲中读出RGB颜色的三个分量，然后重新计算亮度和颜色，执行相应的修改，再计算新的RGB值并写回帧缓冲。如果能够访问到直接以亮度和颜色格式存储的图像，那么某些处理步骤会更快。

由于这些和其他的某些原因，许多视频标准采用亮度（luma）和两个色差信号。最常用的就是YUV、YIQ和YCbCr颜色空间。尽管所有这些颜色空间都是相关的，但是它们之间还是有一些差异的。

3.1.1 sRGB

RGB颜色空间存在许多不同类型的实现，sRGB颜色空间是对这些实现的规范化。与sRGB (IEC61966-2-1) 相关的规范使用BT.709色度、D65参考白色、2.2显示色彩增益 (gamma) 和线性RGB (每个颜色8位)。

sRGB值具有归一化的颜色范围，即颜色值处于0到1之间。8位数字sRGB表示的黑白色值范围为0~255。其中有一个称为Studio RGB的版本使用8位表示16~235范围内的黑白色，这就可以与视频应用兼容。

16 sRGB有一个不足之处，由于归一化值限定于0~1范围内，在这个范围（生成的颜色三角形）之外的颜色就不可用。为此建立了扩展RGB颜色空间scRGB。

3.1.2 scRGB

scRGB颜色空间（更正式的称呼是sRGB64）扩展了sRGB的动态范围、颜色范围和位精度。scRGB的范围不仅比sRGB要大得多，而且比人类视觉系统可以看到的颜色范围还要大。scRGB (IEC 61966-2-2) 规定：使用BT.709色度、D65参考白色和线性RGB数据（每个颜色16位）。

除了使用归一化颜色范围0~1外，同时也支持颜色范围-0.5~+7.4999。尽管scRGB与sRGB具有相同的基本颜色，但由于可以使用小于0和大于1的颜色值，scRGB具有更大的颜色表示范围。线性16位scRGB值与归一化颜色范围之间的关联关系为：

$$0000 = -0.5$$

04096 = 0.0 (黑色)

12288 = 1.0 (白色)

$$16384 = 1.5$$

$$65535 = 7.4999$$

在进行gamma校准之后，非线性的16位scRGB值与归一化颜色范围的关联关系为：

$$0000 = -0.7354$$

04096 = 0.0 (黑色)

12288 = 1.0 (白色)

$$65535 = 2.3876$$

3.1.3 scRGB颜色到sRGB颜色的转换

将线性16位scRGB颜色转换为经过gamma校准的8位sRGB颜色（表示为s'R'G'B'8）：

$$scR = (scR_{16}/8192) - 0.5$$

$$scG = (scG_{16}/8192) - 0.5$$

$$scB = (scB_{16}/8192) - 0.5$$

如果 $(scR_{16}, scG_{16}, scB_{16}) \leq 4095$

$$sR'_8 = 0$$

$$sG'_8 = 0$$

$$sB'_8 = 0$$

如果 $4096 \leq (scR_{16}, scG_{16}, scB_{16}) \leq 4243$

$$sR'_8 = \text{round}[4.500 \times scR \times 255]$$

$$sG'_8 = \text{round}[4.500 \times scG \times 255]$$

$$sB'_8 = \text{round}[4.500 \times scB \times 255]$$

如果 $4244 \leq (scR_{16}, scG_{16}, scB_{16}) \leq 12288$

$sR'_8 = \text{round}[(1.099 \times scR^{0.45} - 0.099) \times 255]$
 $sG'_8 = \text{round}[(1.099 \times scG^{0.45} - 0.099) \times 255]$
 $sB'_8 = \text{round}[(1.099 \times scB^{0.45} - 0.099) \times 255]$
 如果 $(scR_{16}, scG_{16}, scB_{16}) \geq 12289$
 $sR'_8 = 255$
 $sG'_8 = 255$
 $sB'_8 = 255$

3.2 YUV颜色空间

YUV颜色空间是下面三大复合颜色视频标准所采用的颜色空间：PAL（逐行倒相彩色电视制式）、NTSC（美国国家电视系统委员会制式）和SECAM（按序传送彩色与存储制式）。黑白系统仅使用亮度（Y）信息；颜色信息（U和V）以一种特定的方式加入，使得黑白电视接收机同样可以显示标准的黑白图像。而彩色电视接收机则对额外的彩色信息进行解码从而显示彩色画面。

gamma校准的RGB（表示为R'G'B'）与YUV颜色空间之间的转换公式为：

$$\begin{aligned}
 Y &= 0.299R' + 0.587G' + 0.114B' \\
 U &= -0.147R' - 0.289G' + 0.436B' \\
 &= 0.492(B' - Y) \\
 V &= 0.615R' - 0.515G' - 0.100B' \\
 &= 0.877(R' - Y) \\
 R' &= Y + 1.140V \\
 G' &= Y - 0.395U - 0.581V \\
 B' &= Y + 2.032U
 \end{aligned}$$

17

对于取值范围在0~255的数字R'G'B'值，Y的取值范围为0~255，U的取值范围为0~±122，V的取值范围为0~±157。通常可以对这些转换公式进行裁减以简化在实际的NTSC或PAL数字编码器和解码器中的实现。

注意，对于数字数据，8位YUV和R'G'B'数据应该在0和255处饱和，以避免向下溢出和向上溢出导致的反转问题。

如果使用了(B' - Y)和(R' - Y)的整个取值范围，那么复合NTSC和PAL的量化等级将超出(当前的)黑白电视发送器和接收器所能支持的取值范围。实验表明，调制的次波在白色以上和黑色以下的偏移达到亮度信号(Y)偏移的20%是准许的。那么需要选择缩放因子使得最大的量化等级对应于75%的幅度、100%的饱和黄色和青色彩条，即这个颜色为最亮的白色(100 IRE)。

3.3 YIQ颜色空间

YIQ颜色空间（将在第8章深入讨论）是由YUV颜色空间推导而来的，NTSC复合颜色视频标准有选择性地使用YUV颜色空间。(I代表“同相”，Q代表“正交”，它们指的是用于发射颜色信息的调制方法。) 在R'G'B'和YIQ颜色之间转换的基本公式为：

$$\begin{aligned}
 Y &= 0.299R' + 0.587G' + 0.114B' \\
 I &= 0.596R' - 0.257G' - 0.321B' \\
 &= V\cos33^\circ - U\sin33^\circ \\
 &= 0.736(R' - Y) - 0.268(B' - Y) \\
 Q &= 0.212R' - 0.523G' + 0.311B' \\
 &= V\sin33^\circ - U\cos33^\circ \\
 &= 0.478(R' - Y) + 0.413(B' - Y)
 \end{aligned}$$

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

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

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

对于取值范围在0~255的数字R'G'B'值，Y的取值范围为0~255，I的取值范围为0~±152，Q的取值范围为0~±134。I和Q是通过将U和V轴旋转33°而获得的。这些公式通常可以进行裁减，来简化实际NTSC数字编码器和解码器的实现。

18

注意，对于数字数据，8位的YIQ和R'G'B'数据应该在量化等级0和255处达到饱和，以避免向下和向上溢出而导致反转问题。

3.4 YCbCr颜色空间

随着世界范围内数字分量视频标准（将在第4章讨论）的发展，YCbCr颜色空间作为ITU-R BT.601的一部分发展起来了。YCbCr颜色空间是YUV颜色空间的缩放和偏移版本。Y定义为具有8位，标称颜色表示范围为16~235；Cb和Cr标称颜色表示范围定义为16~240。我们将对几种YCbCr采样格式进行描述，如4：4：4、4：2：2、4：1：1和4：2：0。

3.4.1 RGB与YCbCr颜色空间之间的转换公式：SDTV

1. RGB到YCbCr颜色空间的转换：模拟公式

许多规范假定源信号为模拟R'G'B'，并具有0~1的归一化颜色范围。这样，首先要转换为模拟YCbCr颜色空间：

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

$$Pb = -0.169R' - 0.331G' + 0.500B'$$

$$Pr = 0.500R' - 0.419G' - 0.081B'$$

为了生成8位正确的YCbCr颜色，需要将模拟YCbCr颜色量化为8位的颜色值：

$$Y = \text{round}[219Y + 16]$$

$$Cb = \text{round}[224Pb + 128]$$

$$Cr = \text{round}[224Pr + 128]$$

19

2. RGB到YCbCr颜色空间的转换：数字公式

为了将标称范围16~235（Studio R'G'B'）内的8位数字R'G'B'颜色转换为YCbCr颜色，必须对模拟公式进行简化：

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

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

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

3. YCbCr到RGB颜色空间的转换：模拟公式

很多规范假定信号源为模拟YPbPr颜色空间。这首先得转换为模拟R'G'B'颜色：

$$R' = Y + 1.402Pr$$

$$G' = Y - 0.714Pr - 0.344Pb$$

$$B' = Y + 1.772Pb$$

为了生成标称取值范围为16~235（Studio R'G'B'）的8位R'G'B'颜色，将R'G'B'颜色量化为8位：

$$\text{out}' = \text{round}[219in' + 16]$$

4. YCbCr到RGB颜色空间的转换：数字公式

为了将标称取值范围为16~235（Studio R'G'B'）的8位YCbCr数据转换为R'G'B'颜色，模拟公式可以简化为：

$$\begin{aligned} R' &= Y + 1.371(Cr - 128) \\ G' &= Y - 0.689(Cr - 128) - 0.336(Cb - 128) \\ B' &= Y + 1.732(Cb - 128) \end{aligned}$$

5. YCbCr到RGB颜色空间转换的一般注意事项

当进行YCbCr到RGB的颜色空间转换时，得到的R'G'B'颜色值的标称取值范围为16~235，取值可能偶尔会偏移到0~15和236~255的范围内，这是由于视频处理和噪声的缘故，Y和CbCr分别会偶尔超出16~235和16~240的范围。注意，8位YCbCr和R'G'B'数据应该在0和255颜色量化等级处达到饱和，以避免向下和向上溢出导致反转问题。

表3-2列出了75%幅度、100%饱和彩条（这是一个通用的视频测试信号）对应的YCbCr颜色值。

表3-2 75%YCbCr彩条

	标称范围	白色	黄色	青色	绿色	洋红色	红色	蓝色	黑色
SDTV									
Y	16~235	180	162	131	112	84	65	35	16
Cb	16~240	128	44	156	72	184	100	212	128
Cr	16~240	128	142	44	58	198	212	114	128
HDTV									
Y	16~235	180	168	145	133	63	51	28	16
Cb	16~240	128	44	147	63	193	109	212	128
Cr	16~240	128	136	44	52	204	212	120	128

6. 关于计算机系统的注意事项

如果R'G'B'数据的取值范围为0~255（在计算机系统中通常是这样的），下面的公式可能更便于使用：

$$Y = 0.257R' + 0.504G' + 0.098B' + 16$$

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

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

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

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

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

注意，8位的YCbCr和R'G'B'数据在0和255颜色量化等级处应该达到饱和，以避免由于向下和向上溢出导致反转问题。

3.4.2 RGB与YCbCr颜色空间之间的转换公式：HDTV

1. RGB到YCbCr颜色空间转换：模拟公式

许多规范都假定源信息为标称范围为0~1的模拟R'G'B'。首先要转换为模拟YPbPr颜色：

$$Y = 0.213R' + 0.715G' + 0.072B'$$

$$Pb = -0.115R' - 0.385G' + 0.500B'$$

$$Pr = 0.500R' - 0.454G' - 0.046B'$$

为了生成8位正确的YCbCr颜色值，需要将YCbCr颜色量化为8位：

$$Y = \text{round}[219Y + 16]$$

$$Cb = \text{round}[224Pb + 128]$$

$$Cr = \text{round}[224Pr + 128]$$

2. RGB到YCbCr颜色空间转换：数字公式

为了将标称取值范围为16~235 (Studio R'G'B') 的8位数字R'G'B'数据转换为YCbCr颜色数据，可以将模拟公式进行简化：

$$Y = 0.213R' + 0.715G' + 0.072B'$$

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

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

3. YCbCr到RGB颜色空间转换：模拟公式

许多规范假定源信息为模拟YPbPr。首先要转换为模拟R'G'B'颜色值：

$$R' = Y + 1.575P_r$$

$$G' = Y - 0.468P_r - 0.187P_b$$

$$B' = Y + 1.856P_b$$

为了生成标称取值范围为16~235的8位R'G'B'颜色值 (Studio R'G'B')，将R'G'B'量化为8位数据：

$$out' = round[219in' + 16]$$

4. YCbCr到RGB颜色空间转换：数字公式

为了将8位YCbCr数据转换为标称值为16~235的R'G'B'颜色值 (Studio R'G'B')，对模拟公式进行简化：

$$R' = Y + 1.540(Cr - 128)$$

$$G' = Y - 0.459(Cr - 128) - 0.183(Cb - 128)$$

$$B' = Y + 1.816(Cb - 128)$$

5. YCbCr到RGB颜色空间转换的一般注意事项

当进行YCbCr到R'G'B'颜色空间的转换时，得到的R'G'B'颜色值的标称取值范围为16~235，可能偶尔会偏移到0~15和236~255的范围内。这是因为，由于视频处理和噪声的原因，Y和CbCr的取值分别偶尔会超出16~235和16~240的范围。注意，8位YCbCr到R'G'B'数据在颜色量化等级0和255处应该达到饱和，以避免向下和向下溢出而导致反转问题。

表3-2列出了75%幅度、100%饱和彩条（这是一个通用的视频测试信号）对应的YCbCr颜色值。

6. 关于计算机系统的注意事项

如果R'G'B'数据的取值范围为0~255（在计算机系统中通常是这样的），下面的公式可能更便于使用：

$$Y = 0.183R' + 0.614G' + 0.062B' + 16$$

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

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

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

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

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

注意，8位的YCbCr和R'G'B'数据在0和255颜色量化等级处应该达到饱和，以避免由于向下和向上溢出导致反转问题。

3.4.3 4 : 4 : 4 YCbCr格式

图3-2表示的是4 : 4 : 4格式YCbCr采样点的定位。每个采样点有Y、Cb和Cr值，每个颜色值的各颜色分量具有典型的8位（消费类应用）或10位（专业视频应用）。因此每个采样点需要24位

(对于专业视频应用则为30位)。

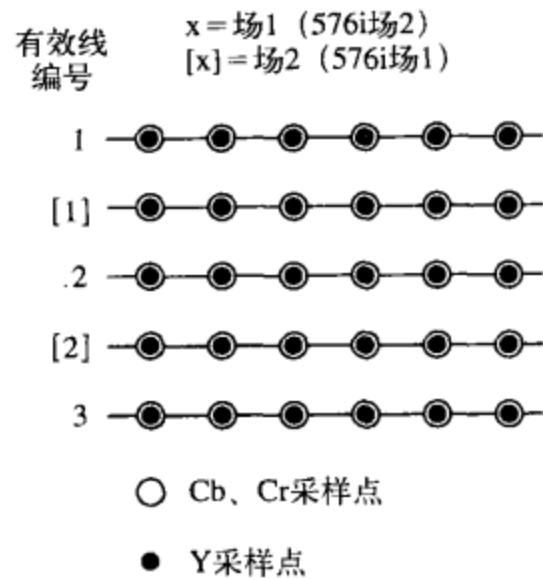


图3-2 4:4:4协调位置采样。采样位置位于隔行图像的有效扫描线上

3.4.4 4:2:2 YCbCr格式

图3-3表示的是4:2:2格式YCbCr采样点的定位。对于每两个水平Y采样点，有一个Cb和一个Cr采样点。每个采样颜色值的各颜色分量具有典型的8位（消费类应用）或10位（专业视频应用）。因此每个采样点需要16位（对于专业视频应用则为20位），通常采用图3-4的格式。

为了显示4:2:2的YCbCr数据，首先要转换为4:4:4的YCbCr数据，这需要采用插值来生成丢失的Cb和Cr采样信息。

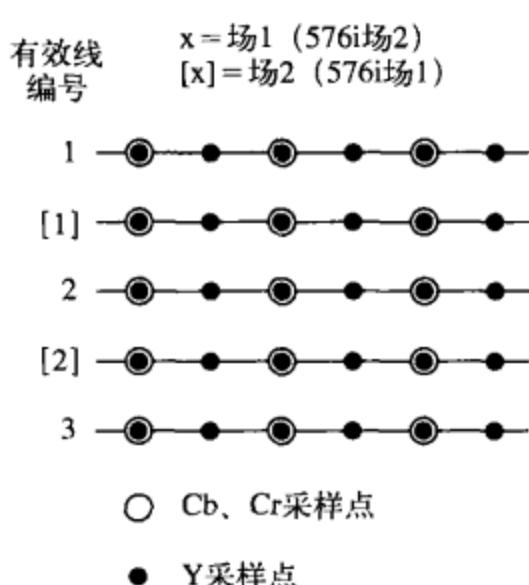


图3-3 4:2:2协调位置采样。采样位置位于隔行图像的有效扫描线上

采样点0	采样点1	采样点2	采样点3	采样点4	采样点5
Y7-0	Y7-1	Y7-2	Y7-3	Y7-4	Y7-5
Y6-0	Y6-1	Y6-2	Y6-3	Y6-4	Y6-5
Y5-0	Y5-1	Y5-2	Y5-3	Y5-4	Y5-5
Y4-0	Y4-1	Y4-2	Y4-3	Y4-4	Y4-5
Y3-0	Y3-1	Y3-2	Y3-3	Y3-4	Y3-5
Y2-0	Y2-1	Y2-2	Y2-3	Y2-4	Y2-5
Y1-0	Y1-1	Y1-2	Y1-3	Y1-4	Y1-5
Y0-0	Y0-1	Y0-2	Y0-3	Y0-4	Y0-5
CB7-0	CR7-0	CB7-2	CR7-2	CB7-4	CR7-4
CB6-0	CR6-0	CB6-2	CR6-2	CB6-4	CR6-4
CB5-0	CR5-0	CB5-2	CR5-2	CB5-4	CR5-4
CB4-0	CR4-0	CB4-2	CR4-2	CB4-4	CR4-4
CB3-0	CR3-0	CB3-2	CR3-2	CB3-4	CR3-4
CB2-0	CR2-0	CB2-2	CR2-2	CB2-4	CR2-4
CB1-0	CR1-0	CB1-2	CR1-2	CB1-4	CR1-4
CB0-0	CR0-0	CB0-2	CR0-2	CB0-4	CR0-4

-0 = 采样点0数据
-1 = 采样点1数据
-2 = 采样点2数据
-3 = 采样点3数据
-4 = 采样点4数据

↑
每个采样点
16位
↓

图3-4 4:2:2帧缓冲区的格式

3.4.5 4:1:1 YCbCr格式

图3-5表示的是4:1:1格式的YCbCr（也就是我们熟知的YUV12格式）采样点的定位。这种

格式主要应用于某些消费类视频和DV（数字摄像机）视频压缩应用中。对于每4个水平Y采样点，有一个Cb和一个Cr采样点。每个采样点的颜色分量具有典型的8位数据。因此每个采样点需要12位，通常采用图3-6的格式。

为了显示4：1：1的YCbCr数据，首先要转换为4：4：4的YCbCr数据，这需要采用插值来生成丢失的Cb和Cr采样信息。

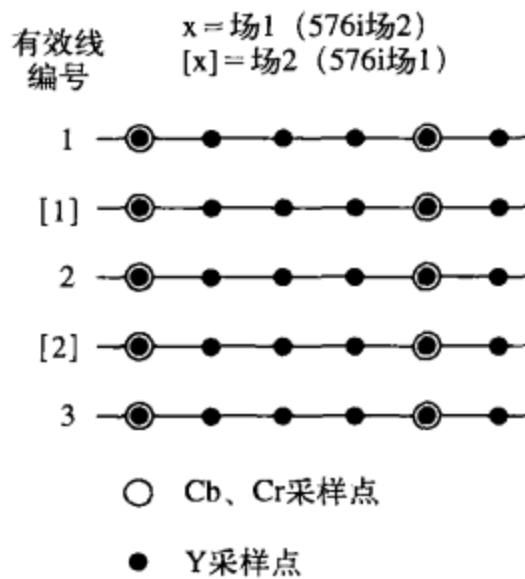


图3-5 4：1：1协调位置（co-sited）采样。采样位置位于隔行图像的有效扫描线上

采样点0	采样点1	采样点2	采样点3	采样点4	采样点5
Y7-0	Y7-1	Y7-2	Y7-3	Y7-4	Y7-5
Y6-0	Y6-1	Y6-2	Y6-3	Y6-4	Y6-5
Y5-0	Y5-1	Y5-2	Y5-3	Y5-4	Y5-5
Y4-0	Y4-1	Y4-2	Y4-3	Y4-4	Y4-5
Y3-0	Y3-1	Y3-2	Y3-3	Y3-4	Y3-5
Y2-0	Y2-1	Y2-2	Y2-3	Y2-4	Y2-5
Y1-0	Y1-1	Y1-2	Y1-3	Y1-4	Y1-5
Y0-0	Y0-1	Y0-2	Y0-3	Y0-4	Y0-5
CB7-0	CB5-0	CB3-0	CB1-0	CB7-4	CB5-4
CB6-0	CB4-0	CB2-0	CB0-0	CB6-4	CB4-4
CR7-0	CR5-0	CR3-0	CR1-0	CR7-4	CR5-4
CR6-0	CR4-0	CR2-0	CR0-0	CR6-4	CR4-4

-0 = 采样点0数据
-1 = 采样点1数据
-2 = 采样点2数据
-3 = 采样点3数据
-4 = 采样点4数据

↑ 每个采样点12位 ↓

图3-6 4：1：1帧缓冲区的格式

3.4.6 4：2：0 YCbCr格式

与4：2：2 YCbCr仅在水平方向对Cb和Cr减少为2：1不同，4：2：0 YCbCr在水平和垂直方向都减少为2：1。这主要是应用于视频压缩领域。

如图3-7~图3-11所示，有多种4：2：0 YCbCr格式。表3-3列举了各种DV应用中的YCbCr数据格式。

表3-3 针对各种DV应用的YCbCr格式

YCbCr 格式	25Mbit/s的DV					50Mbit/s的DV			100Mbit/s的DV		MPEG-1	MPEG-2、-4.2、 -4.10 (H.264)	H.21、 H.23
	480线的DV	560线的DV	480线的 DVCPAM	576线的 DVCPAM	D-7(DVCPRO)	DVCPRO 50	数字Betacam	D-9(数字S)	DVCPRO HD	D-9 HD			
4：4：4 协调位置											x		
4：2：2 协调位置						x	x	x	x	x		x	
4：1：1 协调位置	x		x		x								
4：2：0										x		x	x
4：2：0 协调位置		x		x									x

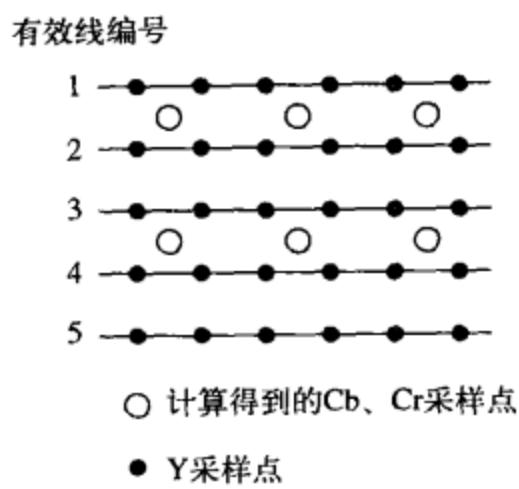


图3-7 针对H.261、H.263和MPEG-1的4：2：0采样。采样点位于逐行或非隔行图像的有效扫描线上

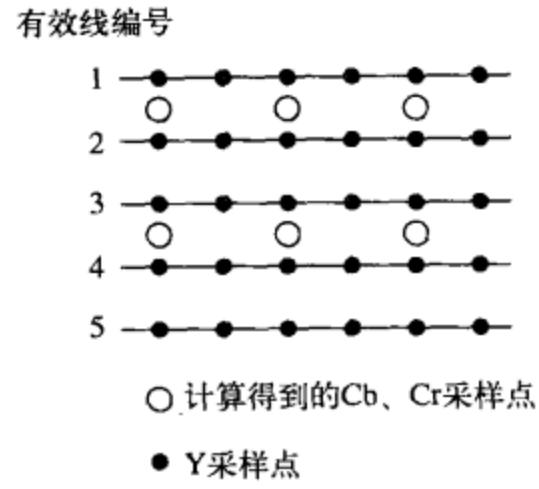


图3-8 针对MPEG-2、MPEG-4.2、MPEG-4.10 (H.264) 和SMPTE 421M (VC-1) 的4：2：0采样。采样点位于逐行或非隔行图像的有效扫描线上

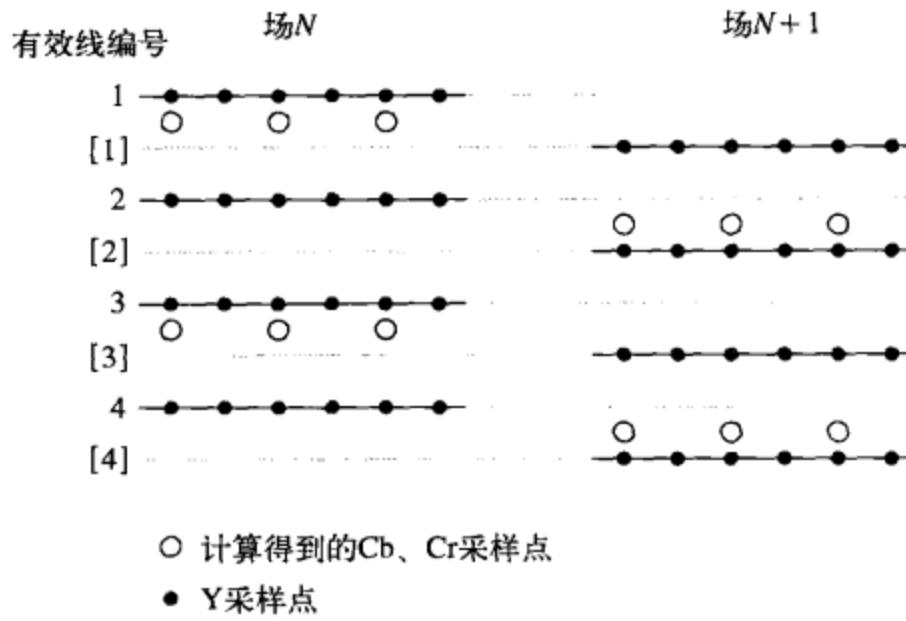


图3-9 针对MPEG-2、MPEG-4.2、MPEG-4.10 (H.264) 和SMPTE 421M (VC-1) 的4：2：0采样。采样点位于隔行图像的有效扫描线上 (图中上面的域从1开始, top_field_first=1)

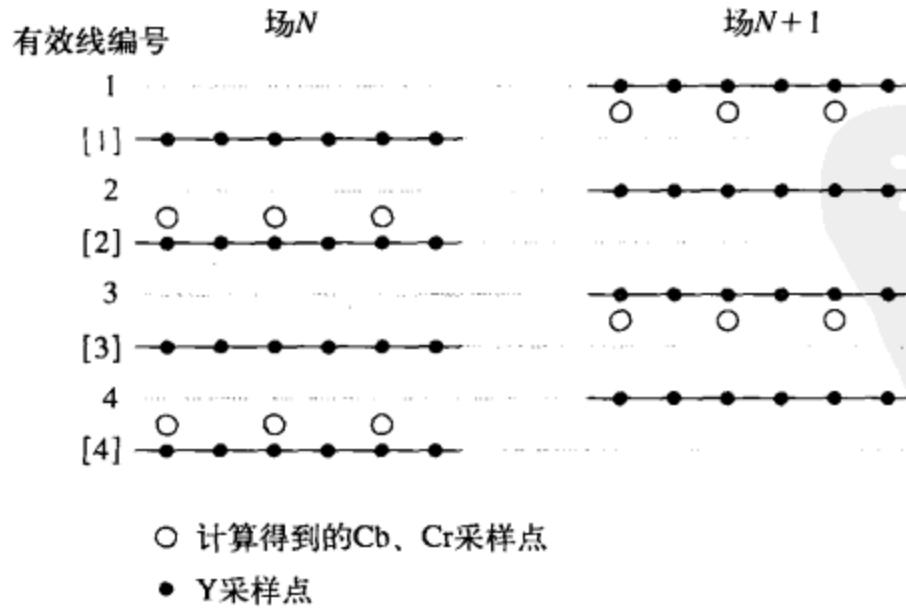


图3-10 针对MPEG-2、MPEG-4.2、MPEG-4.10 (H.264) 和SMPTE 421M (VC-1) 的4：2：0采样。采样点位于隔行图像的有效扫描线上 (图中上面的域从0开始, top_field_first=0)

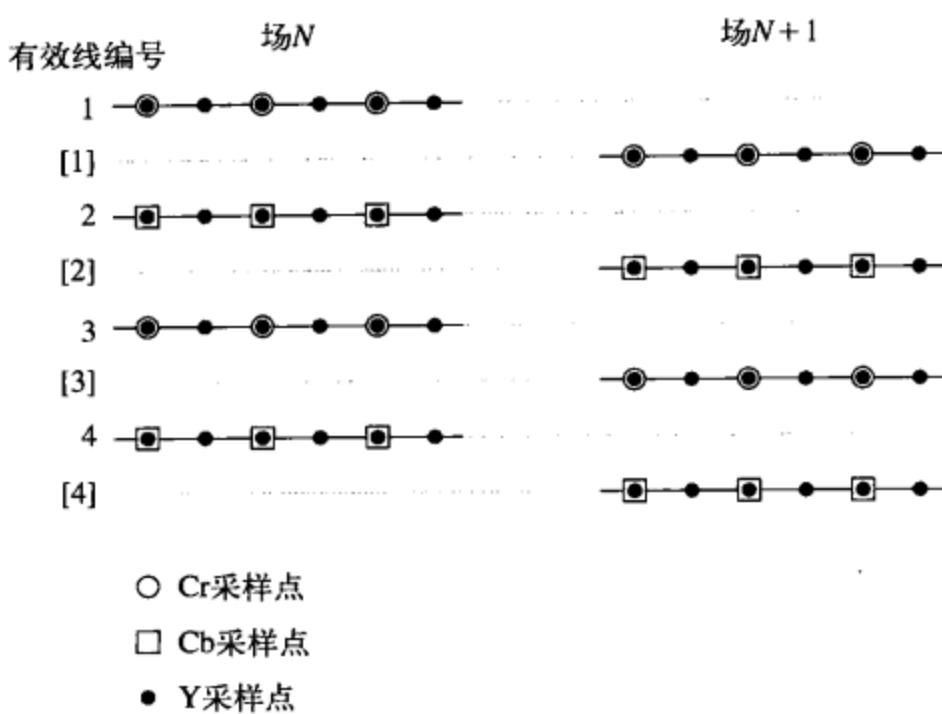


图3-11 针对576i DV和DVCAM的4：2：0协调位置采样。采样点位于隔行图像的有效扫描线上

为了显示4：2：0的YCbCr数据，首先要转换为4：4：4的YCbCr数据，这需要采用插值来生成丢失的Cb和Cr采样信息。注意，有些解并不能正确地将4：2：0的YCbCr数据转换为4：4：4格式的YCbCr数据，因而会导致“色度陷阱”。

3.5 xvYCC颜色空间

xvYCC（用于视频的扩展色域YCbCr）颜色空间是对基本YCbCr的色域进行扩展后得到的颜色空间，它使得颜色数目多了1.8倍。xvYCC规范（IEC61966-2-4）使用BT.709色度标准和D65参考白色。scRGB和xvYCC颜色空间之间的转换公式与RGBC和YCbCr之间的转换公式是一样的。

基于xvYCC的YCbCr颜色数据有8位，表示范围为1~254，这使得可以与现有的设计向后兼容。Y有8位，表示范围为-15/219~238/219（-0.068493~1.086758）；CbCr有8位，表示范围为-15/224~238/224（-0.066964~1.062500）。HDMI用色域边界描述（gamut boundary description）元数据传输正在使用的xvYCC视频数据。

3.6 PhotoYCC颜色空间

PhotoYCC（美国柯达公司的一个商标）是为了对Photo CD图像数据进行编码而开发的颜色标准。目的就是要建立一个与显示设备无关的颜色空间。为了最大化视频显示效率，PhotoYCC颜色空间是建立在ITU-R BT.601和BT.709基础上的。

编码过程（RGB到Photo YCC颜色空间的转换）假定使用CIE标准光源（CIE Standard Illuminant）D₆₅，并且图像采集系统的光谱灵敏度与BT.709参考原色系的颜色匹配函数成比例。与计算机图形系统的RGB颜色值不同，在此RGB颜色值可能为负数。PhotoYCC还包含有BT.709色域之外的颜色；这些额外的颜色值使用负值进行编码。

3.6.1 RGB到PhotoYCC的颜色空间转换

线性RGB数据（归一化到0~1范围内）到PhotoYCC的非线性变换方法如下：

对于(R,G,B)≥0.018

$$R' = 1.099R^{0.45} - 0.099$$

$$G' = 1.099G^{0.45} - 0.099$$

$$B' = 1.099B^{0.45} - 0.099$$

对于 $-0.018 < (R, G, B) < 0.018$

$$R' = 4.5R$$

$$G' = 4.5G$$

$$B' = 4.5B$$

对于 $(R, G, B) \leq -0.018$

$$R' = -1.099|R|^{0.45} - 0.099$$

$$G' = -1.099|G|^{0.45} - 0.099$$

$$B' = -1.099|B|^{0.45} - 0.099$$

由取值范围为0~255的R'G'B'颜色值，可以生成一个亮度信号和两个色度信号（C1和C2）：

$$Y = 0.213R' + 0.419G' + 0.081B'$$

$$C1 = -0.131R' - 0.256G' + 0.387B' + 156$$

$$C2 = 0.373R' - 0.312G' - 0.061B' + 137$$

作为一个例子，20%的灰度值（R、G和B都等于0.2）在PhotoCD磁盘中记录的值为：

$$Y = 79$$

$$C1 = 156$$

$$C2 = 137$$

3.6.2 PhotoYCC到RGB的颜色空间转换

由于PhotoYCC试图保留电影的动态范围，对PhotoYCC图像进行编码需要选择适合输出设备的颜色空间和取值范围。因此，解码公式并不总是编码公式的准确逆过程。下面的公式适合于生成驱动CRT显示器的RGB颜色值，并假定在编码图像和显示图像中的亮度值具有统一的关系：

$$R' = 0.981Y + 1.315 \quad (C2 - 137)$$

$$G' = 0.981Y - 0.311 \quad (C1 - 156) - 0.669 \quad (C2 - 137)$$

$$B' = 0.981Y + 1.601 \quad (C1 - 156)$$

R'G'B'颜色值应该在0~255范围之内，否则就达到饱和。上面的公式假定，显示器使用的荧光色度（phosphor chromaticity）与BT.709参考原色系相同，并且视频信号亮度（V）和显示亮度（L）满足如下关系：

对于 $V \geq 0.0812$

$$L = ((V + 0.099)/1.099)^{1/0.45}$$

对于 $V < 0.0812$

$$L = V/4.5$$

3.7 HSI、HLS和HSV的颜色空间转换

HSI（色调、饱和度、亮度）和HSV（色调、饱和度、纯度）颜色空间在处理颜色时更加“直观”，在设计上使得颜色感知和解释的方式与人很接近。在需要手动指定颜色值时经常需要使用它们，但是，当用户可以以可视化的方式选择颜色或指定潘通专业色卡（Pantone color）时，就很少使用它们了。主要是从传统习惯角度来讨论这些颜色空间。HLS（色调、亮度和饱和度）类似于HSI；只是使用了术语lightness，而不是intensity（光强度）来表示亮度。

HSI和HSV颜色空间之间的差异在于亮度分量（I或V）的计算方式，亮度分量同时确定了亮度（I或V）和饱和度（S）的分布和动态取值范围。HSI颜色空间最适合于传统的图像处理函数，如卷积、均化、直方图等，可以通过处理亮度值来实现这些操作，因为亮度I对R、G、B值的依赖程度是一样的。HSV颜色空间适合于处理色度和饱和度（颜色偏移或调整颜色数量），因为这

使得饱和度具有更大的动态取值范围。

图3-12表示的是一个单六角锥HSV颜色模型。六角锥的上面对应于 $V=1$ ，即具有最大亮度值的颜色。六角锥下面的顶点为黑色， $V=0$ 。互补色以H为测度，围绕垂直轴（V）的角度相差 180° ，即相互处于六角锥对等的位置上，红色对应的角度为 0° 。S的取值为一个比率（ratio），取值范围从0到1，0对应于垂直轴（V）的中心线，1对应于六角锥的边。S在0到1之间的任何取值都与 $V=0$ 的点相关。 $S=0, V=1$ 的点为白色。 $S=0, V$ 的中间值为灰色。注意，当 $S=0$ 时，H的值是不相关的。从艺术家的观点来看，任何 $V=1, S=1$ 的颜色都是纯颜料（其颜色由H来定义）。增加白色等于减小S（V保持不变）；增加黑色等于减小V（S保持不变）。色调（tone）是通过同时减小S和V来生成的。表3-4列出了幅度为75%、饱和度为100%的HSV彩条。

表3-4 75%HSV彩条

标称取值范围	白色	黄色	青色	绿色	洋红色	红色	蓝色	黑色
H	$0^\circ \sim 360^\circ$	-	60°	180°	120°	300°	0°	240°
S	0~1	0	1	1	1	1	1	0
V	0~1	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0

图3-13表示的是双六角锥HSI颜色模型。六角锥的上面对应于 $I=1$ ，即白色。六角锥下面的顶点为黑色，对应于 $I=0$ 。互补色以H为测度，围绕垂直轴（I）的角度相差 180° ，即相互处于六角锥对等的位置上，红色对应的角度为 0° （为了与HSV模型一致，我们已经改变了泰克公司（Tektronix）在 0° 处为0的约定）。S的取值范围从0到1，0对应于垂直轴（I），1对应于六角锥的面。灰度S恒等于0，但色度的最大饱和值在 $S=1, I=0.5$ 处。表3-5列出了幅度为75%、饱和度为100%的HSI彩条。

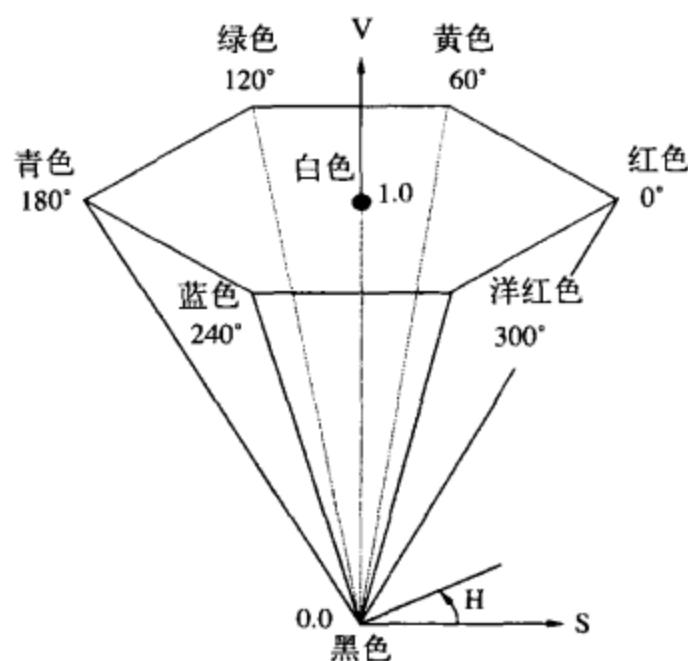


图3-12 单六角锥HSV颜色模型

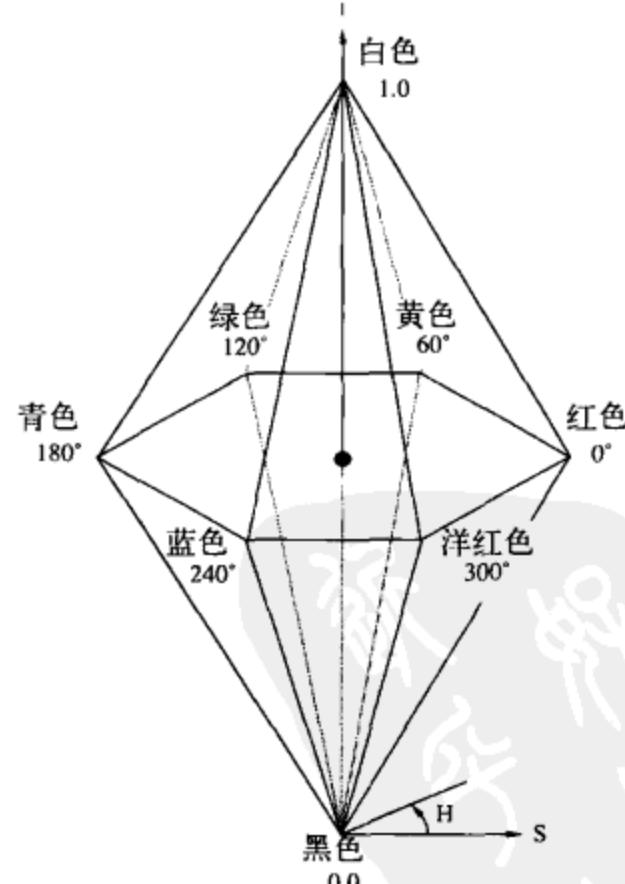


图3-13 双六角锥HSI颜色模型。为了与HSV模型兼容，我们已经改变了泰克公司的蓝色在 0° 处的约定，将该模型描述为双六角锥，而不是双圆锥。

表3-5 75%HSV彩条。为了与HSV模型兼容，我们已经改变了泰克公司的蓝色在0°处的约定

	标称取值范围	白色	黄色	青色	绿色	洋红色	红色	蓝色	黑色
H	0°~360°	—	60°	180°	120°	300°	0°	240°	—
S	0~1	0	1	1	1	1	1	1	0
I	0~1	0.75	0.375	0.375	0.375	0.375	0.375	0.375	0

3.8 色度图

图3-14给出了人类正常的视觉（1931 CIE标准观察者）能感受到的色域。该图及其潜在的数学表达式分别在1960年和1976年更新过；然而，NTSC电视系统是基于1931规范的。

颜色感知是通过观察由三个CIE（国际照明委员会）基本颜色的组合来度量的，这三个基本颜色为：波长为700nm的红色、波长为546.1nm的绿色和波长为435.8nm的蓝色。这三个基本颜色和其他谱系是由这三个基本色混合而来的纯色，在图3-14中是沿着曲线外边界线（称为光谱轨迹）上的颜色。

光谱轨迹的端点（位于红色和蓝色处）是由一条直线连接起来的，这条直线代表紫色，紫色是由红色和蓝色构成的组合颜色。在这个封闭边界内的区域包含了所有可以通过混合不同颜色的光而生成的颜色。距离边界越近的颜色，其饱和度越大。处于边界线内的颜色越接近图的中心（白色），感觉越柔和。图中的每一个点代表唯一的一种颜色，可以用其x和y坐标来唯一指定。

在CIE系统内，红、绿和蓝的亮度被转换成被称为三色值（tristimulus value）的量，并用大写字母X、Y和Z表示。这些值表示基本色的相对量。

图3-14中的坐标轴是由三色值推导而来：

$$\begin{aligned}x &= X/(X+Y+Z) \\&= \text{red}/(\text{red} + \text{green} + \text{blue}) \\y &= Y/(X+Y+Z) \\&= \text{green}/(\text{red} + \text{green} + \text{blue}) \\z &= Z/(X+Y+Z) \\&= \text{blue}/(\text{red} + \text{green} + \text{blue})\end{aligned}$$

坐标x、y和z称为色度坐标，三者之和恒等于1。因此，z总可以用x和y来表示，为了表示任何颜色，只需要指定x和y的值，相应的图也可以是二维的。

典型情况下，信号源或显示器指定三个(x, y)坐标来定义要使用的三个基本色。由这三个(x, y)坐标形成的三角形围成的色域为该信号源或显示器所能产生的颜色。如图3-15所示，图中对NTSC、PAL和HDTV的色域进行了比较。注意，这三种颜色组成的集合并不能生成所有可能的颜色，这也是为什么电视图像的颜色总是不完全精确的。

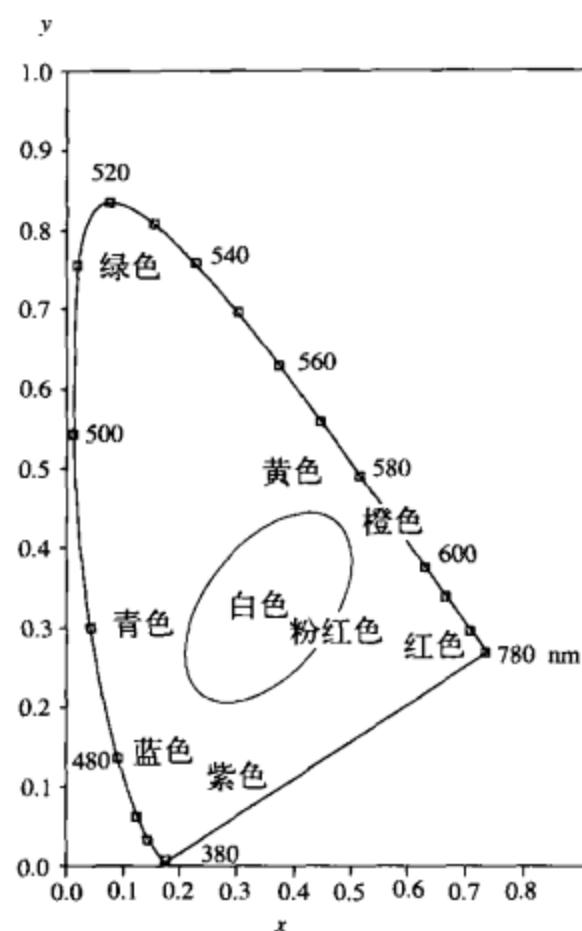


图3-14 CIE 1931色度图，表示各种颜色区间

28
l
30

31

另外，信号源或显示器通常要使用白色的坐标 (x, y) ，因为纯白色通常并不能采集到或再生。白色定义为采集到或产生的、所有三个基本色都相等的、并具有细微颜色阴影的颜色。注意，亮度 (luminance或brightness) 信息并不包含在标准的CIE 1931色度图中，而是垂直于 (x, y) 平面的一个轴。颜色越亮，色度取值范围越小。

1953 NTSC标准的RGB色度和参考白色 (CIE亮度C) 为：

$$R: x_r = 0.67 \quad y_r = 0.33$$

$$G: x_g = 0.21 \quad y_g = 0.71$$

$$B: x_b = 0.14 \quad y_b = 0.08$$

$$\text{白色: } x_w = 0.3101 \quad y_w = 0.3162$$

现代的NTSC、480i和480p视频系统使用的是不同的RGB色度集合 (SMPTE “C”) 和参考白色 (CIE亮度D₆₅)：

$$R: x_r = 0.630 \quad y_r = 0.340$$

$$G: x_g = 0.310 \quad y_g = 0.595$$

$$B: x_b = 0.155 \quad y_b = 0.070$$

$$\text{白色: } x_w = 0.3127 \quad y_w = 0.3290$$

PAL、SECAM、576i和576p视频系统使用的RGB色度和参考白色 (CIE亮度D₆₅) 为：

$$R: x_r = 0.64 \quad y_r = 0.33$$

$$G: x_g = 0.29 \quad y_g = 0.60$$

$$B: x_b = 0.15 \quad y_b = 0.06$$

$$\text{白色: } x_w = 0.3127 \quad y_w = 0.3290$$

sRGB、scRGB、xvYCC和HDTV视频系统使用的RGB色度和参考白色 (CIE亮度D₆₅) 是基于BT.709和SMPTE 274M的：

$$R: x_r = 0.64 \quad y_r = 0.33$$

$$G: x_g = 0.30 \quad y_g = 0.60$$

$$B: x_b = 0.15 \quad y_b = 0.06$$

$$\text{白色: } x_w = 0.3127 \quad y_w = 0.3290$$

由于各种视频标准使用不同的色度和参考白色值，当信号源和显示器的值不匹配时会发生细微的颜色误差；例如，在HDTV上播放480i或480p节目，或在NTSC电视机上播放HDTV节目。通过使用一个 3×3 的矩阵乘法器，这些细微的颜色误差很容易在显示器上得以校正，我们将在第7章讨论这些内容。

消费类显示器的RGB色度通常与这些标准稍微有所不同。导致的结果是，一种或多种RGB颜色有细微的偏移，如在红色中有过多的橙色，或者在绿色中有过多的蓝色。这通常可以通过对显示器进行专业校准得以补偿。

3.9 关于非RGB颜色空间的注意事项

在处理非RGB颜色空间（如YIQ、YUV或YCbCr）的信息时，必须注意，有些值并不能组合在一起，否则就可能产生无效的RGB颜色值。术语无效 (invalid) 是指RGB颜色分量超出了归一化的RGB颜色范围 (1,1,1)。

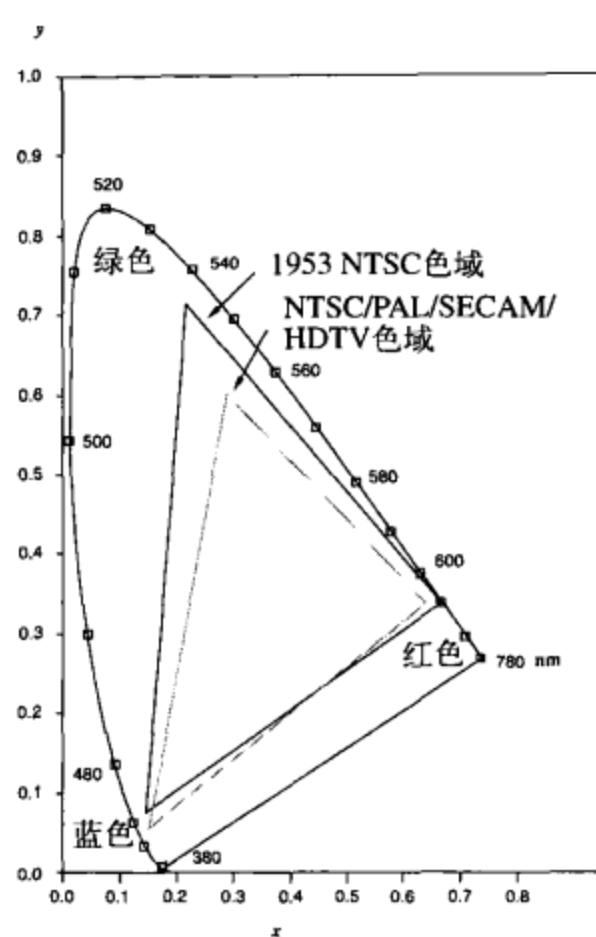


图3-15 CIE 1931色度图，显示了各种色域

例如，给定RGB的归一化值(1,1,1)，得到的YCbCr值为(235,128,128)。如果对Cb和Cr值进行处理来产生一个YCbCr值(235,64,64)，那么对应的RGB归一化值为(0.6,1.29,0.56)。注意，绿色值超出了归一化值1。

由这个例子可以很明显地看出，Y、Cb和Cr的很多组合都可能导致无效的RGB值；这些YCbCr值必须经过处理以生成有效的RGB颜色值。图3-16表示的是将RGB归一化界限转换为YCbCr颜色空间。

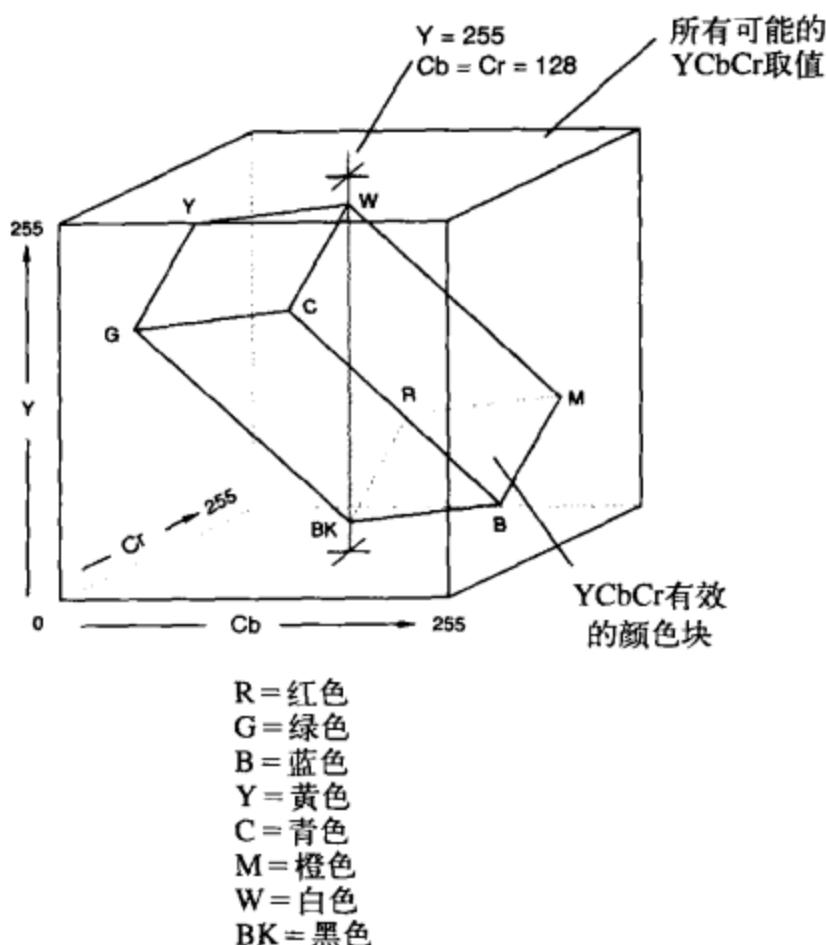


图3-16 RGB界限转换为三维YCbCr颜色空间

使用恒定亮度和色度的方法可以得到最好的结果：当Cb和Cr限制在最大有效值（这些有效值与到达界限之前的无效颜色具有同样的色度）处时，Y不变。恒定色度原则就是将无效的CbCr组合移到CbCr的原点(128,128)，直到它们位于有效的YCbCr颜色块表面为止。

当从非RGB颜色空间转换到RGB颜色空间时，必须注意，要考虑到饱和处理逻辑以确保由于数字电路的有限精度而导致向上和向下溢出的反转条件不会发生。8位RGB颜色值小于0时一定要设为0，超过255的颜色值要设为255。

3.10 gamma校准

大多数CRT显示器的变换函数产生的亮度值正比于信号幅度的某种能量（称为gamma）。因此，高亮度的范围被扩展了，而低亮度的范围被压缩了（见图3-17）。在抑制噪声方面，这是一个优点，这是因为人眼对相等的相对亮度变化具有差不多相同的敏感性。在发射之前对视频信号进行gamma校准，显示器的亮度输出就大体上是线性的了（图3-17中的灰线），并且发射过程中产生的噪声也会受到抑制。

为了最大程度地降低图像较暗区域的噪声，现代的视频系统对黑色区域的曲线增益做了限制。这种技术对靠近黑色的增益做了限制，而对曲线的其他部分进行扩展，以保持函数和正切的连续性。

尽管视频标准假定显示器的gamma大约为2.2，但对于CRT显示器来讲，gamma值取2.5更加现实。然而，这种差异改善了光线较暗环境下的视觉效果。在明亮光照环境下更准确的视觉效果是通过采用另一个gamma因子来完成的，这个gamma因子的取值大约为1.14 ($2.5/2.2$)。为了接近“电影观赏效果 (film look)”，在显示器中通常对gamma曲线进行微调 (tweak)。

3.10.1 早期的NTSC系统

早期的NTSC系统假定在显示器中会有一个简单的变换，其gamma值为2.2。RGB值归一化为取值范围0~1：

$$R = R^{2.2}$$

$$G = G^{2.2}$$

$$B = B^{2.2}$$

为了对非线性显示器进行补偿，线性RGB数据在发射之前要经过逆变换的方式进行“gamma校准”。RGB值要归一化为取值范围0~1：

$$R' = R^{1/2.2}$$

$$G' = G^{1/2.2}$$

$$B' = B^{1/2.2}$$

34

3.10.2 早期的PAL和SECAM系统

大多数早期的PAL和SECAM系统都假定在显示器中有一个简单的变换，变换的gamma值为2.8。RGB值归一化为取值范围0~1：

$$R = R^{2.8}$$

$$G = G^{2.8}$$

$$B = B^{2.8}$$

为了对非线性显示器进行补偿，线性RGB数据在发射之前要经过逆变换的方式进行“gamma校准”。RGB值要归一化为取值范围0~1：

$$R' = R^{1/2.8}$$

$$G' = G^{1/2.8}$$

$$B' = B^{1/2.8}$$

3.10.3 当前的系统

当前的NTSC、480i、480p和HDTV视频系统假定在显示器中进行下面的变换，变换的gamma值为[1/0.45]。RGB值归一化为取值范围0~1：

如果 $(R', G', B') < 0.081$

$$R = R'/4.5$$

$$G = G'/4.5$$

$$B = B'/4.5$$

如果 $(R', G', B') \geq 0.081$

$$R = ((R' + 0.099) / 1.099)^{1/0.45}$$

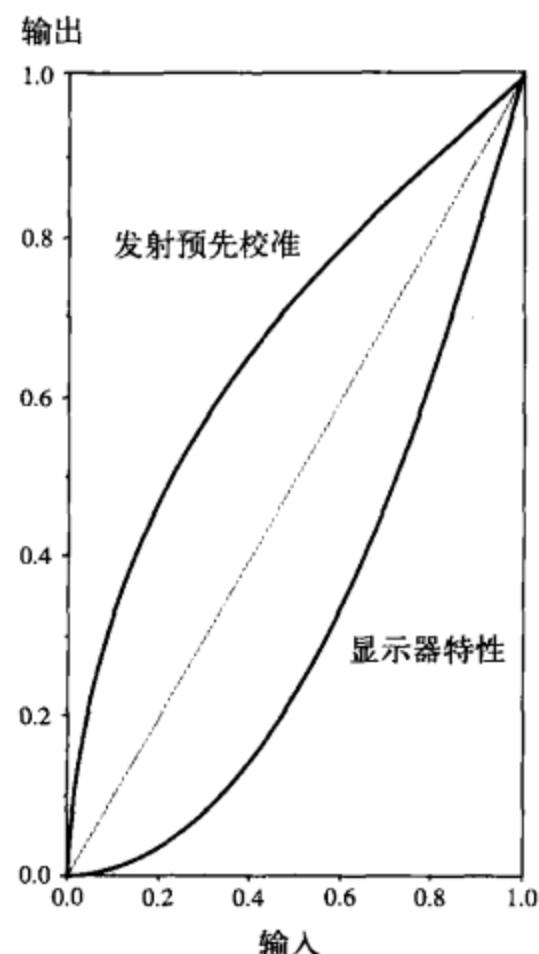


图3-17 gamma校准的效果

$$G = ((G' + 0.099) / 1.099)^{1/0.45}$$

$$B = ((B' + 0.099) / 1.099)^{1/0.45}$$

扩展域颜色空间（如scRGB）对小于0的值要进行额外的处理：

如果 $(R', G', B') < -0.081$

$$R = -((R' - 0.099) / -1.099)^{1/0.45}$$

$$G = -((G' - 0.099) / -1.099)^{1/0.45}$$

$$B = -((B' - 0.099) / -1.099)^{1/0.45}$$

如果 $-0.081 \leq (R', G', B') < 0.081$

$$R = R' / 4.5$$

$$G = G' / 4.5$$

$$B = B' / 4.5$$

为了对非线性显示器进行补偿，线性RGB数据在发射之前要经过逆变换的方式进行“gamma校准”。RGB值要归一化为取值范围0~1：

如果 $(R, G, B) < 0.081$

$$R' = 4.5R$$

$$G' = 4.5G$$

$$B' = 4.5B$$

如果 $(R, G, B) \geq 0.081$

$$R' = 1.099 R^{0.45} - 0.099$$

$$G' = 1.099 G^{0.45} - 0.099$$

$$B' = 1.099 B^{0.45} - 0.099$$

扩展域颜色空间（如scRGB）对小于0的值需要进行额外的处理：

如果 $(R, G, B) < -0.081$

$$R' = -1.099 (-R^{0.45}) + 0.099$$

$$G' = -1.099 (-G^{0.45}) + 0.099$$

$$B' = -1.099 (-B^{0.45}) + 0.099$$

如果 $-0.081 \leq (R', G', B') < 0.081$

$$R' = 4.5R$$

$$G' = 4.5G$$

$$B' = 4.5B$$

35

尽管大多数PAL和SECAM标准规定gamma取2.8，但现在通常采用[1/0.45]这个值。因此，这些公式现在也用于PAL、SECAM、576i和576p视频系统。

3.10.4 非CRT显示器

由于LCD、LCOS、DLP和plasma显示器并不是基于CRT的，因此它们具有不同的显示变换公式。为了简化与这些显示器的接口，它们的电子器件被设计为可以接收标准的gamma校准视频，然后对显示器面板的实际变换进行补偿。

3.11 恒定亮度问题

由于gamma和矩阵操作的错误顺序，U和V（或Cb和Cr）信号也对亮度信号（Y）有贡献。U和V的幅度不正确会导致接收到的亮度发生错误。这可能是由于带宽限制了U和V，或者U和V增益的非标称设置（颜色饱和）所致。

对于低的颜色频率，这没有问题。但对于高颜色频率，U和V将消失，这导致R'、G'和B'退

化为Y（只等于Y）。

参考文献

1. Benson. K. Blair, *Television Engineering Handbook*. McGraw-Hill, Inc., 1986.
2. Devereux, V. G., 1987, *Limiting of YUV digital video signals*, BBC Research Department Report BBC RD 1987 22.
3. EIA Standard EIA-189-A, July 1976, *Encoded Color Bar Signal*.
4. Faroudja, Yves Charles, *NTSC and Beyond*. IEEE Transactions on Consumer Electronics, Vol. 34, NO.1, February 1988.
5. IEC 61966-2-1, 1999, *Colour Management-Default RGB Colour Space-sRGB*.
6. IEC 61966-2-2, 2003, *Colour Management-Extended RGB Colour Space-scRGB*.
7. IEC 61966-2-4, 2006, *Colour Management-Gamut YCC Colour Space for Video Applications-xv YCC*.
8. ITU-R BT.470-6, 1998, *Conventional Television Systems*.
9. ITU-R BT.601-5, 1995, *Studio Encoding Parameters of Digital Television for Standard 4 : 3 and Widescreen 16 : 9 Aspect Ratios*.
10. ITU-R BT.709-6, 2002, *Parameter Values for the HDTV Standards for Production and International Programme Exchange*.
11. Photo CD Information Bulletin, *Fully Utilizing Photo CD Images-PhotoYCC Color Encoding and Compression Schemes*, May 1994, Eastman Kodak Company.



第4章 视频信号概述

视频信号具有很多不同的选项，扫描线的数目、隔行还是逐行、模拟还是数字等。本章概要介绍了常用视频信号的格式及其时序。

4.1 数字分量视频背景

在数字分量视频 (digital component video) 中，视频信号是以数字形式 (YCbCr或R'G'B') 表示的，仅当用于广播或录制时，才将其编码为复合NTSC、PAL或SECAM信号。

由于在576i PAL和SECAM制式之间交换视频资料遇到了困难，欧洲广播联盟 (European Broadcasting Union, EBU) 对数字分量视频产生了兴趣。因为，这种格式 (数字分量视频) 为解决这个问题带来了希望。那就是，不管信号源是来自使用PAL还是SECAM的国家，数字视频信号都可以是一样的，这就使得在后续操作中可以将其编码为合适的复合形式用于广播。运动图像与电视工程师协会 (SMPTE) 协商后，决定开发一种方法来支持国际节目交换 (exchange)，并将480i系统包括其中。

为了确定各种信号处理方法的质量和适用性，研究人员进行了一系列的实验演示。通过这些实验研究，确定了数字分量的编码、滤波和时序的主要参数，并将其编入了ITU-R BT.601标准中，因而BT.601成为了其他数字分量视频标准的起点。

4.1.1 编码范围

编码范围的选择需要综合考虑正常范围之外，信号所需容量和最小化量化失真 (distortion) 这两个要求。尽管视频信号中黑色的量化等级可以很好地进行合理定义，但白色的量化等级却容易受到由视频信号和设备限差 (tolerance) 引起的变化的影响。由滤波引起的噪声、增益变化和瞬变现象都可能导致超出正常范围的信号电平。37

每个采样点需要8或10位用于每个YCbCr或R'G'B'分量。尽管8位编码会引入一些量化失真，但初步感觉是，大多数视频源包含足以淹没大多数量化失真的噪声。但是，如果视频源实际上是没有噪声的，那么量化失真就值得注意，因为在亮度渐进变化的区域会出现轮廓。另外，当在演播编辑环境中不同设备之间发送数据时，至少还需要额外的2个数据位用于表示YCbCr或R'G'B'颜色的小数部分，以减小舍入误差的影响。正是由于这些原因，大多数专业视频设备都使用10位表示YCbCr或R'G'B'颜色数据，准许2位YCbCr或R'G'B'颜色数据的小数部分得以保留。

起初的建议是让所有三个YCbCr颜色分量具有相等的编码范围。然而这些后来发生了变化，这种变化是为了使Y在白色处具有更大的空间用于表示量化等级，因为量化等级对白色的限制比黑色更容易被觉察。因此，标称的8位Y量化等级的表示范围为16~235，而标称的8位CbCr量化等级的表示范围为16~240 (128对应于无色)。偶尔漂移到了其他量化等级中也是准许的，但绝不能在0或255处。

对于8位的系统，值0x00和0xFF被保留用于存放时序信息。而对于10位的系统，值0x000~0x003和0x3FC~0x3FF被保留用于保存时序信息，以维持与8位系统的兼容。

第3章讨论过用于生成75%彩条的YCbCr和R'G'B'颜色量化等级。数字R'G'B'信号定义为与Y

具有相同的标称量化等级，以提供更多的处理余地和简化RGB和YCbCr之间的数字矩阵转换。

4.1.2 SDTV采样率的选择

对模拟RGB或YUV视频信号实施数字锁定（line-locked）采样。这种方法产生了一个静态的正交采样网格。在这个网格中，当前扫描线上的采样点落在前面扫描线和前面场的采样点的正下方，如图3-2至图3-11所示。

另一个更重要的特征是，采样在相位上是锁定的，这样采样点就位于模拟水平同步（0x0）信号下降沿50%幅度位置。这保证了不同的信号源生成的采样点在图像中处于相同的标称位置。使得不同的信号源都具有这一特性，可以简化从一个标准到另一个标准的转换。

对于480i和576i视频系统，起初考虑了几个Y采样频率，包括4倍 F_{sc} 采样率。然而，4倍 F_{sc} 采样率并不支持国际节目交换的要求。因此，为了支持一个单一的公共采样率，起初考虑的那些采样频率都被舍弃了。由于寻找可能的最低采样率（但仍然支持高质量的视频）是选择采样频率的一个目标，因此很长时间内都将12MHz采样率作为首选，但是最后考虑到该采样频率过于接近奈奎斯特频率极限，这会使滤波要求更加复杂。在对12~14.3MHz之间的频率进行考察后，可以很明显地知道，以13.5MHz的采样率对Y进行采样在480i和56i系统之间具有某些通用性。Cb和Cr为颜色微分信号，并不要求与Y具有同样的带宽，因此很多采样点都是以Y采样率的一半进行采样的，即6.75MHz。

38 现在普遍使用的4：2：2颜色标准起初是用于NTSC和PAL视频的，这意味着Y、U和V分别以颜色副载波频率的4倍、2倍和2倍频率进行采样。后来4：2：2表示被用于BT.601数字分量视频，这意味着Y、Cb和Cr的采样频率分为3.375MHz的4倍、2倍和2倍。现在4：2：2表示通常意味着Cb和Cr的采样率是Y的一半，而不管实际采用的采样率到底为多少。

使用13.5MHz进行采样，每行扫描线包含858个采样点（480i系统）或864个采样点（576i系统），扫描线由一个后面紧跟一个有效线周期（active line period）的数字消隐期（blanking interval）组成。在有效线周期期间，不管是480i还是576i系统，它们都使用720个采样点。每个有效线周期都具有相同的采样点数目，这简化了多标准设备和标准变换的设计。Cb和Cr采用6.75MHz的采样率（4：2：2采样），每个有效线周期包含360个Cr采样点和360个Cb采样点。

对于模拟系统，在进行重复处理时就出现了问题，会导致消隐期扩展、消隐边缘软化。在有效线周期内使用720个采样点，可以同时包容480i和576i制式的模拟消隐误差容限。因此，重复处理可以在不影响数字消隐期的情况下完成。用于定义模拟图像宽度的消隐仅需要进行一次即可，在显示器中或向上转换为模拟视频时是很合适的。

起初，BT.601仅支持具有4：3宽高比的480i和576i系统（有效分辨率为 $720 \times 480i$ 和 $720 \times 576i$ ）。对16：9宽高比的支持是通过使用18MHz采样率来实现的（有效分辨率为 $960 \times 480i$ 和 $960 \times 576i$ ）。

4.1.3 EDTV采样率的选择

ITU BT.1358定义了逐行SDTV视频信号，也就是我们所知的480p或576p，或增强高清晰度电视（EDTV）。为了保持与BT.601使用同样的静态正交采样网格，ITU BT.1358使用的采样率加倍了，变为27MHz（4：3的宽高比）或36MHz（16：9的宽高比）。

4.1.4 HDTV采样率的选择

ITU BT.709分别定义了720p、1080i和1080p视频信号。对于HDTV，使用了不同的技术，每线的有效采样点数量和每帧的有效线数目为恒定的，不考虑采用什么样的帧率。因此，为了保持静

态的正交采样网格，每种帧率都使用不同的采样时钟速率。

4.2 480i和480p系统

4.2.1 隔行模拟复合视频

(M) NTSC和(M) PAL为模拟复合视频信号，它们在一个单一信号中包含着所有的颜色和时序信息。这些模拟接口使用每帧525线的分辨率，将在第8章对此进行详细讨论。

39

4.2.2 隔行模拟分量视频

模拟分量信号由三种信号组成，这些信号可以是模拟R'G'B'或YPbPr。至于480i [具有典型的每帧480有效扫描线并且是隔行 (interlaced) 扫描的]，帧率通常是29.97Hz (30/1.001)，这是为了与 (M) NTSC的时序兼容。模拟接口使用每帧525线，在23~262和286~525线上显示有效视频，如图4-1所示。

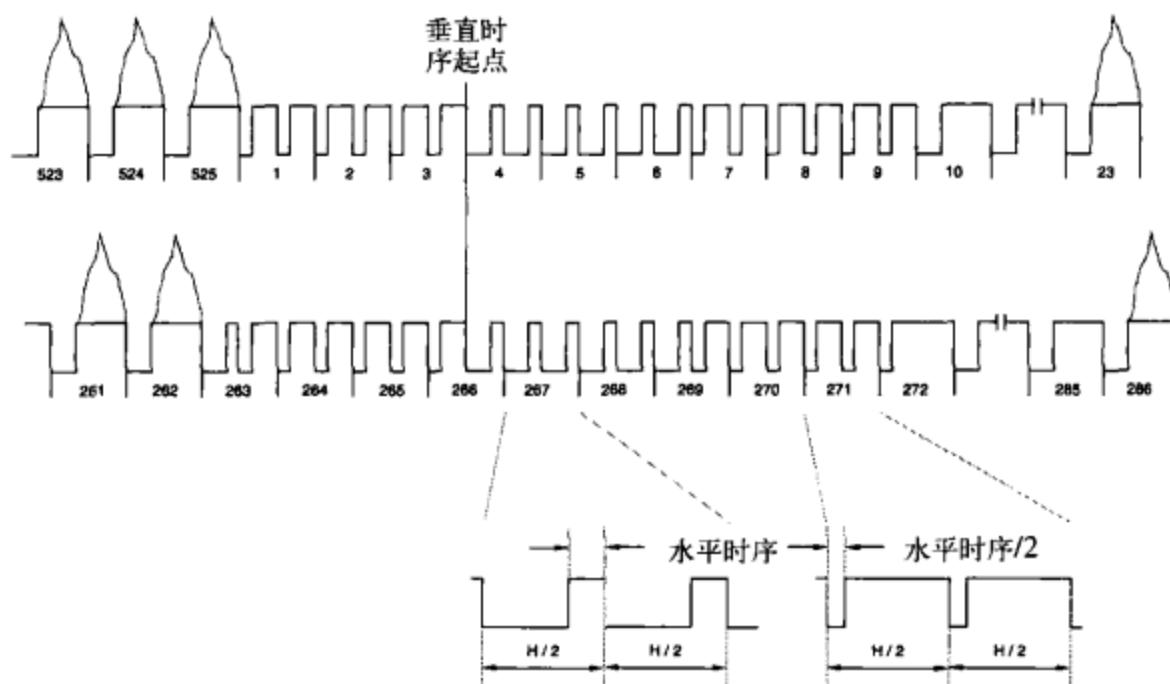


图4-1 480i垂直间隔时序

对于29.97Hz的帧率，每行扫描线时间 (H) 约为63.556 μs。详细的水平时序取决于所用的特定视频接口，将在第5章对此进行讨论。

4.2.3 逐行模拟分量视频

模拟分量信号由三个信号组成，这些信号为模拟R'G'B'或YPbPr信号。至于480p [具有典型的每帧480有效扫描线并且是逐行 (progressive) 扫描的]，帧率通常是59.94Hz (60/1.001)，这是为了更易于与 (M) NTSC的时序兼容。模拟接口使用每帧525线，在45~524线上显示有效视频，如图4-2所示。

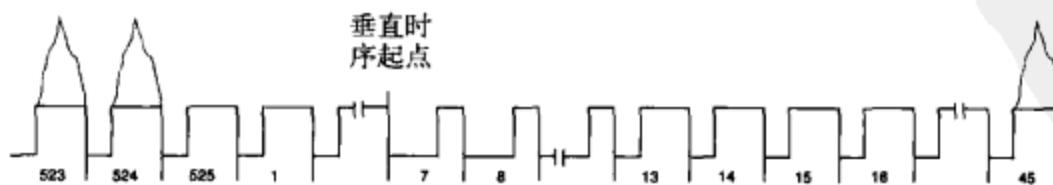


图4-2 480p垂直间隔时序

对于59.94Hz的帧率，每行扫描线时间（H）大约为31.776 μs。详细的水平时序取决于所使用的特定视频接口，将在第5章对此进行讨论。

4.2.4 隔行数字分量视频

BT.601和SMPTE 267M规定了480i数字RGB或YCbCr视频信号的表示方式。BT.601和SMPTE 267M定义的有效分辨率，其 $1 \times Y$ 和RGB采样率（ F_s ），以及帧率分别为：

