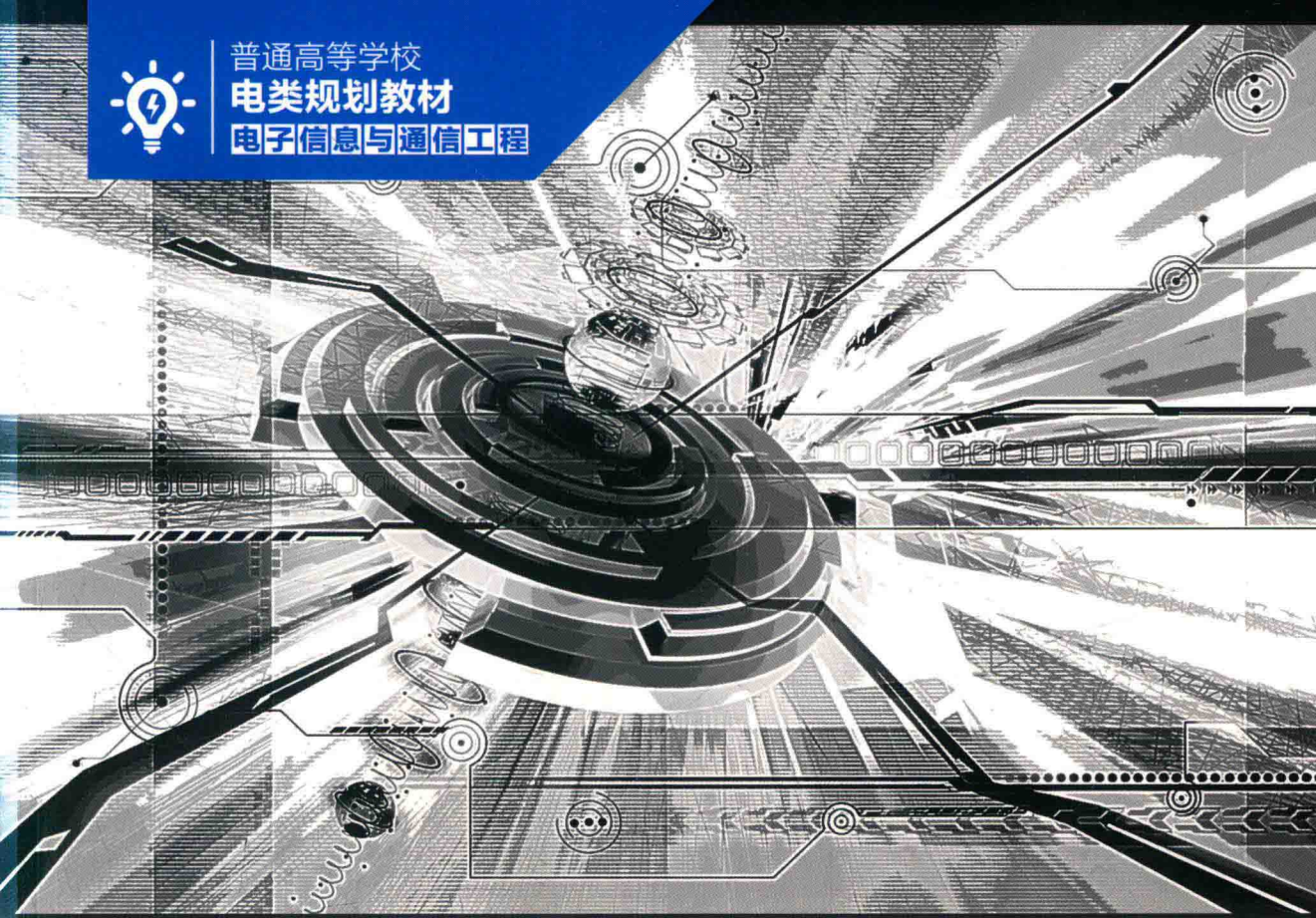




普通高等学校
电类规划教材
电子信息与通信工程



现代信息网

第2版

◎姚军 毛昕蓉 主编

◎赵小强 郭芳华 副主编

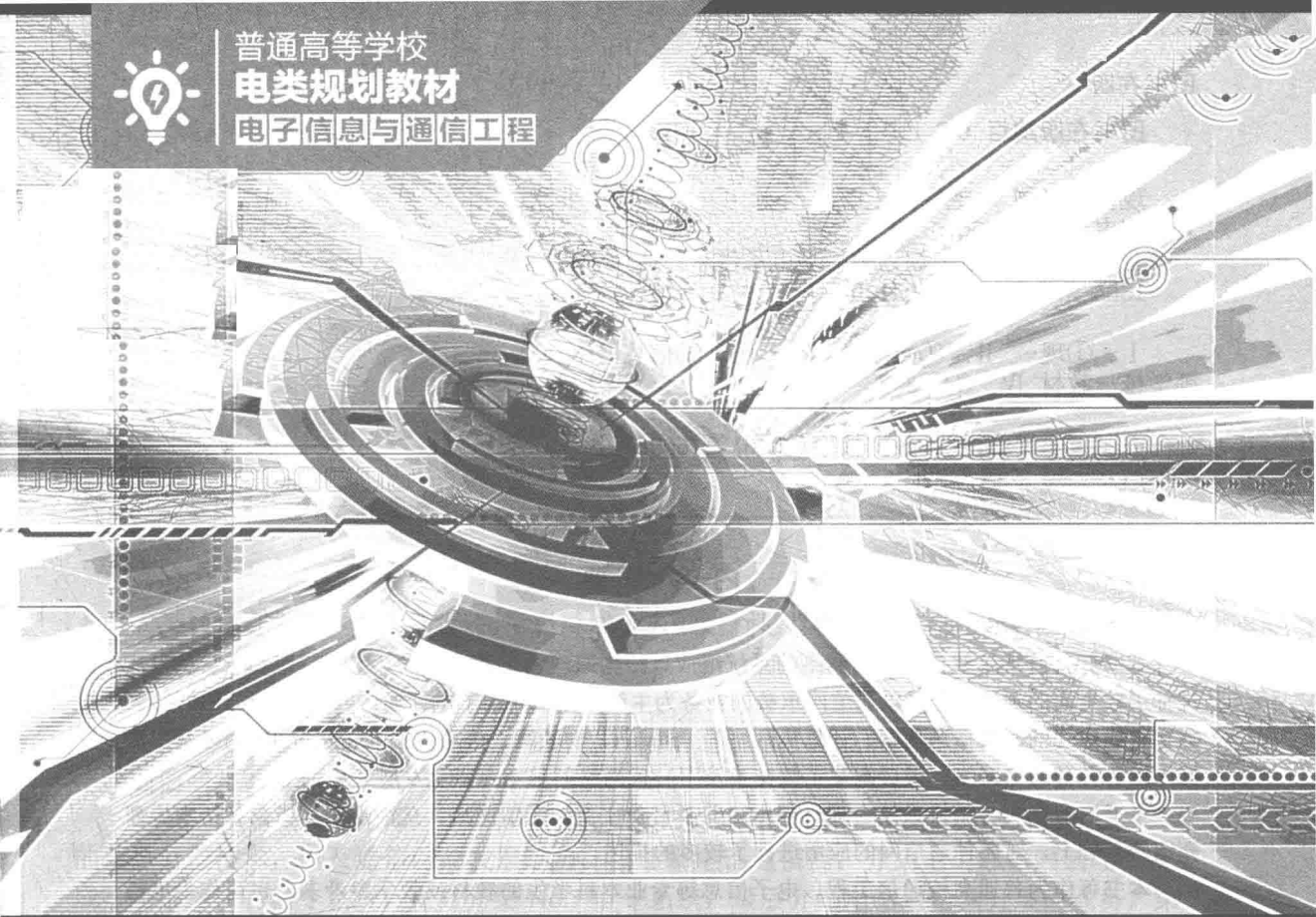
中国工信出版集团



人民邮电出版社
POSTS & TELECOM PRESS



普通高等学校
电类规划教材
电子信息与通信工程



现代信息网

第2版

◎姚军 毛昕蓉 主编
◎赵小强 郭芳华 副主编

人民邮电出版社
北京

图书在版编目 (C I P) 数据

现代信息网 / 姚军, 毛昕蓉主编. — 2版. — 北京:
人民邮电出版社, 2016. 12
普通高等学校电类规划教材. 电子信息与通信工程
ISBN 978-7-115-43041-0

I. ①现… II. ①姚… ②毛… III. ①信息网络—高
等学校—教材 IV. ①TP393

中国版本图书馆CIP数据核字(2016)第160961号

内 容 提 要

