

# 地面数字电视 与移动多媒体广播

韦博荣 朴大志 张乃谦 编著

网络工程专业「十二五」规划教材



网络工程专业“十二五”规划教材

# 地面数字电视 与移动多媒体广播

韦博荣 朴大志 张乃谦 编著

李 栋 主审



中国传媒大学出版社



## 图书在版编目(CIP)数据

地面数字电视与移动多媒体广播/韦博荣,朴大志,张乃谦编著.

—北京:中国传媒大学出版社,2015.8

(网络工程专业“十二五”规划教材)

ISBN 978-7-5657-1139-8

I. ①地… II. ①韦… ②朴… ③张… III. ①数字电视—高等学校—教材

②移动通信—应用—多媒体—数字广播系统—高等学校—教材

IV. ①TN949.197 ②TN934.3

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2014) 第 184931 号

## 地面数字电视与移动多媒体广播

---

编 著 韦博荣 朴大志 张乃谦  
主 审 李 栋  
责 任 编 辑 李艳华  
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  
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 86-10-65450528 65450532 传真:65779405

网 址 <http://www.cucp.com.cn>

经 销 全国新华书店

---

印 刷 北京中科印刷有限公司

开 本 787mm×1092mm 1/16

印 张 14.5

版 次 2015年8月第1版 2015年8月第1次印刷

---

书 号 ISBN 978-7-5657-1139-8/TN·1139 定 价 45.00 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

## 网络工程专业“十二五”规划教材编委会

主任：李鉴增 刘剑波

委员：李 栋 韦博荣 杨 磊 王京玲 李建平  
陈新桥 关亚林 杨 成 金立标 郭庆新



# 前 言

数字电视广播具有传输效率高、接收图像和伴音的质量好、可灵活开展各种业务等优点,已在国内外广泛应用,并将逐步完全替代模拟电视广播。按传输信道分类,数字电视传输系统包括有线、卫星和地面传输系统。地面传输系统由于其可实现移动接收和便携式接收、可使用单频网完成覆盖等优点,而具有不可替代的地位。移动多媒体广播同样是在地面无线信道传输,原则上它可以使用数字电视地面广播传输系统传输;但由于多媒体业务的特点,包括我国在内的一些国家和地区采用了不同于地面传输的传输系统。

本书讨论地面数字电视和移动多媒体广播传输的发送端系统,说明地面无线信道的特性,阐述系统使用的主要技术,并介绍我国和国际上普遍应用的地面数字电视和移动多媒体广播传输系统。全书共8章。第1章主要介绍地面数字电视和移动多媒体广播系统,包括视频信号的数字化和码率压缩技术,此外还介绍了数字接口。第2章详细说明地面无线传输信道的特性,并给出了常用的信道模型。第3章阐述数字传输系统中使用的纠错编码技术、调制技术和交织技术。第4~6章介绍国际上已应用的8-VSB和DVB-T系统、我国地面数字电视广播传输系统和多媒体广播系统CMMB。第7章介绍欧洲第二代地面数字电视传输系统标准,读者可从中了解地面无线传输技术的发展状况。第8章介绍地面无线传输系统单频组网技术和频率规划。

本书第1、3、4、5、7章由韦博荣编写,第2、8章由朴大志编写,第6章由张乃谦编写。

本书除了可作为网络工程、通信工程专业的主干课程教材外,还可供其他相关专业的高年级本科生和硕士生选用,也可供广播电视、通信、信息行业的技术人员进行继续教育和岗位培训时参考。

韦博荣

2014年12月29日

# 目 录

---

前 言 /1

## 第一章 概 述 /1

- 1.1 数字电视及其发展 /1
- 1.2 数字电视传输的优点 /4
- 1.3 视频信号的数字化 /4
- 1.4 视频码率压缩技术 /5
- 1.5 MPEG-2 系统传送层 /8
- 1.6 MPEG-2 数据信号接口 /9

## 第二章 信道传输特性 /14

- 2.1 概 述 /14
- 2.2 大尺度衰落 /16
- 2.3 小尺度衰落 /21
- 2.4 多径信道的统计模型 /29
- 2.5 小尺度衰落特性测量结果举例 /34

