



普通高等教育“十一五”国家级规划教材
新编21世纪高等职业教育电子信息类规划教材·通信技术专业



现代 通信技术

(第2版)

朱月秀 主 编
周 珏 副主编
陶亚雄 主 审



电子工业出版社

PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

<http://www.phei.com.cn>

普通高等教育“十一五”国家级规划教材
新编 21 世纪高等职业教育电子信息类规划教材·通信技术专业

现代通信技术

(第 2 版)

朱月秀 主 编

周 珏 副主编

陶亚雄 主 审

電子工業出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

内 容 简 介

本书首先扼要介绍通信的基础知识,然后全面介绍了现代通信系统的组成,既讲述了通信系统的基本知识和基本原理,又介绍了新技术、新发展和新成果。重点讲述了卫星通信、光纤通信和移动通信,对业务通信网(电话网、有线电视网、数字有线电视和宽带综合业务数字网等)做了全面的阐述,最后介绍了接入网。本书的宗旨是不管读者是否具备通信知识背景,通过本教材的学习,都能建立完整的通信概念,理解当代应用最广泛的通信系统的工作原理并掌握其组成结构。

本书可以作为高职高专通信专业的专业基础课教材,也可以作为高职高专电子、计算机等其他专业的专业课教材。

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。
版权所有,侵权必究。

图书在版编目(CIP)数据

现代通信技术/朱月秀主编. —2版. —北京:电子工业出版社, 2006. 12

新编 21 世纪高等职业教育电子信息类规划教材·通信技术专业

ISBN 7-121-03565-0

I. 现… II. 朱… III. 通信技术—高等学校: 技术学校—教材 IV. TN91

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 142370 号

责任编辑: 陈晓明

印 刷: 北京市海淀区四季青印刷厂

装 订: 涿州市桃园装订有限公司

出版发行: 电子工业出版社

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编 100036

开 本: 787×1 092 1/16 印张: 15.5 字数: 396 千字

印 次: 2006 年 12 月第 1 次印刷

印 数: 5 000 册 定价: 22.00 元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题, 请向购买书店调换。若书店售缺, 请与本社发行部联系, 联系电话: (010) 68279077; 邮购电话: (010) 88254888。

质量投诉请发邮件至 zlts@phei.com.cn, 盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

服务热线: (010) 88258888。



作者简介：

朱月秀，1965年出生，浙江温州人，硕士，副教授，1988年毕业于浙江大学信息与电子工程学系电子物理专业。先后担任过《单片机原理及应用》、《C语言程序设计》、《通信原理》、《现代通信技术基础》等课程的教学，曾获“温州市先进教育工作者”称号。主持或参加市级、校级科研教研项目多项，其中一项获温州市科技进步二等奖。发表论文10多篇，主编《现代通信技术》、《单片机原理与应用》教材。



反侵权盗版声明

电子工业出版社依法对本作品享有专有出版权。任何未经权利人书面许可，复制、销售或通过信息网络传播本作品的行为；歪曲、篡改、剽窃本作品的行为，均违反《中华人民共和国著作权法》，其行为人应承担相应的民事责任和行政责任，构成犯罪的，将被依法追究刑事责任。

为了维护市场秩序，保护权利人的合法权益，我社将依法查处和打击侵权盗版的单位和个人。欢迎社会各界人士积极举报侵权盗版行为，本社将奖励举报有功人员，并保证举报人的信息不被泄露。