本书对目前常见的各种通信网络的系统组成、结构原理、工作特点以及工程应用和今后的发展进行了较全面的阐述。全书以通信网承载的业务为主线, 分别介绍了电话通信网、数字移动通信网、数字有线电视网、数据通信网、计算机网络与 Internet、物联网、信息传输网、宽带 IP 网以及用户接入网等各种通信网络, 最后阐述了软交换及下一代网络的基本内容及发展趋势。

全书内容充实、编排系统合理, 基本涵盖了目前主要的通信网络, 在注重基本概念和基本原理介绍的基础上, 对各种通信网的应用进行了较多的描述。

本书可作为普通高校通信工程、电子信息等专业本科学生的教材或教学参考书, 也可作为电信工程技术人员和管理人员的培训教材, 并可供从事通信、计算机网络工作的工程技术人员阅读参考。

-
- ◆ 主 编 姚 军 毛昕蓉
副 主 编 赵小强 郭芳华
责任编辑 张孟玮
执行编辑 李 召
责任印制 沈 蓉 彭志环
 - ◆ 人民邮电出版社出版发行 北京市丰台区成寿寺路 11 号
邮编 100164 电子邮件 315@ptpress.com.cn
网址 <http://www.ptpress.com.cn>
中国铁道出版社印刷厂印刷
 - ◆ 开本: 787×1092 1/16
印张: 19.5 2016 年 12 月第 2 版
字数: 476 千字 2016 年 12 月北京第 1 次印刷
-

