

有线电视 数字机顶盒的 原理与维修

■ 潘云忠 潘宜漾 编著 ■ ■ ■ ■ ■



有线电视数字机顶盒的 原理与维修

潘云忠 潘宜漾 编著

人民邮电出版社
北 京

图书在版编目 (C I P) 数据

有线电视数字机顶盒的原理与维修 / 潘云忠, 潘宜漾
编著. —北京: 人民邮电出版社, 2009. 5
ISBN 978-7-115-19107-6

I. 有… II. ①潘…②潘… III. ①数字电视—信号设备—
理论②数字电视—信号设备—维修 IV. TN949. 197

中国版本图书馆CIP数据核字 (2008) 第169339号

内 容 提 要

本书介绍了有线电视数字机顶盒的基本工作原理, 对国内几种比较典型的机顶盒电路作了较全面的剖析, 还对机顶盒常见故障的分析检修方法作了详细的介绍。书中附录收集了部分实用资料供读者参考。

本书内容通俗易懂、图文并茂、实用性强, 适合家电维修人员阅读使用。

有线电视数字机顶盒的原理与维修

-
- ◆ 编 著 潘云忠 潘宜漾
责任编辑 张 鹏
 - ◆ 人民邮电出版社出版发行 北京市崇文区夕照寺街 14 号
邮编 100061 电子函件 315@ptpress.com.cn
网址 <http://www.ptpress.com.cn>
北京隆昌伟业印刷有限公司印刷
 - ◆ 开本: 787×1092 1/16
印张: 13.5
字数: 310 千字 2009 年 5 月第 1 版
印数: 1—3 500 册 2009 年 5 月北京第 1 次印刷

ISBN 978-7-115-19107-6/TN

定价: 25.00 元

读者服务热线: (010)67129264 印装质量热线: (010)67129223
反盗版热线: (010)67171154

前 言

广播电视是传播我国国家信息的基础设施，当前正处于由模拟方式往数字化方向发展的阶段。有线电视数字机顶盒为该发展阶段的产物。有线电视数字化不仅使有限的频谱资源得到了充分的利用，增加了电视节目数量，提高了收看质量，而且还可以利用数字机顶盒的交互式功能进行视频点播、电视教学、实时接收股票信息、电视购物、收发电子邮件、收看彩信等活动。目前，有线电视数字化进入了推广普及阶段，根据国家“十五”规划，在 2015 年将全面实现有线电视数字化的目标。

随着有线电视数字机顶盒的普及，很多家电维修人员和电子爱好者迫切需要了解和掌握有线电视数字机顶盒的工作原理和维修技术。由于一些数字电视机顶盒产品的维修技术资料较为鲜见，因此，供家电维修人员和电子爱好者可学习和参考的资料不多。为了满足广大读者的要求，我们根据多年的实践经验，并参考有关资料，编写了本书。在编写过程中，我们力求全书内容图文并茂，语言通俗易懂。在介绍基本工作原理和故障的分析检修过程部分，对国内几种比较典型的数字机顶盒电路进行了剖析，对各种常见故障的分析与检修方法作了较详细的介绍，同时还给出了一些检修实例，以帮助读者在了解工作原理的同时，掌握实际检修方法。希望本书在读者今后的学习和工作中，能起到触类旁通的作用。

本书内容共分 4 章。第一章介绍数字电视的一些基础知识，为读者学习数字机顶盒打下坚实的基础。第二章介绍有线电视数字机顶盒的基本原理，目的是使读者对机顶盒的基本原理有一个初步的认识。第三章对国内几种较典型的机顶盒电路进行全面剖析，目的是使读者能够对机顶盒的各组成部分的原理有较深刻的理解。第四章介绍机顶盒常见故障的分析与检修方法，并列出部分典型检修实例供读者参考。书中附录还收集了部分实用资料。