$960 \times 480i$ 18.0MHz 29.97Hz

$720 \times 480i$ 13.5MHz 29.97Hz

对于其他通用有效分辨率，其1倍采样率（ F_s ）和帧率分别为：

$864 \times 480i$ 16.38MHz 29.97Hz

$704 \times 480i$ 13.50MHz 29.97Hz

$640 \times 480i$ 12.27MHz 29.97Hz

$544 \times 480i$ 10.12MHz 29.97Hz

$528 \times 480i$ 9.900MHz 29.97Hz

$480 \times 480i$ 9.000MHz 29.97Hz

$352 \times 480i$ 6.750MHz 29.97Hz

40
41

$864 \times 480i$ 为 16 : 9 方形像素格式，而 $640 \times 480i$ 为 4 : 3 的方形像素格式。尽管理想的 16 : 9 分辨率为 $854 \times 480i$ ，但 $864 \times 480i$ 可以支持 MPEG 16 × 16 块结构。 $704 \times 480i$ 格式是通过 $720 \times 480i$ 格式来完成的，对每个有效扫描线的前 8 个和后 8 个采样点进行了消隐处理。模拟和数字信号之间的关系见图 4-3~图 4-7 的例子。

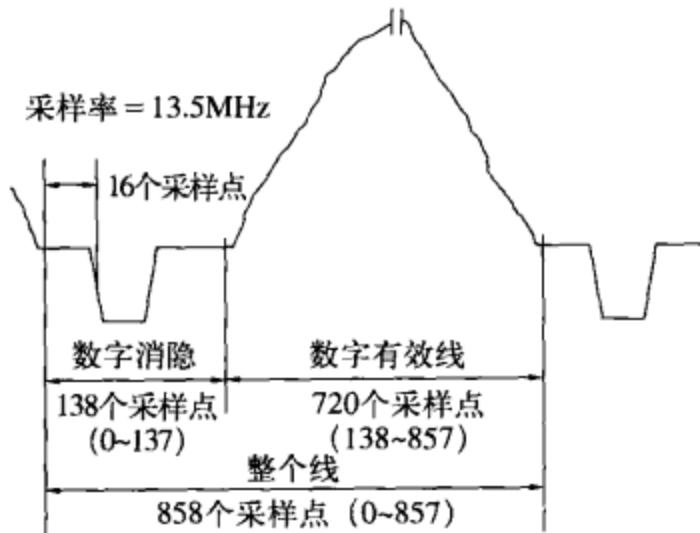


图 4-3 480i 模-数关系（4 : 3 宽高比、29.97Hz 的帧率、13.5MHz 的采样时钟）。BT.601 规定前肩为 16 个采样点；CEA-861D（DVI 和 HDMI 时序）规定前肩为 19 个采样点

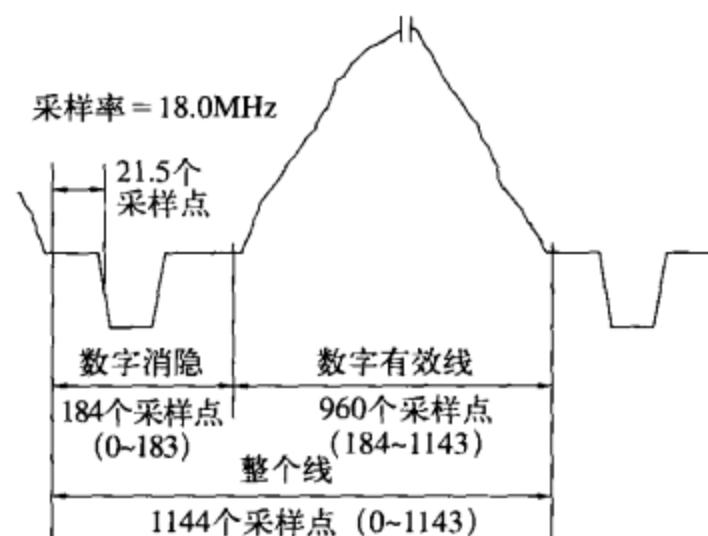


图 4-4 480i 模-数关系
(16 : 9 宽高比、29.97Hz 的帧率、18MHz 的采样时钟)

H（水平消隐）、V（垂直消隐）和F（场）信号的定义见图 4-8。其中的 H、V 和 F 时序与视频压缩标准兼容，而与第 6 章要讨论的 BT.656 并不兼容。

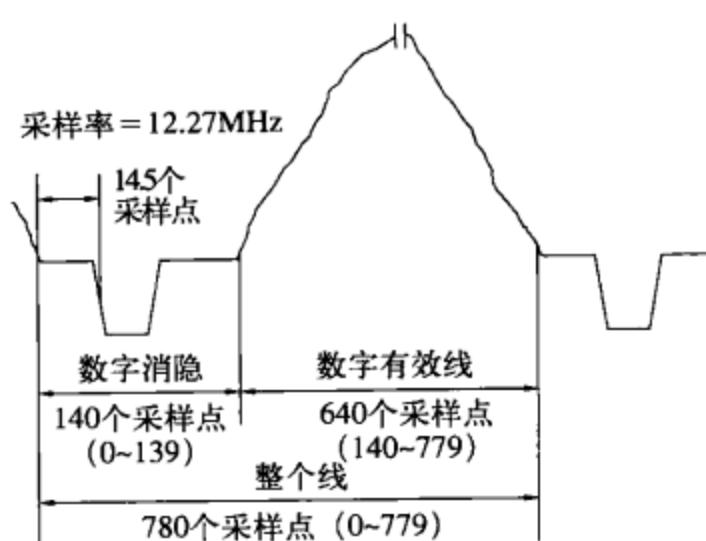


图4-5 480i模-数关系
(4:3宽高比、29.97Hz的帧率、12.27MHz的采样时钟)

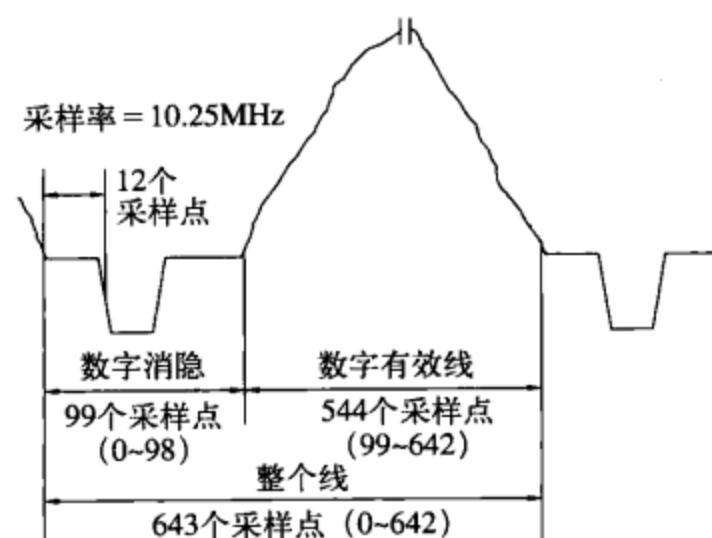


图4-6 480i模-数关系
(4:3宽高比、29.97Hz的帧率、10.125MHz的采样时钟)

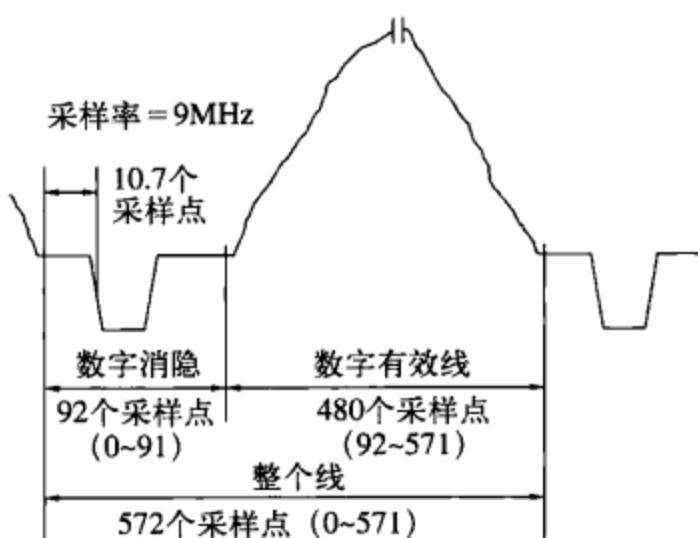


图4-7 480i模-数关系
(4:3宽高比、29.97Hz的帧率、9MHz的采样时钟)

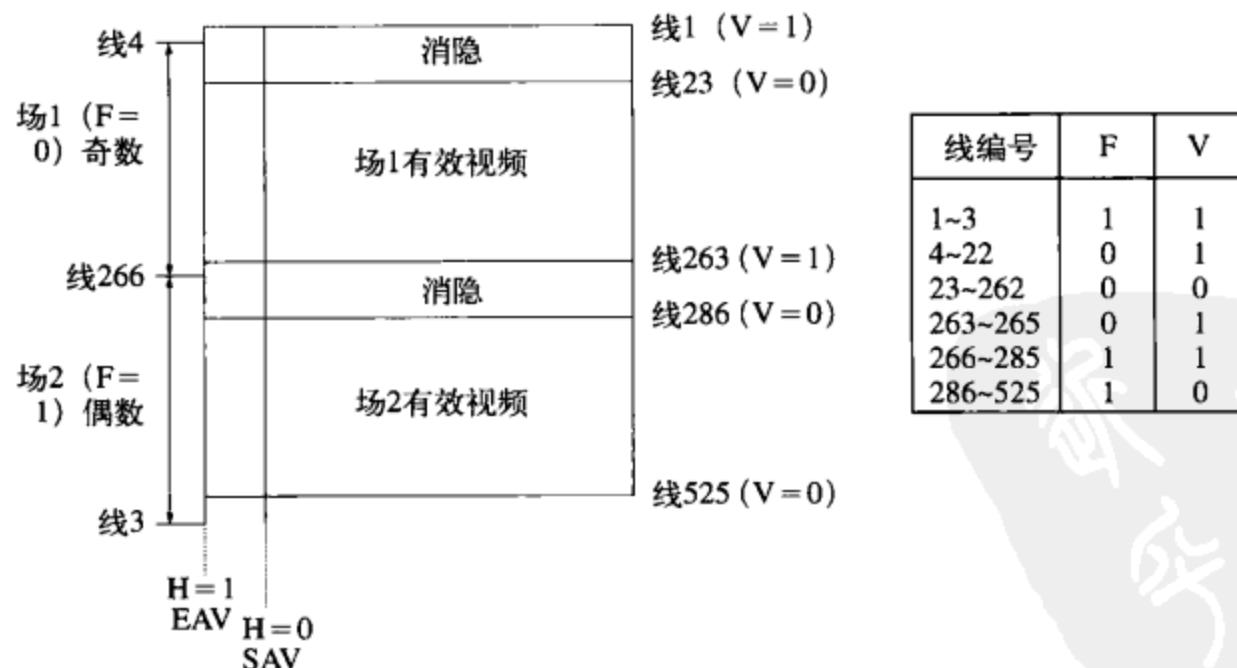


图4-8 480i数字垂直时序(480有效线)。在数字线的开始处，F和V按照EAV顺序改变状态。注意，数字线数目在水平时序开始之前改变状态，如图4-3~图4-7所示。这些有效线被SMPTE RP-202、ATSC A/54a和ARIB STD-B32标准所采用。CEA-861D(DVI和HDMI时序)规定有效视频为线22~261和285~524。IEC61834-2、ITU-R BT.1618和SMPTE 314M(DV格式)规定有效视频线为23~262和285~524。ITU-R BT.656规定有效视频为线20~263和283~525，因此每帧总的有效线为487

42

43

44

4.2.5 逐行数字分量视频

BT.1358和SMPTE 293M规定了480p数字R'G'B'或YCbCr视频信号的表示方式。BT.1358和SMPTE 293M定义的有效分辨率，其1倍采样率(F_s)和帧率为：

$960 \times 480p \quad 36.0MHz \quad 59.94Hz$

$720 \times 480p \quad 27.0MHz \quad 59.94Hz$

对于其他通用有效分辨率，其 $1 \times Y$ 和 $R'G'B'$ 采样率(F_s)以及帧率分别为：

$864 \times 480p \quad 32.75MHz \quad 59.94Hz$

$704 \times 480p \quad 27.00MHz \quad 59.94Hz$

$640 \times 480p \quad 24.54MHz \quad 59.94Hz$

$544 \times 480p \quad 20.25MHz \quad 59.94Hz$

$528 \times 480p \quad 19.80MHz \quad 59.94Hz$

$480 \times 480p \quad 18.00MHz \quad 59.94Hz$

$352 \times 480p \quad 13.50MHz \quad 59.94Hz$

864×480p为16:9方形像素格式，而640×480p为4:3的方形像素格式。尽管理想的16:9分

45 辨率为854×480p，但864×480p可以支持MPEG 16×16块结构。704×480p格式是通过720×480p格式来完成的，对每个有效扫描线的前8个和后8个采样点进行了消隐处理。模拟和数字信号之间的关系的例子见图4-9~图4-12。

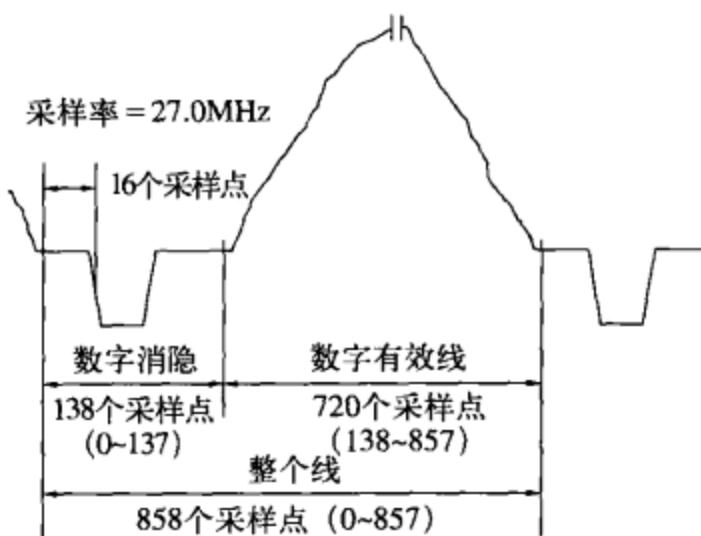


图4-9 480p模-数关系
(4:3宽高比、59.94Hz的帧率、27MHz的采样时钟)

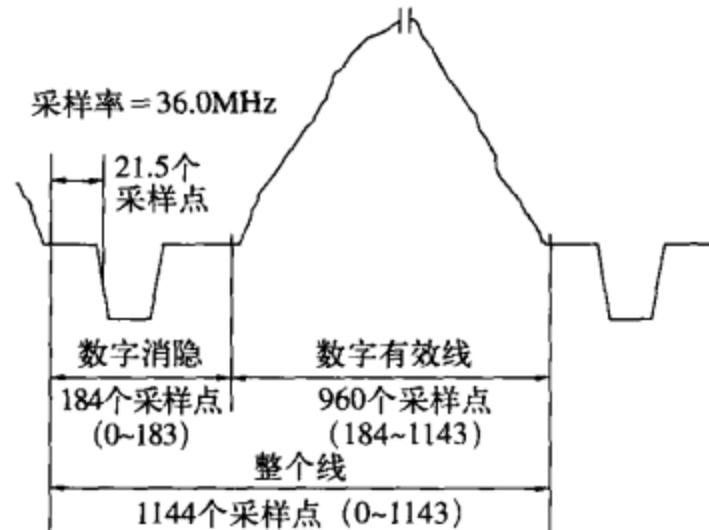


图4-10 480p模-数关系
(16:9宽高比、59.94Hz的帧率、36MHz的采样时钟)

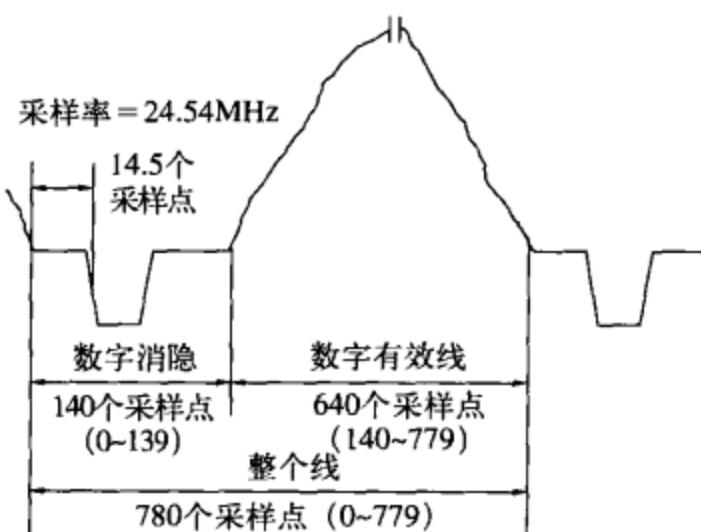


图4-11 480p模-数关系
(4:3宽高比、59.94Hz的帧率、24.54MHz的采样时钟)

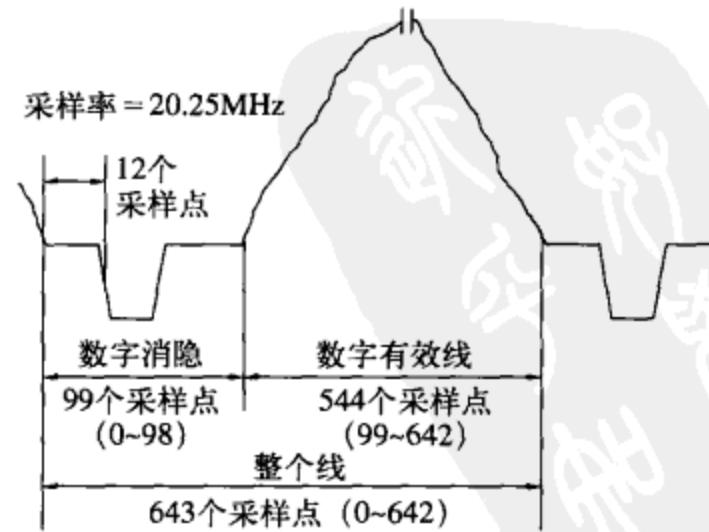


图4-12 480p模-数关系
(4:3宽高比、59.94Hz的帧率、20.25MHz的采样时钟)

H（水平消隐）、V（垂直消隐）和F（场）信号的定义见图4-13。其中的H、V和F时序与视频压缩标准兼容，而与第6章要讨论的BT.656并不兼容。

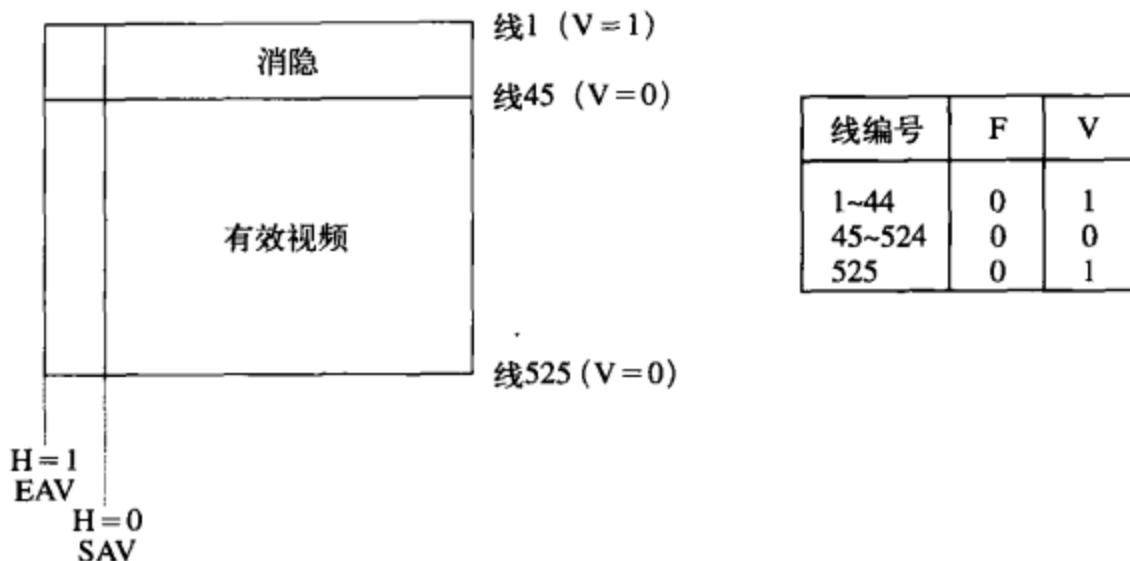


图4-13 480p数字垂直时序（480有效线）。V在数字线的开始处按照EAV顺序改变状态。注意，数字线编号在水平时序开始之前改变状态，如图4-9~图4-12所示。这些有效线被SMPTE RP-202、ATSC A/54和ARIB STD-B32标准所采用。CEA-861（DVI和HDMI时序）规定有效视频为线43~522

46
47

4.2.6 SIF和QSIF

SIF定义的有效分辨率为 $352 \times 240p$ 。方形像素SIF定义的有效分辨率为 $320 \times 240p$ 。

QSIF定义的有效分辨率为 $176 \times 120p$ 。方形像素QSIF定义的有效分辨率为 $160 \times 120p$ 。

4.3 576i和576p系统

4.3.1 隔行模拟复合视频

(B、D、G、H、I、N、N_C) PAL为模拟复合视频信号，它们在一个单一信号中包含了所有的颜色和时序信息。这些模拟接口使用每帧625线的分辨率，将在第8章对此进行详细讨论。

4.3.2 隔行模拟分量视频

模拟分量信号由三种信号组成，这些信号可以是模拟RGB或YPbPr。至于576i [具有典型的每帧576有效扫描线并且是隔行（interlaced）扫描的]，帧率通常是25Hz，这是为了与PAL的时序兼容。模拟接口使用每帧625线，在23~310和336~623线上显示有效视频，如图4-14所示。

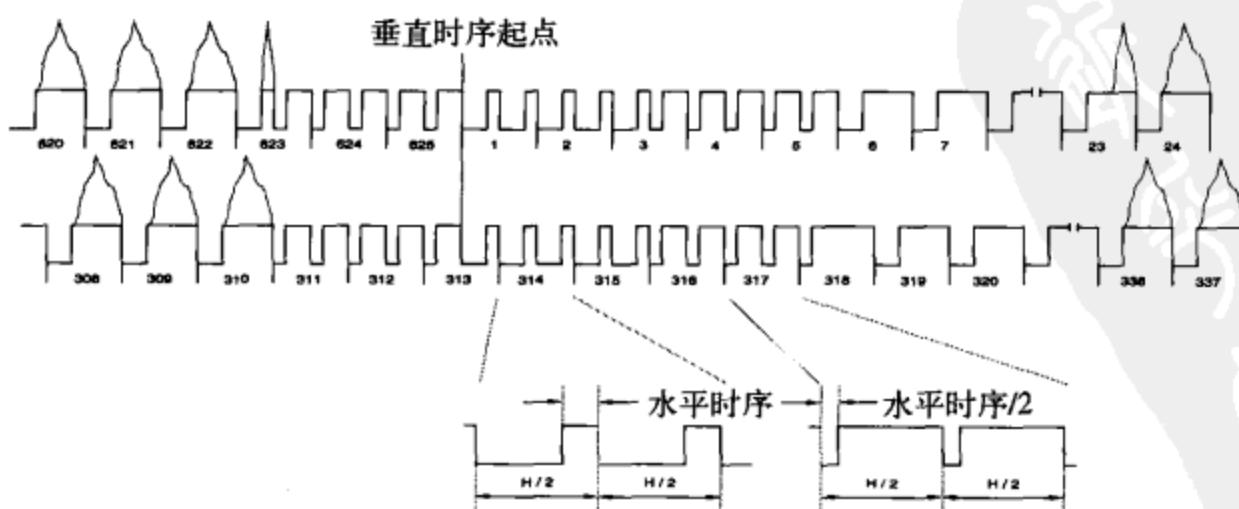


图4-14 576i垂直间隔时序

对于25Hz的帧率，每个扫描线时间（H）约为64 μs。详细的水平时序取决于所用的特定视频接口，将在第5章对此进行讨论。

4.3.3 逐行模拟分量视频

模拟分量信号由三个信号组成，这些信号为模拟RGB或YPbPr信号。至于576p [具有典型的每帧576有效扫描线，并且是逐行扫描的]，帧率通常是50Hz，这是为了更易于与PAL时序兼容。模拟接口使用每帧625线，在45~620线上显示有效视频，如图4-15所示。

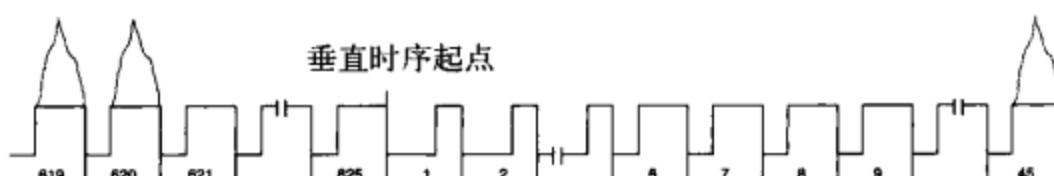


图4-15 576p垂直间隔时序

对于50Hz的帧率，每个扫描线时间（H）大约为32微秒。详细的水平时序依赖于所使用的特定视频接口，将在第5章对此进行讨论。

4.3.4 隔行数字分量视频

BT.601规定了576i数字RGB或YCbCr视频信号的表示方式。BT.601和SMPTE 267M定义的有效分辨率，其1×Y和RGB采样率（ F_s ）以及帧率分别为：

$960 \times 576i$ 18.0MHz 25Hz

$720 \times 576i$ 13.5MHz 25Hz

对于其他通用有效分辨率，其1×Y和RGB采样率（ F_s ）以及帧率分别为：

$1024 \times 576i$ 19.67MHz 25Hz

$768 \times 576i$ 14.75MHz 25Hz

$704 \times 576i$ 13.50MHz 25Hz

$544 \times 576i$ 10.12MHz 25Hz

$480 \times 576i$ 9.00MHz 25Hz

48
1024×576i为16：9的方形像素格式，而768×576i为4：3的方形像素格式。 $704 \times 576p$ 格式是通过 $720 \times 576p$ 格式来完成的，对每个有效扫描线的前8个和后8个采样点进行了消隐处理。模拟和数字信号之间的关系见图4-16~图4-19的例子。

49

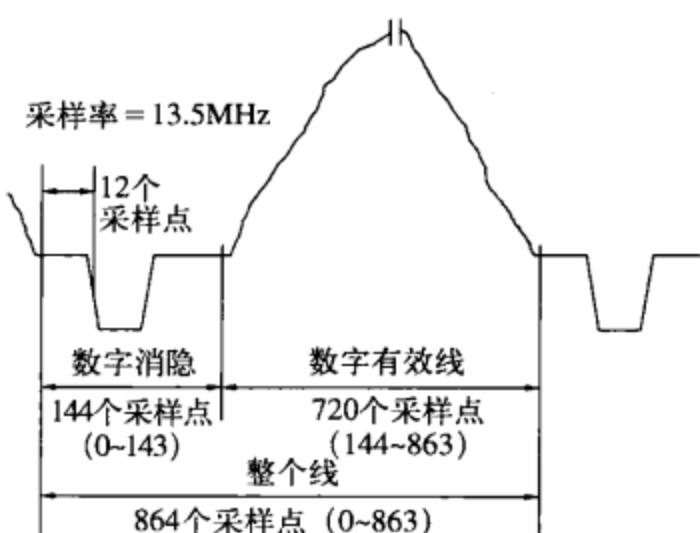


图4-16 576i模-数关系

(4：3宽高比、25Hz的帧率、13.5MHz的采样时钟)

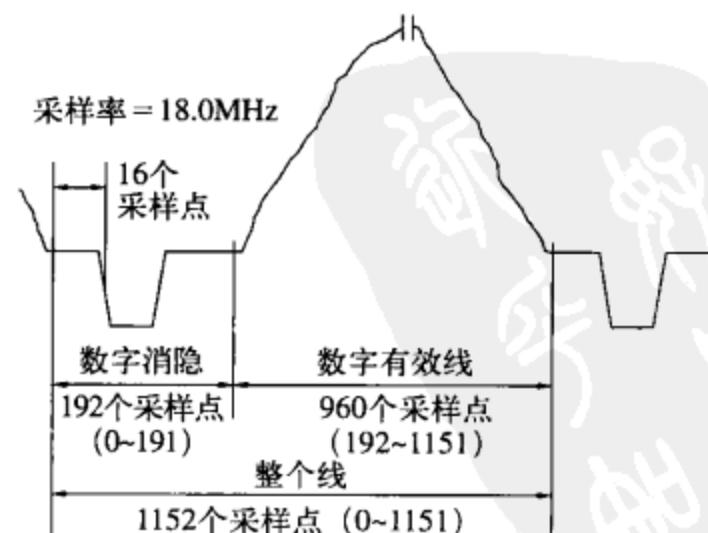


图4-17 576i模-数关系

(16：9宽高比、25Hz的帧率、18MHz的采样时钟)

50

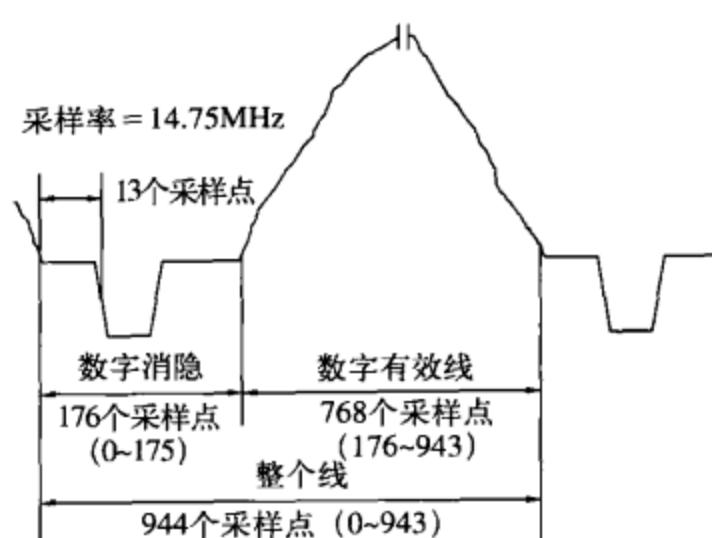


图4-18 576i模-数关系
(4:3宽高比、25Hz的帧率、14.75MHz的采样时钟)

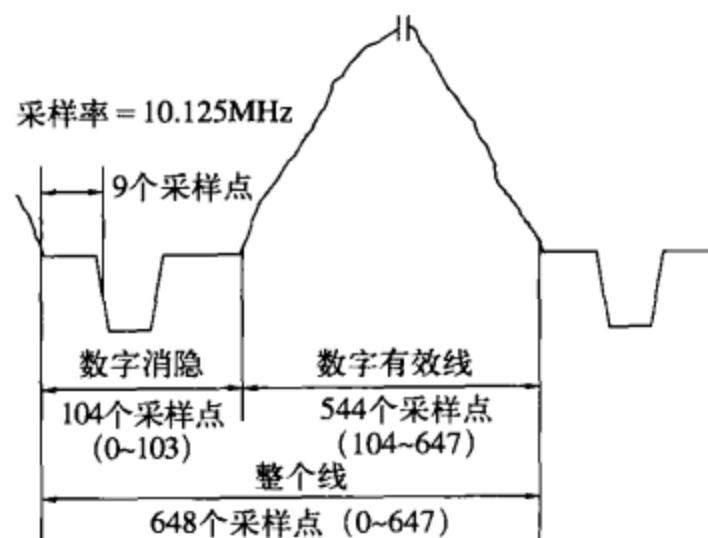


图4-19 576i模-数关系
(4:3宽高比、25Hz的帧率、10.125MHz的采样时钟)

H（水平消隐）、V（垂直消隐）和F（场）信号的定义见图4-20。其中的H、V和F时序与视频压缩标准兼容，而与第6章要讨论的BT.656并不兼容。

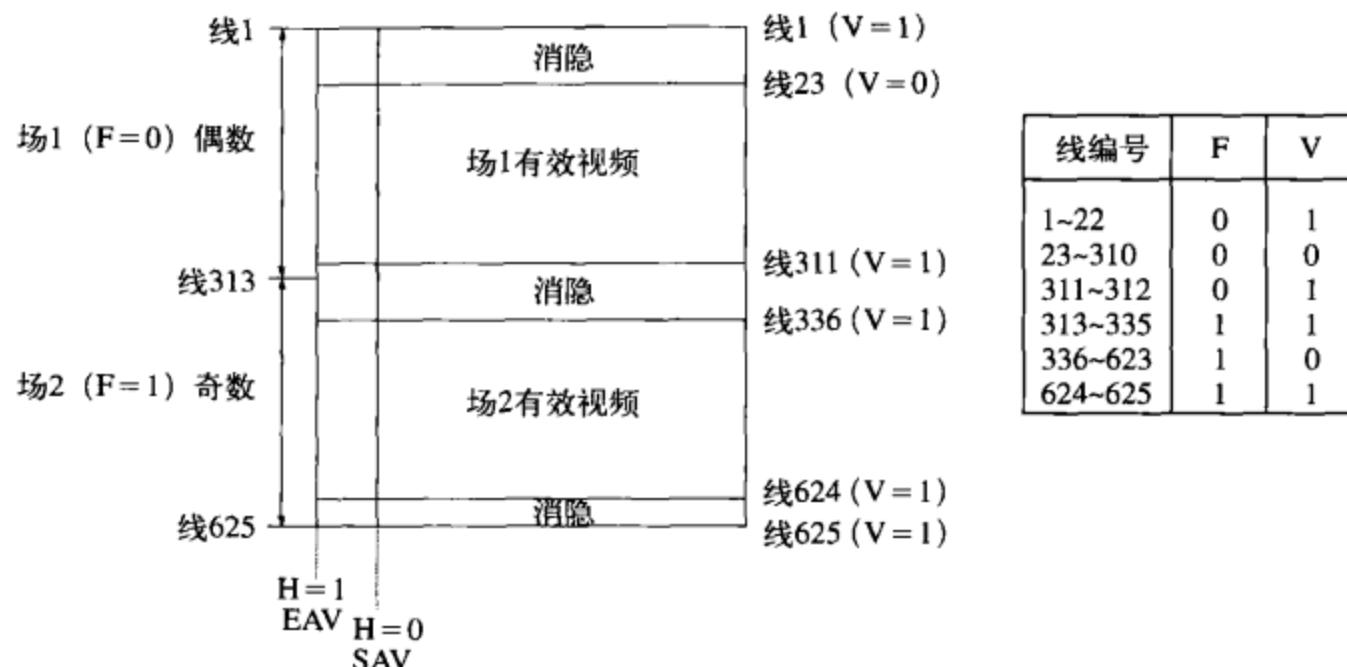


图4-20 576p数字垂直时序（576行有效线）。在数字线的开始处，V按照EAV顺序改变状态。注意，数字线数目在水平时序开始之前改变状态，如图4-16~图4-19所示。IEC 61834-2、ITU-R BT.1618和SMPTE 314M（DV格式）规定有效视频为线23~310和335~622

4.3.5 逐行数字分量视频

BT.1358规定了576p数字R'G'B'或YCbCr视频信号的表示方式。BT.1358定义的有效分辨率，其 $1 \times Y$ 和R'G'B'采样率(F_s)以及帧率分别为：

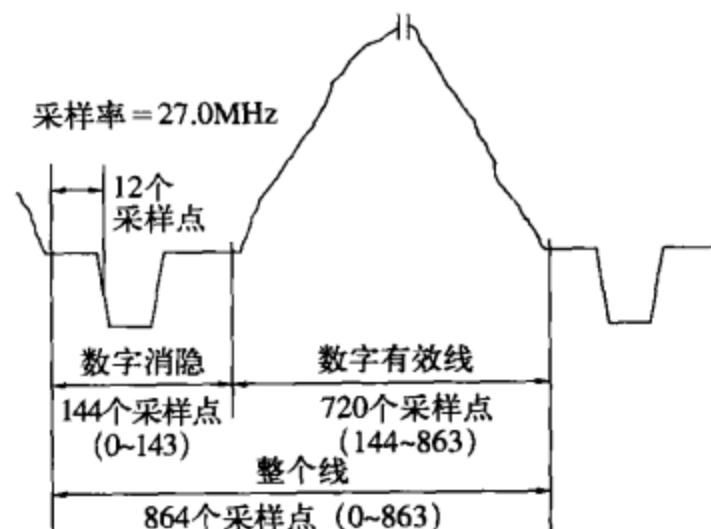
960 × 576p 36.0MHz 50Hz
720 × 576p 27.0MHz 50Hz

对于其他通用有效分辨率，其 $1 \times Y$ 和R'G'B'采样率(F_s)以及帧率分别为：

1024 × 576p 39.33MHz 50Hz
768 × 576p 29.5MHz 50Hz
704 × 576p 27.00MHz 50Hz
544 × 576p 20.25MHz 50Hz

480×576p 18.00MHz 50Hz

$1024 \times 576p$ 为 16 : 9 方形像素格式，而 $768 \times 576p$ 为 4 : 3 的方形像素格式。 $704 \times 576p$ 格式是通过 $720 \times 576p$ 格式来完成的，对每个有效扫描线的前 8 个和后 8 个采样点进行了消隐处理。模拟和数字信号之间的关系的例子见图 4-21~图 4-24。



53 图 4-21 576p 模-数关系
(4:3 宽高比、50Hz 的帧率、27MHz 的采样时钟)

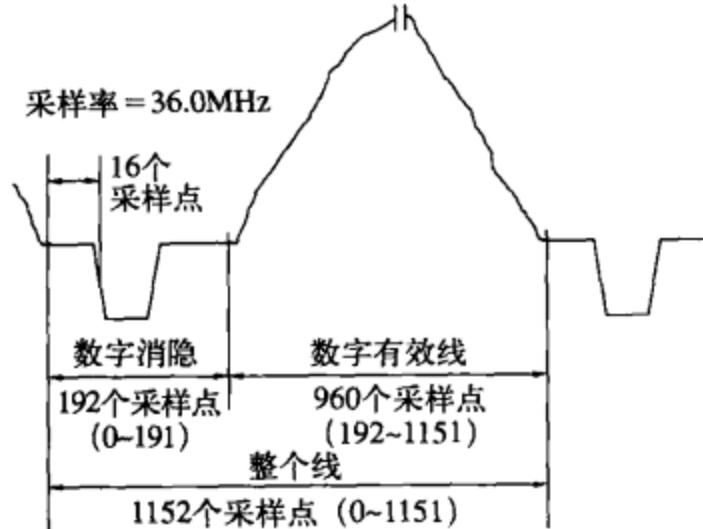
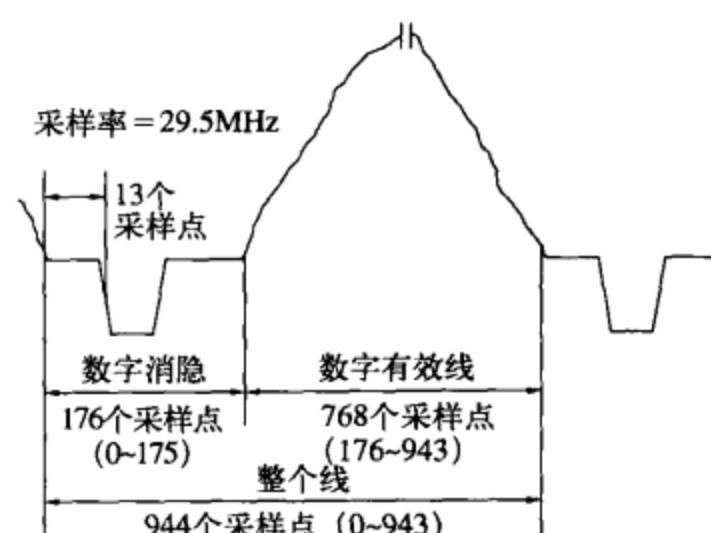


图 4-22 576p 模-数关系
(16:9 宽高比、50Hz 的帧率、36MHz 的采样时钟)



54 图 4-23 576p 模-数关系
(4:3 宽高比、50Hz 的帧率、29.5MHz 的采样时钟)

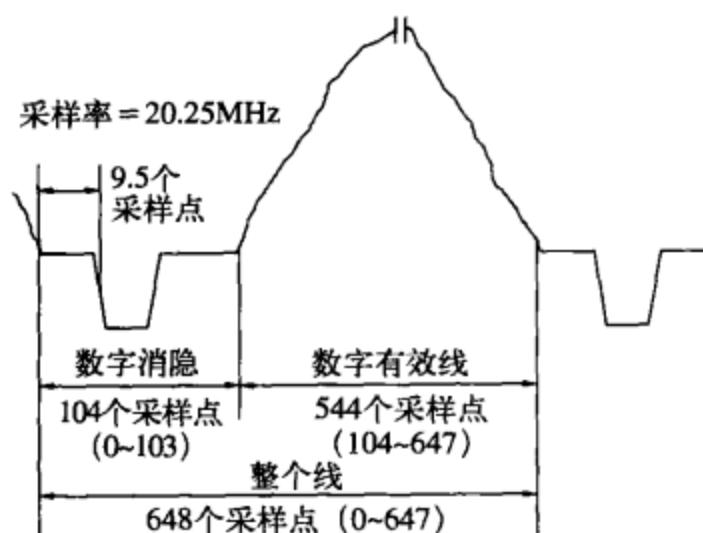
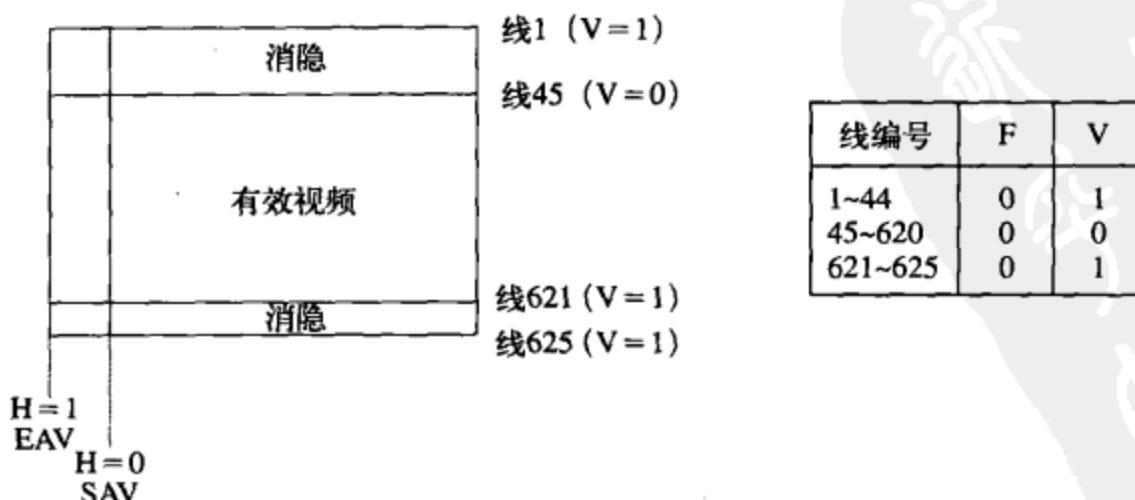


图 4-24 576p 模-数关系
(4:3 宽高比、50Hz 的帧率、20.25MHz 的采样时钟)

H (水平消隐)、V (垂直消隐) 和 F (场) 信号的定义见图 4-25。其中的 H、V 和 F 时序与视频压缩标准兼容，而与第 6 章要讨论的 BT.656 并不兼容。



55 图 4-25 576p 数字垂直时序 (576 条有效线)。在数字线的开始处，V 按照 EAV 顺序改变状态。注意，数字线编号在水平时序开始之前改变状态，如图 4-21~图 4-24 所示

4.4 720p系统

4.4.1 逐行模拟分量视频

模拟分量信号由三个信号组成，这些信号为模拟RG'B或YPbPr信号。至于720p [具有典型的每帧720有效扫描线并且是逐行（progressive）扫描的]，帧率通常是59.94Hz (60/1.001)，这是为了简化 (M) NTSC视频的生成。模拟接口每帧使用750线，在26~745线上显示有效视频，如图4-26所示。

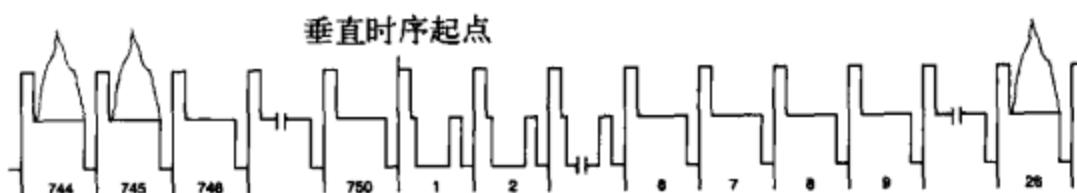


图4-26 720p垂直间隔时序

对于59.94Hz的帧率，每个扫描线时间 (H) 大约为22.24μs。详细的水平时序取决于所使用的特定视频接口，将在第5章对此进行讨论。

4.4.2 逐行数字分量视频

SMPTE 296M规定了720p数字RG'B或YCbCr视频信号的表示方式。SMPTE 296M定义的有效分辨率，其1×Y和RG'B采样率 (F_s) 以及帧率分别为：

1280 × 720p	74.176MHz	23.976Hz
1280 × 720p	74.250MHz	24.000Hz
1280 × 720p	74.250MHz	25.000Hz
1280 × 720p	74.176MHz	29.970Hz
1280 × 720p	74.250MHz	30.000Hz
1280 × 720p	74.250MHz	50.000Hz
1280 × 720p	74.176MHz	59.940Hz
1280 × 720p	74.250MHz	60.000Hz

注意，1280 × 720p使用的是方形像素和16：9的宽高比。模拟和数字信号之间的关系的例子见图4-27、图4-28和表4-1。H（水平消隐）、V（垂直消隐）和F（场）信号的定义见图4-29。

56

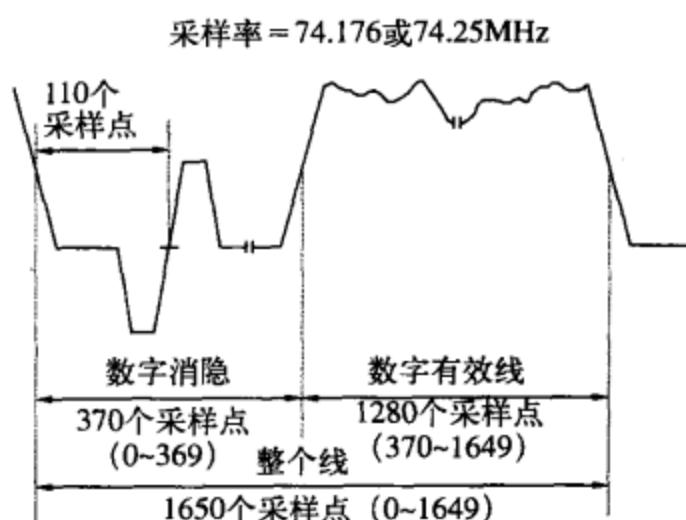


图4-27 720p模-数关系（宽高比为16：9、帧率为59.94 Hz、采样时钟为74.176MHz，以及帧率为60Hz、采样时钟为74.25MHz）

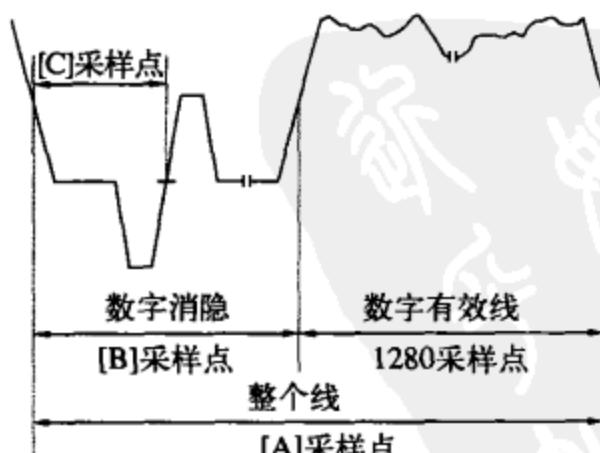


图4-28 一般720p模-数关系

57

表4-1 图4-28中各种720p模-数参数

有效水平采样点	帧率 (Hz)	1×Y采样率 (MHz)	总的水平采样点 (A)	水平消隐采样点 (B)	C采样点
1280	24/1.001	74.25/1.001	4125	2845	2585
	24	74.25	4125	2845	2585
	25 ⁱ	48	1536	256	21
	25 ⁱ	49.5	1584	304	25
	25	74.25	3960	2680	2420
	30/1.001	74.25/1.001	3300	2020	1760
	30	74.25	3300	2020	1760
	50	74.25	1980	700	440
	60/1.001	74.25/1.001	1650	370	110
	60	74.25	1650	370	110

1. 基于31.250kHz的线频率对于基于CRT、50Hz的HDTV是有益的。时序脉冲为-300mV的双极信号，而不是±300mV的三极信号。720p的视频内容在垂直方向上缩放为1152i有效扫描线；总的扫描线为1250i，而不是750p。

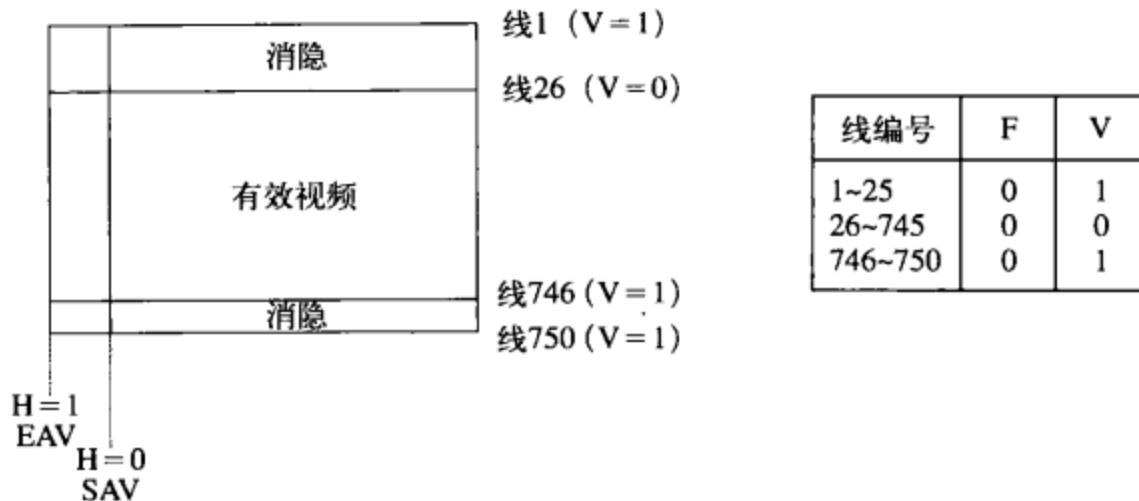


图4-29 720p数字垂直时序（720有效线）。在数字线的开始处，V按照EAV顺序改变状态。注意，数字线在水平时序之前改变状态，如图4-27和图4-28所示

58

4.5 1080i和1080p系统

4.5.1 隔行模拟分量视频

模拟分量信号由三个信号组成，这些信号可以是模拟R'G'B'或YPbPr。至于1080i [具有典型的每帧1080有效扫描线并且是隔行 (interlaced) 扫描的]，帧率通常是25Hz或29.97Hz (30/1.001)，这简化了 (B、D、G、H、I) PAL或 (M) NTSC视频的生成。模拟接口使用每帧1125线，在21~560和584~1123线上显示有效视频，如图4-30所示。

MPEG-2和MPEG-4系统使用1088线，而不是使用1080，这是为了每帧具有32的整倍数扫描线。在这种情况下，每个场在有效视频之后使用了额外的4线。

对于25Hz的帧率，每行扫描线的时间 (H) 约为35.56 μs。对于29.97Hz的帧率，每行扫描线的时间约为29.66 μs。详细的水平时序依赖于所用的特定视频接口，将在第5章对此进行讨论。

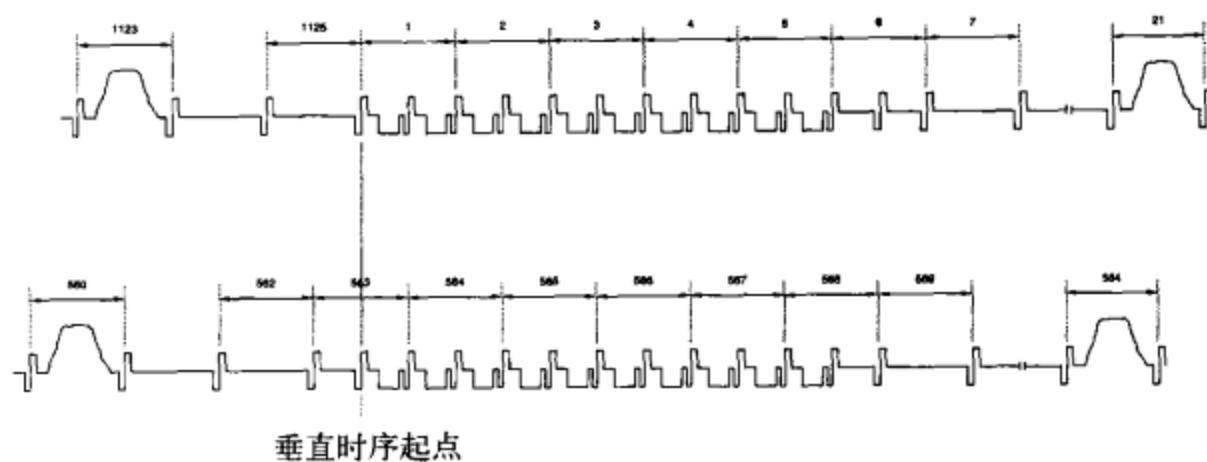


图4-30 1080i垂直间隔时序

4.5.2 1152i格式

1152i（总数为2350）有效线格式并不是广播发射格式。然而，它却被用于从HD机顶盒和DVD播放机直到50Hz基于CRT的HDTV之间的各种模拟互连标准，使得50Hz的HDTV的水平频率可以使用固定的31.25kHz，从而降低了费用。其他的HDTV显示器技术，如DLP、LCD和等离子显示器，能够处理720p50（带VBI的750p50）和1080i25（带VBI的1125i25）模拟信号的本地时序。

机顶盒或DVD播放器将720p50和1080i25的视频内容转换为1152i25格式。将 1280×720 p50的视频内容缩放为 1280×1152 i25格式；将 1920×1080 i25以 1920×1152 i25的宽银幕模式提供给外界。为了校准1080i25的几何参数（这可以通过垂直时序信号对其进行识别），HDTV将具有一个标称垂直缩放模式。

4.5.3 逐行模拟分量视频

模拟分量信号由三个信号组成，这些信号为模拟RG'B或YPbPr信号。至于1080p [具有典型的每帧1080行有效扫描线并且是逐行（progressive）扫描的]，帧率通常是50或59.94Hz（60/1.001），这是为了简化（B、D、G、H、I）PAL或（M）NTSC视频信号的生成。模拟接口使用每帧1125线，在42~1121线上显示有效视频，如图4-31所示。

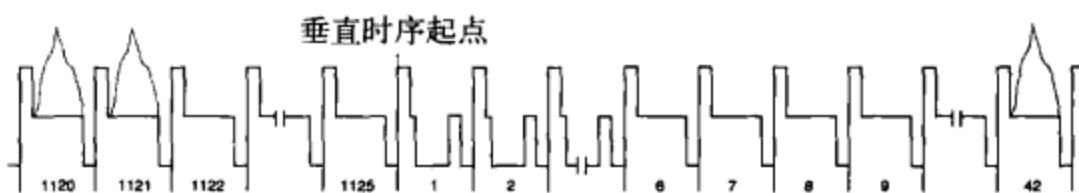


图4-31 1080p垂直间隔时序

为了使每帧视频的扫描线数是16的整倍数，MPEG-2和MPEG-4系统使用1088线，而不是1080线。为此，在每场视频数据的有效视频之后需要增加额外的8行扫描线。

对于50Hz的帧率，每行扫描线时间大约为17.78 μs。对于59.94Hz的帧率，每行扫描线时间大约为14.83 μs。详细的水平时序取决于所使用的特定视频接口，将在第5章对此进行讨论。

4.5.4 隔行数字分量视频

ITU-R BT.709和SMPTE 274M规定了1080i数字RG'B或YCbCr视频信号的数字分量格式。BT.709和SMPTE 267M定义的有效分辨率，其 $1 \times Y$ 和RG'B采样率(F_s)以及帧率分别为：

$1920 \times 1080i$ 74.250MHz 25.00Hz

$1920 \times 1080i$ 74.176MHz 29.97Hz

1920×1080i 74.250MHz 30.00Hz

注意，ITU-R BT.709和SMPTE 274M使用的是方形像素和16：9的宽高比。对于其他通用有效分辨率，其 $1 \times Y$ 和RGB采样率(F_s)及帧率分别为：

1280×1080i	49.500MHz	25.00Hz
1280×1080i	49.451MHz	29.97Hz
1280×1080i	49.500MHz	30.00Hz
1440×1080i	55.688MHz	25.00Hz
1440×1080i	55.632MHz	29.97Hz
1440×1080i	55.688MHz	30.00Hz

60
62

模拟和数字信号之间的关系的例子见图4-32、图4-33和表4-2。H(水平消隐)和V(垂直消隐)信号的定义见图4-34。

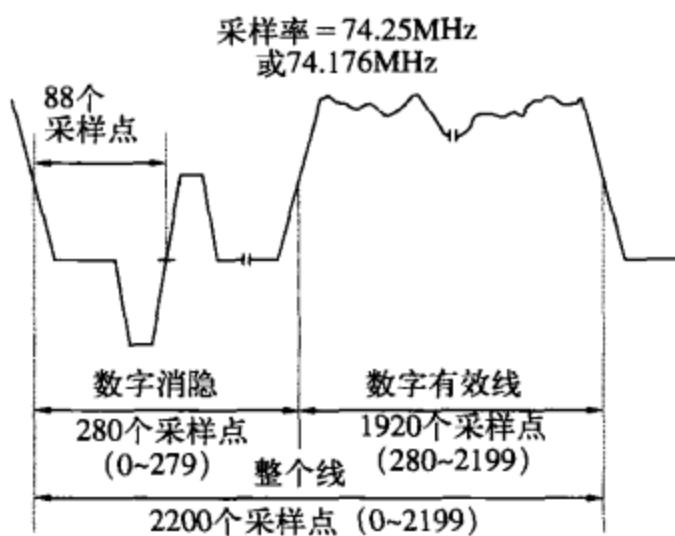


图4-32 1080i模-数关系 (16：9宽高比、29.97Hz的帧率、74.176MHz的采样时钟，以及30Hz的帧率、74.25MHz的采样时钟)

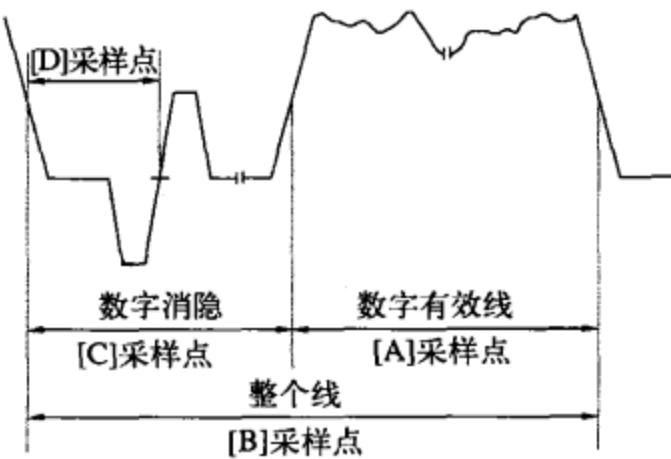


图4-33 一般的1080i模-数关系

表4-2 图4-33中的各种1080i模-数参数

有效水平采样点(A)	帧率(Hz)	1×Y采样率(MHz)	总的水平采样点(B)	水平消隐采样点(C)	D采样点
1920	25 ¹	72	2304	384	32
	25 ¹	74.25	2376	456	38
	25	74.25	2640	720	528
	30/1.001	74.25/1.001	2200	280	88
	30	74.25	2200	280	88
1440	25 ¹	54	1728	288	24
	25	55.6875	1980	540	396
	30/1.001	55.6875/1.001	1650	210	66
	30	55.6875	1650	210	66
1280	25 ¹	48	1536	256	21
	25	49.5	1760	480	352
	30/1.001	49.5/1.001	1466.7	186.7	58.7
	30	49.5	1466.7	186.7	58.7

1. 基于31.250kHz的线频率对于基于CRT、50Hz的HDTV是有用的。时序脉冲为 $\pm 300mV$ 的双极信号，而不是 $\pm 300mV$ 的三极信号。1080i的视频内容在垂直方向上缩放为1152i有效扫描线；总的扫描线为1250i，而不是1125i。

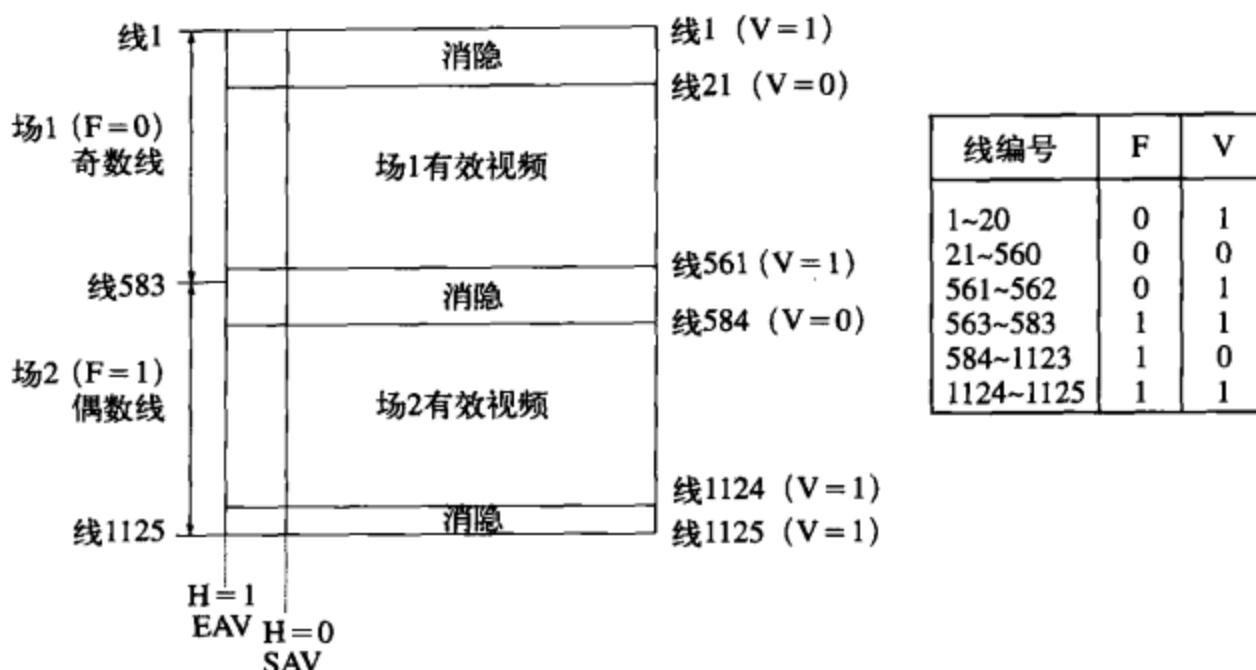


图4-34 1080i数字垂直时序（1080有效线）。在数字线的开始处，V按照EAV顺序改变状态。注意，数字线在水平时序之前改变状态，如图4-32和图4-33所示

63

4.5.5 逐行数字分量视频

ITU-R BT.709和SMPTE 274M规定了1080p数字R'G'B'或YCbCr的数字分量格式。BT.709和SMPTE 267M定义的有效分辨率，其 $1 \times Y$ 和R'G'B'采样率(F_s)以及帧率分别为：

$1920 \times 1080p$	74.176MHz	23.976Hz
$1920 \times 1080p$	74.250MHz	24.000Hz
$1920 \times 1080p$	74.250MHz	25.000Hz
$1920 \times 1080p$	74.176MHz	29.970Hz
$1920 \times 1080p$	74.250MHz	30.000Hz
$1920 \times 1080p$	148.50MHz	50.000Hz
$1920 \times 1080p$	148.35MHz	59.940Hz
$1920 \times 1080p$	148.50MHz	60.000Hz

注意，BT.709和SMPTE 267M使用方形像素和16：9宽高比。对于其他通用有效分辨率，其 $1 \times Y$ 和R'G'B'采样率(F_s)以及帧率分别为：

$1280 \times 1080p$	49.451MHz	23.976Hz
$1280 \times 1080p$	49.500MHz	24.000Hz
$1280 \times 1080p$	49.500MHz	25.000Hz
$1280 \times 1080p$	49.451MHz	29.970Hz
$1280 \times 1080p$	49.500MHz	30.000Hz
$1280 \times 1080p$	99.000MHz	50.000Hz
$1280 \times 1080p$	98.901MHz	59.940Hz
$1280 \times 1080p$	99.000MHz	60.000Hz
$1440 \times 1080p$	55.632MHz	23.976Hz
$1440 \times 1080p$	55.688MHz	24.000Hz
$1440 \times 1080p$	55.688MHz	25.000Hz
$1440 \times 1080p$	55.632MHz	29.970Hz
$1440 \times 1080p$	55.688MHz	30.000Hz
$1440 \times 1080p$	111.38MHz	50.000Hz

1440×1080p 111.26MHz 59.940Hz

1440×1080p 111.38MHz 60.000Hz

模拟和数字信号之间关系的例子见图4-35、图4-36以及表4-3。H（水平消隐）、V（垂直消隐）和F（场）信号的定义见图4-37。

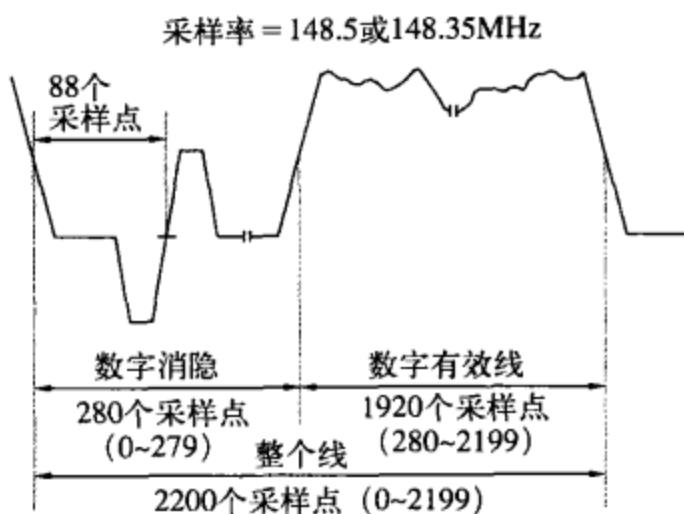


图4-35 1080p模-数关系（宽高比为16:9、帧率为59.94Hz、采样时钟为148.35MHz，以及帧率为60Hz、采样时钟为148.5MHz）

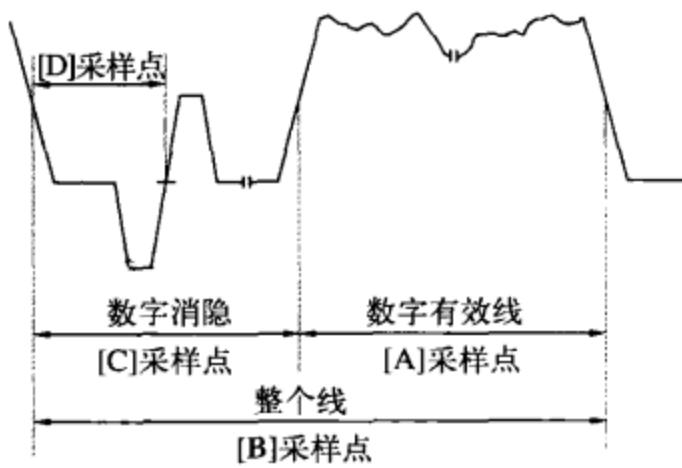


图4-36 一般的1080p模-数关系

表4-3 图4-36中的各种1080p模-数参数

有效水平采样点 (A)	帧率 (Hz)	1×Y采样率 (MHz)	总的水平采样点 (B)	水平消隐采样点 (C)	D采样点
1920	24/1.001	74.25/1.001	2750	830	638
	24	74.25	2750	830	638
	25	74.25	2640	720	528
	30/1.001	74.25/1.001	2200	280	88
	30	74.25	2200	280	88
	50	148.5	2640	720	528
	60/1.001	148.5/1.001	2200	280	88
	60	148.5	2200	280	88
1440	24/1.001	55.6875/1.001	2062.5	622.5	478.5
	24	55.6875	2062.5	622.5	478.5
	25	55.6875	1980	540	396
	30/1.001	55.6875/1.001	1650	210	66
	30	55.6875	1650	210	66
	50	111.375	1980	540	396
	60/1.001	111.375/1.001	1650	210	66
	60	111.375	1650	210	66
1280	24/1.001	49.5/1.001	1833.3	553.3	425.3
	24	49.5	1833.3	553.3	425.3
	25	49.5	1760	480	352
	30/1.001	49.5/1.001	1466.7	186.7	58.7
	30	49.5	1466.7	186.7	58.7
	50	99	1760	480	352
	60/1.001	99/1.001	1466.7	186.7	58.7
	60	99	1466.7	186.7	58.7

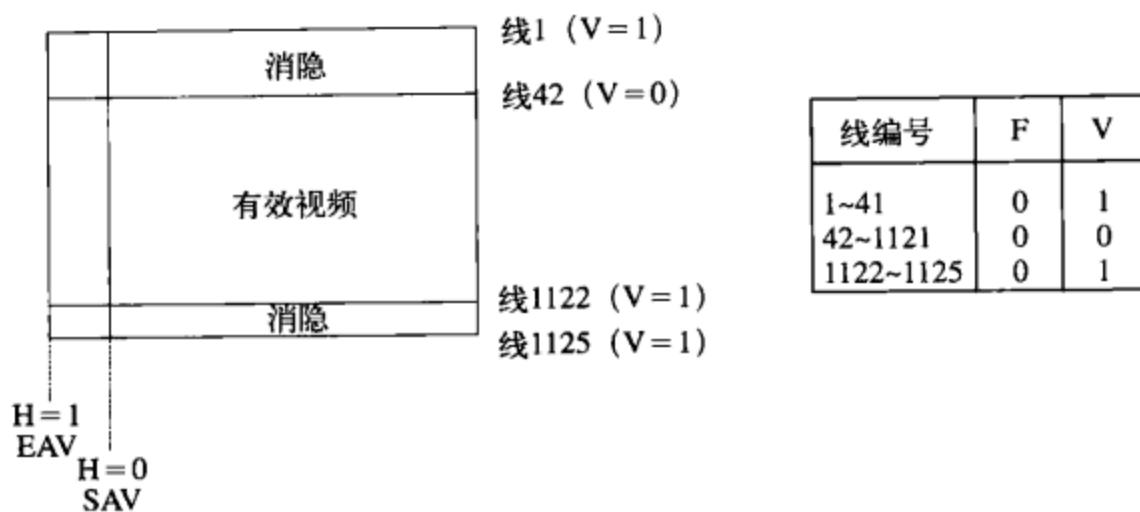


图4-37 1080p数字垂直时序（1080有效线）。在数字线的开始处，V按照EAV顺序改变状态。
注意，数字线在水平时序之前改变状态，如图4-35和图4-36所示

4.6 其他视频系统

有些消费类显示器已经采用其他的分辨率作为其固有分辨率，如基于LCD和等离子技术的显示器。常用的有效分辨率及其名称分别为：

640 × 400	VGA
640 × 480	VGA
854 × 480	WVGA
800 × 600	SVGA
1024 × 768	XGA
1280 × 768	WXGA
1366 × 768	WXGA
1024 × 1024	XGA
1280 × 1024	SXGA
1600 × 1024	WSXGA
1600 × 1200	UXGA
1920 × 1200	WUXGA

这些分辨率及其时序是由视频电子标准协会（Video Electronics Standards Association, VESA）为计算机显示器定义的。基于这些固有分辨率的显示器通常可以接收很多输入分辨率，它是通过将视频源进行缩放来实现与显示器分辨率的匹配的。

参考文献

1. CEA-861D, *A DTV Profile for Uncompressed High Speed Digital Interfaces*, July 2006.
2. EIA-770.1, *Analog 525-line Component Video Interface—Three Channels*, November 2001.
3. EIA-770.2, *Standard-Definition TV Analog Component Video Interface*, November 2001.
4. EIA-770.3, *High-Definition TV Analog Component Video Interface*, November 2001.
5. ITU-R BT.601-5, 1995, *Studio Encoding of Digital Television for Standard 4 : 3 and Widescreen 16 : 9 Aspect Ratios*.
6. ITU-R BT.709-5, 2002, *Parameter Values for the HDTV Standards for Production and International Programme Exchange*.
7. ITU-R BT.1358, 1998, *Studio Parameters of 625 and 525 Line Progressive Scan Television Systems*.
8. SMPTE 267M-1995, *Television-Bit-Parallel Digital Interface—Component Video Signal 4 : 2 : 2 16 × 9 Aspect Ratios*.
9. SMPTE 274M-2005, *Television-1920 × 1080 Image Sample Structure, Digital Representation and Digital Timing Reference Sequences for Multiple Picture Rates*.
10. SMPTE 293M-2003, *Television-720 × 483 Active Line at 59.94Hz Progressive Scan Production—Digital Representation*.
11. SMPTE 296M-2001, *Television—1280 × 720 Progressive Image Sample Structure, Analog and Digital Representation and Analog Interface*.

