



普通高等教育“十一五”国家级规划教材

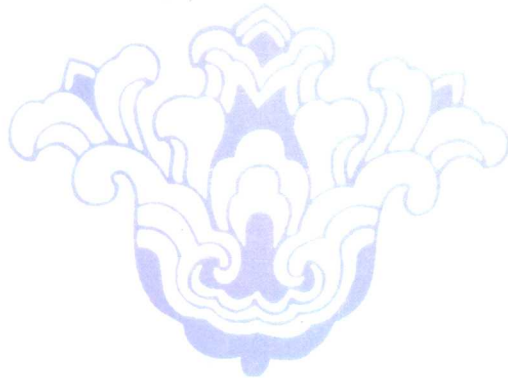
21世纪

电子信息类规划教材

*Shuzi Tongxin
Yuanli*

数字通信 原理

© 毛京丽 编



人民邮电出版社
POSTS & TELECOM PRESS

普通高等教育“十一五”国家级规划教材

21 世纪电子信息类规划教材

数字通信原理

毛京丽 编

人民邮电出版社

北京

图书在版编目(CIP)数据

数字通信原理 / 毛京丽编. —北京: 人民邮电出版社, 2007.9

21世纪电子信息类规划教材. 普通高等教育“十一五”国家级规划教材

ISBN 978-7-115-16400-1

I. 数... II. 毛... III. 数字通信—高等学校: 技术学校—教材 IV. TN914.3

中国版本图书馆CIP数据核字(2007)第087467号

内 容 简 介

本书是为适应数字通信新技术的发展需要并结合高职高专学习的特点编写的。在简要介绍了数字通信基本概念的基础上,详细论述了数字终端编码技术、时分多路复用及PCM30/32路系统、数字信号复接技术(包括PDH和SDH)及数字信号传输的相关内容。同时本书注重实用性,探讨了SDH网规划设计的内容和数字通信系统的一些实际应用问题。

为便于读者学习过程的归纳总结和提高分析问题和解决问题的能力,在每章最后都附有重点内容小结和思考题与练习题。

本书取材适宜、结构合理、深入浅出、通俗易懂、易于学习理解和讲授。

本书既可作为高职高专院校通信专业教材,也可作为从事通信工作的科研和工程技术人员的学习参考书。

普通高等教育“十一五”国家级规划教材

21世纪电子信息类规划教材

数字通信原理

-
- ◆ 编 者 毛京丽
责任编辑 滑 玉
 - ◆ 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>
北京铭成印刷有限公司印刷
新华书店总店北京发行所经销
 - ◆ 开本: 787×1092 1/16
印张: 13.25
字数: 320千字 2007年9月第1版
印数: 1-3000册 2007年9月北京第1次印刷

ISBN 978-7-115-16400-1/TN

定价: 22.00元

读者服务热线: (010)67170985 印装质量热线: (010)67129223

21 世纪人类将进入高度发达的信息社会，这就要求高质量的信息传输与之相适应，而数字通信是现代信息传输的重要手段。

掌握数字通信基本理论和技术是高等院校通信专业学生和通信工作者所必不可少的。

本书在简要阐述数字通信基本理论的基础上，侧重于讨论和研究数字通信传输体制和数字信号传输的技术问题。

全书共有 5 章。主要内容如下。

第 1 章主要介绍了数字通信的概念、数字通信系统的构成、数字通信的特点及数字通信系统的主要性能指标。

第 2 章首先简单介绍了语声信号编码的基本概念，接着详细分析了 PCM 通信系统的构成、PCM 的 A/D 变换、D/A 变换（包括抽样、量化、编码与解码等）的基本方法，然后讨论了 ADPCM 的主要问题，最后介绍了子带编码。

第 3 章详细介绍了时分多路复用的基本概念、PCM30/32 路系统的帧结构、定时系统、帧同步系统的工作原理及 PCM30/32 路的系统构成。

第 4 章包括两方面的内容：一是准同步数字体系（PDH），主要介绍了数字复接的基本概念、同步复接与异步复接原理、PCM 零次群和 PCM 高次群、PDH 的网络结构及 PDH 的弱点；二是同步数字体系（SDH），主要介绍了 SDH 的基本概念、SDH 的速率体系、SDH 的基本网络单元、SDH 的帧结构、SDH 的复用映射结构和具体映射、定位、复用方法。

第 5 章首先研究数字信号传输的基本理论，然后讨论传输码型、数字信号的基带传输及数字信号的频带传输问题，最后详细介绍了 SDH 传输网的拓扑结构、SDH 传输接口、SDH 自愈网、SDH 传输网的分层结构、SDH 传输网的网同步、SDH 传输网的规划设计和基于 SDH 的 MSTP 技术。