## 第三章 信道编码与调制 /41

- 3.1 纠错编码 /41
- 3.2 调 制 /71
- 3.3 交织技术 /79

## 第四章 ATSC 8VSB 与 DVB-T 地面数字电视广播传输系统 /83

- 4.1 ATSC 8VSB 地面数字电视广播传输系统 /83
- 4.2 DVB-T 地面数字电视广播传输系统 /89

## 第五章 我国地面数字电视广播传输系统 /102

- 5.1 随机化 /103
- 5.2 FEC 编码 /103
- 5.3 星座映射 /105
- 5.4 符号交织 /107
- 5.5 帧结构 /110
- 5.6 帧体数据处理与组帧 /115
- 5.7 基带后处理 /115
- 5.8 射频信号 /116
- 5.9 基带信号频谱特性与频谱模板 /116
- 5.10 系统基本性能 /118

## 第六章 中国移动多媒体广播 CMMB /122

- 6.1 CMMB 系统概述 /123
- 6.2 CMMB 发送端子系统 /128
- 6.3 CMMB 业务复用 /141
- 6.4 CMMB 发射机构成与室内覆盖 /145

## 第七章 欧洲第二代地面数字电视广播传输系统 DVB-T2 /151

- 7.1 DVB-T2 系统概述 /151
- 7.2 输入处理 /153
- 7.3 纠错编码、调制与交织 /162
- 7.4 帧结构与成帧 /172
- 7.5 OFDM 符号形成 /186

## 第八章 单频网 /194

- 8.1 单频网概述 /194
- 8.2 单频网的基本原理 /198
- 8.3 单频网传输系统 /202
- 8.4 单频网同步原理实现举例 /208
- 8.5 单频网设计的基本原理 /209
- 8.6 单频网建设实例 /213



# 第一章 概述

地面数字电视广播和移动多媒体广播是数字电视系统的一个组成部分,是一种传输系统。本章概述数字电视的发展及其优点、视频信号的数字化和码率压缩技术。

## 1.1 数字电视及其发展

数字电视广播是继模拟电视之后的新一代电视广播系统,它在节目制作、存储、播出和传输的全过程中采用二进制数字(0 和 1)表示图像和伴音信号,其接收端采用数字接收技术还原并呈现图像和伴音(通常用机顶盒接收并转换为模拟的图像和伴音信号)。

随着通信技术、数字信号处理技术和集成电路技术的发展,自 20 世纪 80 年代开始,数字电视系统的研究、标准制定和设备研发进展迅速,并表现出愈发强大的优势。数字电视系统的研究主要集中于三个方面:视频信号的数字化(演播室数字视频参数)、信源编码(实现其记录和传输所需的码率压缩技术)和信道编码(在各种信道中传输时所用的编码和调制方式及参数)。数字电视的发展还与 HDTV(高清晰度电视)制式的研究和开发关系密切。日本于 1972 年向 CCIR(国际无线电咨询委员会)提出的 HDTV 制式是 1125 行的模拟传输系统,称为多重亚取样编码(MUSE)系统。1986 年日本开始在卫星频道播出 HDTV,其视频带宽为 8.1MHz,载波调制方式为频率调制。欧洲研发的 HD-MAC(高清晰度复用模拟分量)系统也属于模拟系统,由于数字电视的发展,欧洲最终放弃了模拟 HDTV 系统。美国称高清晰度电视为 ATV(Advanced Television,高级电视),FCC(美国联邦通信委员会)规定 ATV 必须在 6MHz 带宽的频道内播出。1987 年成立的 ACATS(高级电视业务顾问委员会)最终选择了数字电视方案。码率压缩技术的发展使得数字电视可在 6MHz/8MHz 的电视频道内播出 HDTV 节目,很好地满足了 HDTV 的需求。

20 世纪 80 年代 CCIR 发布的 CCIR601 号建议(现称为 Rec. ITU-R BT. 601)针对 SDTV(标准清晰度电视)规定了演播室数字视频参数,对于模拟的 PAL 制和 NTSC 制视