第5章 模拟视频接口

多年以来，消费类市场上使用的主要视频信号一直是复合NTSC或者PAL视频（见图8-2和图8-13）。人们也试图进一步支持S-Video，但是直到最近，它还仅限于S-VHS VCR和高端电视机。

随着DVD播放机、数字机顶盒和DTV的出现，人们对在消费类市场提供高质量视频重新产生了兴趣。这些设备不仅支持很高质量的复合和S-Video信号，而且还准许选择使用模拟R'G'B'或YPbPr视频。

使用模拟R'G'B'或YPbPr视频去除了NTSC/PAL编码和解码过程中产生的人为噪声（artifact）。因此，图像更清晰、噪声更小。拥有更多的色度带宽，增加了水平清晰度。

5.1 S-Video接口

RCA梅花连接头（消费类市场）或BNC连接头（专业视频市场）对复合NTSC或PAL视频信号进行转换，其方法是将亮度（Y）和色度（C）视频信号加在一起。然后，为了显示图像，电视就需要将这些Y和C视频信号分离开。问题是，Y/C分离过程总是不完美的，这个问题将在第9章中讨论。

目前，许多视频分量支持4针的“S1”S-Video连接头，如图5-1所示（母连接头视图）。该连接头保持亮度（Y）和色度（C）视频信号分离，省去在TV上进行Y/C分离的过程。结果是图像更清晰，并具有更少的噪声。图9-2和图9-3表示的是Y信号，图9-10和图9-11表示的是C信号。

68

NTSC和PAL VBI（场消隐期）数据可以表示为480i或576i视频信号，将在第8章中对此进行讨论。

当提供的是宽屏（16：9）失真节目（水平压缩25%）时，“S2”版在C信号中增加了+5V DC偏移。16：9的TV检测DC偏移并在水平方向上对4：3图像进行扩展以填充屏幕，恢复节目的正确宽高比。当节目使用“Letterbox模式”后，“S3”版也支持+2.3V的偏移。

IEC 60993-5标准规定了S-Video的连接头和信号电平。

扩展S-Video接口

PC市场也使用扩展S-Video接口。这些接口有7针，如图5-1所示，并与4针接口兼容。

其他3针的使用是由制造商来定义的。它们可以用于支持I²C接口（SDA双向数据针和SCL时钟针）、+12V电源、复合NTSC/PAL视频信号（CVBS）、模拟R'G'B'或YPbPr视频信号。

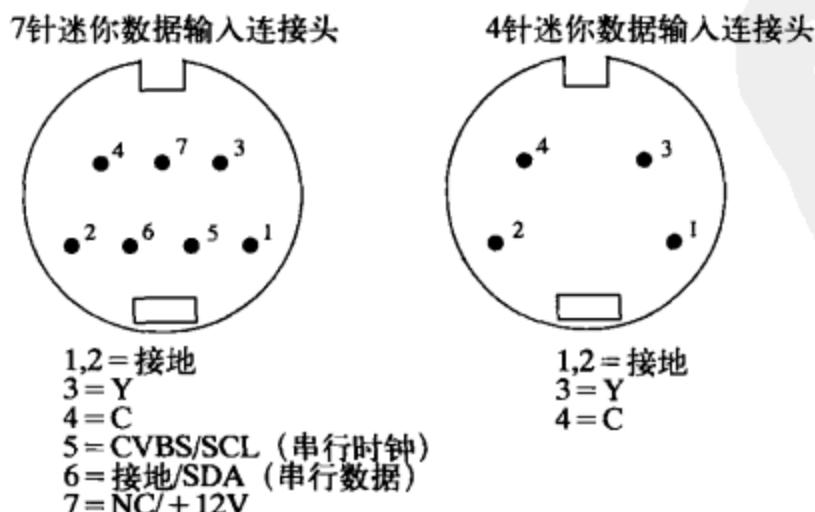


图5-1 S-Video连接头和信号命名

5.2 SCART接口

欧洲的大多数消费类视频分量都支持1到2个21针SCART连接头（通常也被称作Peritel、Peritelevision和Euroconnector）。这种连接准许模拟R'G'B'视频或S-Video、复合视频和模拟立体声音频在使用单根电缆的设备之间传输。复合视频信号必须一直存在，因为它需要为模拟R'G'B'视频信号提供基本的视频时序信息。注意，700mV的R'G'B'视频信号没有消隐基底电平和同步信息，如图5-4所示。

PAL VBI（场消隐期）数据可以按照576i复合视频信号的方式提供，将在第8章中对此进行讨论。

目前已经有几种类型的SCART引脚，取决于实现的具体功能，见表5-1~表5-3。图5-2给出了一些输出引脚的细节。

CENELEC EN 50049-1和IEC60933标准规定了基本的SCART连接头，包括信号电平。

69

表5-1 SCART连接头信号

引脚	功能	信号电平	阻抗
1	右声道音频输出	0.5V rms	<1kΩ
2	右声道音频输入	0.5V rms	>10kΩ
3	左/单声道输出	0.5V rms	<1kΩ
4	接地，用于引脚1、2、3、6		
5	接地，用于引脚7		
6	左/单声道输入	0.5V rms	>10kΩ
7	蓝（或C）视频输入/输出	0.7V（或0.3V色同步电平）	75Ω
8	状态和宽高比输入/输出	9.5~12V = 4 : 3视频源 4.5~7V = 16 : 9视频源 0~2V = 无效视频源	>10kΩ
9	接地，用于引脚11		
10	数据2		
11	绿色视频输入/输出	0.7V	75Ω
12	数据1		
13	接地，用于引脚15		
14	接地，用于引脚16		
15	红（或C）视频输入/输出	0.7V（或0.3V色同步电平）	75Ω
16	RGB控制输入/输出	1~3V = RGB 0~0.4V = 复合视频	75Ω
17	接地，用于引脚19		
18	接地，用于引脚20		
19	复合（或Y）视频输出	1V	75Ω
20	复合（或Y）视频输入	1V	75Ω
21	接地，用于引脚8、10、12、屏蔽		

注：通常，SCART1连接头支持复合视频和RGB，SCART2连接头支持复合视频和S-Video，SCART3连接头仅支持复合视频。SCART连接也可以用于将外部的解码器或解扰器加入视频处理路径中，视频信号从其中传出和回传到SCART连接头。

RGB控制信号控制TV在复合视频和RGB输入之间的切换，使得可以将图文电视（Teletext）叠加在视频上，甚至内部电视节目也可叠加在视频上。这使得外部字幕或图文电视广播的解码器能够将信息加入到当前的节目上。如果引脚16保持高电平，并给出标示RGB的信号，那么同步仍然是在复合视频的引脚上。某些设备（如DVD播放机）可以为SCART提供RGB，并保持引脚16恒为高电平。

当信源变为有效时，引脚8上将加载12V的电平。这使得电视自动地切换到SCART输入。当信源停止时，信号返回0V，并且恢复电视画面。如果提供16 : 9的变形节目，信源将引脚8上的信号电压提升到刚好6V。这导致电视机切换到SCART输入，并同时使得对变形的16 : 9节目进行视频处理。

70

表5-2 SDTV 10位R'G'B'颜色值

视频电平	消隐基底电平为7.5 IRE	消隐基底电平为0 IRE
白色	800	800
黑色	282	252
消隐	240	252
同步	16	16

表5-3 HDTV 10位R'G'B'颜色值

视频电平	消隐基底电平为0 IRE
白色	800
同步高	488
黑色	252
消隐	252
同步低	16



图5-2 SCART连接头

5.3 SDTV RGB接口

有些SDTV消费类视频设备支持模拟R'G'B'视频接口。NTSC和PAL VBI（垂直视频间隔）数据可以按照480i或576i R'G'B'视频信号提供，将在第8章对此进行讨论。使用的连接头为三个分离的RCA梅花连接头（消费类市场）或BNC连接头（专业视频和PC市场）。

水平或垂直视频时序取决于视频标准，在第4章已经对此进行了讨论。对于信号源，在连接头处视频信号的源阻抗应该为 $75\Omega \pm 5\%$ 。对于信号接收设备，视频输入应该是AC耦合的，并具有 $75\Omega \pm 5\%$ 的输入阻抗。三个信号在 $\pm 5\%ns$ 内相互之间必须一致。

同步信息的提供方式如下：仅在绿色通道、所有三个通道、作为独立的复合同步信号或作为独立的水平和垂直同步信号。使用的gamma值为1/0.45。

5.3.1 7.5 IRE的消隐基底电平

如图5-3所示，标称有效视频幅度为714mV，包含一个 $7.5 \pm 2\%$ IRE的消隐基底电平。 $206 \pm 6mV$ 的复合同步信号可以仅在绿色通道中提供（消费类市场），或由所有三个通道提供（专业视频市场）。可以提供直到 $\pm 1V$ 的DC偏移。

1. 模拟R'G'B'数据生成

假定10位D/A转换器（DAC）的输出范围为0~1.305V（与第9章介绍的NTSC/PAL编码器使用的视频DAC相匹配），由10位的YCbCr到R'G'B'的转换公式为：

$$R' = 0.591(Y - 64) + 0.810(Cr - 512)$$

$$G' = 0.591(Y - 64) - 0.413(Cr - 512) - 0.199(Cb - 512)$$

$$B' = 0.591(Y - 64) + 1.025(Cb - 512)$$

R'G'B'的标称10位颜色表示范围为0~518，这是为了与第9章介绍的NTSC/PAL编码器使用的有效视频电平相匹配。注意，在此应该支持R'G'B'的负值。

为了实现7.5 IRE的消隐基底电平，在有效视频期内，需要在数字R'G'B'数据上加上值42。而在消隐期内则加上0。

加上消隐基底电平后，R'G'B'数据被具有升余弦分布的消隐信号压缩了，这种压缩是为了降低视频信号开始和结束的摆率。对于480i和576i系统，消隐上升和下降的时间为 $140 \pm 20ns$ 。对于480p和576p系统，消隐上升和下降的时间为 $70 \pm 10ns$ 。

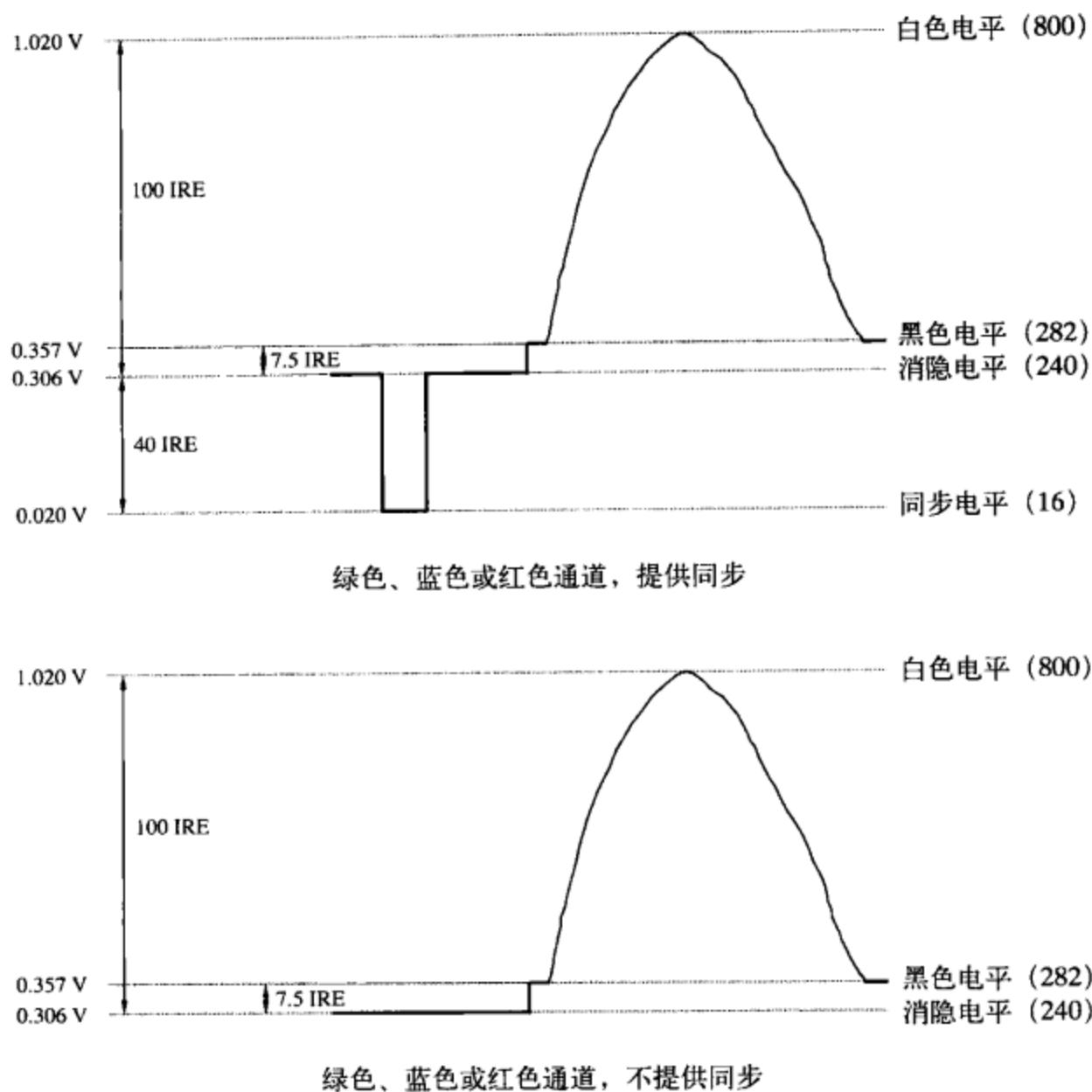


图5-3 SDTV模拟RGB电平。7.5 IRE的消隐电平

在消隐处理完成以后，复合同步信号可以加入到R'G'B'数据中。复合同步信号为16（提供同步）或240（没有同步）。应该对同步上升和下降时间进行处理以生成升余弦分布（在16与240之间），为此可以减缓同步信号的摆率。对于480i和576i系统，同步上升和下降的时间为 $140 \pm 20\text{ns}$ ，水平同步在50%宽度点处的时间为 $4.7 \pm 0.1\mu\text{s}$ 。对于480p和576p系统，同步上升和下降的时间为 $70 \pm 10\text{ns}$ ，水平同步在50%宽度点处的时间为 $2.33 \pm 0.05\mu\text{s}$ 。

到此为止，我们已经获得了带同步和消隐信息的数字R'G'B'数据了，如图5-3和表5-2所示。图5-3括号中的数字表示的是具有满量程输出值为1.305V的10位DAC的数据值。数字R'G'B'数据驱动三个10位DAC来生成模拟R'G'B'视频数据。71

因为DAC的采样保持动作会引入 $(\sin x)/x$ 特性，为了对此进行补偿，视频数据可以经过一个 $[(\sin x)/x]^{-1}$ 滤波器进行数字滤波。另外，作为替代方法，由于在每个DAC之后，通常会提供一个模拟低通滤波器，因此矫正过程也可以在模拟滤波器中进行。

2. 模拟R'G'B'颜色数字化

假定10位A/D转换器（ADC）的输出范围为0~1.035V（为了与第9章介绍的NTSC/PAL编码器的视频DAC匹配），10位R'G'B'到YCbCr的转换公式为：

$$Y = 0.506 (R' - 282) + 0.992 (G' - 282) + 0.193 (B' - 282) + 64$$

$$Cb = -0.291 (R' - 282) - 0.573 (G' - 282) + 0.864 (B' - 282) + 512$$

$$Cr = 0.864 (R' - 282) - 0.724 (G' - 282) - 0.140 (B' - 282) + 512$$

R'G'B'具有标称的10位数，表示范围为282~800，这是为了与第9章介绍的NTSC/PAL解码器使用的有效视频电平相匹配。表5-2和图5-3给出了白色、黑色、消隐和（可选）同步信号电平的10位R'G'B'值。

5.3.2 0 IRE的消隐基底电平

如图5-4所示，标称有效视频信号幅度为700V，没有消隐基底电平。可以仅在绿色通道（消费类市场）或在所有三个颜色通道（专业视频市场）提供 $300 \pm 6\text{mV}$ 的复合同步信号。可以提供直到 $\pm 1\text{V}$ 的DC偏移信号。

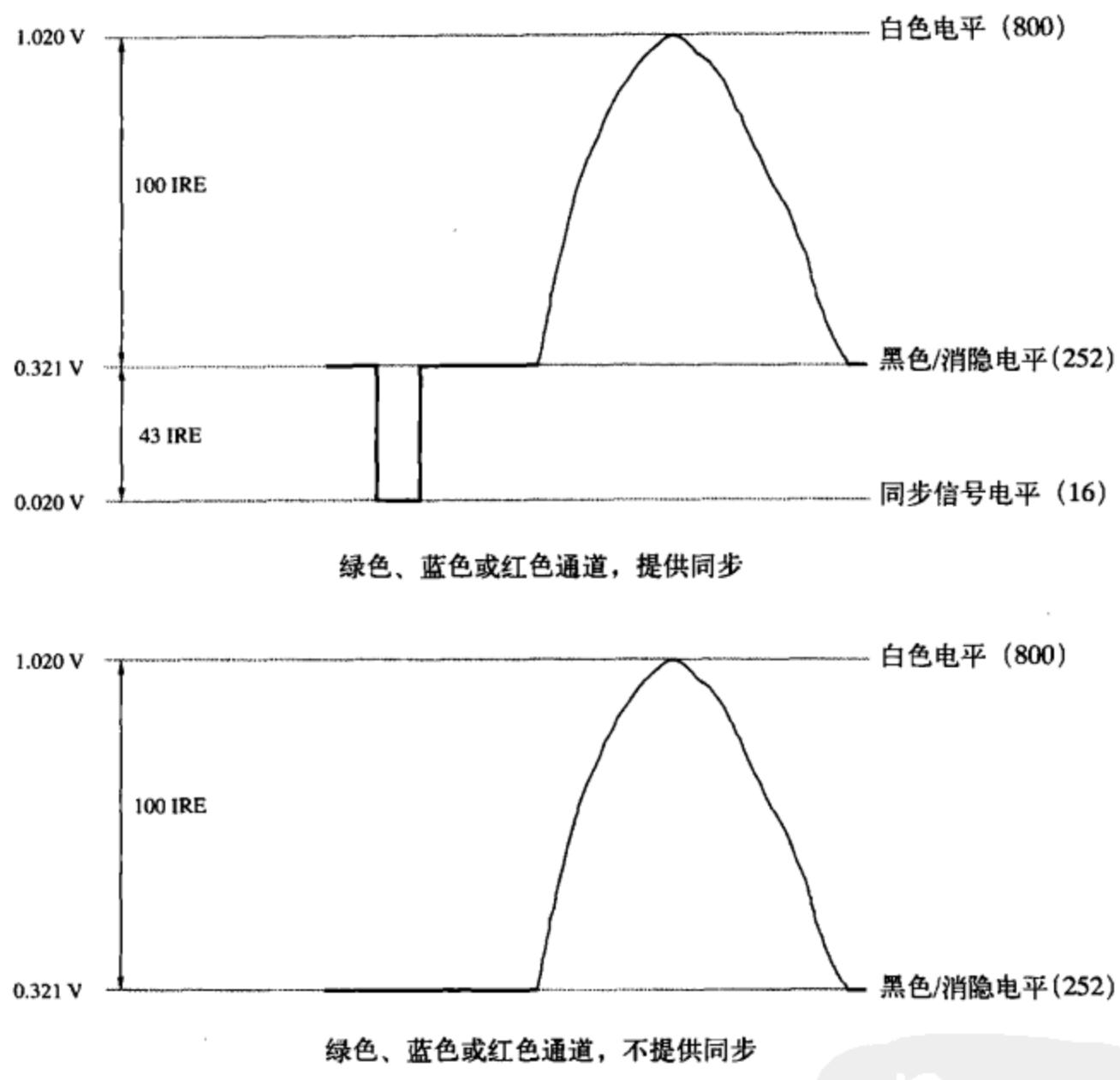


图5-4 SDTV模拟RGB电平，0 IRE的消隐电平

1. 模拟R'G'B'数据生成

假定10位的D/A转换器（DAC）具有输出范围为0~1.305V（与第9章介绍的NTSC/PAL编码器使用的视频DAC相匹配），由10位的YCbCr到R'G'B'的转换公式为：

$$R' = 0.625 (Y - 64) + 0.857 (Cr - 512)$$

$$G' = 0.625 (Y - 64) - 0.437 (Cr - 512) - 0.210 (Cb - 512)$$

$$B' = 0.625 (Y - 64) + 1.084 (Cb - 512)$$

R'G'B'的标称10位颜色表示范围为0~548，这是为了与第9章介绍的NTSC/PAL编码器使用的有效视频电平相匹配。注意，在此应该支持负的R'G'B'值。

R'G'B'数据的处理与使用7.5 IRE消隐电平的情况一样。然而，在有效视频期内，没有增加消

隐电平，另外，同步值范围是16~252，而不是16~240。

到此为止，我们已经获得了带同步和消隐信息的数字R'G'B'数据了，如图5-4和表5-2所示。图5-4括号中的数字表示的是具有满量程输出值为1.305V的10位DAC的数据值。数字R'G'B'数据驱动三个10位DAC来生成模拟R'G'B'视频信号。

2. 模拟R'G'B'数字化

假定10位A/D转换器（ADC）的输出范围为0~1.035V（为了与第9章介绍的NTSC/PAL编码器的视频DAC匹配），10位R'G'B'到YCbCr的转换公式为：

$$Y = 0.478 (R' - 252) + 0.938 (G' - 252) + 0.182 (B' - 252) + 64$$

$$Cb = -0.275 (R' - 252) - 0.542 (G' - 252) + 0.817 (B' - 252) + 512$$

$$Cr = 0.817 (R' - 252) - 0.685 (G' - 252) - 0.132 (B' - 252) + 512$$

R'G'B'具有标称的10位数，表示范围为252~800，这是为了与第9章介绍的NTSC/PAL解码器使用的有效视频电平相匹配。表5-2和图5-4给出了白色、黑色、消隐和（可选）同步信号电平的10位R'G'B'值。

5.4 HDTV RGB接口

有一些HDTV消费类视频设备支持模拟R'G'B'视频接口。HDTV RGB接口使用的是三个独立的RCA梅花连接头（消费类市场），或BNC连接头（专业视频或PC机市场）。

水平和垂直视频时序取决于特定的视频标准，如第4章讨论的一样。在源端，连接器内视频信号的源阻抗应该为 $75\Omega \pm 5\%$ 。在接收端，连接器内的视频输入应该是AC耦合的，并且输入阻抗为 $75\Omega \pm 5\%$ 。三个信号相互之间必须在 $\pm 5\text{ns}$ 内达到一致。

同步信号可以作为独立的复合同步信号，或作为独立的水平和垂直同步信号。同步信号可能仅出现在绿色通道上，也可能出现在所有的三个颜色通道上。使用的gamma值为1/0.45。

如图5-5所示，标称的有效视频信号的幅值为700mV，没有提供消隐电平。 $\pm 300 \pm 6\text{mV}$ 三极性电平可能仅出现在绿色通道上（消费类市场），也可能出现在所有3个颜色通道上（专业视频市场）。可以提供直到 $\pm 1\text{V}$ 的DC偏移。

5.4.1 模拟R'G'B'数据生成

假定10位DAC的输出范围为0~1.305V（为了与第9章介绍的NTSC/PAL编码器使用的视频DAC相匹配），10位YCbCr到R'G'B'的转换公式为：

$$R' = 0.625 (Y - 64) + 0.963 (Cr - 512)$$

$$G' = 0.625 (Y - 64) - 0.287 (Cr - 512) - 0.114 (Cb - 512)$$

$$B' = 0.625 (Y - 64) + 1.136 (Cb - 512)$$

R'G'B'的标称10位颜色表示范围为0~548，这是为了与第9章介绍的NTSC/PAL编码器使用的有效视频电平相匹配。注意，在此应该支持R'G'B'的负值。

在加上消隐基底电平后，R'G'B'数据被具有升余弦分布的消隐信号压缩了，这种压缩是为了降低视频信号开始和结束的摆率。对于1080i和720p系统，消隐上升和下降的时间为 $54 \pm 20\text{ns}$ 。对于1080p系统，消隐上升和下降的时间为 $27 \pm 10\text{ns}$ 。

在消隐处理完成以后，复合同步信号可以加入到R'G'B'数据中。复合同步信号的值为16（同步低电平）、488（高电平同步）或252（没有同步）。应该对同步上升和下降时间进行处理以生成升余弦分布（在16与240之间），以减缓同步信号的摆率。对于1080i系统，同步上升和下降的时间为 $54 \pm 20\text{ns}$ ，水平同步在50%宽度点处的时间为 $593 \pm 40\text{ns}$ 。对于720p系统，同步上升和下降的时

间为 $54 \pm 20\text{ns}$ ，水平同步在50%宽度点处的时间为 $539 \pm 40\text{ns}$ 。对于1080p系统，同步上升和下降的时间为 $27 \pm 10\text{ns}$ ，水平同步高和低在50%宽度点处的时间为 $296 \pm 20\text{ns}$ 。

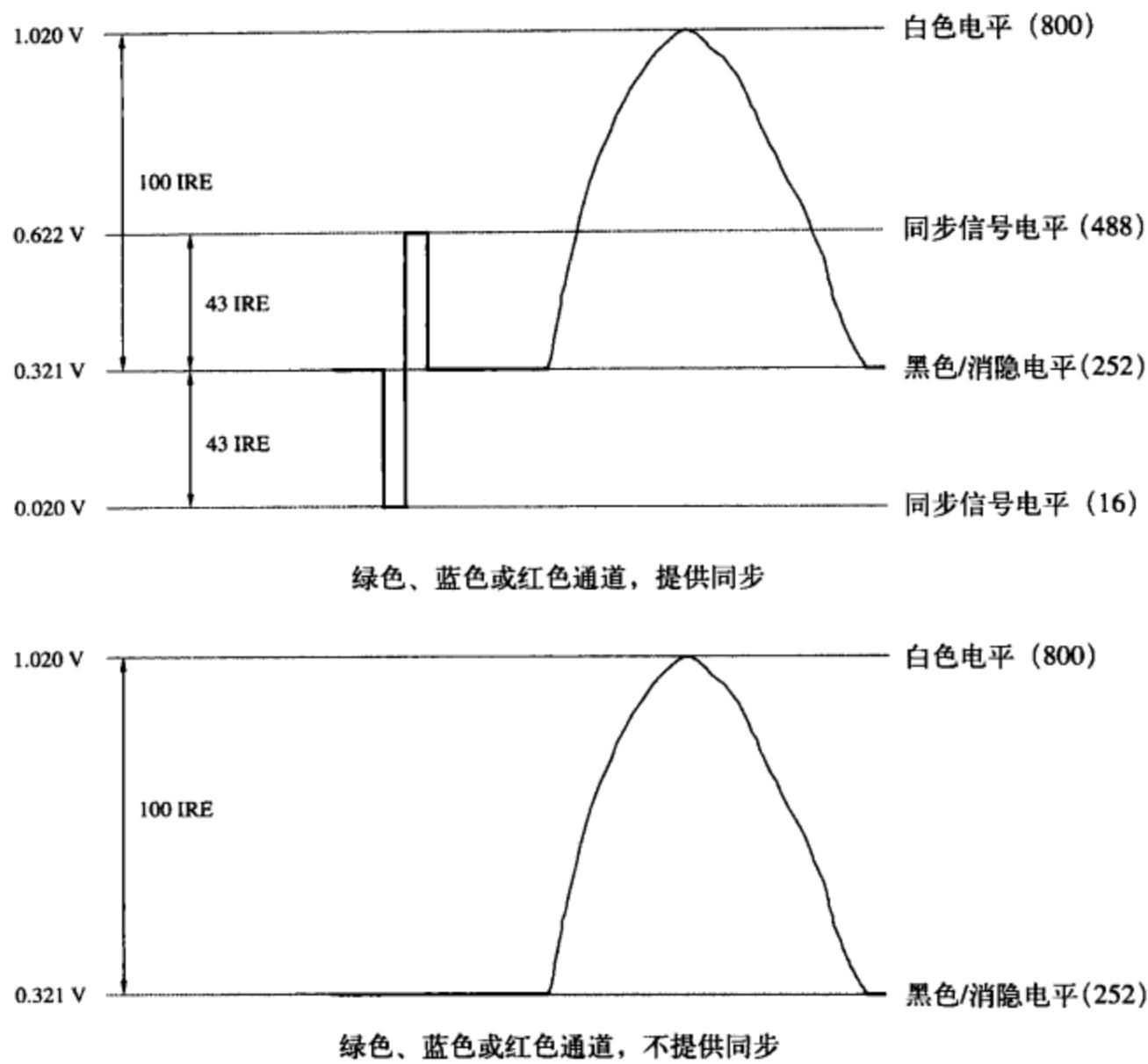


图5-5 HDTV模拟RGB电平，0 IRE的消隐电平

76

到此为止，我们已经获得了带同步和消隐信息的数字R'G'B'数据了，如图5-5和表5-3所示。图5-5括号中的数字表示的是具有满量程输出值为1.305V的10位DAC的数据值。数字R'G'B'数据驱动三个10位DAC来生成模拟R'G'B'视频数据。

5.4.2 模拟R'G'B'颜色数字化

假定10位的ADC具有的输入范围为0~1.305V（这是为了与第9章介绍的NTSC/PAL解码器所使用的视频ADC匹配），10位的R'G'B'转换为YCbCr的公式为：

$$Y = 0.341(R' - 252) + 1.143(G' - 252) + 0.115(B' - 252) + 64$$

$$Cb = -0.188(R' - 252) - 0.629(G' - 252) + 0.817(B' - 252) + 512$$

$$Cr = 0.817(R' - 252) - 0.743(G' - 252) - 0.074(B' - 252) + 512$$

R'G'B'具有标称的10位数，表示范围为252~800，这是为了与第9章介绍的NTSC/PAL解码器使用的有效视频电平相匹配。表5-3和图5-5展示了白色、黑色、消隐和（可选）同步信号电平的10位R'G'B'值。

5.4.3 约束图像

由于使用高清晰模拟接口的复制保护技术受到一定的限制，因此，有一些标准和DRM的实

现仅准许输出约束图像 (constrained image)。尽管视频采样数和视频时序的总数维持不变（例如， $1280 \times 720p$ 或 $1920 \times 1080i$ ），但约束图像的最大有效分辨率只为 $960 \times 540p$ 。

在这种情况下，通过一个授权的安全数字视频输出（如HDMI），完全分辨率的图像仍然是可以获得的。

5.5 SDTV YPbPr接口

一些SDTV消费类视频设备支持模拟YPbPr视频接口。NTSC和PALVBI数据可以在480i或576i的Y视频信号上提供，这在第8章讨论。SDTV YPbPr接口采用三个分离的RCA梅花连接头（消费类市场）或BNC连接头（专业视频市场）。

水平和垂直视频时序取决于视频标准，这已经在第4章讨论过了。对于源信号，在连接头处视频信号的源阻抗为 $75\Omega \pm 5\%$ 。对于接收设备，视频输入应该是AC耦合的，并具有 $75\Omega \pm 5\%$ 的输入阻抗。三个信号相互之间必须在 $\pm 5\text{ns}$ 以内达到一致。77

对于消费类产品，仅在Y通道上提供复合同步。对于专业视频应用，在三个通道上都提供复合同步信号。指定的校准参数gamma为1/0.45。

如图5-6和图5-7所示，Y信号由700mV的有效视频（没有消隐基底电平）组成。Pb和Pr峰到峰的幅度为700mV。300mV的复合同步信号在Y通道（消费市场）和所有三个通道（专业视频市场）提供。可以提供直到 $\pm 1\text{V}$ 的DC偏移。表5-4和表5-5给出了100%和75%的YPbPr彩条值。

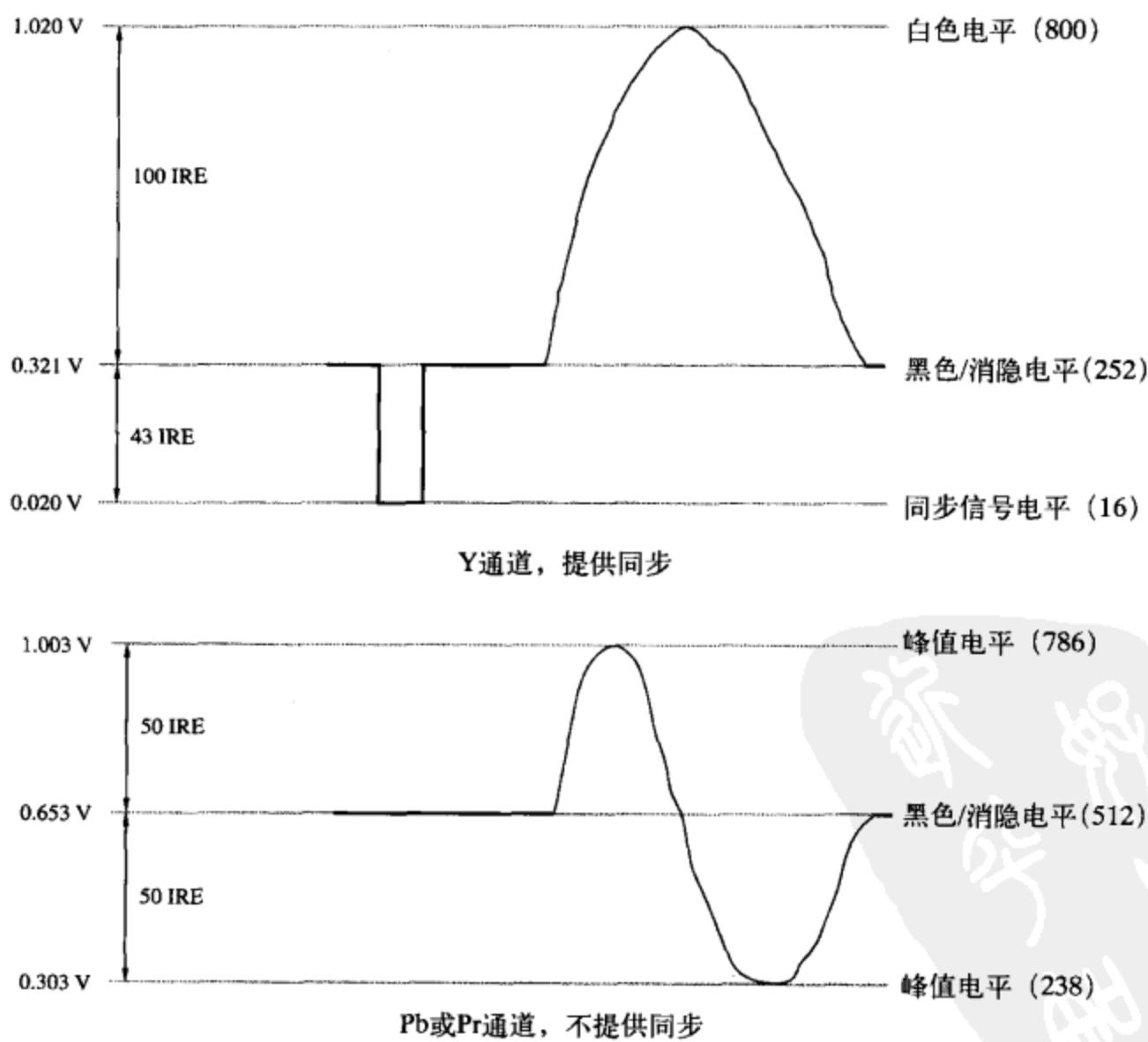


图5-6 EIA-770.2 SDTV模拟YPbPr电平，同步信号在Y上

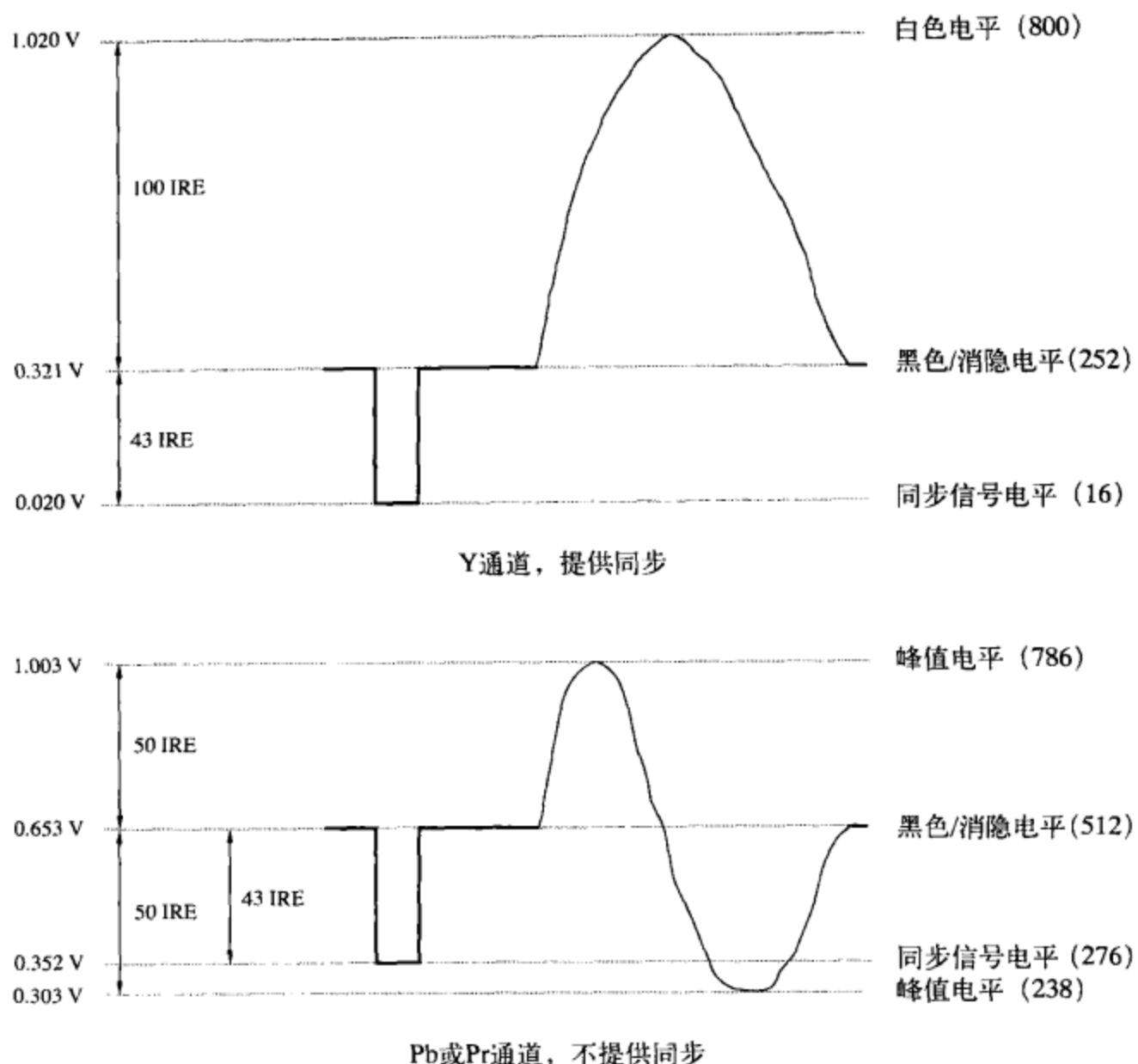


图5-7 SDTV模拟YPbPr电平, 同步信号在YPbPr上

79

表5-4 EIA-770.2 SDTV YPbPr和YCbCr 100%彩条。YPbPr相对消隐电平的值

		白色	黄色	青色	绿色	洋红色	红色	蓝色	黑色
Y	IRE	100	88.6	70.1	58.7	41.3	29.9	11.4	0
	mV	700	620	491	411	289	209	80	0
Pb	IRE	0	-50	16.8	-33.1	33.1	-16.8	50	0
	mV	0	-350	118	-232	232	-118	350	0
Pr	IRE	0	8.1	-50	-41.8	41.8	50	-8.1	0
	mV	0	57	-350	-293	293	350	-57	0
Y	64~940	940	840	678	578	426	326	164	64
Cb	64~960	512	64	663	215	809	361	960	512
Cr	64~960	512	585	64	137	887	960	439	512

表5-5 EIA-770.2 SDTV YPbPr和YCbCr 75%彩条。YPbPr相对消隐电平的值

		白色	黄色	青色	绿色	洋红色	红色	蓝色	黑色
Y	IRE	75	66.5	52.6	44	31	22.4	8.6	0
	mV	525	465	368	308	217	157	60	0
Pb	IRE	0	-37.5	12.6	-24.9	24.9	-12.6	37.5	0
	mV	0	-262	88	-174	174	-88	262	0

(续)

		白色	黄色	青色	绿色	洋红色	红色	蓝色	黑色
Pr mV	IRE	0	6.1	-37.5	-31.4	31.4	37.5	-6.1	0
	0	43	-262	-220	220	262	-43	0	
Y	64~940	721	646	525	450	335	260	139	64
Cb	64~960	512	176	625	289	735	399	848	512
Cr	64~960	512	567	176	231	793	848	457	512

80

5.5.1 模拟YPbPr数据生成

假定10位DAC的输出范围为0~1.305V（为了与第9章介绍的NTSC/PAL编码器使用的视频DAC相匹配），10位YCbCr到YPbPr的转换公式为：

$$Y = [(800 - 252) / (940 - 64)] (Y - 64)$$

$$Pb = [(800 - 252) / (960 - 64)] (Cb - 512)$$

$$Pr = [(800 - 252) / (960 - 64)] (Cr - 512)$$

Y具有10位，其标称范围为0~548，这是为了与第9章要介绍的NTSC/PAL编码器使用有效视频电平相匹配。Pb和Pr有10位，标称范围为0~±274。注意，在此应该支持Y的负值。

具有升余弦分布的消隐信号压缩了YPbPr数据，这种压缩是为了减缓视频信号开始和结束的摆率。对于480i和576i系统，消隐上升和下降的时间为140±20ns。对于480p和576p系统，消隐上升和下降的时间为70±10ns。

在消隐处理完成以后，在Y数据中加入了复合同步信号。复合同步信号的值为16（提供同步）或252（没有同步）。应该对同步上升和下降时间进行处理以生成升余弦分布（在276与512之间），来减缓同步信号的摆率。

在消隐处理完成以后，也可以将复合同步信息加入PbPr数据。复合同步信号的值为16（提供同步）或252（没有同步）。应该对同步上升和下降时间进行处理以生成升余弦分布（在276与512之间），来减缓同步信号的摆率。

对于480i和576i系统，同步升降时间为140±20ns，水平同步在50%宽度点处的时间为4.7±0.1μs。对于576p系统，同步上升和下降的时间为70±10ns，水平同步在50%宽度点处的时间为2.33±0.05μs。

到此为止，我们已经获得了带同步和消隐信息的数字YPbPr数据了，如图5-6、图5-7和表5-6所示。图5-6和图5-7括号中的数字表示的是具有满量程输出值为1.305V的10位DAC的数据值。数字YPbPr数据驱动三个10位DAC来生成模拟YPbPr视频数据。

表5-6 SDTV 10位YPbPr值

视频电平	Y	PbPr
白色	800	512
黑色	252	512
消隐	252	512
同步	16	276

81

5.5.2 模拟YPbPr数字化

假定10位ADC的输入范围为0~1.305V（为了与第9章将要介绍的NTSC/PAL解码器使用的视频ADC匹配），10位YPbPr到YCbCr的转换公式为：

$$\begin{aligned} Y &= 1.5985 (Y - 252) + 64 \\ Cb &= 1.635 (Pb - 512) + 512 \\ Cr &= 1.635 (Pr - 512) + 512 \end{aligned}$$

10位Y值的标称表示范围为252~800，这是为了与第9章将要介绍的NTSC/PAL解码器使用的有效视频电平相匹配。表5-6、图5-6和图5-7展示了白色、黑色、消隐和（可选）同步信号电平的10位YPbPr值。

5.5.3 480p系统的VBI数据

1. CGMS A类保护

CEA-805、IEC 61880-2和EIA-J CPR-1204-1定义了CGMS（复制代次管理系统）数据的格式，该定义位于480p系统的第41行。其波形如图5-8所示。

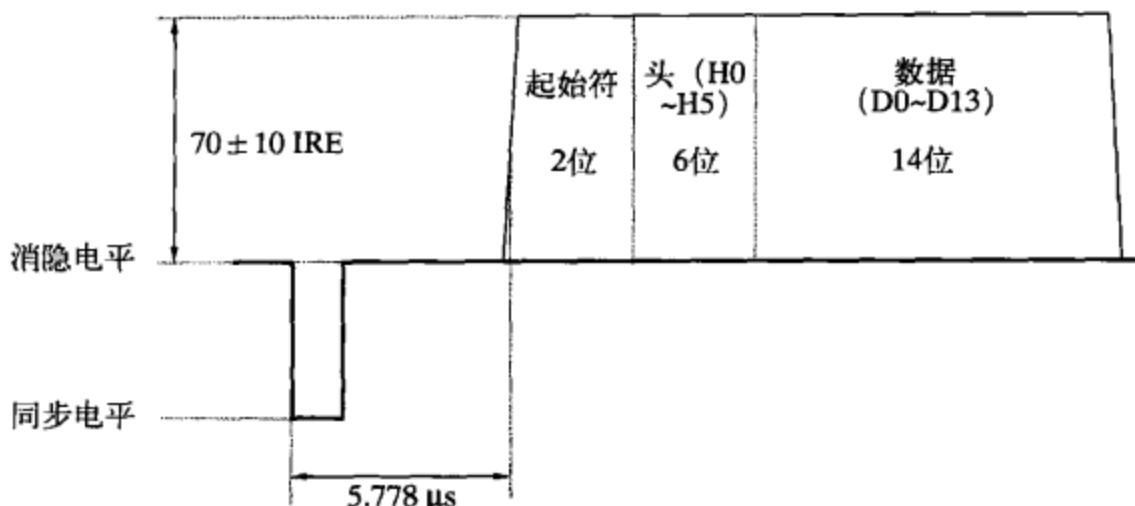


图5-8 CEA-805、IEC 61880-2和EIA-J CPR-1204-1线41时序

使用的是27MHz（59.94Hz帧率）或27.027MHz（60Hz的帧率）的采样时钟频率。每个数据为26个时钟周期，或963±30ns，最大的上升和下降时间跨度为50ns。逻辑1的幅度为70±10 IRE；逻辑0的幅度为0±5 IRE。

在 0_H 后，2位的起始符开始于156时钟周期或5.778μs，起始符为10。

6位的头紧随起始符，头定义了载荷数据的属性，如表5-7所示。在任何数据服务的最后一包之后紧接着信息结束符，数据服务需要占据2个以上的数据包。结束符是连续的数据位，其值皆为0。ECCI为数据服务，需要占据2个以上的数据包，因此需要使用消息结束符。

表5-7 CEA-805、IEC 61880-2和EIA-J CPR-1204-1线41头格式。如果标示为A类包，H2~H5数据位必须为“0000”

H0	H1	宽 高 比		图像显示格式
0	0	4 : 3		普通
0	1	4 : 3		Letterbox
1	0	16 : 9		普通
1	1	CEA-805 A类包		
H2	H3	H4	H5	服 务 名
0	0	0	0	CGMS（见表5-8）
0	0	0	1	扩展复制控制信息（ECCI）
0	0	1	0	保留
1	1	1	0	
1	1	1	1	信息结束符（如果没有版权信息，为默认设置）

CGMS数据占14位载荷，具体见表5-8。14位ECCI数据载荷当前被保留，由全1组成。

表5-8 CEA-805、IEC 61880-2和EIA-J CPR-1204-1线41CGMS服务格式

D0	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	D8	D9	D10	D11	D12	D13
G0	G1	G2	G3	ASB	0	0	0						CRC = $x^6 + x + 1$

G0~G1：CGMS定义

00 准许复制

01 不能再复制（已经制作了一份副本）

10 准许复制一次

11 不准复制

G2~G3：模拟保护服务（仅当G0~G1为“01”或“10”时有效）

00 没有模拟保护服务

01 PSP开，脱落的颜色

10 PSP开，2线颜色脱落

11 PSP开，4线颜色脱落

ASB：模拟源位

0 没有模拟预录制媒体

1 模拟预录制媒体

2. CGMS B类保护

CEA-805在408p系统的40线定义了CGMS（复制代次管理系统）数据的格式。其波形见图5-9。

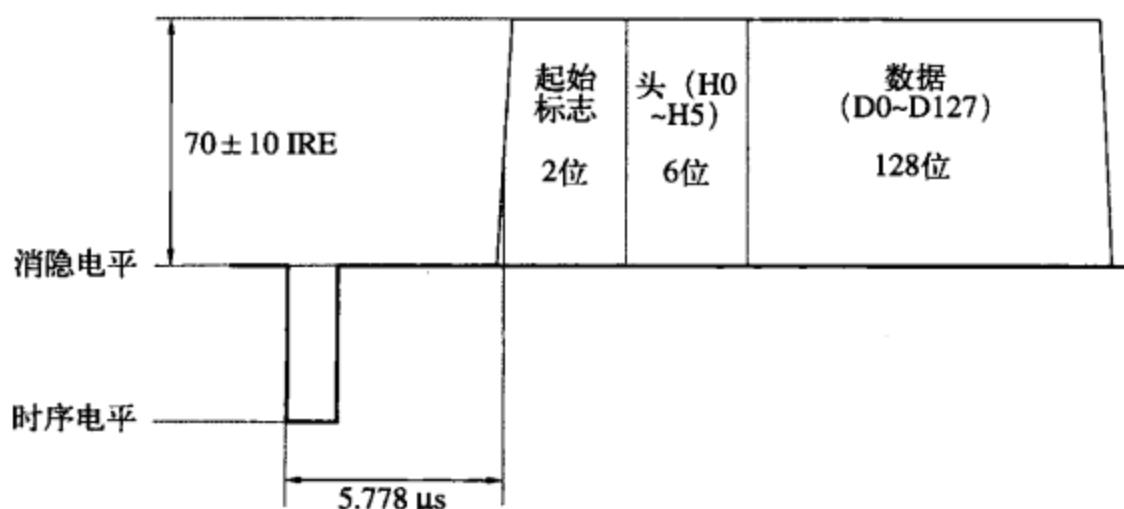


图5-9 CEA-805线40时序

采样时钟频率为27MHz（59.94Hz帧率）或27.027MHz（60Hz帧率）。每个数据位占4个时钟周期，或 $148 \pm 18.5\text{ns}$ ，最大上升和下降时间跨度为37ns。逻辑“1”的幅度为 $70 \pm 10\text{IRE}$ ，逻辑“0”的幅度为 $0 \pm 5\text{IRE}$ 。

在 0_H 后，2位的起始符开始于156时钟周期或 $5.778\mu\text{s}$ ，起始符为“10”。

6位的头紧随起始符，头定义了载荷数据的属性，如表5-9所示。

表5-9 CEA-805 线40的头格式

H0	H1	H2	H3	H4	H5	服务名
0	0	0	0	0	0	保留给以后使用
1	1	0	0	0	1	
1	1	0	0	1	0	B类包
1	1	0	0	1	0	保留给以后使用
1	1	1	1	1	1	

16字节的载荷如表5-10所示。

表5-10 CEA-805 线40载荷格式

D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0
版本号 = 0000 0001							
载荷包长度 = 0001 0000							
AR1	AR0	ASB	A0	1	B0	S1	S0
C3	C2	C1	C0	R3	R2	R1	R0
RCI	1	1	1	G3	G2	G1	G0
0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0
顶部条结束的线编码 (低8位)							
顶部条结束的线编码 (高8位)							
底部条开始的线数编码 (低8位)							
底部条开始的线数 (高8位)							
左部条结束的像素数 (低8位)							
左部条结束的像素数 (高8位)							
右部条结束的像素数 (低8位)							
右部条结束的像素数 (高8位)							
1	1					$CRC = x^6 + x + 1$	
AR1~AR0: 显示器宽高比的设计值				C3~C0: 比色法			
00	4:3 普通			0000	无数据		
01	4:3 Letterbox			0001	BT.601		
10	16:9 普通			0010	BT.709		
11	保留			0011	保留		
						:	:
ASB: 模拟源位				R0~R3: 有效格式描述 (AFD)			
A0: 有效格式描述数据 (AFD) 标志				有效格式数据 (参考表13-56)			
0	没有AFD数据 (R0~R3)						
1	AFD数据 (R0~R3) 有效						
B0: 条数据 (用于Letterbox)				RCI: 重新发布控制信息 (RCI) 标志			
0	没有条数据 (bar data)						
1	提供条数据						
S1~S0: 扫描数据 (过扫描和欠扫描数目不显示)				G0~G1: CGMS定义 (参考表5-8)			
00	没有数据						
01	过扫描 (电视)						
10	欠扫描 (计算机)						
11	保留						
85				G2~G3: 模拟保护服务 (参考表5-8)			
86							

5.5.4 576p系统的VBI数据

1. CGMS

IEC 62375为576p系统在线43上定义了CGMS（复制代次管理系统）和宽屏信号（WSS）数据格式，其波形见图5-10。该标准准许WSS增强的16:9 TV以正确的宽高比显示节目。

2. 数据时序

CGMS和WSS数据通常在43线上，如图5-10所示。但是，由于视频编辑的缘故，数据可以位于43~47之间的任何线上。

时钟频率为10MHz ($\pm 1\text{kHz}$)。信号波应该是正弦方波脉冲，半幅度持续的时间为 $100 \pm 10\text{ns}$ 。信号幅度为 $500\text{mV} \pm 5\%$ 。

NRZ数据位是通过双相位编码调制器进行处理的，这使得在10MHz时一个数据周期等于10个数据位。

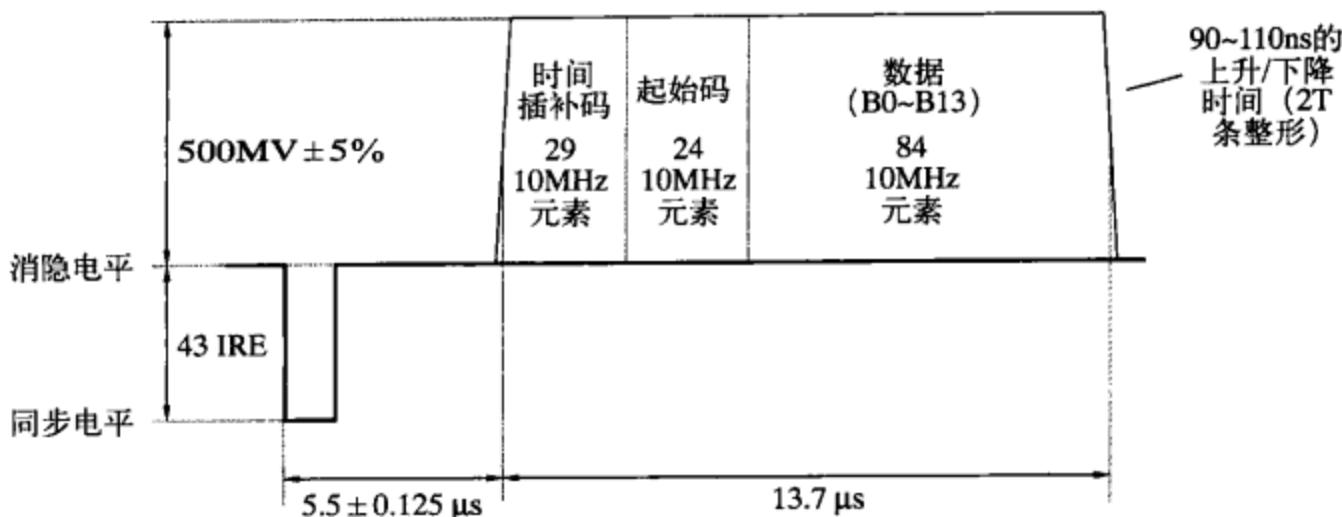


图5-10 IEC 62375线43 CGMS时序

3. 数据内容

WSS由时间插补码、起始码和14位的数据组成，见表5-11。

87

表5-11 IEC 62375 43线上的WSS信息

时间插补码	10MHz的29个元素	1 1111 0001 1100 0111 0001 1100 0111 (0x1F1C71C7)
起始码	10MHz的24个元素	0001 1110 0011 1100 0001 1111 (0x1E3C1F)
	10MHz的24个元素	
组1数据 (宽高比)	“0” = 000 111 “1” = 111 000	b0、b1、b2、b3
组2数据 (增强服务)	10MHz的24个元素 “0” = 000 111 “1” = 111 000	b4、b5、b6、b7 (由于b4、b5、b6和b7是保留的，故都等于0)
组3数据 (字幕)	10MHz的18个元素 “0” = 000 111 “1” = 111 000	b8、b9、b10 (由于是保留的，故b8 = “0”)
组4数据 (保留)	10MHz的18个元素 “0” = 000 111 “1” = 111 000	b11、b12、b13

□ 时间插补码

时间插补 (run-in) 码由29个10MHz的特定序列的元素组成，见表5-11。

□ 起始码

起始码 (start code) 由24个10MHz的特定序列的元素组成，见表5-11。

□ 组1数据

组1数据 (group 1 data) 由4个数据位组成，其内容指定了宽高比。每个数据位生成10MHz的6个原色。b0为LSB (最低有效位)。

表5-11列出了数据位的指派和使用。表5-12中列出了特定宽高比 ($a=1.33, 1.56, 1.78$) 的有效线数目。

表5-12 IEC 62375 第1组 (宽高比) 数据位的指派和使用

b0、b1、b2、b3	宽高比标注	格 式	在4 : 3显示器上的位置	有效线	最低要求
0001	4 : 3	全屏格式	-	576	情形1

(续)

b0、b1、b2、b3	宽高比标注	格 式	在4:3显示器上的位置	有效线	最低要求
1000	14:9	Letterbox模式	居中	504	情形2
0100	14:9	Letterbox模式	靠近顶部	504	情形2
1101	16:9	Letterbox模式	居中	430	情形3
0010	16:9	Letterbox模式	靠近顶部	430	情形3
1011	>16:9	Letterbox模式	居中	-	情形4
0111	14:9	全屏格式	居中	576	-
1110	16:9	全屏格式(变形)	-	576	-

宽高比标注表示的是可能的宽高比(a)范围和有效线数目:

4:3	$a \leq 1.46$	527~576
14:9	$1.46 < a \leq 1.66$	463~526
16:9	$1.66 < a \leq 1.90$	405~462
>16:9	$a > 1.90$	<405

为了准许自动选择模式，16:9的画面应该支持下面的最低要求。

情形1：4:3宽高比的画面应该定位于显示器的正中央，让黑色带位于显示器的左边和右边。

情形2：14:9宽高比的画面应该定位于显示器的正中央，让黑色带位于显示器的左边和右边。

替代方法是，图像可以以全屏方式进行显示，准许小的（典型情况下为8%）水平几何误差。

情形3：16:9宽高比的画面应该定位于显示器的正中央，让黑色带位于显示器的左边和右边。

情形4：大于16:9宽高比的画面应该以情形1进行显示，或通过在垂直方向上放大以显示器的高度来显示。

□ 组3数据

组3数据(group 3 data)由3个数据位组成，这些位规定了字幕属性。每个数据位以10MHz的频率生成了6个元素。数据位b8为LSB(最低有效位)。

b9、b10：开放字幕。00：没有。01：在有效画面之外。10：在有效画面内。11：保留。

□ 组4数据

组4数据(group 4 data)由3个数据位组成，它们规定了环绕声和复制保护。每个数据位以10MHz的频率生成6个元素。数据位b11为LSB(最低有效位)。

b11：环绕声。0：没有。1：有。

b12：版权。0：没有版权声明或不知道。1：版权声明。

b13：复制保护。0：复制不受限制。1：复制受限。

5.6 HDTV YPbPr接口

大多数HDTV消费类视频设备支持一个模拟YPbPr视频接口。该接口使用的是三个独立的RCA梅花连接头(消费类市场)或BNC连接头(专业视频市场)。

水平和垂直视频时序取决于视频标准，如第4章讨论的一样。对于源信号，视频信号在连接头处应该具有源阻抗 $75\Omega \pm 5\%$ 。对于接收设备，视频输入应该是AC耦合的，具有的输入阻抗为 $75\Omega \pm 5\%$ 。三个信号之间的协同误差要在5ns内。

对于消费类产品，仅在Y通道提供复合同步信号。对于专业视频应用，同时在三个通道提供复合同步。指定的校正gamma值为1/0.45。

如图5-11和图5-12所示，Y信号由700mV的有效视频（没有消隐基底电平）组成。Pb和Pr峰到峰的幅度为700mV。 $\pm 300 \pm 6$ mV的复合同步信号仅在Y通道提供（消费市场）或在所有三个通道提供（专业视频市场）。可以提供直到 ± 1 V的DC偏移。100%和75%YPbPr彩条的值见表5-13和表5-14。

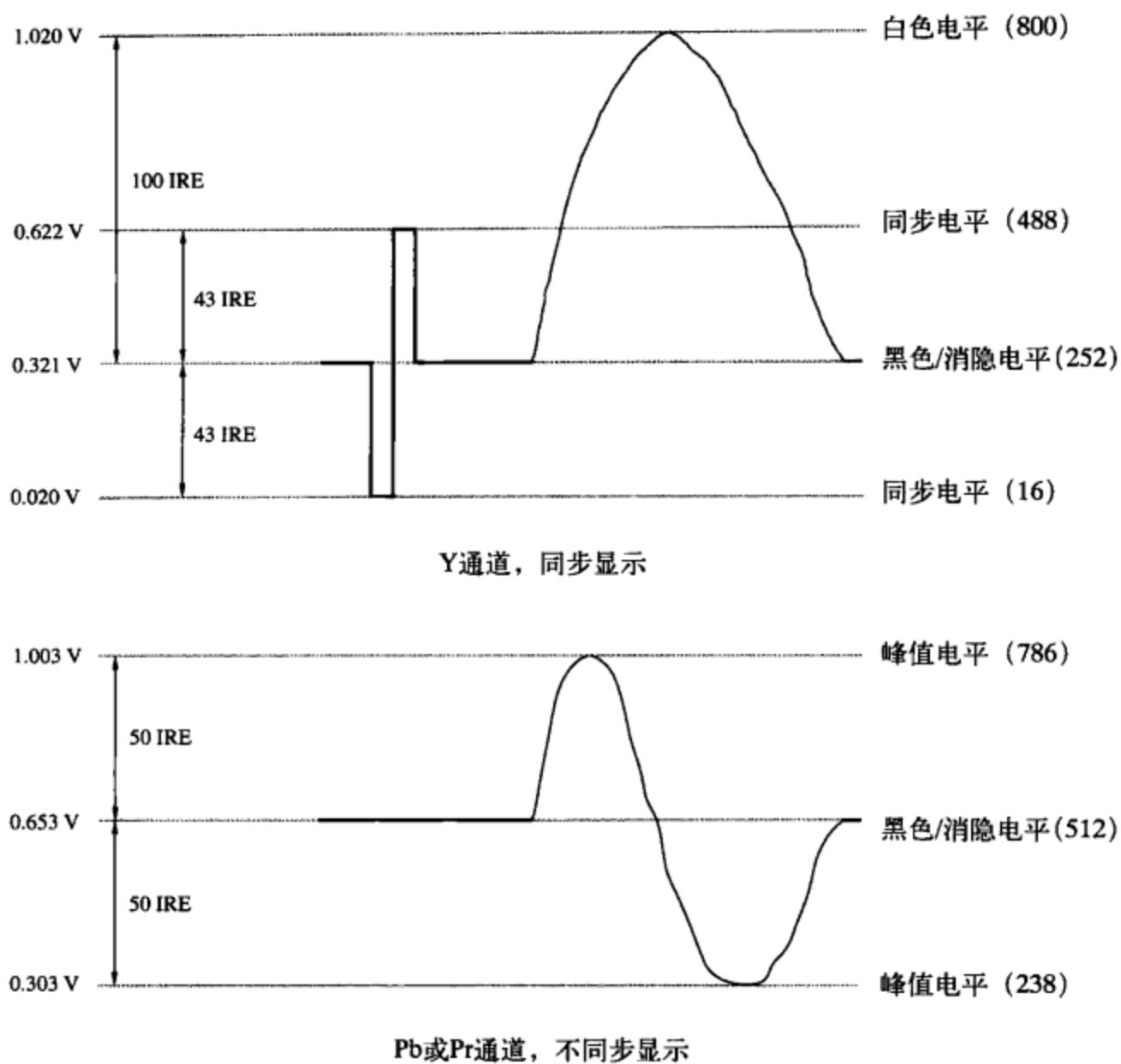


图5-11 EIA-770.3 HDTV模拟YPbPr电平，同步信号在Y通道

表5-13 EIA-770.3 HDTV YPbPr和YCbCr 100%彩条。YPbPr的值是相对消隐电平的

		白色	黄色	青色	绿色	洋红色	红色	蓝色	黑色
Y	IRE	100	92.8	78.7	71.5	28.5	21.3	7.2	0
	mV	700	650	551	501	200	149	50	0
Pb	IRE	0	-50	11.4	-38.5	38.5	-11.4	50	0
	mV	0	-350	80	-270	270	-80	350	0
Pr	IRE	0	4.6	-50	-45.4	45.4	50	-4.6	0
	mV	0	32	-350	-318	318	350	-32	0
Y	64~940	940	877	753	690	314	251	127	64
Cb	64~960	512	64	614	167	857	410	960	512
Cr	64~960	512	553	64	106	918	960	471	512

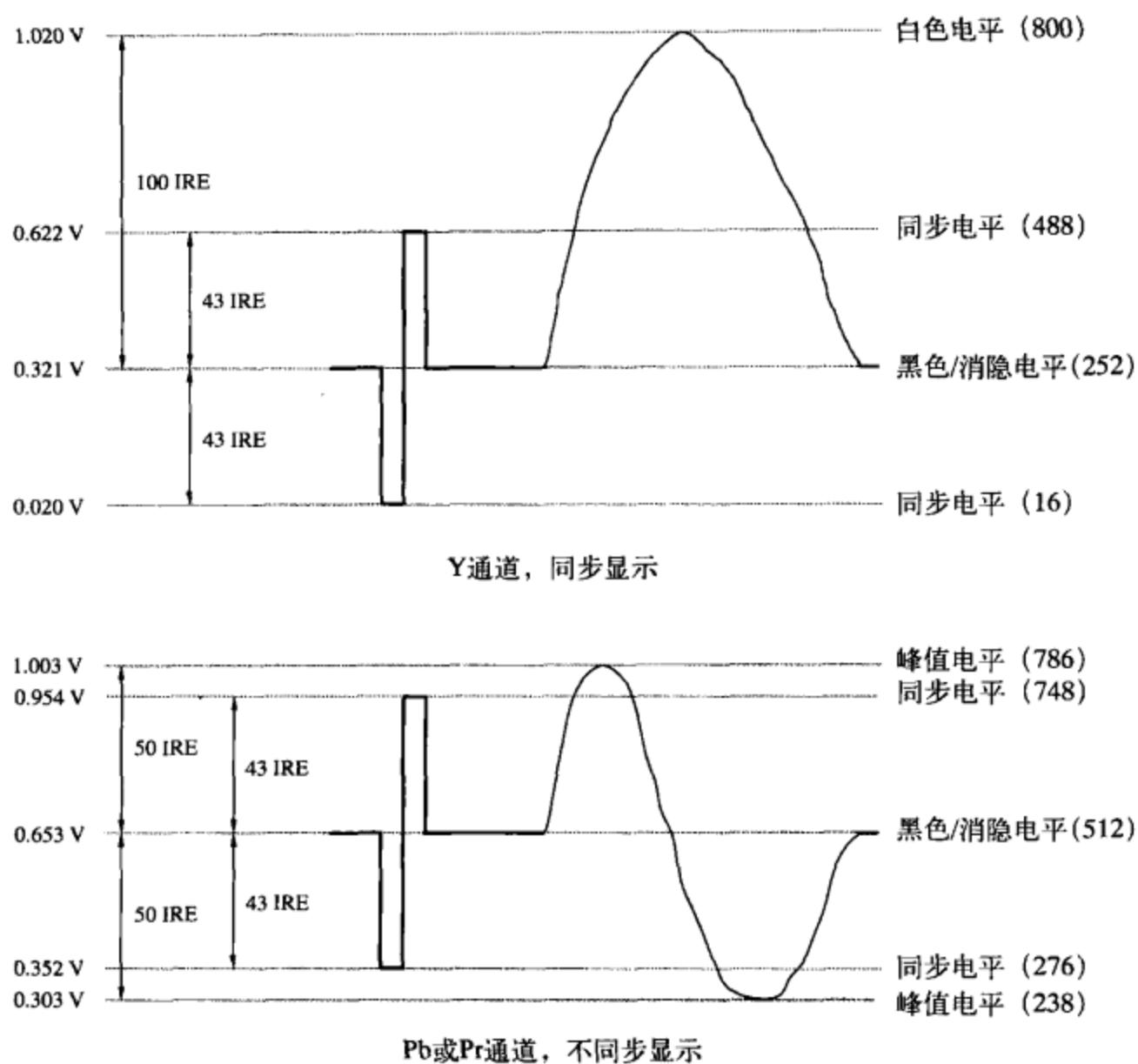


图5-12 SMPTE 274M和296M HDTV模拟YPbPr电平，在PbPr上同步

表5-14 EIA-770.3 HDTV YPbPr和YCbCr 75%彩条。YPbPr的值是相对消隐电平的

		白色	黄色	青色	绿色	洋红色	红色	蓝色	黑色
Y	IRE	75	69.6	59	53.7	21.3	16	5.4	0
	mV	525	487	413	376	149	112	38	0
Pb	IRE	0	-37.5	8.6	-28.9	28.9	-8.6	37.5	0
	mV	0	-263	60	-202	202	-60	263	0
Pr	IRE	0	3.5	-37.5	-34	34	37.5	-3.5	0
	mV	0	24	-263	-238	238	263	-24	0
Y	64~940	721	674	581	534	251	204	111	64
Cb	64~960	512	176	589	253	771	435	848	512
Cr	64~960	512	543	176	207	817	848	481	512

5.6.1 模拟YPbPr数据生成

假定10位DAC的输出范围为0~1.305V（这是为了与第9章要介绍的NTSC/PAL使用的视频DAC相匹配），10YCbCr到YPbPr的转换公式为：

$$Y = [(800 - 252) / (940 - 64)] (Y - 64)$$

$$Pb = [(800 - 252) / (960 - 64)] (Cb - 512)$$

$$Pr = \lfloor (800 - 252) / (960 - 64) \rfloor (Cr - 512)$$

Y值具有10位，其标称表示范围为0~548，这是为了与第9章要介绍的NTSC/PAL编码器使用的有效视频电平相匹配。Pb和Pr具有10位数据，标称表示范围为0~±274。注意，在此，应该支持Y为负值。

消隐信号压缩了YPbPr数据，消隐信号具有升余弦分布，这是为了减缓视频信号开始与结束的摆率。对于1080i和720p系统，消隐上升和下降时间为 $54 \pm 20\text{ns}$ 。对于1080p系统，消隐上升和下降的时间为 $27 \pm 10\text{ns}$ 。

复合同步信息在消隐处理完成以后可以加到Y数据上。指定同步信号的值为16（同步低）、488（同步高）或252（没有同步）。应该对同步上升和下降的时间进行处理，以生成升余弦分布来减缓同步信号的摆率。

复合同步信息在消隐处理完成以后可以加到PbPr数据上。指定同步信号的值为276（同步低）、748（同步高）或512（没有同步）。应该对同步上升和下降的时间进行处理，以生成升余弦分布来减缓同步信号的摆率。

对于1080i系统，同步上升和下降时间为 $54 \pm 20\text{ns}$ ，水平同步在50%幅度的高低宽度为 $539 \pm 40\text{ns}$ 。对于1080p系统，同步上升和下降时间为 $27 \pm 10\text{ns}$ ，水平同步在50%幅度的高低宽度为 $296 \pm 20\text{ns}$ 。

至此，我们已经具有了带同步和消隐信息的数字YPbPr，如图5-11、图5-12以及表5-15所示。图5-11和图5-12中括号中的数字表示的是具有满量程输出值（full-scale output）为1.305V的10位DAC的数据值。数字YPbPr数据驱动三个10位DAC生成模拟YPbPr视频信号。

表5-15 DHTV 10位YPbPr值

视频电平	Y	PbPr
白色	800	512
同步高	488	748
黑色	252	512
消隐	252	512
同步低	16	276

5.6.2 模拟YPbPr数字化

假定10位ADC的输出范围为0~1.305V（为了与第9章要介绍的NTSC/PAL使用的视频ADC相匹配），10位YPbPr到YCbCr的转换公式为：

$$Y = 1.5985 (Y - 252) + 64$$

$$Cb = 1.635 (Pb - 512) + 512$$

$$Cr = 1.635 (Pr - 512) + 512$$

Y具有10个数据位，标称表示范围为252~800，这是为了与第9章要介绍的NTSC/PAL解码器使用的有效视频电平相匹配。表5-15、图5-11和图5-12表示的是白色、黑色、消隐和（可选）同步电平的10位YPbPr值。

5.6.3 720p系统的VBI数据

1. CGMS A类

对于720p系统，CEA-805和EIA-J CPR-1204-2在线24上定义了CGMS（复制代次管理系统）数据格式。其波形见图5-13。

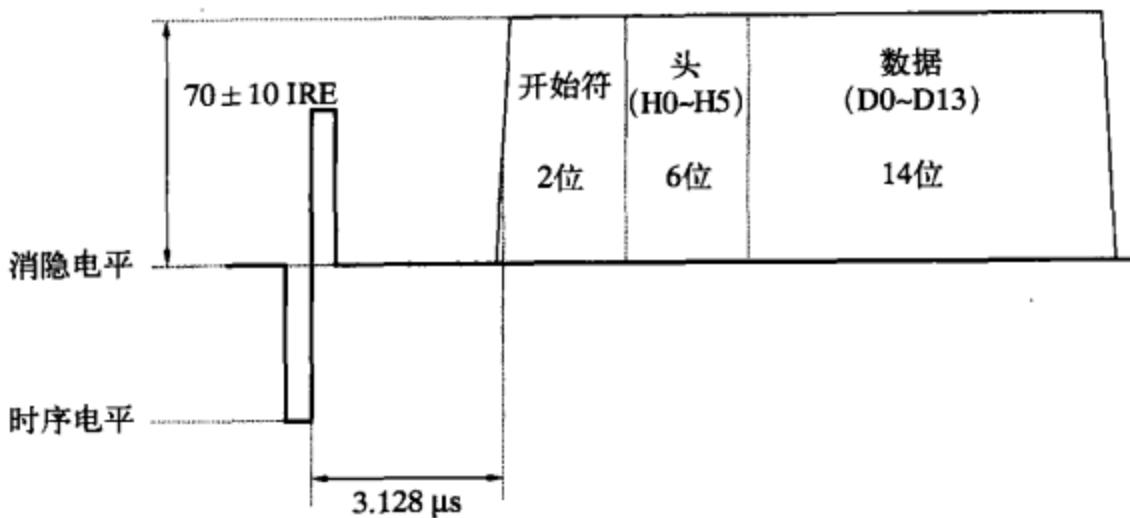


图5-13 CEA-805和EIA-J CPR-1204-2线24时序

采样时钟频率使用的是74.176MHz (59.94Hz帧率) 或74.25MHz (60Hz帧率)。每个数据位为58个时钟周期 ($782 \pm 30\text{ns}$)，宽为最大上升和下降时间50ns。逻辑“1”的幅度为 $70 \pm 10\text{ IRE}$ ；逻辑“0”的幅度为 $0 \pm 5\text{ IRE}$ 。

