



普通高等教育“十一五”  
国家级规划教材

毛京丽 石方文 编著

# 数字通信 原理 (第3版)

21世纪高等院校信息与通信工程规划教材  
21st Century University Planned Textbooks of Information and Communication Engineering

Principles of Digital  
Communication (3rd Edition)

 人民邮电出版社  
POSTS & TELECOM PRESS

  
精品系列



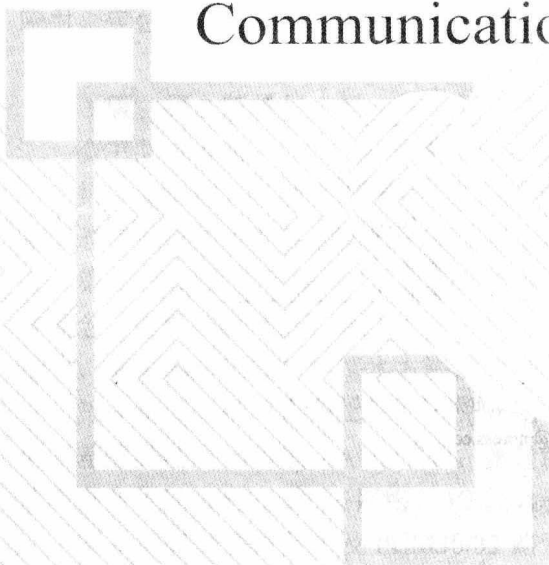
普通高等教育“十一五”  
国家级规划教材

毛京丽 石方文 编著

# 数字通信 原理 (第3版)

21世纪高等院校信息与通信工程规划教材  
21st Century University Planned Textbooks of Information and Communication Engineering

Principles of Digital  
Communication (3rd Edition)



人民邮电出版社

北京



精品系列

## 图书在版编目 (CIP) 数据

数字通信原理 / 毛京丽, 石方文编著. -- 3版. --  
北京: 人民邮电出版社, 2011.12  
21世纪高等院校信息与通信工程规划教材  
ISBN 978-7-115-26618-7

I. ①数… II. ①毛… ②石… III. ①数字通信—高等学校—教材 IV. ①TN914.3

中国版本图书馆CIP数据核字(2011)第220109号

## 内 容 提 要

为了适应数字通信新技术的发展需要,本书在简要介绍了数字通信基本概念的基础上,详细论述了语音信号的编码——脉冲编码调制(PCM)、语音信号压缩编码、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。本书注重实用性,书中也探讨了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。

全书共有6章。为便于学生学习过程的归纳总结和培养学生分析问题和解决问题的能力,在每章最后都附有本章重点内容小结和习题。

本书取材适宜,结构合理,阐述准确,文字简练,通俗易懂,深入浅出,条理清晰,逻辑性强,易于学习理解和讲授。

本书既可作为高等院校通信专业教材,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世纪高等院校信息与通信工程规划教材

### 数字通信原理 (第3版)

- 
- ◆ 编 著 毛京丽 石方文  
责任编辑 董 楠
  - ◆ 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 电子邮件 315@ptpress.com.cn  
网址 <http://www.ptpress.com.cn>  
北京鑫正大印刷有限公司印刷
  - ◆ 开本: 787×1092 1/16  
印张: 17 2011年12月第1版  
字数: 418千字 2011年12月北京第1次印刷

---

ISBN 978-7-115-26618-7

定价: 34.00元

读者服务热线: (010)67170985 印装质量热线: (010)67129223  
反盗版热线: (010)67171154

21 世纪人类已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。

本书第 1 版教材 2005 年被评为北京市高等学校精品教材，第 2 版教材 2006 年被列为教育部普通高等教育“十一五”国家级规划教材，第 3 版教材是在对第 2 版教材进行修订补充的基础上编写而成的。为了使本教材的系统性、针对性更强，删除了图像数字化的内容；同时为了使本教材更加实用、跟踪新技术，在语音信号压缩编码一章中增加了混合编码、低速率语音压缩编码的应用；在数字信号复接——PDH 与 SDH 一章中增加了 SDH 的映射、定位和复用的具体过程；在数字信号传输一章中增加了频带传输所用到的数字基本调制方法，SDH 传输网在光纤接入网、ATM 网及宽带 IP 网络中的应用等内容。而且相比于第 1 版、第 2 版教材，第 3 版教材各章的结构更加合理，条理清晰，通俗易懂。

