



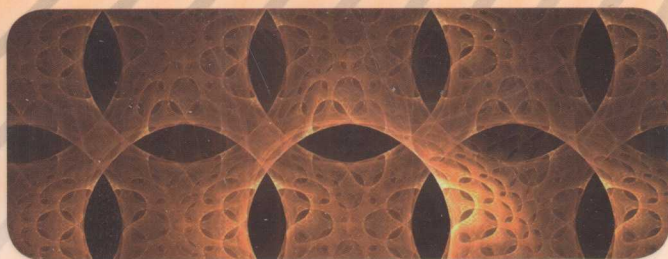
浙江省重点教材建设项目

高等学校网络工程系列教材

网络通信与网络互联

Network Communications
and Interconnections

王晓东 张选波 等



高等教育出版社
HIGHER EDUCATION PRESS

014032625

TN915-43

27

浙江省重点教材建设项目
高等学校网络工程系列教材

网络通信与网络互联

Wangluo Tongxin yu Wangluo Hulian

王晓东 张选波 毛科技 何仲昆
叶庆卫 周 宇 胡珊逢



封面设计：刘思远 责任编辑：胡珊逢 封面设计：刘思远 责任编辑：胡珊逢 封面设计：刘思远 责任编辑：胡珊逢

400-818-0298 咨询电话
http://www.hep.edu.cn 网 址
http://www.hep.com.cn 网 站
http://www.hep.com.cn 网 站
http://www.hep.com.cn 网 站
2014年3月第1版 次
2014年3月第1次印刷 次
37.30元 定 价



高等教育出版社·北京
HIGHER EDUCATION PRESS BEIJING



北航

C1720585

TN915-43
27

014032827

内容提要

本书是浙江省重点建设教材“网络工程系列教材”之一。本书介绍了数据通信的基础知识与网络互联的基本技术,涉及园区网、接入网、骨干网的构建和网络通信与互联的主流技术。本书共分8章,主要内容包括数据通信基础、网络体系结构、园区网技术、网络接入技术、骨干网技术、网络间互联、融合通信、物联网通信。本书在相应章节设计了来自实践的实训题,以提高学生的网络工程实践能力。

本书既可作为高等学校网络工程、计算机科学与技术、物联网工程等计算机类专业的课程教材,也可作为网络设计师、网络工程师、系统集成工程师以及相关技术人员在实际网络设计与构建中的技术参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

网络通信与网络互联 / 王晓东等编. -- 北京:高等教育出版社,2014.3

ISBN 978-7-04-029240-4

I. ①网… II. ①王… III. ①网络通信-高等学校-教材 ②计算机网络-高等学校-教材 IV. ①TN915
②TP393

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2014) 第 020514 号

策划编辑 刘 艳
插图绘制 尹 莉

责任编辑 刘 艳
责任校对 胡美萍

封面设计 杨立新
责任印制 刘思涵

版式设计 马敬茹

出版发行 高等教育出版社
社 址 北京市西城区德外大街4号
邮政编码 100120
印 刷 北京明月印务有限责任公司
开 本 787mm×1092mm 1/16
印 张 24
字 数 590千字
购书热线 010-58581118

咨询电话 400-810-0598
网 址 <http://www.hep.edu.cn>
<http://www.hep.com.cn>
网上订购 <http://www.landaco.com>
<http://www.landaco.com.cn>
版 次 2014年3月第1版
印 次 2014年3月第1次印刷
定 价 37.30元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换。

版权所有 侵权必究

物 料 号 29240-00

前 言

本书是浙江省重点建设教材“网络工程系列教材”之一,该系列教材是为网络工程专业及计算机类相关专业所编写的一套教材,其主要特色是将基础知识与当前网络工程应用中的主流技术相结合,体现工程教育特色,吻合网络技术的发展趋势。

本书从计算机网络与通信技术相结合的角度,介绍了数据通信基础、网络构建与实现、网络互联与应用的有关知识与技术。使用本书学习的学生应该掌握计算机网络的基本原理和层次协议的基本知识,本书的主要内容将集中阐述网络通信的具体实现和互联方法,面向工程应用介绍各种网络构建和互联技术。本书按照网络规模由小到大、网络结构由简单到复杂、网络应用由单一到综合层层递进,由园区网向骨干网扩展、由互联网向物联网发展。为了体现工程型、应用型人才的培养目标,本书理论部分强调学科知识的系统性与工程应用的指导性,实践部分强调应用能力与工程能力的培养。