本书由毛京丽编写。作者在编写过程得到了李文海教授、石方文、董跃武等同事的帮助，在此表示感谢。

另外在本书的编写过程中，参考了一些相关的文献，从中受益匪浅，在此对这些文献的作者表示深深的谢意！

由于编者水平有限，若书中存在缺点和错误，恳请专家和读者批评指正。

编者

2007 年 5 月

目 录

| | |
|---------------------------------|----|
| 第 1 章 概述 | 1 |
| 1.1 数字通信系统的基本概念 | 1 |
| 1.1.1 通信及通信系统的组成 | 1 |
| 1.1.2 信息、信号及分类 | 2 |
| 1.1.3 模拟通信与数字通信 | 4 |
| 1.2 数字通信的特点 | 5 |
| 1.3 数字通信系统的主要性能指标 | 6 |
| 1.3.1 有效性指标 | 6 |
| 1.3.2 可靠性指标 | 7 |
| 1.4 数字通信技术的发展概况 | 8 |
| 小结 | 10 |
| 思考题与练习题 | 10 |
| 第 2 章 数字终端编码技术——语声信号数字化 | 11 |
| 2.1 语声信号编码的基本概念 | 11 |
| 2.1.1 语声信号编码的概念 | 11 |
| 2.1.2 语声信号编码的分类 | 11 |
| 2.2 脉冲编码调制 | 12 |
| 2.2.1 PCM 通信系统的构成 | 12 |
| 2.2.2 抽样 | 13 |
| 2.2.3 量化 | 19 |
| 2.2.4 编码与解码 | 31 |
| 2.2.5 单片集成 PCM 编解码器 | 42 |
| 2.3 自适应差值脉冲编码调制 | 44 |
| 2.3.1 语音压缩编码技术的概念 | 44 |
| 2.3.2 差值脉冲编码调制的原理 | 45 |
| 2.3.3 自适应差值脉冲编码调制的原理 | 50 |
| 2.3.4 32kbit/s ADPCM 系统 | 53 |
| 2.3.5 单片集成 ADPCM 编解码器——MCI45540 | 54 |
| 2.4 子带编码 | 55 |
| 2.4.1 SBC 基本原理 | 56 |
| 2.4.2 子带的划分 | 56 |
| 2.4.3 带通滤波器的实现 | 57 |
| 小结 | 59 |
| 思考题与练习题 | 61 |

| | |
|---------------------------------------|-----|
| 第3章 时分多路复用及 PCM30/32 路系统 | 64 |
| 3.1 时分多路复用通信..... | 64 |
| 3.1.1 时分多路复用的概念..... | 64 |
| 3.1.2 PCM 时分多路通信系统的构成..... | 65 |
| 3.1.3 时分多路复用系统中的位同步..... | 67 |
| 3.1.4 时分多路复用系统中的帧同步..... | 67 |
| 3.2 PCM30/32 路系统..... | 72 |
| 3.2.1 PCM30/32 路系统帧结构..... | 72 |
| 3.2.2 PCM30/32 路定时系统..... | 74 |
| 3.2.3 PCM30/32 路帧同步系统..... | 78 |
| 3.2.4 PCM30/32 路系统的构成..... | 86 |
| 3.2.5 PCM30/32 路系统主要技术指标及测试方法..... | 87 |
| 小结..... | 98 |
| 思考题与练习题..... | 99 |
| 第4章 数字信号复接 | 101 |
| 4.1 准同步数字体系..... | 101 |
| 4.1.1 数字复接的基本概念..... | 101 |
| 4.1.2 同步复接与异步复接..... | 105 |
| 4.1.3 PCM 零次群和 PCM 高次群..... | 113 |
| 4.1.4 PDH 的网络结构..... | 116 |
| 4.1.5 PDH 的弱点..... | 117 |
| 4.2 同步数字体系..... | 118 |
| 4.2.1 SDH 的基本概念..... | 118 |
| 4.2.2 SDH 的速率体系..... | 120 |
| 4.2.3 SDH 的基本网络单元..... | 120 |
| 4.2.4 SDH 的帧结构..... | 124 |
| 4.2.5 SDH 的复用映射结构..... | 130 |
| 4.2.6 映射..... | 134 |
| 4.2.7 定位..... | 140 |
| 4.2.8 复用..... | 144 |
| 小结..... | 148 |
| 思考题与练习题..... | 150 |
| 第5章 数字信号传输 | 151 |
| 5.1 数字信号传输基本理论..... | 151 |
| 5.1.1 数字信号传输方式..... | 151 |
| 5.1.2 数字信号波形与功率谱..... | 151 |
| 5.1.3 基带传输系统的构成..... | 153 |