全书共有 6 章。

第 1 章概述，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 章语音信号编码——脉冲编码调制（PCM），首先简单介绍了语音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，最后对单片集成 PCM 编解码器进行了说明。

第 3 章语音信号压缩编码，首先介绍了语音信号压缩编码的基本概念，然后研究了自适应差值脉冲编码调制（ADPCM）、参量编码和混合编码等压缩编码技术，最后探讨了低速率语音压缩编码在 GSM 网络、3G 及软交换中的应用。

第 4 章时分多路复用及 PCM30/32 路系统，详细介绍了时分多路复用的基本概念，并具体论述了 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 5 章数字信号复接——PDH 与 SDH，包括两大方面的内容：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,并简单分析了 SDH 光接口和电接口技术标准。

第 6 章数字信号传输,首先研究数字信号传输的基本理论,然后分析了传输码型、数字信号的基带传输问题;接着讨论了数字调制基本方法及几种数字信号的频带传输系统;最后详细介绍了 SDH 传输网。

本书第 1 章、第 2 章、第 5 章、第 6 章由毛京丽编写,第 3 章、第 4 章由石方文编写。

在本书的编写过程中,得到了李文海教授的指导,以及董跃武、徐鹏、贺雅璇、黄秋钧、魏东红、齐开诚、夏之斌等的帮助,在此一并表示感谢。

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感谢。

由于编者水平有限,书中难免有不足之处,敬请读者批评指正。

编 者  
2011 年 9 月

# 目 录

第 1 章 概述	1	2.6.2 2941PCM 单路编解码器	54
1.1 数字通信系统的基本概念	1	小结	57
1.1.1 信息、信号及分类	1	习题	59
1.1.2 通信系统的组成	4	第 3 章 语音信号压缩编码	61
1.1.3 模拟通信与数字通信	8	3.1 语音信号压缩编码的基本概念	61
1.2 数字通信的特点	10	3.2 自适应差值脉冲编码调制	
1.3 数字通信系统的主要性能指标	11	(ADPCM)	63
1.3.1 有效性指标	11	3.2.1 差值脉冲编码调制 (DPCM)	
1.3.2 可靠性指标	12	的原理和子带编码	63
1.4 数字通信技术的发展概况	13	3.2.2 自适应差值脉冲编码调制	
小结	14	(ADPCM) 的原理	68
习题	15	3.2.3 波形编码压缩标准	70
第 2 章 语音信号编码——		3.2.4 单片集成 ADPCM 编	
脉冲编码调制 (PCM)	16	解码器	72
2.1 语音信号编码的基本概念	16	3.3 参量编码	75
2.2 脉冲编码调制 (PCM) 通信系统的		3.3.1 参量编码的基本原理	75
构成	17	3.3.2 线性预测编码 (LPC)	
2.3 抽样	18	基本概念	78
2.3.1 抽样的概念及分类	18	3.3.3 参量编码的声码器	79
2.3.2 低通型信号的抽样	19	3.3.4 线性预测编码标准 LPC-10	81
2.3.3 带通型信号的抽样	22	3.4 混合编码	83
2.3.4 与抽样有关的误差	24	3.4.1 混合编码的基本概念	83
2.4 量化	27	3.4.2 混合编码的编码方法	84
2.4.1 均匀量化	27	3.4.3 混合编码国际标准	87
2.4.2 非均匀量化	30	3.5 低速率语音压缩编码的应用	92
2.4.3 量化信噪比	31	3.5.1 IP 电话系统技术简介	92
2.5 编码与解码	39	3.5.2 移动通信 GSM 中的语音压缩	
2.5.1 二进制码组及编码的基本		编码	94
概念	39	3.5.3 第三代移动通信中的语音压缩	
2.5.2 线性编码与解码	42	编码	96
2.5.3 非线性编码与解码	45	3.5.4 语音压缩编码在软交换中的	
2.6 单片集成 PCM 编解码器	54	应用	97
2.6.1 单片集成 PCM 编解码器的		小结	97
分类	54	习题	98

