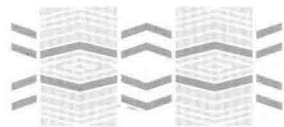


# 数字视频测量技术

章文辉 许江波 编著

广播电视工程专业『十二五』规划教材



广播电视工程专业“十二五”规划教材

# 数字视频测量技术

章文辉 许江波 编著



中国传媒大学出版社  
· 北京 ·

## 图书在版编目(CIP)数据

数字视频测量技术/章文辉,许江波编著. —北京:中国传媒大学出版社,2016.6

(广播电视工程专业“十二五”规划教材)

ISBN 978—7—5657—1293—7

I. ①数… II. ①章… ②许… III. ①视频信号—数字技术—测量

IV. ①TN941.3

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 035387 号

(广播电视工程专业“十二五”规划教材)

## 数字视频测量技术

SHUZI SHIPIN CELIANG JISHU

---

编 著 章文辉 许江波

责任编辑 蒋倩

装帧设计指导 吴学夫 杨蕾 郭开鹤 吴颖

设计总监 杨蕾

装帧设计 刘鑫 杨瑜静

责任印制 阳金洲

出版人 王巧林

---

出版发行 中国传媒大学出版社

社 址 北京市朝阳区定福庄东街1号 邮编:100024

电 话 86—10—65450532 或 65450528 传真:010—65779405

网 址 <http://www.cucp.com.cn>

经 销 全国新华书店

---

印 刷 北京泽宇印刷有限公司

开 本 787×1092 mm 1/16

印 张 黑白 19 彩插 0.5

版 次 2016年6月第1版 2016年6月第1次印刷

---

书 号 ISBN 978—7—5657—1293—7/TN·1293 定 价 56.00 元

---

版权所有

翻印必究