举报电话：(010) 88254396; (010) 88258888

传 真：(010) 88254397

E-mail: dbqq@phei.com.cn

通信地址：北京市万寿路 173 信箱

电子工业出版社总编办公室

邮 编：100036

新编 21 世纪高等职业教育电子信息类规划教材（第 2 版）

出版说明

2002 年 10 月,电子工业出版社组织 90 余所高职院校的优秀教师编写了“应用电子技术”、“机电一体化技术”、“电气自动化技术”和“通信技术”4 个专业的高职教材,从 2003 年 7 月第 1 本教材问世截至 2004 年 10 月,已经出版了 70 余种。时至今日已有 2 年多的教材使用时间,这批教材的大部分得到使用者的好评。随着教育的不断深入及社会用人单位对高职毕业生的更高要求,为使教材更好地适应高职毕业生的就业、使教材有益于培养高职毕业生的生产实践技能,2005 年 7 月,我们在杭州组织召开了教材研讨会,针对上述 4 个专业的大部分教材的内容的修订听取了到会老师的意见,明确了修订教材的编写思路和编写原则,确定了修订版教材的编写人员,计划在 2006 年底~2007 年上半年基本出版齐全修订版教材。为便于读者区分,这批修订版教材均标明“(第 2 版)”。教材的丛书名仍沿用“新编 21 世纪高等职业教育电子信息类规划教材”。

第 2 版教材的主要特点如下:

1. 内容更加突出“实用性、技能性、应用性”。
2. 实训内容的选择以技能为要素。
3. 适当拓展了教材的广度,其目的是为方便不同学校、不同专业的学生选用。
4. 专业课以目前企业主要设备为主线进行讲解。
5. 习题尽量避免问答式、叙述式,而多为技能型、解决问题型。
6. 配备电子教案,以便于老师教学和学术交流。

我们的初衷是希望第 2 版教材的问世能够弥补第 1 版教材的不足,使其内容更加贴近企业用人的需求,更加有利于学生就业,让学生能够真正掌握一些实际的生产技能。同时,我们亦深知:高等职业教育的改革不能一蹴而就,编写出适合高职教育的教材也是一个渐进的过程。我们期待和全国高职院校的老师们一同努力,不断改进创新,为出版真正适合高职教育的好教材尽力。

在组织高职电子信息类教材的编写全过程近 4 年的时间内,我们结交了全国的许多优秀教师,他们的人品德行、人格魅力、学识水平均达到很高的水准。与他们的交往让我们受益匪浅,并且给我们以启迪:学校确是藏龙卧虎之地。我们愿意继续结交新的朋友,目的只有一个,那就是共同为高等职业教育的发展贡献我们大家的力量,在这个目标下达到学校、老师、出版社多赢。

我们亦衷心欢迎各高职院校有意愿、有能力的老师参加我们的教材编写。具体专业范围如下:

机电一体化技术,电气自动化技术,数控技术,模具技术,应用电子技术,通信技术。

电子工业出版社高等职业教育教材事业部

2006 年 3 月

**参加“新编 21 世纪高等职业教育电子信息类规划教材”
编写的院校名单（排名不分先后）**

桂林工学院南宁分院

江西信息应用职业技术学院

江西蓝天职业技术学院

吉林电子信息职业技术学院

保定职业技术学院

安徽职业技术学院

杭州中策职业学校

黄石高等专科学校

天津职业技术师范学院

福建工程学院

湖北汽车工业学院

广州铁路职业技术学院

台州职业技术学院

重庆工业高等专科学校

济宁职业技术学院

四川工商职业技术学院

吉林交通职业技术学院

连云港职业技术学院

天津滨海职业技术学院

杭州职业技术学院

重庆职业技术学院

重庆工业职业技术学院

广州大学科技贸易技术学院

湖北孝感职业技术学院

江西工业工程职业技术学院

四川工程职业技术学院

广东轻工职业技术学院

西安理工大学

辽宁大学高职学院

天津职业大学

天津大学机械电子学院

九江职业技术学院

包头职业技术学院

北京轻工职业技术学院

黄冈职业技术学院

郑州工业高等专科学校

泉州黎明职业大学

浙江财经学院信息学院

南京理工大学高等职业技术学院

南京金陵科技学院

无锡职业技术学院

西安科技学院

西安电子科技大学

河北化工医药职业技术学院

石家庄信息工程职业学院

三峡大学职业技术学院

桂林电子工业学院高职学院

桂林工学院

南京化工职业技术学院

湛江海洋大学海滨学院

江西工业职业技术学院

江西渝州科技职业学院

柳州职业技术学院

邢台职业技术学院

漯河职业技术学院

太原电力高等专科学校

苏州经贸职业技术学院

金华职业技术学院

河南职业技术师范学院

新乡师范高等专科学校

绵阳职业技术学院

成都电子机械高等专科学校

河北师范大学职业技术学院

常州轻工职业技术学院

常州机电职业技术学院

无锡商业职业技术学院

河北工业职业技术学院

天津中德职业技术学院

安徽电子信息职业技术学院

浙江工商职业技术学院

河南机电高等专科学校

深圳信息职业技术学院

河北工业职业技术学院

湖南信息职业技术学院

江西交通职业技术学院

沈阳电力高等专科学校

温州职业技术学院

温州大学

广东肇庆学院

湖南铁道职业技术学院

宁波高等专科学校

南京工业职业技术学院

浙江水利水电专科学校

成都航空职业技术学院

吉林工业职业技术学院

上海新侨职业技术学院

天津渤海职业技术学院

驻马店师范专科学校

郑州华信职业技术学院

浙江交通职业技术学院

前 言

本书自 2003 年出版以来,深受读者喜爱,先后印刷了 6 次,总共印数 2 万余册。在此谨向广大热情的读者深表谢意。

此次修订,尽可能对原书的疏误之处进行修正,并且在原书基础上增加了目前广泛使用的 VAST 通信系统、数字电视和接入网技术等有关内容。

21 世纪是通信信息时代,宽带上网、移动电话、卫星电视等已迅速地渗透到我们的日常生活之中,显而易见,这是基于通信技术的飞速发展,特别是以光纤通信、卫星通信和移动通信为代表的现代通信技术的突飞猛进的发展。

随着通信的重要性被越来越多的人所认识,不仅是通信专业的学生,而且非通信专业的学生以及其他领域的技术人员都迫切要求学习通信技术。因此,为了使不同专业的学生在有限的时间内基本掌握现代通信基本原理,建立完整的通信系统概念,掌握现代通信网的组成,了解通信技术的发展趋势,我们将以往单独设置的《通信原理》、《卫星通信》、《光纤通信》、《移动通信》、《业务通信网》和《接入网技术》等课程综合成一门《现代通信技术》课程。为适应教学的需要,特组织编写此教材。

全书共分 6 章,第 1 章介绍通信的基础知识,第 2 章介绍卫星通信,第 3 章介绍光纤通信,第 4 章介绍移动通信,第 5 章全面地阐述电话网、有线电视网、数字有线电视和宽带综合业务数字网的业务通信网,第 6 章介绍接入网技术。本教材计划学时为 64 课时。

本书的第 1 章、第 3 章、第 4 章、第 5 章的部分和第 6 章由朱月秀老师编写,第 2 章由周珏老师编写,廖继红老师参与了第 5 章的编写。陶亚雄博士主审了全书。朱月秀老师负责全书的统稿工作。