| | |
|-----------------------------------|-----|
| 5.1.4 数字信号传输的基本准则(无码间干扰的条件) | 155 |
| 5.2 传输码型 | 159 |
| 5.2.1 对传输码型的要求 | 159 |
| 5.2.2 常见的传输码型 | 160 |
| 5.2.3 传输码型的误码增殖 | 164 |
| 5.2.4 传输码型特性的分析比较 | 165 |
| 5.3 数字信号的基带传输 | 165 |
| 5.3.1 基带传输信道特性 | 165 |
| 5.3.2 再生中继系统 | 167 |
| 5.3.3 再生中继系统的误码性能 | 169 |
| 5.4 数字信号的频带传输 | 171 |
| 5.4.1 频带传输基本概念 | 171 |
| 5.4.2 数字信号的频带传输系统 | 172 |
| 5.5 SDH 传输网 | 175 |
| 5.5.1 SDH 传输网的拓扑结构 | 175 |
| 5.5.2 SDH 传输接口 | 177 |
| 5.5.3 SDH 自愈网 | 181 |
| 5.5.4 SDH 传输网的分层结构 | 188 |
| 5.5.5 SDH 传输网的网同步 | 190 |
| 5.5.6 SDH 传输网的规划设计 | 193 |
| 5.5.7 基于 SDH 的 MSTP 技术 | 200 |
| 小结 | 201 |
| 思考题与练习题 | 203 |
| 参考文献 | 204 |

为了使读者对数字通信系统有一个比较全面的了解，本章简要介绍有关数字通信的一些最基本的概念。

学习本章时，要求掌握数字通信的概念、数字通信系统的构成及数字通信的特点，了解数字通信系统的主要性能指标。

1.1 数字通信系统的基本概念

1.1.1 通信及通信系统的组成

信息的传递和交换的过程称为通信。信息可以有多种表现形式，如语言、文字、数据、图像等。近代通信系统也是种类繁多、形式各异，但可以把通信系统概括为一个统一的模型。这一模型包括信源、变换器、信道、反变换器、信宿和噪声源6个部分。通信系统模型框图如图1-1所示。

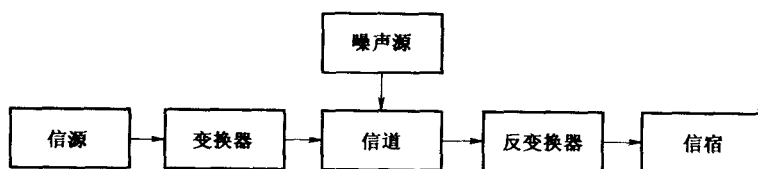


图1-1 通信系统模型

通信系统模型中各部分的功能如下。

(1) 信源

信源是指发出信息的信息源。在人与人之间通信的情况下，信源是发出信息的人；在机器与机器之间通信的情况下，信源是发出信息的机器，如计算机等。

(2) 变换器

变换器的功能是把信源发出的信息变换成适合于在信道上传输的信号。

(3) 信道

信道是信号的传输通道。

如果按范围分，信道可以分为狭义信道和广义信道。狭义信道是指纯的传输媒介；广义信道则是传输媒介加上两边相应的通信设备或变换设备。根据所考虑的变换设备多少，广义信道的范围也有所不同。

如果按传输媒介的类型分,信道可以分为有线信道和无线信道。有线信道主要包括双绞线、对称电缆、同轴电缆、光纤等;无线信道是指传输电磁信号的自由空间,如微波、卫星等信道。

(4) 反变换器

反变换器是变换器的逆变换。反变换器的功能就是把从信道上接收的信号变换成信息接收者可以接收的信息。

(5) 信宿

信宿是指信息传送的终点,也就是信息接收者。它可以是与信源对应的,构成人-人通信或机-机通信,也可以是与信源不一致的,构成人-机通信。

(6) 噪声源

噪声源并不是一个人为实现的实体,但在实际通信系统中又是客观存在的。干扰噪声可能在信源信息初始产生的周围环境中就混入了,也可能从构成变换器的电子设备中引入,还有在传输信道中及接收端的各种设备中都可能引入干扰噪声。模型中的噪声源是以集中形式表示的,即把发送、传输和接收端各部分的干扰噪声集中地由一个噪声源来表示。

1.1.2 信息、信号及分类

1. 信息与信号的概念

通信的目的就是传递或交换信息。但什么是信息呢?从信息论的观点很难为信息一词下一个很确切而又一目了然的定义。

与通信结合较紧密的一个定义是美国的一位数学家、信息论的主要奠基人仙农(C.E.Shannon)提出的。他把信息定义为“用来消除不定性的东西”。通信的过程就是传递“用来消除不定性的东西”。