印装错误

负责调换



## 中国传媒大学“十二五”规划教材编委会

---

主任：苏志武 胡正荣

编委：（以姓氏笔画为序）

王永滨 刘剑波 关 玲 许一新 李 伟

李怀亮 张树庭 姜秀华 高晓虹 黄升民

黄心渊 鲁景超 蔡 翔 廖祥忠

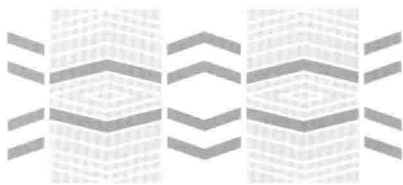
## 广播电视工程专业“十二五”规划教材编委会

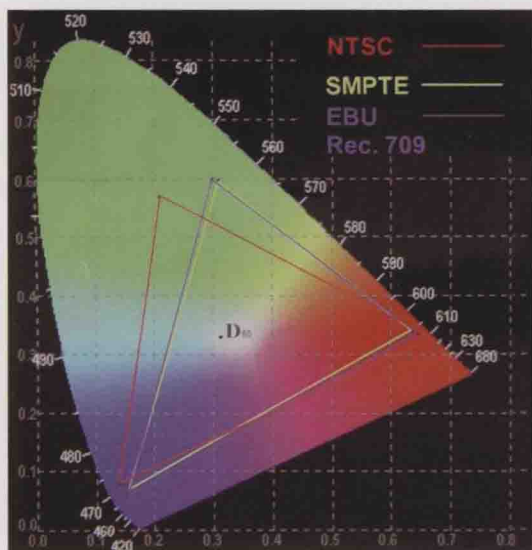
---

主编：姜秀华 史 萍

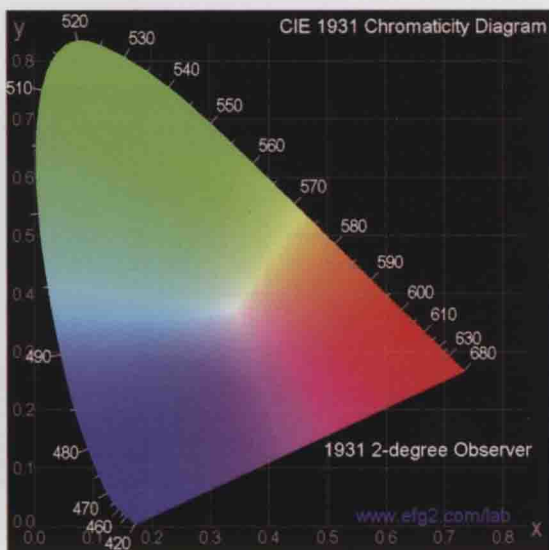
编委：章文辉 许江波 杨盈昀 王彩虹 杨 宇

张亚娜





彩图 1 彩色色域图



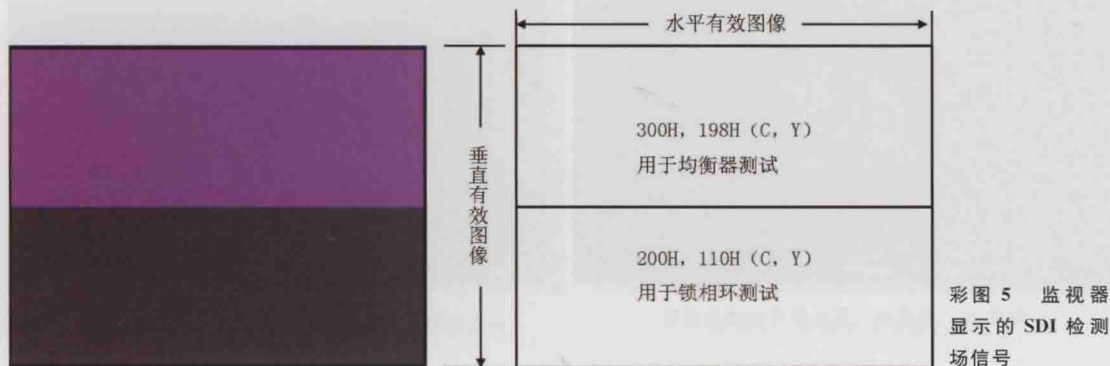
彩图 2 CIE 规定的色域图



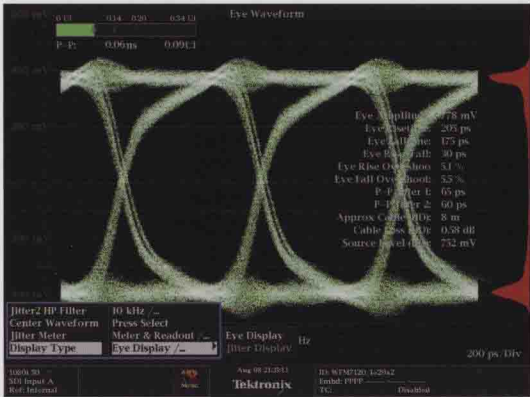
彩图 3 LV5000 波形监视器的“五条”显示



彩图 4 WFM7120“AVD”选项对音视频相对延时的测量结果



彩图 5 监视器显示的 SDI 检测场信号



彩图 6 WFM7120 显示的眼图和物理层特性参数



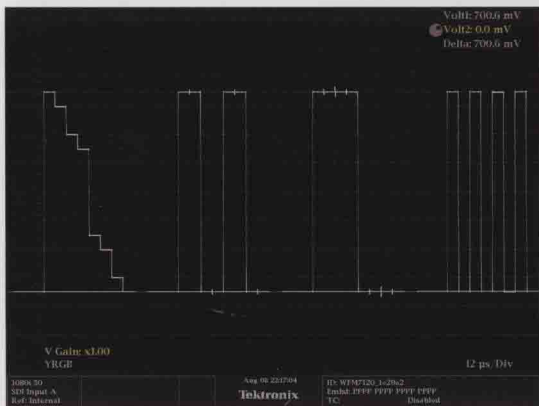
彩图 7 WFM7120 的 SDI 状态显示给出的物理层特性参数



彩图 8 一行高清数字视频的 SAV 附近的数据显示



彩图 9 一行高清数字视频的 EAV 附近的数据显示

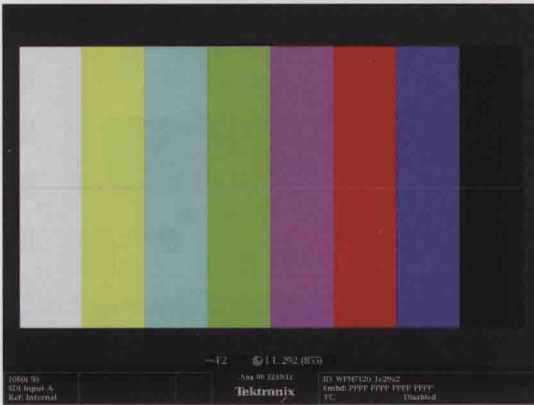


彩图 10 亮度和三基色信号的模拟波形

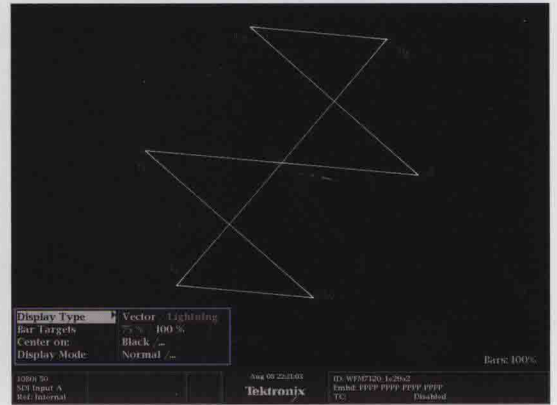


彩图 11 亮度和色差信号的模拟波形