频信号的数字化规定了统一的取样率、取样方式和编码方式。此建议极大地推动了数字电视的发展。对于 HDTV, ITU-R(国际电信联盟无线电通信部门) BT. 709-3 号建议给出了用于 HDTV 节目制作及交换的参数值。

在图像码率压缩的研究方面:1984 年 CCITT(国际电报电话咨询委员会,1993 年改名为国际电信联盟电信标准化部门,简称 ITU-T)组织了一个专家组研究主要针对会议电视和可视电话的数字视频压缩方案,1985 年起该专家组提出 H. 261 标准。为适应 525/30 和 625/25 两种系统,该标准规定了共用的 CIF(通用中间格式):每秒 30 幅图像,每幅图像 288 行逐行扫描,每行亮度信号有效样值数为 352;色差信号水平分辨率为 176 像素,垂直分辨率为 144 像素。为适应低分辨率应用的需求,该标准还规定了 1/4CIF,即 QCIF:每幅图像 144 行,每行亮度信号有效样值数为 176;色差信号分辨率相应减半。在 H. 261 的基础上先后发展出 H. 262、H. 263 和 H. 264 等标准。1986 年 ISO(国际标准化组织)和 CCITT 联合建立 JPEG(Joint Photographic Expert Group,联合图片专家组),研究静止图像的压缩。它于 1992 年提出 JPEG 静止图像视频编码标准,它所给出的算法可用于运动图像的帧内编码。1988 年 ISO 和 IEC(国际电工委员会)成立 MPEG(Moving Pictures Expert Group,运动图像专家组),它是 ISO/IEC 联合技术委员会下属的一个工作组,致力于运动图像及相应音频的码率压缩标准的研究和制定。1991 年, MPEG 提出 ISO11172 标准,即 MPEG-1 标准。它是针对逐行扫描的,所处理的数字视频格式称为 SIF(Source Input Format,源输入格式),输入的视频信号经预处理转换为 SIF。对于 PAL 制信号,此格式为 352 像素/行,288 行/帧,25 帧/秒;对于 NTSC 制信号,此格式为 352 像素/行,240 行/帧,30 帧/秒。压缩后的输出码率规定在 1.5Mb/s 以下。该标准主要用于在小型光盘上存储数字影像,显示的图像质量和 VHS 相当。为达到广播级的图像质量,1994 年 MPEG 公布了 MPEG-2,即 ISO13818。它处理的输入视频格式有 4 种,对应 4 个不同的级(Level),包括对应 MPEG-1 的 SIF、CCIR601 规定的格式和数字 HDTV 等。它不仅适用于逐行扫描,也包含隔行扫描。MPEG-2 规定了不同码率压缩程度的 5 种处理方法,称为类(Profile),对于同一种输入格式可获得不同的输出码率。由于 MPEG-2 视频压缩标准在应用中极强的适应性和其所用压缩技术的有效性(至少在当时是先进的),它被国际上一致认同并广泛应用。MPEG-2 系统部分规定视频、音频和数据基本码流组合成节目码流(用于误码率低的场合)和 TS(Transport Stream,传送码流,用于误码率较高的场合,如数字电视传输系统),对视频码流、节目码流和传送码流的结构和节目专用信息作出了规定。此外, MPEG-1 和 MPEG-2 都给出了音频编码标准。MPEG-2 的发布极大地促进了数字电视广播的发展。后来, MPEG 又提出了 MPEG-4,它是针对被称为 Object(音视频对象)的音视频数据格式编码的标准,被应用于移动多媒体广播中。