定价: 54.00 元

读者服务热线: (010)81055256 印装质量热线: (010)81055316

反盗版热线: (010)81055315

人类社会进入 21 世纪,信息网络已经成为人们进行信息沟通的基础平台。信息网络正在进入一个高速发展的阶段,信息融合,技术融合,统一的网络平台,以及基于软交换的下一代网络是整个信息网络的发展方向。

本书以通信业务的划分为基础,在介绍不同的通信业务特点的基础上,重点阐述了各种不同通信网络的工作原理及应用,并对信息网络的发展进行了展望。

全书共分 11 章。第 1 章通信网络概论:简单介绍通信网的组成、结构与分类,通信网中的信息处理技术,以及通信网的发展趋势。第 2 章电话通信网:介绍电话通信网的功能及组成,电话网中的信令系统,重点介绍 No.7 信令系统,最后介绍电话通信网开展的业务。第 3 章数字移动通信网:介绍移动通信网的基础知识及 GSM 移动通信网、CDMA 移动通信网,第三、四代移动通信系统的特点及相关技术,并对未来移动通信网的发展进行了展望。第 4 章数字有线电视网:主要介绍有线电视网的组成及其性能指标以及宽带有线电视综合业务数字网的结构、特点以及实施方案。第 5 章数据通信网:主要介绍数据通信网的基本概念、使用的数据交换技术以及常用的几种常用的数据通信网络。第 6 章计算机网络与 Internet:主要介绍计算机网的基本概念及特点,局域网、广域网相关技术,在此基础上对网络互连的概念及技术进行了较详细的描述,最后简单介绍几种网络新技术。第 7 章物联网技术:在介绍物联网基本概念的基础上,对无线传感器网络、云计算、物联网安全等内容进行了阐述。第 8 章信息传输网:主要介绍骨干传输网络中的光纤网络技术,包括 SDH、ONT 光传送网和 WDM,以及微波与卫星通信网。第 9 章宽带 IP 网:主要介绍宽带数据交换技术以及宽带 IP 网络的传输技术。第 10 章用户接入网:主要介绍各种用户接入网的相关知识,包括铜线接入网、光纤接入网以及无线接入网等。第 11 章软交换及下一代网络:在介绍软交换的概念及功能的基础上,对下一代网络的概念、发展趋势以及面临的问题进行较详细的描述。

本书第 1 章、第 2 章、第 4 章、第 5 章、第 6 章和第 9 章由姚军编写,第 8 章、第 10 章(除 10.4.3)由毛昕蓉编写,第 3 章由郭芳华编写,第 7 章及 10.4.3 由赵小强编写,第 11 章由梁宏编写,全书由姚军进行统稿。在本书的编写过程中,得到了 2014 年陕西教育厅服务地方专项计划项目——水质远程分析科学决策智能化环保系统的研制(项目编号:14JF022)的大力支持,在此表示感谢。

由于通信网络技术涉及的知识面广,通信技术发展速度快,加之编者的水平有限,书中难免存在疏漏和不妥之处,敬请读者批评、指正。

编 者

2016 年 12 月

目 录

第 1 章 通信网络概论	1	2.4 电话网业务	40
1.1 通信网的组成与分类	1	练习题	42
1.1.1 通信网的组成	1	第 3 章 数字移动通信网	44
1.1.2 通信网的分类	3	3.1 移动通信概述	44
1.2 通信网中的信息处理技术	4	3.1.1 移动通信的发展	44
1.2.1 信息处理技术	5	3.1.2 我国移动通信的发展状况	46
1.2.2 差错控制技术	6	3.2 GSM 移动通信网	47
1.3 通信网的体系与拓扑结构	7	3.2.1 GSM 系统频率配置	48
1.3.1 通信网的体系结构	7	3.2.2 GSM 系统结构	48
1.3.2 通信网的基本拓扑结构	12	3.2.3 GSM 系统的信道	48
1.4 通信网的发展趋势	14	3.2.4 GSM 系统的帧	50
1.4.1 信息的融合	15	3.2.5 GSM 系统的主要技术	50
1.4.2 技术的融合	15	3.2.6 GSM 通向 3G 的一个重要 里程碑——GPRS	52
1.4.3 基于软交换的下一代网络	16	3.3 CDMA 移动通信网	54
练习题	17	3.3.1 CDMA 系统概述	54
第 2 章 电话通信网	18	3.3.2 IS-95CDMA 系统	55
2.1 电话通信网概述	18	3.3.3 IS-95CDMA 系统的软切换	56
2.1.1 电话通信网的功能要求	18	3.3.4 IS-95CDMA 系统的功率 控制	56
2.1.2 电话通信网的组成	20	3.3.5 CDMA 技术实施中出现的 问题	57
2.2 电话通信网的结构	21	3.4 第三代移动通信系统	57
2.2.1 本地网	22	3.4.1 第三代移动通信系统概述	57
2.2.2 长途电话网	24	3.4.2 WCDMA 移动通信系统	61
2.2.3 我国电话网的结构及演化	27	3.4.3 cdma2000 移动通信系统	63
2.3 信令系统	30	3.4.4 TD-SCDMA	66
2.3.1 概述	30	3.4.5 WiMAX	69
2.3.2 No.7 信令系统	33		
2.3.3 No.7 信令网	35		
2.3.4 我国 No.7 信令网概况	40		