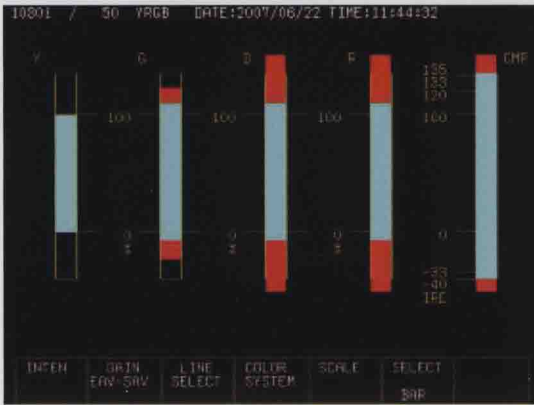




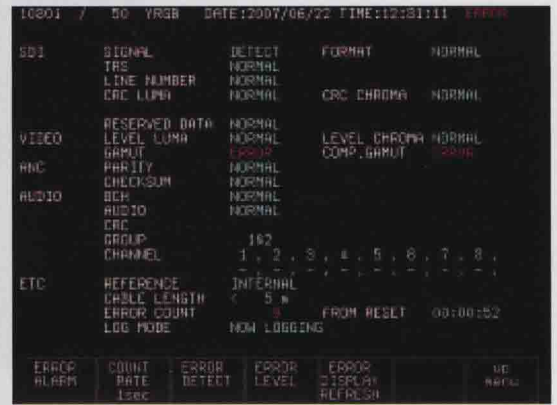
彩图 12 高清数字视频信号的图像监测



彩图 13 高清数字视频信号的矢量监测



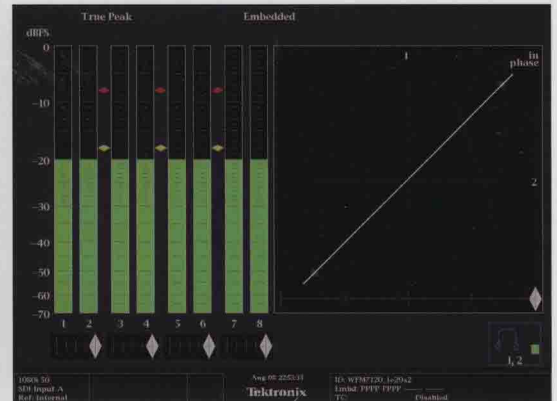
彩图 14 5 条色域误差的告警信息



彩图 15 全面监测状态



彩图 16 WFM7120 显示的嵌入音频状态分析



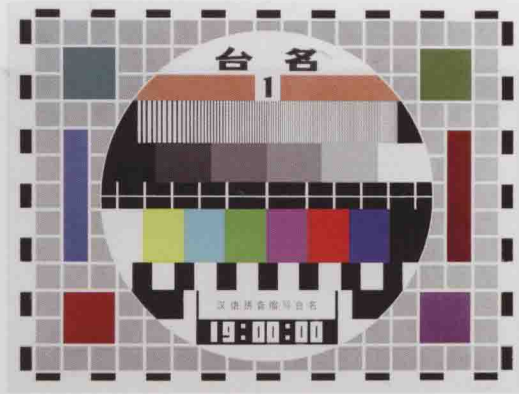
彩图 17 音频电平和李沙育波形

AVC Data Inspector				
Name	DID/SDID	Presence	Status	Location
S205-1 Aud Grp 1	E7-	Present	OK	Field F2 / Line 14
S205-1 Cld Grp 2	E2-	Present	OK	Field F2 / Line 8
S205-1 Aud Grp 2	E6-	Present	OK	Field F2 / Line 14
S205-1 Aud Grp 3	E5-	Present	OK	Field F2 / Line 14
S205-1 Cld Grp 3	E1-	Present	OK	Field F2 / Line 8
S205-1 Cld Grp 4	E6-	Present	OK	Field F2 / Line 8
S205-1 Aud Grp 4	E4-	Present	OK	Field F2 / Line 14
Reserved (0100)	0100	Present	--	--
Unknown	4100	Present	--	--
Reserved (4105)	4105	Present	OK	Field F1 / Line 12

