

三、数字信号传输及标准接口

本章重点：

- 数字分量信号
- 并行传输接口
- SDI接口

(一) 数字分量信号

• 1、编码参数

数字分量信号分为SDTV和HDTV。

SDTV的数字分量信号的国际标准是：ITU-R BT.601;

HDTV的数字分量信号的国际标准是ITU-R BT.709;

4:2:2编码参数 (625行/50场)

- SDTV数字分量信号参数

抽样结构：

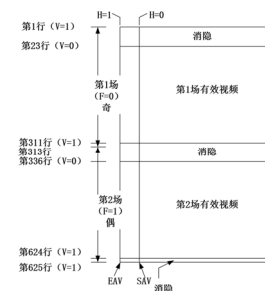
- 行、场、帧内，每行的 C_B 、 C_R 样点位置与Y的奇数样点位置一致

抽样频率：

- Y: $864 f_H = 13.5\text{MHz}$
- C_B 和 C_R : $432 f_H = 6.75\text{MHz}$

量化分辨率：对亮度和两个色差信号的每个样值都以8或10bit量化

编码方式：均匀量化的PCM码



4:2:2编码参数 (625行/50场)

- SDTV数字分量信号参数

编码信号

- $E_Y' = 0.299E_R' + 0.587E_G' + 0.114E_B'$
- $EC_B' = 0.564 (E_B' - E_Y')$
- $EC_R' = 0.713 (E_R' - E_Y')$

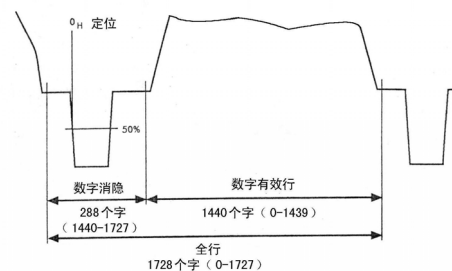
每行总的样点数

- Y : 864, C_B : 432, C_R : 432,
- 总样点数: 1728

每个有效行的样点数

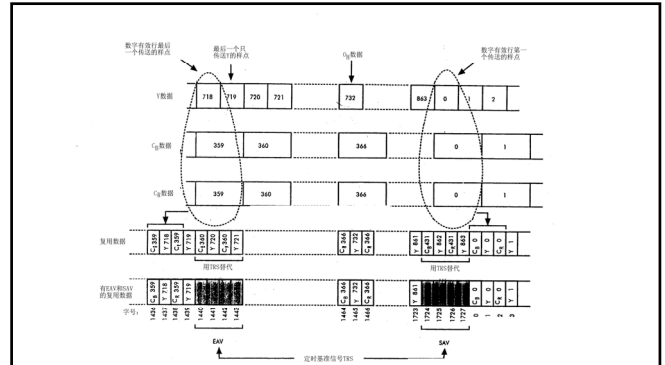
- Y : 720, C_B : 360, C_R : 360,
- 总样点数: 1440

625/50标准的复用数据的字数分布



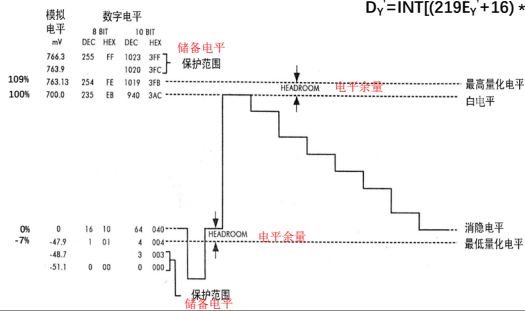
亮度和色度数据的时分复用

- 亮度数据和色度数据采用时分复用的方式传输。 $C_B Y C_R Y C_B Y C_R Y \dots$
- 复用信号每行总字数 1728 个 (625/50)。
- 数字有效行内复用数据的字数都是 1440 个。