**第4章 时分多路复用及 PCM30/32 路系统** ..... 99

4.1 时分多路复用通信 ..... 99

4.1.1 时分多路复用的概念 ..... 99

4.1.2 PCM 时分多路复用通信系统的构成 ..... 100

4.1.3 时分多路复用系统中的位同步 ..... 101

4.1.4 时分多路复用系统中的帧同步 ..... 102

4.2 PCM30/32 路系统 ..... 106

4.2.1 PCM30/32 路系统帧结构 ..... 106

4.2.2 PCM30/32 路定时系统 ..... 108

4.2.3 PCM30/32 路帧同步系统 ..... 112

4.2.4 PCM30/32 路系统的构成 ..... 119

小结 ..... 120

习题 ..... 121

**第5章 数字信号复接——PDH 与 SDH** ..... 122

5.1 准同步数字体系 (PDH) ..... 122

5.1.1 数字复接的基本概念 ..... 122

5.1.2 同步复接与异步复接 ..... 127

5.1.3 PCM 零次群和 PCM 高次群 ..... 135

5.1.4 PDH 的网络结构 ..... 138

5.1.5 PDH 的弱点 ..... 138

5.2 同步数字体系 (SDH) ..... 140

5.2.1 SDH 的基本概念 ..... 140

5.2.2 SDH 的速率体系 ..... 141

5.2.3 SDH 的基本网络单元 ..... 142

5.2.4 SDH 的帧结构 ..... 146

5.2.5 SDH 的复用映射结构 ..... 152

5.2.6 映射 ..... 155

5.2.7 定位 ..... 162

5.2.8 复用 ..... 166

5.2.9 SDH 光接口、电接口技术标准 ..... 170

小结 ..... 178

习题 ..... 180

**第6章 数字信号传输** ..... 181

6.1 数字信号传输基本理论 ..... 181

6.1.1 数字信号传输方式 ..... 181

6.1.2 数字信号波形与功率谱 ..... 181

6.1.3 基带传输系统的构成 ..... 184

6.1.4 数字信号传输的基本准则 (无码间干扰的条件) ..... 185

6.2 传输码型 ..... 189

6.2.1 对传输码型的要求 ..... 189

6.2.2 常见的传输码型 ..... 190

6.2.3 传输码型的误码增殖 ..... 194

6.2.4 传输码型特性的分析比较 ..... 194

6.3 数字信号的基带传输 ..... 195

6.3.1 基带传输信道特性 ..... 195

6.3.2 再生中继系统 ..... 197

6.3.3 再生中继系统的误码性能 ..... 198

6.4 数字信号的频带传输 ..... 200

6.4.1 频带传输系统的基本结构 ..... 201

6.4.2 数字调制 ..... 201

6.4.3 光纤数字传输系统 ..... 213

6.4.4 数字微波传输系统 ..... 218

6.4.5 数字卫星传输系统 ..... 219

6.5 SDH 传输网 ..... 220

6.5.1 SDH 传输网的拓扑结构 ..... 220

6.5.2 SDH 自愈网 ..... 222

6.5.3 SDH 传输网的分层结构 ..... 229

6.5.4 SDH 传输网的网同步 ..... 231

6.5.5 SDH 传输网的规划设计 ..... 234

6.5.6 基于 SDH 的 MSTP 技术 ..... 240

6.5.7 SDH 传输网在光纤接入网中的应用 ..... 247

6.5.8 SDH 传输网在 ATM 网中的应用 ..... 252

6.5.9 SDH 传输网在宽带 IP 网络中的应用 ..... 259

小结 ..... 263

习题 ..... 265

**参考文献** ..... 266

为了使读者对数字通信系统有一个比较全面的了解；本章简要介绍了有关数字通信的一些最基本的概念，主要包括数字通信的概念、数字通信的特点、数字通信系统的主要性能指标、数字通信技术的发展概况等。

## 1.1 数字通信系统的基本概念

### 1.1.1 信息、信号及分类

#### 1. 信息的概念

通信的目的就是传递或交换信息。什么是信息呢？

##### (1) 信息的定义

从信息论的观点来看，本体论层次（无条件约束的层次、纯客观角度）信息的定义是事物运动的状态和方式；认识论层次（站在人类主体的立场上来定义信息）信息的定义是某主体所表述的相应事物的运动状态和运动方式。

与通信结合较紧密的信息的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”。

##### (2) 信息的基本特征

###### ① 可度量性

信息可采用基本的二进制度量单位（比特）进行度量。一个二进制的“1”或者一个二进制的“0”所含的信息量是一个比特（bit）。

###### ② 可识别性

自然信息（自然界存在的信息：动物、植物等运动的状态和方式）可以采取直观识别、比较识别和间接识别等多种方式来把握，例如听、看、触觉感知等；社会信息（将自然信息用语言、文字、图表和图像等表达出来）可以采取综合识别方式。