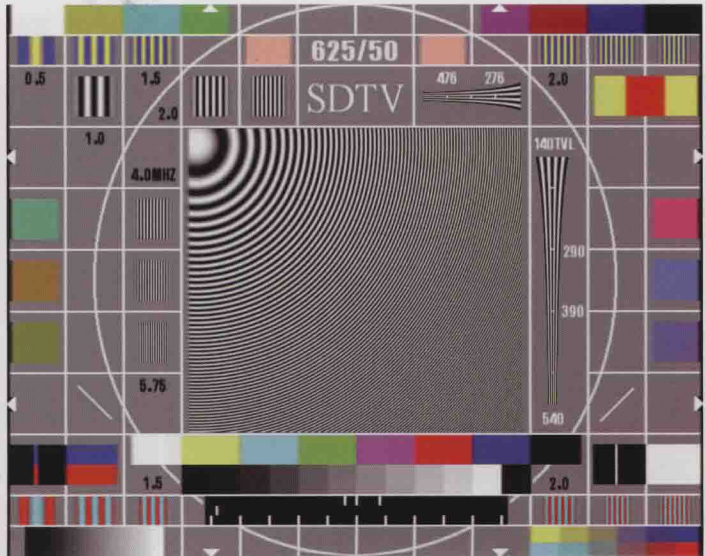
  

Detail		View Mode: Watch List		Time Elapsed Since Last Reset: 0 d, 01:12:57	
Format:	SMPTE2016-3 AFD and Bar Data	Field:	1	Line:	12
DID:	41 (201)	Type:	2	Link:	--
SDID:	5 (205)	DC:	8 (108)	Stream:	V
Exp/Act ChKsum:	2ca / 2ca	Error:	OK		
000	17c 200 200 200 200 200 200				
016					
032					