全书共分为8章。第1章为数据通信基础,主要介绍了数据通信的基本概念,信道与传输媒体、数据传输的方式与编码技术、数据同步技术、多路复用技术以及差错处理技术。第2章讲述网络体系结构,包括OSI参考模型和TCP/IP模型,介绍接入网/骨干网体系结构,以及网络互联的基本知识。第3章为园区网技术,主要介绍园区网内部的互联,从数据链路层到网络层,讲述中继技术、交换技术和路由技术,并介绍了层次化的园区网设计方法。第4章为网络接入技术,主要包括接入网的基本概念、接口、标准和管理体系,介绍了常用的电缆网接入技术、光接入网技术、无线接入技术,以及卫星接入技术。第5章为骨干网技术,主要讲述了广域网技术、城域网的关键技术和接口技术,以及城域光纤网络技术,提供了一个部署企业边缘网络以接入城域网实现多地互联的案例。第6章为网络间互联,讲述了城域网间、互联网间的异构路由和VPN等互联技术,以及多协议标签交换技术。第7章为融合通信,介绍了因对通信范围不断扩大的需求而产生的融合通信技术,介绍了IPv6、服务质量和IP组播网络的设计和实现,以及三网融合的方案与应用。第8章为物联网通信,介绍更为泛在的网络通信与互联技术,讲述物联网的发展、技术框架与标准体系以及实现形态,最后讨论了一个物联网应用案例。

本书由王晓东主编,参加编写的有浙江工业大学毛科技(第1章和第2章)、宁波工程学院何仲昆(第3章)、宁波大学叶庆卫(第4章)、宁波大学周宇(第5章)、宁波大学王晓东(第6章和第7章)、星网锐捷网络有限公司张选波(第8章),由王晓东和张选波负责全书的统稿,张选波还设计了相应章节的实训项目。在本书撰写与校对过程中,胡珊逢、赵兴奎、周红琼、闵捷等研究生付出了大量的心血。本书还得到了宁波大学王让定教授和金光教授的大力

II 前言

支持。本书由西安交通大学桂小林教授审稿,提出的宝贵意见对本书帮助较大。本书也参考了国内外诸多专家的著作和文献。在此一并表示感谢。

同时,感谢浙江省重点教材建设项目对本书的资助。本书还得到了“宁波大学创新服务型电子信息专业群”宁波市服务型重点专业建设项目和宁波市IT产业应用型人才培养基地建设项目的支持,以及“宁波大学电子信息科学与技术专业”浙江省优势专业、浙江省重点专业、宁波市重点专业建设项目的支持,“宁波大学通信工程专业”宁波市特色专业、宁波大学重点专业建设项目的支持。

计算机网络技术发展迅速,网络工程的技术与标准层出不穷,由于作者水平有限,书中难免有缺点、错误,欢迎同行专家和读者批评指正。

编者

2013年12月

目 录

第1章 数据通信基础 1	1.6.5 波分复用 23
1.1 数据通信的基本概念 1	1.6.6 码分复用 24
1.1.1 信息、数据与信号 1	1.7 差错处理技术 26
1.1.2 通信系统与数据通信系统 4	1.7.1 差错控制技术 26
1.1.3 数据通信的主要特点 5	1.7.2 检错码 27
1.1.4 数据通信系统的性能指标 5	1.7.3 纠错码 28
1.2 信道与传输媒体 6	小结 29
1.2.1 信道 6	习题 29
1.2.2 有线传输媒体及其特性 7	第2章 网络体系结构 30
1.2.3 无线传输媒体及其特性 9	2.1 计算机网络的形成与发展 30
1.2.4 传输媒体的选择与应用 9	2.1.1 计算机网络的概念 30
1.3 数据传输方式 10	2.1.2 计算机网络的发展历史 31
1.3.1 串行传输与并行传输 10	2.1.3 计算机网络的发展趋势 33
1.3.2 基带传输与宽带传输 11	2.2 计算机网络的分类 34
1.3.3 同步传输与异步传输 11	2.2.1 按照覆盖范围分类 34
1.3.4 单工、半双工和全双工传输 12	2.2.2 按照通信传输技术分类 35
1.4 数据编码技术 12	2.2.3 按照拓扑结构分类 35
1.4.1 数字数据的模拟信号编码 12	2.2.4 其他分类方式 37
1.4.2 数字数据的数字信号编码 14	2.3 网络系统层次结构 38
1.4.3 模拟数据的数字信号编码 16	2.3.1 网络协议与体系结构的概念 38
1.4.4 模拟数据调制为模拟信号 17	2.3.2 网络系统的层次结构 39
1.5 数据同步技术 17	2.3.3 OSI 参考模型 40
1.5.1 同步的基本概念 17	2.3.4 TCP/IP 模型 47
1.5.2 载波同步 18	2.3.5 OSI 参考模型和 TCP/IP 模型的比较 49
1.5.3 位同步 18	2.4 接入网/骨干网体系结构 50
1.5.4 群同步 18	2.4.1 局域网 50
1.5.5 网同步 19	2.4.2 城域网 53
1.6 多路复用技术 19	2.4.3 广域网 54
1.6.1 信道共享技术的原理 19	2.5 网络互联技术基础 56
1.6.2 信道共享技术的分类 20	2.5.1 网络互联的概念与互联设备 56
1.6.3 时分复用 20	2.5.2 网络互联的目标与要求 59
1.6.4 频分复用 22	