在 0_H 后，2位起始符开始后占了232周期，或大约 $3.128\mu\text{s}$ 。起始符的内容为“10”。

6位的头和14位的CGMS载荷数据格式与本章前面讨论过的480p系统是一样的。

2. CGMS B类

对于720p系统，CEA-805在线234上定义了CGMS（复制代次管理系统）数据格式。其波形见图5-14。

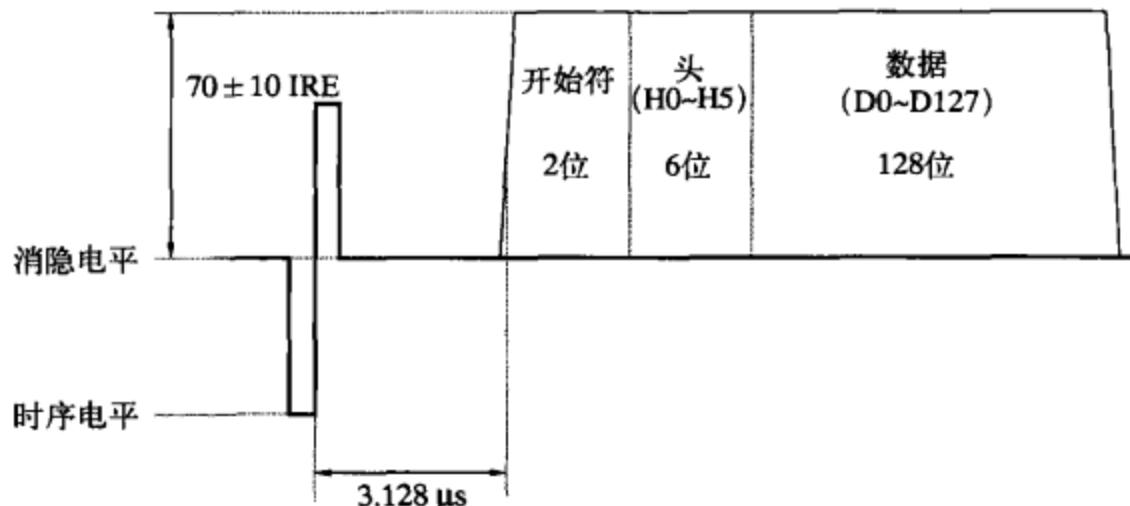


图5-14 CEA-805线23时序

采样时钟频率使用的是74.176MHz (59.94Hz帧率) 或74.25MHz (60Hz帧率)。每个数据位为8个时钟周期 ($107.7 \pm 18.5\text{ns}$)，宽为最大上升和下降时间37ns。逻辑“1”的幅度为 $70 \pm 10\text{ IRE}$ ；逻辑“0”的幅度为 $0 \pm 5\text{ IRE}$ 。

在 0_H 后，2位起始符开始后占了232周期，或大约 $3.128\mu\text{s}$ 。起始符的内容为“10”。

6位的头和16字节的CGMS载荷数据格式与本章前面讨论过的480p系统是一样的。

5.6.4 1080i系统的VBI数据

1. CGMS A类

对于1080i系统，CEA-805和EIA-J CPR-1204-2在线19和582上定义了CGMS（复制代次管理系统）数据格式。其波形见图5-15。

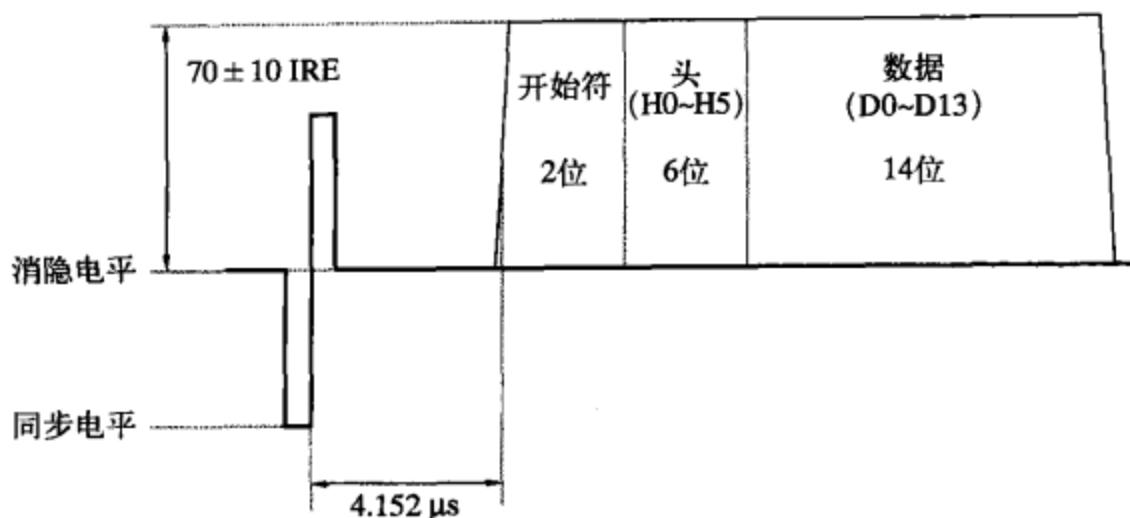


图5-15 CEA-805和EIA-J CPR-1204-2线19和582时序

采样时钟频率使用的是74.176MHz (59.94Hz帧率) 或74.25MHz (60Hz帧率)。每个数据位为77个时钟周期 ($1038 \pm 30\text{ns}$)，宽为最大上升和下降时间50ns。逻辑“1”的幅度为 70 ± 10 IRE；逻辑“0”的幅度为 0 ± 5 IRE。

在 0_H 后，2位起始符开始后占了380周期，或大约 $4.152\mu\text{s}$ 。起始符的内容为“10”。

6位的头和14位的CGMS载荷数据格式与本章前面讨论过的480p系统是一样的。

2. CGMS B类

对于1080i系统，CEA-805在线18和581上定义了CGMS（复制代次管理系统）数据格式。其波形见图5-16。

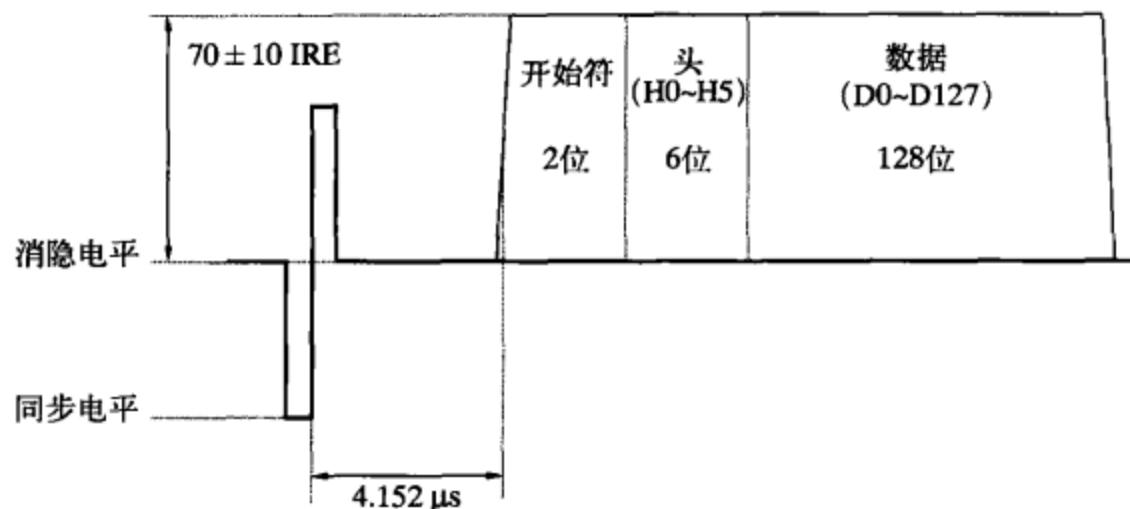


图5-16 CEA-805线18和581时序

采样时钟频率使用的是74.176MHz (59.94Hz帧率) 或74.25MHz (60Hz帧率)。每个数据位为10个时钟周期 ($134.6 \pm 18.5\text{ns}$)，宽为最大上升和下降时间37ns。逻辑“1”的幅度为 70 ± 10 IRE；逻辑“0”的幅度为 0 ± 5 IRE。

在 0_H 后，2位起始符开始后占了308周期，或大约 $4.152\mu\text{s}$ 。起始符的内容为“10”。

6位的头和16字节的CGMS载荷数据格式与本章前面讨论过的480p系统是一样的。

5.6.5 约束图像

由于针对高清晰模拟接口的复制保护技术受到一定限制，因此，有些标准和DRM实现仅准许输出约束图像 (constrained image)。尽管总的视频采样数目和视频时序并没有改变 (例如， $1280 \times 720\text{p}$ 或 $1920 \times 1080\text{i}30$)，但约束图像有效的最大分辨率只能达到 $860 \times 540\text{p}$ 。

目 录

第五节 亲缘系数	150
一、直系亲属亲缘系数的计算	150
二、旁系亲属亲缘系数的计算	152
习题	153
第十一章 品质选配	154
第一节 同质交配	154
一、概念	154
二、适用时机	154
三、评价	155
第二节 异质交配	155
一、概念	155
二、适用时机	156
三、评价	156
第三节 品质选配的运用	156
习题	156
第十二章 种群选配——杂交繁育与纯繁	157
第一节 杂交繁育	157
一、杂交繁育的概念与作用	157
二、杂交的遗传效应	157
三、杂交繁育的种类	157
第二节 纯种繁育	159
一、纯种繁育的任务	159
二、纯种繁育的方法	160
三、纯繁的目的和用途	162
习题	162
第四篇 杂种优势利用	
第十三章 杂种优势的表现规律及其在商品畜禽生产中的利用	163
第一节 利用杂交法生产商品畜禽的意义	163
一、杂交能获得杂种优势	163
二、杂交有可能获得亲本性状的互补性	167
第二节 杂种优势的表现规律	168
一、杂交亲本间的遗传差异愈大，杂种优势愈明显	168
二、杂交亲本愈纯，后代优势愈明显	169

三线信号（线1、线2和线3）表示的是YPbPr源视频的分辨率和帧率，如图5-18所示。

97

表5-18 D型连接头的各种视频格式线信号电压电平

分辨率	帧率	线1 扫描线	线2 帧率	线3 宽高比	色度和 参考白色	颜色空间 变换公式	Gamma 校准	Y上的同步 信号幅度
1920×1080	30i	5V	0V	5V		EIA-770.3	EIA-770.3	$\pm 0.300 \text{ V}^3$
	25i ²	5V	2.2V	5V				
	30p	5V	2.2V	5V				
	25p ²	5V	2.2V	5V				
	24p ²	5V	2.2V	5V				
	24sF ²	5V	2.2V	5V				
1280×720	60p	2.2V	5V	5V		EIA-770.3	EIA-770.3	$\pm 0.300 \text{ V}^3$
	50p ²	2.2V	2.2V	5V				
	30p	2.2V	2.2V	5V				
	25p ²	2.2V	2.2V	5V				
	24p ²	2.2V	2.2V	5V				
640×480		60p ²	0V	5V	0V	EIA-770.2	EIA-770.2	-0.300 V^3
720×480	16:9 Squeeze	60p	0V	5V	5V			
	16:9 Squeeze	30i	0V	0V	5V			
	16:9 Letterbox	30i	0V	0V	2.2V			
	4:3	30i	0V	0V	0V			

1. 60p、30i、30p和24p帧率也包含59.94p、29.97i和23.976p的帧率。

2. 并不是EIAJ CP-4120规范的一部分，但设备通常都支持。

3. 相对于消隐电平。

98
99

5.8 其他专业视频模拟接口

表5-19和表5-20列出了其他的一些通用分量模拟视频格式。水平和垂直时序与525线（M）NTSC和625线（B、D、G、H、I）PAL是一样的。100%和75%彩条值见表5-21~表5-24。SMPTE、EBU N10、625线的Betacam和625线MII值与SDTV YPbPr是一样的。

表5-19 通用的专业视频分量模拟视频格式

格 式	输出信号	信号幅度（V）	注 释
SMPTE、EBU N10	Y	+0.700	在Y上设置0%
	同步信号	-0.300	在饱和度上设置100%
	R'-Y, B'-Y	± 0.350	三线为(Y+sync)、(R'-Y)、(B'-Y)
525线Betacam ¹	Y	+0.714	在Y上设置7.5%
	同步信号	-0.286	在饱和度上设置100%
	R'-Y, B'-Y	± 0.467	三线为(Y+sync)、(R'-Y)、(B'-Y)
625线Betacam ¹	Y	+0.700	在Y上设置0%
	同步信号	-0.300	在饱和度上设置100%
	R'-Y, B'-Y	± 0.350	三线为(Y+sync)、(R'-Y)、(B'-Y)
525线MII ²	Y	+0.700	在Y上设置7.5%
	同步信号	-0.300	在饱和度上设置100%
	R'-Y, B'-Y	± 0.324	三线为(Y+sync)、(R'-Y)、(B'-Y)
625线MII ²	Y	+0.700	在Y上设置0%
	同步信号	-0.300	在饱和度上设置100%
	R'-Y, B'-Y	± 0.350	三线为(Y+sync)、(R'-Y)、(B'-Y)

1. 索尼公司的商标。

2. 松下电器公司的商标。

表5-20 通用专业视频RGB模拟视频格式

格 式	输出信号	信号幅度 (V)	注 释
SMPTE EBU N10	G'、B'、R'	+0.700	在G'、B'和R'上设置0%
	同步	-0.300	在饱和度上设置100%
			三线为(G'+sync)、B'、R'
NTSC (设置)	G'、B'、R'	+0.714	在G'、B'和R'上设置7.5%
	同步	-0.286	在饱和度上设置100%
			三线为(G'+sync)、B'、R'
NTSC (没有设置)	G'、B'、R'	+0.714	在G'、B'和R'上设置0%
	同步	-0.286	在饱和度上设置100%
			三线为(G'+sync)、B'、R'
MII ¹	G'、B'、R'	+0.700	在G'、B'和R'上设置7.5%
	同步	-0.300	在饱和度上设置100%
			三线为(G'+sync)、B'、R'

1. 松下电器公司的商标。

表5-21 525线Betacam 100%彩条，相对消隐电平的取值

		白色	黄色	青色	绿色	洋红色	红色	蓝色	黑色
Y	IRE	100	89.5	72.3	61.8	45.7	35.2	18.0	7.5
	mV	714	639	517	441	326	251	129	54
B'-Y	IRE	0	-65.3	22.0	-43.3	43.3	-22.0	65.3	0
	mV	0	-466	157	-309	309	-157	466	0
R'-Y	IRE	0	10.6	-65.3	-54.7	54.7	65.3	-10.6	0
	mV	0	76	-466	-391	391	466	-76	0

表5-22 525线Betacam 75%彩条，相对消隐电平的取值

		白色	黄色	青色	绿色	洋红色	红色	蓝色	黑色
Y	IRE	76.9	69.0	56.1	48.2	36.2	28.2	15.4	7.5
	mV	549	492	401	344	258	202	110	54
B'-Y	IRE	0	-49.0	16.5	-32.5	32.5	-16.5	49.0	0
	mV	0	-350	118	-232	232	-118	350	0
R'-Y	IRE	0	8.0	-49.0	-41.0	41.0	49.0	-8.0	0
	mV	0	57	-350	-293	293	350	-57	0

表5-23 525线MII 100%彩条，相对消隐电平的取值

		白色	黄色	青色	绿色	洋红色	红色	蓝色	黑色
Y	IRE	100	89.5	72.3	61.8	45.7	35.2	18.0	7.5
	mV	700	626	506	433	320	246	126	53
B'-Y	IRE	0	-46.3	15.6	-30.6	30.6	-15.7	46.3	0
	mV	0	-324	109	-214	214	-109	324	0
R'-Y	IRE	0	7.5	-46.3	-38.7	38.7	46.3	-7.5	0
	mV	0	53	-324	-271	271	324	-53	0

表5-24 525线MII 75%彩条，相对消隐电平的取值

		白色	黄色	青色	绿色	洋红色	红色	蓝色	黑色
Y	IRE	76.9	69.0	56.1	48.2	36.2	28.2	15.4	7.5
	mV	538	483	393	338	253	198	108	53
B'-Y	IRE	0	-34.7	11.7	-23.0	23.0	-11.7	34.7	0
	mV	0	-243	82	-161	161	-82	243	0
R'-Y	IRE	0	5.6	-34.7	-29.0	29.0	34.7	-5.6	0
	mV	0	39	-243	-203	203	243	-39	0

5.9 VGA接口

表5-25和图5-18给出了计算机设备和某些消费类设备所使用的、用于转换模拟RGB信号的15引脚VGA连接头。模拟RGB信号并不包含同步信息，也没有消隐基底电平，如图5-4所示。

表5-25 VGA连接头信号

引脚	功能	信号电平	阻抗
1	红色	0.7V	75Ω
2	绿色	0.7V	75Ω
3	蓝色	0.7V	75Ω
4	接地		
5	接地		
6	接地-红色		
7	接地-绿色		
8	接地-蓝色		
9	+5V DC		
10	接地-HSYNC (水平同步)		
11	接地-VSYNC (垂直同步)		
12	DDC SDA (数据)	≥2.4V	
13	HSYNC (水平同步)	≥2.4V	
14	VSYNC (垂直同步)	≥2.4V	
15	DDC SCL (时钟)	≥2.4V	

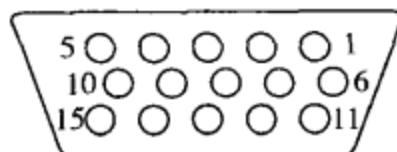


图5-18 VGA 15引脚D-SUB母连接头

参考文献

1. CEA-805 C, *Data on the Component Video Interfaces*, July 2006.
2. EIA-770.1 *Analog 525-Line Component Video Interface—Three Channels*, November 2001.
3. EIA-770.2, *Standard-Definition TV Analog Component Video Interface*, November 2001.
4. EIA-770.3, *High-Definition IV Analog Component Video Interface*, November 2001.
5. EIA-J CPR-1204-1, *Transfer Method of Video ID Information Using Vertical Blanking Interval(525P System)*, March 1998.
6. EIA-J CPR-1204-2, *Transfer Method of Video ID Information Using Receiver Using D-Connector*, January 2000.

7. EIA-J CP-4120, *Interface Between Digital Tuner and Television Receiver Using D-Connector*, January 2000.
8. IEC 60933-1, *Audio, Video and Audiovisual Systems—Interconnections and Matching Values-Parts 1 : 21-pin Connector for Video Systems*, Application No.1, April 1988.
9. IEC 61880-2, *Video Systems (525/60)—Video and Accompanied Data Using the Vertical Blanking Interval—Part 2: 525 Progressive Scan System*, September 2002.
10. IEC 62375, *Video Systems (625/50 Progressive)—Video and Accompanied Data Using the Vertical Blanking Interval—Analog Interface*, February 2004.
11. ITU-R BT.709-5, 2002, *Parameter Values for the HDTV Standards for Production and International Programme Exchange*.
12. SMPTE 253M-1998, *Television-Three-Channel RGB Analog Video Interface*.
13. SMPTE 274M-2005, *Television-1920 × 1080 Image Sample Structure, Digital Representation and Digital Timing Reference Sequence for Multiple Picture Rates*.
14. SMPTE 293M-2003, *Television—720 × 483 Active Line at 59.94Hz Progressive Scan Production-Digital Representation*.
15. SMPTE RP-160-1997, *Tree-Channel Parallel Analog Component High-Definition Video Interface*.



第6章 数字视频接口

6.1 专业视频分量接口

专业视频设备具有一些特定要求，比如在演播室内部使用的这些专业视频设备，因此，它们具有自身的一组数字视频互连标准。表6-1列出了用于各种专业视频的并行和串行数字接口标准。

表6-1 专业视频各种分量视频格式的并行和串行数字接口标准。i=隔行，p=逐行

有效分辨率 (H × V)	总的分辨 率 (H × V)	显示器 宽高比	帧率 (Hz)	1 × Y采样率 (MHz)	SDTV还 是HDTV	数字并行标准	数字串行标准
720 × 480i	858 × 525i	4 : 3	29.97	13.5	SDTV	BT.656 BT.799 SMPTE 125M	BT.656 BT.799
720 × 480p	858 × 525p	4 : 3	59.94	27	SDTV	-	BT.1362 SMPTE 294M
720 × 576i	864 × 625i	4 : 3	25	13.5	SDTV	BT.656 BT.799	BT.656 BT.799
720 × 576p	864 × 625p	4 : 3	50	27	SDTV	-	BT.1362
960 × 480i	1144 × 525i	16 : 9	29.97	18	SDTV	BT.1302 BT.1303 SMPTE 267M	BT.1302 BT.1303
960 × 576i	1152 × 625i	16 : 9	25	18	SDTV	BT.1302 BT.1303	BT.1302 BT.1303
1280 × 720p	1650 × 750p	16 : 9	59.94	74.176	HDTV	SMPTE 274M	-
1280 × 720p	1650 × 750p	16 : 9	60	74.25	HDTV	SMPTE 274M	-
1920 × 1080i	2200 × 1125i	16 : 9	29.97	74.176	HDTV	BT.1120 SMPTE 274M	BT.1120 SMPTE 292M
1920 × 1080i	2200 × 1125i	16 : 9	30	74.25	HDTV	BT.1120 SMPTE 274M	BT.1120 SMPTE 292M
1920 × 1080p	2200 × 1125p	16 : 9	59.94	148.35	HDTV	BT.1120 SMPTE 274M	-
1920 × 1080p	2200 × 1125p	16 : 9	60	148.5	HDTV	BT.1120 SMPTE 274M	-
1920 × 1080i	2376 × 1250i	16 : 9	25	74.25	HDTV	BT.1120	BT.1120
1920 × 1080p	2376 × 1250p	16 : 9	50	148.5	HDTV	BT.1120	-

6.1.1 视频时序

处理消隐时，并不是将消隐期数字化然后进行传输，而是在数字视频流内插入一些特定的序列来标明有效视频的起始（SAV）和结束（EAV）。这些SAV和EAV序列指明什么时候提供水平和场消隐，还指明了需要传输哪个场（field）。这样就可以在消隐期内传输像数字音频、图文电视、字幕等这些辅助数据。

EAV和SAV序列具有的优先级必须高于有效视频数据或辅助数据，以保证接收机总可以维持正确的视频时序。

编码器的视频时序序列是由第4章已经讨论过的三个时序信号来控制的，这三个时序信号分别为：H（行消隐）、V（场消隐）和F（场1或场2）。H由0跃迁到1就会触发EAV序列，而由1跃迁到0就会触发SAV序列。F和V只能在EAV序列处发生改变。

通常，专业视频分量接口可以同时支持8位和10接口，对于10位接口，其中2位用于传输视频数据的小数部分，这样可以尽可能地降低累积处理误差，并且可以支持10位的辅助数据。

106
107 YCbCr和RGB数据可以不使用10位数中位于0x000~0x003和0x3FC~0x3FF范围内的值。或不使用8位数中的0x00或0xFF这两个值，因为需要将它们用作时序信息。

EAV和SAV序列见表6-2。状态字定义为：

$$\begin{array}{ll}
 F = "0" \text{ 表示场1} & F = "1" \text{ 表示场2} \\
 V = "1" \text{ (在场消隐期)} & \\
 H = "0" \text{ (处于SAV时)} & H = "1" \text{ (处于EAV时)} \\
 P3 \sim P0 = \text{保护位} & \\
 P3 = V \oplus H & \\
 P2 = F \oplus H & \\
 P1 = F \oplus V & \\
 P0 = F \oplus V \oplus H &
 \end{array}$$

其中 \oplus 表示异或操作。有了这些保护位，在接收端就能够检测出1~2位的错误码，并且能够检测并纠正1位错误码。对于大多数逐行显示的视频系统，由于没有场信息，F通常为“0”。

表6-2 EAV和SAV序列

	8位数据								10位数据	
	D9 (MSB)	D8	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0
前导	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
状态字	1	F	V	H	P3	P2	P1	P0	0	0

对于4:2:2的YCbCr数据，在每个SAV序列之后，有效数据字（word）流总是从Cb采样点开始，如图6-1所示。在复用序列中，协调位置采样点（对应于图像上同一点的那些采样点）被分为组Cb、Y和Cr。在消隐期内，如果没有提供辅助数据，那么10位的Y值或RGB值应该设为0x40，而10位的CbCr值应该设为0x200。

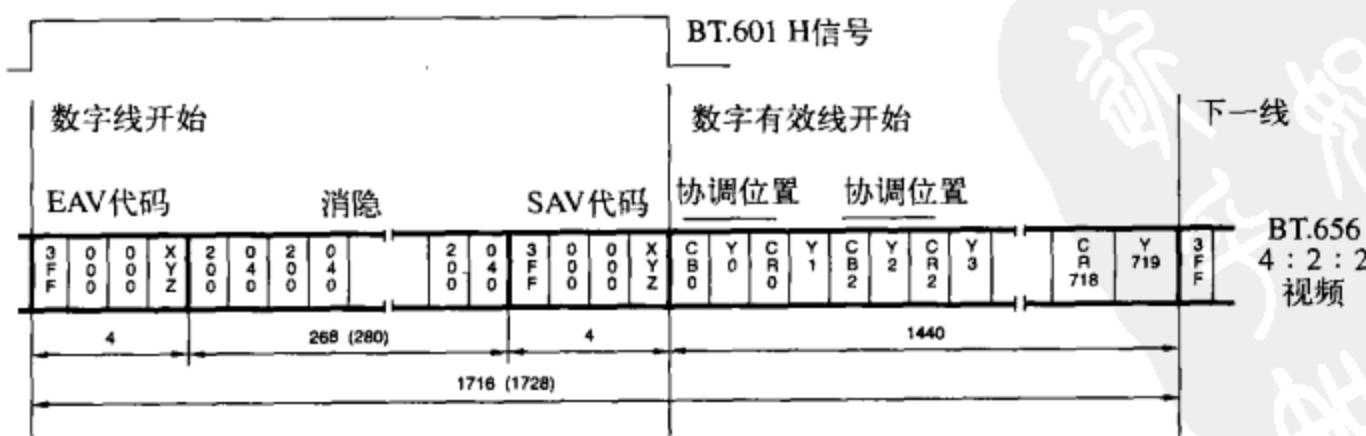


图6-1 BT.656并行接口的一行扫描线数据。480i, 4:2:2 YCbCr, 每线有720个有效采样点, 27MHz时钟, 10位系统。576i系统的值在括号内给出

接收设备通过查找8位的0xFF 0x00 0x00前导来检测EAV和SAV序列。状态字（在接收设备端进行误码改正，这是可选的，见表6-3）用于恢复H、V和F时序信号。

表6-3 在解码器中进行SAV和EAV误码纠正

接收到的F、V、 H(位D8-D6) 接收 的D5-D2	000	001	010	011	100	101	110	111
0000	000	000	000	*	000	*	*	111
0001	000	*	*	111	*	111	111	111
0010	000	*	*	011	*	101	*	*
0011	*	*	010	*	100	*	*	111
0100	000	*	*	011	*	*	110	*
0101	*	001	*	*	100	*	*	111
0110	*	011	011	011	100	*	*	011
0111	100	*	*	011	100	100	100	*
1000	000	*	*	*	*	101	110	*
1001	*	001	010	*	*	*	*	111
1010	*	101	010	*	101	101	*	101
1011	010	*	010	010	*	101	010	*
1100	*	001	110	*	110	*	110	110
1101	001	001	*	001	*	001	110	*
1110	*	*	*	011	*	101	110	*
1111	*	001	010	*	100	*	*	*

注：*=不可纠正的错误。

6.1.2 辅助数据

辅助数据包用于在消隐期内发送非视频数据信息（如数字音频、隐藏字幕和图文电视等）。广泛使用的各种ITU-R和SMPTE规范描述了各种辅助数据格式。

在水平消隐期内，辅助数据可以在EAV和SAV序列之间的间隔内传输。在场消隐期内，辅助数据可以在SAV和EAV序列之间的间隔内传输。在水平和场消隐期内可以提供多个辅助数据包，但这些辅助数据包之间必须是连续的。

有两种类型的辅助数据格式。较早的Type 1格式使用单个数据ID字标明辅助数据的类型；而较新的Type 2格式使用2个字来表示数据ID。表6-4给出通用的包格式。

表6-4 辅助数据包通用格式

	8位数据								10位数据									
	D9 (最高有效位)	D8	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0								
辅助数据标识 (ADF)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0								
	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1								
	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1								
数据ID (DID)	D8	偶校验位	从0000 0000到1111 1111的值															
数据块编号或SDID	D8	偶校验位	从0000 0000到1111 1111的值															
数据计数 (DC)	D8	偶校验位	从0000 0000到1111 1111的值															
用户数据字0	从00 0000 0100 到 11 1111 1011的值																	
⋮																		
用户数据字N	值00 0000 0100 到 11 1111 1011																	
校验和	D8	通过最后的用户数据字，D0~D8表示的数据ID的和预设为全0，内容被忽略																

1. 数据ID (DID)

DID表示所发送数据的类型。大多数DID值的指定是由ITU和SMPTE控制的，这是为了保证设备的兼容性。新DID值在不需要注册的情况下也是可用的。

2. 辅助ID (SDID, 仅适用于Type 2)

对于Type 2附加格式，SDID是数据ID的一部分。为了保证设备的兼容性，大多数SDID值的指定也是由ITU和SMPTE控制的。新的SDID值在不需要注册的情况下也是可用的。

3. 数据块编号 (DBN, 仅适用于Type 1)

使用DBN，在接收端就可以将多个附加包（共用相同的DID）通过延迟等待的方式收集在一起。当需要发送的用户数据字数目多于255时，就会遇到这种情形，因此需要一个以上的辅助数据包来发送这些数据。对于每个连续的辅助数据包，DBN值增加1。

4. 数据计数 (DC)

DC指定了包中用户数据字的数目。在8位的应用系统中，DC指定了6个8位值的MSB（最高有效位），因此，用户数据字的数目必须为4的整倍数。

5. 用户数据字 (UDW)

在包中可以提供最多255个用户数据字。在8位的应用系统中，用户数据字必须为4的整倍数。可能需要填充一些额外的数据字，以确保提供的用户数据为4的整倍数。

用户数据可以不使用10位值0x000~0x003和0x3FC~0x3FF，或8位值0x00和0xFF，因为它们要用作时序信息。

6.1.3 并行接口

1. 25引脚并行接口

这类接口主要是用于传输SDTV分辨率、格式为4：2：2的YCbCr数据。传输8位或10位数据和时钟。单独的数据位用D0~D9表示，其中D9为最高有效位。信号的引脚分配见表6-5。

表6-5 25引脚并行接口连接头引脚的分配。8位接口使用 D9~D2

引脚	信号	引脚	信号
1	时钟	14	时钟-
2	系统接地A	15	系统接地B
3	D9	16	D9-
4	D8	17	D8-
5	D7	18	D7-
6	D6	19	D6-
7	D5	20	D5-
8	D4	21	D4-
9	D3	22	D3-
10	D2	23	D2-
11	D1	24	D1-
12	D0	25	D0-
13	线缆屏蔽		

Y有10个数据位，标称表示范围为0x040~0x3AC。小于0x040或大于0x3AC的值由于处理的原因也需要提供。在消隐期内，如果没有提供数据，那么数据Y的值应该为040_H。

Cb和Cr有10个数据位，标称表示范围为0x040~0x3C0。由于处理的原因，小于0x040和大于0x3C0的值也可能需要提供。在消隐期内，如果没有其他的数据可提供，那么CbCr数据的值应该

110
111

为0x200。

对于ECL兼容的平衡驱动设备和接收设备(balanced driver and receiver)，信号电平是兼容的。信号生成器必须具有最大源阻抗为 110Ω 的平衡输出；信号通过 110Ω 负载时测得的峰间电压必须在0.8~2.0V之间。在接收设备端，传输线路终止于 $110 \pm 10\Omega$ 的负载。

□ 27MHz并行接口

这种BT.656和SMPTE 125M接口用于宽高比为4：3的480i和576i系统。采样率为13.5MHz的Y信息和复用CbCr信息，采用复用方式，以27MHz时钟频率形成一个单一的8位或10位数据流。

27MHz时钟信号的时钟脉冲宽度为 $18.5 \pm 3\text{ns}$ 。时钟信号的正跃变发生在限差为 $\pm 3\text{ns}$ 的数据跃变中点(如图6-2所示)。

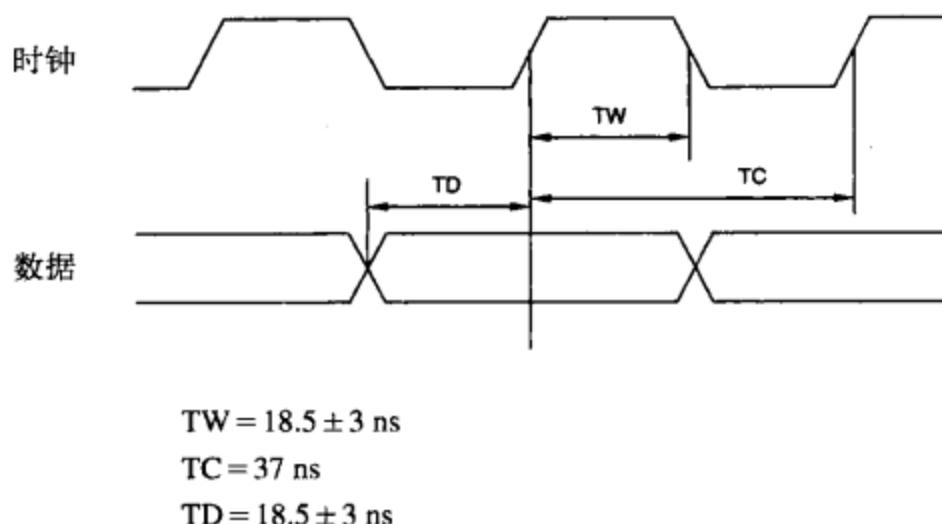


图6-2 25引脚27MHz并行接口波形

为了可以在连接长度为50~200米的范围内进行可靠的操作，接收端必须使用如图6-3所示的典型特征进行频率均衡。在本例中，线缆长度在直到0的各种长度范围内都可以实现可靠操作。

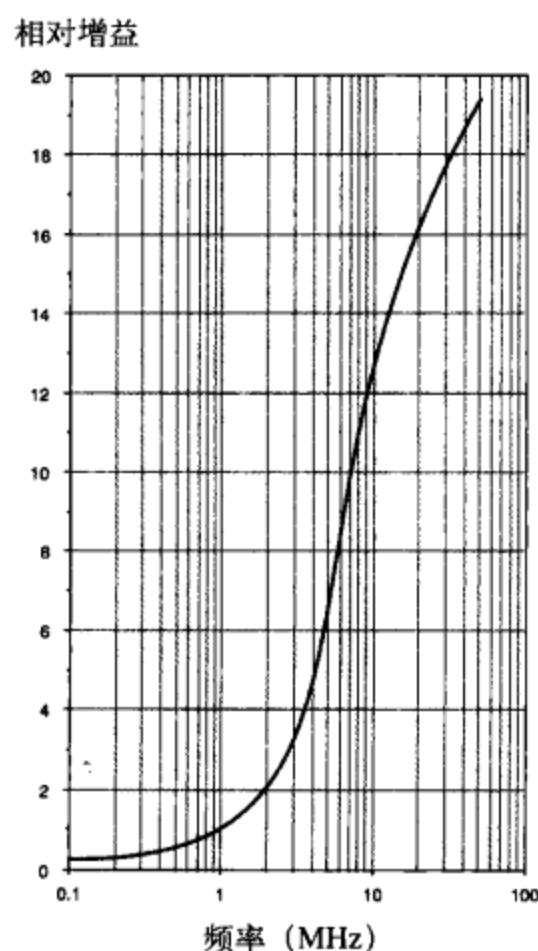


图6-3 针对小信号的线性接收设备均衡特征示例

□ 36MHz并行接口

这种BT.1302和SMPTE 267M接口被用于宽高比为16：9的480i和576i系统。采样频率为18MHz的Y信息和复用CbCr信息，以36MHz的时钟频率，采用复用的方式形成一个单一的8位或10位数据流。

时钟频率为36MHz的时钟脉冲宽度为 $13.9 \pm 2\text{ ns}$ 。时钟信号的正跃变发生在限差为 $\pm 2\text{ ns}$ 的数据跃变中点（如图6-4所示）。

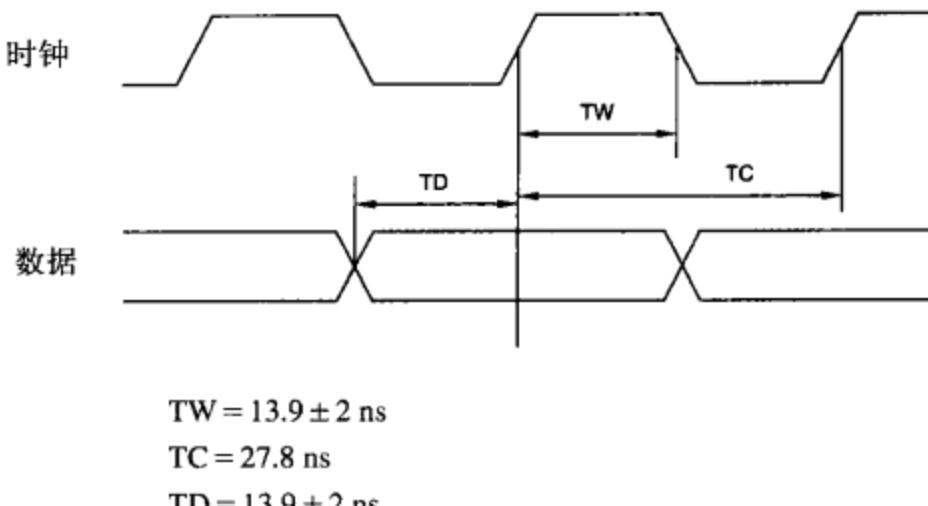


图6-4 25引脚36MHz并行接口波形

为了在40~160m连接长度范围内可以进行可靠的操作，接收端必须使用典型特征进行频率均衡，见图6-3。在本例中，线缆长度在直到0的各种长度范围内都可以实现可靠操作。

2.93引脚并行接口

这种接口是用于对HDTV分辨率的RG'B数据、4：2：2的YCbCr数据或4：2：2：4的YCbCrK数据进行变换。这些信号的引脚分配如表6-6所示。最高有效位为R9、G9和B9。

表6-6 93引脚并行接口的连接头引脚分配。8位接口只使用了9~2位

引脚	信号	引脚	信号	引脚	信号	引脚	信号
1	时钟	20	GND	39	G4-	58	R5
2	G9	21	GND	40	G3-	59	R4
3	G8	22	GND	41	G2-	60	R3
4	G7	23	GND	42	G1-	61	R2
5	G6	24	GND	43	G0-	62	R1
6	G5	25	GND	44	B9-	63	R0
7	G4	26	GND	45	B8-	64	GND
8	G3	27	GND	46	B7-	65	GND
9	G2	28	GND	47	B6-	66	GND
10	G1	29	GND	48	B5-	67	GND
11	G0	30	GND	49	B4	68	GND
12	B9	31	GND	50	B3	69	GND
13	B8	32	GND	51	B2	70	GND
14	B7	33	时钟-	52	B1	71	GND
15	B6	34	G9-	53	B0	72	GND
16	B5	35	G8-	54	R9	73	GND
17	GND	36	G7-	55	R8	74	GND
18	GND	37	G6-	56	R7	75	GND
19	GND	38	G5-	57	R6	76	GND

(续)

引脚	信号	引脚	信号	引脚	信号	引脚	信号
77	GND	83	B0-	89	R4-		
78	GND	84	R9-	90	R3-		
79	B4-	85	R8-	91	R2-		
80	B3-	86	R7-	92	R1-		
81	B2-	87	R6-	93	R0-		
82	B1-	88	R5-				

当传输4：2：2：4 YCbCr数据时，绿色通道加载的是Y信息，红色通道加载的是复用的CbCr信息。

当传输4：2：2：4 YCbCrK数据时，绿色通道加载的是Y信息，红色通道加载的是复用的CbCr信息，绿色通道加载的是K（alpha通道）信息。

Y是一个10位的数据，标称表示范围为0x040~0x3AC。由于处理的原因，也可能提供小于0x040或大于0x3AC的值。在消隐期内，如果没有提供其他的数据，数据Y的值应该为0x040。

Cb和Cr是10位的数据，标称表示范围为0x040~0x3C0。由于处理的原因，也可以提供小于0x040或大于0x3C0的值。在消隐期内，如果没有提供其他的信息，那么CbCr数据的值应该为0x200。

R'G'B'和K是10位的数据，标称表示范围为0x040~0x3AC。由于处理的原因，也可以提供小于0x040和大于0x3AC的值。在消隐期内，如果没有提供其他的信息，那么R'G'B'数据的值应该为0x040。

对于ECL兼容的平衡驱动设备和接收设备，信号电平是兼容的。信号发生器必须是平衡输出，输出最大源阻抗为110Ω；信号必须为0.6~2.0V，这是跨110Ω负载测得的峰间电压值。在接受端，传输线路必须终止于110±10Ω的负载。

□ 74.25和74.176 MHz并行接口

这种ITU-R BT.1120和SMPTE 274M接口主要用于HDTV系统。

74.25或74.176MHz（74.25/1.001）时钟信号的时钟脉冲宽度为 $6.73 \pm 1.48\text{ns}$ 。时钟信号的正跃迁发生在数据跃迁之间的中点，数据跃迁的限差（误差容限）为 $\pm 1\text{ns}$ （如图6-5所示）。

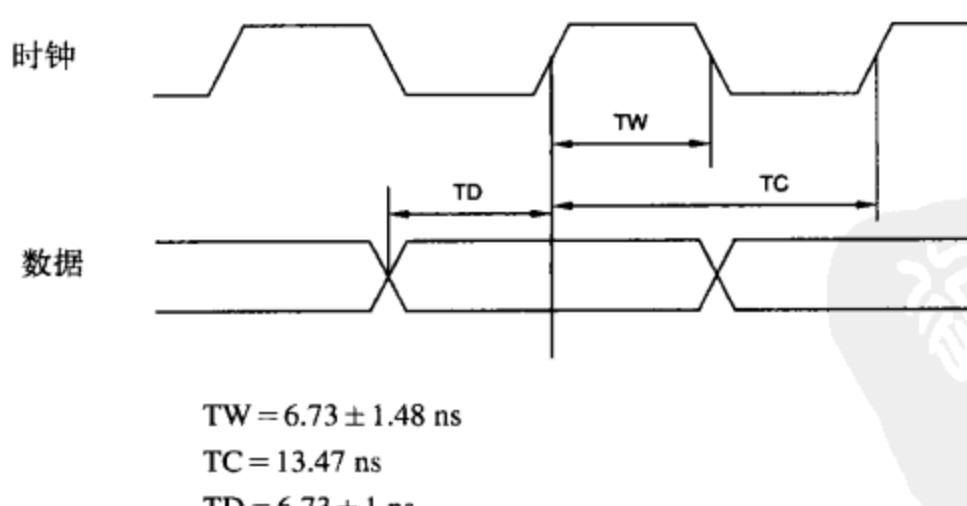


图6-5 93引脚74.25和74.176 MHz并行接口波形

为了在互连长度大于20m时能够进行可靠的操作，接收端必须使用频率均衡。

□ 148.5和148.35 MHz并行接口

这种BT.1120和SMPTE 274M接口用于HDTV系统。

148.5或148.35MHz (148.5/1.001) 时钟信号的脉冲宽度为 $3.37 \pm 0.74\text{ns}$ 。时钟信号的正跃迁发生在数据跃迁的中点，数据跃迁的限差为 $\pm 0.5\text{ns}$ （类似于图6-5）。

为了在大于14m的互连长度上能够进行可靠的操作，接收端必须进行频率均衡。

3. 应用

可以用一个或多个并行接口在设备之间传输各种视频格式。

□ 4 : 2 : 2 YCbCr-隔行SDTV

ITU-R BT.656和BT.1302并行接口是用于在设备之间传输BT.601 4 : 2 : 2 YCbCr数字视频的。SMPTE 125M和267M进一步明确了针对480i系统的操作。

图6-6表示宽高比为4 : 3、采样时钟频率为27MHz时，一行扫描线的时序。图6-7表示的是宽高比为16 : 9、采样时钟频率为36MHz时，一行扫描线的时序。4 : 2 : 2YCbCr-隔行SDTV使用的是25引脚并行接口。

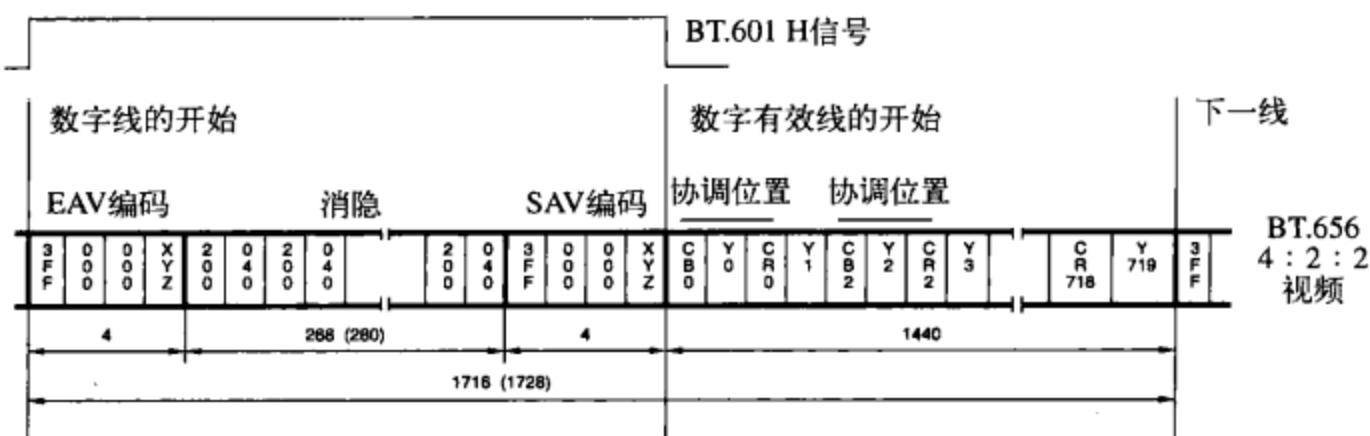


图6-6 针对一行扫描线的BT.656和SMPTE 125M并行接口数据。480i, 4 : 2 : 2 YCbCr, 每线有720有效采样点; 27MHz时钟频率; 10位系统。576i系统的值在括号内给出

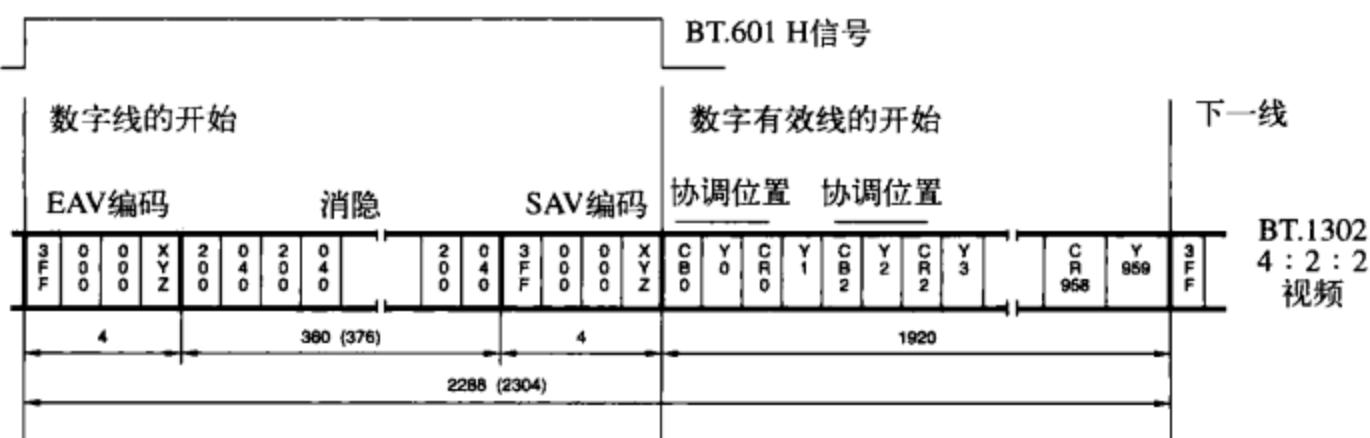


图6-7 针对一行扫描线的BT.1302和SMPTE 267M并行接口数据。480i, 4 : 2 : 2 YCbCr, 每线有960有效采样点; 36MHz时钟频率; 10位系统。576i系统的值在括号内给出

□ 4 : 4 : 4 YCbCr-隔行SDTV

ITU BT.799和BT.1303并行接口用于在设备之间传输BT.601的4 : 4 : 4的YCbCrK数字视频。K为alpha信号，用于混合不同的视频源，将在第7章对此进行讨论。SMPTE RP-175更进一步明确了480i系统的操作。

使用了两种传输链。链A包含所有的Y采样点和那些位于偶数采样点的Cb和Cr采样点。链B包含抠像通道（keying channel）和那些位于奇数采样点位置的Cb和Cr采样点。尽管通常可以称链A为4 : 2 : 2，链B为2 : 2 : 4，但是链A并不是真正的4 : 2 : 2信号，因为CbCr数据的采样频率为13.5MHz，而不是6.75MHz。

图6-8表示的是在传输4：4：4：4YCbCrK视频数据时，链A和链B的内容。图6-9表示的是在传输RGBCK视频数据时，链A和链B的内容。如果没有提供alpha值（K），那么K采样点值应该是10位的3AC_H值。

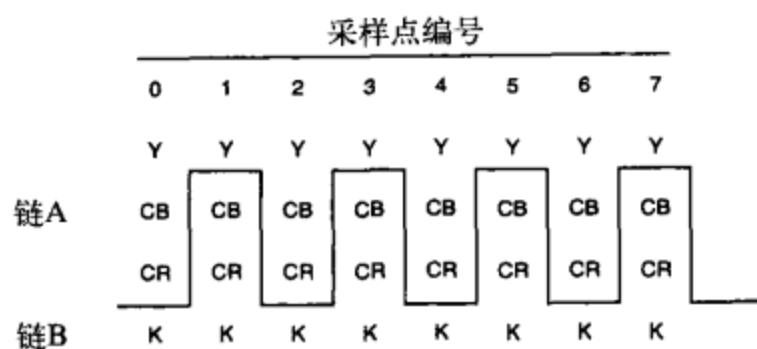


图6-8 YCbCrK视频信号的链内容表示



图6-9 RGBK视频数据的链内容表示

图6-10表示的是宽高比为4：3、采样时钟频率为27MHz时，一行扫描线的时序。图6-11表示的是宽高比为16：9、采样时钟频率为36MHz时，一行扫描线的时序。4：4：4YCbCr-隔行SDTV使用的是两个25引脚的并行接口。

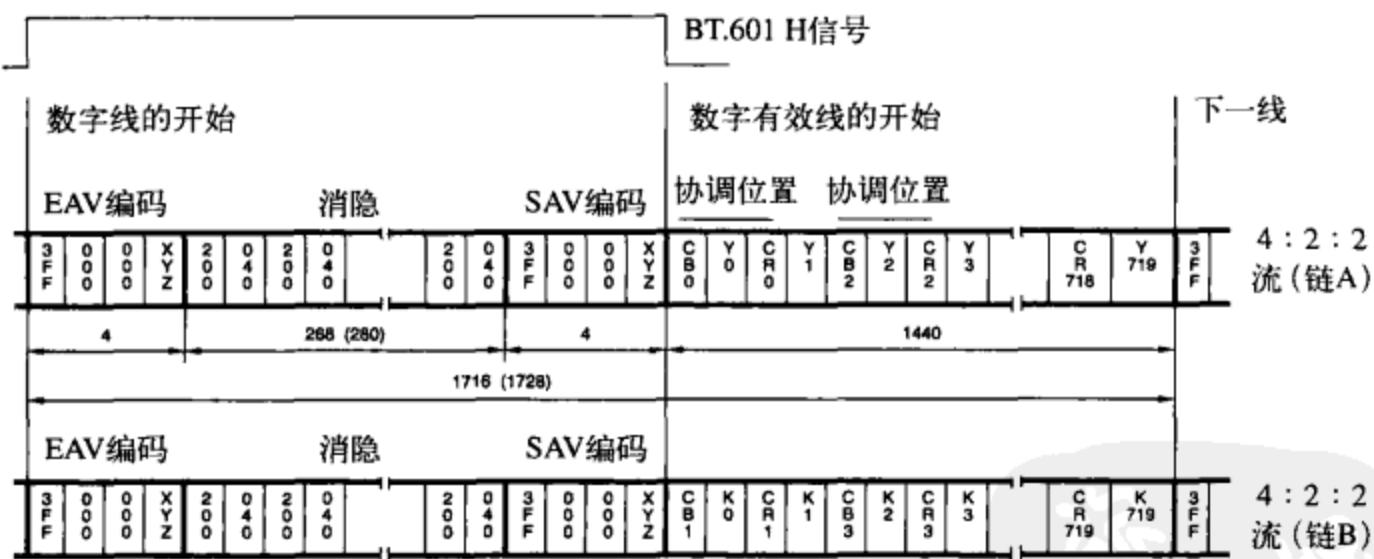


图6-10 针对一行扫描线的BT.799和SMPTE RP-175并行接口数据。480i; 4:4:4:4 YCbCrK; 每线有720有效采样点; 27MHz时钟频率; 10位系统。576i系统的值在括号内给出

RGBK-隔行SDTV

BT.799和BT.1303也支持在设备间传输BT.601R'G'B'K数字视频数据。如果要了解更多地相关信息，参见4：4：4：4 YCbCr接口。SMPTE RP-175进一步明确了480i系统的操作。G'采样点数据是在Y位置发送的，R'采样点数据是在Cr位置发送的，而B'采样点数据是在Cb位置发送的。

□ 4:2:2 YCbCr-逐行SDTV

ITU-R BT.1362定义了两个10位的4：2：2 YCbCr数据流（见图6-12），使用的时钟频率为

27MHz。SMPTE 294M更进一步地明确了480p系统的操作。在表6-7中给出了各个扫描线使用的流。

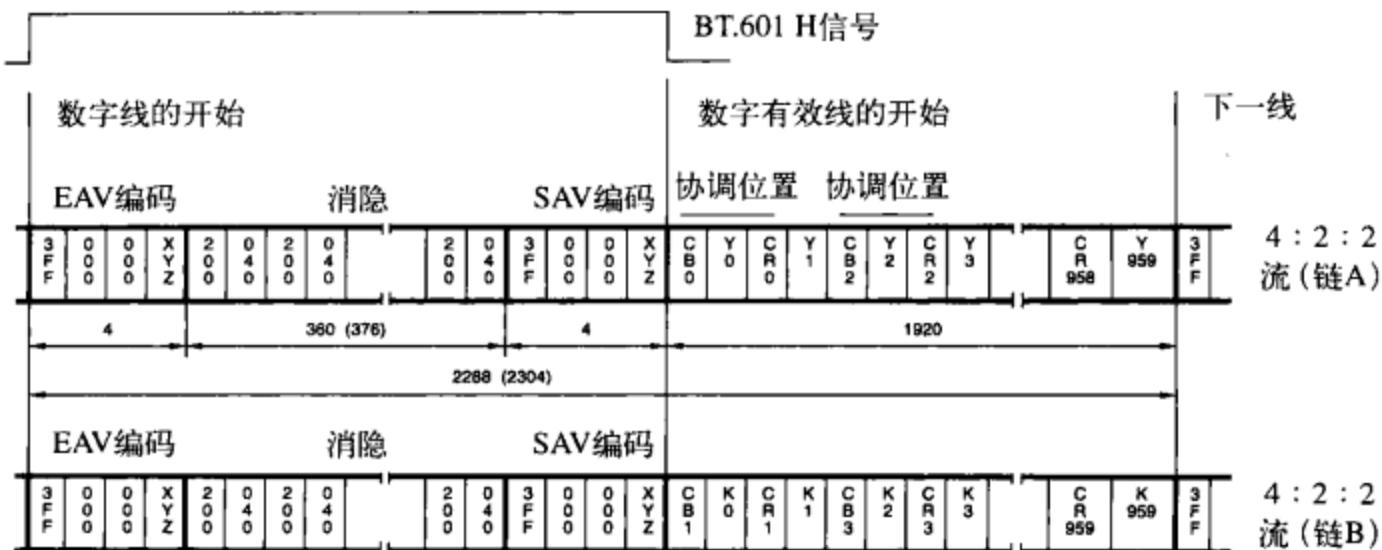


图6-11 针对一行扫描线的BT.1303并行接口数据。480i; 4:4:4:4 YCbCrK; 每线有960有效采样点; 36MHz时钟频率; 10位系统。576i系统的值在括号内给出

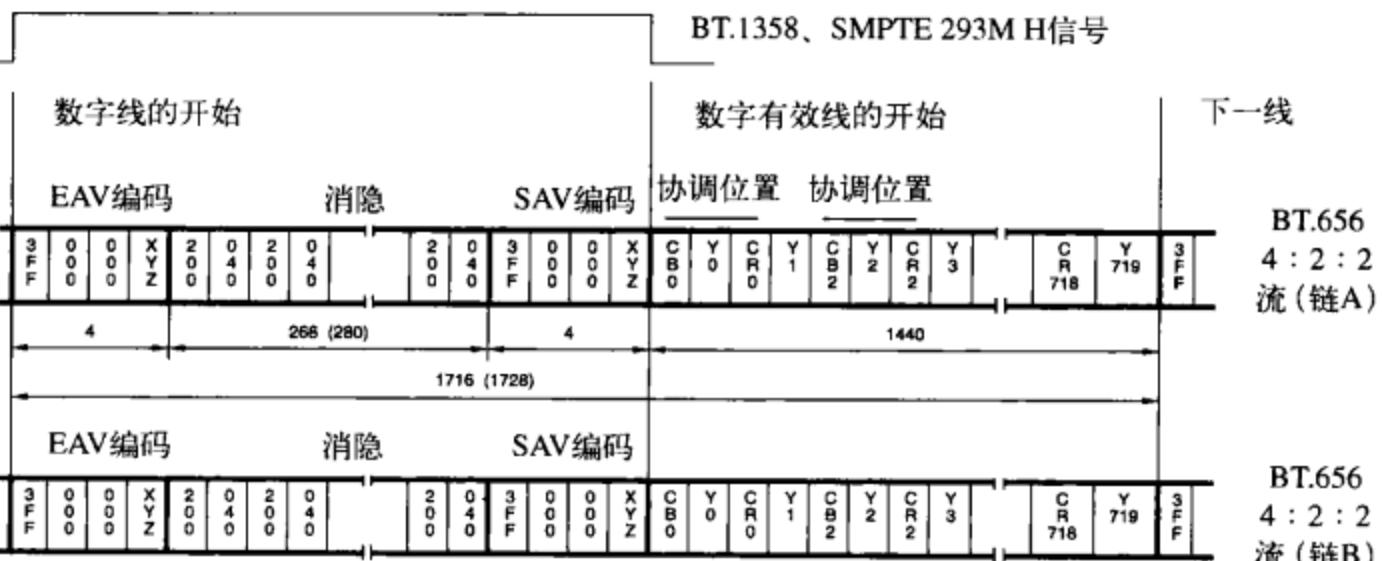


图6-12 针对一行扫描线的BT.1362和SMPTE 294M并行接口数据。480p; 4:2:2 YCbCr; 每线有720有效采样点; 27 MHz时钟频率; 10位系统。576i系统的值在括号内给出

表6-7 BT.1362和SMPTE 294M扫描线编号和链分配

480p (525p) 系统				576p (625p) 系统			
链A	链B	链A	链B	链A	链B	链A	链B
7	8	6	7	1	2	4	5
9	10	:	:	3	4	6	7
:	:	522	523	:	:	8	9
523	524	524	525	621	622	:	:
525	1	1	2	623	624	620	621
2	3	3	4	625	1	622	623
4	5	5	6	2	3	624	625

□ 4 : 2 : 2 YCbCr-隔行HDTV

ITU-R BT.1120并行接口是用于在设备间传输隔行HDTV 4:2:2 YCbCr数字视频数据的。SMPTE 274M更进一步明确了29.97Hz和30Hz系统的操作。

图6-13表示的是针对 $1920 \times 1080i$ 有效分辨率一行扫描线的时序。93引脚并行接口可以采用74.25MHz（25Hz或30Hz的帧率）或74.176MHz（29.97Hz的帧率）的采样时钟频率。

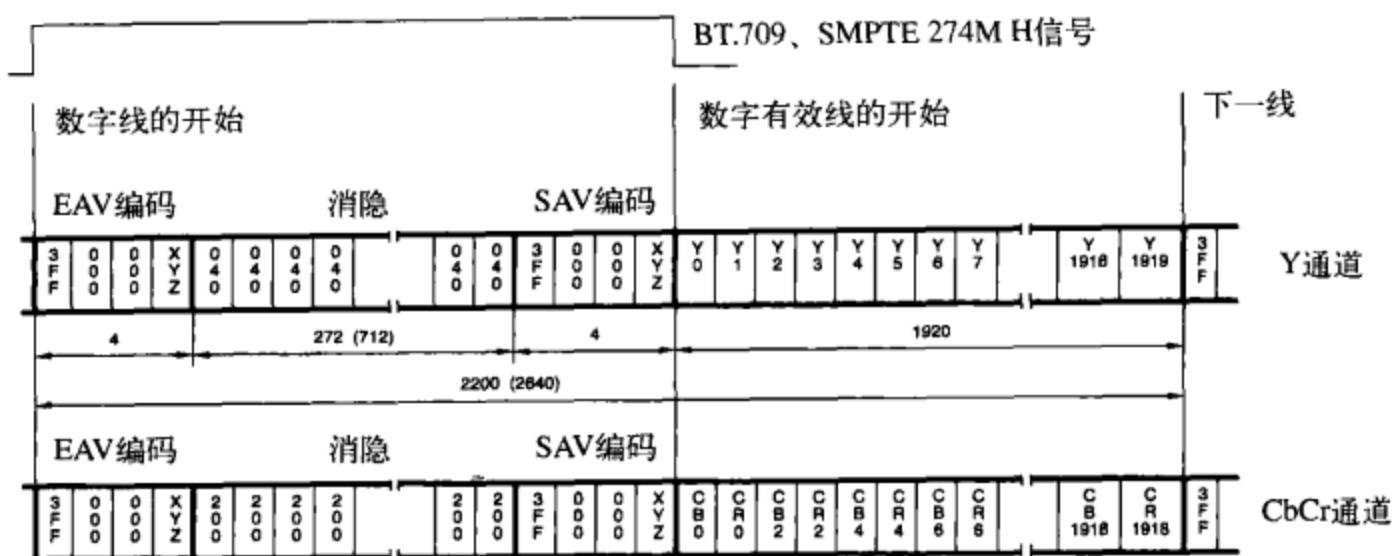


图6-13 针对一行扫描线的BT.1120和SMPTE 274M并行接口数据。1080i29.97、1080i30、1080p59.94和1080p60系统；4：2：2 YCbCr；每线有1920有效采样点；时钟频率为74.176、74.25、148.35或148.5 MHz；10位系统。1080i25和1080p50系统的值在括号内给出

□ 4：2：2：4 YCbCrK- 隔行扫描HDTV

BT.1120也支持在设备间传输HDTV的4：2：2：4 YCbCrK数字视频数据。SMPTE 274M进一步明确了29.97Hz和30Hz系统的操作。

图6-14表示的是针对 $1920 \times 1080i$ 有效分辨率一行扫描线的时序。93引脚并行接口可用的采样时钟频率为74.25MHz（25或30Hz帧率）或74.176MHz（29.97Hz帧率）。

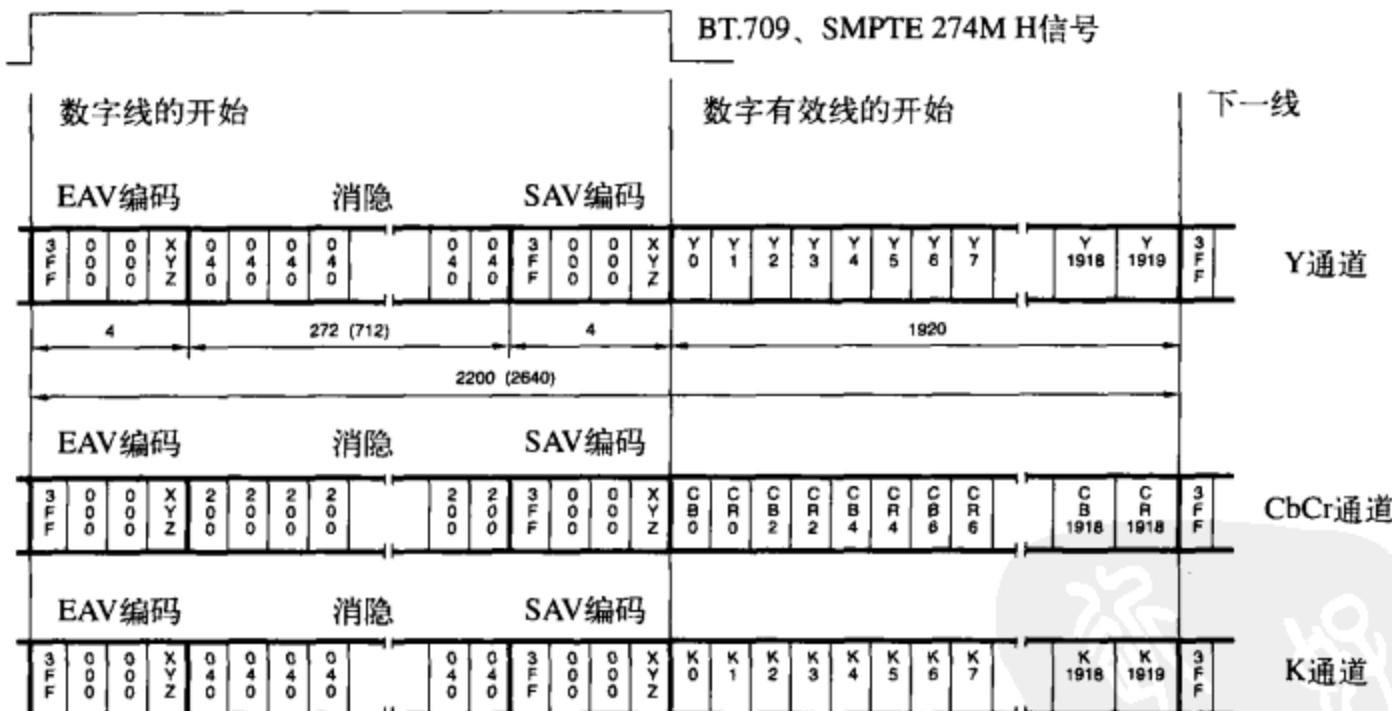


图6-14 针对一行扫描线的BT.1120和SMPTE 274M并行接口数据。1080i29.97、1080i30、1080p59.94和1080p60系统；4：2：2：4 YCbCrK；每线有1920有效采样点；时钟频率为74.176、74.25、148.35或148.5MHz；10位系统。1080i25和1080p50系统的值在括号内给出

□ RGB-隔行HDTV

BT.1120也支持在设备间传输HDTV的R'G'B'数字视频。SMPTE 274M更进一步明确了29.97Hz和30Hz系统的操作。

图6-15表示的是针对 $1920 \times 1080i$ 有效分辨率一行扫描线的时序。93引脚并行接口可用的采样

118
123

时钟频率为74.25MHz（25或30Hz帧率）或74.176MHz（29.97Hz帧率）。

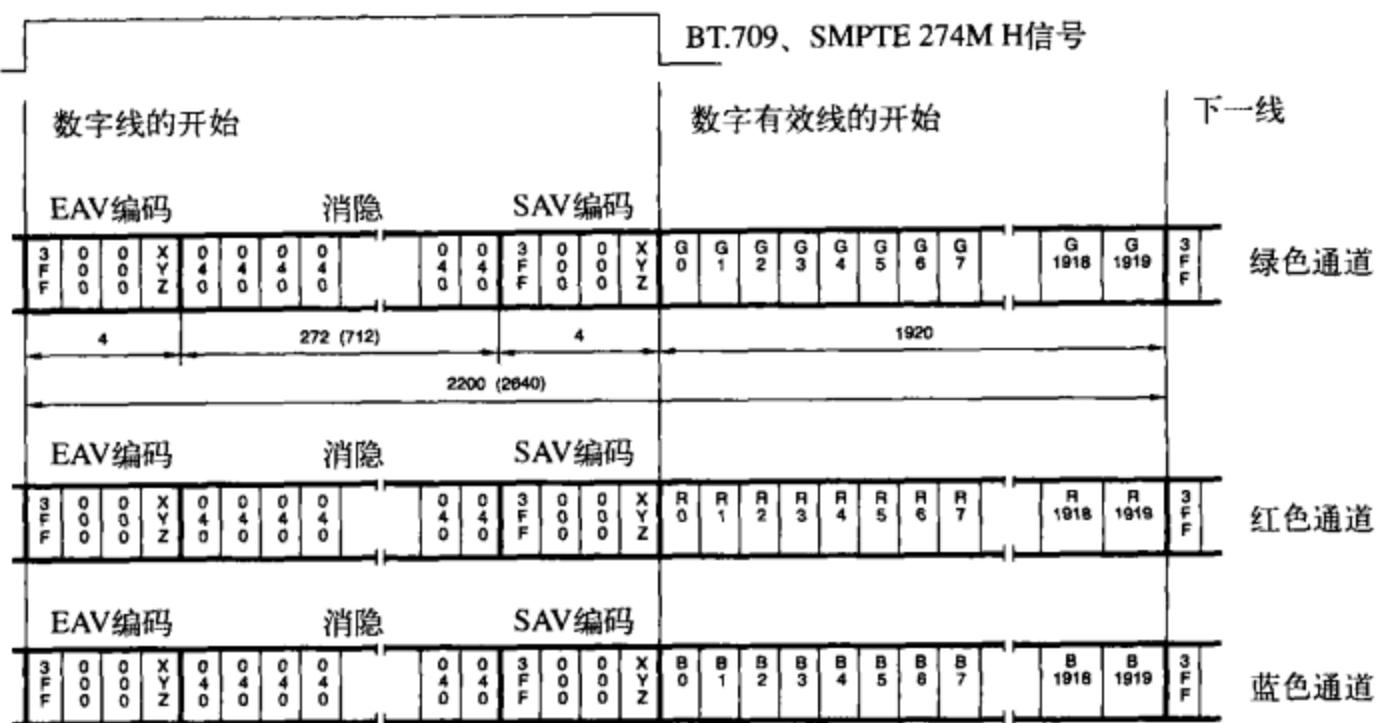


图6-15 针对一行扫描线的BT.1120和SMPTE 274M并行接口数据。1080i29.97、1080i30、1080p59.94和1080p60系统；RGB；每线有1920有效采样点；时钟频率为74.176、74.25、148.35或148.5MHz；10位系统。1080i25和1080p50系统的值在括号内给出

□ 4 : 2 : 2 YCbCr -逐行HDTV

ITU-R BT.1120和SMPTE 274M并行接口是用于在设备间传输逐行HDTV 4 : 2 : 2 YCbCr数字视频的。

图6-13表示的是针对 $1920 \times 1080i$ 有效分辨率一行扫描线的时序。93引脚并行接口使用的采样时钟频率为148.5MHz（24Hz、25Hz、30Hz、50Hz或60Hz的帧率）或148.35MHz（23.98Hz、29.97Hz或59.94Hz的帧率）。

图6-16表示的是针对 $1280 \times 720p$ 有效分辨率一行扫描线的时序。93引脚并行接口使用的采样时钟频率为74.25MHz（24Hz、25Hz、30Hz、50Hz或60Hz的帧率）或74.176MHz（23.98Hz、29.97Hz或59.94Hz的帧率）。

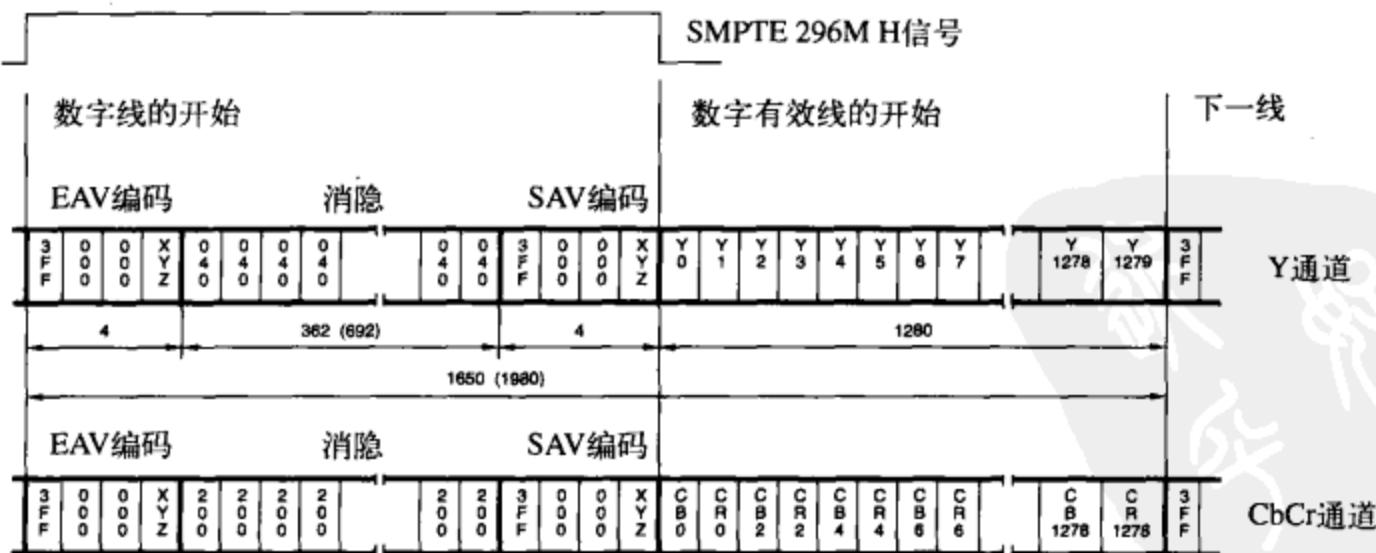


图6-16 SMPTE 274M针对一行扫描线的并行接口数据。720p 59.94和720p60系统；4 : 2 : 2 YCbCr；每线1280个有效采样点；74.176或74.25 MHz时钟频率；10位系统。720p50系统的值在括号内给出

□ 4 : 2 : 2 : 4 YCbCrK-逐行HDTV

BT.1120和SMPTE 274M也支持在设备间传输HDTV 4 : 2 : 2 : 4 YCbCr数字视频。

图6-14表示的是 1920×1080 p有效分辨率一行扫描线的时序。93引脚并行接口使用的时钟频率为148.5MHz（24、25、30、50和60Hz的帧率）或148.35MHz（23.98、29.97或59.94Hz帧率）。

图6-17表示的是针对 1280×720 p有效分辨率一行扫描线的时序。93引脚并行接口使用的时钟频率为74.25MHz（24、25、30、50和60Hz的帧率）或74.176MHz（23.98、29.97或59.94Hz帧率）。