3.5 第四代(4G)移动通信的研究与开发	70	5.4.3 B-ISDN	109
3.5.1 LTE 背景	70	练习题	111
3.5.2 4G 移动通信网中的关键技术	71	第6章 计算机网络与 Internet	112
3.5.3 LTE 无线接入概述	72	6.1 计算机网络概述	112
3.5.4 无线接口架构及传输协议	74	6.1.1 计算机网络的产生与发展	113
3.5.5 LTE 接入过程	75	6.1.2 计算机网络的结构与功能	113
3.5.6 性能评估	76	6.1.3 计算机网络的分类	115
3.6 未来通信网络发展	76	6.2 计算机网络	116
练习题	77	6.2.1 局域网的定义及特点	116
第4章 数字有线电视网	78	6.2.2 IEEE 802 标准	116
4.1 传统 CATV 系统概述	78	6.2.3 以太网	117
4.1.1 传统 CATV 系统的组成	78	6.2.4 交换式局域网	119
4.1.2 传统 CATV 网的特点及不足	79	6.2.5 广域网	122
4.2 HFC 宽带有线电视网	79	6.3 计算机网络间互连	122
4.2.1 概述	79	6.3.1 计算机网络间互连概述	123
4.2.2 HFC 网络结构	80	6.3.2 计算机网络间互连设备	126
4.2.3 HFC 有线电视网前端设备	83	6.4 Internet	131
4.2.4 HFC 网络管理	84	6.4.1 Internet 概述	132
4.2.5 HFC 有线电视网技术参数	85	6.4.2 Internet 上提供的服务	134
4.3 宽带有线电视综合业务网	89	6.4.3 网络安全	139
4.3.1 有线电视双向改造的意义	89	6.5 网络新技术	145
4.3.2 目前常用的双向有线电视网	90	6.5.1 P2P 技术	145
练习题	91	6.5.3 虚拟化	147
第5章 数据通信网	92	练习题	149
5.1 数据通信网概述	92	第7章 物联网技术	150
5.1.1 数据通信的基本概念	92	7.1 物联网的基本概念	150
5.1.2 数据通信系统的性能指标	94	7.1.1 物联网的定义	150
5.2 数据交换技术	95	7.1.2 物联网的发展概况	151
5.3 分组交换网	98	7.1.3 物联网、互联网、泛在网	152
5.3.1 X.25 协议概述	98	7.2 物联网的体系架构	154
5.3.2 X.25 分层协议	98	7.2.1 物联网的框架结构	154
5.3.3 分组交换网的网络结构	101	7.2.2 感知层	156
5.3.4 分组交换网的特点	103	7.2.3 网络层	159
5.3.5 中国分组交换网	104	7.2.4 应用层	160
5.4 其他数据通信网	105	7.3 射频识别(RFID)技术	162
5.4.1 DDN 网	105	7.3.1 RFID 的组成	162
5.4.2 FR	107	7.3.2 RFID 工作原理	163
		7.3.3 RFID 的技术标准	165
		7.4 无线传感网络	166