100%彩条亮度信号模拟电平与量化电平的关系

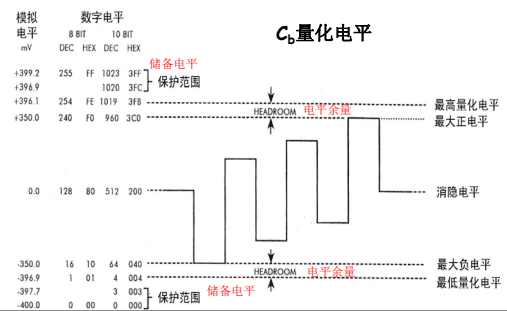
$$D_Y' = \text{INT}[(219E_Y' + 16) * 2^{n-8}]$$



色度分量

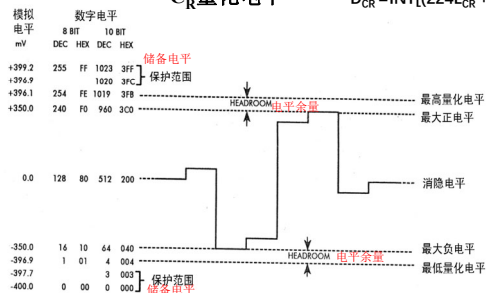
$$D_{CB}' = \text{INT}[(224E_{CB}' + 128) * 2^{n-8}]$$

C_B量化电平



C_R量化电平

$$D_{CR}' = \text{INT}[(224E_{CR}' + 128) * 2^{n-8}]$$



H是行消隐标志符:

F场标志符: F=0第一场, F=1第二场

H=0有效行(SAV), V是垂直消隐标志符: V=0有效场, V=1场消隐

H=1行消隐期间(EAV)

P0,P1,P2,P3是F, V, H的误差校验

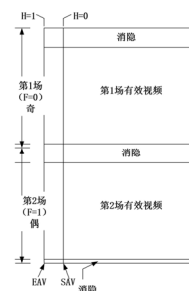
定时基准信号Timing Reference Signal

bit	3FF	000	000	XYZ
9	1	0	0	1
8	1	0	0	F
7	1	0	0	V
6	1	0	0	H
5	1	0	0	P3
4	1	0	0	P2
3	1	0	0	P1
2	1	0	0	P0
1	1	0	0	0
0	1	0	0	0

行范围		抽样点位置	10比特XYZ的二进制数值									
625/50	525/60		1	F	V	H	P3	P2	P1	P0	0	0
23~310	20~263	第一有效场的SAV	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
23~310	20~263	第一有效场的EAV	1	0	0	1	1	1	0	1	0	0
1~22 311~312	4~19 264~265	第一场消隐的SAV	1	0	1	0	1	0	1	1	0	0
1~22 311~312	4~19 264~265	第一场消隐的EAV	1	0	1	1	0	1	1	0	0	0
336~623	283~525	第二有效场的SAV	1	1	0	0	0	1	1	1	0	0
336~623	283~525	第二有效场的EAV	1	1	0	1	1	0	1	0	0	0
624~625 313~335	1~3 266~282	第二场消隐的SAV	1	1	1	0	1	1	0	0	0	0
624~625 313~335	1~3 266~282	第二场消隐的EAV	1	1	1	1	0	0	0	1	0	0

辅助数据 (ANC)

- 时间码：场消隐期间传送纵向时间码 (LTC) 或场消隐期时间码 (VITC)、实时时钟等时间信息和用户信息。
- 数字声音的传送：可传16路AES/EBU 20比特的数字声音信号
- 监测与诊断信号：误码检测校验字和状态标识位
- 图像显示信息的传送：宽高比标识指令
- 其它应用：图文电视信号、节目制作和技术操作指令等。
- 分为**行辅助数据 (行消隐)**和**场辅助数据 (场消隐有效行)**



(二)比特并行数字信号传输方式 (Parallel Bit)

4:2:2数字信号的比特并行

- 采用普通的屏蔽的12对双绞线电缆。
- 每个子的10个比特用10对导线并行传输
- 第11对导线传输27MHz的时钟信号
- 接插件采用DB25插座
- 特点：传输距离短，50米。接口复杂。