II 目录

2.5.3 网络互联的种类与方式	60	4.4.2 IP 接入网总体标准 ——Y. 1231	147
小结	60	4.5 用户接入管理体系	150
习题	60	4.5.1 接入管理功能	150
第3章 园区网技术	62	4.5.2 接入管理的发展	151
3.1 中继技术	62	4.5.3 接入管理体系结构	152
3.1.1 有线中继技术	62	4.5.4 接入管理协议	153
3.1.2 无线中继技术	63	4.6 电缆网接入技术	153
3.2 交换技术	64	4.6.1 铜缆接入技术	155
3.2.1 第2层交换技术	64	4.6.2 DDN 专线接入技术	157
3.2.2 第3层交换技术	68	4.6.3 xDSL 接入技术	158
3.2.3 虚拟局域网	69	4.6.4 CATV 和 HFC 接入技术	162
3.2.4 交换网络的性能优化	75	4.7 光接入网技术	163
3.3 路由技术	86	4.7.1 无源光网络接入技术	165
3.3.1 路由协议概述	86	4.7.2 ATM 无源光网络接入技术	166
3.3.2 内部网关协议	90	4.7.3 以太网无源光网络接入 技术	167
3.3.3 外部网关协议	102	4.7.4 有源光网络接入技术	169
3.4 园区多层交换网络	126	4.8 移动无线接入技术	170
3.4.1 接入层	126	4.8.1 GSM/GPRS 技术	171
3.4.2 汇聚层	127	4.8.2 CDMA2000	173
3.4.3 核心层	128	4.8.3 WCDMA	175
小结	128	4.8.4 TD-CDMA	176
习题	129	4.8.5 LTE	177
实训题	129	4.8.6 4G	178
第4章 网络接入技术	132	4.9 固定无线接入技术	180
4.1 接入网的基本概念	132	4.9.1 无线局域网	180
4.1.1 接入网的定义与定界	132	4.9.2 超宽带	182
4.1.2 接入网的功能结构	134	4.9.3 WiMAX	183
4.1.3 接入网的分层模型	136	4.10 卫星接入技术	185
4.1.4 接入网的分类	137	小结	186
4.2 接入网支持的业务	137	习题	187
4.3 接入网的接口	139	实训题	187
4.3.1 业务节点接口	140	第5章 骨干网技术	190
4.3.2 用户网络接口	141	5.1 广域网技术基础	190
4.3.3 电信管理网接口	142	5.1.1 广域网概述	190
4.3.4 V5 接口	143	5.1.2 广域网设备与组件	191
4.4 接入网的标准	146	5.1.3 广域网标准	193
4.4.1 电信接入网总体标准 ——G. 902	146		

5.1.4 物理层标准	193	6.1.1 IP 城域网概述	243
5.1.5 数据链路层标准	194	6.1.2 IP 城域网拓扑结构设计	244
5.1.6 广域网封装	195	6.1.3 路由协议设计	248
5.2 广域网技术	196	6.2 互联网间互联	252
5.2.1 PSTN 模拟拨号	196	6.2.1 虚拟专用网技术概述	253
5.2.2 ISDN	197	6.2.2 虚拟专用网类型	255
5.2.3 租用线路	198	6.2.3 虚拟专用网相关技术	258
5.2.4 X.25	198	6.3 运营商服务	268
5.2.5 帧中继	199	6.3.1 多协议标签交换	269
5.2.6 ATM	199	6.3.2 MPLS VPN	275
5.2.7 数字用户线路	200	6.3.3 MPLS VPN 拓扑结构	280
5.2.8 电缆调制解调器	201	小结	288
5.3 城域网技术基础	202	习题	288
5.3.1 城域网的结构	202	实训题	288
5.3.2 城域网关键技术	202	第7章 融合通信	290
5.4 城域网接口技术	204	7.1 IPv6 互联	290
5.4.1 PoS 技术	204	7.1.1 IPv6 路由选择	290
5.4.2 以太网接口技术	207	7.1.2 IPv6 动态路由协议	291
5.4.3 10 吉比特以太网接口技术	208	7.1.3 IPv4/IPv6 过渡技术	294
5.4.4 10 吉比特以太网的应用		7.2 服务质量设计	303
定位	212	7.2.1 服务质量技术概述	304
5.4.5 10 吉比特以太网以上		7.2.2 服务质量服务模型	308
接口技术	212	7.2.3 服务质量技术基础	312
5.4.6 高速以太网与光传送		7.3 IP 组播功能实现和设计	316
网络间的关系	214	7.3.1 IP 组播体系结构	318
5.4.7 部署案例	215	7.3.2 Internet 组管理协议	323
5.5 城域光纤网络技术	219	7.3.3 组播路由	328
5.5.1 波分复用技术	219	7.4 三网融合	336
5.5.2 SONET/SDH 技术	223	7.4.1 三网的特点	336
5.5.3 MSTP 技术	229	7.4.2 三网融合技术	337
5.5.4 RPR 技术	229	7.4.3 三网融合的先导技术	338
5.5.5 PBT 技术	233	小结	342
5.5.6 REP 技术	234	习题	342
小结	240	实训题	342
习题	241	第8章 物联网通信	344
实训题	241	8.1 物联网现状与发展	344
第6章 网络间互联	243	8.1.1 物联网技术基础	344
6.1 城域网间互联	243	8.1.2 物联网应用发展	348