7.4.1 无线传感网络概述	166	8.6.3 低轨道卫星通信网	218
7.4.2 无线传感网络关键技术	167	8.6.4 宽带多媒体卫星移动通信 系统	220
7.4.3 无线传感网络协议	169	8.7 自由空间激光通信 (FSO)	221
7.5 云计算技术	171	8.7.1 FSO 的特点及发展状况	222
7.5.1 云计算技术概述	171	8.7.2 FSO 的工作原理	225
7.5.2 云计算与物联网	174	8.7.3 FSO 的应用	227
7.6 物联网中间件技术	175	练习题	231
7.6.1 物联网中间件概述	175	第 9 章 宽带 IP 网	232
7.6.2 中间件的系统框架	177	9.1 宽带 IP 网产生的原因	232
7.6.3 中间件的标准	178	9.2 宽带数据交换技术	233
7.7 物联网安全技术	180	9.2.1 IP 交换	233
7.7.1 物联网的安全层次模型及体系 结构	180	9.2.2 标记交换	235
7.7.2 物联网感知层安全	181	9.2.3 多协议标记交换	238
7.7.3 物联网网络层安全	181	9.2.4 弹性分组环	241
7.7.4 物联网应用层安全	182	9.3 宽带 IP 网络的传输技术	243
7.7.5 物联网的安全策略	183	9.3.1 IP Over ATM	243
练习题	187	9.3.2 IP Over SDH	245
第 8 章 信息传输网	188	9.3.3 IP Over DWDM	247
8.1 传输网络的发展与演变	188	练习题	249
8.2 SDH 传送网	190	第 10 章 用户接入网	250
8.2.1 SDH 传送网的网络结构	191	10.1 接入网的定义	250
8.2.2 SDH 自愈网	194	10.2 xDSL 接入网	252
8.3 WDM 光网络	198	10.2.1 高速数字用户线技术	252
8.3.1 WDM 系统优点	198	10.2.2 第二代 HDSL —— HDSL2	253
8.3.2 WDM 系统的构成及标称 波长	200	10.2.3 非对称数字用户线技术	253
8.3.3 WDM 光网络的结构及 应用	202	10.2.4 VoADSL 技术	255
8.4 PTN 分组传送网	204	10.2.5 超高速数字用户线技术	256
8.4.1 PTN 分组传送网关键 技术	204	10.3 光纤接入网	257
8.4.2 PTN 优化演进方案实例	206	10.3.1 光纤接入网概述	257
8.5 ASON 自动交换光网络	208	10.3.2 有源光网络	259
8.5.1 ASON 网络结构	208	10.3.3 无源光网络	259
8.5.2 ASON 网络关键技术	210	10.3.4 光电混合接入网	261
8.6 微波与卫星通信网	216	10.4 无线接入技术	264
8.6.1 数字微波通信网	216	10.4.1 蓝牙无线接入	264
8.6.2 卫星通信网	217	10.4.2 IEEE802.11 连接技术	267
		10.4.3 ZigBee 技术	273
		10.4.4 无线光接入技术	276
		练习题	283

第11章 软交换及下一代网络..... 284

11.1 软交换技术..... 284

11.1.1 软交换技术的基本概念..... 284

11.1.2 软交换技术的网络结构及

功能..... 285

11.1.3 软交换技术的应用及

发展..... 290

11.2 NGN..... 293

11.2.1 NGN的基本概念..... 293

11.2.2 NGN的关键技术..... 294

11.2.3 NGN的演进..... 295

11.3 下一代网络发展趋势..... 299

11.3.1 融合与开放是下一代网络发

展趋势..... 299

11.3.2 基于IMS的固定NGN已经成

为未来发展方向..... 302

11.3.3 下一代网络发展存在的

问题..... 303

练习题..... 304

信息的传递与交换已经成为人类生活的重要组成部分。通信就是将带有信息的信号通过某种方式由发送者向接收者的传递或相互之间的交换。进入 21 世纪以来,以通信技术和计算机技术为基础的网络技术使人类社会发生了巨大的变化。通信已经成为现代社会的三大基础结构(能源、交通、通信)之一。如果将我们这个社会比作人的身体,通信就是我们这个社会机体的神经系统。

什么是通信网呢?为了完成多用户中任意两个用户之间信源与信宿间的通信过程,需要建立一个网络,这个多用户通信系统互连的通信体系称之为通信网。各种通信网承载的业务虽然有不同形式,但所必备的功能都有以下几点。

(1) 信息传输。这是通信网必备的基本功能,通信网中传输的信息种类是各种各样的。

(2) 寻址和路由。在通信网中,信息的传输一般情况下不是由信源直接传输到信宿,而是由中间节点转发完成的。转发的路径有多种选择,就需要通信网必备选择最佳路径的功能。

(3) 差错控制。任何一种通信网向用户提供的业务都有一定的误码率的要求。在实际通信过程中,传输的信号不可避免地受到各种干扰,同时网络设备在使用过程中也会出现各种故障或异常。干扰或设备的非正常工作都会使误码率超过允许的范围,导致服务质量不能满足要求。采用差错控制就可以将误码率控制在通信网允许的范围内,因此这项功能也是通信网不可缺少的。

(4) 网络管理。通信网的正常运行,离不开对网络的管理。网络管理负责网络的运营管理、维护管理以及资源管理,使通信网能够在各种情况下都能提供良好的服务质量,或为查找和排除故障提供帮助。电信管理网(TMN)标准系列和基于 TCP/IP 的简单网络管理协议(SNMP)都是关于网络管理最重要的两大标准。

1.1 通信网的组成与分类

1.1.1 通信网的组成

最简单的通信网就是点对点通信系统。点对点通信模型可抽象为以下几个部分构成,即:信源、信宿、信道、调制发射系统和解调接收系统,如图 1-1 所示。

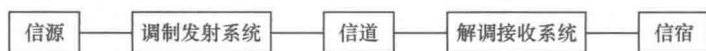


图 1-1 点对点通信模型

(1) 信源：即信息源，是发出信息的基本设施。根据发出的信息不同，信源可以是电话机、传真机、计算机等。

(2) 信宿：即受信者，是信息传输的终点设施。信宿负责将信息转换为相应的消息，可与信源一致，也可不一致。

(3) 信道：即信息的传输介质。通常的情况下，信道的划分标准有以下两种方式。

按传输介质的不同可分为无线信道和有线信道。使电磁信号能够在自由空间传输的信道称为无线信道。例如，我们常说的长波、短波、超短波、微波等。把电磁信号约束在某种有形传输介质上传输的信道称为有线信道，例如，经常使用的各种双绞线、电缆和光缆等。