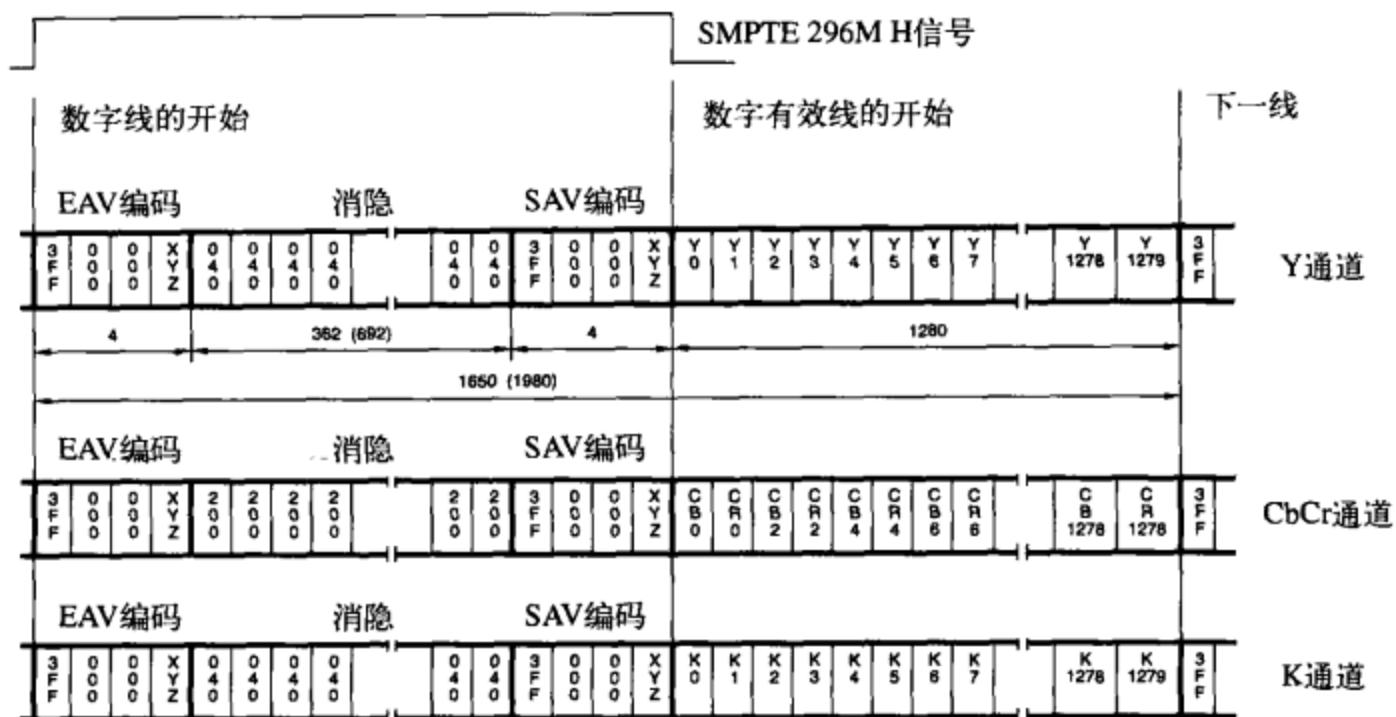


图6-17 SMPTE 274M针对一行扫描线的并行接口数据。720p 59.94和720p60系统；4：2：2：4 YCbCrK，每线1280个有效采样点；74.176或74.25MHz时钟频率；10位系统。720p50系统的值在括号内给出

RGB-逐行HDTV

BT.1120和SMPTE 274M也支持在设备间传输HDTV RGB数字视频。

图6-15表示的是针对 1920×1080 p有效分辨率一行扫描线的时序。93引脚并行接口使用的时钟频率为148.5MHz（24、25、30、50和60Hz的帧率）或148.35MHz（23.98、29.97或59.94Hz帧率）。

图6-18表示的是针对 1280×720 p有效分辨率一行扫描线的时序。93引脚并行接口使用的时钟频率为74.25MHz（24、25、30、50和60Hz的帧率）或74.176MHz（23.98、29.97或59.94Hz帧率）。

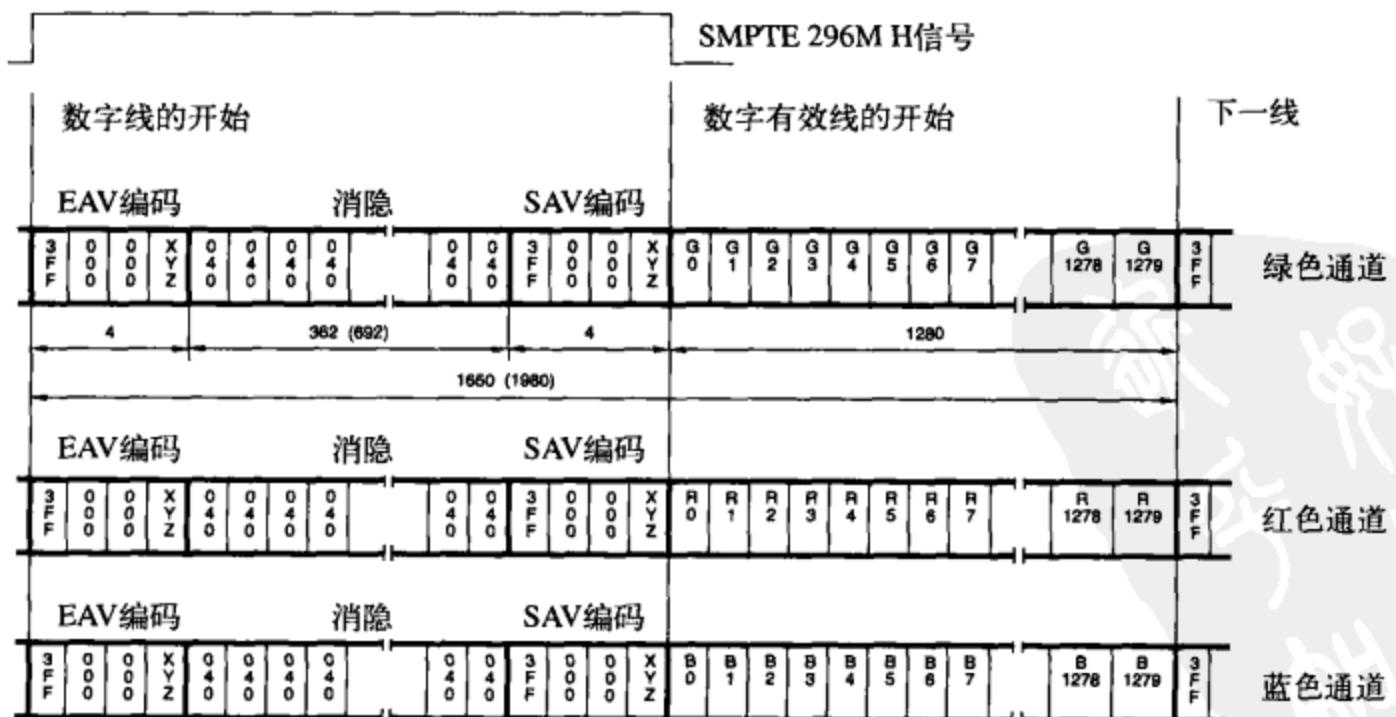


图6-18 SMPTE 274M针对一行扫描线的并行接口数据。720p 59.94和720p60系统；R'G'B'；每线1280个有效采样点；74.176或74.25 MHz时钟频率；10位系统。720p50系统的值在括号内给出

6.1.4 串行接口

并行格式可以转换为串行格式（见图6-19），使得数据可以在 75Ω 的同轴有线或光纤中传输。

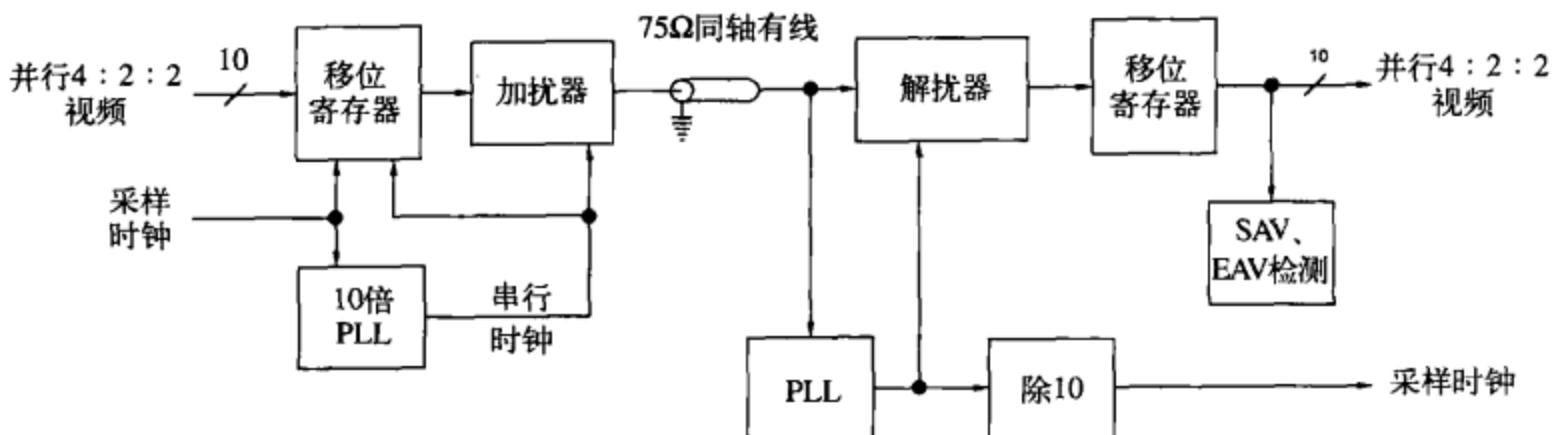


图6-19 串行接口框图

对于有线连接方式，信号产生器具有不平衡的输出，其源阻抗为 75Ω ；信号在 75Ω 负载间测得的峰间电压必须为 $0.8V \pm 10\%$ 。接收端的输出阻抗为 75Ω 。

在8位系统的环境中，串行化之前，在EAV和SAV期间，编码0x00和0xFF分别被扩展为10位的值0x000和0x3FF。而所有其他的8位数据在串行化之前都要在最低有效位后附加两个0。

对10位数据进行串行化（LSB优先），并使用加扰和不分极性NRZI算法进行处理：

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

输入到加扰器的信号（见图6-20）采用正逻辑（最高电压表示逻辑1；最低电压表示逻辑0）。

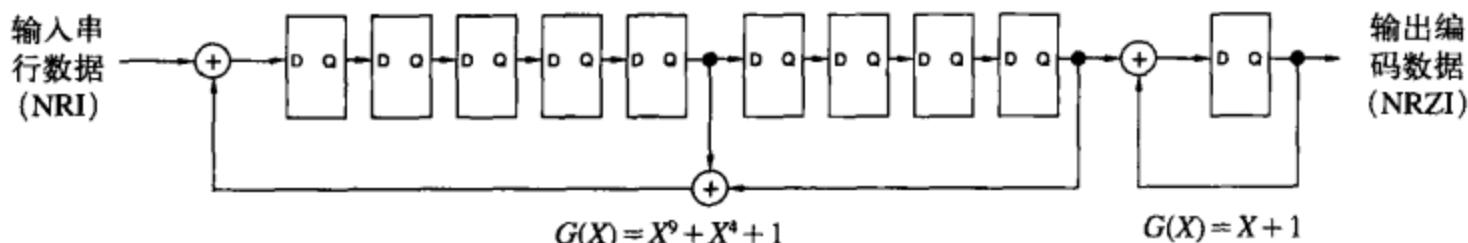


图6-20 典型的加扰电路

格式化的串行数据以10倍的采样时钟频率输出。由于并行时钟可能包含大量抖动（jitter），因此直接由没有经过滤波的并行时钟推导得到的10倍采样时钟频率可能导致过大的信号扰动。

在接收端，锁相同步（phase-lock synchronization）是通过检测EAV和SAV序列来完成的。PLL不断地微调每行扫描线来确保能够检测到这些模式，并且避免发生跳位（bit slippage）。尽管必须慎重，以避免掩盖与字相关的扰动成分，但恢复的10倍采样时钟还需要除以10来生成采样时钟频率。串行数据还要进行高低频率均衡、解扰（见图6-21）和反序列化。

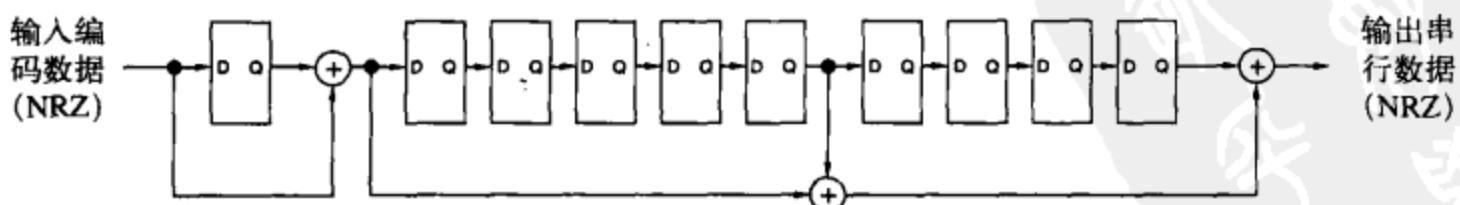


图6-21 典型的解扰器电路

1. 270 Mbit/s串行接口

这种BT.656和SMPTE 259M接口（也称为SDI）是用于将27MHz的并行数据流转换为270Mbit/s的串行数据流。10倍PLL使用27MHz时钟信号来生成270MHz的时钟。这种接口主要用于

480i和576i的4：3系统。

2. 360 Mbit/s串行接口

这种BT.1302和SMPTE 259M接口是用于将36MHz并行数据流转换为360Mbit/s的串行数据流。10倍PLL使用36MHz时钟信号生成360MHz的时钟。这种接口主要用于480i和576i的16：9系统。

3. 540 Mbit/s串行接口

这种SMPTE 344M接口是用于将54MHz或27MHz并行数据流转换为540Mbit/s的串行数据流。10倍PLL使用54MHz时钟信号生成540MHz的时钟。这种接口主要用于宽高比为4：3的480p和576p系统。

4. 1.485和1.4835 Gbit/s串行接口

这种BT.1120和SMPTE 292M接口是用于将两路74.25MHz或74.176（74.25/1.001）MHz并行数据流（Y和CbCr），以复用的方式生成单一的1.485Gbit/s或1.4835Gbit/s的串行数据流。20倍PLL使用74.25或74.176MHz时钟信号生成1.485GHz的时钟。这种接口主要用于HDTV系统。

在以复用的方式合并两路并行数据流之前，需要将行数和CRC信息（见表6-8）加入每个流的每个EAV流之后。CRC用于检测有效视频和EAV中的错误。它是由如下多项式生成的两个字组成：

$$CRC = x^{18} + x^5 + x^4 + 1$$

其初始值设为0。计算过程开始于第一个有效线字（active line word），结束于线编号（LN1）的最后一个字。

表6-8 线编号和CRC数据

	D9 (MSB)	D8	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0
LN0	$\overline{D8}$	L6	L5	L4	L3	L2	L1	L0	0	0
LN1	$\overline{D8}$	0	0	0	L10	L9	L8	L7	0	0
CRC0	$\overline{D8}$	crc8	crc7	crc6	crc5	crc4	crc3	crc2	crc1	crc0
CRC1	$\overline{D8}$	crc17	crc16	crc15	crc14	crc13	crc12	crc11	crc10	crc9

5. 应用

可以用一个或多个串行接口在设备之间传输各种视频数据。

□ RGBK-隔行SDTV

BT.799和BT.1303也定义了RGBK串行接口。图6-10中的两个10位RGBK并行数据流使用270或360Mbit/s串行接口进行串行化。

□ 4：2：2 YCbCr-逐行SDTV

ITU-R BT.1362和SMPTE 294M也定义了4：2：2 YCbCr串行接口。图6-12中的这两个10位4：2：2 YCbCr并行数据流用两个270Mbit/s的串行接口进行串行化。

□ 4：2：2 YCbCr-隔行HDTV

BT.1120和SMPTE 292M也定义了一个4：2：2 YCbCr串行接口。图6-13中的两个10位4：2：2 YCbCr并行数据流首先通过复用的方式组合在一起，然后使用1.485Gbit/s或1.4835Gbit/s的串行接口进行串行化。

6.2 专业视频复合接口

数字复合视频本质上是复合模拟（M）NTSC或（B、D、G、H、I）PAL视频信号的数字版本。采样时钟频率为4倍 F_{sc} ：大约为14.32MHz [（M）NTSC] 和17.73MHz [（B、D、G、H、I）

PAL]。

通常，同时可以支持8位和10位接口，对于10位接口，其中2位用于传输视频数据的小数部分，这可以最小化累积处理误差，同时可以支持10位辅助数据。

表6-9列出了数字复合信号的电平。视频数据可以不使用10位值0x000~0x003和0x3FC~0x3FF，或8位值0x00和0xFF，因为这些值要用于传输时序信息。

表6-9 数字复合视频信号的10位视频量化等级

视频量化等级	(M) NTSC	(B、D、G、H、I) PAL
峰值色度	972	1040（限于1023内）
白色	800	844
峰值色同步	352	380
黑色	280	256
消隐	240	256
峰值脉冲	128	128
峰值色度	104	128
同步	16	4

6.2.1 NTSC视频时序

每个扫描线总共有910个采样点，如图6-22所示。水平采样点计数0对应于有效视频数据的起点，水平计数768对应于水平消隐的开始。

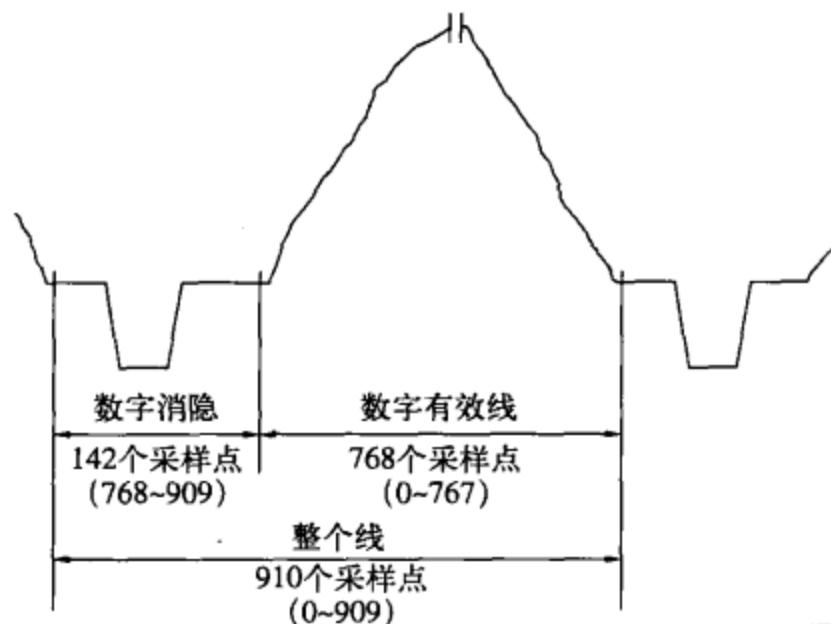


图6-22 数字复合(M) NTSC模拟和数字时序关系

采样是沿着 $\pm I$ 和 $\pm Q$ 轴(33° 、 123° 、 213° 和 303°)进行的。采样相位位于线10的水平计数0处，场1在 $+I$ 轴上(123°)。

图6-23和表6-10至表6-12定义了同步边值和始于同步边值的水平计数。一个色同步周期(burst cycle)具有8位值：45、83、75和37。色同步包络(burst envelope)开始于水平计数857处，持续43个时钟周期，如表6-10所示。注意，并没有对脉冲的峰值幅度进行采样。

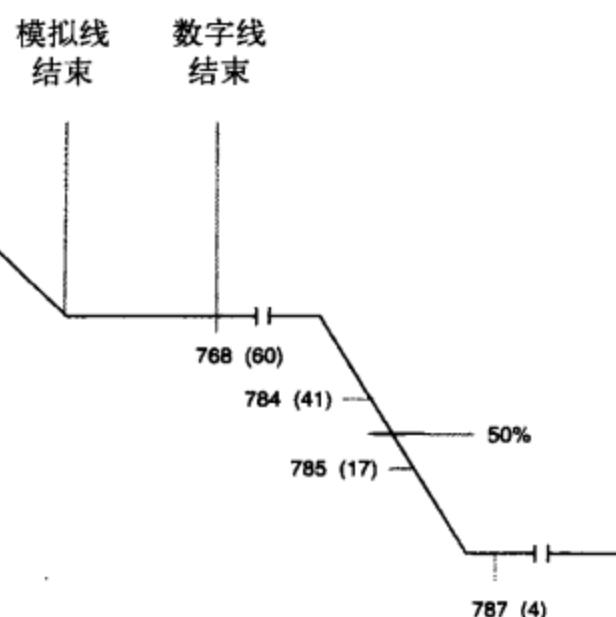


图6-23 数字复合(M) NTSC同步时序。括号中为与8位采样值对应的水平计数

表6-10 在水平消隐期内数字复合(M) NTSC视频数据的数字值

采样点	8位十六进制值		10位十六进制值	
	场1和3	场2和4	场1和3	场2和4
768~782	3C	3C	0F0	0F0
783	3A	3A	0E9	0E9
784	29	29	0A4	0A4
785	11	11	044	044
786	04	04	011	011
787~849	04	04	010	010
850	06	06	017	017
851	17	17	05C	05C
852	2F	2F	0BC	0BC
853	3C	3C	0EF	0EF
854~856	3C	3C	0F0	0F0
857	3C	3C	0F0	0F0
858	3D	3B	0F4	0EC
859	37	41	0DC	104
860	36	42	0D6	10A
861	4B	2D	12C	0B4
862	49	2F	123	0BD
863	25	53	096	14A
864	2D	4B	0B3	12D
865	53	25	14E	092
866	4B	2D	12D	0B3
867	25	53	092	14E
868	2D	4B	0B3	12D
869	53	25	14E	092
870	4B	2D	12D	0B3
871	25	53	092	14E
872	2D	4B	0B3	12D

(续)

采样点	8位十六进制值		10位十六进制值	
	场1和3	场2和4	场1和3	场2和4
873	53	25	14E	092
874	4B	2D	12D	0B3
875	25	53	092	14E
876	2D	4B	0B3	12D
877	53	25	14E	092
878	4B	2D	12D	0B3
879	25	53	092	14E
880	2D	4B	0B3	12D
881	53	25	14E	092
882	4B	2D	12D	0B3
883	25	53	092	14E
884	2D	4B	0B3	12D
885	53	25	14E	092
886	4B	2D	12D	0B3
887	25	53	092	14E
888	2D	4B	0B3	12D
889	53	25	14E	092
890	4B	2D	12D	0B3
891	25	53	092	14E
892	2D	4B	0B3	12D
893	53	25	14E	092
894	4A	2E	129	0B7
895	2A	4E	0A6	13A
896	33	45	0CD	113
897	44	34	112	0CE
898	3F	39	0FA	0E6
899	3B	3D	0EC	0F4
900~909	3C	3C	0F0	0F0

表6-11 数字复合(M) NTSC视频信号场消隐期内的均衡色同步值

场1、3采样点	8位十六进制值	10位十六进制值	场2、4采样点	8位十六进制值	10位十六进制值
768~782	3C	0F0	313~327	3C	0F0
783	3A	0E9	328	3A	0E9
784	29	0A4	329	29	0A4
785	11	044	330	11	044
786	04	011	331	04	011
787~815	04	010	332~360	04	010
816	06	017	361	06	017
817	17	05C	362	17	05C
818	2F	0BC	363	2F	0BC
819	3C	0EF	364	3C	0EF

(续)

场1、3采样点	8位十六进制值	10位十六进制值	场2、4采样点	8位十六进制值	10位十六进制值
820~327	3C	0F0	365~782	3C	0F0
328	3A	0E9	783	3A	0E9
329	29	0A4	784	29	0A4
330	11	044	785	11	044
331	04	011	786	04	011
332~360	04	010	787~815	04	010
361	06	017	816	06	017
362	17	05C	817	17	05C
363	2F	0BC	818	2F	0BC
364	3C	0EF	819	3C	0EF
365~782	3C	0F0	820~327	3C	0F0

表6-12 数字复合(M) NTSC视频信号场消隐期内的锯齿脉冲值

场1、3			场2、4		
采样点	8位十六进制值	10位十六进制值	采样点	8位十六进制值	10位十六进制值
782	3C	0F0	327	3C	0F0
783	3A	0E9	328	3A	0E9
784	29	0A4	329	29	0A4
785	11	044	330	11	044
786	04	011	331	04	011
787~260	04	010	332~715	04	010
261	06	017	716	06	017
262	17	05C	717	17	05C
263	2F	0BC	718	2F	0BC
264	3C	0EF	719	3C	0EF
265~327	3C	0F0	720~782	3C	0F0
328	3A	0E9	783	3A	0E9
329	29	0A4	784	29	0A4
330	11	044	785	11	044
331	04	011	786	04	011
332~715	04	010	787~260	04	010
716	06	017	261	06	017
717	17	05C	262	17	05C
718	2F	0BC	263	2F	0BC
719	3C	0EF	264	3C	0EF
720~782	3C	0F0	265~327	3C	0F0

为了保持OSCH相位，水平计数784开始于线同步下降沿50%之前25.6ns处，而水平计数785在线同步下降沿50%之前44.2ns开始（副载波相位为57°处）。

129

6.2.2 PAL视频时序

除了每帧中有两线是1137个采样点外，其余每线总共有1135个采样点，因此每帧总共有

709 379个采样点。图6-24表示的是典型的线时序。水平计数0对应于有效视频的起点，水平计数948对应于行消隐的开始。

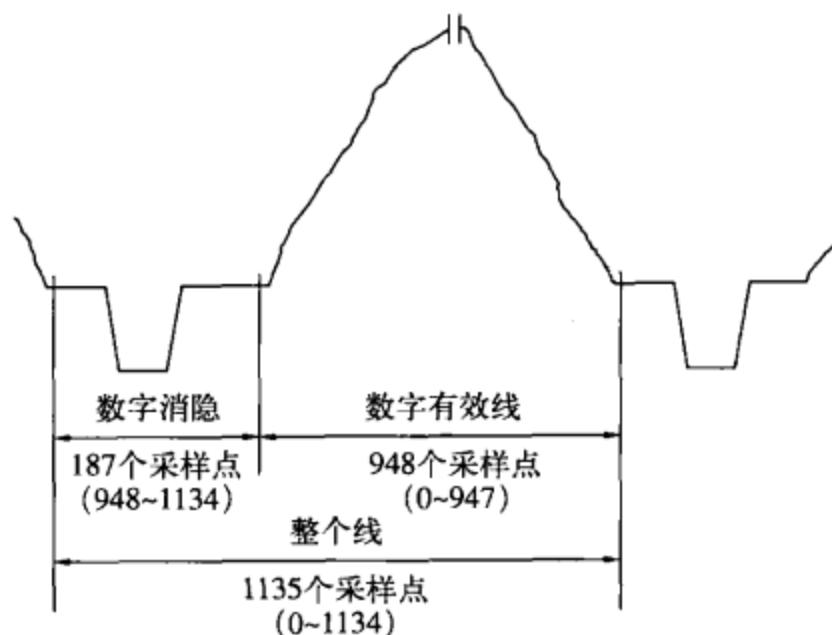


图6-24 数字复合(B、D、G、H、I) PAL模拟和数字时序关系

采样是沿着 $\pm U$ 和 $\pm V$ 轴(0° 、 90° 、 180° 和 270°)进行的，采样相位位于 $+V$ 轴(90°)上场1的线1的水平计数0处。

8位色同步值为95、64、32和64，并不断地重复。摇摆色同步(swinging burst)导致峰值脉冲(32和95)和0脉冲(64)采样点的位置发生改变。色同步包络开始于水平计数1058，持续40个时钟周期。

与(M) NTSC的情况不同，在PAL中，采样不是H-凝聚环的(H-coherent)，因此不同的扫描线之间，同步脉冲的位置是不同的。交替色同步(alternate burst)采样点值为64时的相位定义为0SCH相位。

6.2.3 辅助数据

辅助数据包用于在消隐期内传输信息(如数字音频、字幕和图文数据)。ITU-R BT.1364和SMPTE 291M描述了辅助数据的格式。

辅助数据格式与本章前面讨论的数字分量视频是一样的。然而，没有使用3个字节的前导，而是一个字的辅助数据标志，具有10位的 $3FC_H$ 值。在TRS-ID后也可能有多个辅助数据标志，每个标志都给出了另一个辅助数据包的开始。

辅助数据可以在下面的字编号边界(见图6-25至图6-30)内提供。

NTSC	PAL	
795~849	972~1035	线同步周期
795~815	972~994	均衡色同步周期
340~360	404~426	
795~260	972~302	场同步周期
340~715	404~869	

用户数据可能不使用10位值0x000~0x003和0x3FC~0x3FF，或8位值0x00和0xFF，因为这些值要用于传输时序信息。

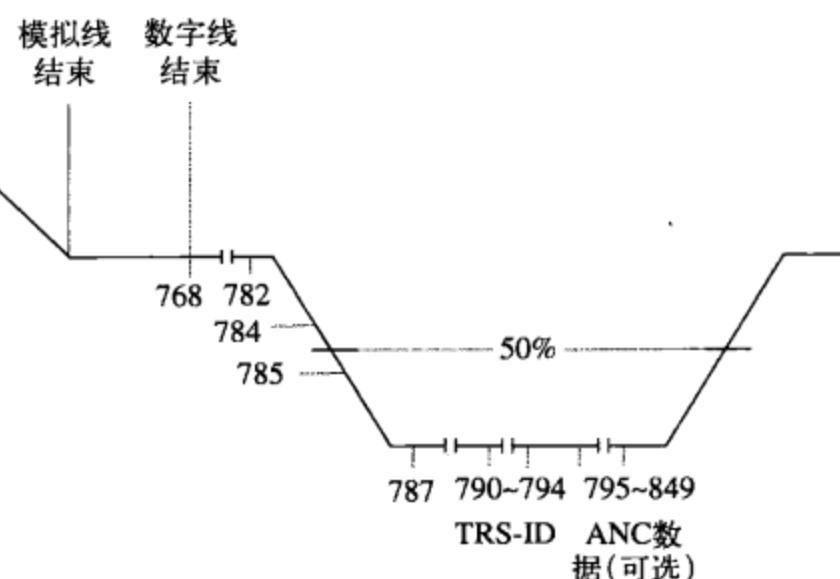


图6-25 在线同步期内 (M) NTSC TRS-ID和辅助数据的位置

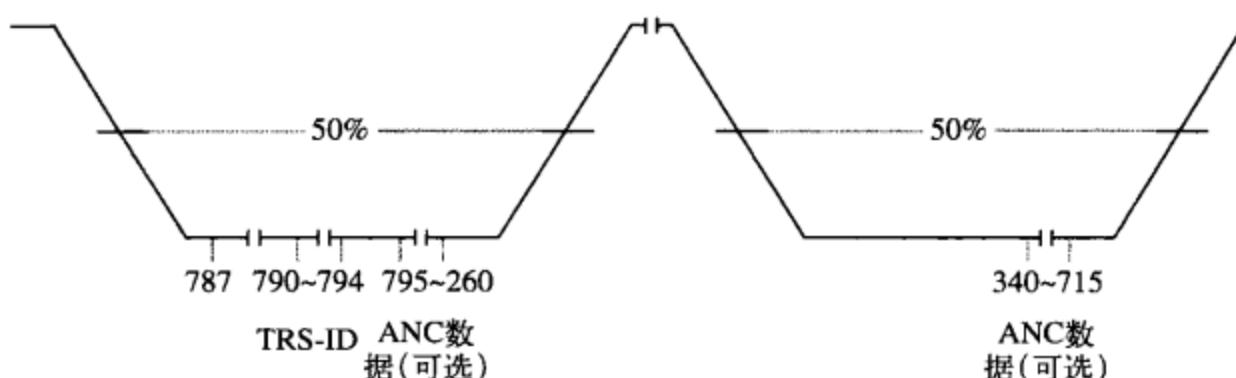


图6-26 在场同步期内 (M) NTSC TRS-ID和辅助数据的位置

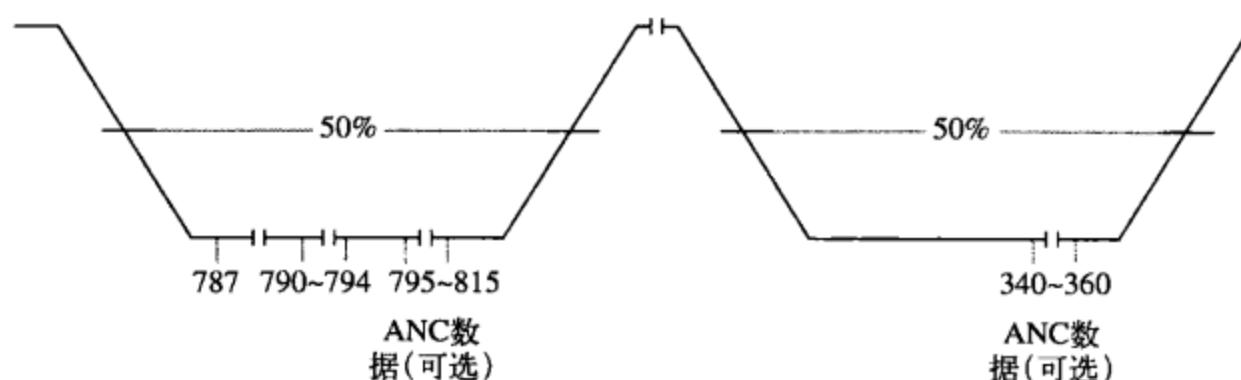


图6-27 在均衡化色同步期内进行 (M) NTSC TRS-ID和辅助数据定位

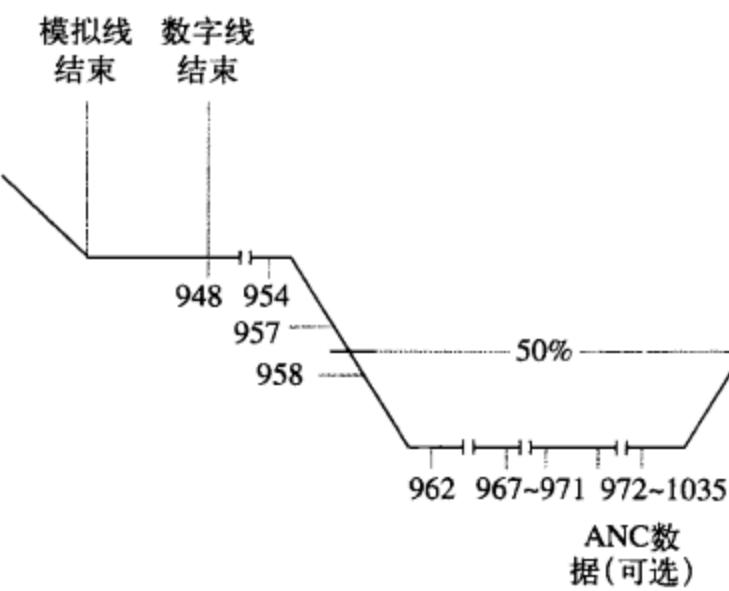


图6-28 在线同步期内进行 (B、D、G、H和I) PAL TRS-ID和辅助数据定位

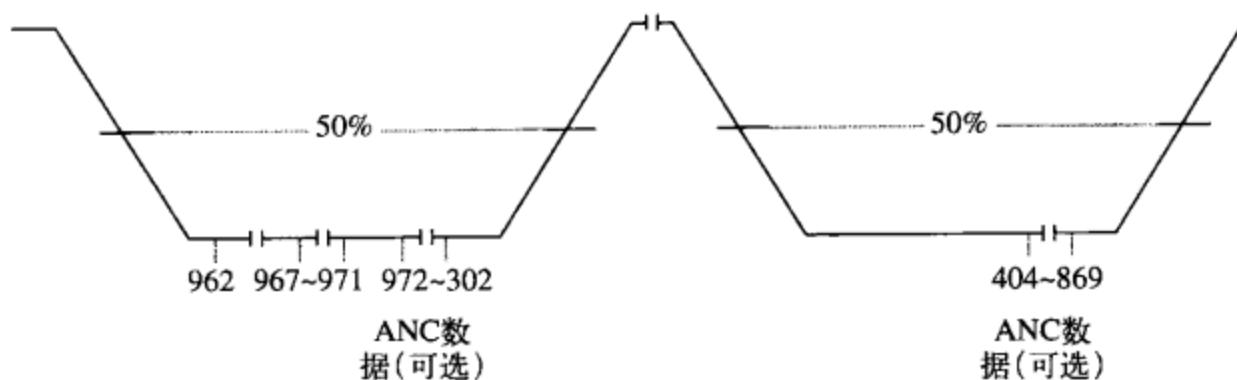


图6-29 在场同步期内进行(B、D、G、H和I)PAL TRS-ID和辅助数据定位

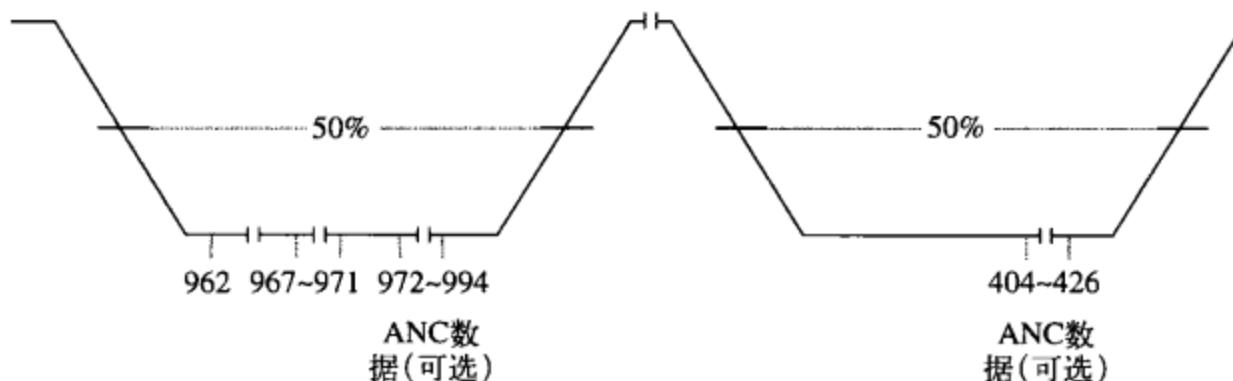


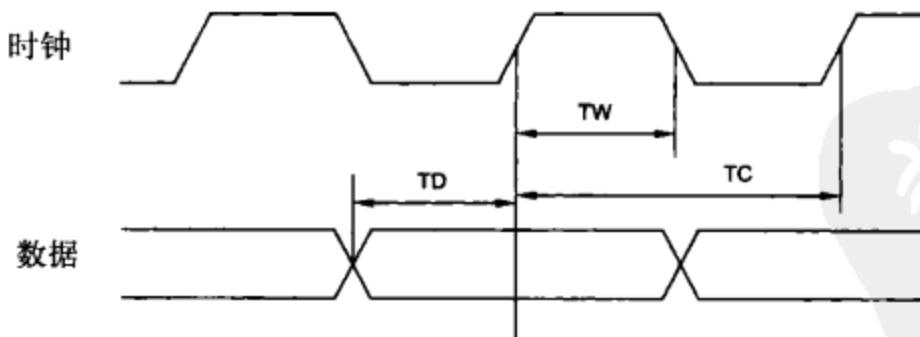
图6-30 在均衡色同步期内进行(B、D、G、H和I)PAL TRS-ID和辅助数据定位

6.2.4 并行接口

这种接口是一种SMPTE 244M的25引脚并行接口，它是基于另一种用于传输27MHz 4：2：2数字视频（见表6-5）接口的，除了时序存在差异外，二者都是相同的。这个接口用于传输SDTV分辨率的数字复合数据。传输的是8位或10位数据和4倍 F_{sc} 时钟信息。

信号电平与ECL兼容的平衡驱动设备和接收设备是兼容的。生成器必须具有平衡输出，其最大源阻抗为 110Ω ，信号在 110Ω 负载上压降的峰间测量值必须为0.8~2.0V。在接收端，传输线必须终止于 $110 \pm 10\Omega$ 的负载。

时钟信号为4倍 F_{sc} 方波，时钟脉冲宽度为 35 ± 5 ns[(M) NTSC]或 28 ± 5 ns[(B、D、G、H、I) PAL]。时钟信号的正跃迁发生在数据跃迁的中点，数据跃迁的误差容限为 ± 5 ns（如图6-31所示）。



$TW = 35 \pm 5$ ns (M)NTSC; 28 ± 5 ns (B, D, G, H, I)PAL
 $TC = 69.84$ ns (M)NTSC; 56.39 ns (B, D, G, H, I)PAL
 $TD = 35 \pm 5$ ns (M)NTSC; 28 ± 5 ns (B, D, G, H, I)PAL

图6-31 数字复合视频并行接口波形

为了可以在50~200m的连接长度上进行可靠的操作，接收端必须使用频率均衡，频率均衡的典型特征见图6-3。这个例子中，有线连接在直到长度为0的各种长度内都可以进行可靠的操作。

6.2.5 串行接口

并行格式可以转换为SMPTE 259M串行格式（图6-32），准许数据通过 75Ω 的同轴电缆（或光纤）进行传输。这类接口将14.32MHz或17.73MHz的并行数据流转换为143Mbit/s或177Mbit/s串行数据流。利用14.32MHz或17.73MHz的时钟信号，10倍PLL可以生成143MHz或177MHz的时钟。

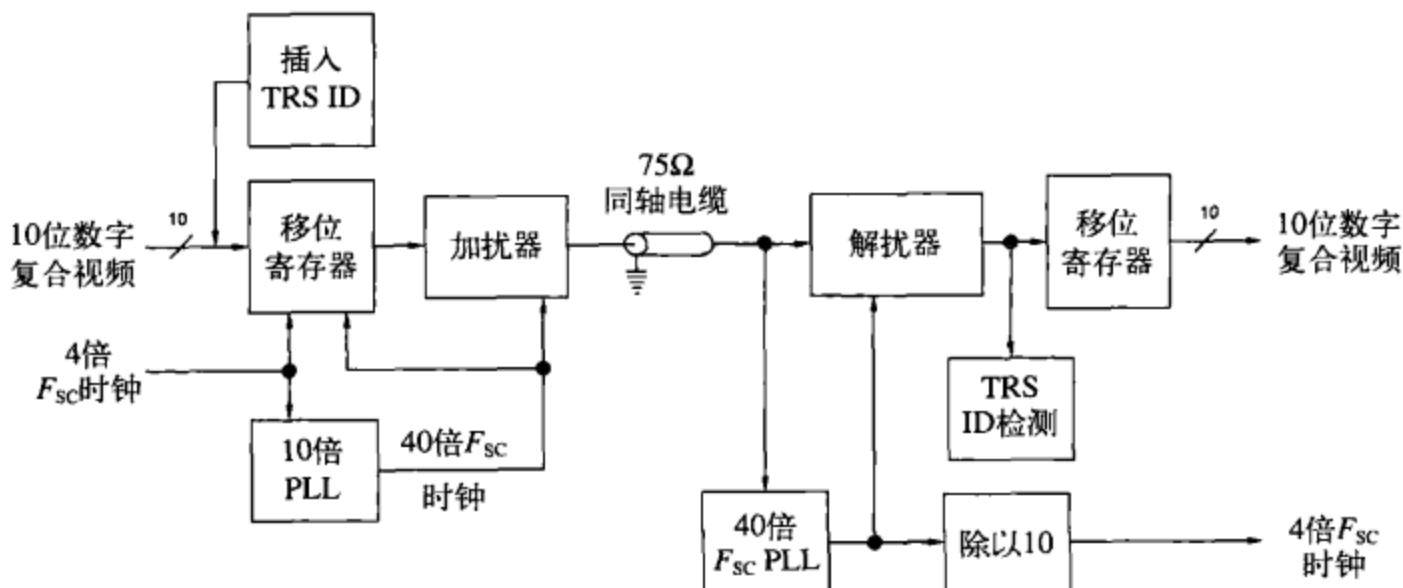


图6-32 串行接口框图

对于有线连接，生成器具有不平衡的输出，其源阻抗为 75Ω ，信号在 75Ω 负载上测得的峰间电压必须为 $0.8 \pm 10\%$ 。接收端的输入阻抗为 75Ω 。

10位数据经过串行化（LSB优先）及加扰和非极化NRZI算法处理：

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

该算法与前面讨论过的数字分量视频所使用的算法是一样的。在8位环境下，串行化之前，8位数据需要在最低数据位上附加2位0。

输入到加扰器（见图6-20）中的信号使用正逻辑（最高电压表示逻辑1；最低电压表示逻辑0）。格式化的串行数据是以40倍 F_{sc} 频率输出的。

在接收端，锁相同步是通过检测TRS-ID序列来完成的。针对每行扫描线，不断地对PLL进行微调以确保能够检测到这些模式，避免发生位跳。恢复的10倍时钟需要除以10来生成4倍的 F_{sc} 采样时钟。串行数据进行高低频率均衡，并进行解扰（见图6-21）和解串行化。

6.2.6 TRS-ID

在使用串行接口时，在线同步时间内，必须在数字视频数据流中插入一个特定的由5字组成的序列，即TRS-ID。TRS-ID仅出现在紧跟同步前沿处，同步前沿指明了水平跃迁，并占据水平计数790~794（包含于NTSC）或967~971（包括于PAL）。表6-13给出了TRS-ID的数据格式；图6-25到图6-30表示的是数字复合（M）NTSC和（B、D、G、H、I）PAL视频信号中TRS-ID的位置。

表6-13 TRS-ID格式

137
139

	D9 (MSB)	D8	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0
TRS字0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
TRS字1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
TRS字2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
TRS字3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
线编号ID	$\overline{D8}$	EP	线编号ID							

注：EP=D0~D7的偶校验。

在水平计数794线(NTSC)或971线(PAL)处,编号ID字的定义见表6-14。

表6-14 水平计数794(NTSC)或971(PAL)处的线编号ID字

D2	D1	D0	(M) NTSC	(B、D、G、H、I) PAL
0	0	0	场1中的1~263线	场1中的1~313线
0	0	1	场2中的264~525线	场2中的314~625线
0	1	0	场3中的1~263线	场3中的1~313线
0	1	1	场4中的264~525线	场4中的314~625线
1	0	0	未使用	场5中的1~313线
1	0	1	未使用	场6中的314~625线
1	1	0	未使用	场7中的1~313线
1	1	1	未使用	场8中的314~625线

由于具有25Hz的偏移，PAL要求相对于水平同步对TRS-ID的位置进行复位，并且要求每个场都要进行一次复位，复位的位置只能在625~4和313~317线中的某一条线上进行。除了用于复位的两线有1137个采样点外，其余所有的线都是1135个采样点。这两个额外采样点的编号为1135和1136，它们的位置在第一个有效图像采样点（采样点0）之前。

由于具有这25Hz的偏移，对每线的采样都要稍微提前。TRS-ID初始位置的确定应该在场1的线1上，或附近的线上完成。TRS-ID的位置总是开始于采样点967处，但由于25Hz的偏移，离同步边沿的距离总是变化的。

6.3 专业视频传输接口

6.3.1 串行数据传输接口

SMPTE 305M和ITU-R BT.1381定义了一个串行数据传输接口（SDTI），该接口能够实现设备之间的数据传输。物理层使用270Mbit/s或360Mbit/s的BT.656、BT.1302和SMPTE 259数字分量视频串行接口。图6-33表示的是这种信号的格式。

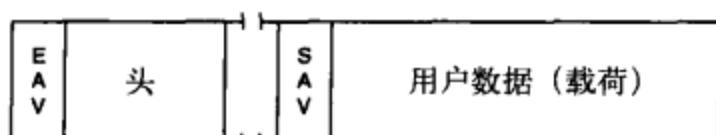


图6-33 SDTI信号格式

紧接EAV序列之后插入一个53字的头，该头指定了信号的源端、目的端和数据格式。表6-15给出了该头的内容。

表6-15 SDTI头结构

(续)

		10位数据										
		D9 (MSB)	D8	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0	
数据ID (DID)		1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
SDID		0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	
数据计数 (DC)		0	0	0	1	0	1	1	1	1	0	
线编号	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	L0	
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	L8	
线编号CRC	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	C0	
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	C9	
编码与AAI		AAI3	AAI2	AAI1	AAI0	CD3	CD2	CD1	CD0			
目标地址	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	DA0	
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	DA8	
	:											
	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	DA120	
源地址	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	SA0	
	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	SA8	
	:											
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	SA120	
块类型	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	BL0	
载荷CRC标识	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	CRCF	
保留	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
保留	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
保留	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
保留	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
保留	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
头CRC	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	C9	
校验和	1	0	数据ID的D0~D8的和直到最后的头CRC字。预设为全0，回车符被忽略									

注：EP=D0~D7的偶校验。

在BT.1381内给出了载荷数据的定义，它是通过基于应用的其他标准（如SMPTE 326M）来定义的。载荷数据可以包含MPEG-2节目或传输流、DV流等，可以使用8位字加上偶校验和D8、或9位字加上D8。

1. 线编号

线编号规定了1~525（480i系统）内或1~625（576i系统）内的一个值。L0为最低有效位。

2. 线编号CRC

线编号CRC应用于整个线编号的数据ID，并针对所有的10位数据。C0为最低有效位。CRC是一个18位的值，初始值设为全1：

$$\text{CRC} = x^{18} + x^5 + x^4 + x^1$$

3. 编码与AAI

4位编码值（CD3~CD0）指定了载荷（包含在SAV和EAV序列之间的用户数据）的长度：

0000 4:2:2 YCbCr视频数据

0001 1440字的载荷（使用270Mbit/s接口）

0010 1920字的载荷（使用360Mbit/s接口）

1000 143Mbit/s数字复合视频

4位授权地址标识符（AAI）值，AAI3~AAI0，指定了目的端和源端的地址格式：

0000 未指定格式

0001 IPv6地址

4. 目的地址与源地址

目的地址和源地址指定了目的设备和源设备的地址。当所有的地址为0，并且AAI3~AAI0=0时，代表的是所有的地址（广播地址）。

5. 块类型

块类型值指定了载荷的划分。BL7~BL6表示的是载荷块的结构：

00 不带ECC的固定块大小

01 带ECC的固定块大小

10 未指定

11 可变块大小

BL5~BL0表示的是块大小固定的分块。大小可变的块由BL7~BL0表示，其值为11000001。

[143] ECC格式是与特定应用相关的。

6. 载荷CRC标志

CRCF位指示在载荷的结尾是否提供载荷CRC：

0 不提供CRC

1 提供CRC

7. 头CRC

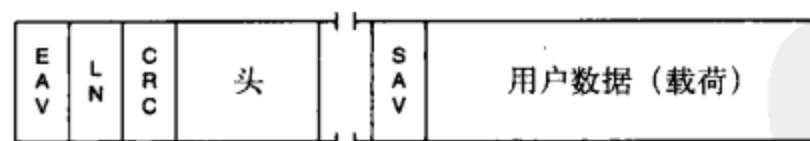
头CRC用于直至最后保留数据字的所有编码和AAI字，针对整个10位数据。C0为最低有效位。它为一个18位的值，初值设为全1：

$$\text{CRC} = x^{18} + x^5 + x^4 + x^1$$

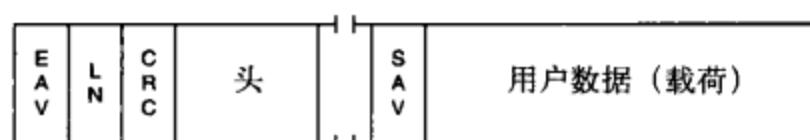
6.3.2 高数据率串行数据传输接口

SMPTE 384M和ITU-R BT.1577定义了一个高数据率串行传输接口（HD-SDTI），使得可以在设备之间传输数据。物理层（physical layer）使用1.485（或1.485/1.001）Gbit/s的SMPTE 292M数字分量视频串行接口。

图6-34表示的是信号格式。两个数据通道通过复用的方式形成一个单一的HD-SDTI数据流，使得一个74.25（或74.25/1.001）MHz的数据流占据Y数据空间，另外一个74.25（或74.25/1.001）MHz数据流占据CbCr数据空间。



C通道



Y通道

图6-34 HD-SDTI信号格式。LN=线编号（两个10位的字），CRC=线编号CRC（两个10位的字）

在线编号CRC数据之后紧接着插入一个49字的头，该头指定了源地址、目的地址和数据格式。表6-16给出了头的内容。

表6-16 HD-SDTI头格式结构

	10位数据									
	D9 (MSB)	D8	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0
辅助数据标识 (ADF)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
数据ID (DID)	$\overline{D8}$	EP	0	1	0	0	0	0	0	0
SDID	$\overline{D8}$	EP	0	0	0	0	0	0	1	0
数据计数 (DC)	$\overline{D8}$	EP	0	0	1	0	1	0	1	0
编码和AAI	$\overline{D8}$	EP	AAI3	AAI2	AAI1	AAI0	CD3	CD2	CD1	CD0
目标地址	$\overline{D8}$	EP	DA7	DA6	DA5	DA4	DA3	DA2	DA1	DA0
	$\overline{D8}$	EP	DA15	DA14	DA13	DA12	DA11	DA10	DA9	DA8
	⋮									
源地址	$\overline{D8}$	EP	SA127	SA126	SA125	SA124	SA123	SA122	SA121	SA120
	$\overline{D8}$	EP	SA7	SA6	SA5	SA4	SA3	SA2	SA1	SA0
	$\overline{D8}$	EP	SA15	SA14	SA13	SA12	SA11	SA10	SA9	SA8
⋮										
块类型	$\overline{D8}$	EP	BL7	BL6	BL5	BL4	BL3	BL2	BL1	BL0
载荷CRC标识	$\overline{D8}$	EP	0	0	0	0	0	0	0	0
保留	$\overline{D8}$	EP	0	0	0	0	0	0	0	0
保留	$\overline{D8}$	EP	0	0	0	0	0	0	0	0
保留	$\overline{D8}$	EP	0	0	0	0	0	0	0	0
保留	$\overline{D8}$	EP	0	0	0	0	0	0	0	0
保留	$\overline{D8}$	EP	0	0	0	0	0	0	0	0
头CRC	$\overline{D8}$	C8	C7	C6	C5	C4	C3	C2	C1	C0
	$\overline{D8}$	C17	C16	C15	C14	C13	C12	C11	C10	C9
校验和	$\overline{D8}$	数据ID的D0~D8的和直到最后的头CRC字。预设为全0；回车符被忽略								

注：EP=D0~D7的偶校验。

载荷数据是通过其他与应用相关的标准进行定义的。它可能由MPEG-2节目或传输流、DV数据流等组成，使用8位字加上偶校验位和 $\overline{D8}$ 组成或9位字加上 $\overline{D8}$ 组成。

1. 编码和AAI

4位编码值 (CD3~CD0) 指定了载荷的长度 (用户数据包含在SAV和EAV序列之间)：

0000 4 : 2 : 2 YCbCr视频数据

0001 1440字的载荷

0010 1920字的载荷

0011 1280字的载荷

1000 143Mbit/s数字复合视频

1001 2304字的载荷 (扩展模式)

1010 2400字的载荷 (扩展模式)

1011 1440字的载荷 (扩展模式)

1100 1728字的载荷 (扩展模式)

144
147

- 1101 2880字的载荷（扩展模式）
- 1110 3456字的载荷（扩展模式）
- 1111 3600字的载荷（扩展模式）

扩展模式将SAV序列的时序提前了，缩短了消隐期，因此，载荷数据率保持固定不变的129.6（或 $129.6/1.001$ ）Mbit/s。

4位授权地址标识（AAI）的格式与SDTI一样。

2. 目的地址和源地址

目的地址和源地址的格式与SDTI是一样的。

3. 块类型

块类型格式与SDTI是一样的。

4. 头CRC

头CRC应用于DID直到最后一个保留数据字，针对整个10位数据。C0为最低有效位。块类型为一个18位的值，其初值设为全1：

$$\text{CRC} = x^{18} + x^5 + x^4 + x^1$$

6.4 IC分量接口

在芯片之间传输数字视频的方案源于专业视频互连标准。典型情况下，针对专业视频应用的芯片都支持每个分量10位或12位的数据。而针对消费类市场的芯片典型情况下每个视频分量使用8位数据。BT.601和BT.656为最流行的接口。

6.4.1 YCbCr值：8位数据

Y的标称取值范围为 $0x10\sim0xEB$ 。小于 10_H 和大于 $0xEB_H$ 的值由于处理的缘故也可以提供。Cb和Cr的标称取值范围为 $0x10\sim0xF0$ 。小于 $0x10$ 和大于 $0xF0$ 的值由于处理的缘故也可以提供。YCbCr数据可能不使用值 00_H 和 FF_H ，因为它们要用于存放时序信息。

在消隐期内，如果没有提供其他数据，那么数据Y的值应该为 $0x10$ ，数据CbCr的值应该为 $0x80$ 。

6.4.2 YCbCr值：10位数据

如果要求具有更高的准确度，典型情况下，专业视频解决方案采用10位的CbCr数据。Y的标称取值范围为 $0x040\sim0x3AC$ 。由于处理的需要，小于 $0x040$ 和大于 $0x3AC$ 的值也可能被采用。Cb和Cr的标称取值范围为 $040_H\sim3C0_H$ 。由于处理的需要，小于 $0x040$ 和大于 $0x3C0$ 的值也可能被采用。值 $0x000\sim0x003$ 和 $0x3FC\sim0x3FF$ 可能不会使用，这是为了避免与8位系统的时序内容冲突。

在消隐期内，如果没有提供其他的信息，数据Y的值应该为 $0x00$ ，数据CbCr的值应该为 $0x200$ 。

6.4.3 RGB值：8位数据

典型情况下，消费解决方案使用8位RG'B数据，表示范围为 $0x10\sim0xEB$ （注意，典型情况下PC使用的范围为 $0x00\sim0xFF$ ）。由于处理的缘故，小于 $0x10$ 和大于 $0xEB$ 的值也可能要提供。

在消隐期内，如果没有提供其他的信息，RG'B数据的应该为 $0x10$ 。

6.4.4 RGB值：10位数据

为了获得更高的准确度，专业视频标准典型情况下使用10位的RG'B数据，标称取值范围为

0x040~0x3AC。由于处理的缘故，也可能需要提供小于0x040和大于0x3AC的值。值0x000~0x003和0x3FC~0x3FF可能不会使用，这是为了避免与8位系统的时序信息冲突。

在消隐期内，如果没有提供额外的数据，那么RGB数据的值应该为0x040。

6.4.5 BT.601视频接口

BT.601视频接口已经使用了多年，它具有控制信号的名称和反映视频标准的时序。所支持的分辨率和采样时钟频率取决于视频标准和宽高比。

设备通常支持多种数据格式，以简化在广泛领域内的使用。

1. 视频数据格式

24位4：4：4 YCbCr数据格式见图6-35。Y、Cb和Cr各有8位，三者以相同的速率进行采样，因此每个采样时钟周期产生24位数据。典型情况下，专业视频解决方案使用30位接口，Y、Cb和Cr数据流每个具有10位。Y0、Cb0和Cr0为最低有效位。

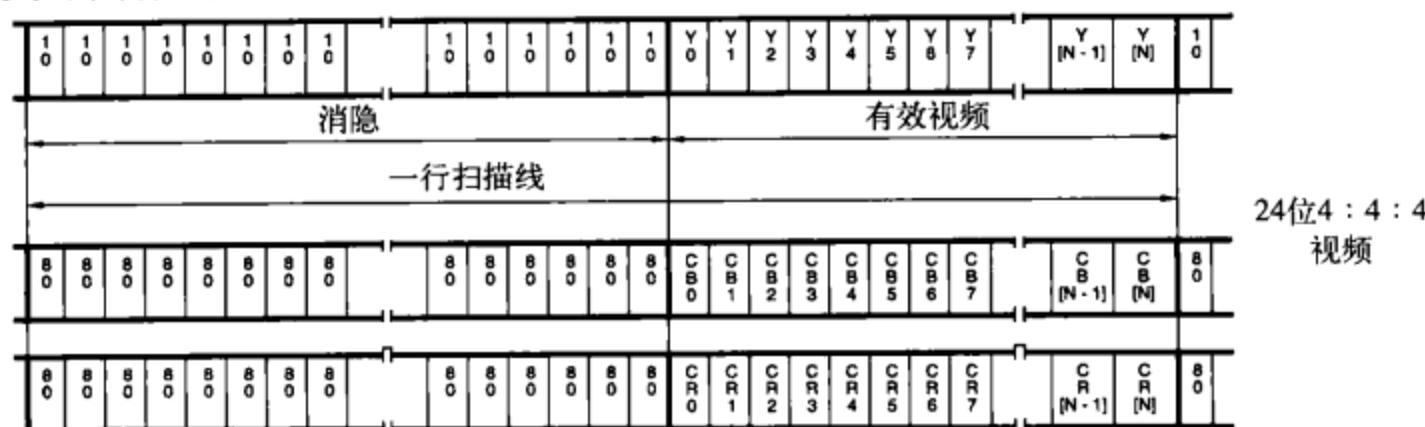


图6-35 24位4：4：4 YCbCr数据格式

16位4：2：2 YCbCr数据格式见图6-36。Cb和Cr以Y的采样率的一半速率进行采样，然后通过复用的方式组合在一起。每个有效字的CbCr数据流总是开始于Cb采样点。典型情况下，专业视频解决方案使用20位接口，Y和CbCr数据流各占10位。

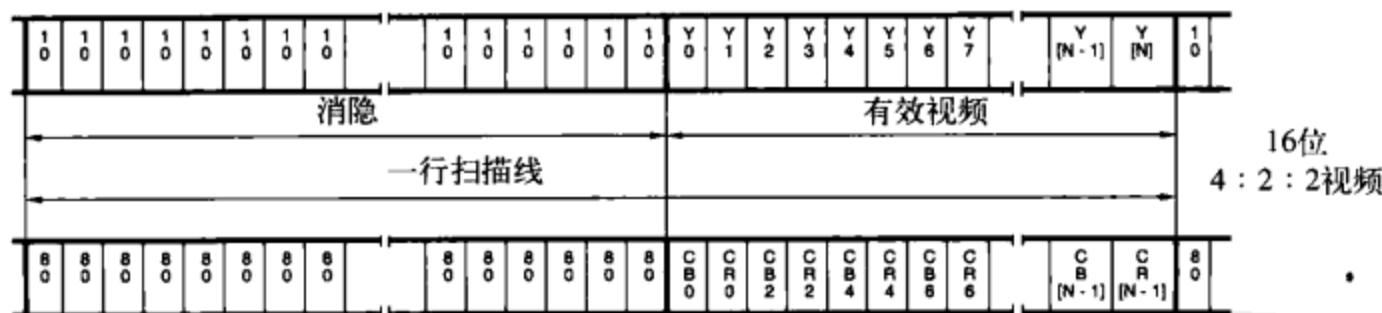


图6-36 16位4：2：2 YCbCr数据格式

8位4：2：2 YCbCr数据格式见图6-37。来自于16位4：2：2 YCbCr数据流的Y和CbCr数据流简单地以2倍采样时钟频率进行复用。有效数据流的YCbCr数据流总是开始于Cb采样点。典型情况下，专业视频解决方案使用10位接口。

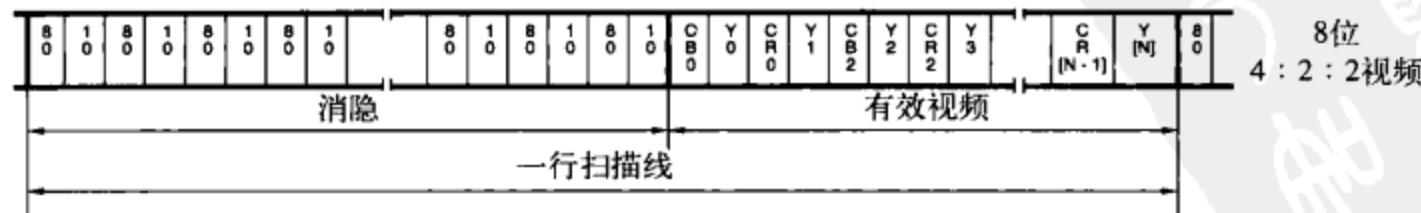


图6-37 8位4：2：2 YCbCr数据格式

表6-17和表6-18表示的是15位RGB、16位的RGB和24位的RGB格式。对于15位的RGB格式，没有使用的位有时被用于alpha信息。R0、G0和B0为最低有效位。

表6-17 在12位、16位和24位接口上传输YCbCr和RGB数据。^{*}很多设计选择使用红色通道来传输复用CbCr数据

24位RGB		16位RGB (5、6、5)	15位RGB (5、5、5)	24位4：4：4 YCbCr		16位4：2：2 YCbCr*	8位4：2：2 YCbCr
单时钟边沿	双时钟边沿			单时钟边沿	双时钟边沿		
R7				Cr7			
R6				Cr6			
R5				Cr5			
R4				Cr4			
R3				Cr3			
R2				Cr2			
R1				Cr1			
R0				Cr0			
G7		R4	—	Y7		Y7	Cb7, Y7, Cr7
G6		R3	R4	Y6		Y6	Cb6, Y6, Cr6
G5		R2	R3	Y5		Y5	Cb5, Y5, Cr5
G4		R1	R2	Y4		Y4	Cb4, Y4, Cr4
G3	G3	R7	R0	Y3	Y3	Cr7	Cb3, Y3, Cr3
G2	G2	R6	G5	Y2	Y2	Cr6	Y2
G1	G1	R5	G4	Y1	Y1	Cr5	Y1
G0	G0	R4	G3	Y0	Y0	Cr4	Y0
B7	B7	R3	G2	G2	Cb7	Cr3	Cb7, Cr7
B6	B6	R2	G1	G1	Cb6	Cr2	Cb6, Cr6
B5	B5	R1	G0	G0	Cb5	Cr1	Cb5, Cr5
B4	B4	R0	B4	B4	Cb4	Cr0	Cb4, Cr4
B3	B3	G7	B3	B3	Cb3	Y7	Cb3, Cr3
B2	B2	G6	B2	B2	Cb2	Y6	Cb2, Cr2
B1	B1	G5	B1	B1	Cb1	Y5	Cb1, Cr1
B0	B0	G4	B0	B0	Cb0	Y4	Cb0, Cr0

表6-18 在32位接口上传输YCbCr和RGB数据

24位RGB	16位RGB (5、6、5)	15位RGB (5、5、5)	24位4：4：4 YCbCr	16位4：2：2 YCbCr	8位4：2：2 YCbCr
	R4	—		Y7	
	R3	R4		Y6	
	R2	R3		Y5	
	R1	R2		Y4	
	R0	R1		Y3	
	G5	R0		Y2	
	G4	G4		Y1	
	G3	G3		Y0	
R7	G2	G2	Cr7	Cb7, Cr7	
R6	G1	G1	Cr6	Cb6, Cr6	

(续)

24位RGB	16位RGB (5、6、5)	15位RGB (5、5、5)	24位4：4：4 YCbCr	16位4：2：2 YCbCr	8位4：2：2 YCbCr
R5	G0	G0	Cr5	Cb5, Cr5	
R4	B4	B4	Cr4	Cb4, Cr4	
R3	B3	B3	Cr3	Cb3, Cr3	
R2	B2	B2	Cr2	Cb2, Cr2	
R1	B1	B1	Cr1	Cb1, Cr1	
R0	B0	B0	Cr0	Cb0, Cr0	
G7	R4	—	Y7	Y7	Cb7, Y7, Cr7
G6	R3	R4	Y6	Y6	Cb6, Y6, Cr6
G5	R2	R3	Y5	Y5	Cb5, Y5, Cr5
G4	R1	R2	Y4	Y4	Cb4, Y4, Cr4
G3	R0	R1	Y3	Y3	Cb3, Y3, Cr3
G2	G5	R0	Y2	Y2	Cb2, Y2, Cr2
G1	G4	G4	Y1	Y1	Cb1, Y1, Cr1
G0	G3	G3	Y0	Y0	Cb0, Y0, Cr0
B7	G2	G2	Cb7	Cb7, Cr7	
B6	G1	G1	Cb6	Cb6, Cr6	
B5	G0	G0	Cb5	Cb5, Cr5	
B4	B4	B4	Cb4	Cb4, Cr4	
B3	B3	B3	Cb3	Cb3, Cr3	
B2	B2	B2	Cb2	Cb2, Cr2	
B1	B1	B1	Cb1	Cb1, Cr1	
B0	B0	B0	Cb0	Cb0, Cr0	

2. 控制信号

除了视频数据外，还有4个控制信号：

HSYNC# (或HREF)	水平同步
VSYNC# (或VREF)	场同步
BLANK# (或ACTIVE)	消隐
CLK	1倍或2倍采样时钟

对于8位和10位4：2：2 YCbCr数据格式，CLK为2倍采样时钟速率。对于其他的数据格式，CLK为1倍采样时钟速率。在信号源端，控制信号和视频数据紧接着CLK的上升沿输出。在信号接收端，控制信号和视频数据在CLK上升沿进行采样。

当BLANK#为否时，提供的是有效的RGBC或YCbCr视频数据。

在每行扫描线的水平同步时间内，声明HSYNC#同步，其前沿表示新扫描线的开始。HSYNC#声明的时间量通常与视频标准规定的量是一样的。

在每个场或帧的场同步时间内，声明VSYNC#同步，其前沿表示新的场或帧的开始。VSYNC#声明的扫描线编号通常与视频标准的规定是一样的。

对于隔行视频，如果VSYNC#和HSYNC#的前沿是一致的，那么，该场就为场1。如果VSYNC#的前沿位于中线上，该场就是场2。对于非隔行视频，VSYNC#的前沿表示新帧的开始。图6-38给出了HSYNC#和VSYNC#之间的典型关系。

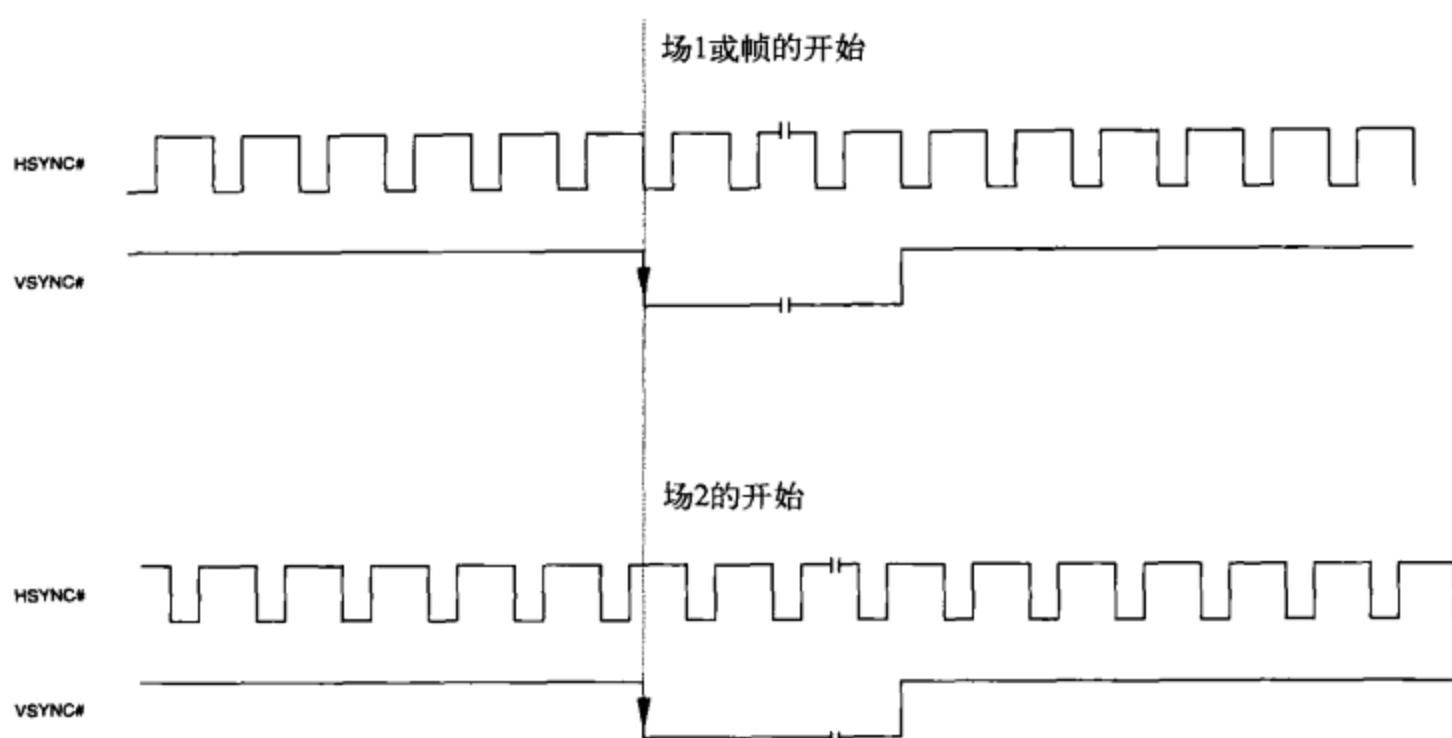


图6-38 HSYNC#和VSYNC#之间的典型关系（没有缩放）。有些产品使用不同的信号名称（如HREF、VREF和ACTIVE），不同的极性和稍微不同的时序

有些产品使用不同的信号名称（如HREF、VREF和ACTIVE）、不同的极性和稍微不同的信号时序。有些产品同时使用时钟的两个边沿也可以传输数据和控制信息，以减少引脚的数量或使得能够处理HDTV的数据率而不需要增加引脚数量。

3. 与接收端相关的注意事项

不应该对每线的采样点数量或行消隐期做出假设。否则，在源端的实现可能不起作用。

为了确保各种信号源之间的兼容，水平计数器应该通过HSYNC#的前沿进行复位，而不是通过BLANK#的后沿来复位。

为了处理现实中的信号源，接收端应该使用一个时间窗来检测提供的是场1还是场2。例如，如果VSYNC#的前沿出现在HSYNC#前沿的1个时钟周期的±64内，那么该场为场1。否则该场为场2。

有些视频源使用小于0x10的8位数据Y的值来标识同步时序。然而，大多数视频IC并不是这样。另外，为了准许现实世界的视频和测试信号可以以最小的干扰通过，现在许多IC准许数据Y在有效视频期间具有小于0x10的值。这样，接收端在Y通道提供同步时序的设计假定就可能不再成立。

6.4.6 视频模块接口

VMI（视频模块接口）的建立是为了与几个多媒体IC制造商合作。其目的是使得设备之间的视频接口标准化，如MPEG解码器、NTSC/PAL解码器和图形芯片。

1. 视频数据格式

VMI规范规定了8位的4:2:2 YCbCr数据格式，如图6-39所示。很多设备也支持其他的YCbCr和RGB格式，这些已经在6.4.5节讨论过。

2. 控制信号

除了视频数据外，还有4种控制信号：

HREF	水平消隐
VREF	场同步
VACTIVE	有效视频
PIXCLK	2倍采样时钟频率

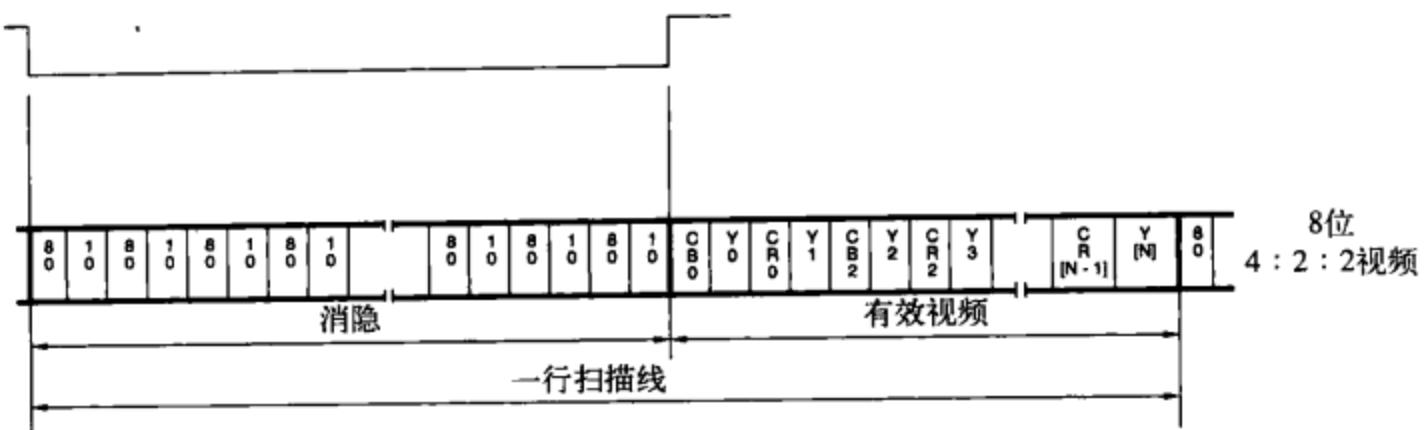


图6-39 一行扫描线的VMI 8位4:2:2 YCbCr数据

对于8位和10位的4:2:2 YCbCr数据格式，PIXCLK为2倍采样时钟频率。对于其他的数据格式，PIXCLK为1倍的采样时钟频率。在源端，控制信号和视频数据紧接着PIXCLK的上升沿输出。在接收端，在PIXCLK的上升沿对控制信号和视频数据进行采样。