###### ③ 可转换性

信息可以从一种形态转换为另一种形态，自然信息可转换为语言、文字、图表和图像等



社会信息。

社会信息和自然信息都可转换为由电磁波为载体的电报、电话、电视或数据等信号。

#### ④ 可存储性

信息可以以各种方式进行存储。大脑就是一个天然信息存储器,人脑利用其 100 亿至 150 亿个神经元,可存储 100 万亿至 1 000 万亿比特的信息。除大脑的自然信息存储外,人类早期一般用文字进行信息存储,而后又发展了录音、录像、缩微以及计算机存储等多种信息存储方式,不但能存储静态信息,而且可存储动态信息。

#### ⑤ 可处理性

信息具有可处理性。人脑就是一个最佳的信息处理器,其他像计算机信息处理等只不过是人脑信息处理功能的一种外化而已。

#### ⑥ 可传递性

信息常用的传递方式有语言、表情、动作、报刊、书籍、广播、电视、电话等。

#### ⑦ 可再生性

信息经过处理后,可以其他形式再生。如自然信息经过人工处理后,可用语言或图形等方式再生成信息;输入计算机的各种数据文字等信息,可用显示、打印、绘图等方式再生成信息。

#### ⑧ 可压缩性

信息可按照一定规则或方法进行压缩,用最少的信息量来描述一个事物。压缩的信息处理后可还原。

#### ⑨ 可利用性

信息的实效性或可利用性只对特定的接收者才能显示出来,如有关农作物生长的信息,只对农民有效,对工人则效用甚微。而且,对于不同的接收者,信息的可利用度也不同。

#### ⑩ 可共享性

信息具有不守恒性,即它具有扩散性。在信息的传递中,对信息的持有者来说,并没有任何损失。这就是信息的一个重要特性——可共享性。

## 2. 信号的概念

信号是携带信息的载体,信息则是这个载体所携带的内容。

对于通信系统(后述)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。

## 3. 信号的分类

### (1) 根据信源发出的信息的形式不同分类

根据信源发出的信息的形式不同,信号可分为语音信号、图像信号、数据信号等。

### (2) 根据信号物理参量基本特征的不同分类

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 1-1 (a) 所示的信号是模拟信号。可见模拟信号波形随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 1-1 (a) 波形中又可看出此信号波形在时间上也是连续的, 将时间上连续的信号叫连续信号。图 1-1 (b) 是图 1-1 (a) 的抽样信号, 即对图 1-1 (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 1-1 (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。

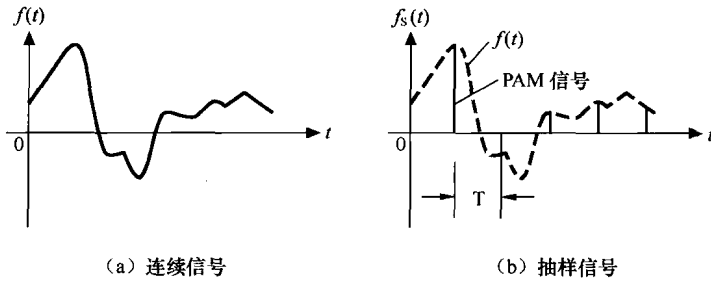


图 1-1 模拟信号

## ② 数字信号

图 1-2 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 1-2 (a) 是二进制码, 每一个码元只取两个幅值 (0, A); 图 1-2 (b) 是四电平码, 其每个码元只取四个幅值 (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。

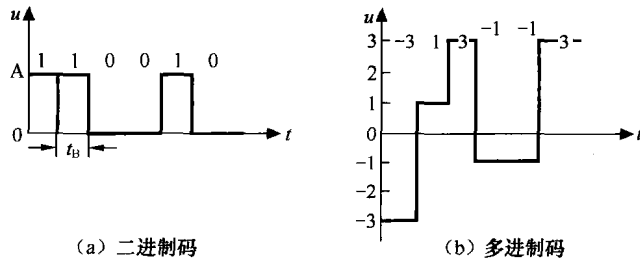


图 1-2 数字信号

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。

在此顺便介绍一下占空比的概念。参见图 1-3, 设“1”码脉冲的宽度为  $\tau$ , 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  $\alpha = \frac{\tau}{t_B}$ , 可见, 图 1-3 (a) 中  $\alpha = 1$ , 图 (b) 中  $\alpha = 1/2$ 。