由于作者水平有限，书中难免存在不妥之处，衷心希望广大读者给予批评指正。

目 录

第一章 数字电视基础知识..... 1	三、其他标准..... 46
第一节 数字电视及其发展1	四、分量编码时演播室各信号频率的 获取..... 52
一、什么是数字电视1	第八节 信道编码与调制..... 52
二、数字电视的优点1	一、信道编码..... 52
三、数字电视的发展2	二、数字电视信号的调制..... 56
第二节 数字电视的标准3	第二章 有线电视数字机顶盒的 基本原理..... 62
一、日本 ISDB 标准4	第一节 有线电视数字广播系统的 组成..... 62
二、美国 ATSC 标准.....4	一、有线电视数字广播系统的 基本组成..... 62
三、欧洲 DVB 标准.....4	二、有线电视数字传输前端系统的 组成与调试..... 68
四、中国数字电视应用标准5	第二节 有线电视数字机顶盒的 特点和基本组成..... 69
第三节 数字信号及主要技术参数6	一、有线电视数字机顶盒的特点..... 70
一、什么是数字信号6	二、有线电视数字机顶盒的 基本性能..... 71
二、数字信号的特点7	三、有线电视数字机顶盒的 基本组成..... 71
三、数字信号的主要技术参数8	第三节 机顶盒各组成部分的 原理与作用..... 72
第四节 模拟信号数字化10	一、调谐解调器..... 72
一、取样10	二、解复用器和 MPEG 解码器 74
二、量化11	三、视频编码器..... 76
三、编码11	四、音频 D/A 转换器..... 76
第五节 音视频信号的数字处理12	五、智能卡读卡器..... 77
一、图像信号的数字化12	六、系统控制与存储器..... 77
二、音频信号的数字化18	七、操作显示面板..... 78
三、数字电视信号参数的确定18	八、开关稳压电源..... 78
第六节 音视频数字信号的 压缩方法19	
一、图像数据压缩的根据19	
二、图像压缩编码20	
三、数字音频压缩编码27	
第七节 数字视音频压缩编码 技术标准31	
一、JPEG 标准31	
二、MPEG 标准33	

第三章 有线电视数字机顶盒典型机型

电路剖析.....79

第一节 同洲 CDVB2200 型有线

电视数字机顶盒电路剖析79

一、调谐器和解调器79

二、系统控制 CPU 与存储器81

三、解复用器和解码器83

四、视频编码器87

五、音频 D/A 转换器和
音频放大器89

六、操作显示面板92

七、智能卡读卡电路94

八、开关稳压电源94

第二节 海尔 HDVB-3000CS 型有线

电视数字机顶盒电路剖析95

一、调谐解调器96

二、主芯片 STX510598

三、音视频输出电路104

四、IC 智能卡检测识别电路105

五、操作显示面板106

六、开关稳压电源107

第三节 创维 C5180 型有线电视数字

机顶盒电路剖析110

一、一体化调谐解调器112

二、主芯片 STi5518113

三、系统控制电路121

四、智能卡检测识别电路123

五、面板显示和键控电路123

六、开关稳压电源124

七、音视频输出电路125

第四节 九洲 DVC-2008CT 型有线

电视数字机顶盒电路剖析125

一、组成结构和工作原理125

二、一体化调谐解调器128

三、单片解复用器和解码器
SC2005128

四、系统控制电路132

五、视频输出滤波网络132

六、音频放大器133

七、智能卡读卡电路133

八、操作显示面板133

九、开关稳压电源134

第五节 天柏 STB8-9399C 型有线

电视数字机顶盒电路剖析135

一、前端信源解码电路135

二、系统控制电路137

三、解复用器和解码器139

四、视频编码和音视频输出
电路139

五、智能卡检测电路139

六、操作显示面板140

七、开关稳压电源141

第四章 有线电视数字机顶盒常见

故障的分析与检修143

第一节 检修机顶盒常用工具与

仪器143

一、拆装工具与焊接工具143

二、贴片集成电路的拆装方法144

三、常用检测工具146

第二节 有线电视数字机顶盒的

检修基本方法148

一、检修机顶盒的一般步骤149

二、机顶盒常见故障现象及
分析判断故障原因的方法151

第三节 用仪表查找故障的方法154

一、用万用表查找故障的方法154

二、用示波器查找故障的方法156

三、用示波器检测机顶盒各单元
电路波形实例157

第四节 机顶盒各板块电路的

故障分析与检修163

一、主板常见故障的分析与检修163

二、操作显示面板常见故障的
分析与检修167三、开关稳压电源板常见故障的
分析与检修168

第五节 检修实例	169	不起作用的检修实例	181
一、开关稳压电源的检修实例	169	六、智能卡读卡电路的检修实例	182
二、面板有电源显示，无图像 无声音检修实例	174	七、创维 C5180 机顶盒常见故障的 检修实例	183
三、图像显示不正常或出现 马赛克的检修实例	178	附录一 部分数字卫星、有线、 地面机顶盒常用一体化调谐解调器与 解调集成电路引脚功能	187
四、有图像无声音或有声音 无图像的检修实例	180	附录二 部分数字卫星、有线、 地面机顶盒常用集成电路引脚功能	193
五、面板按键失控或遥控			

第一章 数字电视基础知识

有线电视数字机顶盒是一种综合技术性强、集成度高、元件密集及电路复杂的电视接收系统前端设备。因此，想要学习和掌握有线电视数字机顶盒的原理与维修技术，必须学习和了解与数字电视相关的一些基础知识。下面介绍一些与数字电视相关的基础知识。