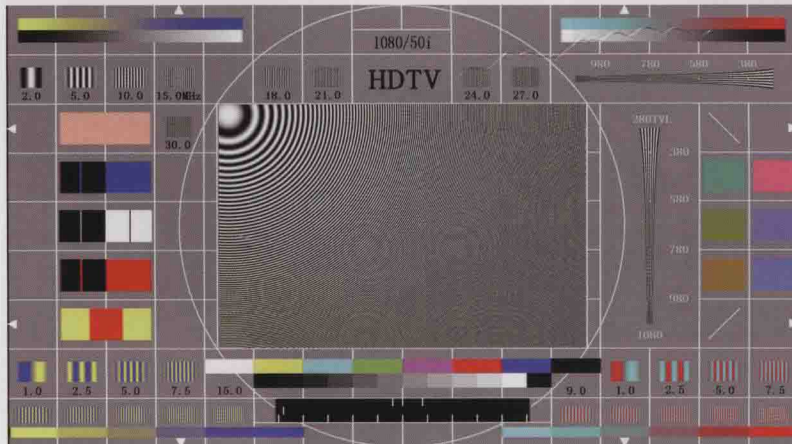
彩图 18 AFD 附属数据包的观察



彩图 19 我国标准彩色测试图

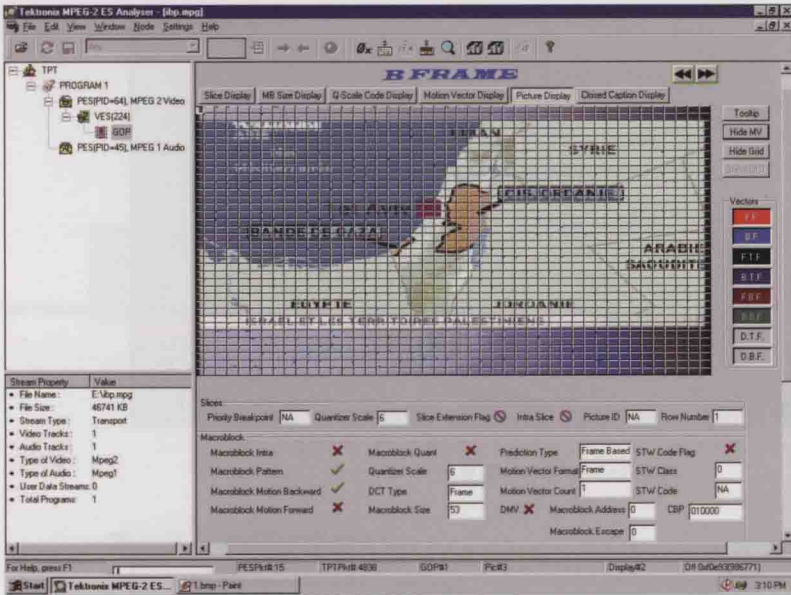


彩图 20 SDTV 综合测试图

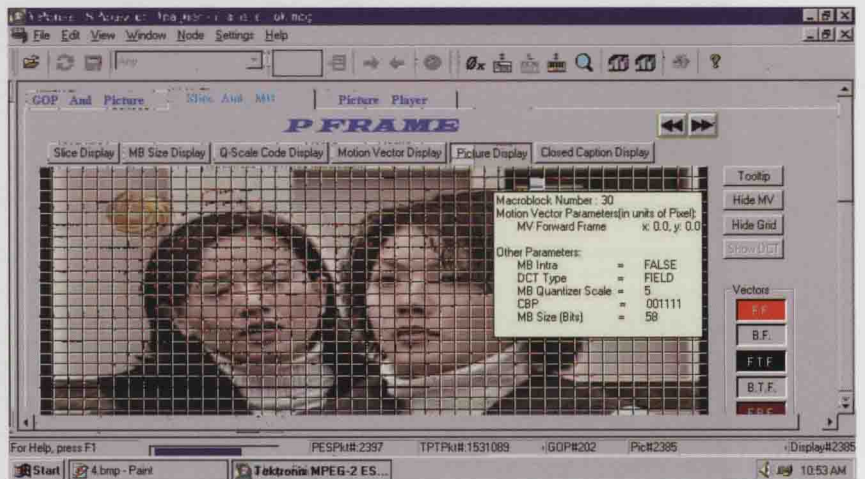


彩图 21 HDTV 综合测试图

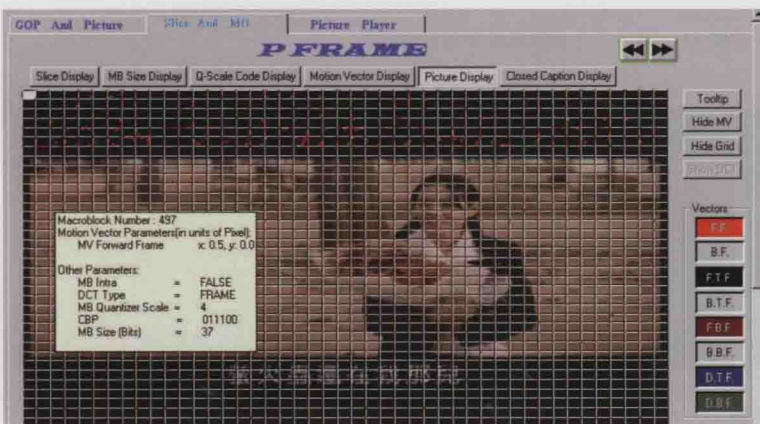




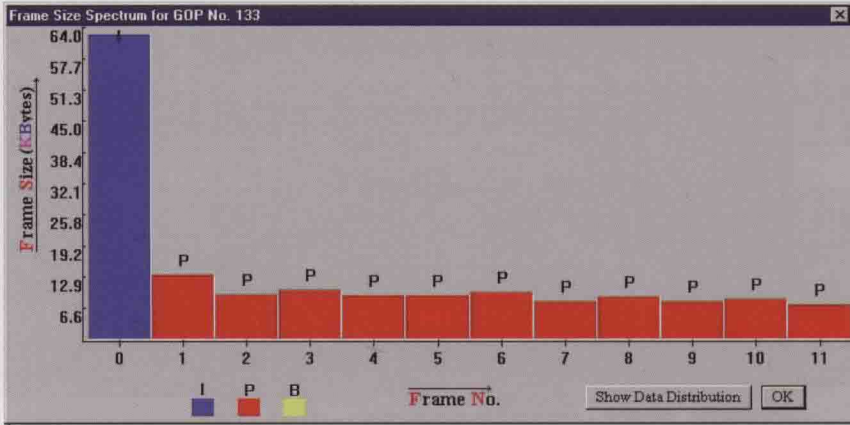
彩图 22 像条和宏块分析



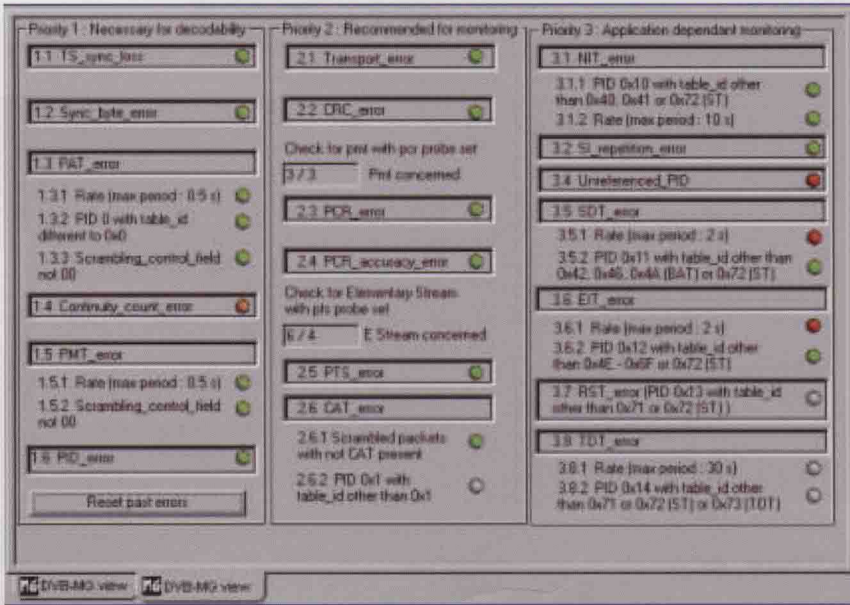
彩图 23 宏块简单分析



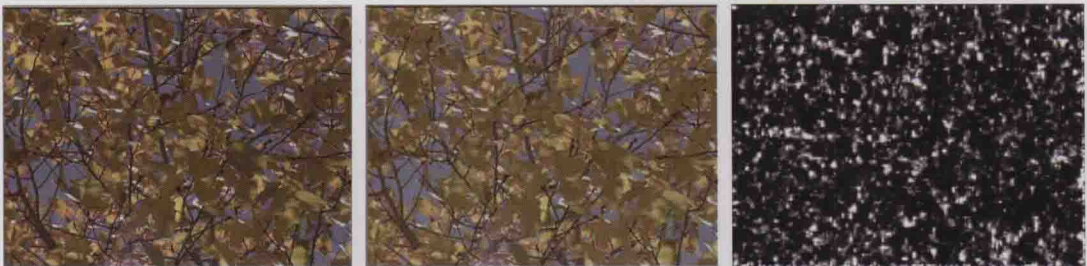
彩图 24 宏块运动矢量分析与显示



彩图 25 比特利用图显示



彩图 26 DVB 三个优先级参数的监测显示



彩图 27 JND 映射图显示两幅输入图像的差异

# 目 录

---

- 第1章 视频测量概论述 /1
  - 1.1 数字视频测量功能层次 /1
  - 1.2 视频质量测量基本概念 /14
  
- 第2章 视频信号的运行质量监测 /20
  - 2.1 彩条信号 /20
  - 2.2 视频信号的波形、矢量和图像监测 /24
  
- 第3章 复合模拟视频技术指标测量 /31
  - 3.1 反射损耗 /31
  - 3.2 介入增益及其稳定度 /33
  - 3.3 视频杂波及信杂比 /35
  - 3.4 视频线性失真 /38
  - 3.5 视频非线性失真 /48
  
- 第4章 模拟分量视频信号测量 /54
  - 4.1 模拟分量视频信号 /54
  - 4.2 分量视频通道联合测量 /58
  - 4.3 色域误差测量 /61

## 第5章 标准清晰度电视演播室数字分量视频信号测量 /72

- 5.1 串行数字分量视频信号的物理层技术指标测量 /72
- 5.2 抖动及其测量 /83
- 5.3 标准清晰度数字分量视频信号格式分析与监测 /90
- 5.4 嵌入辅助数据和 AES/EBU 数字音频的监测 /104
- 5.5 音视频相对延时测量 /122
- 5.6 误码秒及增强测试 /126