在传输标准的研究和制定方面,美国结合 HDTV 的研究成果,继 GI(美国通用仪器公司)1990 年提出数字 HDTV 系统 DigiCipher 之后又提出 3 个数字 HDTV 系统方案,在方案提交方建立了方案实验系统后,由 ATTC(高级电视测试中心)进行了测试。测试结果表明数字系统性能明显优于被测模拟系统方案,但 4 个数字系统总体水平相当。1993 年 FCC 决定成立 GA(Grand Alliance,“大联盟”)联合开发新的数字 HDTV 系统。1995 年,ATTC 对 GA 系统进行了实验室测试和现场测试。ACATS 向 FCC 提交了数字电视标准建议,其中增加了 SDTV 格式。1996 年,FCC 通过 ATSC(高级电视系统委员会)数字电视系统作为国家标准。ATSC 传输系统是单载波系统,采用残留边带(VSB)方式,标准包含地面数字电视和有线数字电视。此标准包含 AC-3 多声道音频编码标准。加拿大、墨西哥和韩国等也采用 ATSC 标准。ATSC 地面数字电视广播信号不能移动接收。为开展移动多媒体广播业务,2009 年 ATSC 提出向后兼容原有数字电视传输系统的 ATSC 移动数字电视标准 ATSC M/H。20 世纪 90 年代初,欧洲在联邦德国政府的建议下成立了数字电视推动小组,1993 年启动 DVB(Digital Video Broadcasting,数字视频广播)项目,按不同的传输信道分别制定了卫星数字电视传输标准 DVB-S、有线数字电视传输标准 DVB-C 和地面数字电视传输标准 DVB-T。根据信道特性,它们采用不同的帧结构、信道编码和调制。后来为开展手机电视业务,DVB 又提出了 DVB-H 标准。随着技术的发展,2008 年前后 DVB 先后提出第二代数字电视传输标准 DVB-S2、DVB-C2 和 DVB-T2。日本的地面数字电视传输标准称为 ISDB-T,它相比 DVB-T 采用了频谱分段技术,方便于不同传输码率要求的业务在同一频道传输。

为组织和协调数字电视的研究和开发,20 世纪 90 年代,我国政府成立了数字电视研究开发及产业化领导小组,下设数字电视协调小组。1994 年,我国成立了 HDTV 总体组研发数字电视系统。1999 年,原广播电影电视总局(以下简称广电总局)成立了数字电视标准工作组,研究和制定相关标准。在演播室标准方面,我国 SDTV 采用 CCIR601 号建议规定的视频参数,制定了 GY/T155-2000 SDTV 节目制作及交换用视频参数值等标准。视频编码系统采用 MPEG-2 标准,有线数字电视传输系统采用 DVB-C 标准。关于地面数字电视传输系统,2002 年国家标准化委员会委托全国广播电视标准化技术委员会向全国征集具有我国自主知识产权的地面数字电视传输系统方案。2001 年,经数字电视协调小组批准,标准测试组和监理组对征集到的 5 套方案系统(由清华大学、成都电子科技大学、广播科学研究院、浙江大学和西安电子科技大学提交)进行了测试。2003 年,测试组和监理组又对采用多载波方式的清华大学 DMB-T(地面数字多媒体/电视广播系统)和采用单载波方式的上海交通大学等的 ADTB-T(高级数字电视广播系统)进行了评估测试。2003 年底,由国家发展和改革委员会组织,成立了中国数字电视标准联合工作组,联合开发融合的地面数字电视传输系统。2006 年初成立的数字电视地面传输

标准特别工作组,负责标准的起草、意见征求和修改等工作。测试组和监理组对特别工作组提交的系统进行了测试,2006年8月,国家标准化管理委员会批准发布强制性国家标准 GB20600—2006《数字电视地面广播传输系统帧结构、信道编码和调制》(以下简称 GB20600—2006)。该标准包含多载波和单载波两种工作方式,与 DVB-T 不同,多载波工作方式采用 TDS-OFDM(时域同步的正交频分复用),从而实现与单载波方式的兼容。2006年,广电总局制定并发布了行业标准 GY/T220.1—2006《移动多媒体广播 第1部分:广播信道帧结构、信道编码和调制》(以下简称 GY/T220.1—2006)。

## 1.2 数字电视传输的优点

相对于模拟电视,数字电视传输具有以下优点:

①图像和伴音质量高。由于图像和伴音用数字 0 和 1 表示,只要接收端正确还原它们,就能得到与发送端相同的质量,不存在失真及噪声和干扰导致的损伤。接收质量与视频和音频信号数字化所用量化级数和压缩编码有关,相关标准的规定均能保证良好的质量。信道中的噪声和干扰将导致误码,为保证接收质量,要求接收端输出码流的 BER(Bit Error Ratio,误比特率)低于规定的数值。如果高于规定值,则认为接收失败。AT-SC 规定的 BER 为  $3 \times 10^{-6}$ ;DVB 的要求更高,规定为  $10^{-11}$ ,称为 QEF(Quasi-Error-Free,准无错),它表示每小时出现的未被纠正的错误事件少于 1 个。经纠错解码后的码流可以再次传输,并保证质量,不像模拟电视接力传输那样噪声积累且失真加剧。