信号是携带信息的载体。语声、图像和文字等都是表示信息的一种形式。对于通信系统特别是电信系统,信源发出的信息要经过适当的变换和处理,使之变成适合在信道上传输的信号才可以传输。信号应具有某种可以感知的物理参量——如电压、电流及光波强度、频率、时间等。

2. 信号的分类

(1) 根据信源发出的信息的形式分类

根据信源发出的信息的形式不同,信号可分为语声信号、图像信号、数据信号等。

(2) 根据信号物理参量基本特征分类

信号的时间波形的特征可用两个物理参量(时间、幅度)来表示。根据信号物理参量基本特征的不同,信号可以分为两大类:模拟信号和数字信号。

① 模拟信号

图 1-2 (a) 所示的信号是模拟信号。可见模拟信号波形模拟着信息的变化而变化,其特点是幅度连续。连续的含义是在某一取值范围内可以取无限多个数值。从图 1-2 (a) 波形中又可看出此信号波形在时间上也是连续的,我们将时间上连续的信号叫连续信号。图 1-2 (b) 是图 1-2 (a) 的抽样信号,即对图 1-2 (a) 的信号波形每隔 T 时间抽样一次,因此其波形在时间上是离散的,但幅度取值仍是连续的,所以图 1-2 (b) 仍然是模拟信号,由于此波形在时间上是离散的,故它又是离散信号。电话、传真、电视信号等都属于模拟信号。

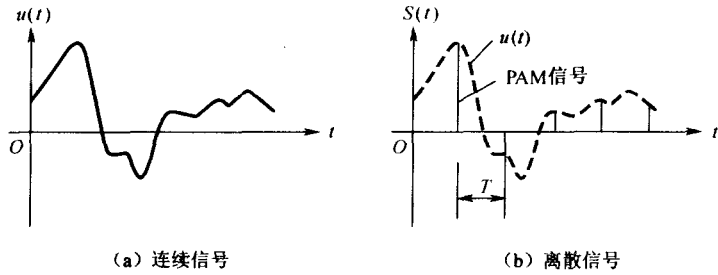


图 1-2 模拟信号

② 数字信号

图 1-3 所示是数字信号的波形，其特点是：幅值被限制在有限个数值之内，它不是连续的，而是离散的。图 1-3 (a) 是二进制码，每一个码元只取两个幅值 (0, A)；图 1-3 (b) 是四电平码，其每个码元只取 4 个幅值 (3, 1, -1, -3) 中的一个。这种幅度离散的信号称为数字信号。电报信号、数据信号等属于数字信号。

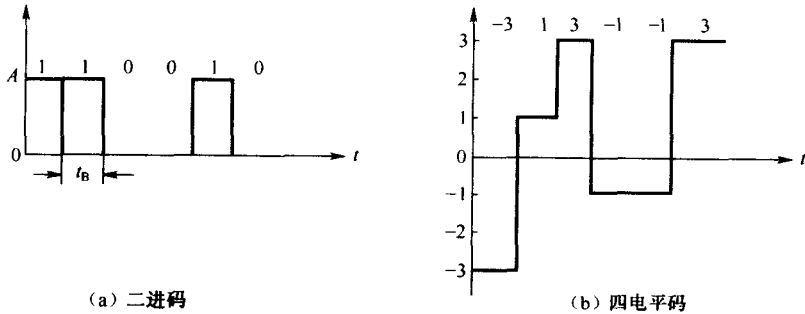


图 1-3 数字信号

从以上分析可知：数字信号与模拟信号的区别是根据幅度取值上是否离散而定的。虽然模拟信号与数字信号有明显区别，但二者之间，在一定条件下是可以互相转换的。

在此介绍一下占空比的概念。参见图 1-4，设“1”码脉冲的宽度为 τ ，二进制码元允许的时间为 t_B （即二进制码元的间隔），占空比 $a = \frac{\tau}{t_B}$ ，可见，图 1-4 (a) 中 $a=1$ ，图 1-4 (b) 中 $a=1/2$ 。