当VACTIVE声明为有效时，提供的是有效RGB或YCbCr视频数据。尽管以VACTIVE传输是准许的，但它主要是为了可以利用硬件机制来获取视频数据。对于不支持VACTIVE信号的系统，HREF通常可以以最小的功能代价连入VACTIVE。

为了支持不生成线锁时钟的视频源，也可以使用DVALID#（数据有效）信号。当DVALID#声明为有效时，提供的就是有效数据。

在每行扫描线的有效视频时间内（包括在场消隐期内）声明HREF。

在场同步开始之后经过一半扫描线时，VREF被声明为6倍扫描线时间。

对于隔行视频，VREF的后沿用于对HREF采样。如果HREF声明位有效，那么，该场就为场1，如果HREF声明位无效，那么该场为场2。对于逐行视频，VREF的前沿表示新帧的开始。图6-40表示的是HREF和VREF的典型关系。

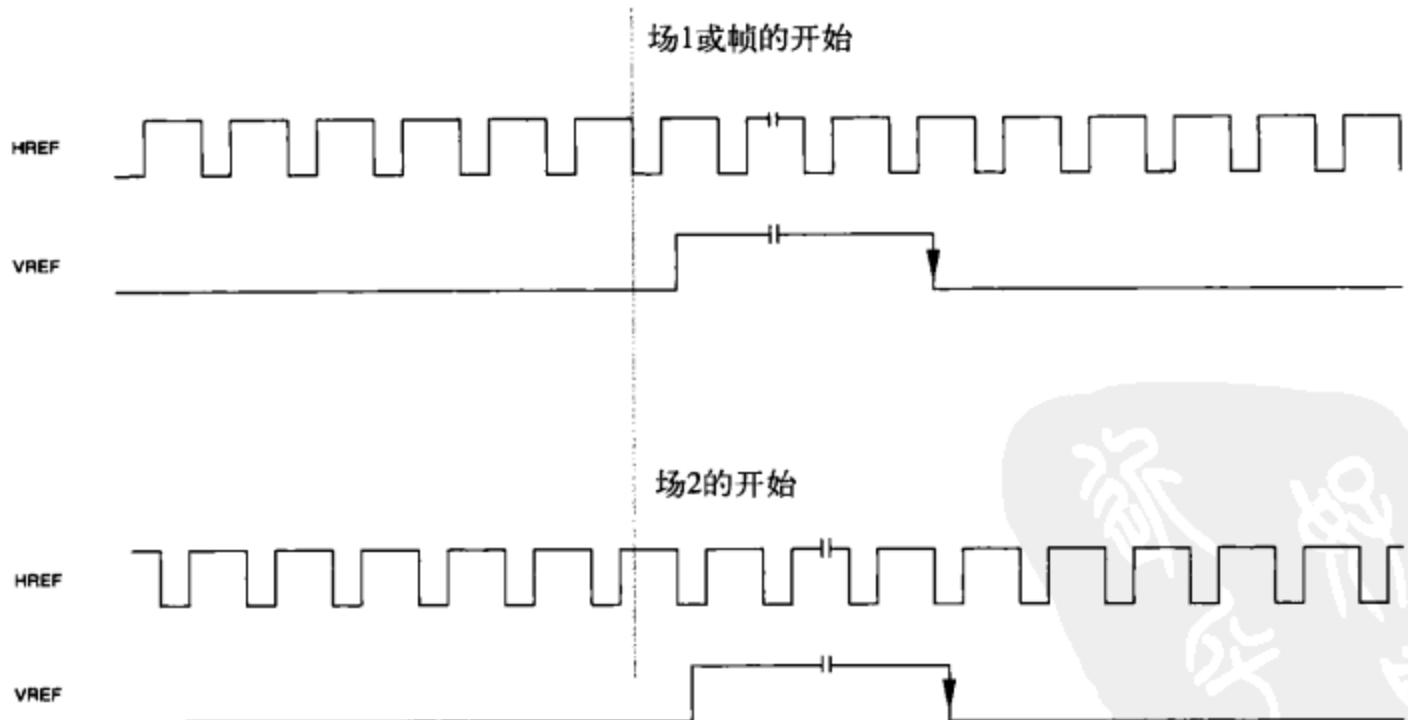


图6-40 VMI中HREF与VREF的典型关系（没有缩放）

3. 关于接收端的注意事项

不应该对每线采样点的数量和行消隐期做出假设。否则，针对所有的源时可能会不起作用。视频数据的输入设置和保持时间为5ns和0ns，这是相对于PIXCLK的上升沿的值。

ACTIVE的输入设置和保持时间分别为5ns和0ns，这是相对于PIXCLK的上升沿的值。

HREF和VREF的输入设置和保持时间分别为5ns和5ns，这是相对于PIXCLK的上升沿的值。

6.4.7 BT.656接口

用于IC（集成电路）的BT.656接口是基于专业视频的BT.656类并行接口的，已经在本章前面讨论过BT.656类并行接口（图6-1和图6-9）。使用EAV和SAV序列来指示视频时序，减少了所需的引脚数量。用于通用视频格式的H、V和F信号时序见第4章。

BT.656接口使用的是标准的IC信号电平和时序，并支持任意的分辨率。

1. 视频数据格式

BT.656接口使用的是8位或10位4：2：2 YCbCr数据，见图6-1和图6-6。尽管源端可以在EAV和SAV序列中生成4个保护位，但基于芯片之间点到点传输的可靠性，接收端也可以选择忽略它们。

2. 控制信号

CLK为2倍采样时钟频率。在源端，视频数据紧跟CLK的上升沿输出。在接收端，在CLK的上升沿对视频数据进行采样。

为了能够处理HDTV数据传输率，有些设计使用16位或20位YCbCr的接口（本质上是两个BT.656数据流，一个为数据Y，一个为CbCr数据）或使用时钟的两个边沿传输数据。

6.4.8 缩放视频端口

这是针对笔记本电脑的一个早期标准，缩放视频端口（ZV端口）是PC卡主机适配器和图形控制器之间的点到点单向总线。它使得视频数据可以直接实时地从PC卡传输到图形帧缓存。

PC卡主机适配器具有特定的多媒体模式配置。如果非ZV的PC卡插入扩展槽，主机适配器不会切换到多媒体模式，PC卡以预期的方式工作。一旦ZV卡插入，主适配器将切换到多媒体模式，引脚的功能指派也发生了变化。如表6-19所示，PC卡信号A6~A25、SPKR#、INPACK#和IOIS16#被ZV端口视频信号（Y0~Y7、CbCr0~CbCr7、HREF、VREF和PCLK）以及4通道的音频信号（MCLK、SCLK、LRCK和SDATA）所替换。

表6-19 PC卡与ZV端口信号指派

PC卡信号	ZV端口信号	PC卡信号	ZV端口信号	PC卡信号	ZV端口信号
A25	CbCr7	A17	Y1	A9	Y0
A24	CbCr5	A16	CbCr2	A8	Y2
A23	CbCr3	A15	CbCr4	A7	SCLK
A22	CbCr1	A14	Y6	A6	MCLK
A21	CbCr0	A13	Y4	SPKR#	SDATA
A20	Y7	A12	CbCr6	IOIS16#	PCLK
A19	Y5	A11	VREF	INPACK#	LRCK
A18	Y3	A10	HREF		

1. 视频数据格式

视频数据格式使用的是16位4：2：2 YCbCr数据，如图6-36所示。

2. 控制信号

除了视频数据外，还有3个控制信号：

HREF 水平参考

VREF 场同步

PCLK 1倍采样时钟频率

HREF、VREF和PCLK与本章前面讨论过的VMI接口具有同样的时序。

6.4.9 视频接口端口

VESA VIP（视频接口端口）规范是对前面讨论过的针对IC的BT.656接口的一个增强。尽管这个概念可以很容易地用于其他的应用，但其基本应用就是将最多4种设备接入图形控制芯片。

这类接口有三个部分。

主接口：

VIPCLK	主时钟
HAD0~HAD7	主地址/数据总线
GCTL	主控制

视频接口：

PIXCLK	视频采样时钟
VID0~VID7	低位视频数据总线
VIDA、VIDB	10位数据扩展
XPIXCLK	视频采样时钟
XVID0~XVID7	高位视频数据总线
XVIDA、XVIDB	10位数据扩展

系统接口：

VRST#	复位
VIRQ#	中断请求

主接口信号由图形控制器提供。实际上使用的是PCI接口的2、4或8位的版本。VIPCLK的频率范围为25~30MHz。PIXCLK和XPIXCLK的最高频率分别为75MHz和80MHz。

视频接口

与BT.656接口一样，视频接口需要在8位或10位的4：2：2 YCbCr视频流中插入特定的4字序列，来指示有效视频的开始（SAV）和有效视频的结束（EAV）。这些序列也指示什么时候提供水平和场消隐，以及传输的是哪一个场。

VIP对BT.656 EAV和SAV序列进行了修改，见表6-20。BT.656在状态位中使用了4个保护位（P0~P3），因为BT.656是为设备之间的长缆线连接而设计的。对于芯片到芯片的互连，这种保护是没有必要的，因此，这些数据位就被用于别的用途了。一般的通用视频格式中，H、V和F信号的时序在第4章已经介绍过了。VIP的状态字定义如下：

T=0, 任务B时	T=1, 任务A时
F=0, 场1时	F=1, 场2时
V=1, 在垂直消隐期内	
H=0, 处于SAV时	H=1, 处于EAV时

任务位T是可以通过编程来改变的。如果要求与BT.656兼容，那么任务位就应该总是为1。否则，它可能会被用于指示提供的数据流是两个数据流中的哪一个：流A=1或流B=0。另外一种替代方式是，当提供2倍过采样VBI数据时，T可以为0，否则T就为1。

表6-20 VIP EAV和SAV序列

	8位数据							
	D7 (MSB)	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0
前导帧	1	1	1	1	1	1	1	1
	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0
状态字	T	F	V	H	N	R	0	E

逐行位 (N) 指示视频源是逐行 (1) 还是隔行的 (0)。

如果当前场为重复场, 那么重复位R为1。这种情况只会出现在3:2下拉 (pull-down) 期。重复位 (R) 与非重复位 (N) 是共同起作用的, 这使得图形控制器在硬件中处理单场插值和场合并可以与3:2下拉 (将在第7章进一步讨论) 一样好。

158 如果在EAV后有另外一个字节的数据, 那么额外标志位 (extra flag bit) E就为1。表6-21给出了该额外标志字节。仅在EAV期间该位有效。如果在额外字节中的位E为1, 那么紧接着就再有一个额外的字节。这样就可以根据需要附加任意多的字节, 并通过这种链的方式链接在一起。

表6-21 VIP EAV附加字节

		8位数据							
		D7 (MSB)	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0
附加字节	DD	由用户定义							E

与专业视频接口不同, 编码0x00可以在有效视频数据期内使用, 用它来指示无效的视频采样点。因此这可以用于包容缩放视频和方块像素时序。

□ 视频数据格式

在8位模式下 (见图6-41), 除了前面提到的差异外, 视频接口与BT.656是类似的。XVID0~XVID7没有使用。

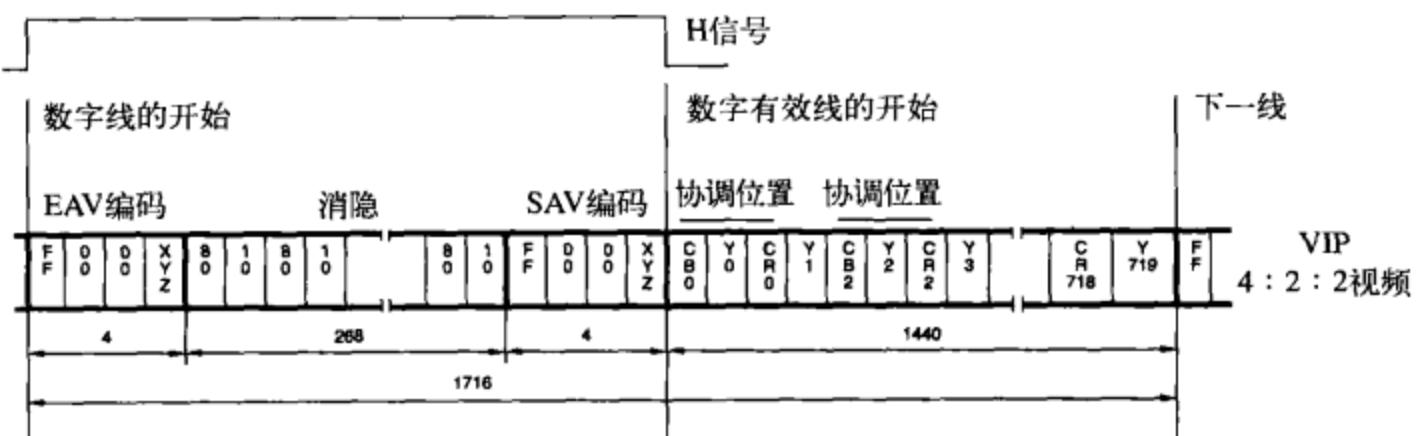


图6-41 VIP 8位接口一行扫描线的数据。480i; 每行扫描线有720有效采样点; 27 MHz时钟频率

在16位模式下 (见图6-42), SAV序列、EAV序列、视频数据Y、辅助数据包头和偶数辅助数据值是通过低8位 (VID0~VID7) 进行传输的。CbCr视频数据和奇数辅助数据值则是利用高8位 (XVID0~XVID7) 进行传输的。注意, 在有效视频期间, “跳过的数据 (skip data)” (值为0x00) 也必须出现在16位格式中, 这是为了保持16位数据的对齐。

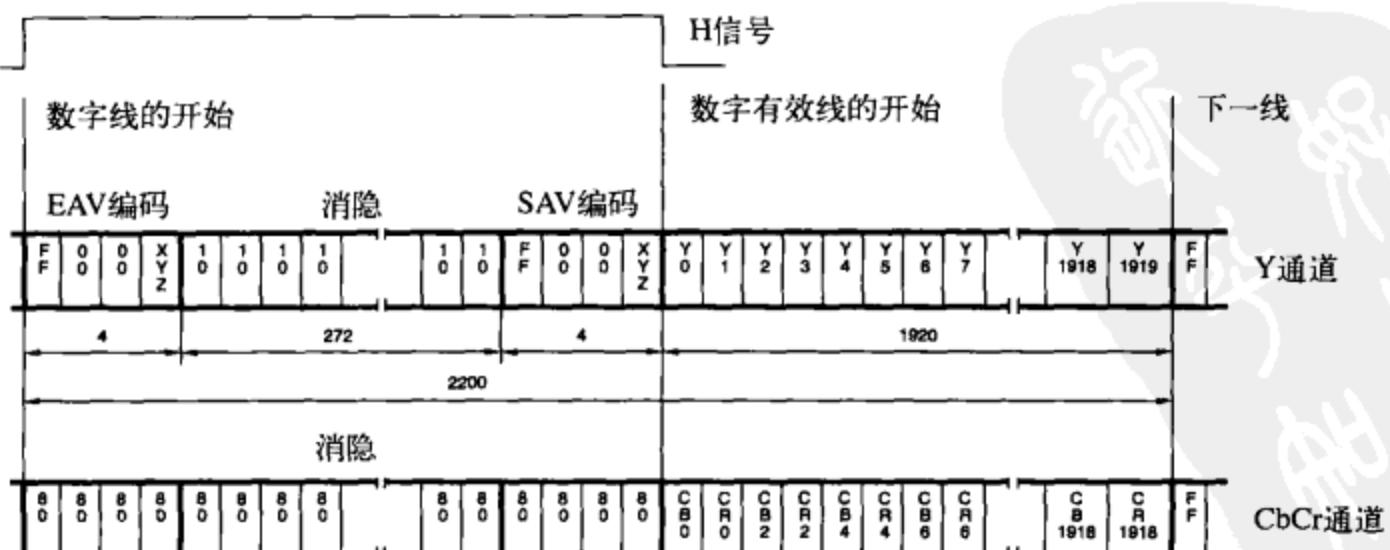


图6-42 VIP 16位接口一行扫描线的数据。1080i; 每行扫描线有1920有效采样点; 时钟频率为74.176MHz或74.25 MHz

10位视频数据是通过VIDA、VIDB、XVIDA和XVIDB信号来支持的。VIDA和XVIDA为最低有效位。

□ 辅助数据

辅助数据包用于在消隐期内传输信息（如数字音频、字幕和图文数据），如表6-22所示。与专业视频接口不同，0x00和0xFF这两个值可能被辅助数据所使用。注意，辅助数据格式的定义要比很多专业视频辅助数据格式的定义早，因此可能会存在不匹配的问题。

表6-22 VIP辅助数据包一般格式

	8位数据							
	D7 (MSB)	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0
辅助数据标识 (ADF)	0	0	0	0	0	0	0	0
	1	1	1	1	1	1	1	1
	1	1	1	1	1	1	1	1
数据ID (DID)	$\overline{D_6}$	EP	0	1	0	DID2	DID1	DID0
SDID	$\overline{D_6}$	EP	用户定义的值					
数据计数 (DC)	$\overline{D_6}$	EP	DC5	DC4	DC3	DC2	DC1	DC0
内部数据ID0	用户定义的值							
内部数据ID1	用户定义的值							
数据字0	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0
:	:							
数据字N	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0
校验和	$\overline{D_6}$	EP	CS5	CS4	CS3	CS2	CS1	CS0
可选的填充数据	$\overline{D_6}$	EP	0	0	0	0	0	0

DID数据域的数据位DID2用于指示提供的是辅助数据场1还是场2：

- 0 场1
- 1 场2

DID数据域的数据位DID1~DID0用于指示所提供辅助数据的类型：

- 00 场的开始
- 01 分片VBI数据，线1~23
- 10 场VBI数据的结束，线23
- 11 分片VBI数据，线24到场的结束

数据计数值 (DC) 规定了辅助数据按双字 (4字节) 计的数目。因此，在DID之后的辅助数据包中的数据字数目必须是4的整倍数。在校验和数据之后可能要加入1~3个可选的占位字节以满足这个要求。

当DID1~DID0为00或10时，就表明没有提供辅助数据或校验和。数据计数值 (DC) 为00000，并且在包的最后一个场中给出该值。

6.5 消费分量接口

在过去几年，开发出了很多在设备之间传输数字视频的解决方案。最初起源于DVI的HDMI是消费类设备最为流行的数字视频接口。

6.5.1 数字可视接口 (DVI)

在1998年，数字显示器工作组 (Digital Display Working Group, DDWG) 组建，目的是解决PC

和VGA显示器之间标准数字视频接口（见图6-43）。DVI 1.0规范于1999年4月正式发布。

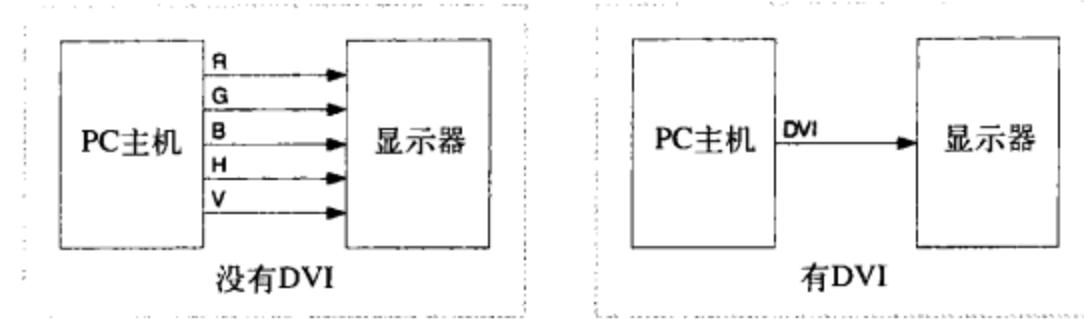


图6-43 用DVI连接VGA显示器和PC主机

DVI是设计用于传输非压缩的实时数字视频的，DVI支持超过 1600×1200 的PC图形分辨率和包括720p、1080i和1080p的HDTV分辨率。

在2003年，消费类电子企业开始增加了从DVI输出到DVD播放器和有线/卫星机顶盒的支持。DVI输入也开始出现在数字电视和LCD/等离子显示器上了。

1. 技术

DVI是基于数字平板（Digital Flat Panel, DFP）接口的，通过支持更多的格式和时序对其进行增强。它也包括对高带宽数字内容保护（High-bandwidth Digital Content Protection, HDCP）规范的支持，以抵制视频内容的非授权复制。

DVI也支持VESA的扩展显示标识数据（Extended Display Identification Data, EDID）标准、显示数据通道（Display Data Channel, DDC）标准（用于读取EDID）和显示器时序规范DMT。

DDC和EDID允许自动进行显示检测和配置。扩展显示标识数据（EDID）的建立是为了让显示器具有即插即用的能力。EDID数据存储于显示器中，用于描述所支持的视频格式。EDID数据信息通过DVI提供给源设备，以响应源设备的请求。然后源设备选择其输出格式，同时考虑到原视频流的格式和显示器所支持的格式。源设备负责必要的格式转换以提供给显示器可理解的视频形式。

另外，CEA-861标准规定了强制和可选支持的分辨率和时序，还规定了如何包含宽高比和格式信息之类的数据。

2. TMDS链

DVI使用的是最小化传输差分信令（Transition-Minimized Differential Signaling, TMDS）。8位视频数据被转换为10位最小化传输、DC平衡的值，然后再进行串行化。接收端首先对接收到的数据进行反串行化，然后变换回8位数据表示。这样，为了传输数字R'G'B'数据，就需要三个TMDS信号来组成一个TMDS链。

“TFT数据映射”作为所支持的最低要求：每个时钟周期1个像素，每个通道8位，MSB调整。

只可以使用1或2个TMDS链，如图6-44和图6-45所示，这取决于所需的格式和时序。一个支持两个TMDS链的系统必须能够动态地在两种格式之间切换，这两种格式分别为要求单链和要求双链的格式。单个DVI连接头可以处理两个TMDS链。

单TMDS链支持使用25~165MHz的视频采样率的分辨率和时序。使用165~330MHz的视频采样率的分辨率和时序是通过利用两个TMDS链来实现的，每个TMDS链以一半的频率进行操作。这样，两个链就共享相同的时钟，两个链之间也平等地共享带宽。

3. 视频数据格式

典型情况下，24位的R'G'B'数据通过一个链进行传输。对于要求每个颜色分量多于8位的应用，可以采用第二个TMDS链作为附加的最低有效位。

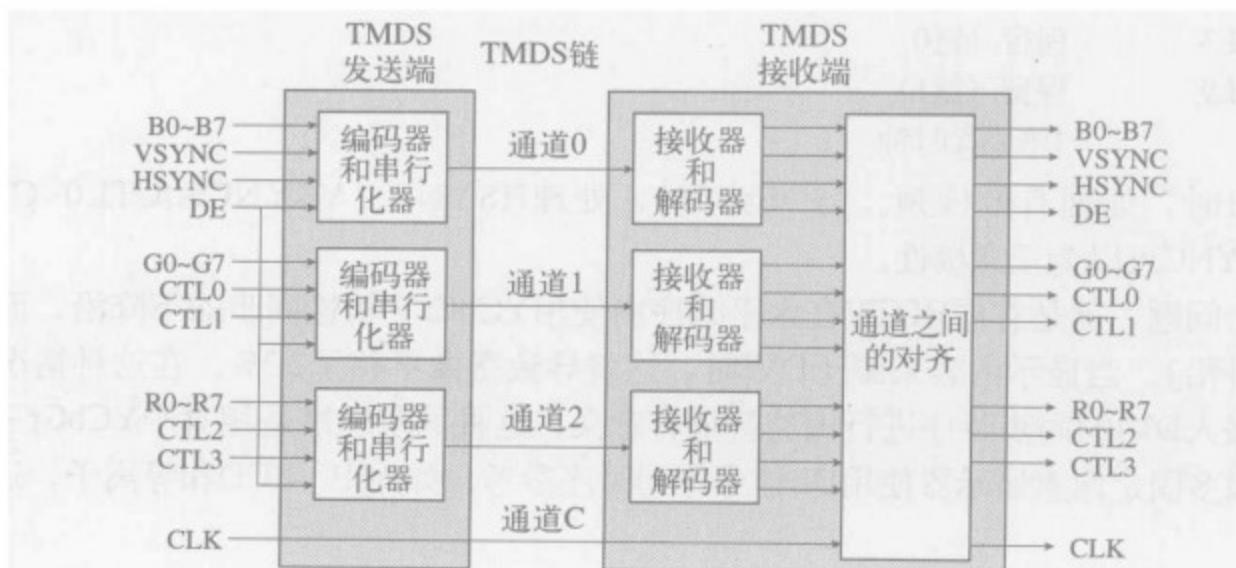


图6-44 DVI单TMDS链

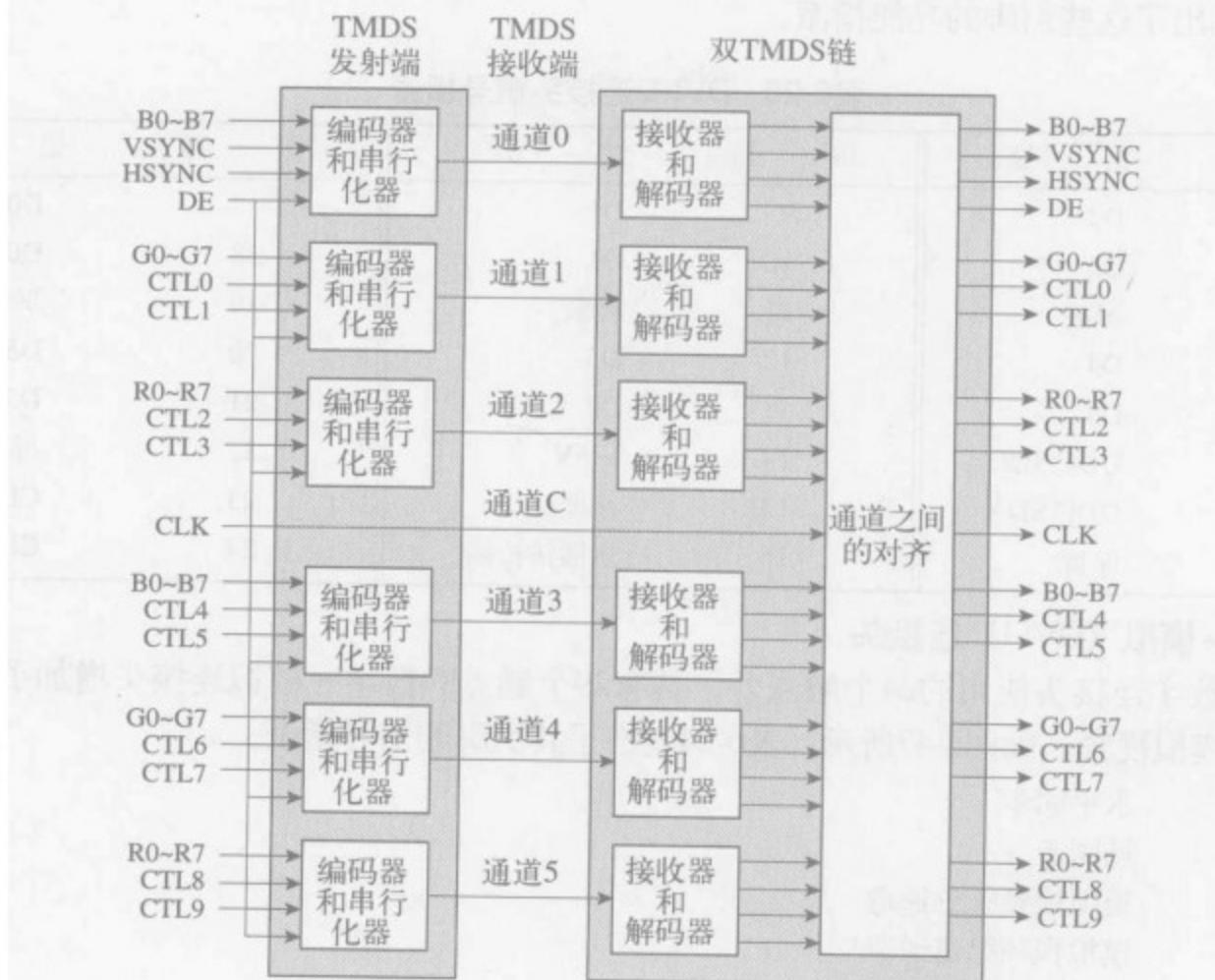


图6-45 DVI双TMDS链

对于PC机的应用，典型情况下，RGB数据的取值范围为0x00~0xFF。对于消费类应用，典型情况下，RGB数据的取值范围为0x10~0xEB（由于处理的需要，偶尔也需要提供小于0x10和大于0xEB的值）。

4. 控制信号

除了视频数据之外，典型情况下，DVI发送和接收芯片在系统中使用多达14个控制信号来实现与其他芯片的连接：

HSYNC	水平同步
VSYNC	场同步
DE	数据使能

CTL0~CTL3	保留（链0）
CTL4~CTL9	保留（链1）
CLK	1倍采样时钟

当DE为1时，处理有效视频。当DE为0时，处理HSYNC、VSYNC和CTL0~CTL9信号。HSYNC和VSYNC可以为任意极性。

存在一个问题，就是有些HDTV在水平时序中使用YCbCr三极性同步的下降沿，而不是使用其中心（上升沿）。当显示内容来源于DVI时，这将导致图像平移了2.3%。在这种情况下，提供一种能力对嵌入DVI的同步时序进行调整就很有意义，这种同步时序是相对于YCbCr三极性同步时序的。有很多固定像素显示器使用DE信号作为时序参考，如DLP、LCD和等离子，这就避免了这个问题。

5. 纯数字（DVI-D）连接头

纯数字连接头（支持双链操作）包含24个触点，它们排列成3行，每行8个触点，如图6-46所示。表6-23列出了这些引脚的功能指派。

表6-23 DVI-D连接头信号指派

引脚	信号	引脚	信号	引脚	信号
1	D2-	9	D1-	17	D0-
2	D2	10	D1	18	D0
3	屏蔽	11	屏蔽	19	屏蔽
4	D4-	12	D3-	20	D5-
5	D4	13	D3	21	D5
6	DDC SCL	14	+5V	22	屏蔽
7	DDC SDA	15	接地	23	CLK
8	保留	16	热插拔检测	24	CLK-

6. 数字-模拟（DVI-I）连接头

除了纯数字连接头使用的24个触点外，具有29个触点的数字-模拟连接头增加了另外5个触点用于支持模拟视频，如图6-47所示。表6-24列出了其引脚的信号指派。

HSYNC	水平同步
VSYNC	场同步
RED	模拟视频红色通道
GREEN	模拟视频绿色通道
BLUE	模拟视频蓝色通道

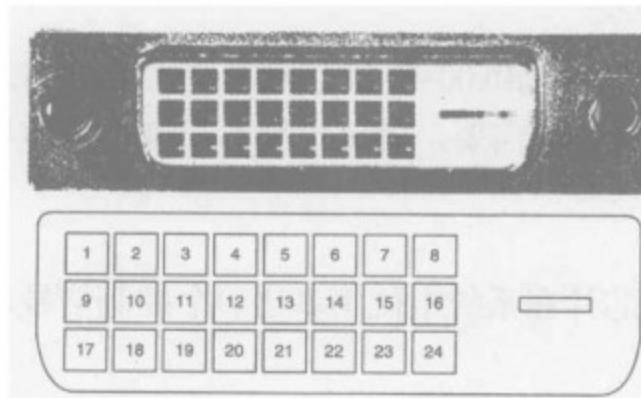


图6-46 DVI-D连接头

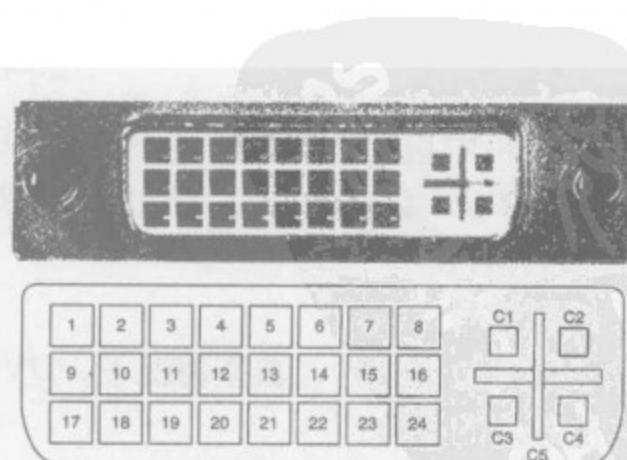


图6-47 DVI-I连接头

表6-24 DVI-I连接头的信号指派

引脚	信号	引脚	信号	引脚	信号
1	D2-	9	D1-	17	D0-
2	D2	10	D1	18	D0
3	屏蔽	11	屏蔽	19	屏蔽
4	D4-	12	D3-	20	D5-
5	D4	13	D3	21	D5
6	DDC SCL	14	+5V	22	屏蔽
7	DDC SDA	15	接地	23	CLK
8	VSYNC	16	热插拔检测	24	CLK-
C1	红色	C2	绿色	C3	蓝色
C4	H SYNC	C5	接地		

模拟信号的操作与标准VGA连接头的情况是一样的。

DVI-A仅作为插入（公头）连接头使用，与其对应的DVI-I连接头的纯模拟引脚相连。DVI-A仅用于适配器有线，因为在适配器中需要与传统的模拟VGA信号相互转换。

165
166

6.5.2 高清晰度多媒体接口（HDMI）

尽管DVI处理非压缩的实时数字RGB视频到显示器的传输，但是消费类电子企业倾向于更小和更加灵活的解决方案，并且要基于DVI技术。在2002年4月，日立、松下电器、飞利浦、Silicon Image、索尼、汤姆逊和东芝公成立了HDMI工作组。

HDMI能够用一根缆线代替最多8条音频线（7.1个通道）和最多3条视频线，如图6-48所示。在2004年，消费类电子企业开始将HDMI输出加入到DVD播放器和有线/卫星机顶盒中。在2005年，在数字电视和显示器中开始出现HDMI输入。

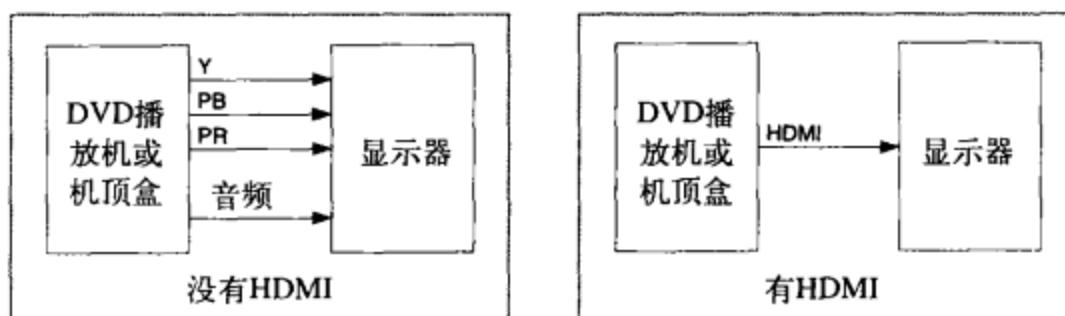


图6-48 利用HDMI消除了消费电子产品中混乱的线缆连接

通过使用适配器线缆，HDMI与使用DVI和CEA-861 DTV档次（profile）的设备是向后兼容的。然而，HDMI先进的特性是不可用的，这些特性包括数字音频、消费电子控制（使得可以在设备之间传输控制指令）和色域元数据等。

1. 技术

基于DVI的HDMI支持VESA的扩展显示标识数据（EDID）标准和显示数据通道（DDC）标准（用于读取EDID）。

除此之外，CEA-861标准还规定了强制和可选支持的分辨率和时序，以及如何包括像宽高比和格式信息这样的数据。

HDMI还支持高频带数字内容保护（HDCP）规范以防止未授权的内容复制。一个常见的问题是源端不能足够频繁地轮流检测TV（要求每秒两次）来查看HDCP线路是否有效。如果当前没有选择TV的HMDI输入，就会出现雪花点，然后就会再次选择HMDI模式。

19引脚A类连接头使用单个TMDS链，所以可以以25~340MHz采样频率传输视频信号。低于25MHz（如480i和576i）的采样速率的视频利用像素复制策略进行传输。

为了支持以高于340MHz的频率对视频信号进行采样，可以使用具有双链能力的29引脚B类连接头。

167

19引脚的C类连接头是为移动应用而设计的，它是A类连接头的一个更小的版本。

2. 视频数据格式

HDMI支持RGB'、4:4:4 YCbCr、4:2:2 YCbCr、4:4:4 xvYCC和4:2:2 xvYCC。可以传输每像素的数据位数为24、30、36和48位；深度大于每像素24位的颜色称为“深色（deep color）”。

视频数据的取值范围要么是“全场”（对于8位RGB数据的取值范围为0x00~0xFF），要么是“受限场”（对于8位RGB或Y数据的取值范围为0x10~0xEB，对于8位CbCr数据的取值范围为0x10~0xF0；也可能提供小于或大于这些值的值）。

R'G'B'数据可以是“全场”或“受限场”，但除了 640×480 分辨率以外，这种分辨率只能是“全场”。

YCbCr和xvYCC视频数据必须总是“受限场”。

3. 音频数据格式

受DVD音频标准的驱动，音频支持包含1~8个非压缩音频流，其采样率可以一直到48kHz、96kHz或192kHz，具体使用哪种采样率取决于视频格式。另外，也可以以192kHz的采样速率传输压缩的多通道音频流。

6.5.3 数字平板接口

开发VESA DFP接口是为了将非压缩数字视频从计算机传输到数字平板显示器。支持VESA即插即用（P&D）标准、扩展显示标识数据（EDID）标准、显示数据通道（DDC）标准和监视器时序规范（DMT）。通过DDC和EDID就可以自动进行显示器检测和配置。仅支持TFT数据映射：每时钟周期1个像素，每通道8位，MSB调整。

和DVI一样，DFP（Digital Flat Panel，数字平板）使用最小传输差分信令（TMDS）。8位视频数据转换为10位最小传输的DC平衡值，然后进行串行化。接收端先将接收到的数据反串行化，然后转换回8位数据。这样，为了传输数字R'G'B'数据需要三个TMDS信号，它们通过复合形成一个TMDS链。线缆长度可以达到5m。

168

1. TMDS链

如图6-49所示，单个TMDS链支持时钟频率要求为22.5~160MHz的格式和时序。

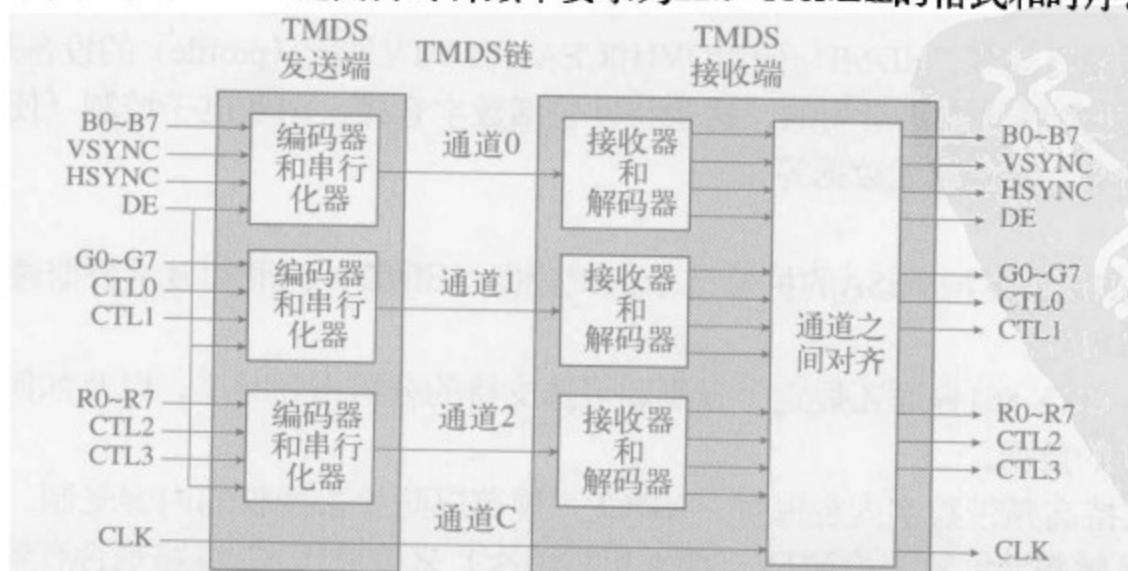


图6-49 DFP TMDS链

2. 视频数据格式

在链上传输24位RGB数据，如图6-49所示。

3. 控制信号

除了视频数据外，典型情况下，DFP发送端和接收端芯片还在系统中使用多达8位控制信号，以实现与其他芯片的连接：

H SYNC	水平同步
V SYNC	场同步
DE	数据使能
CTL0~CTL3	保留
CLK	1倍采样时钟

当DE为1时，处理有效视频。当DE为0时，处理H SYNC、V SYNC和CTL0~CTL3信号。H SYNC和V SYNC可以是两种极性的任意一种。

4. 连接头

20引脚迷你D型双边缘（mini-D ribbon，MDR）连接头包含20个触点，排成两行，每行10个，如图6-50所示。表6-25列出了引脚的功能指派。

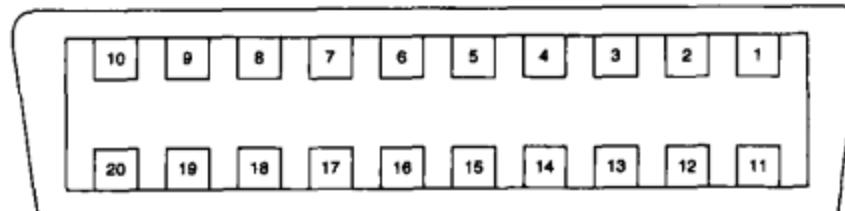


图6-50 DFP连接头

表6-25 DFP连接头信号指派

引脚	信号	引脚	信号
1	D1	11	D2
2	D1-	12	D2-
3	屏蔽	13	屏蔽
4	屏蔽	14	屏蔽
5	CLK	15	D0
6	CLK-	16	D0-
7	接地	17	无连接
8	+5V	18	热插拔检测
9	无连接	19	DDC SDA
10	无连接	20	DDC SCL

6.5.4 开放LVDS显示器接口

开发OpenLDI（Open LVDS Display Interface，开放LVDS显示器接口）是为了实现将非压缩数字视频从计算机传输到数字平板显示器。它增强了用于驱动膝上型计算机（笔记本电脑）显示器的FDP链标准，并增加了对VESA的即插即用标准、扩展显示标识数据（EDID）标准和显示数据通道（DDC）标准的支持。DDC和EDID使得可以自动进行显示器的检测和配置。

与DVI和DFP不一样，OpenLDI使用的是低电压差分信令（LVDS）。线缆长度可达10m。

1. LVDS链

如图6-51所示，LVDS链支持时钟频率要求为32.5~160MHz的格式和时序。

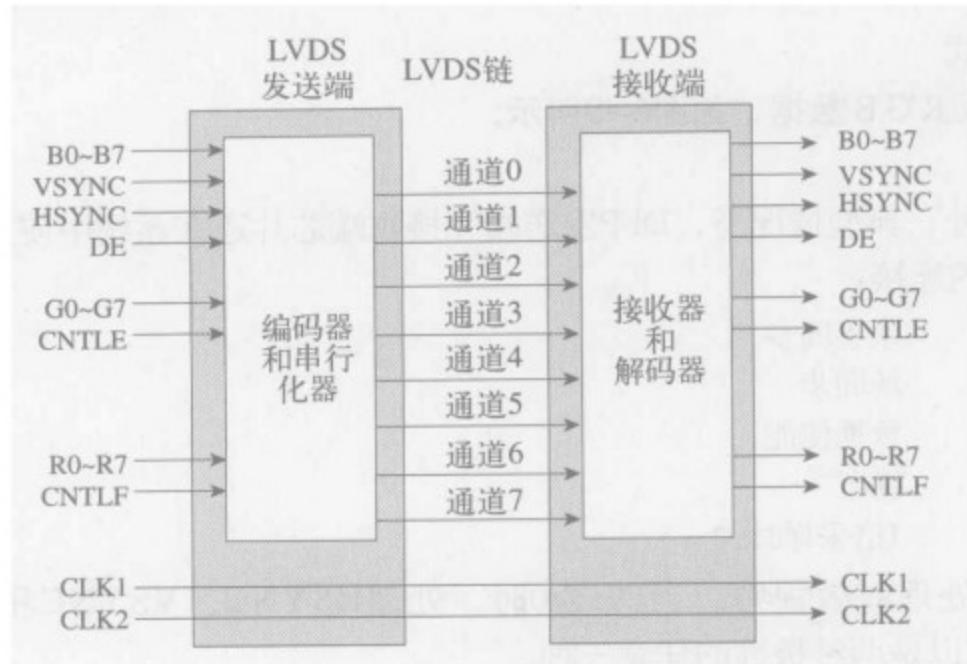


图6-51 OpenLDI LVDS链

LVDS链使用了8根串行数据线（A0~A7）和两个采样时钟线（CLK1和CLK2）。实际使用的串行数据线依赖于像素格式，串行数据率为7倍的采样时钟频率。CLK2信号在双像素模式下用于与FDP链接收端后向兼容。

2. 视频数据格式

在LVDS链上可以传输18位单像素、24位单像素、18位双像素或24位双像素的R'G'B'数据。表6-26给出了像素数据位数与OpenLVI位数的对应关系。

表6-26 OpenLDI 位编号映射

每个像素18位时的位编号	每个像素24位时的位编号	OpenLVI位编号
5	7	5
4	6	4
3	5	3
2	4	2
1	3	1
0	2	0
	1	7
	0	6

18位单像素R'G'B'格式使用6位R'G'B'值：R0~R5、G0~G5和B0~B5。OpenLDI串行数据线的A0~A2用于传输数据。

24位单像素R'G'B'格式使用8位R'G'B'值：R0~R7、G0~G7和B0~B7。OpenLDI串行线的A0~A3用于传输数据。

18位双像素R'G'B'格式将两个像素表示为三个6位R'G'B'值高位/低位对：RU0~RU5、GU0~GU5、BU0~BU5、RL0~RL5、GL0~GL5、BL0~BL5。每个高位/低位对表示两个像素。OpenLDI串行数据线的A0~A2和A4~A6用于传输数据。

24位双像素R'G'B'格式将两个像素表示为8位R'G'B'值的3个高位/低位对：RU0~RU7、GU0~GU7、BU0~BU7、RL0~RL7、GL0~GL7、BL0~BL7。每个高位/低位对表示两个像素。OpenLDI串行数据线的A0~A7用于传输数据。

3. 控制信号

除了视频数据外，典型情况下，OpenLDI发送端和接收端芯片在系统中使用最多可达7个控

制信号来实现与其他芯片的连接：

H SYNC	水平同步
V SYNC	场同步
DE	数据使能
CNTLE	保留
CNTLF	保留
CLK1	1倍采样时钟
CLK2	1倍采样时钟

在非平衡操作期间，DE、H SYNC、V SYNC、CNTLE和CNTLF电平作为未编码的位在A2和A6位流中发送。

在平衡操作期间（用于最小化短期和长期DC偏差），在每个A0~A7位流内发送DC平衡位，以指示数据是否被修改或发生过反转。由于剩余的空间用于直接发送控制信号，因此DE电平的发送是通过对CLK1和CLK2信号的下降沿时序进行细微的修改来实现的。H SYNC、V SYNC、CNTLE和CNTLF电平是在消隐期内使用7位编码字分别在A0、A1、A5和A4信号上发送的。

4. 连接头

除了有每行8个触点的2行引脚外，36引脚迷你D型双边缘（MDR）连接头类似于图6-50所示的连接头。图6-27列出了这些引脚的功能指派。

表6-27 OpenLDI连接头信号指派

引脚	信号	引脚	信号	引脚	信号
1	A0-	13	+5V	25	保留
2	A1-	14	A4-	26	保留
3	A2-	15	A5-	27	接地
4	CLK1-	16	A6-	28	DDC SDA
5	A3-	17	A7-	29	接地
6	接地	18	CLK2-	30	USB-
7	保留	19	A0	31	接地
8	保留	20	A1	32	A4
9	保留	21	A2	33	A5
10	DDC SCL	22	CLK1	34	A6
11	+5V	23	A3	35	A7
12	USB	24	保留	36	CLK2

6.5.5 吉比特视频接口

开发索尼GVIF（Gigabit Video Inter Face，吉比特视频接口）是为了使用单个差分信号传输非压缩数字视频，而不用DVI、DFP和OpenLDI所使用的多个信号进行传输。线缆长度可到达10m。

1. GVIF链

如图6-52所示，GVIF链支持时钟速率要求为20~80MHz的格式和时序。对于要求具有更高时钟频率的应用，可以使用多个GVIF链来实现。

对于8位R'G'B'数据，串行数据速率为24倍采样时钟速率，而对于24位的R'G'B'数据，串行数据采样速率为30倍采样时钟速率。

2. 视频数据格式

可以在GVIF链上传输18位或24位R'G'B'数据和时序信息。18位R'G'B'格式使用三个6位R'G'B'

[172] 值：R0~R5、G0~G5和B0~B5。24位R'G'B'格式使用三个8位R'G'B'值：R0~R7、G0~G7和B0~B7。

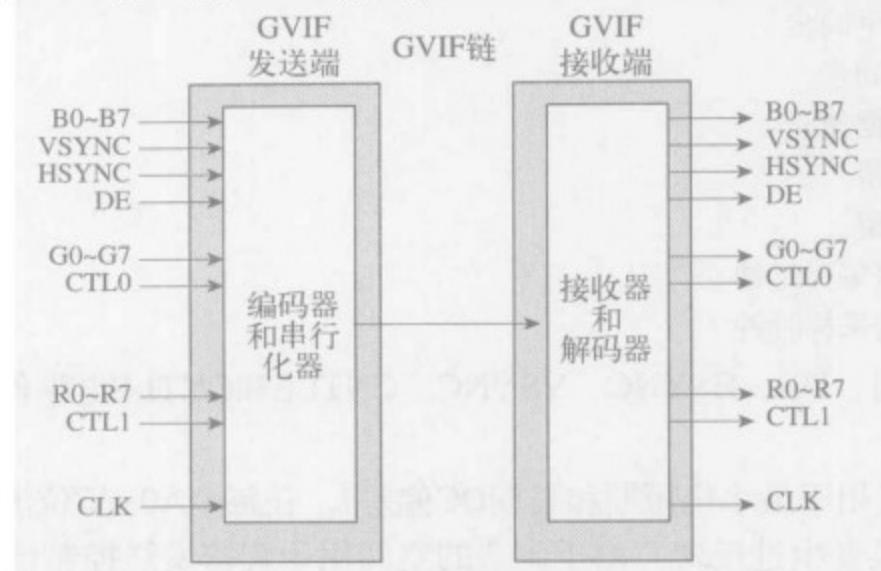


图6-52 GVIF链

为了将18位R'G'B'数据转换为24位数据，首先将R'G'B'数据分割为6个3位的值，然后将这些值转换为6个4位的编码。这就确保了接收端PLL锁具有丰富的转换和良好的DC平衡。

为了将24位R'G'B'数据转换为30位数据，首先需要将R'G'B'数据分割为6个4位的值，然后再将这些值转换为6个5位编码。

3. 控制信号

除了视频数据以外，还有6个控制信号：

HSYNC	水平同步
VSYNC	场同步
DE	数据使能
CTL0	保留
CTL1	保留
CLK	1倍采样时钟

如果HSYNC、VSYNC、DE、CTL0或CTL1中的任何一个信号发生改变，那么在下一个CLK周期内，就会使用一个特定的30位格式。前6位为头数据，它给出了信号HSYNC、VSYNC、DE、CTL0和CTL1的新电平。接着的24位为R'G'B'数据（除了反转的奇数位外都是没有编码的）。

注意，在消隐周期内，可以传输像数字音频这样的非视频数据。CTL信号可以用于指定什么时候提供非视频数据。

6.6 消费传输接口

几种传输接口（如USB 2.0、以太网接口和IEEE 1394）可以用于消费类产品。当然，每个标准都有它们各自的优点和缺点。

6.6.1 USB 2.0

USB 2.0在PC机市场上很著名，主要用于连接PC主机和外部设备，在产品之间利用USB（通用串口总线）2.0传输压缩音频/视频也越来越引起人们的兴趣。

USB 2.0能够处理的传输速率可以达到480Mbit/s，并支持同步模式（isochronous mode）以保证数据传输的时序。这样，USB 2.0就可以很容易将压缩的实时音/视频数据从有线/卫星机顶盒或DVD播放器传输到数字电视。DTCP（数字传输复制保护）可以用于USB上对音频和视频数据内容进行加密。

由于USB的低能耗和广泛应用，许多公司都对使用USB 2.0代替IEEE 1394来实现在产品之间传输压缩音/视频数据感兴趣。然而，有些公司仍然青睐于IEEE 1394，主要是因为该方法对于传输各种类型的数据都有比USB好得多的定义。

移动USB

随着便携设备在大众消费领域的日益流行，人们迫切希望这些设备可以在没有PC机或其他USB宿主机的情况下能够实现相互之间的互连通信。

移动(On-The-Go, OTG)就是要解决这个问题，它通过准许USB设备直接与其他的移动设备进行通信来解决这个问题。同时它也具有更小的USB连接头特征和保持电池使用时间的低能耗特征。

6.6.2 以太网

随着家庭网络、DSL和FTTH(光纤到户)的广泛采用，以太网(Ethernet)已经成为传输数字音频和视频的一个通用接口。起初用于文件传输、实时压缩视频流的有线传输(802.3)或无线传输(802.11)的以太网现在变得越来越普遍了。

以太网支持的传输率可达1Gbit/s。DTCP/IP(用于IP协议的数字传输复制保护)可以用于对有线和无线网络上的音频和视频进行加密。

6.6.3 IEEE 1394

IEEE 1394起初是由苹果公司作为Firewire而建立的。它被设计为设备之间的通用接口，1394规定了其物理特征；独立的、与应用相关的规范描述了如何在1394网络上上传输数据。

1394是基于事务(transaction-based)的包交换技术，使用双向串行互连，具有热插拔特性。这使得设备的连接与断开不会影响连接到网络上其他设备的运行。

支持时间敏感数据的确保传输(guaranteed delivery)使得数字音频和视频数据可以实现实时传输。另外，可以加载多个数字音频和视频流。

1. 规范

起初，1394-1995规范支持98.304、196.608和393.216Mbit/s的位传输速率。

1394A-2000规范明确了原来模糊的和导致系统互操作问题的一些领域。同时也减少了总线控制、仲裁、总线复位持续时间和组包(concatenation of packets)中的冗余。1394A-2000也引入了先进的节能特性。1394-1995和1394A-2000之间的电子信令方法是相同的，都使用数据过滤(data-strobe, DS)编码和模拟-速度(analog-speed)信号。

1394B-2000规范增加了对位率786.432 Mbit/s、1572.864 Mbit/s和3154.728 Mbit/s的支持，还包括：

- 吉比特以太网中使用的8B/10B编码技术
- 连续双单路复用操作
- 更长的距离(在Cat5上可达100m)
- 将速度信令改为具有更多数字的方法
- 三种类型的端口，Legacy(1395A兼容)、Beta和Bilingual(支持Legacy和Beta)。连接器抠像(keying)确保了在实际中不会发生不兼容的连接。

1394使用了big-endian体系结构，将位0定义为最高有效位。然而，很多处理器都是基于little-endian体系结构的，将位31定义为最高有效位(假定是32位字)。

2. 网络拓扑

和很多网络一样，IEEE 1394没有设计总线主控功能。类似树一样的网络结构具有一个根节

175

点，在其他设备上分离出逻辑节点（见图6-53）。根节点承担一定的控制功能，根节点是在初始化时选择出来的。一旦选定了根节点，只要它保持加电状态并连入网络，那么它就会一直发挥其功能。

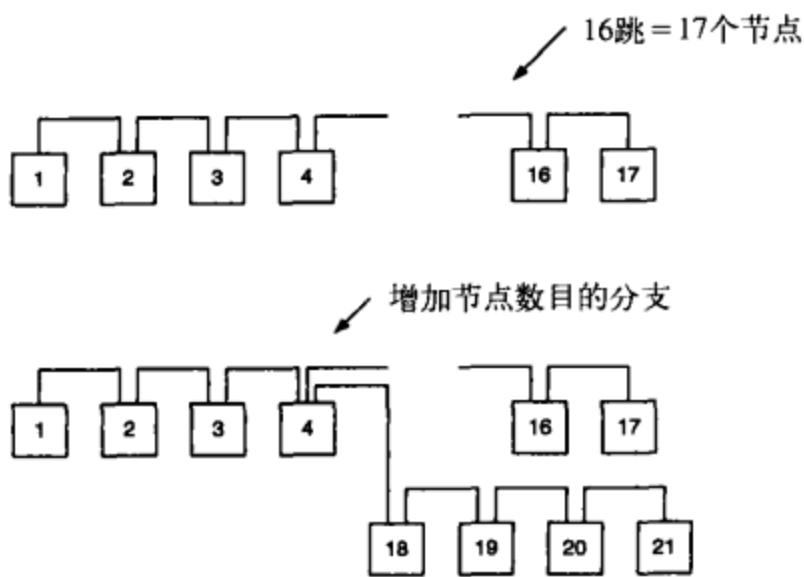


图6-53 IEEE 1394网络拓扑举例

网络可以包含多达63个节点，每个节点（或设备）由一个6位的物理标识编号来指定。多个网络可以通过桥相互连接，系统中最多可以连接1023个网络，每个网络用10位总线ID来表示。二者相结合，系统中16位的地址准许最多有64 449个节点。由于设备地址为64位，其中16位用于指定节点和网络，48位保留用于内存寻址，每个节点准许最多达256TB的内存寻址空间。

3. 节点类型

1394总线上的节点在复杂性和功能上是可变的（按照复杂度从最简单到最复杂的顺序罗列如下）。

事务 (transaction) 节点 负责异步通信，实现了控制状态寄存器（CSR）的最小集，并实现了最小配置ROM。

同步 (isochronous) 节点 增加了24.576MHz时钟，用于对周期时钟寄存器的递增计数，该寄存器是由周期开始包来更新的。

周期主控 (cycle master) 节点 增加了生成8kHz周期起始事件、生成周期起始包的能力，并实现总线定时器寄存器。

同步资源管理器 (isochronous resource manager) 节点增加了检测坏的自身ID（self-ID）包和确定所选IRM节点ID的能力，并实现了可用通道、可用带宽和总线管理ID寄存器。至少要有一个节点必须能够作为IRM来支持同步通信。

总线管理器 (Bus Manager, BM) 节点是最复杂的。它可以在拓扑图中存储每个自身ID包，还可以分析该拓扑图以产生整个总线的速度图（speed map）。这两个图用于管理总线。最后，BM必须能够激活周期主控节点，写配置包使得可以对总线进行优化，以及用作电源管理器。

4. 节点端口

在网络拓扑中，单一端口（one-port）设备就是我们所知的“叶（leaf）”设备，因为它处在网络分支的末端。它们可以连接到网络中，但不能对网络进行扩展。

两端口设备可以用于形成顺序链（daisy chained）拓扑。它们既可以连接到网络中，又可以用于对网络的继续扩展，如图6-53所示。具有3个或更多端口的设备能够将网络分支扩展到最多63个分支节点的能力。

176

注意到在网络中准许无环或并行连接也很重要。没有预留连接头，任何连接头都可以用于将新的设备加入到网络中。

由于1394-1995强制要求任意两个节点之间有线连接的最大跳数为16，因此，如果只有2端口的外围设备可用，那么就可以在网络中包含最多17个外围设备。较新的规范实现了ping包以测试到任意节点的往返跳数延迟，这消除了最多16跳的限制。

对于1394-1995和1394A-2000，使用4引脚或6引脚的连接头。6引脚连接头可以为外围设备提供电源。对于1394B-2002，9引脚Beta和Billigual连接头包含了供电，其中额外的引脚有2个用于信号积分，1个保留供未来使用。

图6-54给出了1394-1995和1394A-2000数据和选通脉冲(strobe)时序。选通脉冲信号改变了数据信号没有改变的每个数据位的状态。

5. 物理层

1394网络的物理硬件拓扑由物理层(PHY)和链路层(LINK)组成，如图6-55所示。1394-1995标准也定义了两个软件层，即传输层和总线管理层，其中有些部分可以在硬件中实现。

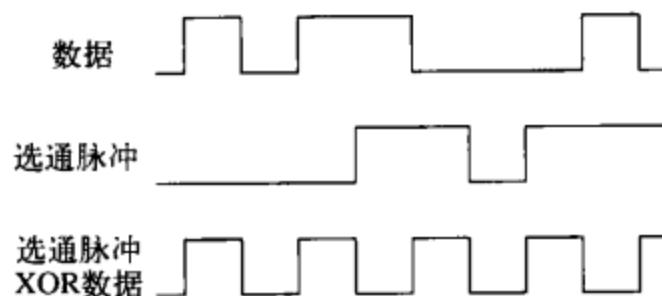


图6-54 IEEE 1394 数据和选通脉冲信号时序

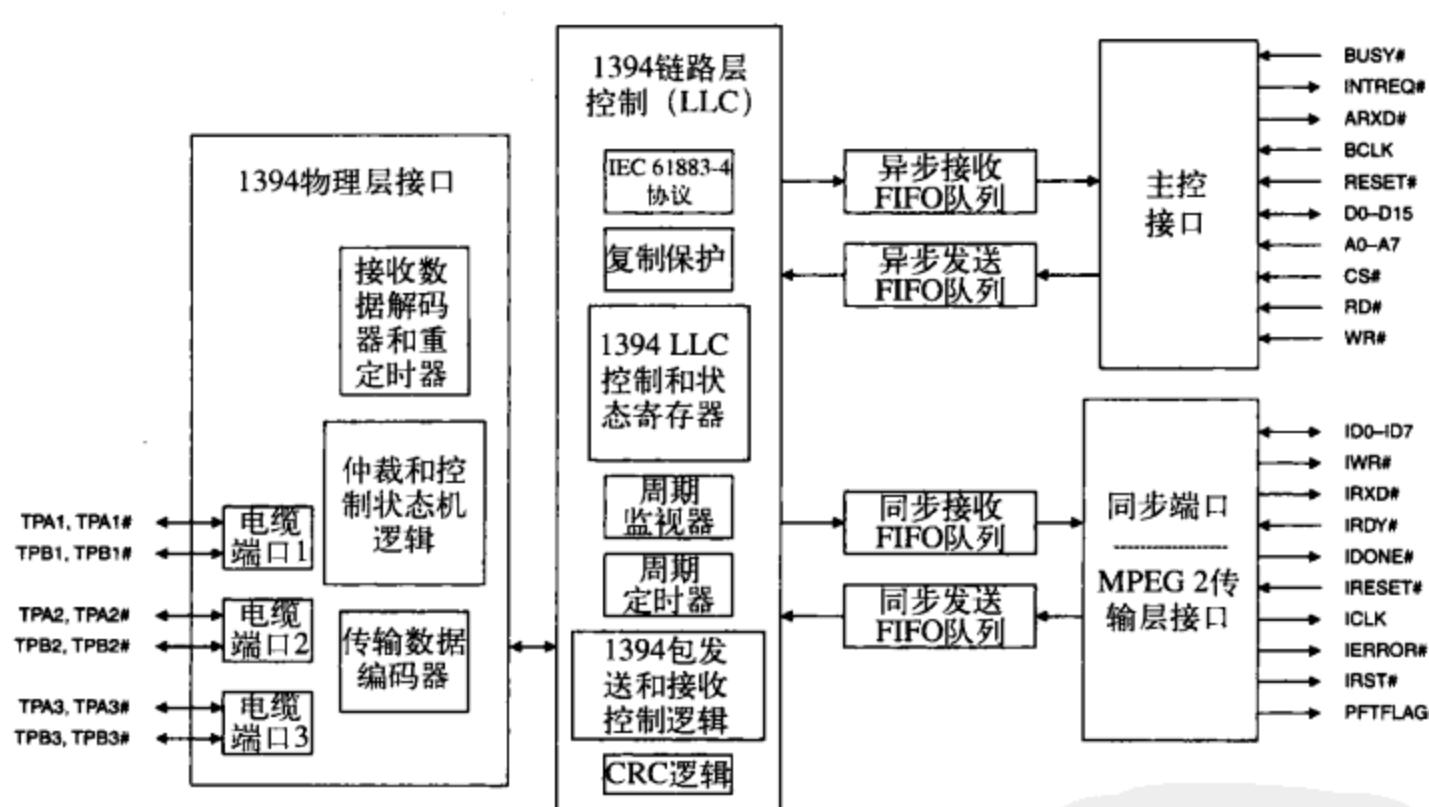


图6-55 IEEE 1394典型的物理和链路层框图

PHY将点到点网络转换为逻辑物理总线。本质上讲，每个节点就是一个数据中继器，因为数据在每个节点重新计时(reclock)。PHY层也定义了到网络的机械与电子连接，还定义了负责开机初始化、仲裁、总线复位感知和数据信号的物理信号电路和逻辑。

6. 链路层

链路层提供了物理层和应用层之间的接口，将数据进行格式化以形成包并在网络上传输。链路层同时支持异步和同步数据。

□ 异步数据

异步包是确保传输的，因为在异步包被接收到以后，接收端要发送一个确认信息给发送端，如图6-56所示。然而，并不保证带宽。这种类型的通信对于指令、非实时数据和无错误传输的这

类应用是有用的。

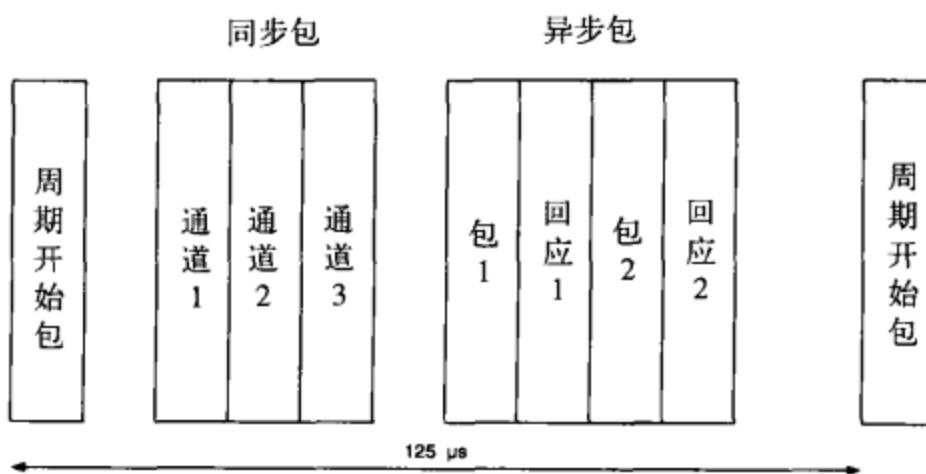


图6-56 IEEE 1394同步和异步包

异步通信包的传输延迟没有保证，这取决于网络通信状态。然而，发送端可以不断地重试，直到接到确认包为止。

异步包的目标是发送到网络上的另一个节点，或发送到网络上的所有节点，但不能对总线上子网的节点进行广播。

最大异步包大小为：

$512 \times (n/100)$ 字节， n =网络传输速度（单位为Mbit/s）

□ 同步数据

同步通信的带宽是有保证的，同步通信可以占用网络上的可用带宽可达80%。尽管1394开放
178 主机控制器接口（Open Host Controller Interface, OHCI）当前仅支持4~32个通道，但可用的独立同步通道多达63个。这种类型的通信对于实时音频和视频传输是有用的，因为同步包的最大传输延迟是可计算的，并且可以传输到多个目标。但是，发送端不可以重新尝试发送包。

最大的同步包大小为：

$1024 \times (n/100)$ 字节， n =网络传输速度（单位为Mbit/s）

同步操作可以保证每 $125\mu s$ 为一个时间片。由于时间槽是有保证的，并且同步通信的优先级高于异步通信，因此同步带宽是可以保证的。

一旦同步通道建立起来了，那么每个同步周期内在该通道上，发送设备占有所要求的总线时间量就有保证。只有一个设备可以在特定的通道上发送数据，但是任意多的设备可以在一个通道上接收数据。只要总线容量够用，一个设备可以使用多个同步通道。

7. 事务层

事务层支持异步写、读和锁指令。锁结合了一次写和一次读，这种结合是通过发送端和接收端之间产生数据路由的一次往返来实现的，还包括接收端的处理。

8. 总线管理层

总线管理层控制网络在物理、链路和事务层上的功能。

9. 数字传输内容保护 (DTCP)

为了阻止未授权的内容复制，建立了DTCP系统。尽管起初是为1394而设计的，但它也适用于任意支持双向通信的数字网络，如USB和以太网。

DTCP支持设备鉴定、内容加密和续保性（设备应该曾经泄密过）。数字传输授权管理机构（Digital Transmission Licensing Administrator, DT LA）许可内容保护系统，并发布加密密钥和设备认证证书。

DTCP概括了内容保护的4个关键因素：

- (1) 复制控制信息 (CCI)
- (2) 认证与密钥交换 (AKE)
- (3) 内容加密
- (4) 系统续保性

复制控制信息 (CCI)

CCI准许内容所有者指定如何使用这些内容，如“不准复制 (copy-never)”、“复制一代 (copy-one-generation)”、“不准再复制 (no-more-copies)”和“自由复制 (copy-free)”。DTCP能够安全地在设备之间传输复制一份控制信息。支持两种不同的CCI机制：嵌入CCI (embedded CCI) 和加密模式指示器 (encryption mode indicator)。

嵌入CCI是将CCI嵌入到内容流中。篡改内容流将导致错误的解码，这就维护了嵌入CCI的完整性。

加密模式指示器 (EMI) 提供安全的、然而容易访问的CCI传输，这是通过使用同步包头中同步域的两个最高有效位来实现的。设备不需要解码内容就可以立即确定内容流的CCI。如果两个EMI位被篡改过，那么编码和解码模式就不匹配，这将导致不正确的内容解码。

认证与密钥交换 (AKE)

在共享内容之前，设备必须首先验证其他的设备是否是可信的。DTCP包括可选的两个认证级别：完全 (full) 和受限 (restricted)。完全认证可以用于受系统保护的所有内容。受限认证仅能保证有效地保护“复制一代”和“复制一份”。

■完全认证

兼容设备都由DTLA负责分配一个唯一的公钥/密钥对和一个设备认证证书，二者皆存储于设备内部以防泄露。另外，设备还保存其他一些必要的常量和密钥。

完全验证使用基于数字签名标准 (Digital Signature Standard, DSS) 的公钥和Diffe-Hellman (DH) 秘钥交换算法。DSS是一种用于数字上签名和通过验证数字签名文档的签名来验证数据完整性的一种方法。DH密钥交换用于建立控制一通道对称加密密钥，它准许两个或更多的设备来生成一个共享的密钥。

起初，接收端发送一个请求给源端以交换设备的认证证书和随机查询 (random challenge)。然后，每个设备都要计算一个DH密钥交换的第一阶段值。接下来，设备交换签名消息，它们包含以下要点：

- (1) 其他设备的随机询问；
- (2) DH密钥交换的第一阶段值；
- (3) 由设备保存的最新系统续保性消息 (SRM) 的续保性消息版本号。

设备用其他设备的公钥核对消息签名以验证消息没有被篡改过，同时还要验证其他设备认证证书的完整性。每个设备还要检查嵌入的系统续保性消息 (SRM) 中的证书吊销列表 (Certificate Revocation List, CRL)，以验证其他设备中的证书没有由于有损安全而被吊销。如果没有发生错误，两个设备就相互成功地得到验证了，并建立了一个认证密钥。

■受限认证

受限认证可以用于源端和接收端之间交换“复制一代”和“复制一份”的内容。它依赖于共享秘密的使用，以对随机询问做出响应。

源端向接收端发起请求，请求其设备ID，并发送一个随机查询。在接收到从源端返回的查询时，接收端计算响应结果并将其发送给源端。

源端将收到的响应与由源端通过使用其服务密钥和接收设备ID生成的类似信息进行比较。如果比较与其自身的计算相匹配，接收端就通过了验证和鉴定。然后源设备和接收设备各自计算一个认证密钥。

□ 内容加密

为了保证互操作性，所有兼容的设备必须支持56位的M6基准加密。通过使用额外的、可选加密方法可以支持其他的内容保护方式。

□ 系统续保性

180 支持完全认证的设备可以接收和处理由DTLA创建的、并与内容一起发布的SRM。系统续保性用于保证长期的系统完整性，它通过撤销有害设备的设备ID来实现。

SRM可以有多种方式进行更新：通过其他具有更新列表的兼容设备、具有预先记录好内容的媒体或具有外部通信能力（因特网、电话、通信有线、网络等）的兼容设备。

□ 操作实例

对于这个例子，让源设备发送一个具有复制保护系统的内容流。

源设备发起内容传输，该内容标记了复制保护状态：“复制一代”、“不准复制”、“不准再复制”和“自由复制”。

一旦接收到内容流，接收设备就确定复制保护状态。如果标记为“不准复制”，那么接收设备就请求源设备发起完全认证。如果内容标记为“复制一次”或“不准再复制”（如果支持），那么接收设备将请求完全认证，或如果不支持完全认证，就请求受限认证。

当源设备接收到认证请求后，它就推进所请求的认证类型。如果请求的是完全认证，但源设备只支持受限认证，那么就使用受限认证。

一旦设备完成了认证过程，内容通道加密密钥（内容密钥）就在二者之间进行交换。这个密钥用于在源设备对内容加密，而在接收端对内容进行解密。

10. 1394开放主机控制器接口 (OHCI)

1394开放主机控制器接口规范是对1394链路层的实现，并具有一些额外的特性用于支持事务层和总线管理层。它为与1394网络的交互提供了一种标准化的方式。

11. 家庭音视频互操作性 (HAVI)