第一节 数字电视及其发展

一、什么是数字电视

数字电视是指从节目的采集、录制到发射、传输、接收等所有环节中，都使用数字电视信号或对数字电视信号采用数字处理和调制的方法，是一种全新电视系统。它由信源、信道与信宿三部分组成，其组成方框图如图 1-1 所示。



图 1-1 数字电视系统组成方框图

数字电视与 20 世纪 90 年代前市场上出现的所谓“数字电视”完全不一样。当时的数字电视是在现有的模拟彩色电视机的电路中采用多种数字化处理技术，包括数字画中画技术等。采用这些数字处理的电视机，虽然改进了图像清晰度，提高了伴音质量，但这些电视机接收的仍是模拟电视信号，并不是真正意义上的数字电视。

数字电视按信号的传输途径可分为三种：数字卫星电视（DVB-S）、数字有线电视（DVB-C）和地面无线传输数字电视（DVB-T）。数字电视按其传输视频比（即图像清晰度）可分为三类：数字高清晰度电视（HDTV）、数字标准清晰度电视（SDTV）和数字普通清晰度电视（LDTV）。按显示屏幕幅型比分类，数字电视可分为 4:3 和 16:9 幅型比两种类型。按照产品类型结构分类，数字电视可分为数字电视显示器、数字电视机顶盒和一体化数字电视机等。

二、数字电视的优点

数字电视与原有的模拟电视相比，有如下优点。

(1) 传输图像质量高, 传送距离远

模拟电视信号在处理和传输过程中, 由于受到干扰、噪声和非线性失真的影响, 信号的波形必然会发生变化, 并随着传输距离和转换环节的增加越来越严重, 影响了收看质量。数字电视信号采用纠错、压缩编码等技术后, 传输过程中的噪声、干扰和失真等只能影响脉冲的幅度和形状, 一般不会影响对脉冲有无的判断, 在接收端很容易通过整形将脉冲恢复。在传输过程中, 模拟信号要求信噪比 $S/N \geq 40\text{dB}$, 而数字信号只要求 $S/N \geq 20\text{dB}$ 。因此, 数字电视信号的质量在传输过程中一般不会降低。

(2) 频谱资源得到了充分利用

数字电视采用了压缩编解码技术, 在原来传送一套模拟电视节目的信号带宽内, 可以传输一套数字高清晰度电视节目或者 4~6 套质量较高的普通数字电视节目。

(3) 提供了全新业务, 易于实现有条件接收

在数字电视传输网络中可互不干扰地插入其他业务, 如电子节目指南、文字、数据、电子游戏软件等。数字电视网络还可与计算机、通信等互联互通, 增加用户与各种信息源之间的交往。数字电视容易实现自动化, 可以实现设备的自动化操作和调整。数字电视信号很容易进行加密/加扰, 有利于信息安全管理, 便于实现付费电视、交互式电视和视频点播。

(4) 可降低发送功率, 扩大覆盖范围

电视信号经过数字化处理后是用若干位二进制的两个电平来表示的。信号在连续处理过程或在传输过程中引入杂波后, 其杂波幅度只要不超过某一额定电平, 通过数字信号再生, 都可以把它清除掉, 即使超过额定值, 造成误码, 也可以利用纠错编解码技术把它们纠正过来。因此, 数字电视的接收电平要比模拟电视的接收电平低一个数量级, 也就是说数字电视发射设备的覆盖范围比模拟电视相同功率发射设备的覆盖范围大, 这样可使设备简化, 维护和使用方便。

三、数字电视的发展

广播电视数字化是当今世界广播电视发展的潮流, 是广播电视自诞生以来面临的最大技术革命。世界各国对数字广播电视都高度重视, 很多国家制订了本国广播电视数字化的进程表。

广播电视数字化的发展经历了大约三个阶段: 第一个阶段从 20 世纪 70 年代开始, 主要是针对当时模拟彩电制式的一些缺陷, 如隔行扫描造成电视图像闪烁、亮度与色度之间相互串扰引起水平分解力降低等进行改进, 当时电视数字化能力较低, 仅能对节目源制作处理以及接收控制部分数字化; 第二阶段从 20 世纪 80 年代开始, 由于电视数字化技术越来越成熟, 演播室已开始全面数字化, 并对广播电视数字化制定了一系列标准; 第三阶段从 20 世纪 90 年代开始, 卫星、有线、地面对数字电视从发送到接收已全面实现数字化。在这个阶段中, 日本、美国及欧洲各国都制订了各自的开发计划。日本目前已基本完成了网络改造, 采用有线、地面传输方式, 实现广播电视数字化。美国的有线数字电视已基本覆盖全国, 有线网络实现了光纤化和数字化双向改造。数字电视平台不仅提供数字电视节目, 还可以开展信息服务等多种增值服务。美国计划于 2009 年停播模