4:2:2比特并行接口特性

- NRZ编码
- 10 (或8) 对线传送视频等数据
- 1对传送27MHz同步时钟信号
- 平衡输出
- 输出阻抗：110 Ω
- 输出幅度：0.8 ~ 2Vpp
- 时钟脉冲上升沿50%点应对准码元中心

并行传输的特点：

- 传输速度快，1bit时间内可传输1Byte；
- 通信成本高，1bit传输要求1个单独的信道支持，因此如果10bit量化（一个字符包含10bit），则并行传输要求10个独立的信道的支持；
- 不支持长距离传输（几十米），由于信道之间的电容感应，远距离传输时，可靠性较低；

(三) 数字视频信号接口

串行数字接口——SDI (serial digital interface)

- SMPTE 259M标准和ITU-R 656标准规定了4:2:2分量数字信号和4fsc复合数字信号的串行数字接口 (SDI) 标准, 适合于625/50和525/60两种扫描标准。
- 该接口标准用于采用同轴电缆的演播室内。
- 4:2:2串行数字信号速率为: 比特并行数字信号速率×比特数/字
 $27 \times 10 = 270\text{Mbps}$ (帧型比为4:3)

- BNC 属于 NIM 标准, nuclear instrument module 核仪器插件标准 尼姆标准。
- LEMO 00适合大密度链接需要。

3K.93C connector for HDTV

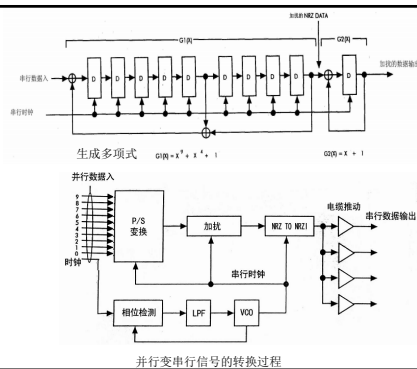
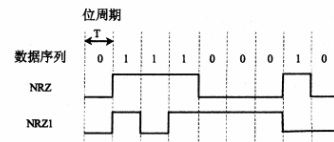


SDI特点

- 一根传输线
- 可嵌入同步信息和辅助信息, 几路AES/EBU标准数字音频信号可嵌入在串行数字信号的附属数据区内。
- 采用了加扰的NRZI码, 传输性能高, 传输距离可达220m (270Mbps)

通道编码- NRZI

- NRZ不归零码 (非归零码, 用于并行传输)
- NRZI倒相不归零码 (非归零倒相码) (Nonreturn-To-Zero-Inverted.)
- 见“1”就翻的不归零制 (NRZ1) NonReturn to Zero Change On One



System	Clock	Fundamental	Crash knee length	Practical length
NTSC Composite	143 MHz	71.5 MHz	400 m	320 m
PAL Composite	177 MHz	88.5 MHz	360 m	290 m
Component 601	270 MHz	135 MHz	290 m	230 m
Component 16:9	360 MHz	180 MHz	210 m	170 m

CABLE: BICC TM3205, PSF1/2, BELDEN 8281
 or any cable with a loss of 8.7 dB/100 m at 100 MHz

Variant	Bitrate	Display Aspect Ratio	Total Lines (per Frame)	Active Pixels	Active Lines	Frame rate
SMPTE 259M-A	143 Mbit/s	4:3	525	768	486	60i
SMPTE 259M-B	177 Mbit/s	4:3	625	948	576	50i
SMPTE 259M-C	270 Mbit/s	4:3 or 16:9	525	720	486	60i
SMPTE 259M-C	270 Mbit/s	4:3 or 16:9	625	720	576	50i
SMPTE 259M-D	360 Mbit/s	16:9	525	960	486	60i