鉴于编者水平有限,加之时间仓促,书中难免存在不足之处,恳请读者批评指正。

编 者
2006 年 8 月

目 录

第 1 章 通信基础知识	(1)
1.1 通信的基本概念	(1)
1.1.1 信号	(1)
1.1.2 信道	(3)
1.1.3 信息的传输方式	(5)
1.1.4 通信系统	(7)
1.1.5 通信网	(9)
1.2 模拟信号数字化	(11)
1.2.1 抽样	(11)
1.2.2 量化	(12)
1.2.3 编码	(13)
1.3 信号的基带传输	(13)
1.3.1 模拟信号的基带传输	(13)
1.3.2 数字信号的基带传输	(14)
1.4 模拟调制与解调	(16)
1.4.1 振幅调制	(16)
1.4.2 频率调制	(21)
1.5 数字调制与解调	(23)
1.5.1 二进制振幅键控 (2ASK, Amplitude Shift Keying)	(23)
1.5.2 二进制频移键控 (2FSK, Frequency Shift Keying)	(25)
1.5.3 二进制相移键控 (2PSK, Phase Shift Keying)	(26)
1.5.4 二进制差分相移键控 (2DPSK, Differential Phase Shift Keying)	(29)
1.6 复用技术	(30)
1.6.1 频分复用技术 (FMD, Frequency Division Multiplexing)	(31)
1.6.2 时分复用技术 (TDM, Time Division Multiplexing)	(32)
习题 1	(34)
第 2 章 卫星通信	(35)
2.1 卫星通信概述	(35)
2.1.1 卫星通信的概念	(35)
2.1.2 静止卫星通信的特点	(38)
2.1.3 卫星通信的工作频段	(40)
2.1.4 卫星通信的优点	(43)
2.1.5 卫星通信系统的组成	(43)
2.2 通信卫星	(44)
2.2.1 通信卫星的种类	(44)

2.2.2	卫星的运动轨道和卫星的发射	(45)
2.2.3	通信卫星的覆盖	(48)
2.2.4	静止卫星的设置及观察参数的计算	(50)
2.2.5	通信卫星的组成	(52)
2.2.6	通信星的技术指标	(56)
2.3	卫星通信的多址技术	(58)
2.3.1	多址方式概述	(58)
2.3.2	频分多址 (FDMA) 方式	(59)
2.3.3	时分多址 (TDMA) 方式	(61)
2.3.4	空分多址 (SDMA) 方式	(62)
2.3.5	码分多址 (CDMA) 方式	(63)
2.4	卫星地球站	(64)
2.4.1	地球站的分类、组成及性能要求	(64)
2.4.2	天线馈线分系统	(66)
2.4.3	发射分系统	(67)
2.4.4	接收分系统	(68)
2.4.5	电源分系统	(69)
2.5	VSAT 卫星通信系统	(70)
2.5.1	VSAT 概述	(70)
2.5.2	VSAT 网的组成及工作原理	(71)
2.5.3	VSAT 分类及特点	(74)
2.5.4	VSAT 网络结构及组网形式	(75)
2.5.5	VSAT 系统的工作频段	(77)
2.5.6	VSAT 网络体系结构	(77)
2.5.7	VSAT 数据网多址协议	(79)
习题 2		(86)
第 3 章	光纤通信	(87)
3.1	光纤通信概述	(87)
3.1.1	光纤通信的发展历史	(87)
3.1.2	光纤通信的工作波长	(88)
3.1.3	光纤通信的特点	(88)
3.1.4	光纤通信的基本组成	(89)
3.2	光纤与光缆	(89)
3.2.1	光纤的结构及其分类	(89)
3.2.2	光纤的导光原理	(91)
3.2.3	光纤的损耗特性及色散特性	(94)
3.2.4	光纤的连接	(96)
3.2.5	光缆和光纜的敷设	(97)
3.3	光源和光电检测器	(100)