拟电视节目。英国于 1998 年就启动了数字电视广播和互动电视平台,经过对传输网络进行光纤化、数字化的改造,于 2000 年已成为全球发展较好的数字电视市场,并计划于 2010 年停播模拟电视。法国的数字电视也发展得比较快,并计划于 2011 年全部停止模拟电视信号的播出。俄罗斯于 2007 年也启动了数字电视发展规划,并计划于 2015 年,利用 8 年时间实现广播电视数字化。

我国的数字电视发展也很快,自从国家科技部于 1995 年批准实施中国高清晰度电视重大科技产业工程项目以来,我国的数字电视发展取得了举世瞩目的成绩。中央电视台于 1996 年 1 月开始,通过卫星传播数字化编码压缩的 CCTV 电视节目。接着,各省市也纷纷通过卫星转播各自的数字节目。从 1997 年元旦开始,我国卫星数字广播系统采用了 DVB-S 标准。2000 年以来,国家又设立了多项数字电视研发及产业化专项,重点是研究和制定自主知识产权的国家电视标准,进行数字电视产业化和应用推广试验,并把北京、上海、深圳作为试验区域。我国数字电视发展纳入了国家“十五”计划高新技术的几个重大专项之列,数字电视研究工作取得很大进展。目前,全国已有 49 个城市成为开展有线数字电视整体转换的试点,还有一批城市也在积极尝试开展有线数字电视新业务。现已初具规模并积累了一定经验的有青岛、佛山、杭州、大连、太原等城市。有线数字电视基本节目除有本地和国内卫视频道外,还有若干套数字广播节目和“阳光政务”以及付费频道等信息化内容。

国家广电总局对我国的数字电视发展作了全面规划,整个规划按不同区域分为四个阶段进行。

第一阶段:2005 年前,直辖市、东部地区地(市)以上城市、中部地区省会城市和部分地(市)级城市、西部地区部分省会城市的有线电视基本完成向数字化过渡。

第二阶段:2008 年前,东部地区县以上城市、中部地区地(市)级城市和大部分县级城市、西部地区部分地(市)级以上城市和少数县级城市的有线电视基本完成向数字化过渡。

第三阶段:2010 年前,中部地区县级城市、西部地区大部分县以上城市的有线电视基本完成向数字化过渡。

第四阶段:2015 年前,西部地区县级以上城市的有线电视基本完成向数字化过渡。对于西部广大农村和偏远地区以及不适合发展有线电视的地区,可向采用卫星接收方式方面发展。

第二节 数字电视的标准

数字电视的标准是什么呢?在数字电视传输码流中,一个数据包有多大,含有多少个字节,每个字节的含义是什么,每个字节的某一比特位是何意义等,都有明确的规定,这个规定就是标准。数字电视标准可分为卫星传输、有线传输和地面无线传输方式标准。目前使用的数字电视标准主要有 3 种:日本的 ISDB(综合服务广播)标准、美国的 ATSC(先

进电视系统委员会)标准和欧洲的 DVB (数字视频广播)标准。

一、日本 ISDB 标准

ISDB 是日本的 Digital Broadcasting Experts Group (数字广播专家组) 制定的数字广播系统标准。它利用一种已经标准化的复用方案在一个普通的传输信道上发送各种不同种类的信号, 同时已经复用的信号也可以通过各种不同的传输信道发送出去。

二、美国 ATSC 标准

ATSC 为 ATSC 组织开发、制定的数字电视标准。ATSC 组织成员有 30 多个, 我国广播科学研究院也加入了该组织。ATSC 数字电视标准由 4 个分离的层级组成: 第 1 层为图像层, 确定图像的形式, 如像素阵列、幅型比和帧频; 第 2 层为图像压缩层, 采用 MPEG-2 图像压缩标准; 第 3 层为系统复用层, 特定的数据分别纳入不同的压缩包中; 第 4 层为传输层, 确定数据传输的调制和信道编码方式。

根据 ATSC 标准, 对于地面广播, 可在 6MHz 的广播频道实现 19.3Mbit/s 的传输速率。在有线电视系统高数据率的 16VSB (残留边带) 模式下, 可在 6MHz 的有线信道中实现 38.6Mbit/s 的传输速率。ATSC 标准中 HDTV 或 SDTV 标准支持的格式有:

① HDTV 像素阵列为 1 920 像素(H)×1 080 像素(V); 幅型比为 16 (宽): 9 (高); 帧频为 60Hz/隔行扫描制, 帧频为 30Hz 及 24Hz/逐行扫描制。

② HDTV 像素阵列为 1 280 像素(H)×720 像素(V); 幅型比为 16 (宽): 9 (高); 帧频为 60Hz、30Hz、24Hz/逐行扫描制。

③ SDTV 像素阵列为 704 像素(H)×480 像素(V); 幅型比为 16 (宽): 9 (高) 或 4:3; 帧频为 60Hz/隔行扫描制, 帧频为 60Hz、30Hz、24Hz/逐行扫描制。

④ SDTV 像素阵列为 640 像素(H)×480 像素(V); 幅型比为 4 (宽): 3 (高); 帧频为 60Hz/隔行扫描制, 帧频为 60Hz、30Hz、24Hz/逐行扫描制。

ATSC 还开发通过了帧频为 50Hz 的国家使用的另行标准, 其中帧频为 25Hz 和 50Hz, 像素阵列相同。

三、欧洲 DVB 标准

DVB 标准分别包含 DVB 广播传输系统、DVB 基带附加信息系统、DVB 条件接收及接口标准和 DVB 交互业务系统。

1. DVB 广播传输系统

DVB 广播传输系统包括卫星 (DVB-S)、有线 (DVB-C)、地面 (DVB-T) 等数字电视广播传输媒体。

DVB-S (数字卫星直播系统) 标准是以卫星作为传输媒介, 通过卫星转发压缩的数字电视广播信号, 然后通过地面卫星机顶盒接收、处理和输出, 现有模拟电视机可以接收的信号。DVB-S 标准中数据流的调制采用四相相移键控调制 (QPSK) 方式, 工作频率为 11/12GHz。使用 MPEG-2 的 MP@ML (主类、主级) 格式时, 达到 PAL 质量的码率为

5Mbit/s。一个 54MHz 转发器传送速率可达 68Mbit/s，可供多套节目复用。

DVB-C（数字有线电视广播系统）标准是以有线光（或电）缆作为传输媒介，传送压缩的数字电视广播节目。DVB-C 标准采用 16、32、64QAM（正交调幅调制）方式，工作频率在 10GHz 以下。当采用 64QAM 方式时，1 个 PAL 通道传送码率为 41.34Mbit/s，并可供多套节目复用。

DVB-T（数字地面广播系统）标准是较复杂的 DVB 传输系统。DVB-T 标准采用编码正交频分复用（COFDM）调制方式，在 8MHz 带宽内能传送 4 套高质量的电视节目。

2. DVB 基带附加信息系统

DVB 数字电视广播系统除传送音、视频信号外，还同时传送图文、字幕、图标、节目指南及接收 IRD（综合解码接收机）调谐等信息。因此 DVB 数字电视广播系统标准还包含：DVB-SI（ETS 300468）——数字广播业务信息系统标准，DVB-TXT（ETS 300472）——数字图文广播系统标准和 DVB-SUB（ETS 300743）——数字广播字幕及图标系统标准。

3. DVB 条件接收及接口标准

DVB 数字电视广播系统中有些业务传送的是加扰有条件接收的信息。DVB 条件接收及接口标准可使 IRD 能够解扰采用通用加扰算法的加扰信息。DVB 数字电视广播系统与其他电信网络的连接扩展了 DVB 技术的应用范围，与这些电信网络的接口实现了 DVB 向电信网络的过渡。此外还有用于连接专业设备及 IRD 的接口，这些接口包括：DVB-CI（NE 50221）——条件接收及其他应用的通用接口标准，DVB-PDH（ETS 300813）——准同步数字系列网络 DVB 接口标准，DVB-SDH（ETS 300814）——同步数字系列网络 DVB 接口标准，DVB-ATM（ETS 300815）——ATM 网络 DVB 接口标准，DVB-PI（EN 50083-9）——CATV/SMATV 前端及类似的专业设备接口标准和 DVB-IPDI（EN 50201）——DVB-IRD 接口标准。

四、中国数字电视应用标准

我国目前已颁发的数字电视应用标准有如下几种。

1. 数字电视基础标准

数字电视基础标准包括：GB/T 7400.11 数字电视术语、GY/T 134 数字电视图像质量主观评价方法、GY/T 144 广播电视 SDH 干线网络管理接口协议、GY/T 145 广播电视 SDH 干线网络管理信息模型规范、GY/Z 174 数字电视广播业务信息（SI）规范、GY/Z 175 数字电视广播有条件接收系统（CA）规范。