②传输效率高。由于采用了高效的码率压缩及信道编码和调制技术,地面数字电视传输在一个模拟电视 VHF/UHF 频道(8MHz 带宽)内可传输 4~6 套 SDTV 电视节目或一套 HDTV 电视节目。随着上述技术的发展,传输效率将进一步提高。

③频率资源使用率高。上述传输效率高的特点有效提高了频道利用率。由于其强大的抗干扰能力,地面数字电视广播可以启用模拟电视广播禁用的频道,还可建设单频网实现广播信号覆盖,大大节省了频率资源。

④可移动接收地面信道传输的数字电视广播信号,实现移动多媒体广播。

⑤便于开展其他业务及与电信网和计算机网的融合。数字电视广播可方便地加入其他业务的信号码流,以开展应急广播、数据广播等业务。目前,有线数字电视广播已开展了节目点播业务。数字传输是广播网与电信网和计算机网融合的基础。

## 1.3 视频信号的数字化

数字电视广播传输的音频、视频模拟信号经取样、量化和编码转换为二进制数据。视频信号数字化可以对分量信号(R、G、B 或亮度 Y 和两个色差信号 B-Y、R-Y)或复合信号进行,分别称为分量编码和复合编码。由于分量编码具有与模拟电视制式无关、

便于制式转换,以及不存在亮色相互串扰等优点,已被普遍应用。本节介绍视频信号的分量(Y、B-Y和R-Y)编码参数。

对于SDTV,国际上都采用Rec. ITU-R BT. 601建议的视频分量编码参数,对于625行50场和525行60场制式规定了同样的取样频率和取样结构。下面以4:2:2格式(每行的B-Y或R-Y样点数是Y样点数的1/2)为例进行说明。亮度信号取样频率为13.5MHz,每个色差信号的取样频率为6.75MHz,它们都是上述两种模拟制式下行频的整数倍。取样结构为正交结构,样点位置按行、场和帧重复,每行中B-Y和R-Y的样点与Y的奇数号(第1,第3,第5,…)样点位置相同。两种制式下每个数字有效行的样点数统一为720(Y)和360(B-Y或R-Y)。样值编码方式规定为均匀量化的PCM(脉冲编码调制),每样值8比特(演播室可选用10比特),共256个量化级(0-255)。模拟亮度信号电平与量化级的对应关系如下:黑电平对应于量化级16,峰值白电平对应于量化级235,共分配给亮度信号220个量化级。模拟色差信号电平与量化级的对应关系为:共分配给色差信号225个量化级,模拟信号零电平对应于量化级128。由以上参数,整个一行(含行逆程)的亮度信号样点数为864(625行50场)或858(525行60场),模拟与数字的定时关系为:数字有效行结束处到模拟行同步信号前沿有12个(625行50场)或16个(525行60场)亮度信号取样周期。

我国HDTV的视频编码参数由行业标准GY/T155-2000规定:幅型比为16:9,每行有效像素数为1920,每帧有效行数为1080。规定了两种扫描格式:1125行/50场格式(每帧总行数为1125,帧频为25Hz,隔行扫描)和1125行/24帧格式(每帧总行数为1125,帧频为24Hz,逐行扫描)。对这两种格式规定了相同的取样频率:亮度信号取样频率为74.25MHz,色差信号取样频率为37.125MHz。因此,整个一行(含行逆程)的亮度信号样点数为2640(1125行/50场)或2750(1125行/24帧)。取样结构、样值编码方式和量化级与模拟信号电平的对应关系与SDTV相同。