家庭音视频互操作性 (HAVI) 是1394另一个协议层。HAVI的目标是使得在1394网络中，不管是否有PC主机，1394设备都具有即插即用的互操作性。

12. 串行总线协议 (SBP-2)

ANSI串行总线协议2 (ANSI Serial Bus Protocol 2, SBP-2) 定义了在1394网络上设备之间传输指令和状态包的标准方式，这些设备可以是DVD播放机、打印机、扫描仪、硬盘驱动器和其他设备。

13. IEC 61883规范

特定类型的同步信号，如MPEG-2和IEC 61834、SMPTE 314M以及ITU-R BT.1618数字视频(DV)标准，使用特定的数据传输协议和格式。当数据以同步的方式发送到1394网络上时，要使用特定的打包(packetization)技术。

IEC 61883系列规范定义了在1394网络上传输各种应用相关的数据的具体细节：

IEC 61883-1=一般规范

IEC 61883-2=SD-DVCR数据传输，25Mbit/s连续位率

IEC 61883-3=HD-DVCR数据传输

IEC 61883-4=MPEG-2 TS数据传输，位率最高可达44Mbit/s

IEC 61883-5=SDL-DVCR数据传输
 IEC 61883-6=音频和音乐数据传输
 IEC 61883-7=ITU-R BO.1294 B系统的传输

181

□ IEC 61883-1

IEC 61883-1定义了在1394网络上传输数字音频和视频数据的一般结构。它描述了数字音频和视频的一般包格式，数据流管理和连接管理，也描述了控制指令的一般传输规则。

在同步数据包的数据域起始位置放置了一个公共同步包（Common Isochronous Packet, CIP）头，如图6-57所示。该公共同步包头指定了源节点、数据块大小、数据块计数、时间戳和包含在数据域中的实时数据类型等。

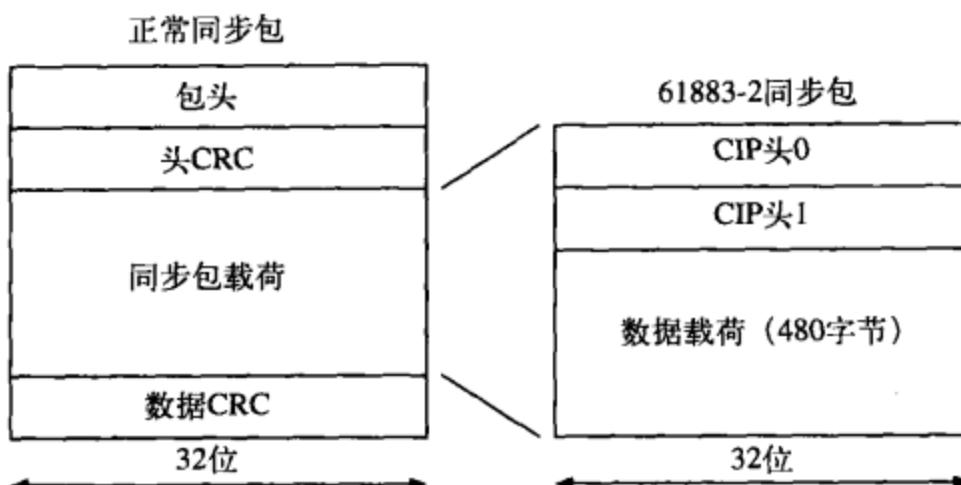


图6-57 61883-2 同步包格式

为了实现设备之间的同步连接，也定义了连接管理过程（Connection Management Procedure, CMP）。

另外，为了实现在1394网络上使用异步数据交换控制指令，定义了功能控制协议（Functional Control Protocol, FCP）。

□ IEC 61883-2

IEC 61883-2和SMPTE 396M在1394网络上为IEC 61834、SMPTE 314M和ITU-R BT.1618视频数据标准定义了CIP头、数据包格式和传输时序。支持的有效分辨率为 720×480 （以每秒29.97Hz的帧率）和 720×576 （以每秒25Hz的帧率）。

DV数据包有488B，由8B的CIP头和480B的DV数据组成，见图6-57。图6-58给出了帧数据结构。

每个 720×480 的4：1：1 YCbCr帧被压缩成103 950B，因此压缩比为4.9：1。包括冗余和音频数据，数据量增加到了120 000B。

182

压缩的 720×480 帧被分为10个DIF（Data In Frame）序列。每个DIF序列包含150个DIF块，每个块80B，按如下方式使用：

视频为135个DIF块

音频为9个DIF块

6个DIF块用于头、子码和视频辅助（Video AUXiliary, VAUX）信息

图6-59给出了DIF序列的详细结构。音频DIF块同时包含音频数据和音频辅助数据（Audio AUXiliary, AAUX）。IEC 61834支持4路32kHz、12位非线性音频信号或两路48kHz、44.1kHz或32kHz，16位音频信号。SMPTE 314M和ITU-R BT.1618在25Mbit/s的传输率时支持两路48kHz、16位音频信号，当传输率为50Mbit/s时，可以支持4路48kHz、16位音频信号。视频辅助数据

(VAUX) DIF块包含记录日期和时间、镜头光圈、快门速度、颜色平衡和其他相机设置数据。子码 (subcode) DIF块保存各种信息，其中最重要的是时间码。

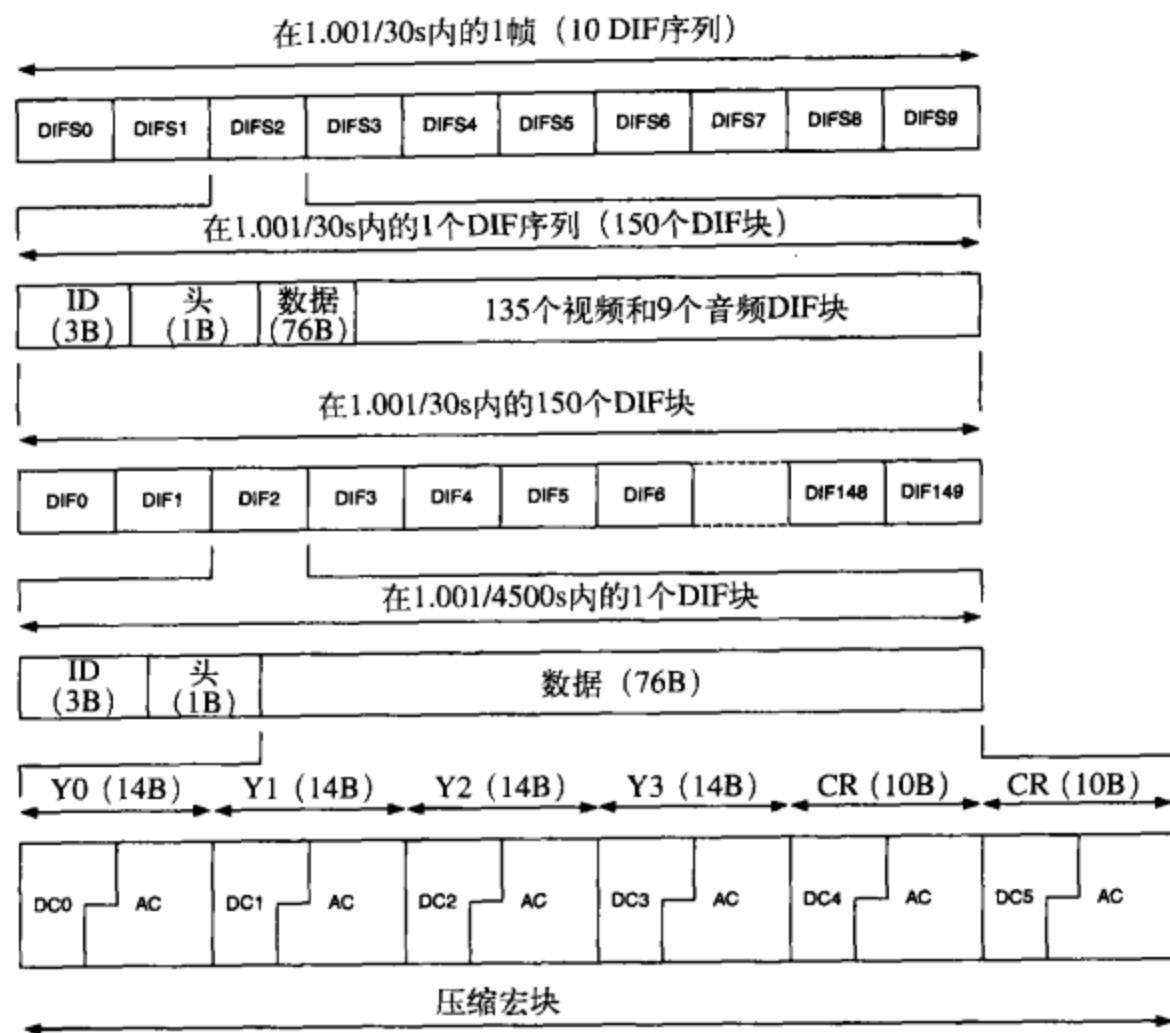


图6-58 720×480系统 (4 : 1 : 1 YCbCr) 中IEC 61834、SMPTE 314M和ITU-R BT.1618包格式

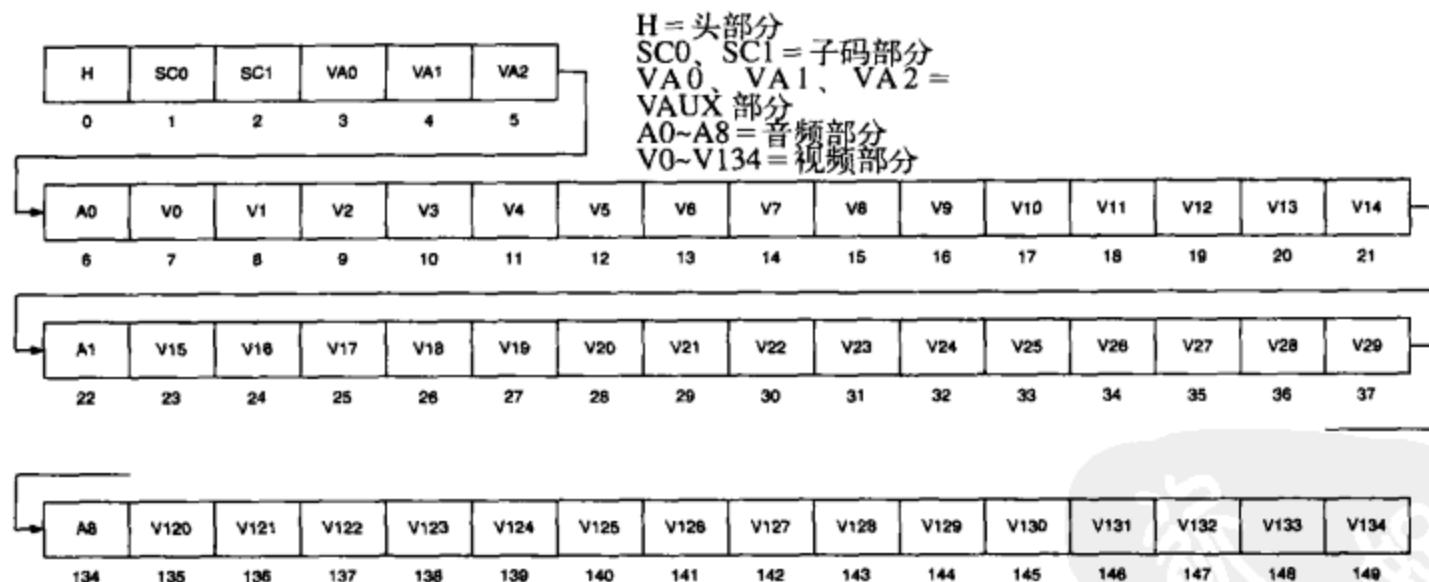


图6-59 IEC 61834、SMPTE 314M和ITU-R BT.1618 DIF序列细节 (25Mbit/s)

每个视频DIF块包含80B的压缩宏块数据：

3B的DIF块ID信息

1B的头，包含量化等级数 (ANO) 和块状态 (STA)

14B用于存储Y0、Y1、Y2和Y3

10B存储Cb和Cr，其中每个字节存储一个Cb和一个Cr

当488B的包通过1394网络时，视频帧的开始就确定了。一旦检测到了帧的开始，那么250个有效数据包就被收集起来并形成一个完整的DV帧；每个包包含6个DIF数据块。每第15个包为一

一个空包 (null packet)，应该丢弃。一旦250个有效数据包存储到了缓冲中，就丢弃CIP头。如果一切正常的话，在帧缓存中就已经有了一个120 000B的压缩DV帧了。

720×576的帧可以使用4：2：0 YCbCr格式 (IEC 61834)，或4：1：1 YCbCr格式 (SMPTE 314M和ITU-R BT.1618)。每个720×576的帧被压缩为124 740 B。包括冗余和音频数据，数据量增加为144 000B，需要300包来传输一个帧。

注意，在1394网络上传输的数据的组织方式与实际的DV记录格式是不同的，因为数字传输不需要错误纠正。另外，尽管图6-59中视频块在序列中有编号，但是序列与视频数据块从左到右、从上到下的传输方式并不是对应的。要打乱 (shuffle) 压缩的宏块以最小化错误产生的影响，并有助于隐藏错误。视频数据也需要打乱。数据以记录的乱序相同的顺序进行传输。

为了说明视频数据的打乱过程，将DV视频帧组织成50个超块，每个超块由27个宏块组成，如图6-60所示。5个超块为一组（从每个超块栏中取一个），这样一组超块就组成了一个DIF序列。表6-28给出了DIF块的传输顺序。DV数据结构中的其他信息在第11章介绍。

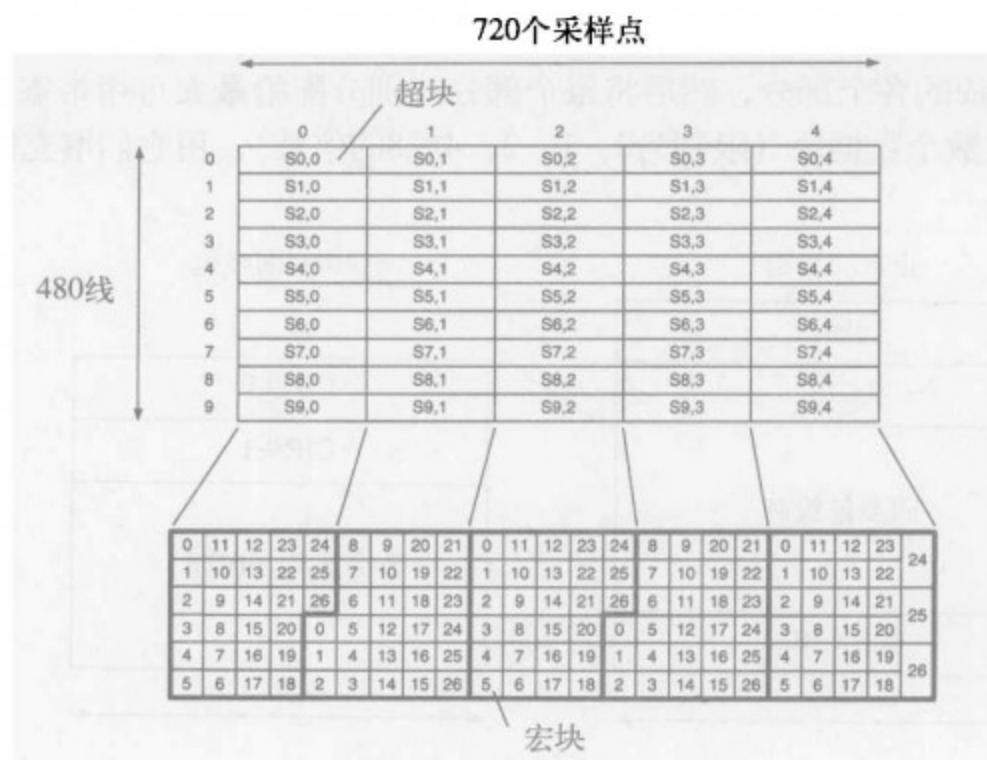


图6-60 超块与宏块的关系 (720×480、4：1：1 YCbCr)

表6-28 传输速率为25Mbit/s时的视频DIF块和压缩宏块

DIF序列编号	视频DIF块编号	压缩宏块		DIF序列编号	视频DIF块编号	压缩宏块	
		超块编号	宏块编号			超块编号	宏块编号
0	0	2, 2	0	$n-1$	0	1, 2	0
	1	6, 1	0		1	5, 1	0
	2	8, 3	0		2	7, 3	0
	3	0, 0	0		3	$n-1, 0$	0
	4	4, 4	0		4	3, 4	0
	⋮					⋮	
	133	0, 0	26		133	$n-1, 0$	26
	134	4, 4	26		134	3, 4	26
1	0	3, 2	0				
	1	7, 1	0				
	2	9, 3	0				

(续)

DIF序列编号	视频DIF块编号	压缩宏块		DIF序列编号	视频DIF块编号	压缩宏块	
		超块编号	宏块编号			超块编号	宏块编号
1	3	1, 0	0				
	4	5, 4	0				
		:					
	133	1, 0	26				
	134	5, 4	26				

注：480线系统n=10，576线系统n=12。

□ IEC 61883-4

为在1394网络上实现MPEG-2传输流，IEC 61883-4定义了CIP头、数据包格式和传输时间。

每个同步包大小为192B（188B的MPEG-2数据加上4B的时间戳）的整数倍时效率是最高的，如图6-61所示。然而在很少情况下MPEG数据率是同步数据率的整数倍。这样，将MPEG数据包划分为更小的由24B组成的各个部分，然后将每个部分分别分配给最大可用带宽，这样效率将更高。然后发送端使用整数个数据块（限制为0、1、2、4或8的倍数），用它们填充同步包并增加8B的CIP头。

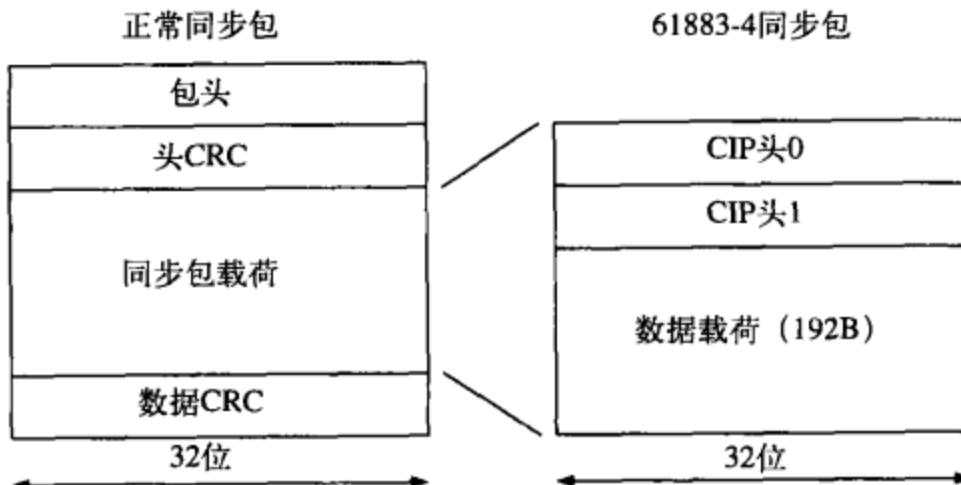


图6-61 61883-4同步包格式

14. 50Mbit/s的DV

与25Mbit/s的DV格式一样，50Mbit/s的DV格式支持 720×480 i30和 720×576 i30视频源。然而，50Mbit/s的DV格式使用的是4:2:2 YCbCr，而不是4:1:1 YCbCr。

与前面讨论过的一样，对于25Mbit/s的DV数据流，源包大小为480B（由6个DIF块组成）。250个（576i25系统为300个）大小为480B的包在25Mbit/s的通道上传输。

对于50Mbit/s的DV数据流，源包大小为960B（由12个DIF块组成）。前125个大小为960B的包在一个25Mbit/s的通道上传输，后125个（576i25系统为150个）大小为960B的包在第2个25Mbit/s的通道上传输。

15. 100Mbit/s的DV

100Mbit/s的DV数据流支持 1920×1080 i30、 1920×1080 i25和 1280×720 p60的视频源。 1920×1080 i30视频源在水平方向上缩放为 1280×1080 i30。 1920×1080 i25视频源在垂直方向上缩放为 1440×1080 i25。 1280×720 p60的视频源在水平方向上缩放为 960×720 p60。使用的格式为4:2:2 YCbCr。

100Mbit/s的DV数据流的源包大小为1920B（由24个DIF块组成）。前63个（ 1080 i25系统为75个）大小为1920B的包在一个25Mbit/s的通道上传输。接下来的62个（ 1080 i25系统为75个）大小

为1920B的包在第2个25Mbit/s的通道上传输。接下来的63个（1080i25系统为75个）大小为1920B的包在第3个25Mbit/s的通道上传输。最后62个（1080i25系统为75个）大小为1920B的包在第4个25Mbit/s的通道上传输。

188

16. 数字摄像机规范

1394商务协会（1394 Trade Association）为基于1394的数字视频摄像机编写了一个规范，其目的是为了避免完全实现IEC 61883规范的硬件和软件所需的高额费用。

定义了7种分辨率以及所支持的大量格式：

160×120	4 : 4 : 4 YCbCr
320×240	4 : 2 : 2 YCbCr
640×480	4 : 1 : 1、4 : 2 : 2 YCbCr, 24位RGB
800×600	4 : 2 : 2 YCbCr, 24位RGB
1024×768	4 : 2 : 2 YCbCr, 24位RGB
1280×960	4 : 2 : 2 YCbCr, 24位RGB
1600×1200	4 : 2 : 2 YCbCr, 24位RGB

所支持的帧率有1.875帧/秒、3.75帧/秒、7.5帧/秒、15帧/秒、30帧/秒和60帧/秒。

同步包用于在1394网络上传输非压缩的数字视频数据。

参考文献

1. 1394-based Digital Camera Specification, Version 1.20, July 23, 1998.
2. Digital Transmission Content Protection Specification Volume 1(Information Version), July 25, 200.
3. Digital Visual Interface (DVI), April 2, 1999.
4. EBU Tech. 3267-E, 1992, *EBU Interfaces for 625-Line Digital Video Signals at the 4 : 2 : 2 level of CCIR Recommendation 601*, European Broadcasting Union, June, 1991.
5. IEC 61883-1, 2003, *Consumer Audio/Video Equipment-Digital Interface-Part 1: General*.
6. IEC 61883-2, 1998, *Consumer Audio/Video Equipment-Digital Interface-Part 2: SD-DVCR Data Transmission*.
7. IEC 61883-3, 1998, *Consumer Audio/Video Equipment-Digital Interface-Part 3: HD-DVCR Data Transmission*.
8. IEC 61883-4, 1998, *Consumer Audio/Video Equipment-Digital Interface-Part 4: MPEG-2 TS Data Transmission*.
9. IEC 61883-5, 1998, *Consumer Audio/Video Equipment-Digital Interface-Part 4: SDL-DVCR Data Transmission*.
10. ITU-R BT.656-4, 1998, *Interfaces for Digital Component Video Signals in 525-Line and 625-Line Television Systems Operating at the 4 : 2 : 2 level of Recommendation ITU-R BT.601*.
11. ITU-R BT.799-3, 1998, *Interfaces for Digital Component Video Signals in 525-Line and 625-Line Television Systems Operating at the 4 : 4 : 4 level of Recommendation ITU-R BT.601 (Part A)*.
12. ITU-R BT.1302, 1997, *Interfaces for Digital Component Video Signals in 525-Line and 625-Line Television Systems Operating at the 4 : 2 : 2 level of Recommendation ITU-R BT.601*.
13. ITU-R BT.1303, 1997, *Interfaces for Digital Component Video Signals in 525-Line and 625-Line Television Systems Operating at the 4 : 4 : 4 level of Recommendation ITU-R BT.601 (Part B)*.
14. ITU-R BT.1304, 1997, *Checksum for Error Detection and Status Information in Interfaces Conforming to ITU-R BT.656 and ITU-R BT.799*.
15. ITU-R BT.1305, 1997, *Digital Audio and Auxiliary Data as Ancillary Data Signals in Interfaces Conforming to ITU-R BT.656 and ITU-R BT.799*.
16. ITU-R BT.1362, 1998, *Interfaces For Digital Component Video Signals in 525-Line and 625-Line Progressive Scan Television Systems*.
17. ITU-R BT.1364, 1998, *Format of Ancillary Data Signals Carried in Digital Component Studio Interfaces*.
18. ITU-R BT.1365, 1998, *24-Bit Digital Audio Format as Ancillary Data Signals in HDTV Serial Interfaces*.
19. ITU-R BT.1366, 1998, *Transmission of Time Code and Control Code in the Ancillary Data Space of a Digital Television Stream According to ITU-R BT.656, ITU-R BT.799, and ITU-R BT.1120*.
20. ITU-R BT.1381-1, 2001, *Serial Digital Interface-based Transport Interface for Compressed Television Signals in Networked Television Production Based on Recommendations ITU-R BT.656 and ITU-R BT.1302*.

189

21. ITU-R BT.1577, 2002, *Serial Digital Interface-based Transport Interface for Compressed Television Signals in Networked Television Production Based on Recommendations ITU-R BT.1120*.
22. ITU-R BT.1616, 2003, *Data Stream Format for the Exchange of DV-based Audio, Data and Compressed Video over Interfaces Complying with Recommendation ITU-R BT.1381*.
23. ITU-R BT.1617, 2003, *Format for Transmission of DV Compressed Video, Audio and Data over Interfaces Complying with Recommendation ITU-R BT.1381*.
24. ITU-R BT.1618, 2003, *Data Structure for DV-based Audio, Data and Compressed Video at Data Rates of 25 and 50 Mbit/s*.
25. ITU-R BT.1619, 2003, *Vertical Ancillary Data Mapping for Serial Digital Interface*.
26. ITU-R BT.1620, 2003, *Data Structure for DV-based Audio, Data and Compressed Video at a Data Rate of 100Mbit/s*.
27. Kikuchi, Hidekazu, et al., *A 1-bit Serial Interface Chip Set for Full-Color XGA Pictures*, Society for information Display, 1999.
28. Kikuchi, Hidekazu, et al., *Gigabit Video Interface: A Fully Serialized Data Transmission System for Digital Moving Pictures*, International Conference on Consumer Electronics, 1998.
29. Open LVDS Display Interface (OpenLDI) Specification, v0.95, May 13, 1999.
30. SMPTE 125M-1995, *Television-Component Video Signal 4 : 2 : 2—Bit-Parallel Digital Interface*.
31. SMPTE 240M-1999, *Television-Signal Parameters—1125-Line High-Definition Production Systems*.
32. SMPTE 244M-2003, *Television—System M/NTSC Composite Video Signals-Bit—Parallel Digital Interface*.
33. SMPTE 259M-1997, *Television—10-Bit 4 : 2 : 2 Component and 4F_{SC} Composite Digital Signals—Serial Digital Interface*.
34. SMPTE 260M-1999, *Television—1125/60 High-Difinition Production System—Digital Representation and Bit-Parallel Interface*.
35. SMPTE 266M-2002, *Television—4 : 2 : 2 Digital Component Systems—Digital Vertical Interval Time Code*.
36. SMPTE 267M-1995, *Television—Bit-Parallel Digital Interface-Component Video Signal 4 : 2 : 2 16 × 9 Aspect Ratio*.
37. SMPTE 272M-1994, *Television—Formating AES/EBU Audio and Auxiliary Data into Digital Video Ancillary Data Space*.
38. SMPTE 274M-2005, *Television—1920 × 1080 Image Sample Structure, Digital Representation and Digital Timing Reference Sequences for Multiple Picture Rates*.
39. SMPTE 291M-1998, *Television—Ancillary Data Packet and Space Formatting*.
40. SMPTE 292M-1998, *Television—Bit-Serial Digital Interface for High-Difinition Television Systems*.
41. SMPTE 293M-2003, *Television—720 × 483 Active Line at 59.94 Hz Progressive Scan Production—Digital Representation*.
42. SMPTE 294M-2001, *Television—720 × 483 Active Line at 59.94 Hz Progressive Scan Production—Bit-Serial Interface*.
43. SMPTE 296M-2001, *Television—1280 × 720 Progressive Image Sample Structure, Analog and Digital Representation and Analog Interface—Bit-Serial Interface*.
44. SMPTE 305.2M-2000, *Television—Serial Data Transport Interface (SDTI)*.
45. SMPTE 314M-1999, *Television—Data structure for DV-Based Audio, Data and Compressed Video—25 and 50Mb/s*.
46. SMPTE 326M-2000, *Television—SDTI Content Package Format (SDTI-CP)*.
47. SMPTE 334M-2000, *Television—Vertical Ancillary Data Mapping for Bit-Serial Interface*.
48. SMPTE 334M-2000, *Television—540 Mbps Serial Digital Interface*.
49. SMPTE 348M-2000, *Television—High Data-Rate Serial Data Transport Interface (HD-SDTI)*.
50. SMPTE 370M-2002, *Television—Data Structure for DV-Based Audio, Data and Compressed Video at 100 Mb/s 1080/60i, 1080/50i, 720p*.
51. SMPTE 372M-2002, *Television—Dual Link 292M Interface for 1920 × 1080 Picture Raster*.
52. SMPTE 396M-2003, *Television—Packet Format and Transmission Timing of DV-Based Data Streams over IEEE 1394*.
53. SMPTE RP-165-1994, *Television—Error Detection Checkwords and Status Flags for Use in Bit-Serial Digital Interfaces for Television*.
54. SMPTE RP-174-1993, *Bit-Parallel Digital Interface for 4 : 4 : 4 Component Video Signal (Single Link)*.
55. SMPTE RP-175-1997, *Digital Interface for 4 : 4 : 4 Component Video Signal (Dual Link)*.
56. SMPTE RP-168-2002, *Definition of Vertical Interval Switching Point for Synchronous Video Switching*.
57. SMPTE RP-188-1999, *Transmission of Time Code and Control Code in the Ancillary Data Space of a Digital Television Data Stream*.
58. SMPTE RP-208-2002, *Transport of VBI Packet Data in Ancillary Data packet*.
59. Teener, Michael D. Johns, *IEEE 1394-1995 High Performance Serial Bus*, 1394 Developer's Conference, 1997.
60. VESA DFP 1.0: Digital Flat Panel (DFP) Standard.
61. VESA Video Interface Port (VIP), Version 2, October 21, 1998.
62. VMI Specification, v1.4, January 30, 1996.
63. Wickelgren, Ingrid J., *The Facts about FireWire*, IEEE Spectrum, April 1997.

第7章 数字视频处理

除了需要对MPEG、NTSC/PAL和很多其他类型的视频进行编码和解码外，典型的视频系统通常还要进行很多其他的视频处理。

由于很多消费类显示器和大多数计算机显示器为逐行设备（非隔行的），因此隔行视频必须转换为逐行的（非隔行的）。逐行视频必须转换为隔行视频以驱动普通的模拟VCR或隔行TV，这就需要进行非隔行到隔行的转换。

很多计算机显示器支持每秒至少75帧的刷新速率。基于CRT的电视机刷新速率为每秒50或59.94 (60/1.001) 场 (field)。对于平板电视而言，达到每秒120帧的刷新速率变得越来越普遍。对于基于电影 (film-based) 的压缩内容，视频源的帧率仅可以达到每秒24帧。这样，必须进行某种形式的帧率转换。

另外一个比较重要 (not-so-subtle) 的问题是视频缩放。SDTV和HDTV支持多种分辨率，然而显示器可能只有一种固定的分辨率。

alpha混合和色度抠像用于将多个视频信号或带有计算机生成文本和图形的视频混合起来。alpha混合确保在源视频之间的平滑交叉 (smooth crossover)，准许文本的亚像素定位，并限制源视频变换带宽以简化最终复合视频信号的编码。

由于没有完美的视频源，故即使是数字视频源，用户也总是希望可以对亮度、对比度、饱和度和色度进行控制。

7.1 舍入考虑

两个8位值相乘，生成的结果为16位。在某些情况下，必须将得到的乘积结果进行舍入处理得到较低精度的值（例如，16位舍入为8位、32位舍入为16位），这是为了满足高性价比的硬件实现。有多种舍入技术：截断、传统舍入、误差反馈舍入和动态舍入。

7.1.1 截断

截断就是在每个舍入操作过程中将任何小数部分的数据直接丢弃。其结果是，在只要很少的几个操作以后，就可能会引入严重的误差。在纯色 (solid color) 区域这也可能会让人感觉到轮廓。

7.1.2 传统舍入

传统的舍入根据小数部分的数位来确定是舍 (round down) 还是入 (round up)。如果小数部分为0.5或更大，那么就执行入操作——正数就应该变得更大，而负数则应该变得更小。如果小数部分小于0.5，那么就应该执行舍操作——正数应该变得更小，而负数则应该变得更大。

7.1.3 误差反馈舍入

误差反馈舍入服从规则“从来不丢弃任何东西”。误差反馈舍入的实现方式是，保存截断后的残差，并将其加入到下一个视频样本点中。这种方法用更不可见的类似噪声的量化误差代替了

简单截断所引起的轮廓效应。图7-1给出的是实现误差反馈舍入的例子。在这个例子中，16位的值通过误差反馈方法减少为8位的值。

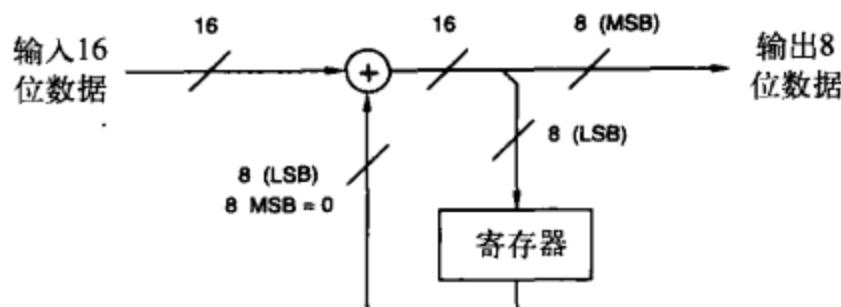


图7-1 误差反馈舍入

7.1.4 动态舍入

动态舍入这种方法（由Quantel公司注册的专利）根据丢弃小数位的权重对最低有效位（LSB）进行抖动（dither）处理。193 将初始的数据字分为两部分，一部分表示最终输出字的分辨率，一部分处理剩下的小数部分。小数数据与随机数生成器的输出进行比较，该随机数生成器在分辨率上与小数部分相等。比较器的输出为由小数部分的值进行加权的1位随机模式，并将作为加法器的进位。在任何情况下，输出字仅有一个最低有效位会改变，而且这种改变是随机的。图7-2所示的是实现动态舍入的例子。

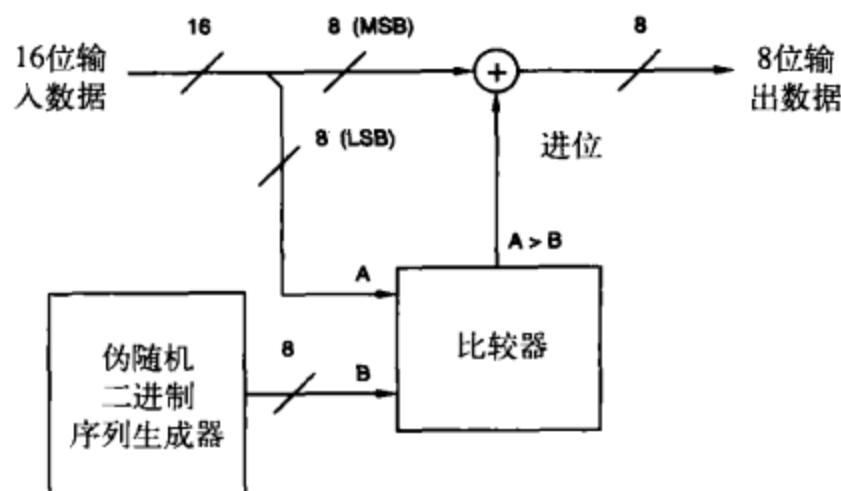


图7-2 动态舍入

7.2 SDTV-HDTV YCbCr转换

SDTV和HDTV应用具有不同的色度特征，如第3章所讨论。这样，当SDTV（HDTV）数据在HDTV（SDTV）显示器上显示时，就应该对YCbCr数据进行处理以弥补色度特征的差异。

7.2.1 SDTV到HDTV的转换

为了将 $Y_{60}CbCr$ （SDTV）数据转换到 $Y_{709}CbCr$ （HDTV），需要使用一个 3×3 的矩阵：

1	-0.11554975	-0.20793764
0	1.01863972	0.11461795
0	0.07504945	1.02532707

注意，在进行处理之前，必须去掉8位DC偏移（Y为16，CbCr为128），然后在处理完后再加在后面。

7.2.2 HDTV到SDTV的转换

为了将 Y_{709} CbCr (HDTV) 数据转换到 Y_{601} CbCr (SDTV)，需要使用一个 3×3 的矩阵：

$$\begin{matrix} 1 & 0.09931166 & 0.19169955 \\ 0 & 0.98985381 & -0.11065251 \\ 0 & -0.07245296 & 0.98339782 \end{matrix}$$

注意，在进行处理之前，必须去掉8位DC偏移 (Y 为16, CbCr为128)，然后在处理完后再加在后面。

194

7.3 4:4:4到4:2:2 YCbCr的变换

将4:4:4 YCbCr数据变换到4:2:2 YCbCr (图7-3) 是数字视频中的一个通用功能。4:2:2 YCbCr是很多数字视频接口的基础，相对4:4:4来讲，实现4:2:2需要更少的连接。

饱和度逻辑应该包含在Y、Cb和Cr数据路径中，这样可以将8位数据的表示范围限制在1~254。值16和128用于在消隐期内生成合适的电平，如图7-3所示。

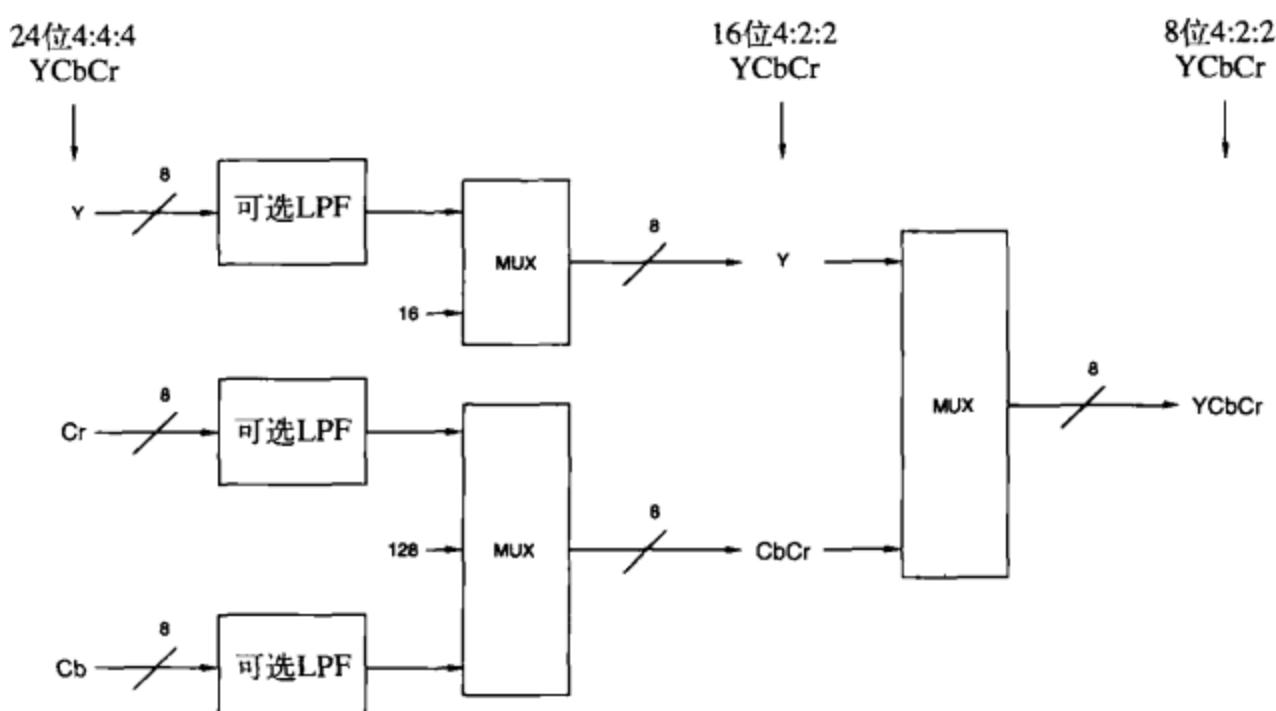


图7-3 4:4:4到4:2:2 YCbCr的变换

7.3.1 Y滤波

对Y进行滤波的低通滤波器 (lowpass filter) 的模板见图7-4和表7-1。

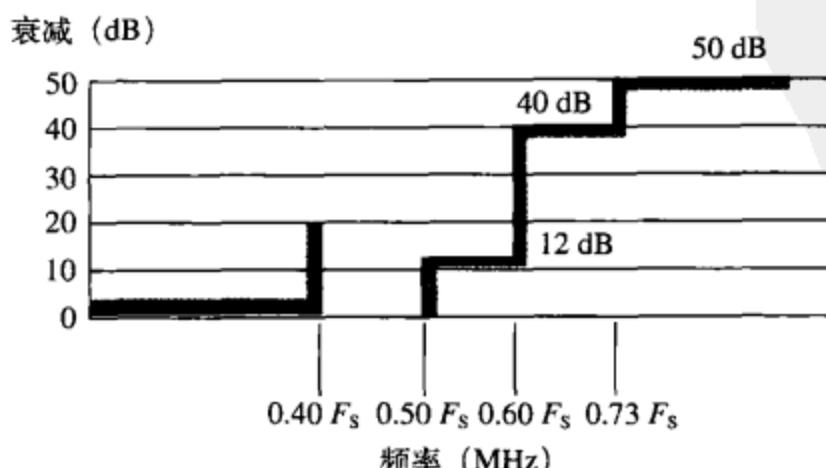


图7-4 Y滤波器模板。 $F_s = Y_1$ 倍采样率

表7-1 Y滤波褶皱和群延迟限差。 $F_s=Y$ 倍采样率。 $T=1/F_s$

频率范围	典型的SDTV限差	典型的HDTV限差
带通褶皱限差		
0~0.40 F_s	由±0.01dB增加到±0.05dB	±0.05dB
带通群延迟限差		
0~0.27 F_s	由0增加到±1.35ns	±0.075T
0.27 F_s ~0.40 F_s	由±1.35ns增加到±2ns	±0.110T

因为滤波过程可能有很多级联 (cascaded) 的变换 (可以想象最多可达10级)，所以设计的滤波器要保持非常小的误差容限，以避免视觉伪影的积累。因为在通过多级 (multiple stage) 处理后，滤波会放大实际信号与平滑幅度和群延迟响应的偏离程度。例如，如果采用的滤波器在1MHz时引起的噪声为-1dB，而在1.3MHz时为-3dB，那么在经过了4级变换后 (假设每级2个滤波器)，总的响应在1MHz处为-8dB，而在1.3MHz处为-24dB。

尽管陡峭截止会导致Y边沿处的振铃效应 (ringing)，但如果群延迟性能足够好，视觉伪影应该是最小的。当级联多个滤波器进行操作时，通带平坦性和群延迟特性就是非常重要的。与陡峭截止相耦合的带通容限使得模板匹配非常困难 (从某种程度上讲是不可能的)。因此，通常有一个倾向就是放松通带准确度，但最好的方法就是降低截止速度，并保持通带尽可能平坦。

195

7.3.2 CbCr滤波

Cb和Cr经过了低通滤波和抽取。在标准的设计中，低通滤波器和抽取滤波器可以组合成一个单一的滤波器，并且单个滤波器可以通过复用的方式同时应用于Cb和Cr。

与Y滤波的情况一样，Cb和Cr低通滤波要求具有陡峭的截止频率，这样可以防止在反复变换的过程中导致分辨率损失的累积。然而，对于Cb和Cr而言，由于截止频率较低，陡峭截止频率产生的振铃效应要比Y的情况明显得多。

图7-5和表7-2给出的是Cb和Cr滤波器的一个模板。

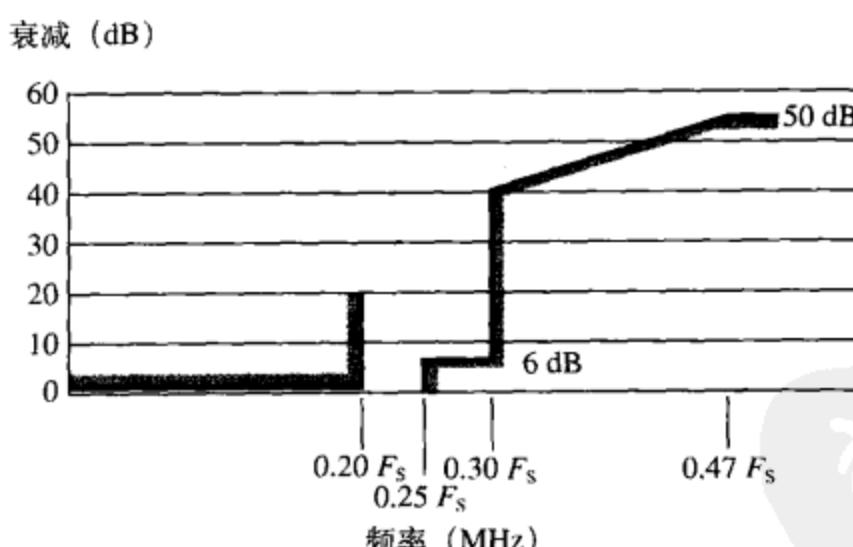


图7-5 将采样速率从4:4:4变换为4:2:2的数字滤波器的Cb和Cr滤波器模板。 $F_s=Y$ 倍的采样速率

表7-2 CbCr滤波褶皱和群延迟限差。 $F_s=Y$ 倍的采样速率。 $T=1/F_s$

频率范围	典型的DSTV限差	典型的HDTV限差
通带褶皱限差		
0~0.20 F_s	0dB增加到±0.05dB	±0.05dB
通带群延迟限差		
0~0.20 F_s	通过设计，使得延迟失真为0	

由于色差信号的混叠没有那么明显，因此，在二分之一采样频率处的衰减仅为6dB。使用斜对称（skew-symmetric）的频率响应以二分之一采样频率通过-6dB点有一个优点：这使得数字滤波器的交替系数为0，几乎使抽头数减半，并且对于Cb和Cr信号也可以使用一个单一的滤波器。使用横向滤波器的优点是能够提供完美的线性相位响应，消除了对群延迟进行校正的必要。

与Y滤波器的情况一样，通带的平坦性和群延迟特性是非常重要的，最好的方法仍然是降低截止速度，尽可能保持通带平坦。

7.4 显示增强

7.4.1 亮度、对比度、饱和度（颜色）和色调（色彩）

在YCbCr颜色空间进行处理简化了亮度、对比度、饱和度和色调控制的实现，如图7-6所示。图中同时还展示了复用器，使用复用器可以输出黑屏、蓝屏和彩条。

这样的设计应当确保不会出现上溢或下溢反转误差，能够有效地将饱和颜色值限定在0~255。

1. Y处理

将数据Y减去16就可以将黑色电平定位于0处。这消除了DC偏移，因而调整对比度就不会改变黑色电平。由于输出数据Y的值可以小于16，这时就应该支持Y值为负的情况。

对比度（或图像或白色电平）控制是通过将YCbCr数据乘以一个常数来实现的。如果没有调整Cb和Cr，那么任何时候，彩色漂移都可能导致对比度发生变化。典型的8位对比度调整范围是0~1.992×。

亮度（或黑色电平）控制是通过将数据Y加上或减去一个数来实现的。亮度控制是在对比度控制之后实现的，这是为了避免由于调整对比度而引入不断变化的DC偏移值。典型的8位亮度调整范围是-12~+127。

最后，要将数据Y加上16以便将黑色电平定位于16的位置。

2. CbCr处理

从Cb和Cr上减去128就可以将它们的取值范围定位于0附近。

色调（或色彩）控制是通过混合Cb和Cr数据来实现的：

$$Cb' = Cb \cos \theta + Cr \sin \theta$$

$$Cr' = Cr \cos \theta - Cb \sin \theta$$

其中 θ 是期望的色调角。典型的8位色度调整范围是-30°~+30°。

饱和度（或颜色）控制是通过将Cb和Cr都乘一个常数来实现的。典型的8位饱和度调整范围是0~1.992×。在图7-6所给的例子中，对比度和饱和度值乘在一起是为了减小CbCr数据路径上的乘法器数量。

最后，在Cb和Cr上都加上128。

很多显示器也分别对红色、绿色、蓝色、青色、黄色和洋红色使用独立的色度和饱和度控制。这使得在生成图像时可以对图像进行调整，以更好地匹配显示器的特性。

7.4.2 彩色瞬时改善

YCbCr过渡应该是对齐的。然而，Cb和Cr过渡通常是减缓的，时间上是有偏差的，这是由于色差信息较窄的带宽导致的。

通过对一致的Y过渡进行监视，可以合成Cb和Cr更快的水平和垂直过渡。也可以将小的预发射（pre-shoot）和后发射（after-shoot）加到Cb和Cr信号上。

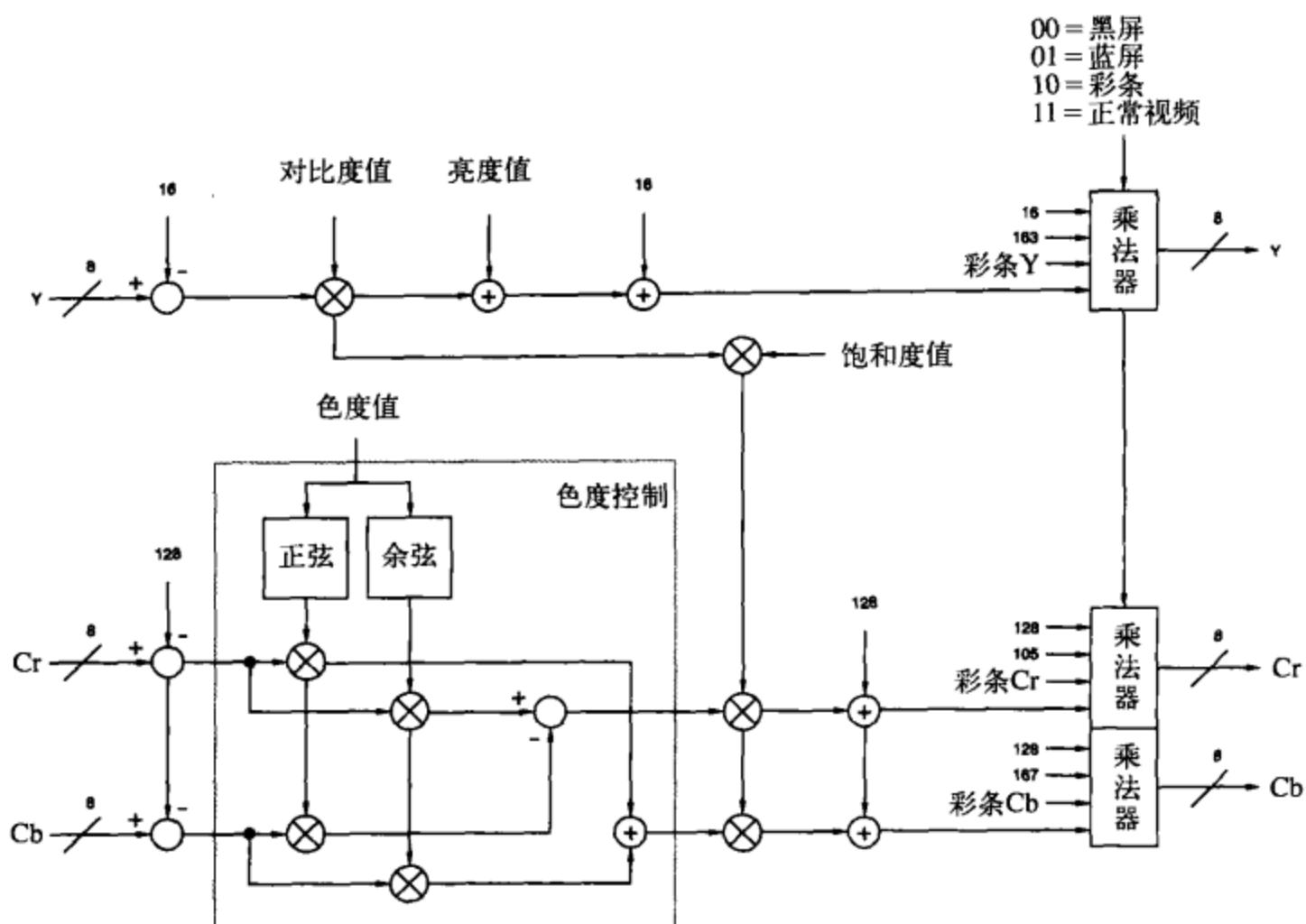


图7-6 色调、饱和度、对比度和亮度控制

这样，新的Cb和Cr边沿就会与Y边沿对齐，如图7-7所示。

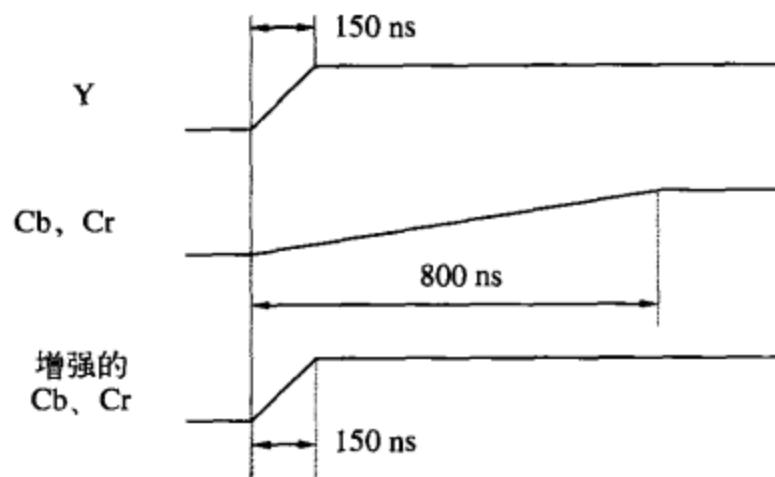


图7-7 颜色瞬时改善

通常，显示器利用这种技术来提供看起来对比更加显著的画面。

7.4.3 亮度瞬时改善

在这种情况下，Y水平和垂直过渡缩短了，也可以将小的预发射（pre-shoot）和后发射（after-shoot）加到Y上，以手工方式对图像进行锐化。

显示器通常使用这种技术来提供看起来对比更加明显的画面。

7.4.4 锐化

画面锐度的显著增加可以通过增加高频亮度信息的幅度来实现。

如图7-8所示，可以使用具有选择性增益的简单带通滤波器（也可以称为峰值滤波器）。出现最大增益的频率通常可以选择在颜色副载波频率处或大约2.6MHz处。典型情况下，在滤波器之后使用除噪电路（coring circuit）来降低电平噪声。

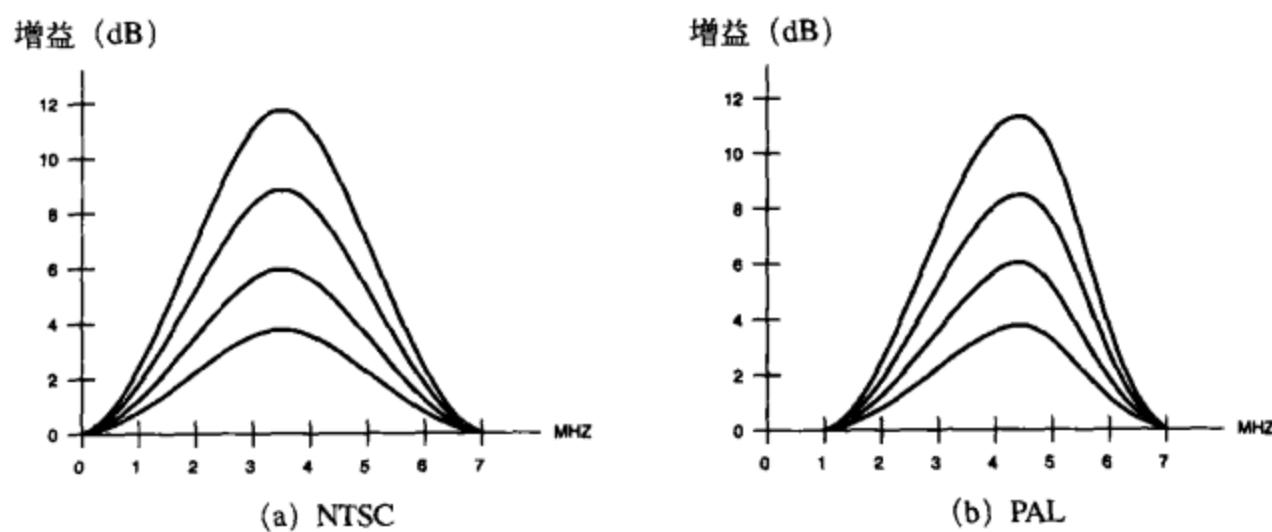


图7-8 简单的可调锐度控制

图7-9给出的是一个更复杂的锐化控制电路。使用具有可调增益的可变带通滤波器增加高频亮度。除噪功能（典型值为 ± 1 LSB）消除了低电平噪声。然后将修改的亮度加到初始的亮度信号上。

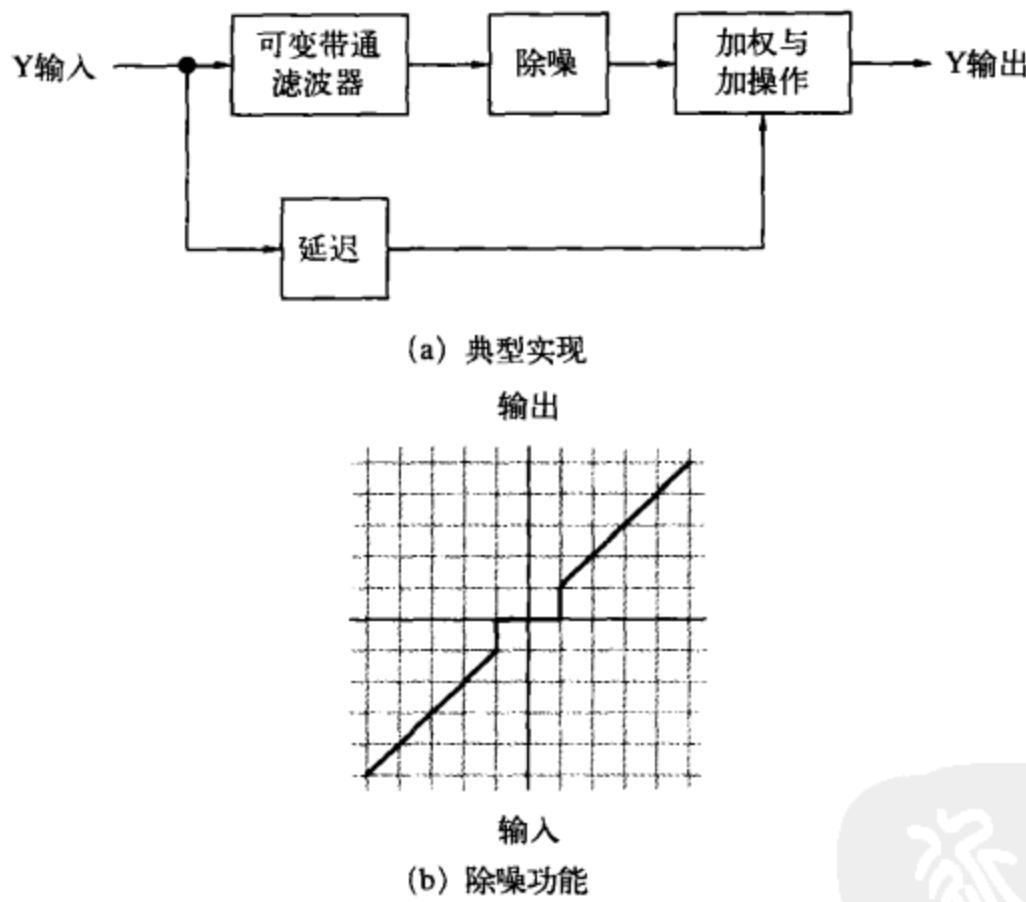


图7-9 更复杂的锐度控制

除了可选增益外，也应该支持可选的高频衰减。很多电视通过提升高频增益来改善图像的显示锐度。尽管可以关闭对电视的锐度控制，但是这会影响模拟广播的图像质量。

7.4.5 蓝色延展

蓝色延展（blue stretch）增加了白色和白色附近颜色的蓝色值，这是为了使得白色看起来更亮。当采用蓝色延展时，应该只能处理指定范围内的颜色。

具有最大值的约80%或更多的Y值的颜色的饱和度值低，落在CbCr平面内的白色检测区域内，

其蓝色分量增加约4%（蓝色增益因子），而红色分量减少同样的数量。对于更加复杂的设计，白色检测区域和蓝色增益因子可能依赖于颜色的Y值和饱和度值。

过渡边界可以用在白色检测区域附近，这样随着颜色偏离白色检测区域边界，就可以逐渐地减小蓝色增益因子。这可能会妨碍蓝色延展区域与没有进行颜色延展的区域之间的硬过渡。如果颜色落在过渡边界区域内，那么它就使用蓝色增益因子的一小部分对蓝色进行延展，并且随着离检测区域边界的距离的增加，这部分占蓝色增益因子的比例会不断降低。

7.4.6 绿色增强

当绿色电平值较低时，绿色增强创建了一个更丰富、更饱和的绿色。显示器通常使用这种技术来提供看起来更绿的草、树木等。当采用绿色增强时，应该处理仅位于特定颜色范围内的颜色。

具有低绿色饱和度值并且落在CbCr平面内绿色检测区域内颜色的饱和度增加了。有些设计不是将绿色检测区域的中心定位于绿色轴（图9-28中的 241° ）附近，而是使用约 213° 作为绿色检测轴，因此，同样的设计也可以很容易地用于实现肤色校正（skin tone correction）。

简单的实现就可以让最大饱和增益（约1.2倍）出现在绿色检测轴上，随着与绿色检测轴距离值的增加，饱和度增益减小到1倍。对于更加复杂的设计，绿色检测区域和最大饱和度增益可能依赖于颜色的Y值和饱和度的值。

有些显示器也使用这种技术来实现蓝色增强，用它来使得天空看起来更蓝。

7.4.7 动态对比度

使用动态对比度（也称为自适应对比度增强），根据图像的内容，图像暗的部分和亮的部分之间的差异通过手工方式得到增强。显示器通常使用这种技术来改善它们的对比度比率。

主要以暗为主的图像中的亮色通过使它们变得更亮（白色延展）而得到增强。典型情况下，这是通过使用直方图信息来修正gamma曲线的上面部分而实现的。

主要以较亮画面为主的图像中的暗色通过使这些图像更暗（黑色延展）而得到增强。典型情况下，这是通过使用直方图信息来修正gamma曲线的下面部分实现的。

对于中等亮度的图像，两种技术都可以采用。

较小的gamma校正调整也可以用于暗色和亮色之间的颜色，这可以让图像具有更多细节和对比更显著。

7.4.8 颜色校正

在源视频与显示器使用的视频之间，RGB色度通常会存在细微的差异。这会导致红色、绿色和蓝色不是完全地准确。

颜色校正可以在源视频上，对显示器的特征进行补偿，使得显示器可以显示出更加准确的红、绿和蓝色。

颜色校正的一个替代方式是进行颜色扩展，这可以利用现代显示器所具有的更加强大的颜色再生能力。颜色扩展可以使绿色更绿，蓝色更蓝，等等。实现颜色扩展的一个常见技术是对于每个主色、辅色和肤色都使用独立的色度和饱和度控制。

7.4.9 色温校正

在没有校准过的电视机中，色温（白色）的变化是基于亮度值的。

D_{65} （由大多数视频标准定义的白色点）的色温是 6500°K 。 6500°K 以上的色温更蓝（冷）； 6500°K 以下的色温更红（暖）。

很多电视在工厂装配时具有非常高的平均色温（ $7000\sim8000^{\circ}\text{K}$ ），这是为了强调电视机的亮度。观众可以选择2到3个出厂设置（暖、冷等）或观看模式（电影、运动等），它们可以作为色温的参考。“冷”设置更亮（就像你在正午的阳光下看到的一样），更适合白天的场景（比如运动赛事），这是由于增强了亮度。“暖”设置更柔和（就像你在室内环境下柔和的灯光下看到的一样），这对于观看电影或在黑暗环境下观看比较合适。

色温可以通过一个 3×3 的矩阵乘法器处理YCbCr或RGB数据。10个寄存器（从10到100 IRE，每10 IRE步使用1个）为 3×3 矩阵乘法器提供9个系数。寄存器中的值由校准过程决定。作为中间IRE电平的YCbCr或RGB值可以通过插值的方式来确定。

203

7.5 视频混合与图形覆盖

混合视频信号可能像在两个视频源之间切换一样简单。如果混合后的视频是用于在计算机监视器上显示，那么这已经足够了。

对于大多数的应用，应该使用alpha混合（alpha mixing）技术。alpha混合技术也可以用于过渡到某个特定的颜色（如黑色）或从某个特定的颜色过渡到别的图像，还可以用于将计算机生成的文本和图形覆盖到视频信号上。

如果要将视频编码为复合视频，那么必须使用alpha混合。否则，在视频源切换点处（如在计算机生成的文本和图形的边缘附近）可能会出现振铃效应和模糊。这是由于在NTSC/PAL编码器中，颜色信息经过了低通滤波的缘故。如果滤波器具有陡峭的截止频率，那么快速的颜色过渡将产生振铃效应。另外，在视频处理的路径上的某处，亮度信息的带宽可能被限制在4~5MHz的范围内，这将减缓亮度信息的过渡。

在数学上，对alpha值进行了归一化处理，其取值范围为0~1，alpha混合可以按如下方式实现：

$$\text{out} = (\text{alpha}_0)(\text{in}_0) + (\text{alpha}_1)(\text{in}_1) + \dots$$

在这种实现中，每个视频源都有它自己的alpha信息。alpha信息之和可以不等于1（单位增益）。

图7-10表示的是两个YCbCr视频信号的混合，每个视频信号都有自己的alpha信息。由于YCbCr使用的是偏移二进制表示，偏移（Y为16，Cb和Cr为128）在视频信号混合之前就被消除掉了。在完成混合之后，再将偏移量加到混合好的信号上。注意，也可以直接对两个4：2：2 YCbCr视频流进行处理；没有必要将它们变换到4：4：4 YCbCr格式进行混合，然后再将结果变换回4：2：2 YCbCr格式。

当只有两个视频源参与混合并且 $\text{alpha}_0 + \text{alpha}_1 = 1$ （实现交叉渐变器）时，在数学上，单一的alpha值可以按照下面的方式使用：

$$\text{out} = (\text{alpha})(\text{in}_0) + (1 - \text{alpha})(\text{in}_1)$$

当 $\text{alpha} = 0$ 时，输出结果就等于 in_1 视频信号；当 $\text{alpha} = 1$ 时，输出结果就等于 in_0 视频信号。当alpha值在0到1之间时，两个视频信号就按照比例与alpha值相乘，然后将结果相加。

将前面的公式进行扩展和调整，就可以看出两通道混合器是如何利用单个乘法器实现的：

$$\text{out} = (\text{alpha})(\text{in}_0 - \text{in}_1) + \text{in}_1$$

过渡到特定的颜色或从特定的颜色过渡到其他的画面，都可以通过将一个输入源设置为固定的颜色来实现。

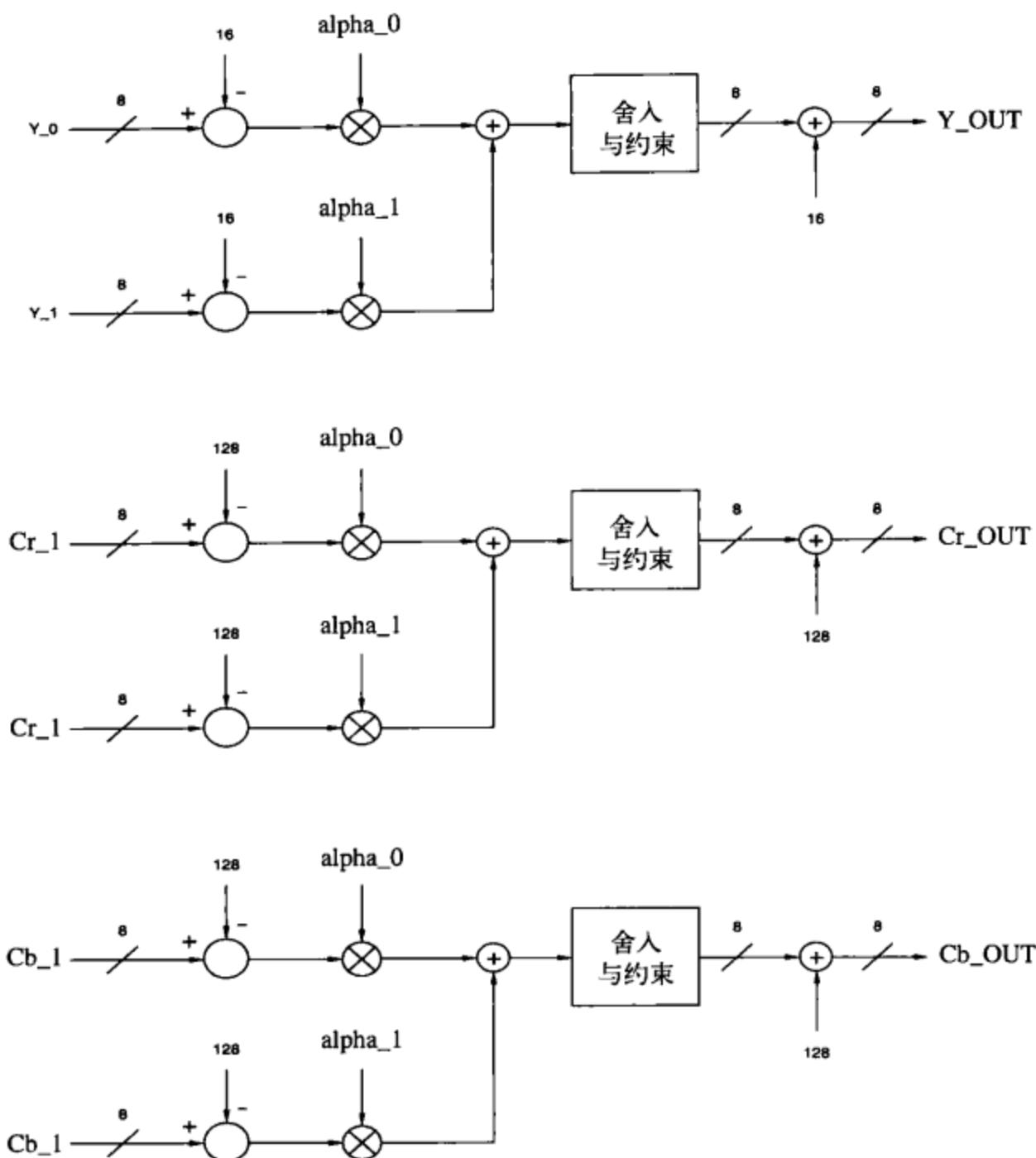


图7-10 混合两个YCbCr视频信号，每个都有自身的alpha通道

图7-11表示的是使用单个alpha通道将两个YCbCr源混合在一起。图7-12和图7-13表示的是混合两个RG'B视频源（RG'B的取值范围是0~255）。图7-14和图7-15表示的是混合两个数字复合视频信号。

使用alpha值的计算机图形系统有一个共同的问题，就是帧缓存可能包含预处理过的RG'B或YCbCr数据；也就是说，在帧缓存中的RG'B或YCbCr数据已经与alpha相乘过了。假定alpha (A) 的值为0.5，未处理过的RG'B'A值，对于白色为(255, 255, 255, 128)；预处理过的RG'B'A值，对于白色为(128, 128, 128, 128)。所以，任何从帧缓存中接受的RG'B或YCbCr数据都应该能够处理两种格式。

通过调整alpha值，由慢到快的交叉过渡是可以实现的，图7-16所示样本点之间alpha值相差太大就会导致快速的交叉过渡；相差较小就会导致较慢的交叉过渡。如果将alpha混合用于特效（如擦除效果），那么切换点（其中每个视频源使用50%）的精度必须能够调整到小于一个样本点，这样才能够确保画面的平滑过渡。通过控制alpha值，可以有效地将切换点定位在任何位置，如图7-16a所示。