2. 演播室参数标准

演播室参数标准包括：GB/T 14857 演播室数字电视编码参数规范、GB/T 17953 4:2:2 数字分量图像信号的接口、GY/T 155 高清晰度电视节目制作及交换用视频参数值、GY/T 156 演播室数字音频参数、GY/T 157 演播室高清晰度电视数字视频信号接口、GY/T 158 演播

室数字音频信号接口、GY/T 159 4：4：4 数字分量视频信号接口、GY/T 160 演播室数字电视辅助数字信号格式、GY/T 161 数字电视附属数据空间内数字音频和辅助数据的传输规范、GY/T 162 高清晰度电视串行接口中作为附属数据信号的 24 比特数字音频格式、GY/T 163 数字电视附属数据空间内时间码和控制码的格式、GY/T 164 演播室串行数字光纤传输系统、GB/T 14919 数字音频信号信源编码技术规范、GB/T 14920 四声道数字音频副载波系统技术规范、GY/T 167 数字分量演播室的同步基准信号、GY/T 165 电视中心播控系统数字播出通路技术指标和测试方法。

3. 视频编码及复用标准

视频编码及复用标准包括：GB/T 17975.2 信息技术——运动图像及其伴音信号的通用编码、MPEG-2 视频标准在数字电视广播中的实施准则、MPEG-2 系统标准在数字电视广播中的实施准则。

4. 信道编码及调制标准

信道编码及调制标准包括：GB/T 17700—1999 卫星数字电视广播信道编码及调制标准、GY/T 170—2001 有线电视数字广播系统信道编码及调制标准、GY/T 143 有线系统调幅激光器发送机和接收机入网技术条件和测量方法、GY/T 146 卫星数字电视上行站通用规范、GY/T 147 卫星数字电视接收站通用规范、GY/T 148 卫星数字电视接收机技术要求、GY/T 149 卫星数字电视接收站系统的测量方法、GY/T 150 卫星数字电视接收站室外单元的测量方法。

除上述以外，我国已颁发的数字电视标准还有高清晰度数字电视标准体系。

随着数字电视广播的发展，可以预言在不久的将来，ISDB、ATSC、DVB 等数字电视标准将由统一的国际数字电视标准取代。

第三节 数字信号及主要技术参数

一、什么是数字信号

信号可以分为模拟信号和数字信号两大类。模拟信号是指在时间轴上连续变化的信号，它可以完全准确地表示信号电平，如语音、图像信号等是模拟信号。分析模拟信号时，可以用一些物理量来表征，如频率、电平等。模拟信号经放大、衰减、压缩、扩展、整流、检波、调幅、调频和解调等处理后，信号的幅度或形状虽然发生了变化，但随时间而连续变化的特点是不会改变的。数字信号与模拟信号不同，数字信号在时间上和幅度上都是离散的信号，有有限多个值，离散并且近似地表示信息，如数字电视、数字通信等都是数字信号。简单地说，数字信号是由“0”和“1”构成的信号，“0”和“1”可以用开关的开与关、脉冲的有和无等来表示。

在日常生活中，我们常用 0, 1, 2, 3, …, 9 这 10 个数字来构成十进制进行计算，而数字电视却是基于二进制的原理来工作的。二进制计算不同于十进制，二进制只有 0 和 1 两个符号，不是逢十进一，而是逢二进一。因此，在十进制中的数字 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7…在二进制中分别用 0, 1, 10, 11, 100, 101, 111 来表示。表 1-1 所示为二进制数字和十进制数字之间的转换关系，其中的位数是从右到左来算的，如第一位即最右边的一位，对应于十进制数中的个位。利用表 1-1 可以把二进制数字和十进制数字互相转换。当把二进制数字转换为十进制数字时，把表中各个二进制符号“1”所在位对应的十进制数相加即可（二进制符号“0”对应的十进制数也是 0，不用相加）。

表 1-1 二进制数字和十进制数字的转换关系

二进制符号“1” 所在位	第 1 位	第 2 位	第 3 位	…	第 8 位	第 9 位	…	第 n 位
相应的十进 制数	2^0	2^1	2^2	…	2^7	2^8	…	2^{n-1}
	1	2	4	…	128	256	…	

在二进制数字通信中，数字信号的幅度只有两个不同的值，就是脉冲的有或无，我们用它来表示二进制的 1 和 0。1 个脉冲对应于 1 位二进制数，它所包含的信息量称为 1 比特（bit）。每个脉冲的有或无代表 0 和 1 两（ 2^1 ）种状态，8 个脉冲（对应于 8 位二进制数，包含着 8bit 信息）的有或无代表 00000000~11111111 的 256（ 2^8 ）种状态。