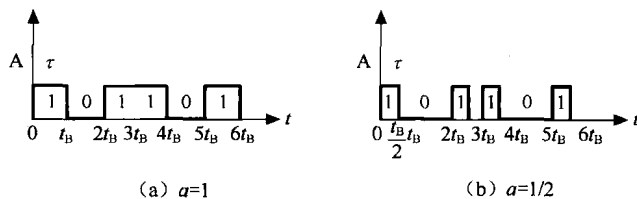


图 1-3 占空比的概念

### 1.1.2 通信系统的组成

信息传递和交换的过程称为通信。

我们知道信息可以有多种表现形式,如语音、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,如图1-4所示。

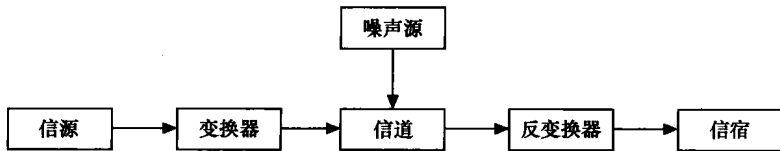


图 1-4 通信系统模型

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、同轴电缆、光纤等;无线信道是指传输电磁信号的自由空间。下面简单介绍这几种信道。

##### (1) 双绞线电缆

双绞线是由两条相互绝缘的铜导线扭绞起来构成的,一对线作为一条通信线路。其结构如图1-5(a)所示,通常一定数量这样的导线对捆成一个电缆,外边包上硬护套。双绞线可用于传输模拟信号,也可用于传输数字信号,其通信距离一般为几到几十公里,其传输衰减特性如图1-6所示。由于电磁耦合和集肤效应,线对的传输衰减随着频率的增加而增大,故信道的传输特性呈低通型特性。

由于双绞线成本低廉且性能较好,在数据通信和计算机通信网中都是一种普遍采用的传输媒介。目前,在某些专门系统中,双绞线在短距离传输中的速率已达100~155 Mbit/s。

##### (2) 同轴电缆

同轴电缆也像双绞线那样由一对导体组成,但它们是按同轴的形式构成线对,其结构如

图 1-5 (b) 所示。其中最里层是内导体芯线，外包一层绝缘材料，外面再套一个空心的圆柱形外导体，最外层是起保护作用的塑料外皮。内导体和外导体构成一组线对。应用时，外导体是接地的，故同轴电缆具有很好的抗干扰性，同双绞线相比具有更好的频率特性。同轴电缆与双绞线相比成本较高。

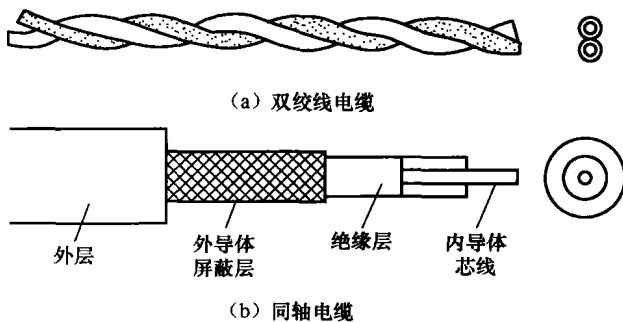


图 1-5 双绞线电缆和同轴电缆结构

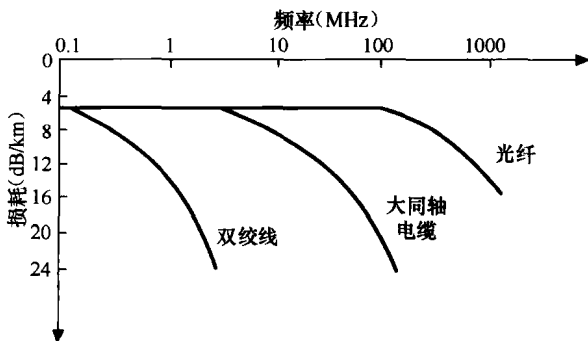


图 1-6 双绞线电缆、同轴电缆和光纤的传输衰减特性

与双绞线信道特性相同，同轴电缆信道特性也是低通型特性，但它的低通频带要比双绞线的频带宽。

### (3) 光纤

#### ① 光纤的结构

光纤有不同的结构形式，目前通信用的光纤绝大多数是用石英材料做成的横截面很小的双层同心玻璃体，外层玻璃的折射率比内层稍低。折射率高的中心部分叫做纤芯，其折射率为  $n_1$ ，直径为  $2a$ ；折射率低的外围部分称为包层，其折射率为  $n_2$ ，直径为  $2b$ 。光纤的基本结构如图 1-7 所示。