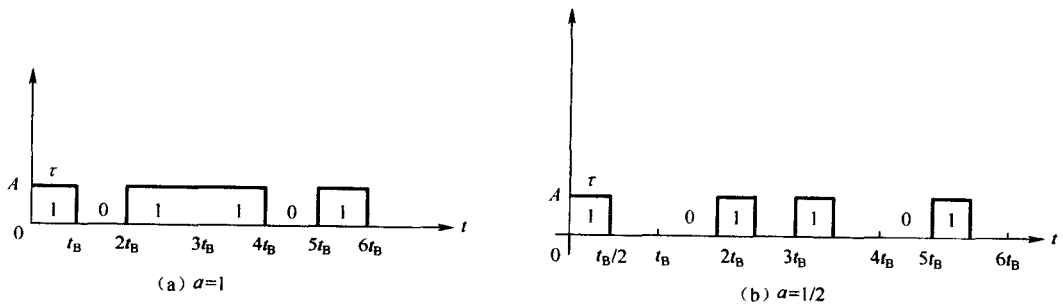


图 1-4 占空比的概念

1.1.3 模拟通信与数字通信

根据在信道上传输的信号形式的不同,可分为两类通信方式:模拟通信和数字通信。

1. 模拟通信

模拟通信是以模拟信号的形式传递消息。模拟通信采用频分复用实现多路通信,即通过调制将各路信号的频谱搬移到线路的不同频谱上,使各路信号在频率上错开以实现多路通信。

2. 数字通信

(1) 数字通信的概念

数字通信是以数字信号的形式传递消息。数字通信采用时分复用实现多路通信,即利用各路信号在信道上占有不同的时间间隔的特征来分开各路信号。

(2) 数字通信系统的构成

数字通信系统的构成模型如图 1-5 所示。

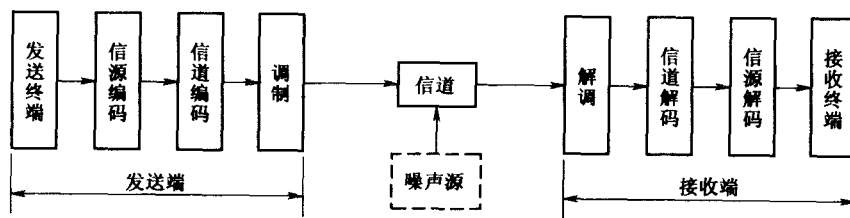


图 1-5 数字通信系统的构成模型

图 1-5 中发送终端是把原始信息变换成原始电信号。常见的信源有产生模拟信号的电话机、摄像机和输出数字信号的电子计算机、各种数字终端设备等。

信源编码的功能把模拟信号变换成数字信号,即完成模/数变换的任务。如果信源产生的已经是数字信号,可省去信源编码部分。

传输过程中由于信道中存在噪声干扰,使得传输的数字信号产生差错——误码。为了在接收端能自动进行检错或纠正差错,在信源编码后的信息码元中,按一定的规律,附加一些监督码元,形成新的数字信号。接收端可按数字信号的规律性来检查接收信号是否有差错或纠正错码。这种自动检错或纠错功能是由信道编码来完成的。

信道是指传输信号的通道。前面我们已知信道的种类,其中双绞线和电缆可以直接传输基带数字信号(未经调制变换的数字信号),而其他各种信道都工作在较高的频段上,因此需将基带数字信号经过调制,将其频带搬移到适合于信道传输的频带上。基带数字信号直接在信道中传输的方式称为基带传输;将基带数字信号经过调制后再送到信道的传输方式称为频带传输。调制器的作用是对数字信号进行频率搬移。

接收端的解调、信道解码、信源解码等几个方框的功能与发送端几个对应的方框正好相反,是一一对应的反变换关系,这里不再赘述。信源解码后的电信号,由接收终端所接收。

这里有两个问题需要说明:

① 图 1-5 中的发送终端其实包括图 1-1 中信源和变换器的一部分;信源编码、信道编码

和调制器相当于图 1-1 中变换器的另一部分。接收终端包括图 1-1 中信宿和反变换器的一部分；解调、信道解码、信源解码相当于图 1-1 中反变换器的另一部分。

② 对于具体的数字通信系统，其方框图并非都与图 1-5 方框图完全一样，例如：

- 若信源是数字信息时，则信源编码和信源解码可去掉，这样就构成数据通信系统；
- 若通信距离不太远，且通信容量不太大时，信道一般采用市话电缆，即采用基带传输方式，这样就不需要调制和解调部分；
- 传送话音信息时，即使有少量误码，也不影响通信质量，一般不加信道编、解码；
- 在对保密性能要求比较高的通信系统中，可在信源编码与信道编码之间加入加密器；同时在接收端加入解密器。

1.2 数字通信的特点

数字通信具有以下几个主要特点。

1. 抗干扰能力强，无噪声积累

在模拟通信中，为了提高信噪比，需要及时对传输信号进行放大（增音），但与此同时，串扰进来的噪声也被放大，如图 1-6 (a) 所示。由于模拟信号的幅值是连续的，难以把传输信号与干扰噪声分开。随着传输距离的增加，噪声累积越来越大，将使传输质量严重恶化。