3.3.1	光源	(100)
3.3.2	半导体光电检测器	(105)
3.4	光纤通信系统	(107)
3.4.1	光发射机	(108)
3.4.2	光接收机	(109)
3.4.3	光中继器	(110)
3.5	光的波分复用	(113)
3.5.1	光波分复用系统的结构	(113)
3.5.2	光波分复用的主要特点	(113)
3.5.3	密集波分复用技术	(114)
习题 3		(115)
第 4 章	移动通信	(116)
4.1	移动通信概述	(116)
4.1.1	移动通信的特点	(116)
4.1.2	移动通信的分类	(118)
4.1.3	移动通信的工作方式	(119)
4.1.4	移动通信的工作频段	(120)
4.1.5	移动通信系统的组成	(121)
4.2	移动通信系统的组网技术	(122)
4.2.1	大区制移动通信网	(122)
4.2.2	小区制移动通信网	(122)
4.2.3	信道配置	(125)
4.2.4	信令	(125)
4.3	GSM 移动通信系统	(126)
4.3.1	概述	(126)
4.3.2	GSM 系统的组成	(127)
4.3.3	GSM 系统的网络结构	(128)
4.3.4	编号方式与频率配置	(130)
4.3.5	GSM 系统移动管理	(133)
4.3.6	路由选择	(136)
4.4	CDMA 移动通信系统	(137)
4.4.1	概述	(137)
4.4.2	扩频通信原理	(138)
4.4.3	CDMA 数字蜂窝系统的信道组成	(139)
4.4.4	CDMA 的系统结构	(143)
4.5	第三代移动通信	(144)
4.5.1	第三代移动通信的发展概况	(144)
4.5.2	GPRS 系统概述	(145)
4.5.3	第三代移动通信发展的目标——个人通信	(147)

习题 4	(148)
第 5 章 通信业务网	(150)
5.1 概述	(150)
5.2 电话网	(151)
5.2.1 电话通信网的组成	(151)
5.2.2 电话网的网络结构	(152)
5.2.3 编号计划	(155)
5.3 有线电视网	(156)
5.3.1 有线电视系统的组成	(156)
5.3.2 前端设备	(158)
5.3.3 信号传输与网络分配	(160)
5.3.4 数字电视概述	(166)
5.3.5 数字有线电视系统的组成	(169)
5.3.6 数字机顶盒	(171)
5.3.7 有线通信电视的新发展——CATV 与 ISDN 的结合	(174)
5.4 宽带综合业务数字网 (B-ISDN)	(177)
5.4.1 B-ISDN 业务的特性及信息传递方式	(177)
5.4.2 ATM 技术原理	(178)
5.4.3 B-ISDN/ATM 的网络分层结构	(180)
5.4.4 B-ISDN/ATM 的用户/网络接口	(182)
5.4.5 ATM 网组成	(182)
5.4.6 宽带通信网的业务	(184)
5.4.7 宽带信息网络建设实例——上海宽带信息网	(188)
习题 5	(189)
第 6 章 接入网	(190)
6.1 接入网概述	(190)
6.1.1 接入网的基本概念	(190)
6.1.2 接入网的特点	(192)
6.1.3 接入网的结构功能	(192)
6.1.4 接入网的拓扑结构	(194)
6.1.5 接入网的综合业务	(195)
6.2 接入网中的接口	(197)
6.2.1 接口类型	(198)
6.2.2 V5 接口	(200)
6.3 双绞线接入网技术	(206)
6.3.1 不对称数字用户线 (ADSL) 接入技术	(207)
6.3.2 甚高速数字用户线 (VDSL) 接入技术	(209)
6.4 混合光纤/同轴电缆接入网技术	(211)
6.4.1 HFC 的网络结构	(211)

6.4.2	HFC 的频谱	(212)
6.4.3	Cable Modem	(213)
6.4.4	Cable Modem 的系统结构	(215)
6.5	光纤接入网技术	(216)
6.5.1	光纤接入网的基本概念	(216)
6.5.2	光纤接入网的功能结构	(218)
6.5.3	FTTx+LAN 接入方式	(221)
6.6	无线接入网技术	(223)
6.6.1	无线接入技术概述	(223)
6.6.2	本地多点分配业务系统 (LMDS)	(224)
6.6.3	无线局域网 (WLAN) 接入技术	(227)
	习题 6	(232)
	参考文献	(234)