- 5.7 SDI 检测场 /132

## 第6章 高清晰度电视数字分量视频信号测量与监测 /136

- 6.1 高清晰度电视数字分量视频信号串行接口物理层特性参数测量 /136
- 6.2 高清晰度电视数字分量视频格式分析与监测 /139
- 6.3 3Gb/s 串行数字视频接口 /150
- 6.4 HD-SDI 嵌入的 AES/EBU 数字音频格式分析及监测 /163
- 6.5 有效幅型描述 AFD 的格式分析及监测 /170

## 第7章 电视测试卡与测试图 /179

- 7.1 电视测试卡 /179
- 7.2 插入测试行信号 /180
- 7.3 电视综合测试图 /182
- 7.4 SDTV 综合测试图 /187
- 7.5 HDTV 综合测试图 /194
- 7.6 摄像机电性能技术指标测量 /202

## 第8章 MPEG-2 压缩视频码流分析 /210

- 8.1 MPEG-2 视频压缩 /210
- 8.2 MPEG-2 系统层 /213
- 8.3 MPEG-2 码流协议分析 /225

第9章 数字电视图像质量主观评价 /255

9.1 主观评价的一般要求 /255

9.2 图像质量主观评价方法 /261

第10章 压缩数字电视图像主观评价质量的客观化测试 /266

10.1 数字电视图像质量客观评价方法 /266

10.2 数字电视图像主观评价质量的客观测量方法 /270

10.3 数字电视图像主观质量客观评价化测量系统及应用 /288

参考文献 /295



# 第1章 视频测量概述

数字化使电视系统发生了根本性的变化,原先相对封闭的视频开始融入数字信息技术领域,视频系统开始借鉴并遵循数字信息系统的结构、层次、流程、规律以及其他特性。信号波形的改变,引起了其他各方面的巨大变化。

## 1.1 数字视频测量功能层次

### 1.1.1 视频测量功能分层

在传统电视系统中,用于分析复合模拟视频系统的模型相对简单。图 1-1-1 显示了复合模拟视频系统的基本方框图、功能层和测量方法。测量通常在复合模拟电视系统通道的某处完成。一台测试仪能够对视频信号的亮度、色度以及同步等运行技术指标进行测试和分析。这种使用一套测试信号、通过传输通道测量信号质量的方法基本上可以描述传统电视系统的图像质量,如果再加上专家分析以及主观视觉检查,就可以完全描述电视系统的特性。