## 1.4 视频码率压缩技术

视频编码得到的数字视频的数据流码率太高,对于SDTV 4:2:2分量编码,粗算其数据流码率为 $2 \times 8 \times 13.5 = 216 \text{ Mb/s}$ ,必须采用码率压缩方法对其进行压缩,才能在信道中传输。对于运动图像,码率压缩技术主要有帧内编码和帧间编码,前者去除图像在二维空间上的冗余,后者去除运动图像时间上的冗余。在编码过程中,还根据人眼视觉特性进行有损压缩,并根据统计特性进行熵编码。

### 1.4.1 图像类型与数据结构

MPEG定义了三种图像类型,对不同类型的图像采用不同的压缩处理方法。这三种

图像类型为 I 图(帧内图)、P 图(预测图)和 B 图(双向预测图)。I 图采用最简单的方法编码,它完全描述一幅图像而无需参考任何其他图像,其压缩率有限。P 图基于前面的 I 图或 P 图进行前向预测,提供中等的压缩率。B 图基于前面最近的 I 图或 P 图和后面最近的 I 图或 P 图进行双向预测,有最大的压缩率。

由上述三种类型的图像组成的一个组合称为 GOP(图像组)。接收机为了对 B 图进行解码,必须先得到其前后的参考图,对所有用作 B 图预测参考的图都应在该图之前编码并传送。因此,图像的传送顺序不同于它们的显示顺序。

MPEG 为表示编码数据,规定了一个层次结构。图像序列为最高层,在 MPEG-2 中,它可以是逐行或隔行扫描的。一个图像序列中相继的若干个图像构成一个 GOP,在 MPEG-2 中,它是可选的。图像组的下一层为图像,在 MPEG-2 中,它可以是帧或场格式的。一个图像的数据包括亮度和两个色差信号数据,按照亮度和色差信号的取样结构,有 4:2:0(4:1:1,MPEG-1 采用)、4:2:2(MPEG-2 选用)和 4:4:4(MPEG-2 选用)。图像数据分成宏块条,是同步单元。宏块条中的宏块包括一个  $16 \times 16$  像素单元的亮度数据和相应的色差数据。宏块是运动补偿处理单元。最下层是块,它是一个  $8 \times 8$  的亮度数据阵列或色度数据阵列。图 1.1 所示为不同取样结构下一个宏块所包含的块。

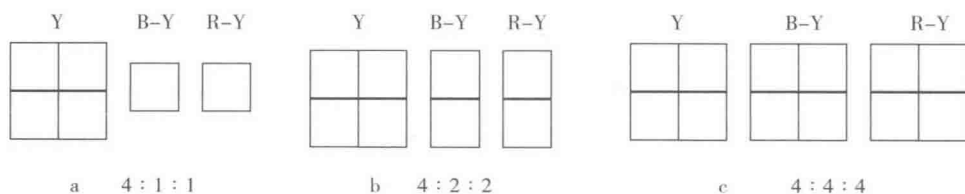


图 1.1 宏块结构

#### 1.4.2 帧内编码

类似于 JPEG 静止图像压缩的算法,I 图帧内编码过程主要有三步:DCT(离散余弦变换)、DCT 系数量化和熵编码。

DCT 类似于傅立叶变换,将时域数据转换为频域系数。离散余弦变换对  $8 \times 8$  的数据块进行。由于块中数据的相关性,其频率分量集中在直流和低频部分, $8 \times 8$  DCT 系数阵列中左上角的少数系数值较大,其余系数为 0 或较小。利用这一特性,可以通过对 DCT 系数的量化和编码,压缩数据率。

对 DCT 系数进行量化,量化输出为 DCT 系数除以量化步长并对商取整数得到的值。量化器输出值相比未量化系数可使用较少的比特表示,从而导致码率的下降。量化步长根据人眼的视觉特性给出,高频分量的系数采用更大的量化步长,它对降低码率的贡献更大。