第 1 章 通信基础知识

内容提要

- 信号、信道的概念和分类。
- 信息的传输方式。
- 通信系统的基本组成及性能指标。
- 通信网的基本结构。
- 抽样、量化、编码的基本概念及抽样定理。
- 模拟信号基带传输的基本概念。
- 数字信号基带传输的基本概念、数字基带信号的码型及数字基带信号的传输原理。
- AM、DSB-SC、SSB、FM 的基本概念及其时域、频域特性和调制解调方法。
- 2ASK、2FSK、2PSK、2DPSK 的基本概念及其时域、频域特性和调制解调方法。
- 频分复用的概念及多级复用的构成。
- 时分复用的概念及数字分级复接的构成。

1.1 通信的基本概念

人类是通过嘴巴、耳朵、眼睛等与对方进行信息交换的。但是当人们在相隔较远的地方时, 如何进行信息交换呢? 这就需要通信来实现。通信的基本任务是解决两地之间消息的传递和交换。例如, 将地点 A 的信息传输到地点 B, 或者将地点 A 和地点 B 的信息双向传输。

实现通信的方式很多。例如, 古代人们曾利用信物、烽火、金鼓、旗语等作为通信工具传递信息, 现代人们利用电话、传真、电视、国际互联网等进行信息传递和交换。现代的通信是电通信方式, 即利用电信号携带所要传递的信息, 然后经过各种信道进行传输, 达到通信的目的。由于电通信几乎能在任意的通信距离上实现迅速而又准确的信息传递, 因而获得了飞速的发展和广泛的应用。

1.1.1 信号

信息要用某种物理方式表达出来, 通常可以用声音、图像、文字、符号等来表达。由于它们一般不便于高效率、高可靠的远距离传输, 因而往往需要将它们转换成更便于传输和处理的信号。因此, 可以说信号是信息的载体, 是信息的表现形式。一般讲的信号是指电信号, 它的表达形式可以是电压、电流或电场等。对信号的描述可以有两种方法, 即时域法和频域法。

时域法研究的是信号的电量(电压或电流等)随时间变化的情况, 可以用观察波形的方法进行。例如, 声音信号与时间 t 的关系可用一维函数 $f(t)$ 来描述, 如图 1.1 (a) 所示。频域法研究的是信号的电量在频域中的分布情况, 可用频谱分析仪观察信号的频谱, 语音信号的

频率范围大约为 $20\sim 20000\text{Hz}$ ，如图 1.1 (b) 所示，图中 $F(f)$ 为 $f(t)$ 的频谱函数。在语音中频谱越高能量就越小，所以在电话中只传送听清对方说话声的 $300\sim 3400\text{Hz}$ 的部分。

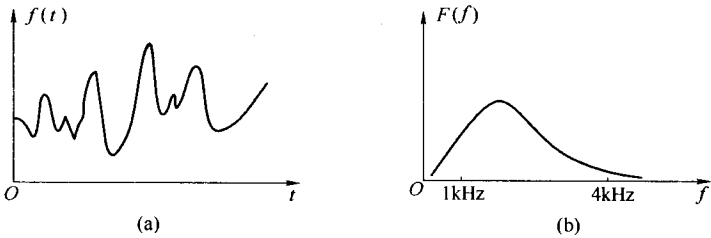


图 1.1 语音信号的波形与频谱图

电信号可以有多种分类方法。若以频率划分，可分为基带信号和频带信号；若以信号参数的状态划分，则可以分为模拟信号和数字信号。

1. 基带信号与频带信号

基带信号是指含有低频成分甚至直流成分的信号，通常原始信号都是基带信号。基带信号所占据的频带宽度相对于它的中心频率而言很宽，不适合于长距离传输，更不能进行无线电发送。如语音信号是一种典型的基带信号，它是由人的声音经过话筒转换而成的。

频带信号的中心频率较高，而带宽相对中心频率很窄，因此适合于在信道中传输。基带信号经过各种不同调制方法可以转换成频带信号。如调频广播电台的 $\text{FM}\times\times\text{MHz}$ 就是一个频带信号，它是将语音信号调制到 $\times\times\text{MHz}$ 的中心频率上，然后进行发射。如果接收机的频率与电台的频率相同，就能够接收到所发射的信号。