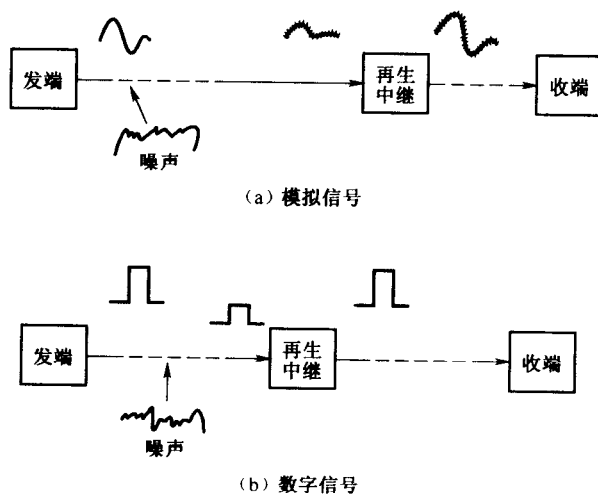


图 1-6 两类通信方式抗干扰性能比较

对于数字通信，由于数字信号的幅值为有限的离散值（通常取两个幅值），在传输过程中受到噪声干扰，当信噪比还没有恶化到一定程度时，即在适当的距离，采用再生的方法，再生成已消除噪声干扰的原发送信号，如图 1-6 (b) 所示。由于无噪声积累，可实现长距离、高质量的传输。

2. 便于加密处理

信息传输的安全性和保密性越来越显得重要。数字通信的加密处理比模拟通信容易得多。以话音信号为例，经过数字变换后的信号可用简单的数字逻辑运算进行加密、解密处理。如图 1-7 所示。

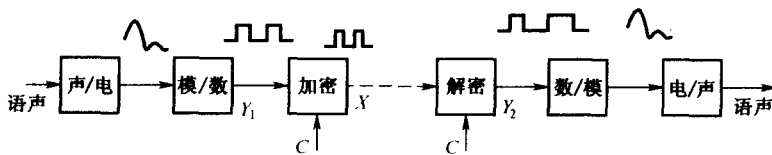


图 1-7 加密数字电话方框图

3. 采用时分复用实现多路通信

时分复用是利用各路信号在信道上占有不同的时间间隙，同在一条信道上传输，并且互不干扰。

4. 设备便于集成化、微型化

数字通信采用时分多路复用，不需要昂贵的、体积较大的滤波器。由于设备中大部分电路都是数字电路，可以用大规模和超大规模集成电路实现，这样功耗也较低。

5. 占用信道频带宽

一路数字电话的频带为 64kHz（见第 3 章），而一路模拟电话所占频带仅约为 4kHz，前者是后者的 16 倍。然而随着微波、卫星、光缆信道的大量利用（其信道频带非常宽），以及频带压缩编码器的实现和大量使用，数字通信占用频带宽的矛盾正逐步减小。

1.3 数字通信系统的主要性能指标

衡量数字通信系统性能好坏的指标是有效性和可靠性两项指标。

1.3.1 有效性指标

有效性指标具体包括以下三项内容。

1. 信息传输速率（ R ）

信息传输速率简称传信率，也叫数码率（常用 f_b 表示）。它的定义是：每秒所传输的信息量。信息量是消息多少的一种度量，消息的不确定性程度越大，则其信息量越大。信息量的度量单位为“比特”（bit）。在满足一定条件下，一个二进制码元（一个“1”或一个“0”）所含的信息量是一个“比特”（条件为：随机的、各个码元独立的二进制序列，且“0”和“1”等概出现），所以信息传输速率的定义也可以说成是：1 秒所传输的二进制码元数，其单位为

bit/s。根据推导（推导过程见第3章）可以得出数码率的公式为

$$f_B = f_s \cdot n \cdot l \quad (1-1)$$

式中 f_s 为抽样频率， n 是复用的路数， l 是编码的码位数。

传信率（或数码率）的物理意义有两条：一是它反映了数字信号的传输速率；二是数码率的数值代表数字信号（二进制时）的带宽，即数字信号的带宽约等于 f_B 。

2. 符号速率

符号速率 (N_B) 也叫码元速率，它的定义是：1 秒所传输的码元数目（这里的码元可以是多进制的，也可以是二进制的），其单位为“波特”（Baud）。

一般将二进制码元称为代码，符号（或码元）与代码的关系为：一个符号用 $\log_2 M$ 个代码表示（ M 为进制数或电平数）。表 1-1 列出了四进制符号与二进制码元（代码）的一种对应关系。

表 1-1 四进制符号与二进制码元的对应关系

| 四 进 制 | 二 进 制 |
|-------|-------|
| -3 | 00 |
| -1 | 01 |
| +1 | 10 |
| +3 | 11 |