IV 目录

8.2	物联网技术框架与标准体系	350
8.3	物联网实现形态	353
8.3.1	RFID	353
8.3.2	无线传感器网络	360
8.3.3	M2M	366

第1章 数据通信基础

本章重点

- ◆ 数据通信的基本概念;
- ◆ 信道与传输媒体;
- ◆ 数据传输方式;
- ◆ 数据编码技术;
- ◆ 数据同步技术;
- ◆ 多路复用技术;
- ◆ 差错处理技术。

随着科学技术的发展,信息技术已经成为人们生活中不可缺少的一部分。信息技术(Information Technology, IT)是管理和处理信息而采用的各种技术的总称,一般是指应用计算机科学技术和通信技术来设计、开发、安装和实施信息系统及应用软件,它也常被称为信息和通信技术(Information and Communications Technology, ICT)。今天人们的生产和生活越来越依赖计算机网络,为了更好地利用信息技术为社会发展服务,有必要了解一些有关信息和通信的知识。

1.1 数据通信的基本概念

1.1.1 信息、数据与信号

关于信息的定义很多,例如,哲学家从认识论定义信息,数学家从概率论定义信息,物理学家认为信息就是熵,而通信学家则认为信息是对消息解除不确定度。

从本质上讲,信息是描述或记录一切客观事物的数据中所包含的内容。这些数据描述和记录了事物的状态、特征和变化。信息是伴随着客观事物的存在和发展过程而存在的,人类可以认识信息并对信息进行加工、记录、交换、传递与利用,从而进一步改造人类生活。

信息与消息不同,简单来说,消息是信息的载体,消息中可能包括信息。

1948年,美国数学家、信息论的主要奠基人香农(C. E. Shannon)在《贝尔系统技术杂志》上发表了一篇著名的论文——《通信的数学理论》。在这篇文章中,香农虽然没有直接从文字上阐述信息的定义,但是从他给出的关于信息的度量公式中可以看出,他将信息定义为熵的减少。也就是说,他将信息定义为“用来消除不确定性的东西”。熵是不确定性的度量,熵的减少也就是不确定性的减少。香农首先严格定义了信息的单位熵,在此基础上定义了信道容

量的概念，并给出了无帧通信的极限传输速率。这些贡献对今天的通信工业具有革命性的影响。

数据是人们用来记录事物的可以被鉴别的一种物理符号。数据中包含着信息，人们就是用这种符号中所蕴涵的信息来反映客观世界的。数据可以是数字、字母或其他符号，可以用来描述物体、概念、情况、事实等。数据可以在物理媒体上记录或传输，并通过外部设备被计算机接收，经过处理而获得结果。数据中包含着信息，信息是通过解释数据而产生的。

信息与数据既相互联系，又相互区别。信息是反映客观事物的知识；数据则是用来承载信息的物理符号，是信息的载体。信息是不随载体的物理媒体改变而变化的；而数据则不同，由于载体不同，数据的具体表现形式可以不同。

信号（也称为讯号）是运载信息的工具，是消息的载体。从广义上讲，它包含光信号、声信号和电信号等。

信息与数据对通信而言都是抽象的，无法直接存储、加工与传输。信号是数据的具体表现形式。通信系统中所使用的信号主要指的是电信号，即随时间变化的电压或电流。在通信中，各种电路、设备（包括传输媒体）是为了实现信号传输而设置的，因此对它们的设计与制造，直至通信系统的集成必然要取决于信号的特性。因此，深入了解信号的特性是十分必要的。

1. 信号的分类

信号的分类方式是多种多样的，下面按三种方法对信号进行分类。

(1) 连续信号与离散信号

连续信号是对每个实数 t （有限个间断点除外）都有定义的函数。连续信号的幅值可以是连续的，也可以是离散的（如信号的幅值有不连续的间断点），如图 1.1（a）所示的为幅值连续的信号，图 1.1（b）所示的为幅值离散的信号。