按传输信号形式的不同可分为模拟信道和数字信道。模拟信道上传送的是模拟信号，主要有音频信号的实线传输和采用频分复用技术的多路传输等方式。数字信道上传输的是数字信号。

(4) 调制发射系统：该系统的任务是将信源产生的基带信号调制成适合在给定信道中传输的信号，然后通过发射系统将信号发射出去。该系统输出的信号在信道传输中具有较强抗干扰能力并且能够实现多路复用。

(5) 解调接收系统：该系统基本任务正好与调制发射系统相反，它是将信道传输中带有噪声和干扰的信号解调成基带信号交给信宿。

点对点通信是通信网的基础形式，实际的通信网应解决任意两个用户间的通信问题。采用点对点方式为任意两个用户提供一条专用的信道是不现实的，因为这样需要提供的链路数将与用户数的平方成正比，在用户数较多时将造成线路的巨大浪费，链路的利用率也是比较低的，整个通信网的性价比将是不能接受的。

在实际的通信网中解决任意两个用户间的通信是通过采用交换技术，引入交换机，设置交换节点来完成的。

交换技术是在通信网中设置交换节点，使用交换机，用户之间不再直接连接，而是与交换机相连。在用户需要通信时，由交换机为他们提供物理或逻辑连接。

综上所述，通信网在硬件上由以下三部分组成。

(1) 终端设备：终端设备是用户与通信网之间的接口设备，它包括图 1-1 所示的信源、信宿与调制发射系统、解调接收系统的一部分。它必须具有以下功能：

- ① 能将发送信号和接收信号进行适当的调制与解调，以适应信道和用户的需要；
- ② 与信道相互匹配的接口；
- ③ 能产生和识别网络信令的信号，以便与网络相互联系、应答。

(2) 传输设备及链路：传输设备及链路是信息的传输通道，是连接网络节点的媒介。它一般包括图 1-1 所示的信道、调制发射系统和解调接收系统的一部分。传输链路是指信号传输的媒介，传输设备是指链路两端相应的变换设备。

(3) 交换设备：交换设备是构成通信网的核心要素，它的基本功能是完成接入交换节点链路的汇集、转接接续和分配，实现一个呼叫终端（用户）和它所要求的另一个或多个用户终端之间的路由选择的连接。各种不同的交换设备完成不同的业务交换，例如电路交换、分组交换等。

交换设备的交换方式可以分为两大类：电路交换方式和存储-转发交换方式。

电路交换方式是指两个终端在相互通信之前,需预先建立起一条实际的物理链路,在通信中自始至终使用该条链路进行信息传输,并且不允许其他终端同时共享该链路;通信结束后再拆除这条物理链路。电路交换方式又分为空分交换方式和时分交换方式。

存储—转发交换方式是以包为单位传输信息的,在用户的信息包到达交换机时,先将信息包存储在交换机的存储器中(内存或外存),当所需要的输出电路有空闲时,再将该信息包发向接收交换机或用户终端。存储—转发交换方式主要包括报文交换方式、分组交换方式和帧中继方式等。

为了使整个通信网协调、正常地工作,除了硬件设备外,通信网还应该包括各种软件:即信令方案、各种通信协议、网络拓扑结构、路由方案、编号方案、资费制度以及质量标准等。

1.1.2 通信网的分类

通信网从不同的角度出发,可以有各种不同的分类。常见的有以下几种。

1. 按功能划分

按照通信网的功能可划分为:

(1) 业务网——用户信息网,是通信网的主体,是向用户提供各种通信业务的网络,例如,电话、电报、数据、图像等;

(2) 信令网——实现网络节点间(包括交换局、网络管理中心等)信令的传输和转接的网络;

(3) 同步网——实现数字设备之间的时钟信号同步的网络;

(4) 管理网——管理网是为提高全网质量和充分利用网络设备而设置,以达到在任何情况下,最大限度地使用网络中一切可以利用的设备,使尽可能多的通信得以实现。

后三种网络又统一称为支撑网,业务网与支撑网之间的关系如图 1-2 所示。

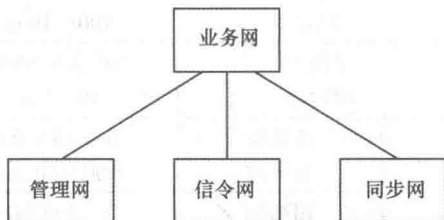


图 1-2 业务网与支撑网之间的关系示意图

2. 按业务类型划分

通信网按业务类型可划分为:

(1) 话音网——传输话音业务的网络,交换方式一般采用电路交换方式;

(2) 数据网——传输数据业务的网络,交换方式一般采用存储—转发交换方式;