Standard	Name	Introduced	Bitrates	Example video formats
SMPTE 259M	SD-SDI	1989	270 Mbit/s, 360 Mbit/s, 143 Mbit/s, and 177 Mbit/s	480i, 576i
SMPTE 344M	ED-SDI		540 Mbit/s	480p, 576p
SMPTE 292M	HD-SDI	1998	1.485 Gbit/s, and 1.485/1.001 Gbit/s	720p, 1080i
SMPTE 372M	Dual Link HD-SDI	2002	2.970 Gbit/s, and 2.970/1.001 Gbit/s	1080p60
SMPTE 424M	3G-SDI	2006	2.970 Gbit/s, and 2.970/1.001 Gbit/s	1080p60
SMPTE ST-2081	6G-SDI	2015	6 Gbit/s	1080p120, 2160p30
SMPTE ST-2082	12G-SDI	2015	12 Gbit/s	2160p60
SMPTE ST-2083	24G-SDI		24 Gbit/s	2160p/4k120p/8k60p

(四) HD-SDI

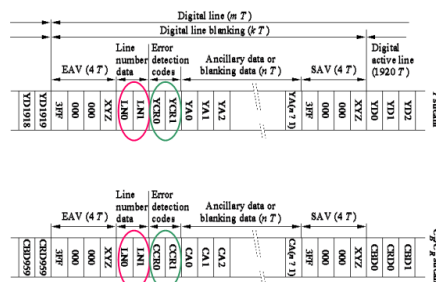
- 在标准ITU-R BT.1120 和SMPTE 292中规定的。
- 思路与SDI接口相同。通道编码的电路与SDI接口一样。
- 生成多项式为：
 $G_1(X) = X^9 + X^4 + 1$
 $G_2(X) = X + 1$
- 数据字长度：10比特
- 比特传送顺序：先传送数据字的最低位LSB。

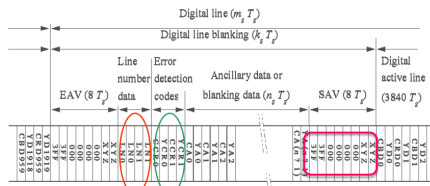
我国HDTV演播室标准

- 1080/50i:
- 每帧有效行数**1080**
 - 总行数**1125**
 - 隔行扫描
 - 行频28125Hz
 - 取样频率：**Y为74.25MHz**
 - C_R 、 C_B 为37.125MHz
 - 每行总样点数：Y: 2640, C_R 、 C_B : 1320
 - 每行有效样点数为：Y: **1920**, C_R 、 C_B : 960
 - 编码格式：线性，8bit或10bit/分量

我国HDTV演播室标准

- 1080/24P:
- 一帧有效扫描行数为1080;
 - 总行数1125;
 - 帧频24Hz, 逐行
 - 行频: 27000Hz
 - 取样频率: Y: 74.25MHz, C_R 、 C_B : 37.125MHz;
 - 每行总样点数Y:2750, C_R 、 C_B 为1375;
 - 每行有效样点数1920, C_R 、 C_B 为960;
 - 编码格式：线性，8bit或10bit/分量





错误检测码：用于检测从有效行开始到行号结束的数据。包括：有效行数据、EAV和行号。

Word	b9 (MSB)	b8	b7	b6	b5	b4	b3	b2	b1	b0 (LSB)
LN0	Not b8	L6	L5	L4	L3	L2	L1	L0	R	R
LN1	Not b8	R	R	R	L10	L9	L8	L7	R	R

L0 (LSB)-L10 (MSB): line number in binary code.

R: reserved (set to zero).

串行接口电器特性

Line driver characteristics

Item	Parameter	Value
1	Output impedance	75 Ω nominal
2	DC offset(1)	0.0 V \pm 0.5 V
3	Signal amplitude(2)	800 mVp-p \pm 10%
4	Return loss	\leq 15 dB, \geq 10 dB
5	Rise and fall times(5)	$<$ 270 ps (20% to 80%)
6	Difference between rise and fall time	\leq 100 ps
7	Output jitter(6)	f1 = 10 Hz f3 = 100 kHz f4 = 1/10 of the clock rate A1 = 1 UI (UI: unit interval) A2 = 0.2 UI