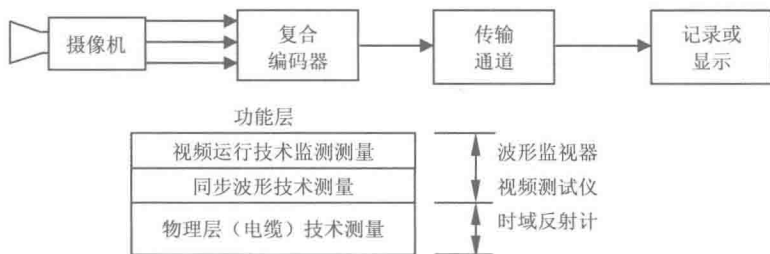


图 1-1-1 模拟视频系统的测试功能层

随着数字电视的出现,电视系统的方框图和功能层变得更加复杂(如图 1-1-2 所示)。模拟视频信号被转换成符合 ITU-R BT 601 标准的数字视频信号,演播室互连的数字视频信号遵循 ITU-R BT 656 标准,这样就导致了测量功能层的扩展以及测量方法的多样性。就

系统运行而言,模拟视频信号的特性测量仍然是测量的重点内容,但是信号必须从数字信号转换成模拟信号。模拟信号测量只需要在单个波形上测出几种不同的参数,而数字信号则要分析数字波形、数字数据格式和数字信号编码再加上模拟信号测量结果。与模拟视频信号测量一样,串行数字视频信号的测量也需要一组测试信号,这组测试信号比只用于模拟系统的测试信号有所扩展。

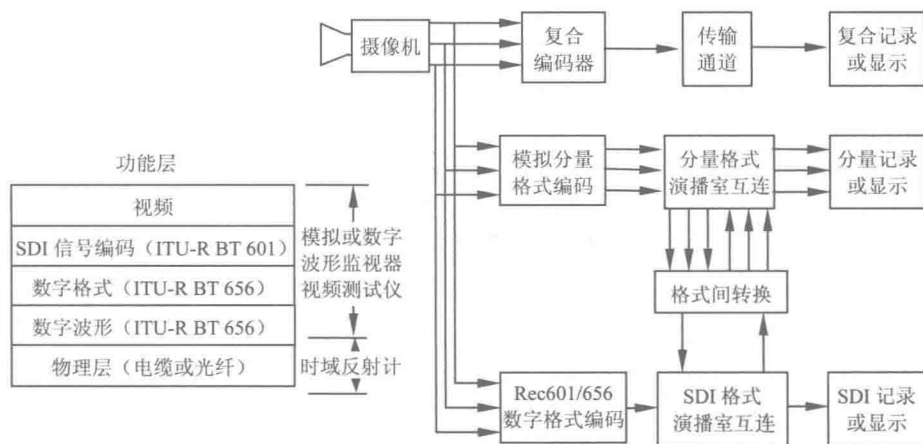


图 1-1-2 模拟/数字混合视频系统的测试功能层

全部指标测量可以通过一台测试仪器如 WFM601 或 WM700T 来完成。由于信号在功能层之间进行了不同的处理,因此,对于不同功能层需要使用不同的分析方法。在数字压缩技术应用于传输领域之前,由于传输技术的限制,高质量的数字信号又被转换到模拟域进行传输。数/模转换和模/数转换带来的某些图像质量劣化会超过模拟信号本身的劣化。

随着电视和通信的融合,视频测量不仅需要考虑日益增多的功能层,还需要考虑多种不同功能层的传输通道。图 1-1-3 是现代电视系统的通道和测试功能层。

现代电视系统可以分为三个主要的测试层(物理层和传输层、格式和协议层以及视频内容层),如图 1-1-3 所示,每个测试功能层都有详细的测试层子集。压缩电视系统的视频质量测量比非压缩电视系统使用的测量方法更为复杂。当图像信号被压缩后,压缩的数据被格式化为便于连接的形式。这种连接的应用有:在视频硬盘服务器之间交换节目或几个视音频编码器发送节目传送流到节目复用器,产生用于卫星广播的复用节目传输流。在这一层采用协议分析比较合适。对于大多数电视传送系统来说,MPEG-2 传输码流是压缩数据级的共同特性。压缩数据传输流的句法和语义在 ISO13818 中都已详细定义,可以使用典型的 MPEG 协议分析工具来检查传输流的合法性,分析确定误码发生的位置。