(3) 广播电视网——传输广播电视业务的网络,通常采用点对点方式传播。

3. 按服务范围划分

按服务范围划分,通信网可分为本地网、长途网和国际网,或者分为广域网、城域网和局域网。

4. 按所传输的信号形式分

按所传输的信号形式分,通信网可划分为:

- (1) 数字网——网中传输和交换的是数字信号；
- (2) 模拟网——网中传输和交换的是模拟信号。

5. 按传输介质划分

按所采用的传输介质分，通信网可分为：

- (1) 有线通信网——使用双绞线、同轴电缆和光纤等传输信号的通信网；
- (2) 无线通信网——使用无线电波线等在空间传输信号的通信网，根据电磁波波长的不同又可以分为中、长波通信网、短波通信网、微波通信网、卫星通信网等，如表 1-1 所示。

表 1-1 电磁波频段的划分及适用的传输介质

频段及波段名称		频率、波长范围	传输介质	主要用途
极低频 极长波		30~3 000 Hz 10 ⁴ ~100 km	有线线对 极长波无线电	对潜艇通信、矿井通信
甚低频 超长波		3~30 kHz 100~10 km	有线线对 超长波无线电	对潜艇通信、远程无线电通信、远程导航
低频 长波		30~300 kHz 10~1 km	有线线对 长波无线电	中远距离通信、地下通信、矿井无线电导航
中频 中波		300~3 000 kHz 1 000~100 m	同轴电缆 中波无线电	调幅广播、导航、业余无线电
高频 短波		3~30 MHz 100~10 m	同轴电缆 短波无线电	调幅广播、移动通信、军事通信、远距离短波通信
甚高频 超短波		30~300 MHz 10~1 m	同轴电缆 超短波无线电	调幅广播、电视、移动通信、电离层散射通信
微波	特高频 分米波	0.3~3 GHz 100~10 cm	波导 分米波无线电	微波中继、移动通信、空间遥测雷达、电视
	超高频 厘米波	3~30 GHz 10~1 cm	波导 厘米波无线电	雷达、微波中继、卫星与空间通信
	极高频 毫米波	30~300 GHz 10~1 mm	波导 毫米波无线电	雷达、微波中继、射电天文
紫外线、可见光、红外线		10 ⁵ ~10 ⁷ GHz 3~0.03 μm	光纤 激光传播	光通信

6. 按运营方式划分

按运营方式划分，通信网可划分为：

- (1) 公用通信网——由国家电信部门组建的网络，网络内的传输和转接装置可供任何部门使用；
- (2) 专用通信网——某个部门为本系统的特殊业务工作的需要而建造的网络，这种网络不向本系统以外的用户提供服务，即不允许其他部门和单位使用。

1.2 通信网中的信息处理技术

在通信网中，通信的业务具有多样化的特点，需要传输的信息也有多种多样的表现形式，

这些都需要通过信息处理技术来实现,进而提高通信网的有效性和可靠性。现代通信网的一个重要特点是越来越依赖于信号与信息处理技术。

1.2.1 信息处理技术

1. 信源编码

为了减少信源输出符号序列中的剩余度、提高符号的平均信息量,需对信源输出的符号序列施行变换。这些变换的目的是在保证一定通信质量和工程实现复杂度可接受的前提下,尽可能降低传送码率,以提高通信的有效率。

信源编码的基本目的是降低传送码率,提高码字序列中码元的平均信息量,那么,一切旨在减少剩余度而对信源输出符号序列所施行的变换或处理,都可以在这种意义下归入信源编码的范畴,例如过滤、预测、域变换和数据压缩等。当然,这些都是广义的信源编码。

一般来说,减少信源输出符号序列中的剩余度、提高符号平均信息量的基本途径有两个:①使序列中的各个符号尽可能地互相独立;②使序列中各个符号的出现概率尽可能地相等。前者称为解除相关性,后者称为概率均匀化。

信源编码通常按信号性质或按信号处理域的不同来分类。按信号性质分类,有语言信号编码、图像信号编码等。按信号处理域分类,有波形编码(或时域编码)和参量编码(或变换域编码)。常见的脉码调制(PCM)和增量调制(ΔM)等属于波形编码,各种类型的声码器属于参量编码。

在电话信号编码中,可采用基音预测技术进一步压缩比特率;在图像编码中利用相邻帧的相关性进行预测,称为帧间预测技术。这些都是较为有效的预测方法。在高质量信号(如广播节目、录音信号)的传输、录音和转录中,为获得高保真度已采用高比特率编码信号。这比用其他方法简便有效。

信源编码技术随着数字化技术的推广应用已普遍用于通信、测量、计算机应用和自动化系统中。各种比特率的单片集成电路和混合集成电路已得到广泛采用。

2. 信道编码

数字信号在传输中往往由于各种原因,使得在传送的数据流中产生误码。通过信道编码,对数据流进行相应的处理,使系统具有一定的纠错能力和抗干扰能力,可极大地避免码流传送中误码的发生。