综上所述，很容易得出信息传输速率与符号速率的关系为

$$R = N_B \log_2 M \quad (1-2)$$

可见，二进制时，信息传输速率与符号速率相等。

3. 频带利用率

在比较不同的通信系统时，单看它们的传输速率是不够的，还要看传输这种信息所占的信道频带的宽度。通信系统所占的频带越宽，传输信息的能力越大。所以真正用来衡量数字通信系统传输效率的指标（有效性）应当是频带利用率，即单位频带内的传输速率。具体公式为

$$\eta = \frac{\text{符号速率}}{\text{频带宽度}} (\text{Baud/Hz}) \quad (1-3)$$

$$\eta = \frac{\text{信息传输速率}}{\text{频带宽度}} (\text{bit/s/Hz}) \quad (1-4)$$

1.3.2 可靠性指标

反映数字通信系统可靠性的主要指标是误码率和信号抖动。

1. 误码率

数字信号在传输的过程中，当噪声干扰太大时将会导致错误地判决码元，即“1”码误

成“0”码或“0”码误成“1”码，误码率是用来衡量误码多少的指标。

误码率的定义为：在传输过程中发生误码的码元个数与传输的总码元之比。即

$$P_e = \lim_{N \rightarrow \infty} \frac{\text{发生误码码元个数}(n)}{\text{传输总码元数}(N)} \quad (1-5)$$

这个指标是多次统计结果的平均量，所以这里指的是平均误码率。

误码率的大小由传输系统特性、信道质量及系统噪声等因素决定，如果传输系统特性和信道特性都是高质量的，而且系统噪声较小，则系统的误码率就较低；反之，系统的误码率就较高。这里讲的误码是指在一个再生中继段传输过程中，前一个站的输出与下一个站判决再生输出相比而言的一个中继段的误码，即指的是一个站的误码。在一个传输链路中，经多次再生中继后的总误码率是以一定方式累计的，在传输的终点以累积的结果作为总的误码率。

2. 信号抖动

在数字通信系统中，信号抖动是指数字信号码相对于标准位置的随机偏移。其示意图如图 1-8 所示。

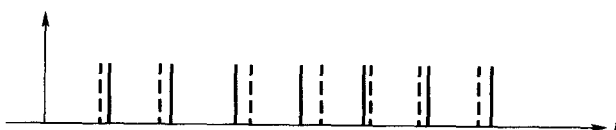


图 1-8 信号抖动示意图

数字信号位置的随机偏移，即信号抖动的定量值的表示是统计平均值，它同样与传输系统特性、信道质量及噪声等有关。同样，多中继段链路传输时，信号抖动也具有累积效应。

从可靠性角度而言，误码率和信号抖动都直接反映了通信质量。如对语音信号数字化传输，误码和抖动都会对数/模变换后的语音质量产生直接影响。

以上介绍了数字通信系统的有效性和可靠性指标，这两个指标是矛盾的，需要综合考虑它们的大小，以获得最好的传输效果。

1.4 数字通信技术的发展概况

数字通信终端设备、数字传输技术方面的发展有以下几个趋势。

1. 向着小型化、智能化方向发展

随着微电子技术的发展，数字通信设备不断在更新换代，每换一代，性能就更先进、更全面，经济效益就更好，更能适应现代通信的需要。

例如，某公司生产的 PCM30/32 复用系统，每个 30 路系统占一个 300mm×120mm×225mm 机框，功耗仅 2.5kW，共 5 块印刷电路板，其中话路占 4 块（每块装 8 路），群路为一块，具备开放 4 个 64kbit/s 数据口。一个窄条架可装 8 个系统，共 240 路，相当于一个标准宽架可装 1200 路。

另外是它的智能化。微处理器技术已应用到设备中。例如利用微处理器完成信令变换，

使得设备能灵活适应长途、市话中各种类型的交换机。在再生中继故障定位中使用微处理器实现不停业务的自动监测告警。

随着小型化、低功耗和故障的自动诊断，系统可靠性大大提高，成本也大大下降。

2. 向着数字处理技术的开发应用发展

(1) 压缩频带和比特率

数字通信每路带宽为 64kHz，这是一个缺点。但这是基于对每个样值量化后进行 8 比特 PCM 编码得到的。实际上话音信号样值之间有相关性，根据前几个样值可以预测后一样值的幅度，每次对实际样值幅度与预测之差进行修正就可以了，就是说无需传输每个样值本身的幅度，只要对样值与其预测值之差进行量化编码后传输即可。这就是自适应差值脉冲编码调制，即 ADPCM。由于差值幅度动态范围远小于样值本身，每个差值只需用 4bit 编码，每路速率可压缩为 32kbit/s，其质量仍然满足原 CCITT 的要求，这样在 2Mbit/s 传输系统上只需要再配置一对 30 路 PCM 端机及 60 路 ADPCM 编码转换设备就可以传 60 个话路。