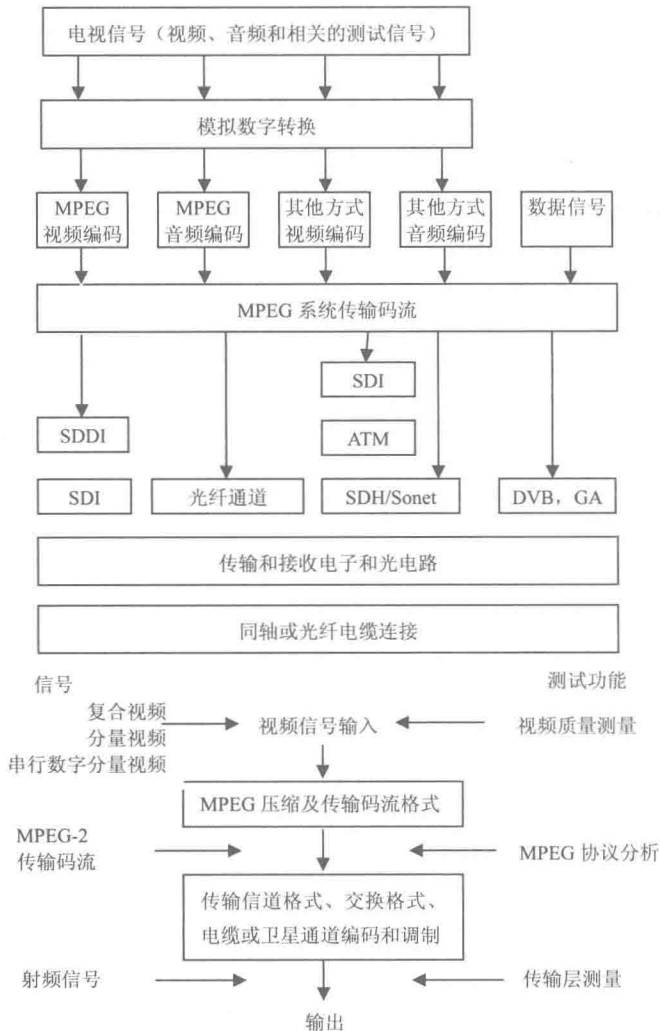


图 1-1-3 现代电视系统的通道和测试功能层

### 1.1.2 数字视频测量功能层次

要想全面地认识数字视频系统测量,就需要利用前面介绍的现代电视系统的三个主要测试层次结合国内和国际标准对其进行分析,参见本章结尾处的附表 1。下面分别对这三个主要测试层次进行说明。

#### 1. 物理层和传输层

主要对应硬件和介质,包括机械的连接器和线缆指标,以及跟电压电流有关的接口特性。

##### (1) SDI 和 HD-SDI 接口

对于 SDI 和 HD-SDI 接口应测试的有:眼图幅度、上升时间、下降时间、上冲、下冲、直流电平偏移、抖动、反射损耗、最小接收灵敏度、最大输入电压等。

### (2) ASI 接口

对于 ASI 接口应测试的有:最小输入灵敏度、最大输入电压、输出幅度、上升时间、下降时间、确定性抖动、传送包模式、反射损耗等。需要特别提醒的是:标准规定 ASI 输入接口最小灵敏度为 200mV,确定性抖动小于等于 370ps,输出接口的幅度大于等于 720mV。这三项指标在实际测试中常发现不合格,且出现概率较高。

### (3) 线缆

对于数字视频线缆的测量,GY/T 224—2007 标准要求有 11 项指标,重点要关注的指标有:特性阻抗、衰减常数、回波损耗、屏蔽衰减等。标准对 RG11、RG6、RG59、MiniRG59、RG179 这五种规格的数字视频同轴电缆提出了技术要求。其中,特性阻抗统一规定为  $75 \pm 5.0\Omega$ ;衰减常数根据不同的电缆规格以及 I 类和 II 类进行划分,在 9 个重要频点上进行了规定。如:RG11 的 I 类在 270MHz 的 100 米衰减要小于等于 7.4dB,在 1.5GHz 的 100 米衰减要小于等于 18.5dB。完整的数值列表请参见该标准。

### (4) 眼图问题

眼图很好只能证明物理层合格,并不能说明其他层的指标合格,所以图像质量差可能是其他层有问题。而“眼图差,图像好”也需要仔细分析。

## 2. 数据格式层和协议层

在数字视频中用数据格式层和协议层的概念是为了理解数据通道和收发两端约定的协议。具体到数字视频就是与成帧、同步、差错控制相关的标准和协议。

### (1) SDI 信号格式

GB/T 14857—1993 标准和 GB/T 17953—2000 标准对 SDI 信号格式进行了规定,包括:编码特性、数据格式、信号结构、定时基准码。

对于定时基准码,在实际测试中,国际标准和国家标准的表达方式都不适合于数值比对。为了工程使用方便,在测试中可以使用表 1-1-1 的测试标准,与仪器的显示方式相吻合,非常便于对照(10 比特系统)。

SAV 和 EAV 看似简单,但串接在系统中的某些设备上可能会引入错误,所以也是必测项目之一。

### (2) HD-SDI 信号格式

GY/T 155—2000 标准和 GY/T 157—2000 标准对 HD-SDI 信号格式进行了规定。

HD-SDI 的比特串行数据由图像数据、图像定时基准码、行号数数据、误码检测码、辅助数据和消隐数据组成。其中行号数数据由指明行号数的两个字组成,紧接在 EAV 之后。误码检测码为循环冗余校验码(CRCC),用以检测有效数字行、EAV 和行号数数据中的误码,它由两个字组成,决定于生成多项式: $EDC(x) = x^{18} + x^5 + x^4 + 1$ 。误码检测码的位置应紧接在行号数数据之后。