数字信号的传输分串行传输和并行传输两种方式。串行传输是在一条线路上信息量一个比特一个比特地依次传输，并行传输则是在由多条线路组成的并行通道上同时传输多个比特的信息。两者相比，并行的传输速率要比串行传输快得多，但成本也相应要大得多。

二、数字信号的特点

同模拟信号相比，数字信号有着本质的区别，具有很多特点，具体表现如下。

① 采用“0”和“1”二值形式组合的数字信号，其波形简单，很容易利用电路的两个稳定状态来实现。它还利于信号的传输、存储、延迟和变换等，又易于电路的集成，便于大规模集成化生产。

② 数字信号在传输过程中，它的各种信息，如图像、声音、数据等不像模拟信号那样包含在波形中，而是存在于以脉冲的有无或正负形式表示的代码中，而代码只有两三种离散值，很容易根据脉冲的有无和正负来判断。在传输过程中，即使信号受到一定程度的干扰，只要这种干扰小于规定的门限电平值，就不会影响对代码的判断，并可以及时采用再生的办法产生一个与发送端一样、无噪声干扰的再生信号。利用纠错编码技术，可使生成的数字信号具有很强的抑制噪声和抗干扰能力，从而使信息无差错地远距离传输。

③ 系统中生成和传输的数字信号与计算机使用的信号都是离散的二进制信号，便于使用计算机对信号进行识别、处理、存储和交换，因而可以在一个系统内实现多种通信业务，便于综合业务的发展。

④ 因数字信号简单，再生能力强，可以采用时分复用方式传输，提高了信道的利

用率，且不需要频分复用中体积庞大的滤波器，利于电路的集成化，设备的小型化。同时，信号在传输中又能实现多次中继而质量不受损失，使信息能够高速、顺畅无阻地传输和交换。

⑤ 利用数字压缩技术，可使数字信息在近似不失真的情况下，降低数字数据的传输数量，减少占用频带宽度，使有限的频谱资源得到了充分利用。

⑥ 数字信号便于加密加扰，可提高信息安全质量。

⑦ 数字系统部件通用性强，可扩展性好，只需外加不同的软件，就可完成不同的功能，实现一机多用。

三、数字信号的主要技术参数

数字信号的主要技术参数有：传送速率、带宽利用率、误码与误码率、比特差错率、抖动率等。

1. 传送速率

二进制数字出现的频率，即单位时间内传送的二进制数字的位数，叫做传送速率。传送速率是用来衡量数字系统效率的，又分为码元速率和信息速率两种。码元速率又称数码率、符号速率和键控速率。数字信号是以二进制 0 和 1 表示的，1 位二进制数字称为 1 比特 (bit) 或 1 个二进制码元。码元速率是指每秒传送的码元个数，码元可以是二进制也可以是多进制。信息速率是指每秒传送的信息单位数，信息速率也称比特率，单位为位/秒 (bit/s)。码元速率 D 与信息速率 R 的关系为

$$R = D \times \log_2 M$$

式中， D 为码元速率， M 为码元进制数， R 为信息速率。二进制码元速率与信息速率数值相等。

2. 带宽利用率

带宽利用率是指单位频带内所能实现的传送能力，单位是位/(秒·赫兹)，即 bit/(s·Hz)。它是衡量数字系统效率的一个重要指标。数字信号的传送与模拟信号的传送一样，要占有一定的频带宽度。在相同的传输速率下，数字信号所占的频带宽度越窄，频带利用率越高，系统的有效性就越好。在比较数字系统效率时，当采用不同的调制方式时，即使传送速率相同，所占用的带宽也有所不同，如表 1-2 所示。

表 1-2 几种调制方式的传送速率和占用带宽

调 制 方 式	16QAM		32QAM		64QAM		128QAM		256QAM	
传送速率 (bit/s)	20	28	25	35	30	42	35	49	40	56
占用带宽 (MHz)	5.75	8.05	5.75	8.05	5.75	8.05	5.75	8.05	5.75	8.05

3. 误码、误码率和比特差错率

在数字信号传输系统中，当发生发送端发“0”，而接收端收到的却为“1”，发送与接

收的信息互为否认，即收发码元不一致的情况时，称为误码。产生误码的原因有很多，如工业干扰、雷电干扰等。

误码率是指码元或符号被传错的概率，是用来衡量数字系统正确传输信号的可靠程度的。影响误码率的因素有很多，如信号的调制方式、判别门限值的高低等。误码率越小，要求视频信噪比越高。调制方式不同，其误码率也不同，具体如表 1-3 所示。