(2) 数字话音插空 DSI 技术

在通话过程中，一方在讲话时，另一方必然在听，也就是说电路总有一个方向是空闲的，况且讲话的一方还有停顿，因此，电路中每一方向的平均利用率不到 50%。可以利用已经占用的电路在通话过程中的空闲时间来传送其他话路的信号，这叫话音插空技术 (DSI)。利用 DSI 技术可以把 120 条电路当作 240 条电路使用。

(3) 数字电路倍增 (DCME)

ADPCM 技术是利用话音信号的相关性压缩信号的冗余度，而 DSI 技术是利用通话的双向性提高电路利用率。两种技术并不矛盾，可同时采用，这就是数字电路倍增 (DCME)，它可使电路容量翻两番，即一条 2Mbit/s 电路，可传 120 路电话。最新资料表明，DSI 技术可做到 2.5 倍增益，这样一条电路可当做 5 条电路使用。

3. 向着用户数字化发展

数字程控交换与数字传输的结合构成综合数字网 (IDN)。对电话用户而言，网络的入口仍然是模拟的。由于每个话路带宽为 300Hz~3400Hz，传输速度不高于 9600Bd (波特)，这样的入口限制了 IDN 能力的发挥。解决的方法是打开网络入口，使数字化从交换节点至交换节点扩展到用户-网络接口至用户-网络接口。不同业务的信号都以数字信号形式进网，同一个网可承担多种业务，实现端至端的数字连接。

要将数字化从交换节点延伸到用户所在地的用户-网络接口，必须解决用户线的数字传输问题。另外，数字传输一般都是四线制，来、去方向分别用一对线，而用户线是二线制，还要解决利用二线实现双向数字传输的问题，目前一般采用乒乓法和回波抵消法两种方法。

4. 向着高速大容量发展

为了提高长距离干线传输的经济性，近年来，国内外都在开发高速大容量的数字通信系统，国内外的 PCM 二、三、四次群数字复接设备都经历了换代和进一步小型化的过程。

从低次群到高次群，从原理上讲基本一样，但每升高一次群，速率乘 4 倍，实现上增加许多难度，需要选择适应工作速度高的器件。例如二、三次群可选用 HCT (可与 TTL 兼容

的高速 CMOS 电路), LSTTL 等器件; 四次群可选用 STTL, FTTL, HCT, ECL 等器件。

其实数字通信系统向着高速大容量方向发展的关键是传输体制由传统的准同步数字体系 PDH 过渡到同步数字体系 SDH, 即交换局间采用 SDH 网进行传输。SDH 网的最高传输速率可以达到 9953.280 Mbit/s。

小 结

1. 信息的传递和交换的过程称为通信。通信系统的模型包括信源、变换器、信道、反变换器、信宿和噪声源 6 个部分。

2. 信源产生的是原始的信息, 信号是携带信息的载体。根据信源发出的信息的形式不同, 信号可分为语声信号、图像信号、数据信号等。根据信号物理参量基本特征的不同, 信号可以分为两大类: 模拟信号和数字信号。

模拟信号的特点是幅度取值连续; 数字信号的特点是幅度取值离散。

3. 数字通信是时分制多路通信, 以数字信号的形式传递消息。数字通信系统的构成主要包括发端的发送终端、信源编码、信道编码、调制、信道以及收端的解调、信道解码、信源解码和接收终端。

4. 数字通信的主要优点是抗干扰性强、无噪声积累, 便于加密处理, 采用时分复用实现多路通信, 设备便于集成化、微型化。但其缺点是数字信号占用频带较宽。

5. 衡量数字通信系统性能的指标是有效性和可靠性。其中信息传输速率、符号传输速率和频带利用率属于有效性指标, 而误码率和信号抖动则是可靠性指标。

6. 数字通信技术目前正向着以下几个方向发展: 小型化、智能化, 数字处理技术的开发应用, 用户数字化和高速大容量等。

思考题与练习题

1-1 模拟信号和数字信号的特点分别是什么?

1-2 数字通信系统的构成模型中信源编码和信源解码的作用是什么?画出话音信号的基带传输系统模型。

1-3 数字通信的特点有哪些?

1-4 为什么说数字通信的抗干扰性强, 无噪声积累?

1-5 设数字信号码元时间长度为 $1\mu\text{s}$, 如采用四电平传输, 求信息传输速率及符号速率。

1-6 接上例, 若传输过程中 2 秒误 1 个比特, 求误码率。

1-7 假设数字通信系统的频带宽度为 1024kHz, 可传输 2048kbit/s 的比特率, 试问其频带利用率为多少 bit/s/Hz?

1-8 数字通信技术的发展趋势是什么?