DCT 系数构成一个二维数组,为了编码和传输,需经扫描转换为一维的数据流。由



于量化后大多数非零系数集中于系数阵列的左上角,采用图 1.2 所示的之字形扫描方式,使大多数非零系数集中于系数阵列对应码流段的前部,从而有效地进行编码。

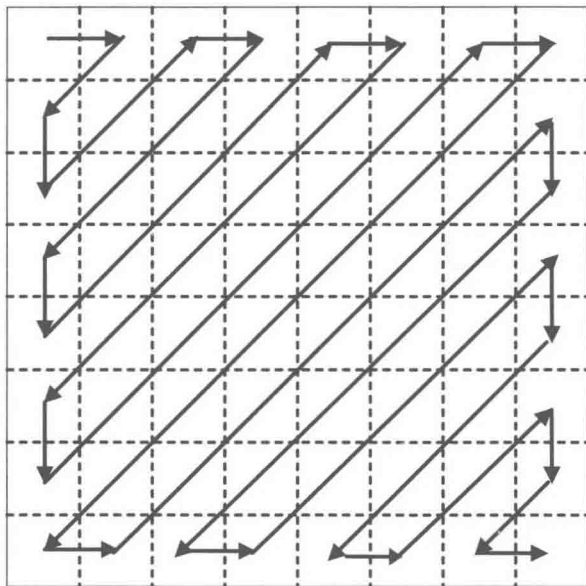


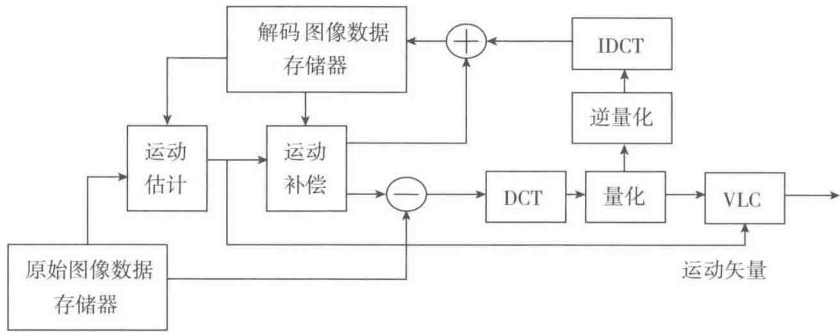
图 1.2 一个块的之字形扫描

量化后的直流系数独立编码,因为对于同一信号(例如亮度信号)的块而言,它与相邻图像块有很强的相关性,故采用差分编码,对其与相邻图像块直流系数的差值进行编码。对于交流系数,进行游程编码和 Huffman 编码。扫描得到的数据流首先被表示成“游程长度,非零系数值”数据对的序列,其中游程长度为相应非零系数与前一非零系数之间零系数的数量。例如,未编码的交流系数数据流 $-1, 0, -1, -4, 2, 0, 2, -3, 1, 1, 0, 0, -1, 1, -1, 0, 0, 0, 1, \dots$ 被表示成 $(0, -1), (1, -1), (0, -4), (0, 2), (1, 2), (0, -3), (0, 1), (0, 1), (2, -1), (0, 1), (0, -1), (3, 1), \dots$ 。如果在某个非零系数之后,码流中不再非零系数值,用 EOB(结束符)结束。然后,对“游程长度,非零系数值”数据对进行 Huffman 编码。它用短码表示出现概率高的数据对,用长码表示出现概率低的数据对,因而降低了长时间统计的平均码长。

#### 1.4.3 帧间编码

P 图和 B 图采用帧间预测编码。为充分发挥预测编码降低码率的作用, MPEG 以宏块为单元进行运动估计和补偿。运动估计通过搜索,在参考帧中找出与被编码宏块最佳匹配的宏块,求出它们之间的位置偏移作为运动矢量。在搜索中,通常以最小均方误差或最小平均绝对误差作为最佳匹配准则。运动补偿的任务是根据运动矢量得到参考宏块。编码器求出被编码图像块与参考图像块的差,作为预测误差进行 DCT、量化和可变长度编码。如果找不出匹配的参考宏块,则对此宏块中的图像块按帧内编码方法进行编