(五) 3G-SDI接口标准

SMPTE 424M 定义了同轴电缆3G-SDI 接口

SMPTE 425M 定义了源图像格式以及如何把2个SMPTE 292M 的数据映射到3G SDI接口

用于3G-SDI的光纤接口是由2006年SMPTE 297M修订版定义的

- SMPTE 297M修订版支持所有SDI接口，如SMPTE 259M，SMPTE 344M，SMPTE 292M和SMPTE 424M
- 目前单根光纤标准可用于从143Mb/s~2.970Gb/s所有码率的SDI接口

SMPTE 425M的映射模式

SMPTE 425M 定义了两种映射模式：Level A和Level B（A级和B级）

- Level A对所有格式都采用了源图像像素交错的直接映射模式

优点1: 低成本, 简单并易于实施

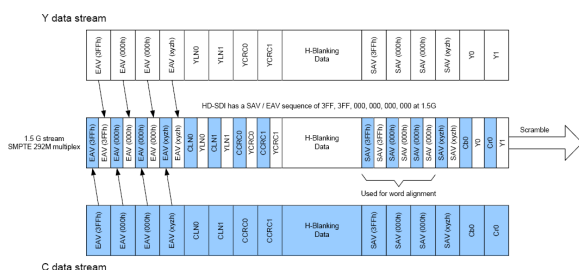
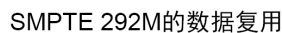
优点2: 更小的端到端延迟时间

缺点：与现有SMPTE 372M双链接定义的行和像素映射方式不兼容

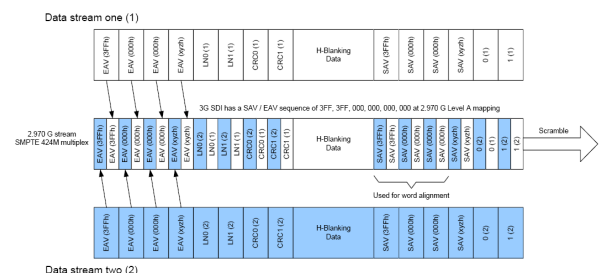
- Level B是采用像素交错的 2 x SMPTE 292M / SMPTE 372M双链接的映射模式

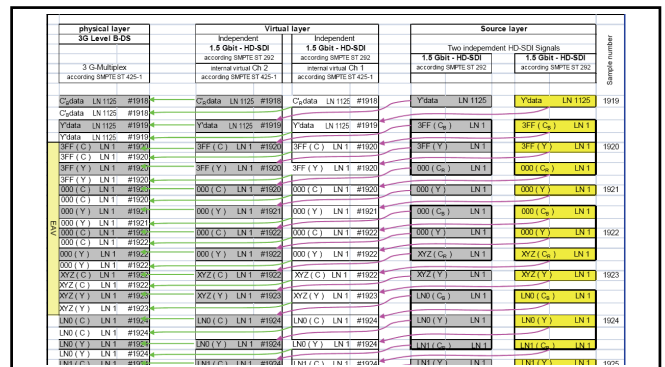
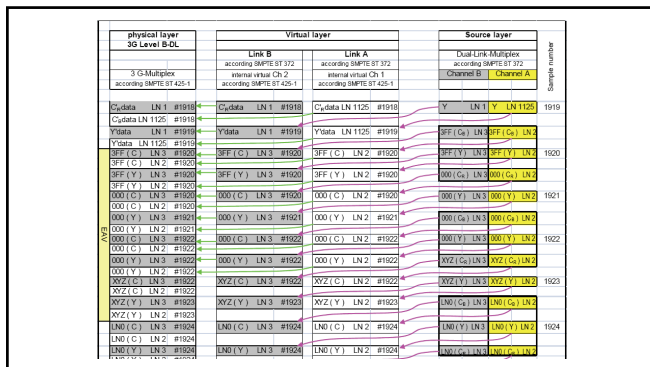
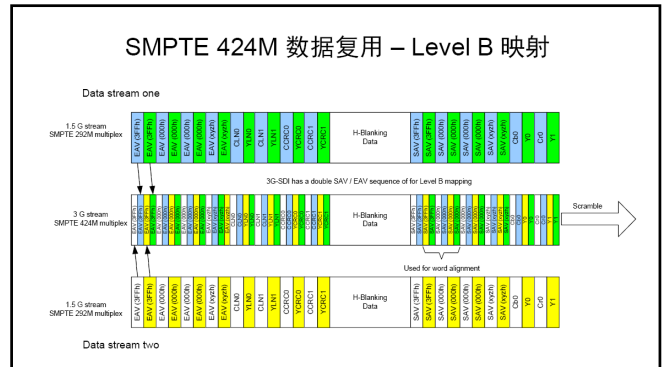
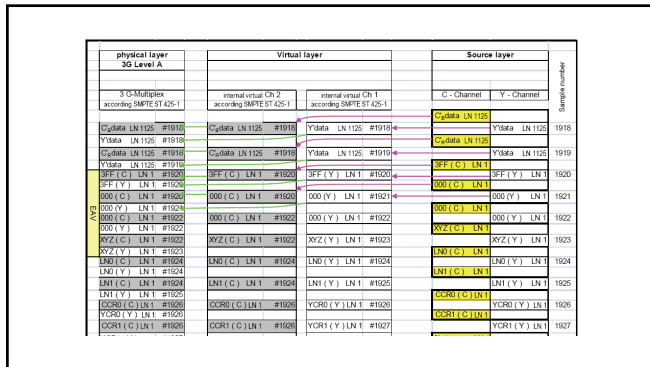
优点: 与SMPTE 372M (1.5G-Dual Link SDI) 双链接定义的行和像素映射兼容