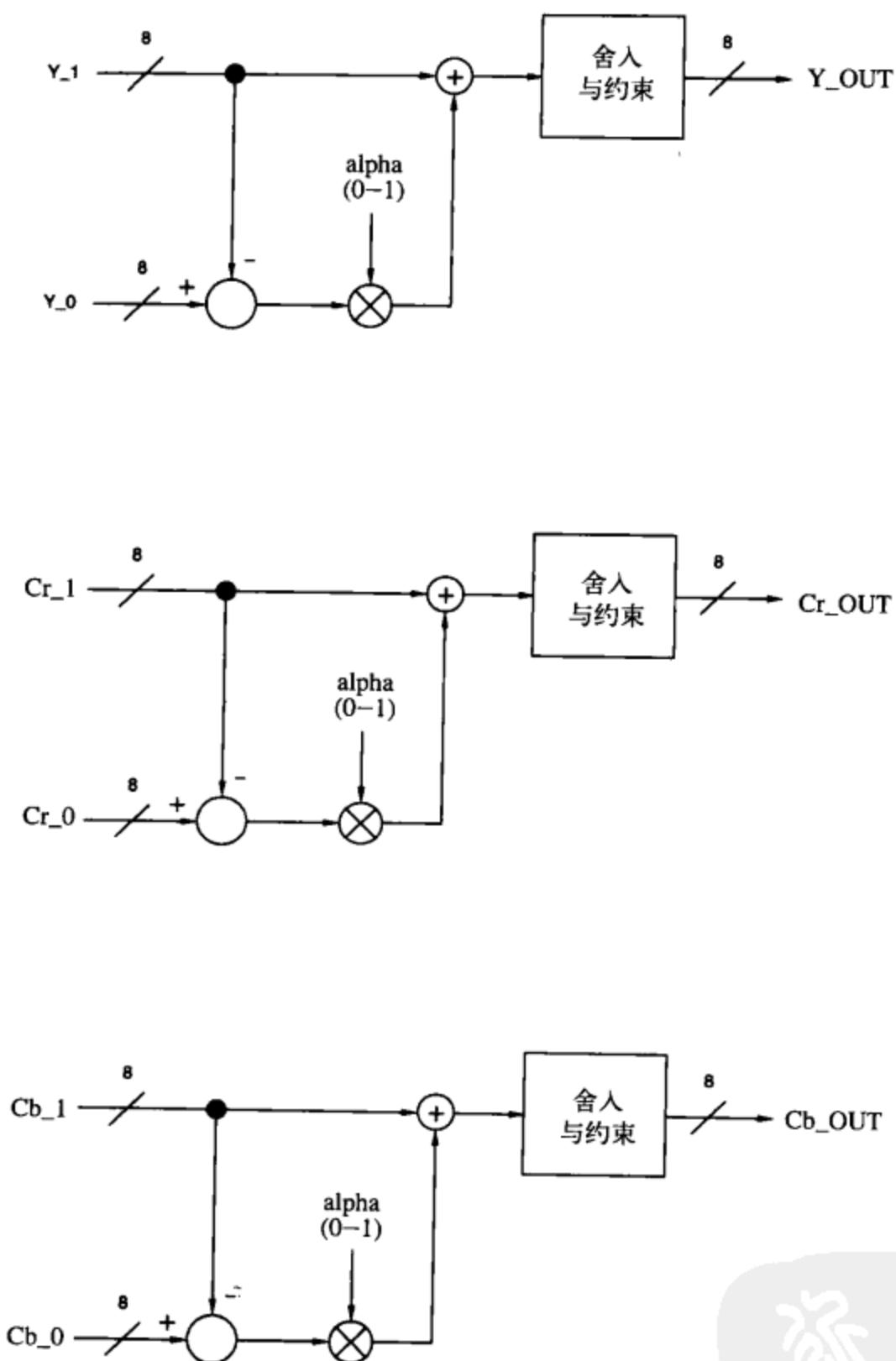


图7-11 两个YCbCr视频信号混合（交叉过渡）的简化。使用单一的alpha通道

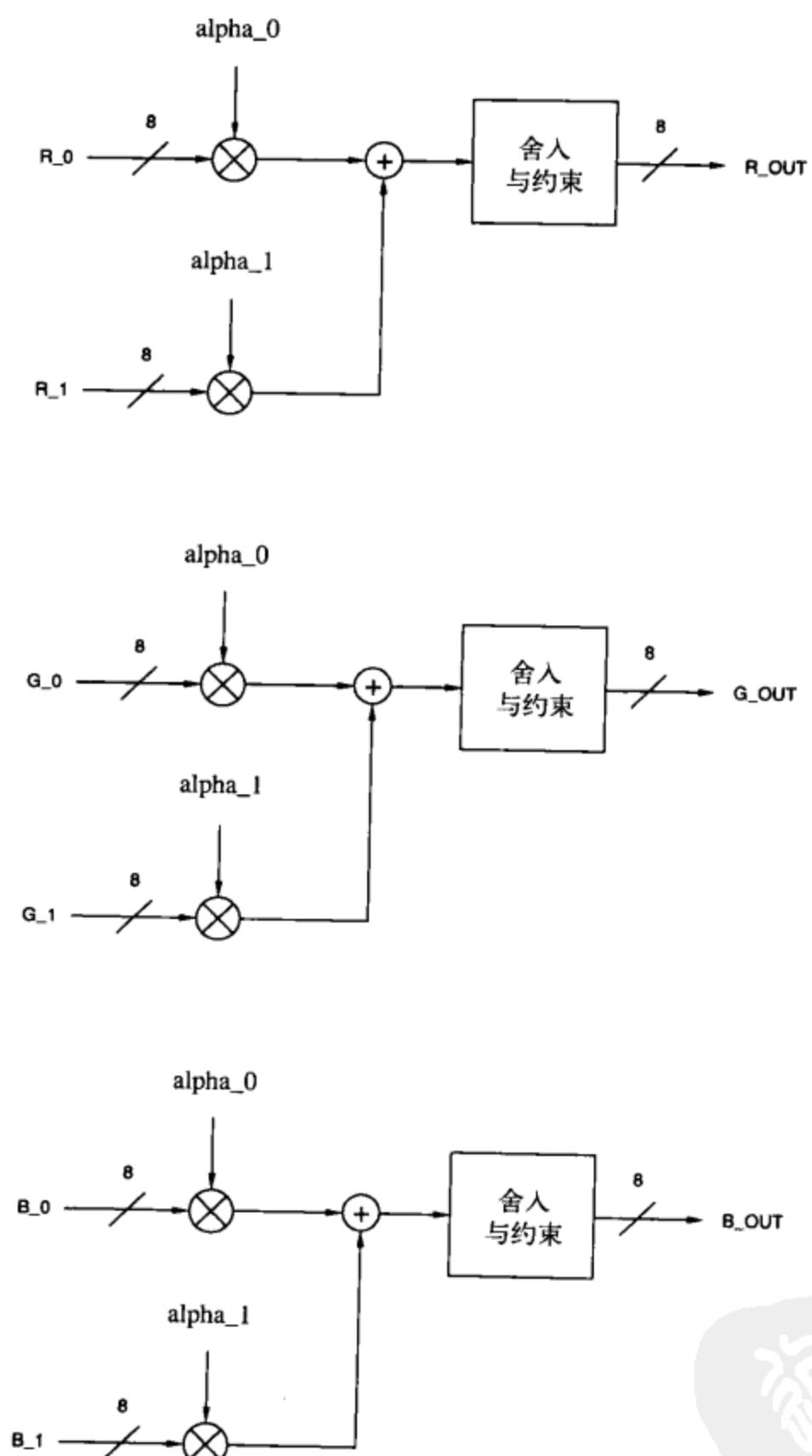


图7-12 混合两个RGB视频信号 (RGB的取值范围是0~255), 每个视频信号都有自己的alpha通道

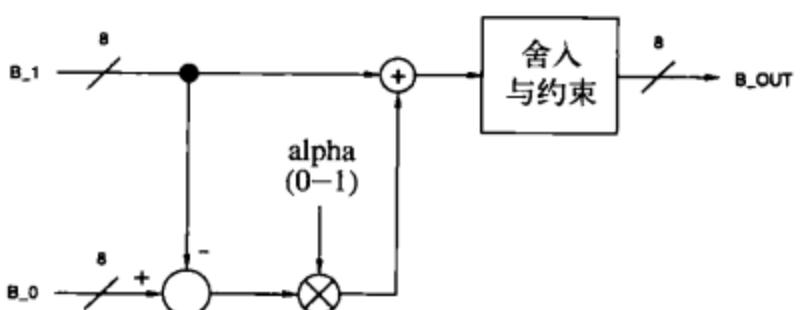
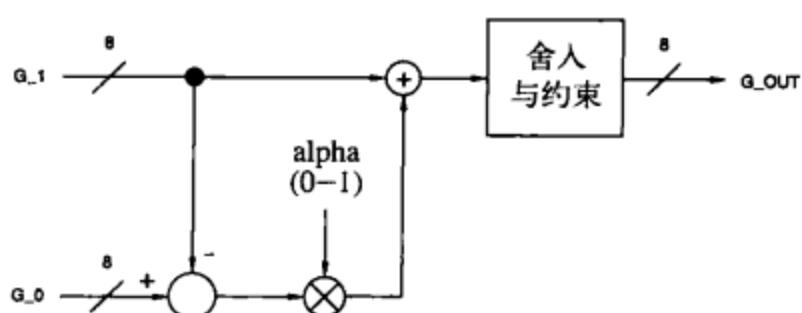
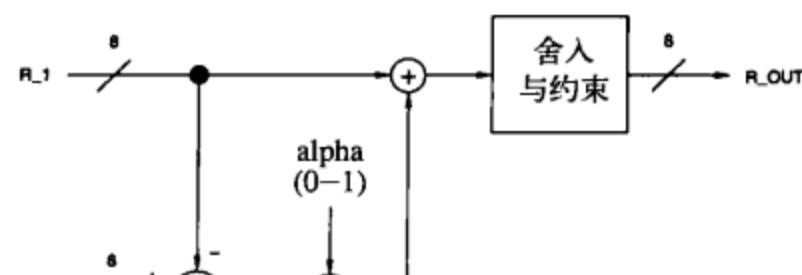


图7-13 两个RGB视频信号（RGB的取值范围是0~255）混合（交叉过渡）的简化，使用单一的alpha通道

208

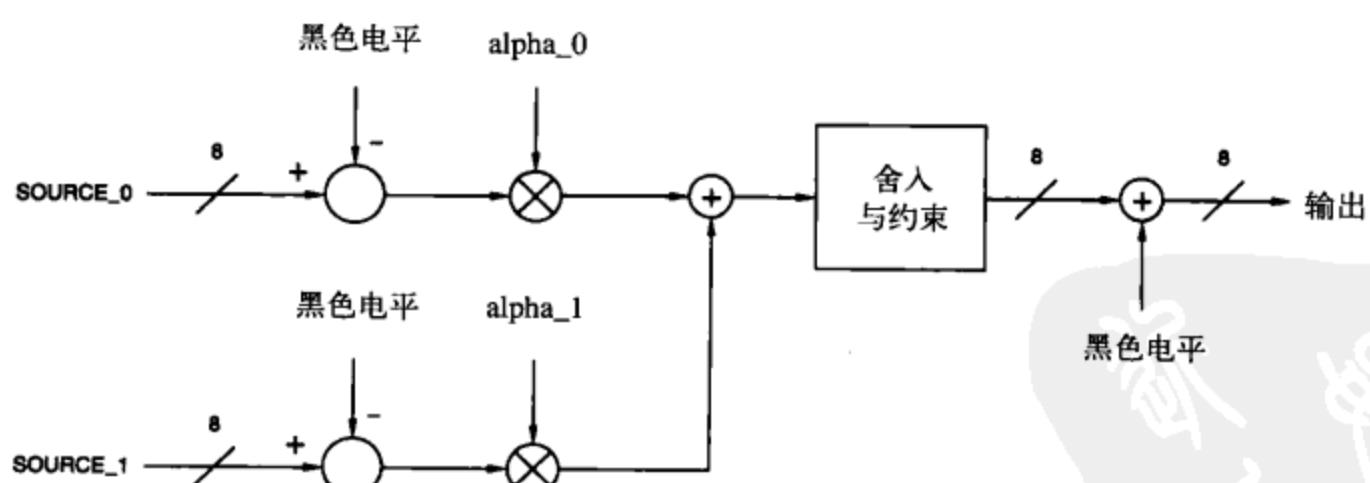


图7-14 混合两个数字复合视频信号，每个视频信号都有自己的alpha通道

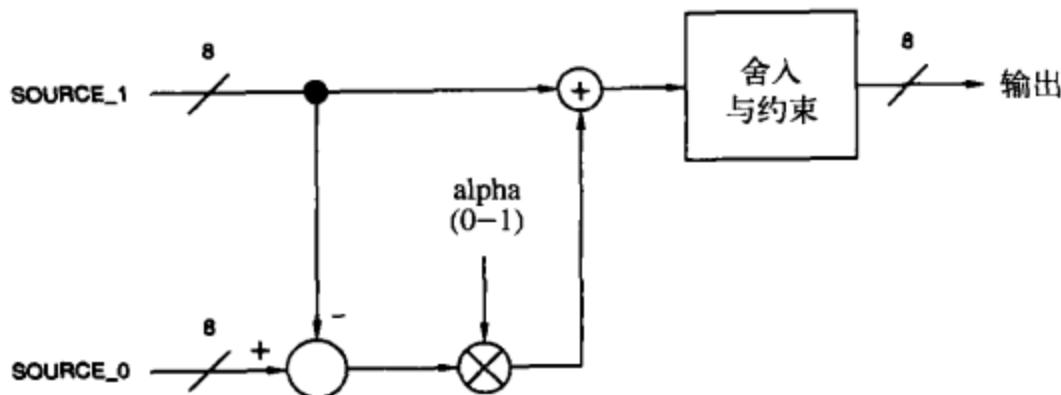
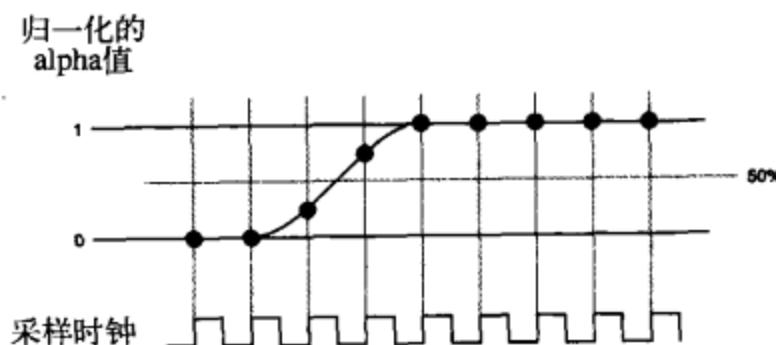
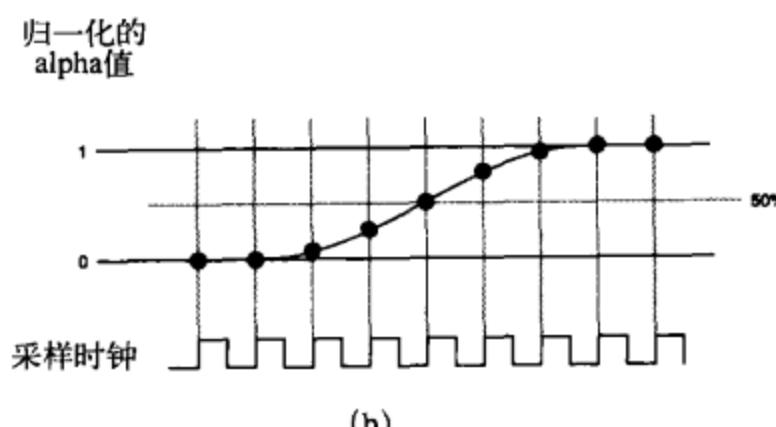


图7-15 两个数字复合视频信号混合（交叉过渡）的简化。每个视频信号都有自己的alpha通道



(a)



(b)

图7-16 控制alpha值以实现（图a）快或（图b）慢抠像。在图a中，有效的切换点位于两个样本之间。

在图b中，过渡时间范围更宽，并且是与采样时刻对齐的

让字符生成器控制alpha的输出就可以将文本覆盖到视频上。将其中一个输入源设置为固定的颜色，文本就会呈现出这种颜色。

注意，对于在处理前从Y通道减去16（黑色电平）的那些设计，在减操作执行后应该支持负的Y值。这样才可以使设计通过现实世界的检验，并对具有最小伪影的视频信号进行测试。

7.6 亮度和色度抠像

抠像需要指定一个期望的前景色，包含前景色的区域就用背景图像替换。另外，可以指定任意大小或形状的任何区域，在这个区域内（或外）的前景区域都用背景图像替换。

7.6.1 亮度抠像

亮度抠像涉及指定期望的前景亮度值；包含高于（或低于）抠像值的亮度值的前景区域用背景图像替换。

另外，这种硬抠像的实现可以用软抠像代替，这是通过给前景图像指定两个亮度值来实现的： Y_H 和 Y_L ($Y_L < Y_H$)。对于将背景抠像到白色的前景区域，高于 Y_H 的前景亮度值 (Y_{FG}) 用背景图像替换；而低于 Y_L 的 Y_{FG} 值包含前景图像。对于 Y_H 和 Y_L 之间的值，在前景和背景图像之间执行线性混合。这种操作可以表示为：

如果 $Y_{FG} > Y_H$, $K = 1$ = 仅取背景图像；

如果 $Y_{FG} < Y_L$, $K = 0$ = 仅取前景图像；

如果 $Y_H \geq Y_{FG} \geq Y_L$, $K = (Y_{FG} - Y_L) / (Y_H - Y_L)$ = 前景与背景的混合。

由1中减去K，可以生成抠像到黑色前景区域的新亮度抠像信号。

图7-17表示的是两个YCbCr视频源的亮度抠像。尽管典型情况下，色度抠像使用压缩技术来消除前景图像中的信息，但当作为Cb和Cr幅度的亮度抠像通常与亮度值没有关系时，并不这样做。

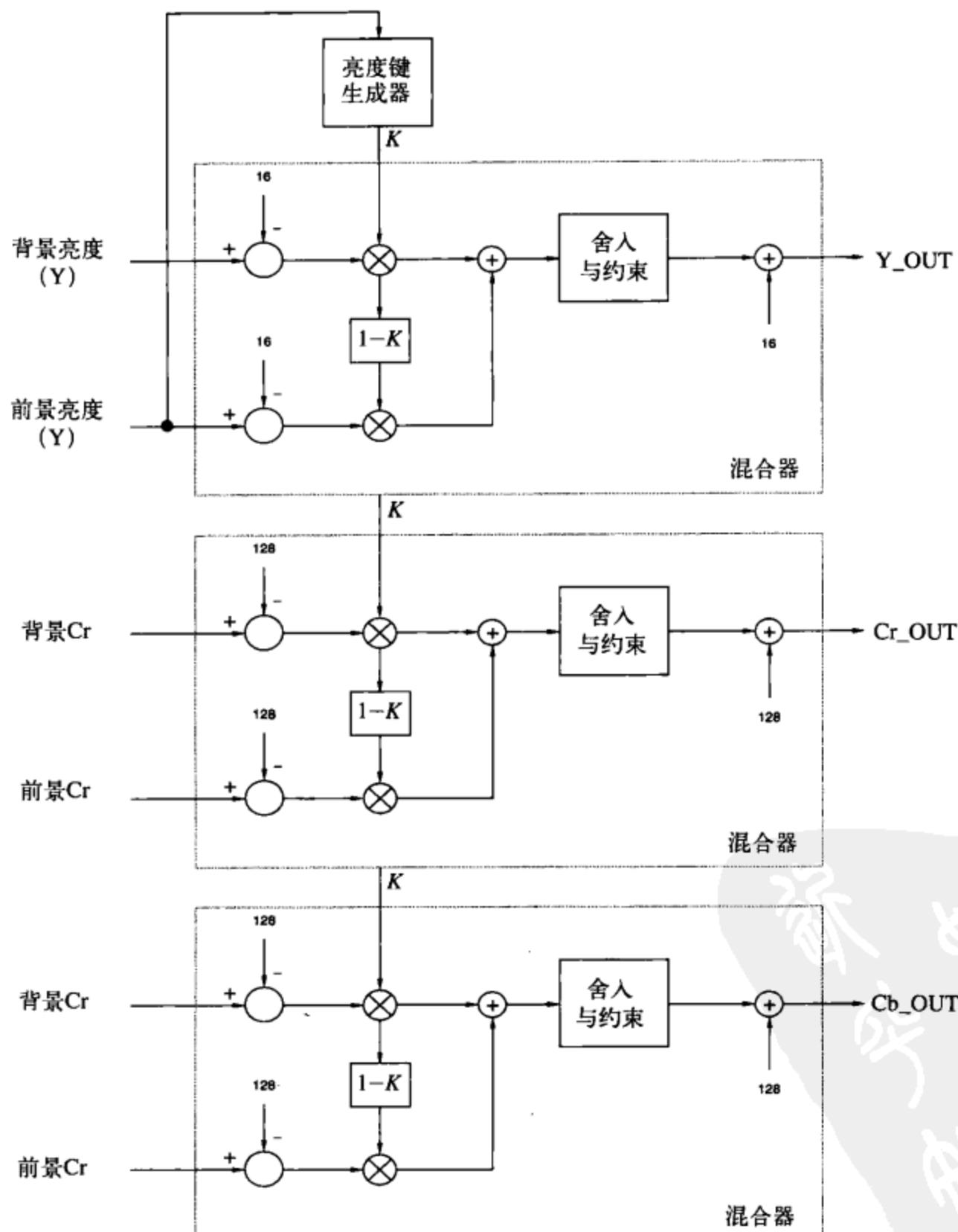


图7-17 两个YCbCr视频信号的亮度抠像

图7-18表示的是两个RGB视频源的亮度抠像，这更适用于计算机图形。 Y_{FG} 可以通过下面的公式获得：

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

在这种应用中，红色和蓝色数据被忽略了，这会导致 Y_{FG} 仅等于绿色数据。

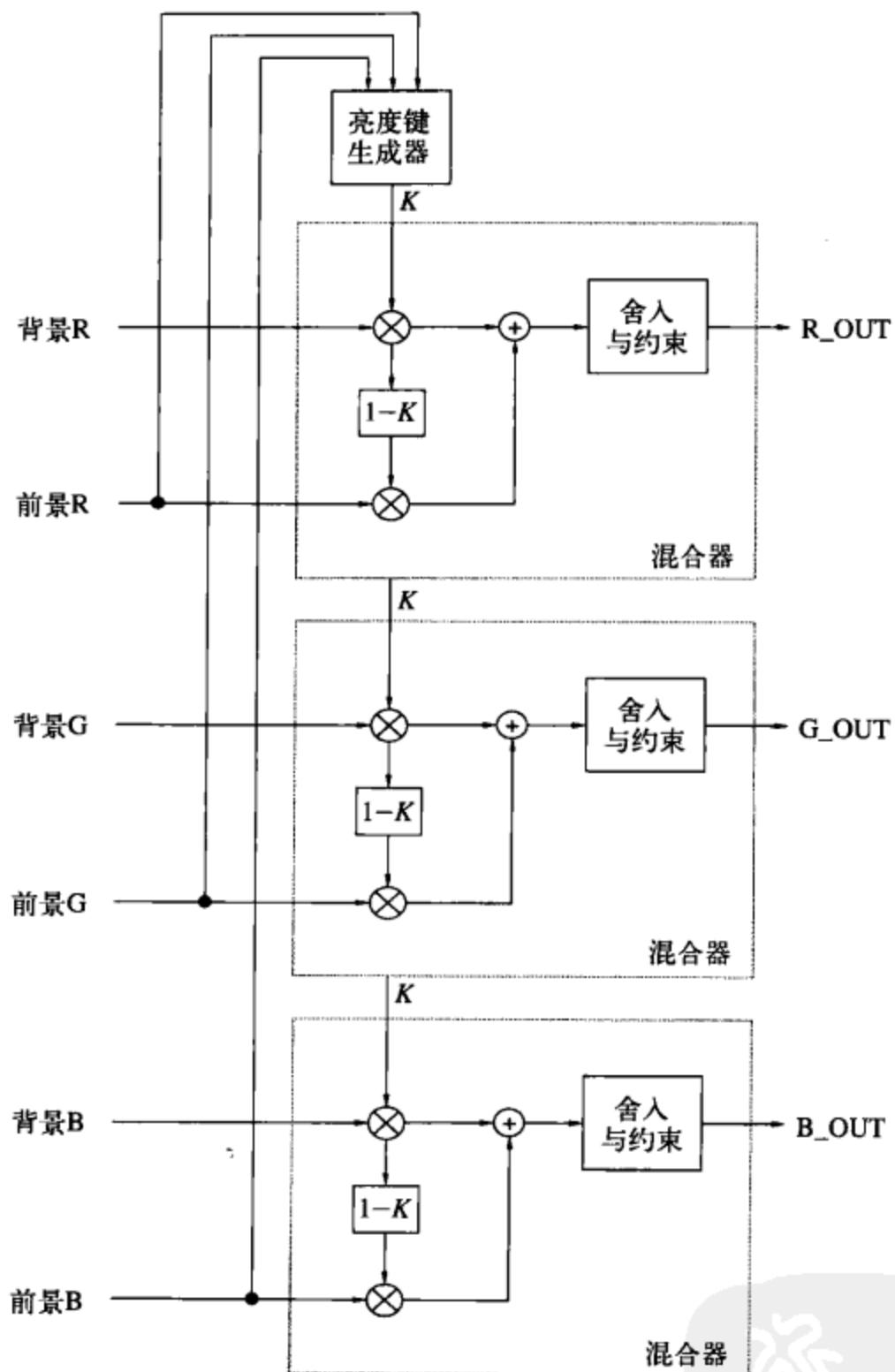


图7-18 两个RGB视频信号的亮度抠像。RGB的取值范围是0~255

图7-19表示的是两个数字复合视频源之间实现亮度抠像的技术。

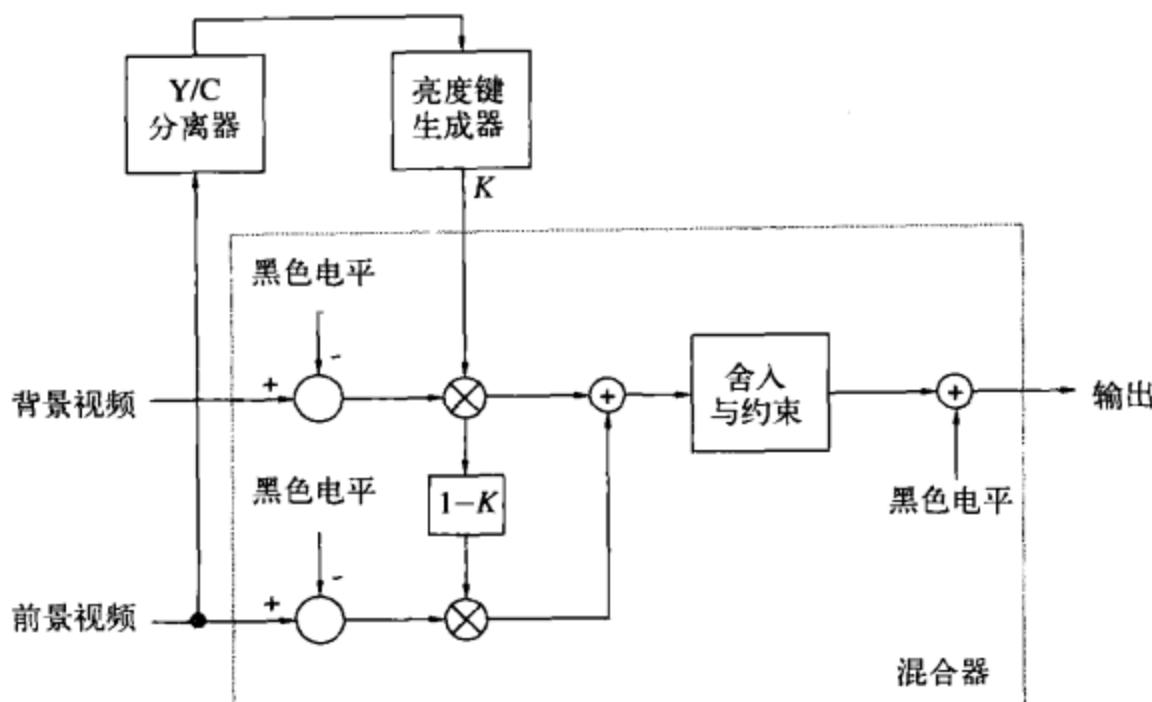


图7-19 两个数字复合视频信号的亮度抠像

7.6.2 色度抠像

色度抠像需要指定期望的前景抠像颜色；包含抠像颜色的前景区域用背景图像替换。 C_b 和 C_r 用于指定键颜色；亮度信息可以用于增加色度抠像功能的真实性。尽管分量混合减少了伪影，但两个视频源的实际混合可以在分量或复合视频域内完成。

早期的色度抠像电路简单地在前景和背景图像之间进行硬或软切换。除了对前景图像中保持的精细细节的数量进行限制外，通过透明或半透明前景对象，背景是不可见的，并且前景阴影不会出现在包含背景图像的区域内。

建立线性抠像器可以将前景和背景图像按照键值确定的比例组合在一起，这导致在包含背景图像的区域内前景图像会被衰减。尽管准许前景图像对象出现透明，但是对前景内保持的细节精细度还是有限制的。如果不进行额外的处理，那么前景形成的阴影就不会出现在包含背景图像的区域内，背景图像特定区域的亮度值必须减小，以产生前景对象投影形成的阴影效果。

如果除了前景对象投影形成的阴影外，前景场景使用的蓝色或绿色衬底亮度均匀，那么背景上的效果将是前景对象投影形成的阴影，这个被称为阴影色度抠像或亮度调制的过程使得可以对亮度值进行调节，这种调节是与前景场景中蓝色或绿色衬底的亮度值是成比例的。因此，保持谱的高光部分，可以使透明或半透明前景对象具有更加真实的抠像。

注意，绿色背景现在使用更多，因为它可以降低色度噪声。

色度抠像器的能力也限于处理不需要切换到背景图像的靠近键颜色的前景颜色，另外一个问题可能是前景对象是淡蓝色（bluish tint），这是从蓝色衬底上反射的蓝光或摄像机镜头里发生的漫反射造成的。色度溢出（chroma spill）是很难消除的，因为溢出的颜色不是起初的键颜色；还会进行一些混合，这将稍微改变初始的键颜色。

对于很多色度抠像问题的一个解决方案是在前景和背景图像组合之前，分别单独地对它们进行处理，如图7-20所示。不是在前景和背景之间选择，而是每个源图像都进行单独处理，然后再进行组合。图7-21给出的是色度抠像过程中，对前景和背景图像进行处理的主要步骤。在图7-20中没有给出起初从前景和背景视频信号中减去16（Y）或128（ C_b 和 C_r ）的电路，也没有在最后的输出加法器之后加16（Y）和128（ C_b 和 C_r ）的电路。任何没有消除的DC偏移都将被前景和背景

景增益因子所放大或削弱，并使黑色电平发生漂移。

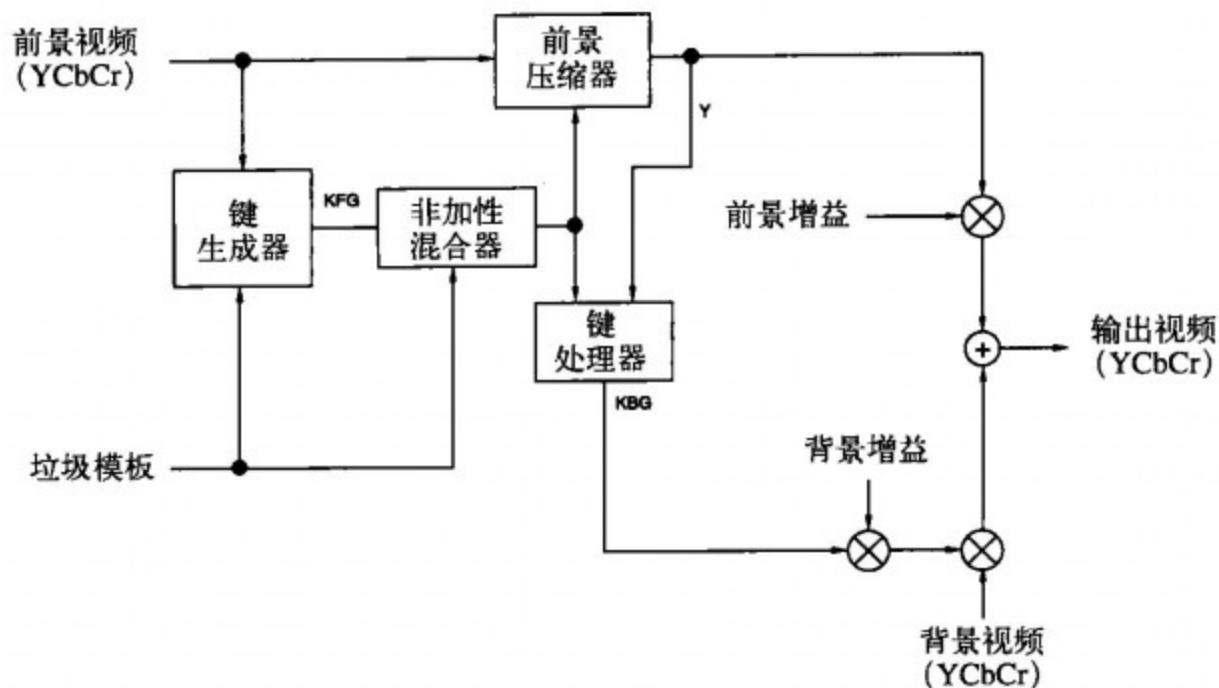


图7-20 典型的分量色度键电路

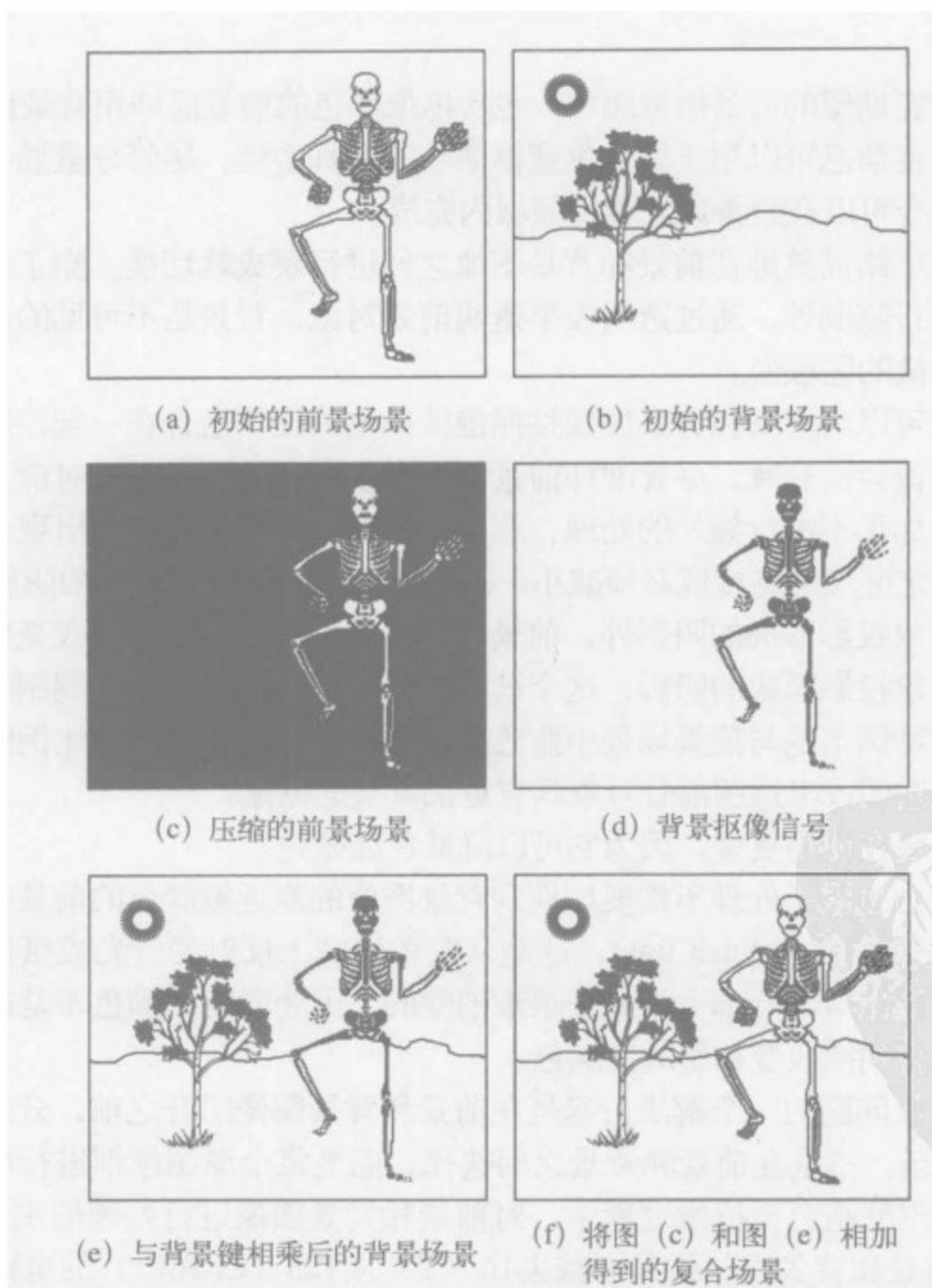


图7-21 色度抠像过程中的主要处理步骤

前景键 (K_{FG}) 和背景键 (K_{BG}) 信号的取值范围为0~1。垃圾模板键信号（术语模板来自于电影制片企业）强制混合器以两种方法之一输出前景源。

第一种方法是按照 K_{FG} 的增加成比例地减小 K_{BG} 。这种方法有一个优点：它最小化了前景与背景交接处的黑边。

第二种方法是强制背景中模板键的所有非0值为黑色，并将前景插入背景中形成的洞中。这要求有一个清除函数来消除黑色电平周围的噪声，因为直接相加的过程会使这种噪声影响背景图像。

使用非加性混合器将垃圾模板加到前景键信号 (K_{FG}) 上。非加性混合器 (NAM) 取两幅图像中较亮的样本点，样本点逐个地产生键信号。对于任何产生自身抠像信号的视频源来讲，模板是理想的，如字符生成器等。

键生成器监视前景的 Cb 和 Cr 数据，生成前景抠像信号 K_{FG} 。选择一个期望的键颜色，如图7-22所示。对前景中的 Cb 和 Cr 数据进行归一化（生成了 Cb' 和 Cr' ），并旋转一个 θ 角，这样就生成了 X 和 Z 数据，使得正 X 轴尽可能近地穿过期望的键颜色。典型情况下， θ 可以按照增1的方式发生变化，最优的色度抠像出现在 X 轴通过键颜色时。

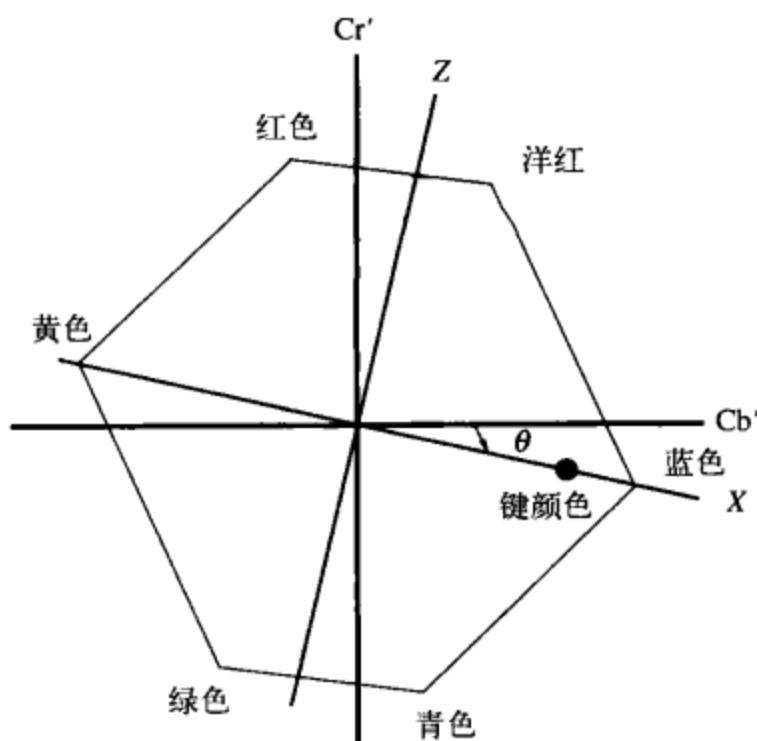


图7-22 将归一化的 Cb 和 Cr (Cb' 和 Cr') 轴旋转角 θ 来获得 X 和 Z 轴，使得 X 轴通过期望的键颜色（在本例中为蓝色）

X 和 Z 是按照下面的公式由 Cb 和 Cr 推导而来的：

$$X = Cb' \cos \theta + Cr' \sin \theta$$

$$Z = Cr' \cos \theta - Cb' \sin \theta$$

由于对 Cb' 和 Cr' 进行了归一化，其取值范围在 ± 1 之间， X 和 Z 的取值范围就是 0~1。

前景抠像信号 (K_{FG}) 是由 X 和 Z 来生成的，其取值范围是 0~1：

$$K_{FG} = X - \{ |Z| / [\tan(\alpha/2)] \}$$

$$K_{FG} = 0, \text{前提是 } X < \{ |Z| / [\tan(\alpha/2)] \}$$

其中的 α 为接受角 (acceptance angle)，关于正 X 轴中心对称，如图7-23所示。在接受角以外， K_{FG} 总是设为 0。在接受角以内， K_{FG} 的幅度随前景颜色趋近于键颜色和饱和度的增加而线性增加。在接受角以内的颜色由前景处理器进一步进行处理。

前景压缩器通过实现 $X = X - K_{FG}$ 来减少前景颜色信息，并且键颜色被压缩到黑色电平上。为了在 $K_{FG} = 0$ 时避免对Cb和Cr进行处理，前景压缩器需要执行下面的操作：

$$C_{b_{FG}} = C_b - K_{FG} \cos \theta$$

$$C_{r_{FG}} = C_r - K_{FG} \sin \theta$$

其中 $C_{b_{FG}}$ 和 $C_{r_{FG}}$ 是经过键颜色压缩后的前景Cb和Cr值。早期的实现通过将Cb和Cr与 $C_{b_{FG}}$ 信号的剪切版本相乘来压缩前景信息。但是，由于乘法和剪切过程，这会产生带内混叠分量，并且会在键颜色边界处产生不自然的边界。

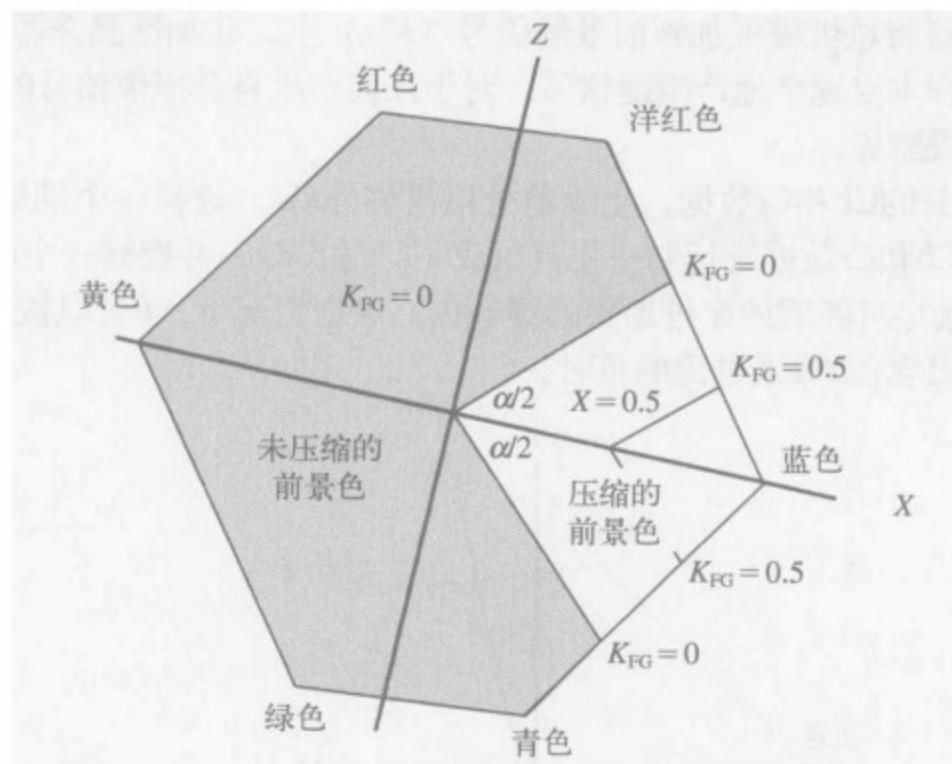


图7-23 前景键值和接受角

如果不进行额外的处理，那么只要 $C_{b_{FG}}$ 和 $C_{r_{FG}}$ 是准确地定位于X轴上的，这两个分量就设为0。因为噪声或光照引起的色度变化将会导致前景区域没有被完全地压缩，所以，压缩角的设置要关于正X轴中心对称。典型情况下，从最小的0度角到最大的三分之一接受角(α)的范围内，压缩角(β)是可以配置的。任何落在这个压缩角范围内的CbCr分量都要设置为0。图7-24给出了压缩角的使用方式。

前景亮度在归一化处理之后的取值范围为0~1，它可以通过下面的方式进行压缩：

$$Y_{FG} = Y - y_s K_{FG}$$

$$Y_{FG} = 0, \text{前提是 } y_s K_{FG} > Y$$

这里的 y_s 是一个可编程改变的值，可以用它来调整 K_{FG} ，使得在键颜色区域内的黑色电平处可以对 K_{FG} 进行剪切。

前景压缩器也消除了由于色度溢出引起的所需前景区域上的键颜色边缘，这是通过对掉所需前景对象的污点来实现的。

Ultimatte®通过测量蓝色与绿色之间的差异来改善这个过程，由于蓝色衬底总不是纯蓝色的，在前景对象中可能存在高电平的蓝色。纯蓝在自然界是很少见的，大多数自然界中的蓝色具有比红色更多的成分。由于这个原因，可以对红色、绿色和蓝色电平进行监测，以区分所需前景对象中的蓝色衬底和蓝色。

如果蓝色和绿色之间的差异足够大，那么所有三种颜色都设置为0，就可以产生黑色；这就是在包含蓝色衬底的区域内需要进行的处理。

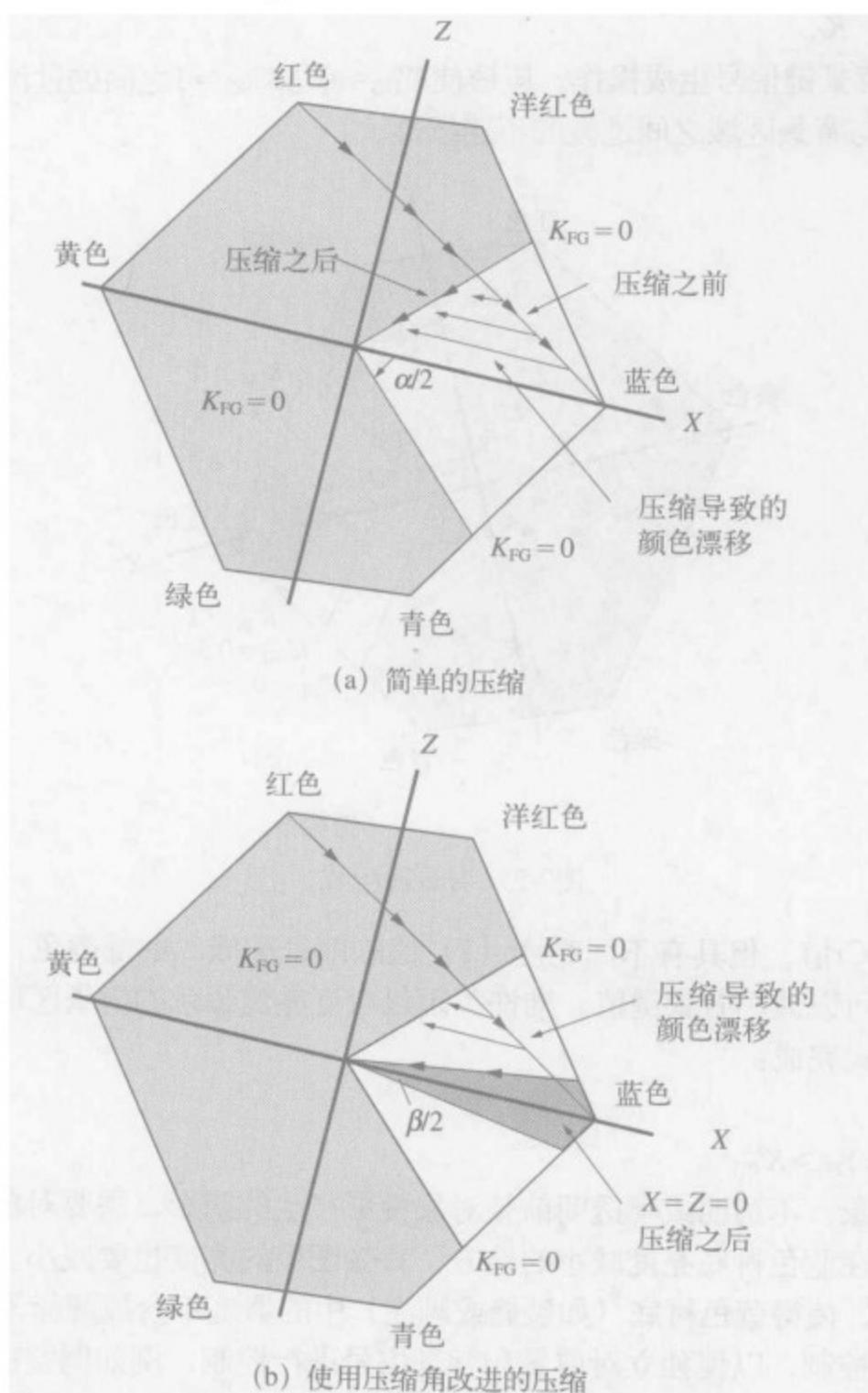


图7-24 从红色前景对象到蓝色键颜色渐变过程的压缩角操作

如果蓝色和绿色之间的差异不大，只要绿色没有超过红色，就将蓝色设为绿色电平。这种技术可以消除由于蓝色衬底引起的淡蓝色，从而能够在前景中再生出自然的蓝色。例如，白色前景通常是由相同电平的红色、绿色和蓝色组成的。如果白色区域受到键颜色（在此为蓝色）的影响，那么将会产生淡蓝色——蓝色电平将大于红色或绿色电平。因为绿色没有超过红色，所以使蓝色电平等于绿色电平，消除了淡蓝色。

然而，这需要付出一定的代价。前景色中的洋红色会变为红色。可以使用绿色衬底，但是在这种情况下，前景中的黄色就会被修改。通常，可以逐步放松钳位（clamping）来增加洋红色区域中的蓝色成分。

键处理器生成初始的背景键信号 (K'_{BG})，在背景可见的地方，用它来消除背景图像的区域。在期望的背景图像区域中，将 K'_{BG} 调整为 0，而在没有衰减的背景区域中，将 K'_{BG} 调整为单位数据。由背景键信号 (K_{BG}) 可以生成 K'_{BG} ，具体过程是使 K_{BG} 通过偏移 (K_I) 和增益 (K_G) 调整，然后在 0 和单位值内进行截取，就可以得到 K'_{BG} ：

$$K'_{BG} = (K_{FG} - K_I) K_G$$

图7-25表示的是背景键信号生成操作。应该使 $K'_{BG}=0$ 与 $K'_{BG}=1$ 之间的过渡尽可能宽，这样可以尽可能最小化前景与背景区域之间过渡的不连续性。

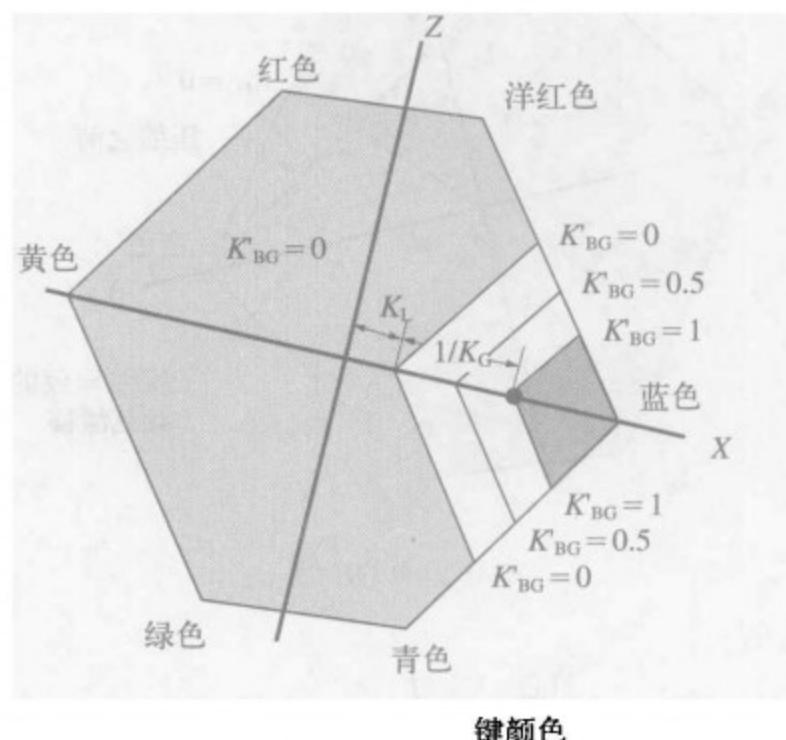


图7-25 背景键生成

218
219

对于包含同样CbCr值、但具有不同亮度(Y)值的前景区域，如键颜色，随着前景亮度电平的增加，键处理器也可以减小背景键值，准许关闭包含更亮键颜色的前景区域中的背景，如亮蓝色。可以用下面的公式完成：

$$K_{BG} = K'_{BG} - y_c Y_{FG}$$

$$K_{BG} = 0, \text{ 如果 } y_c Y_{FG} > K'_{BG}$$

为了处理前景对象、不透明或半透明前景对象投影产生的阴影，需要对前景图像蓝色衬底的亮度电平进行监测。在蓝色衬底亮度减小的地方，背景图像的亮度也要减小。必须对背景图像亮度的减小量进行控制，使得蓝色衬底（如裂缝或脚注）中的瑕疵不会被解释为前景中的阴影。

可以使用额外的控制，以便独立对前景和背景信号进行控制，例如调整前景的对比度使得它匹配背景，或以各种方式隐退前景（如过渡到背景，使前景对象消失，或隐退到黑色以生成轮廓）。

220
221

在计算机中，可能有相对较慢和平滑的边缘——尤其是涉及平滑隐退的边缘。因为平滑边缘在色度抠像过程中容易失真，所以，在这种环境下，通常采用宽的抠像过程。在宽抠像过程中，抠像信号开始于图形对象边缘之前。

复合色度抠像

在有些情况下，分量信号（如YCbCr）无法直接得到。对于这种情况，可能要使用复合色度抠像，如图7-26所示。

为了检测色度键颜色，必须对前景视频源进行解码，这样可以减小Cb和Cr颜色微分信号。然后用抠像信号 K_{FG} 对两个复合视频源进行混合。垃圾模板键信号通过减小 K_{FG} 强制混合器输出背景源。

由于存在颜色带宽不足的问题，使用复合视频信号的色度抠像经常导致不真实的抠像。因此，复合色度抠像处理过的图像缺少精确的细节，并且在边界上可能会出现光晕。

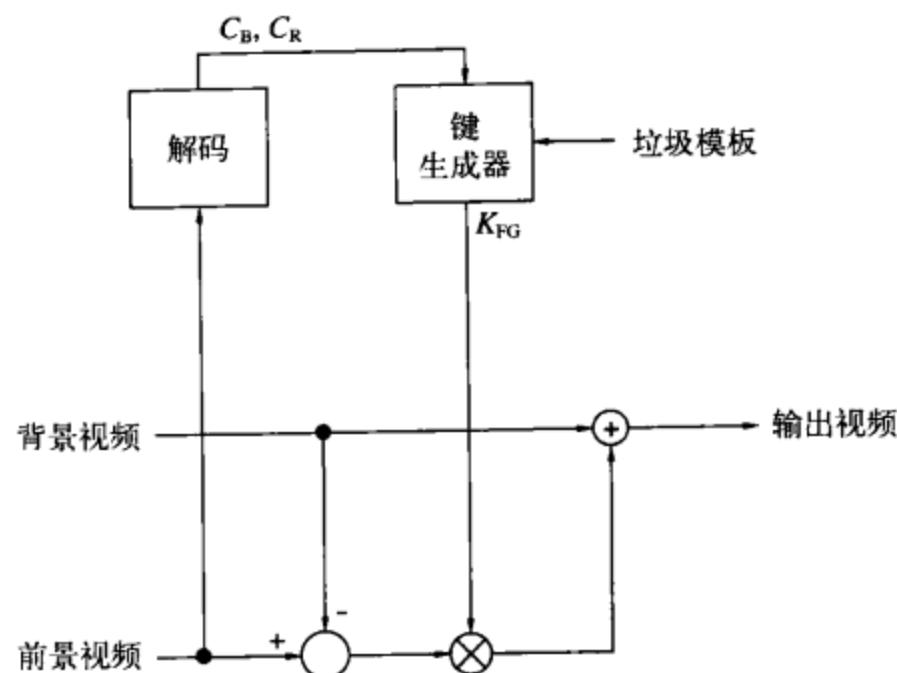


图7-26 典型的复合色度键电路

7.6.3 超黑色和亮度抠像

视频系统也可以利用超黑色（superblack）或亮度抠像（luma keying）。在低于消隐电平（模拟视频）或黑色电平（数字视频）的这个特定范围内取值的前景视频区域，用背景视频信息将其替换。

7.7 视频缩放

对于所有的视频分辨率（表7-3），在几乎每个解决方案中，缩放（scaling）通常都是必要的。

表7-3 消费类显示器和广播视频源的公共有效分辨率

显示器		SDTV视频源		HDTV视频源
704 × 480	640 × 480	704 × 360 ¹	704 × 432 ¹	1280 × 720
854 × 480	800 × 600	480 × 480	480 × 576	1440 × 816 ²
704 × 576	1024 × 768	528 × 480		1440 × 1040 ³
854 × 576	1280 × 768	544 × 480	544 × 576	1280 × 1080
1280 × 720	1366 × 768	640 × 480		1440 × 1080
1280 × 768	1024 × 1024	704 × 480	704 × 576	1920 × 1080
1920 × 1080	1280 × 1024		768 × 576	

1. 4 : 3显示器上16 : 9的Letterbox模式。

2. 1920 × 1080、16 : 9显示器上2.35 : 1的变形模式。

3. 1920 × 1080、16 : 9显示器上1.85 : 1的变形模式。

当生成在SDTV上显示的对象时，计算机用户必须关注文本大小、线条的粗细等事情。例如，在1280 × 1024计算机显示器上可读的文本可能在SDTV显示器上是不可读的，这是由于涉及大量的缩小操作。当将细的水平线转换为隔行SDTV时，该水平线可能要么完全消失，要么以25或29.97Hz的频率闪烁。

注意，缩放必须在分量视频上进行（如RGB和YCbCr）。复合颜色视频信号不能直接进行缩放，这是因为它提供了彩色副载波相位信息，在缩放后将变得没有意义。

通常，在输出采样点之间的空间可以通过目标递增（tarinc）值来定义：

$$\text{tarinc} = I/O$$

其中 I 和 O 是输入 (I) 和输出 (O) 采样点的数目，可以是水平方向上的，也可以是垂直方向上的。

通过将公式调整为下面的形式，可以使第一个和最后一个输出采样点与第一个和最后一个输入采样点对齐：

$$\text{tarinc} = (I - 1)/(O - 1)$$

7.7.1 像素丢弃与复制

像素丢弃与复制 (pixel dropping and duplication) 也称为“最近邻 (nearest neighbor)”缩放，这是因为只使用了与输出采样点最近的输入采样点。

缩小最简单的形式是像素丢弃，其中在水平和垂直方向上，每 n 个样本点中就有 m 个被丢弃。典型情况下，使用 Bresenham 画线算法（在计算机图形学的书中有描述）的一个修改版来确定丢弃哪些采样点。

简单的放大操作可以通过像素复制来完成，其中在水平和垂直方向上，每 n 个像素中就有 m 个像素被复制。与缩小操作一样，用 Bresenham 画线算法的修改版确定复制哪些采样点。

在实际中，是不推荐使用像素丢弃或复制的缩放操作的，因为这会导致视觉伪影，并会引入混叠成分。

7.7.2 线性插值

使用线性插值可以改善缩放图像视频质量。当输出采样点落在两个输出样本点之间时（水平或垂直方向上），输出样本点是在两个输入样本点之间进行线性插值计算出来的。但是，将图像缩小到原图像的一半以下时，仍然会导致某些样本点被删除。

图 7-27 表示的是将 16 : 9 的图像在垂直方向上进行缩放，以适应在 4 : 3 的显示器上播放。通常使用的是一个简单的双线性滤波器，如图 7-28a 所示。对两个源样本点 L_n 和 L_{n+1} 加权，然后将它们加在一起形成一个目的样本点 D_m 。

$$D_0 = 0.75L_0 + 0.25L_1$$

$$D_1 = 0.5L_1 + 0.5L_2$$

$$D_2 = 0.25L_2 + 0.75L_3$$

然而，如图 7-28a 所示的一样，这将导致不均匀的线间隔，而不均匀的线间隔可能导致视觉上的伪影。图 7-28b 表示的是垂直滤波，这使得输出的线在空间分布上更加均匀：

$$D_0 = L_0$$

$$D_1 = (2/3)L_1 + (1/3)L_2$$

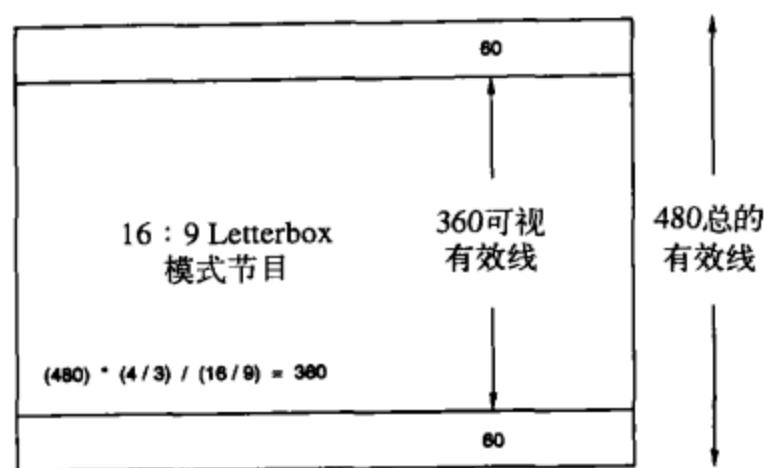
$$D_2 = (1/3)L_2 + (2/3)L_3$$

线性插值器是一个较差的带限滤波器。它不必要地消除了过多的高频细节，在奈奎斯特极限之上保留了太多的能量，这都将导致混叠效应。

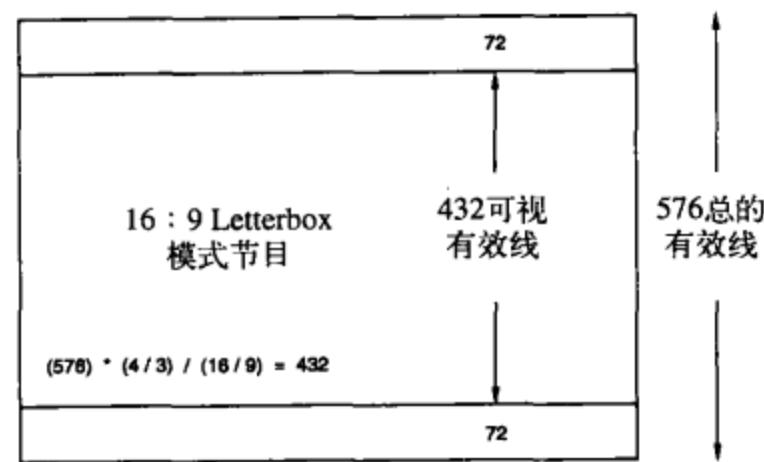
7.7.3 抗混叠重采样

最好的方法是保证在水平和垂直方向上，频率成分与图像大小成比例地缩放。

图 7-29 给出的是抗混叠重采样过程的基本原理。由 A 对输入数据进行向上采样，然后进行低通滤波以去掉插值过程产生的图像频率。滤波器 B 对信号进行带限滤波，以去掉在重采样过程 B 中导致混叠的频率成分。 B/A 的值决定了缩放因子。

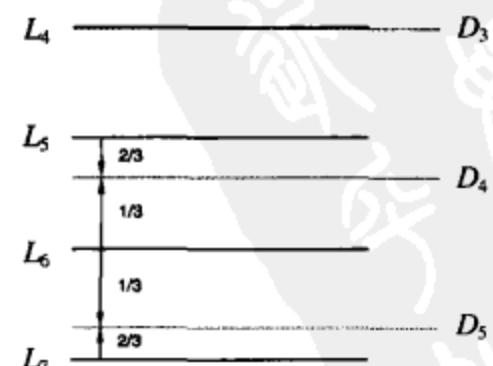
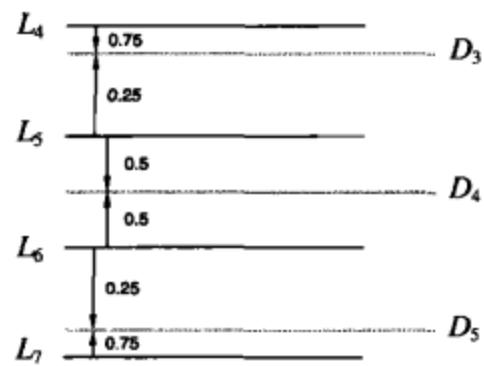
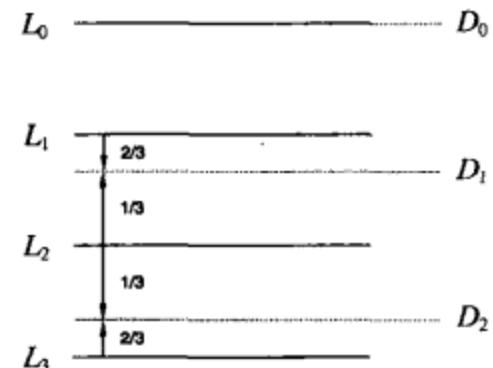
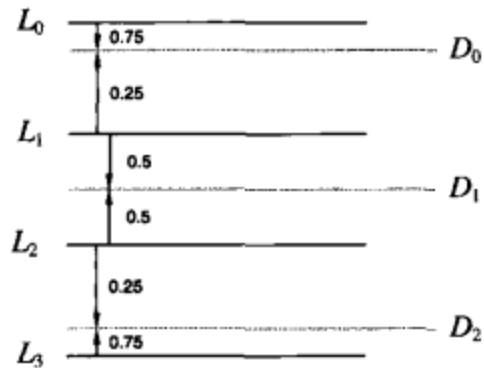


(a) 480线的系统



(b) 576线的系统

图7-27 对16:9的图像垂直进行缩放以适应在4:3的显示器上播放



(a) 结果为不均匀的空间分布

(b) 结果为均匀的空间分布

图7-28 将16:9的图像进行75%的缩放以适应在4:3的显示器上播放

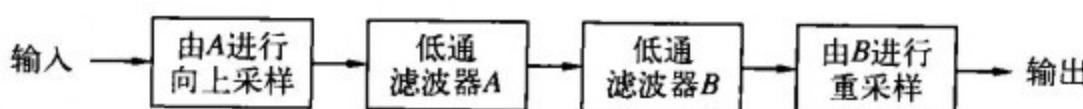


图7-29 抗混叠重采样器的一般结构

224
226

通常将滤波器A和B组合成一个单一的滤波器。滤波器的响应基本确定了插值的质量。理想的低通滤波器具有非常平坦的通带，在最低采样频率（输出或输入）的二分之一处有陡峭的截止，在阻带上具有非常高的衰减。但是，由于这样的滤波器会在陡峭的边界处产生振铃效应，因此通常期望复制出通带的顶部。这可以制作出稍微柔和但是具有更不显著的振铃效应的图像。

滤波器的通带褶皱（ripple）和阻带衰减可以测量缩放质量，但是振铃效应的主观影响意味着平坦的通带可能没有想象的那么好。大量的阻带衰减的存在几乎总是一件好事。

通用的重采样结构有3个基本形式。每个形式都以各种方式结合了图7-29中的组件。

一种方法是采用可变带宽抗混叠滤波器，在其后为组合插值器/重采样器。这种情况下，对于每个缩放因子，滤波器需要新的系数。因为缩放因子发生了变化，图像质量也可能发生改变。另外，如果使用线性插值，那么总体响应就比较差。但是，滤波器系数是时变的，并且不存在增益问题。

第二种方法是采用组合滤波器/插值器，紧接其后为重采样器。通常，插值的阶数n越高，总的响应也越好。滤波器变换函数的中心总是与新输出样本的顶端对齐。利用每个缩放因子，对滤波器变换函数进行延展或压缩，使得它保持与n个输出样本的顶端对齐。这样，滤波器的系数和所使用的输入样本的个数就会随着每个新输入样本和缩放因子而变化。需要动态地对增益进行归一化，这是为了保证滤波器系数的和总等于1。

第三种方法是采用插值器，在其后为组合滤波器/重采样器。插入样本0对输入数据进行插值，使得插值后的数据为输入和输出速率的公倍数。使用低通有限脉冲响应（FIR）滤波器对插值后的数据进行滤波，以便将样本插入到以0填充的缝隙中，然后在所要求的位置进行重采样。通常使用“多阶段（polyphase）”滤波器可以实现这种设计，随着输入和输出样本相对位置的变化，这种滤波器会切换其系数。

7.7.4 显示缩放示例

图7-30到图7-38分别给出了在4:3和16:9的显示器上显示16:9和4:3的图像的各种缩放的例子。

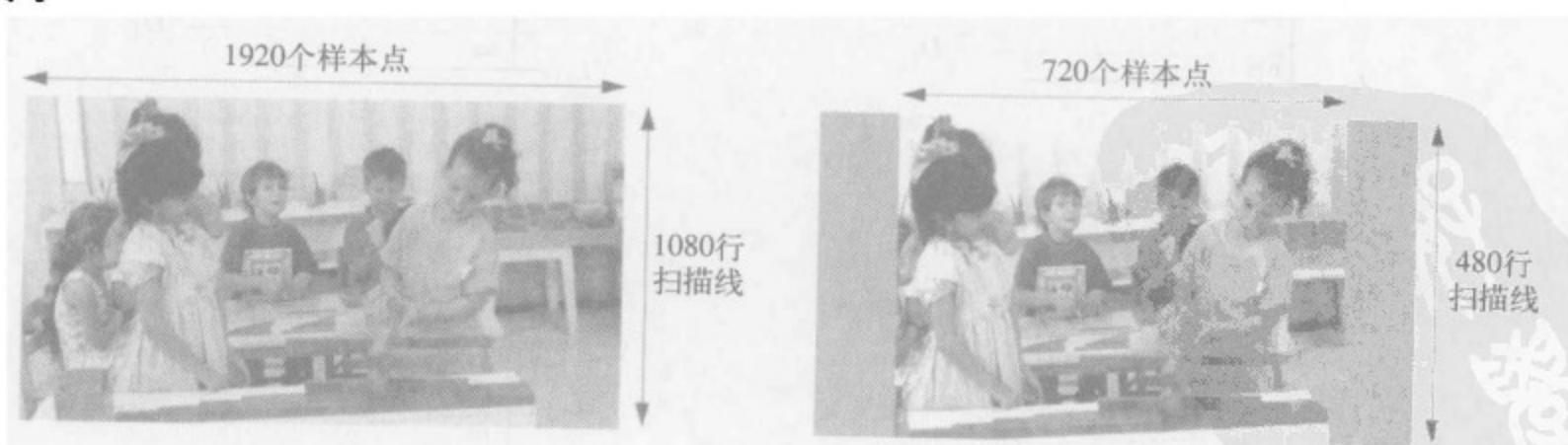


图7-30 16:9视频源的例子

图7-31 对16:9的内容进行缩放以适用4:3显示器：“正常”或平移和扫描（pan-and-scan）模式。导致某些16:9的图像内容被忽略（灰色显示的区域）



图7-32 对16:9的内容进行缩放以适用4:3显示器：“Letterbox”模式。全部的16:9节目都可见，在显示器的顶部和底部都出现了黑色条



图7-33 对16:9的内容进行缩放以适用4:3显示器：“挤压 (squeezed)” 模式。在水平方向上将整个的16:9节目进行压缩以适应在4:3的显示器上显示，这样得到的将是一幅变形的图像



图7-34 4:3视频源的例子



图7-35 对4:3的内容进行缩放以适用16:9显示器：“正常”模式。16:9显示器的左边和右边部分没有使用，因此显示为黑色或灰色



图7-36 对4:3的内容进行缩放以适用16:9显示器：“宽屏”模式。整个图像在水平方向上进行了线性缩放以适应整个16:9的显示器，如果没有采用变形的视频内容，那么在屏幕上显示的图像将发生变形



图7-37 对4:3的内容进行缩放以适用16:9显示器：“放大 (zoom)” 模式。4:3图像的顶部和底部被删除，然后进行缩放以适应整个16:9的显示屏

如何显示图像是由用户偏好和图像宽高比同时决定的。例如，当在4:3的显示器上播放16:9的视频时，很多用户喜欢让裁减过的图像填充整个显示屏（如图7-31所示），而不喜欢采用会产生黑色或灰色条纹的Letterbox模式（如图7-32所示）。

另外，有些显示器错误地假设到达这些显示器YPrB输入上的任何逐行视频信号都来自于

“变形的”视频源。其结果是，当不应该采用缩放的时候，它们却在水平方向上将逐行的16：9节目放大了25%。所以，对于机顶盒，包含“16：9（压缩的）”模式是有益的，这种模式在水平方向上将逐行16：9的节目缩小了25%，这样就可以补偿16：9的显示器在水平方向上进行的放大处理。



图7-38 对4：3的内容进行缩放以适用16：9显示器：“全景（panorama）”模式。在水平方向上，对图像的左右25%的边进行非线性缩放，以适应16：9的显示器，在图像的左右边缘发生了变形

7.8 扫描速率变换

227
231

在很多情况下，需要进行某些形式的扫描速率变换（也称为时间速率变换、帧率变换或场率变换）。多标准的模拟VCR和扫描变换器使用扫描速率变换来实现各种视频标准之间的变换。计算机通常以大约75Hz的非隔行方式运行，然而却需要显示50Hz和60Hz的隔行视频。而数字电视机可以同时支持多种帧率。

注意，处理必须在分量视频信号上进行（如R'G'B'或YCbCr）。复合彩色视频信号不能直接进行处理，这是由于它提供了颜色副载波相位信息，对复合视频信号进行处理以后，颜色副载波相位信息就会失去意义。

7.8.1 帧或场丢弃和复制

简单的扫描速率变换可以通过每N个场（field）丢弃或复制一个场来实现。例如，将60Hz的扫描速率变换为50Hz隔行视频的操作，利用一个场存储，可以通过每6个场丢弃一个场来实现，如图7-39所示。

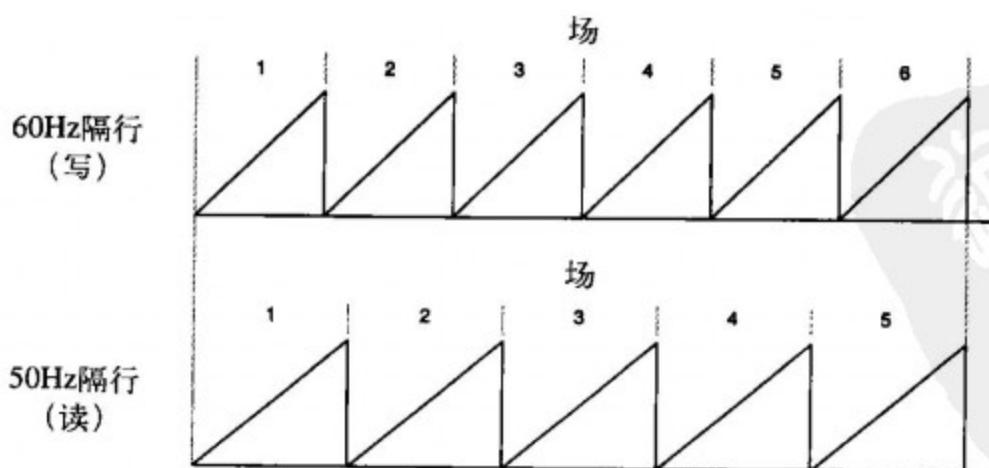


图7-39 使用单个场存储，通过每6个场就丢弃一个来实现60Hz到50Hz的变换

这种技术的不足在于观众可以看到画面发生抖动移动，或运动抖动（motion judder）。另外，有些视频解码产品仅使用最上面的场来实现从60Hz到50Hz的转换，这就损失了垂直方向上的分