2. 模拟信号与数字信号

模拟信号是指电信号参量的取值随时间连续变化的信号。因此，模拟信号也叫连续信号，如图 1.2 所示。模拟信号电量可以有无限多个取值，如在 $1.1\sim 1.2\text{V}$ 之间的取值范围内，可以取 1.1V 、 1.11V 、 1.111V 等无限多个数值。常见的模拟信号有语音信号、图像信号以及来自各种传感器的检测信号等。

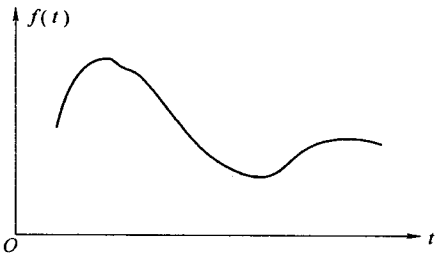


图 1.2 模拟信号示例

数字信号与模拟信号相反，是指电信号参量的取值是离散的且只有有限个状态的信号。因此，数字信号也叫离散信号。如图 1.3 (a) 所示是二进制数字信号，它只有两种取值，分别用 0 和 1 表示。当然也可以有多进制数字信号，如四进制、八进制等，如图 1.3 (b) 所示

就是四进制数字信号，分别用 0、1、2、3 表示四种取值。常见的数字信号有电报、传真、计算机数据等信号。

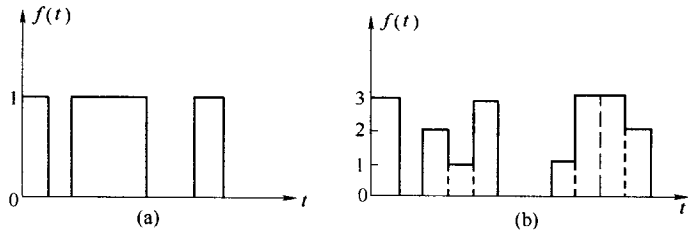


图 1.3 数字信号举例

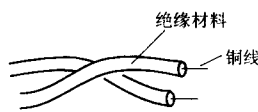
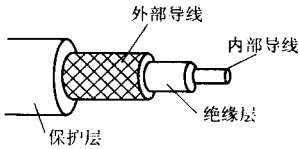
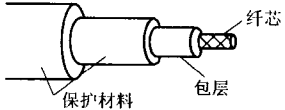
1.1.2 信道

信道是信号的传输媒质，它可分为有线信道和无线信道两类。有线信道包括明线、双绞线、同轴电缆和光纤等，而无线信道是由无形的空间构成，利用电波进行通信。

1. 有线信道

目前广泛使用的有线信道主要有双绞线、同轴电缆和光纤，它们的构造、特征及主要用途如表 1.1 所示。

表 1.1 有线信道的线路种类、构造、特征和主要用途

线路种类	构造	特征	主要用途
双绞线		便宜、构造简单，传输频带宽，有漏话现象，容易混入杂音	电话用户线 低速 LAN
同轴电缆		价格稍高，传输频带宽，漏话感应少，分支、接头容易	CATV 分配电缆 高速 LAN
光纤		低损耗，频带宽，重量轻，直径小，无感应，无漏话	国际间主干线 国内城市间主干线 高速 LAN

双绞线构造简单且价格便宜，但传输损耗大，且随着频率升高双绞线间产生漏话现象。另外，不能对电磁波产生屏蔽，容易混入外部杂音。双绞线主要使用于 100kHz 以下或数字信号 10Mb/s 以下的信息传输，被广泛应用于电话端局和用户之间的连线，或低速局域网计算机之间连线。

一般高频率信号的传输和长距离的传输都使用同轴电缆。同轴电缆的频带要比双绞线宽得多，它的外部金属能屏蔽中心导体的电磁波，因而不容易混入杂音。由于这些特点，它被