缺点：成本比较高，与Level A相比由于需要完全解复用数据码流实施更复杂



SMPTE 424M 数据复用 – Level A映射





SMPTE超高清标准

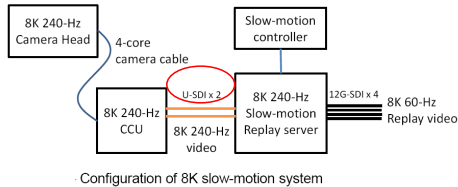
- ST2036-1:2014 UHD TV - Image Parameter Values for Program Production
- ST2036-2:2008 UHD TV - Audio Characteristics and Audio Channel Mapping for Program Production
- ST2048-1:2011 Digital Cinematography Production Image Formats
- ST424-2012 3 Gb/s Signal/Data Serial Interface
- ST425-1:2014 Source Image Format and Ancillary Data Mapping for 3Gbps SDI
- ST425-3:2014 Source Image Format and Ancillary Data Mapping for Dual link 3Gbps SDI
- ST425-5:2014 Source Image Format and Ancillary Data Mapping for Quad link 3Gbps SDI
- ST2081-1:2015 6 Gb/s Signal/Data Serial Interface - Electrical
- ST2081-10:2015 2160-Line and 1080-Line Source Image and Ancillary Data Mapping for Single-Link 6G-SDI
- ST2081-11:2016 2160-line Source Image and Ancillary Data Mapping for Dual link 6G-SDI
- ST2081-12:2016 4320-line and 2160-line Source Image and Ancillary Data Mapping for Quad-link 6G-SDI
- ST2082-1:2015 12 Gb/s Signal/Data Serial Interface - Electrical
- ST2082-10:2015 2160-line Source Image and Ancillary Data Mapping for 12G-SDI
- ST2082-11:2016 4320-line and 2160-line Source Image and Ancillary Data Mapping for Dual-link 12G-SDI
- ST2082-12:2016 4320-line and 2160-line Source Image and Ancillary Data Mapping for Quad-link 12G-SDI