码。图 1.3 所示为预测编码方框图。应用解码的图像数据作为参考图像,以避免 DCT 系数量化引起的预测误差。



DCT: 离散余弦变换 IDCT: 逆离散余弦变换 VLC: 可变长度编码

图 1.3 预测编码方框图

## 1.5 MPEG-2 系统传送层

MPEG-2 标准系统部分规定的系统结构如图 1.4 所示。压缩后的视频和音频数据称为 ES(Elementary Stream, 基本码流), 它们分别打包成 PES(Packetized Elementary Stream, 打包的基本码流)。PES 的包长度可变, 通常一个视频包含一帧图像的传送数据。一套节目的视频和音频打包的基本码流复用为两种码流: PS(Program Stream, 节目码流)和 TS(Transport Stream, 传送码流), PS 适用于传输误码很少出现的场合(如节目存储中), TS 适用于数字电视传输。TS 是打包码流, 包长固定为 188 字节, 其中第一个字节为同步字节(47H)。

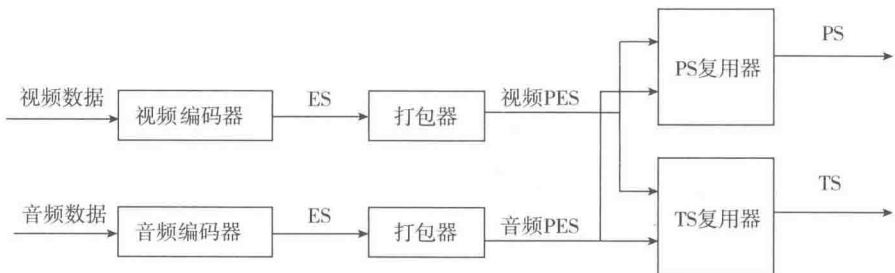


图 1.4 MPEG-2 系统结构

TS 码流允许其中包含具有不同时间基准的 PES, 具有两层复用结构: 同一节目的视频和音频 PES 先进行节目复用, 不同节目的 TS 再进行传送复用, 得到的 TS 送入传输系统。

## 1.6 MPEG-2 数据信号接口

本节介绍用于发送或接收 MPEG-2 传送码流的接口。常用的接口有两种:SPI (Synchronous Parallel Interface, 同步并行接口)和 ASI(Asynchronous Serial Interface, 异步串行接口)。SPI 主要用于近距离或中等距离设备间的传输,ASI 的传输距离则较远。

### 1.6.1 SPI

SPI 是可变数据率的并行传输接口,数据传输同步于 MPEG-2 传送码流的字节时钟。接口采用 25 针的 D 型接插件,设备上用阴性的。共使用 11 对连接线传输信号:8 对连接线传输数据信号,数据 7 是字节的最高有效位;1 对连接线传输时钟信号,所有的信号与时钟同步;1 对连接线传输 PSYNC(同步信号),它在传输 TS 的同步字节时为逻辑“1”信号,表示一个包的开始,用于接收设备进行数据同步;1 对连接线传输 DVALID(确认信号),它为逻辑“1”信号时传输的数据有效。图 1.5 所示为 SPI 系统连接。图 1.6 所示为线路驱动器和线路接收机的连接,其中对于逻辑“1”信号,线路驱动器端点 A 相对于端点 B 为正;对于逻辑“0”信号,线路驱动器端点 A 相对于端点 B 为负。表 1.1 所示为接插件针序号与连接线的对应关系。

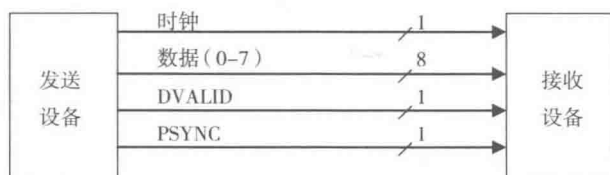


图 1.5 同步并行接口系统连接简图

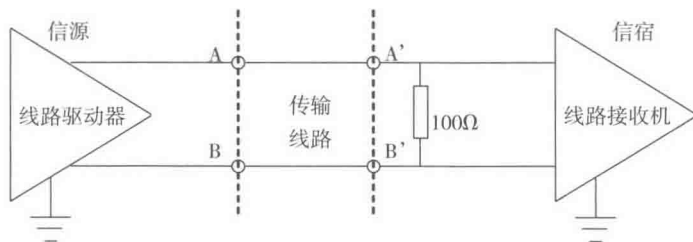


图 1.6 线路驱动器和线路接收机的连接