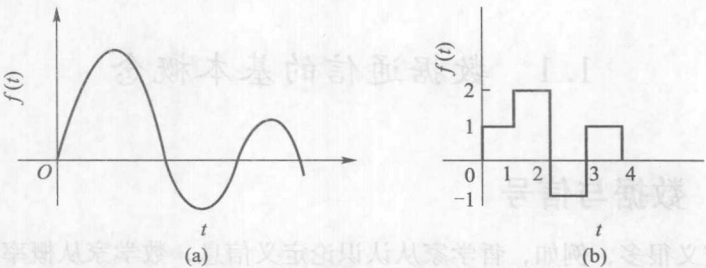


图 1.1 连续信号

离散信号是指对每个整数 n 都有定义的函数，如果 n 表示离散时间，则称函数 $f(n)$ 为离散时间信号或离散序列，如图 1.2（a）所示；如果离散时间信号的幅值是连续的模拟量，则称该信号为采样信号，如图 1.2（b）所示。

(2) 确定信号与随机信号

确定信号可以用确定的时间函数来描述。给定一个特定时刻，就有与其相对应的确定的函数值。

随机信号不能给出确定的时间函数，对于特定时刻不能给出相应的确定的函数值，而只能用概率统计的方法来描述。通信系统中传输的信号，一般情况下都是随机信号。

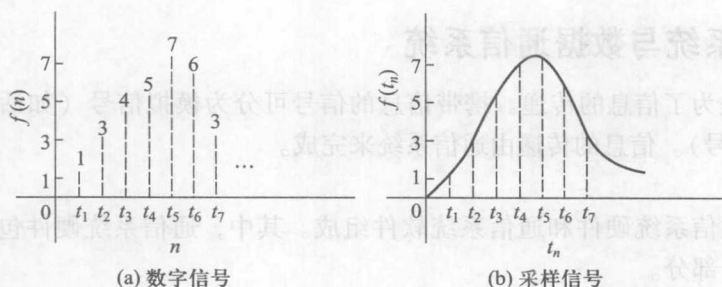


图 1.2 离散时间信号

但随机信号有时也可以被当做确定信号加以分析,例如,数据信号中常用的二进制码,虽然二进制码本身是随机的,但其中单个的 1 码和 0 码,都可以被看做是确定信号。

(3) 周期信号和非周期信号

周期信号可以定义为

$$f(t) = f(t \pm nT) \quad n = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$$

即信号 $f(t)$ 按一定的时间间隔 (即周期) T 周而复始、无始无终的变化。上式中的 T 称为周期信号 $f(t)$ 的周期。这种信号实际上是不存在的,所以周期信号只能是在一定时间内按照某一规律重复变化。

非周期信号不具备周而复始的特性,假如周期信号的周期 T 值趋向无限大,它就变成非周期信号。从存在的时域来观察非周期信号,可以将其分为时限信号和非时限信号,例如,指数函数 $f(t) = e^{-3t}$ 是一个非时限信号。非时限信号存在于一个无界的时域内,时限信号则存在于一个有界的时域内。例如,有一个脉冲信号,其表示式为

$$f(t) = \begin{cases} 2, & |t| \leq 3 \\ 0, & |t| > 3 \end{cases}$$

2. 信号的特性

信号的特性表现为它的时间特性和频率特性。信号的时间特性主要是指信号随时间变化而变化的特性。信号的频率特性可以用信号的频谱方式来表示。

3. 信号的分析方法

在分析通信系统的过程中,如果把激励和响应都看做是时间的函数,也就是利用信号的时间特性,那么这种方法就称为时域分析法;如果对作为时间变量的函数的激励和响应进行傅里叶变换,将时间变量转换为频率变量来分析,那么这种方法就称为频域分析法。

(1) 时域分析法

时域分析法的基本手段就是将外加的复杂激励信号在时域中分解成一系列单元激励信号,然后分别计算各单元信号通过通信系统的响应,最后将它们在输出端叠加而得到总的响应。对连续信号和离散信号均可采用时域分析法。

(2) 频域分析法

任何信号都可以看成是频率的函数。根据傅里叶变换原理,一般情况下,任何信号都可表示成各种频率成分的正弦波或余弦波之和。

1.1.2 通信系统与数据通信系统

通信的目的是为了信息的传递。携带信息的信号可分为模拟信号（如语音）和数字信号（计算机输出的信号）。信息的传递由通信系统来完成。

1. 通信系统

通信系统由通信系统硬件和通信系统软件组成。其中，通信系统硬件包括终端、传输系统、交换系统三个部分。

(1) 终端：包括普通电话、移动电话、计算机、数据终端、可视电话、会议电视终端等。

(2) 传输系统：信息传递的通道，一般叫信道。

(3) 交换系统：接入链路的汇集、转接和分配。

通信系统软件，则是指为能更好地完成信息的传递和转接交换而必须遵循的一整套协议、标准，包括网络结构、网内信令、协议以及技术体制、接口标准等。

按照通信系统所传输的信号来分类，则可将通信系统分为模拟通信系统和数字通信系统。

(1) 模拟通信系统：用模拟信号传递信息的系统。

(2) 数字通信系统：用数字信号传递信息的系统。

由于光纤通信的普及和集成工艺的发展，数字通信系统具有抗干扰能力强、数字信号可再生、可综合各种业务、便于和计算机系统连接、易于集成等优点，因此逐渐取代了模拟通信系统。