#### ② 光纤的种类

按照折射率分布、传输模式多少、材料成分等的不同，光纤可分为很多种类，下面简单介绍有代表性的几种。

##### (a) 按照折射率分布来分类。

光纤按照折射率分布可以分为阶跃型光纤和渐变型光纤两种。

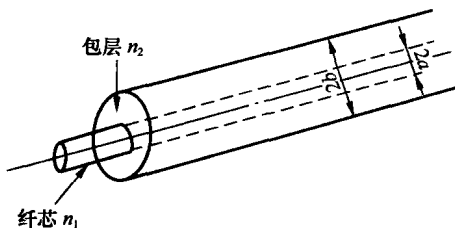
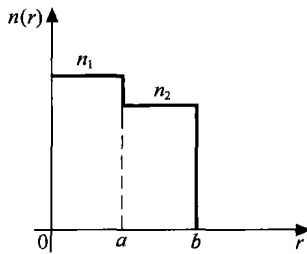
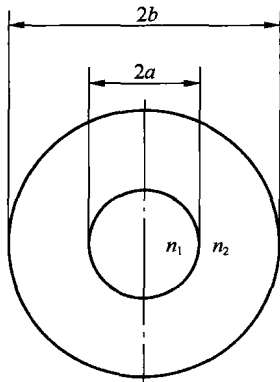
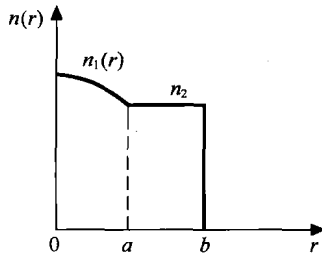


图 1-7 光纤的基本结构

• 阶跃型光纤——如果纤芯折射率  $n_1$  沿半径方向保持一定, 包层折射率  $n_2$  沿半径方向也保持一定, 而且纤芯和包层的折射率在边界处呈阶梯型变化的光纤, 称为阶跃型光纤, 又可称为均匀光纤, 它的结构如图 1-8 (a) 所示。



(a) 均匀光纤的折射率剖面分布



(b) 非均匀光纤的折射率剖面分布

图 1-8 光纤的折射率剖面分布

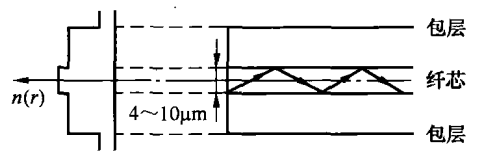
• 渐变型光纤——如果纤芯折射率  $n_1$  随着半径加大而逐渐减小, 而包层中折射率  $n_2$  是均匀的, 这种光纤称为渐变型光纤, 又称为非均匀光纤, 它的结构如图 1-8 (b) 所示。

(b) 按照传输模式的多少来分类。

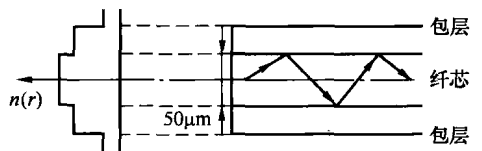
所谓模式, 实质上是电磁场的一种场型结构分布形式, 模式不同, 其场型结构不同。根据光纤中传输模式的数量, 可分为单模光纤和多模光纤。

• 单模光纤——光纤中只传输单一模式时, 叫做单模光纤。单模光纤的纤芯直径较小, 约为  $4 \sim 10 \mu\text{m}$ , 通常纤芯中折射率的分布认为是均匀分布的。由于单模光纤只传输基模, 完全避免了模式色散, 使传输带宽大大增加。因此, 它适用于大容量、长距离的光纤通信。单模光纤中的光线轨迹如图 1-9 (a) 所示。

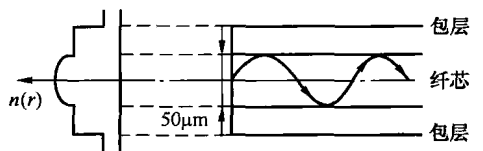
• 多模光纤——在一定的工作波长下, 可以传输多种模式的介质波导, 称为多模光纤。其纤