SMPTE: Maintaining UHD signal integrity

Data Rate	1.485 Gbps	2.97 Gbps	5.94 Gbps	11.88 Gbps
Standard	SMPTE ST292-1:2012	SMPTE ST424:2012	SMPTE ST2081-1:2015	SMPTE ST2082-1:2015
Coding	Scrambled NRZI	Scrambled NRZI	Scrambled NRZI	Scrambled NRZI
Amplitude	800 mV +/- 10%	800 mV +/- 10%	800 mV +/- 10%	800 mV +/- 10%
DC Offset	0.0 V +/- 0.5 V	0.0 V +/- 0.5 V	0.0 V +/- 0.5 V	0.0 V +/- 0.5 V
Rise / Fall time	< 270 ps	< 135 ps	< 80 ps	< 45 ps
Rise / Fall time difference	< 100 ps	< 50 ps	< 35 ps	< 18 ps
Over/Under-shoot	<10% of the amplitude	<10% of the amplitude	<10% of the amplitude	<10% of the amplitude
Timing Jitter (colour bar test signal)	< 1 UI (10 Hz to 148.5 MHz)	< 2 UI (10 Hz to 297 MHz)	< 4 UI (10 Hz to 594 MHz)	< 8 UI (10 Hz to 1188 MHz)
Alignment Jitter (colour bar test signal)	< 0.2 UI (100 kHz to 148.5 MHz)	< 0.2 UI recommended (100 kHz to 297 MHz)	< 0.2 UI recommended (100 kHz to 594 MHz)	< 0.2 UI recommended (100 kHz to 1188 MHz)
Coaxial cable length (Belden 1694A)	200 m	200 m	100 m	70 m
Coaxial cable length (Canare L-5-SCUHD)				100 m

U-SDI—— Rec. ITU-R BT.2077-2

NHK为解决2018年12月1日后开播的4K/8K频道，开发了8K 240p慢动作系统，可记录8K 240p慢动作非压缩信号，同时播放60p 8K慢动作内容。



Configuration of 8K slow-motion system

Rec. ITU-R BT.2077-2支持的UHD格式

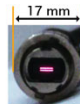
System category	System nomenclature	Luminance or R' G' B' samples per line	Lines per frame	Frame frequency (Hz)
UHDTV1	3 840 × 2 160/23.98P	3 840	2 160	24/1.001
	3 840 × 2 160/24P			24
	3 840 × 2 160/25P			25
	3 840 × 2 160/29.97P			30/1.001
	3 840 × 2 160/30P			30
	3 840 × 2 160/50P			50
	3 840 × 2 160/59.94P			60/1.001
	3 840 × 2 160/60P			60
	3 840 × 2 160/100P			100
	3 840 × 2 160/119.88P			120/1.001
UHDTV2	7 680 × 4 320/23.98P	7 680	4 320	24/1.001
	7 680 × 4 320/24P			24
	7 680 × 4 320/25P			25
	7 680 × 4 320/29.97P			30/1.001
	7 680 × 4 320/30P			30
	7 680 × 4 320/50P			50
	7 680 × 4 320/59.94P			60/1.001
	7 680 × 4 320/60P			60
	7 680 × 4 320/100P			100
	7 680 × 4 320/119.88P			120/1.001
	7 680 × 4 320/120P			120

U-SDI-Ultrahigh-definition Signal/Data Interface超高清数据接口

- 全8K: 120Hz 8K 4:4:4信号基带信号数据率大约144Gbps
- 需要1.5Gbps的线缆96条
- U-SDI只需1条，U-SDI支持超过256Gbps的码率
- 包含24路10.692Gbps的多模光纤
- 使用U-SDI辅助数据的空间可传输22.2声音频
- 被ARIB（音频工商业协会）采纳为标准ARIB STD-B58



U-SDI cable (left) and coaxial cable for Hi-Vision (right)



Connector unit and optical fiber

U-SDI specifications

Number of fibers in a cable	24 (12 columns x 2 rows)
Total data rate	10.692Gbps×24
Transmission coding	8B10B
Fiber type	Multi-mode fiber
Connector locking	Bayonet type

Supported video format

Pixel count	8K(7680×4,320), 4K(3,840×2,160)
Frame frequency	24*, 25.30*, 50.60*, 100, 120*Hz (* includes the value of 1/1.001)
Color sampling	4:4:4, 4:2:2, 4:2:0
Bit depth	10, 12bit