2. 数据通信系统

计算机网络中，数据通信系统是指把数据源计算机所产生的数据迅速、可靠、准确地传输到数据宿计算机或专用外部设备。一个完整的数据通信系统，一般由以下几个部分组成。

(1) 数据终端设备

数据终端设备是产生或使用数据的终端设备，最常用的数据终端设备就是微型计算机。此外，数据终端设备还可以是网络中的专用数据输出设备，如打印机等。

(2) 通信控制器

通信控制器能够进行通信状态的连接、监控和拆除等操作，还能够接收来自多个数据终端设备的信息，并转换信息格式。例如，微型计算机内部的通用异步接收发送设备（UART）、数字基带网中的网卡就是通信控制器。

(3) 通信信道

通信信道是信息在信号变换器之间传输的通道。例如，电话线路等模拟通信信道、专用数字通信信道、宽带电缆和光纤等。

(4) 信号变换器

信号变换器把通信控制器提供的数据转换成符合通信信道要求的信号，并把传来的信号转换成可供数据终端设备使用的数据，以最大限度地保证传输质量。在计算机网络的数据通信系统中，最常用的信号变换器是调制解调器和光纤通信网中的光电转换器。

1.1.3 数据通信的主要特点

数据通信与电报、电话通信相比,具有如下特点。

- (1) 计算机直接参与通信是数据通信的重要特征。
- (2) 数据传输的准确性和可靠性要求高。
- (3) 传输速率高,要求接续和传输响应时间快。
- (4) 通信持续时间差异大。

1.1.4 数据通信系统的性能指标

数据通信系统的性能指标主要有信息传输速率、码元传输速率、频带利用率和差错率等。

(1) 信息传输速率

信息传输速率(R_b)简称传信率,又称信息速率、比特率,它表示单位时间(1s)内传输实际信息的比特数,单位为比特/秒,记为bps。比特在信息论中是信息量的度量单位。

一般在数据通信中,如果使用“1”和“0”的概率相同,则每个“1”和“0”就是一个比特的信息量。如果一个数据通信系统,每秒钟传输9600比特,则它的信息传输速率 $R_b = 9600$ bps。

(2) 码元传输速率

码元传输速率(R_B)简称传码率,又称符号速率、码元速率、波特率、调制速率。它表示单位时间(1s)内信道上实际传输码元的个数,单位是波特(Baud),常用符号“B”来表示。

值得注意的是,码元传输速率仅仅表征单位时间内传送的码元数目,而没有限定这时的码元是何种进制的码元。但对于信息传输速率而言,则必须将码元数折合为相应的比特数来计算。例如,某系统每秒传送9600个码元,则该系统的码元传输速率为9600B,如果系统的码元是二进制的,则它的信息传输速率是9600bps;如果系统的码元是四进制的,则它的信息传输速率是19.2kbps;如果系统的码元是八进制的,则它的信息传输速率是28.8kbps。由此可见,信息传输速率与码元传输速率之间的关系为 $R_b = R_B \log_2 N$,式中 N 为码元的进制数。

(3) 频带利用率

在比较不同通信系统的效率时,只看它们的传输速率是不够的,还要看传输这样的信息所占用的频带。通信系统占用的频带愈宽,传输信息的能力一般就愈大。在通常情况下,可以认为二者成比例。因此真正用来衡量数据通信系统信息传输效率的指标应该是单位频带内的传输速率,记为 η , $\eta = R_b/B$ 或 $\eta = R_B/B$,其单位为bps/Hz、Bps/Hz;其中, B 为信道所需的传输频带。例如,某数据通信系统的信息传输速率为9600bps,占用频带为6kHz,则其频带利用率为 $\eta = 1.6 \text{ b}/(\text{s} \cdot \text{Hz})$ 。

(4) 差错率

由于数据信息都是由离散的二进制数字序列来表示,因此在传输过程中,不论它经历了何种变换,产生了什么样的失真,只要在到达接收方时能正确地恢复出原始发送的二进制数字序列,就达到了传输的目的。因此衡量数据通信系统可靠性的主要指标是差错率。差错率常用误码率、误字率和误组率来表示。人们通常用误码率来表示差错率。