(a) 单模光纤



(b) 多模均匀光纤



(c) 多模非均匀光纤

图 1-9 光纤中的光线轨迹

芯可以采用阶跃折射率分布,也可以采用渐变折射率分布,它们的光波传输轨迹如图 1-9(b)、1-9(c)所示。多模光纤的纤芯直径约为  $50\mu\text{m}$ ,由于模色散的存在使多模光纤的带宽变窄,但其制造、耦合、连接都比单模光纤容易。

(c) 按光纤的材料来分类。

- 石英系光纤——这种光纤的纤芯和包层是由高纯度的  $\text{SiO}_2$  掺有适当的杂质制成,光纤的损耗低,强度和可靠性较高,目前应用最广泛。
- 石英芯、塑料包层光纤——这种光纤的芯子是用石英制成,包层采用硅树脂。
- 多成分玻璃纤维——一般用钠玻璃掺有适当杂质制成。
- 塑料光纤——这种光纤的芯子和包层都由塑料制成。

(4) 无线信道

无线通信中信号是以微波的形式传输。微波是一种频率在  $300\text{ MHz}\sim 300\text{ GHz}$  之间的电磁波。有时我们把这种电磁波简称为电波。电波由天线辐射后向周围空间传播,到达接收地点的能量仅是一小部分。距离越远,这一部分能量越小。

无线通信中主要的电波传播模式有 3 种:空间波、地表面波和天波,如图 1-10 所示。

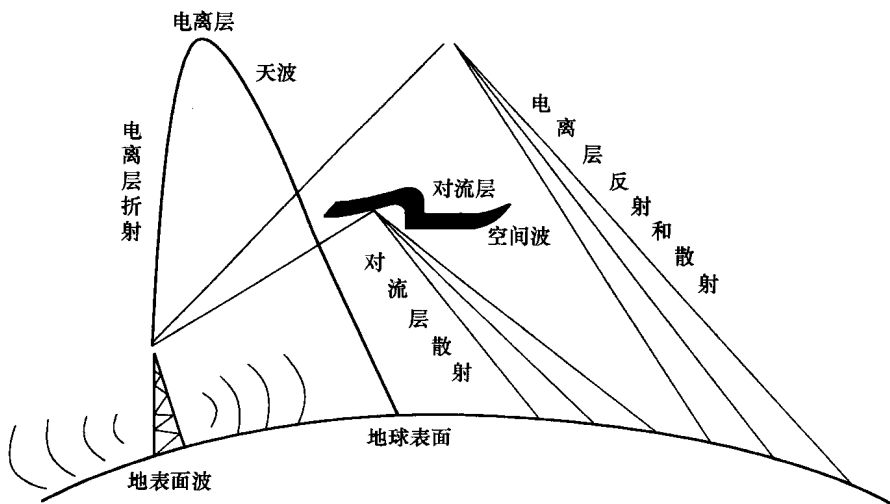


图 1-10 电波传输模式

空间波是指在大气对流层中进行传播的电波传播模式。在电波的传播过程中,会出现反射、折射和散射等现象。长途微波通信和移动通信中均采用这种视距通信方式。

地表面波是指沿地球表面传播的电波传播模式。长波、中波一般采用这种传播方式。天线直接架设在地面上。

天波是利用电离层的折射、反射和散射作用进行传播的电波传播模式。短波通信采用的正是这种电波传播模式。

对于无线信道,电波空间所产生的自然现象,例如雨、雾、雪及大气湍流等现象都会对电波的传输质量带来影响,并产生衰落。尤其在卫星通信中,由于卫星通信的传播路径遥远,要通过对流层中的云层以及再上面的同温层、中间层、电离层和外层空间,故电波传播受空间影响更大。

#### 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

噪声是通信系统中存在的对正常信号传输起干扰作用的、不可避免的一种干扰信号。

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。

噪声按照统计特性分有高斯噪声和白噪声。高斯噪声是指它的概率密度函数服从高斯分布(即正态分布);白噪声是指它的功率谱密度函数在整个频率域( $-\infty < \omega < +\infty$ )内是均匀分布的,即它的功率谱密度函数在整个频率域( $-\infty < \omega < +\infty$ )内是常数(白噪声的功率谱密度通常以  $N_0$  来表示,它的量纲单位是瓦/赫(W/Hz))。

若噪声的概率密度函数服从高斯分布,功率谱密度函数在整个频率域( $-\infty < \omega < +\infty$ )内是常数,这类噪声称为高斯白噪声。实际信道中的噪声都是高斯白噪声。