表 1-3 常用调制方式的频带利用率和误码率

调 制 方 式	频带利用率 (bit / s · Hz)	误码率公式
2QSK	0.5	$\frac{1}{2} \text{erfc} \sqrt{E_b / N_0}$
QPSK	1	$\frac{1}{2} \text{erfc} \sqrt{E_b / N_0}$
8PSK	1.5	$\frac{1}{2} \text{erfc} \sqrt{3 \sin^2 \frac{\pi}{8} \cdot \frac{E_b}{N_0}}$
16QAM	2	$\frac{3}{8} \text{erfc} \sqrt{\frac{2}{5} \cdot \frac{E_b}{N_0}}$
64QAM	3	$\frac{7}{24} \text{erfc} \sqrt{\frac{1}{7} \cdot \frac{E_b}{N_0}}$
MSK	1	$\frac{1}{2} \text{erfc} \sqrt{E_b / N_0}$

注：表中 erfc 为误差函数符号， E_b 为比特能量， N_0 为噪声谱密度。

比特差错率是指二进制码元被传错的概率，是用来衡量数字系统正确传送信号的可靠程度的。

误码率和比特差错率不同，只有在二进制时，两者数值才相等。但二进制表示的形式有多种，误码率和比特差错率没有固定的对应关系。在数字通信传输系统中，要求它们越小越好。

4. 抖动性能

抖动是数字信号在传输过程中产生的一种瞬时不稳的现象，它是数字信号在各瞬间对于标准时间位置的偏差。抖动除了会使误码率增加而引起失真外，还会直接造成数/模输出信号的包络失真。抖动包括两个方面：一是输入信号脉冲在某一平均位置左右变化，二是提取的时钟信号在中心位置上的左右变化。这种抖动现象相当于对数字信号进行了相位调制。产生抖动的原因除了与定时提取电路的性能有关外，还与输入信号的状态有关。如在输入码流中连续出现“0”码时，会给定时的提出造成困难，产生抖动。在多继系统中，每个中继系统产生的抖动还会出现积累，使信号更加恶化。

第四节 模拟信号数字化

模拟信号一经转换成数字信号，对信号的延迟、寄存、压缩、扩展、变换和分析等就可以用数字技术的常用方法加以处理，能获得传统方法难以实现的优良性能。经转换后的数字信号，还可利用计算机直接处理，从而可实现按需控制和加工。

模拟信号要变换为数字信号，要经过取样、量化、编码三个过程，称为模/数（A/D）变换，也称为脉冲编码调制（PCM）。整个过程如图 1-2 所示。

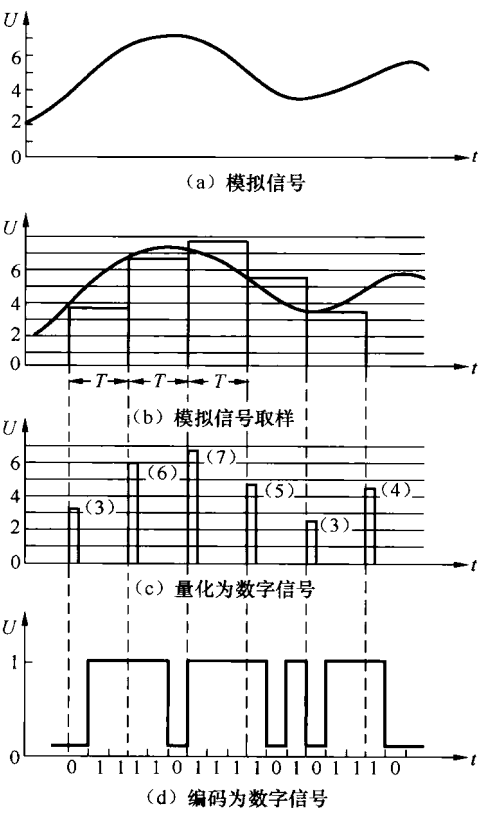


图 1-2 模拟信号数字化示意图

一、取样

取样就是把连续变化的模拟信号，按一定的时间间隔（ T ）进行抽样，将模拟信号离散化，得到与模拟信号在抽样瞬间的幅度成正比的一系列脉冲，如图 1-2（b）所示。图 1-2（b）中，我们按一定的时间间隔 T （称为取样周期），把模拟信号分成若干等份，在同一时间间隔内，用一个确定的幅度（称样值）来代替原来模拟信号中该时间间隔内变化的幅度。样值代替原模拟信号中同样时间间隔内变化的幅度时，会产生一定的误差。由图 1-2 可看出，取样周期（ T ）越小，这种误差就越小。取样周期越小，会使取样过程变得越复杂。因此应选择一个合适的取样周期。