误码率又称为码元差错率,是指在传输的码元总数中接收的错误码元数所占的比例,用字

母 P_e 来表示, 即 $P_e = N/M$, 式中 M 为传输的码元总数, N 为接收的错误码元数。

误码率是指某一段时间的平均误码率, 对于同一条数据电路来说, 由于测量的时间长短不同, 误码率就不一样。在日常维护中, 由国际电信联盟电信标准化组织 (ITU-T) 规定测试时间。数据传输误码率一般都低于 10^{-10} 。

1.2 信道与传输媒体

1.2.1 信道

信道, 就是信号传输的媒体。具体地说, 信道是指由有线或无线线路提供的信号通路。信道可大体分为狭义信道和广义信道两类。

1. 狭义信道

通常将仅指信号传输媒体的信道称为狭义信道。目前采用的传输媒体有架空明线、电缆、光缆、中长波地表波传播、超短波及微波视距传播、短波电离层反射、超短波流星余迹散射、对流层散射、电离层散射、超短波超视距绕射、波导传播、光波视距传播等。

可以看出, 狭义信道是指在发送方设备和接收方设备中间的传输媒体。狭义信道的定义直观, 易理解。狭义信道通常按媒体的类型可分为有线信道和无线信道。

(1) 有线信道

所谓有线信道, 是指传输媒体为电话线、双绞线、同轴电缆及光纤等一类能够看得见的媒体。有线信道是现代通信网中最常用的信道之一, 例如, 电话电缆广泛应用于 (市内) 近程传输。

(2) 无线信道

无线信道的传输媒体比较多, 它包括短波电离层反射、对流层散射等。可以这样认为, 凡是不属有线信道的媒体均为无线信道的媒体。无线信道没有有线信道所具有的稳定性和可靠性, 但无线信道具有方便、灵活、通信者可移动等优点。

2. 广义信道

在通信原理的分析中, 从信息传输的观点看, 人们所关心的只是通信系统中的基本问题, 因而, 信道的范围还可以扩大。它除包括传输媒体外, 还可能包括有关的转换器, 如馈线、天线、调制器、解调器等。通常将这种扩大了范围的信道称为广义信道。在讨论通信的一般原理时, 通常采用的是广义信道。广义信道通常也可分为调制信道和编码信道两种。

(1) 调制信道

调制信道是从研究调制与解调的基本问题出发而构建的, 它的范围是从调制器输出端到解调器输入端。从调制和解调的角度来看, 人们只关心调制器输出的信号形式和解调器输入信号与噪声的最终特性, 而并不关心信号的中间变化过程。因此, 定义调制信道对于研究调制与解调问题来说是方便和恰当的。

(2) 编码信道

在数字通信系统中, 如果仅着眼于编码和译码问题, 则可以得到另一种广义信道——编码

信道。这是因为,从编码和译码的角度看,编码器的输出仍是某一个数字序列,而译码器的输入同样也是一个数字序列,它们在一般情况下是相同的数字序列。因此,从编码器输出端到译码器输入端的所有转换器及传输媒体可用一个完成数字序列变换的方框加以概括,此方框中的内容称为编码信道。

根据研究对象和关心问题的不同,还可以定义其他形式的广义信道。

1.2.2 有线传输媒体及其特性

有线传输媒体在数据传输中只作为传输媒体,而非信号载体。计算机网络中主要使用的有线传输媒体有以下三种。

1. 双绞线

双绞线是由两根各自封装在彩色塑料皮内的铜线互相扭绞而成的,扭绞的目的是使它们之间的干扰最小。多对双绞线外套一层保护套,构成双绞线电缆,通过相邻线对之间变换的扭矩,可使同一电缆内各线对之间的干扰最小。双绞线分屏蔽型双绞线和非屏蔽型双绞线两种类型。屏蔽型双绞线是在非屏蔽型双绞线外面再加上一个由金属丝编织而成的屏蔽层,以提高其抗电磁干扰能力。因此,屏蔽型双绞线抗外界干扰性能优于非屏蔽型双绞线,但价格也较贵。

相互扭绞的一对双绞线可作为一条通路,其输入阻抗有 $100\ \Omega$ 和 $150\ \Omega$ 两种。双绞线可用于传输模拟信号,也可用于传输数字信号。电话线是双绞线的一种。双绞线的带宽取决于铜线的粗细和传输距离。双绞线用于传输模拟信号时,每隔 5 km 或 6 km 需要一个中继器;双绞线用于传输数字信号时,每隔 2 km 或 3 km 就需要中继一次。双绞线用于远程中继线时的最大传输距离为 15 km;用于局域网时,与交换机之间的最大距离为 100 m。非屏蔽型双绞线及制作工具的实物图如图 1.3 所示。