信号在传输过程中不可避免地要受到信道噪声干扰的影响,信噪比就是用来描述信号传输过程所受到噪声干扰程度的量,它是衡量传输系统性能的重要指标之一。信噪比是指某一点上的信号功率与噪声功率之比,可表示为

$$\frac{S}{N} = \frac{P_s}{P_N} \quad (1-1)$$

式中,  $P_s$  是信号平均功率;  $P_N$  是噪声平均功率。信噪比通常以分贝(dB)来表示,其公式为

$$\left(\frac{S}{N}\right)_{\text{dB}} = 10 \lg \left(\frac{P_s}{P_N}\right) \quad (1-2)$$

### 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时间间隔来区分各路信号。

### (2) 数字通信系统的构成

数字通信系统的构成模型如图 1-11 所示。

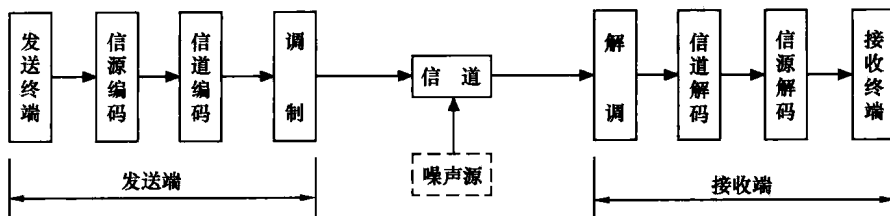


图 1-11 数字通信系统的构成模型

图中发送终端是把原始信息转换成原始电信号。常见的信源有产生模拟信号的电话机、话筒、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。

信源编码的功能是把模拟信号转换成数字信号，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。前面我们已经知道信道的种类，其中双绞线和同轴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），而其他各种信道媒介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、信源解码等模块的功能与发送端对应模块功能正好相反，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。

这里有两个问题说明如下。

① 图 1-11 中的发送终端其实包括图 1-4 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 1-4 中变换器的另一部分。接收终端包括图 1-4 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 1-4 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 1-11 方框图完全一样。

- 若信源是数字信息时，则信源编码或信源解码可去掉，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。
- 传送语音信息时，即使有少量误码，也不影响通信质量，一般不加信道编码、信道解码。



- 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

### 1. 抗干扰能力强, 无噪声积累

在模拟通信中, 为了保证接收信号有一定的幅度, 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 1-12 (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。

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 1-12 (b) 所示。由于无噪声积累, 可实现长距离、高质量的传输。

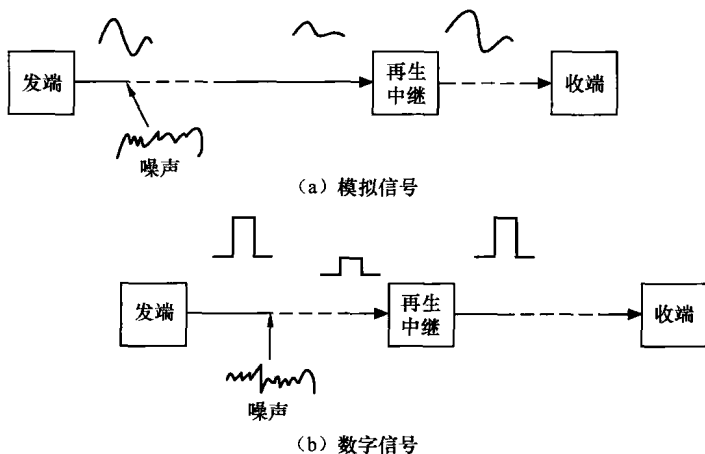


图 1-12 两类通信方式抗干扰性能比较

### 2. 便于加密处理

信息传输的安全性和保密性越来越重要。数字通信的加密处理比模拟通信容易得多。以语音信号为例, 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 1-13 所示。

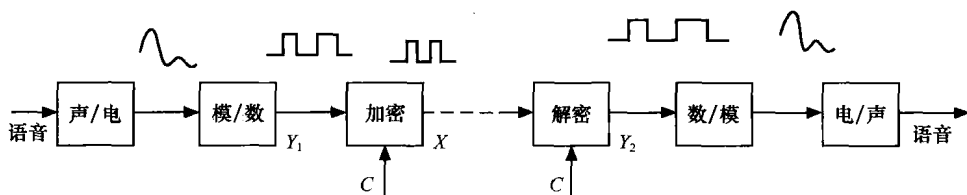


图 1-13 加密数字电话方框图