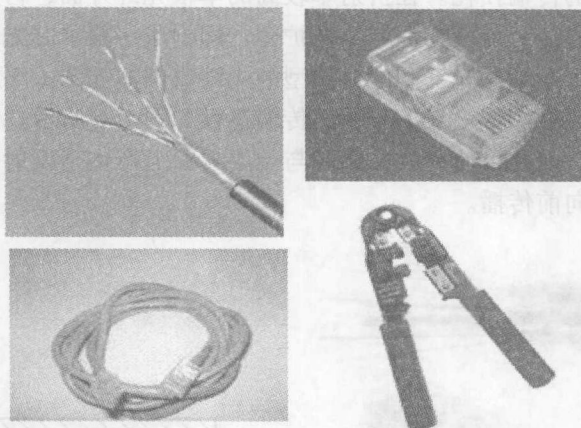


图 1.3 非屏蔽型双绞线及制作工具的实物图

目前,美国电子工业协会(EIA)对非屏蔽型双绞线定义了五类质量级别。计算机网络中最常用的是三类和五类非屏蔽型双绞线。三类线的带宽是 16 MHz,最高数据传输速率是 16 Mbps。五类线的带宽是 100 MHz,最高数据传输速率是 100 Mbps。二者的区别在于电缆内每单位长度上的扭绞数不同。

2. 同轴电缆

同轴电缆是一种应用非常广泛的传输媒体，其结构示意图如图 1.4 所示。它由内导体、绝缘层、外导体及外保护层组成。其特性由内外导体和绝缘层的电参数、机械尺寸等决定。根据它的频率特性可将其分为两类：基带（视频）同轴电缆和宽带（射频）同轴电缆。基带同轴电缆可用于数字信号的直接传输；宽带同轴电缆用于传输高频信号，利用多路复用技术可在一条同轴电缆上传送多路信号。

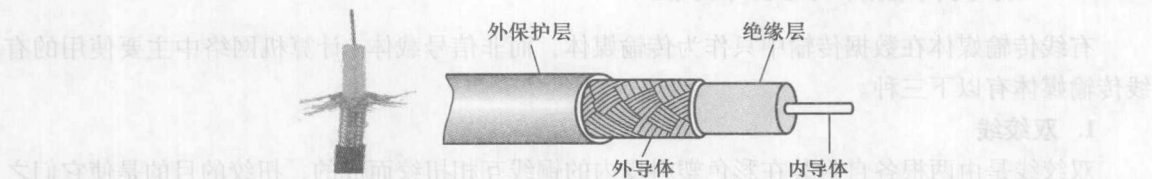


图 1.4 同轴电缆结构示意图

同轴电缆的特性阻抗有 $50\ \Omega$ 和 $75\ \Omega$ 两种。 $50\ \Omega$ 同轴电缆只用于传输数字基带信号，数据传输速率可达 10 Mbps。在无线电工程中多用 $75\ \Omega$ 的宽带电缆，用于传输模拟信号。基带同轴电缆的最大传输距离一般不超过几千米，而宽带同轴电缆的最大传输距离可达几十千米。由于同轴电缆线屏蔽性能好，故其抗电磁干扰能力强，能使信号以更高速率传输更远的距离，而且便于维护。

3. 光纤

光纤是有线传输媒体中性能最好、最具发展前途的一种。

光纤是一种柔软的、能传导光波的媒体，它由玻璃或塑料构成，其中使用超高纯度石英玻璃制作的光纤具有最低的传输损耗。在折射率较高的单根光纤外面，再用折射率较低的包层包住，就可以构成一条光通道，外面再加一个保护套，即构成一根单芯光缆，将多条光纤放在同一个保护套内，就构成了光缆。光纤和部分类型的光纤收发器如图 1.5 所示。

光纤通过内部的全反射来传输光信号，其传输过程如图 1.6 所示。由于光纤的折射系数高于外部包层的折射系数，因此可使光波在纤芯与包层界面上产生全反射。以小角度进入光纤的光波沿纤芯以反射方式向前传播。

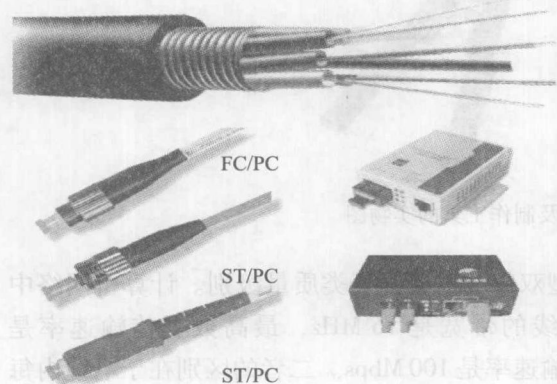


图 1.5 光纤和部分类型的光纤收发器

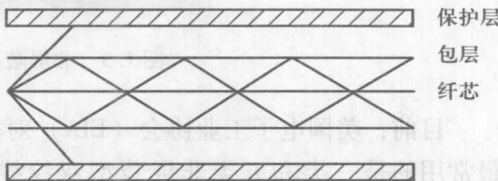


图 1.6 光纤传输过程