提高数据传输效率,降低误码率是信道编码的任务。信道编码的本质是增加通信的可靠性。但信道编码会使有用的信息数据传输减少,信道编码的过程是在源数据码流中加插一些码元,从而达到在接收端进行判错和纠错的目的,这就是我们常常说的开销。在带宽固定的信道中,总的传送码率也是固定的,由于信道编码增加了数据量,其结果只能是以降低传送有用信息码率为代价了。将有用比特数除以总比特数就等于编码效率了,不同的编码方式,其编码效率有所不同。

传统的分组码、卷积码等均已相当成熟并得到广泛应用。克劳德·伯劳 Claude Berrou 等提出的 Turbo 码,因其性能在满足一定的条件下可逼近仙农的理论极限而受到广泛的重视,已公认为是信道编码的重大突破。

Turbo 码的特点是短数据序列分别直接或经交织器输入相应的分量卷积(或分组)编码器,其输出经适当删除和复用后形成并行级联的系统卷积(或分组)码。在接收端通过多级迭代译码,利用每一级译码的输出信息中反映该级硬判决可靠性的估值作为下一级译码的边信息,因此具有相当于长码的纠错性能。Turbo 码已被采纳为欧洲数字广播和 3G cdma2000 辅助业务信道的纠错码标准。Turbo 码与调制、ARQ、多用检测、分集接收等技术的结合,以及 Turbo 码的工程实现,是当前信道编码发展的热点。

Turbo 码的缺点是译码复杂度较高,因而近年来正在开展低密度奇偶校验码(LDPC)的研究,其性能与 Turbo 码相当,但复杂度较低。在信道编码理论方面还将继续开展对代数几何码、阵列编码以及软判决理论和应用的研究。

1.2.2 差错控制技术

差错控制是指当信道的差错率达到一定程度的时候,必须采取用以减少差错的措施及方法。通信过程中的差错大致可分为两类:一类是由热噪声引起的随机性错误;另一类是由突发噪声引起的突发性错误。突发性错误影响局部,而随机性错误影响全局。

通常应付传输差错采取办法如下。

(1) 肯定应答。接收器对收到的帧校验无误后送回肯定应答信号 ACK,发送器收到肯定应答信号后可继续发送后续帧。

(2) 否定应答重发。接收器收到一个帧后经校验发现错误,则送回一个否定应答信号 NAK。发送器必须重新发送出错帧。

(3) 超时重发。发送器发送一个帧时就开始计时。在一定时间间隔内没有收到关于该帧的应答信号,则认为该帧丢失并重新发送。

结合上述方法差错控制可分为三种方式:差错重发(自动请求重发 ARQ)、前向纠错(FEC)以及使用 FEC 和 ARQ 的混合纠错方式。

(1) 差错重发。差错重发又称为自动请求重发(ARQ),它是指发送端信源送出信息序列,一方面经编码器编码由发送机送入信道,另一方面把它存入存储器以备重传。接收端经译码器对接收到的数据进行译码,判断是否有错。如无错,则给出无错信号,经反馈信道送至发送端,同时通知信宿接收译码后的信息序列。如有错,则给出有错信号,经反馈控制器通知信宿拒收信息,并通过反馈信道送至发送端;发送端的信号检测器检测后,控制信源暂时停发新信息,并打开存储器将传输中出错的信息重发一遍;接收端收到重发信息序列后,若判定无错则通知信宿接收此数据,并经反馈信道通知发送端,可以发下一信道序列。发送一信息序列会重复上述过程,直到接收端内译码判定无错为止,如图 1-3 所示。差错重发的

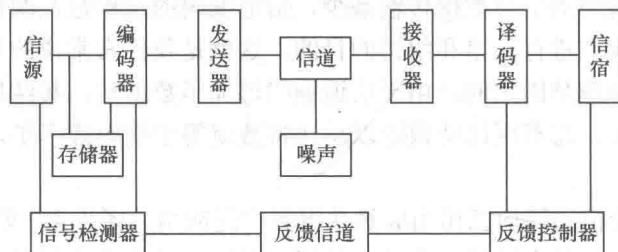


图 1-3 差错重发示意图

特点是需要反馈信道,译码设备简单,在突发错误和信道干扰较严重时有效;但实时性差,这种方式主要应用在计算机数据通信中。

(2) 前向纠错。前向纠错(FEC)又称为自动纠错,它是指在检测端检测到所接收的信息出现误码的情况下,可按一定的算法自动确定发生误码的位置,并自动予以纠正,如图1-4所示。其特点是单向传输,实时性好,但译码设备复杂而且所送纠错码必须与信道干扰情况紧密对应。如果为了纠正较多的错误,需要附加更多的冗余码,导致传输效率的降低。



图 1-4 前向纠错示意图

(3) 混合纠错,混合纠错HEC方式,是FEC和ARQ方式的结合。在此种方式中,当接收端检测到所接收的信息存在差错时,只对其中少量的错误自动进行纠正,而超过纠正能力的差错仍通过反向信道发回信息,要求重发此信息。这种方式具有自动纠错和检错重发的优点,可达到较低的误码率,因此近年来得到广泛应用,但它需要双向信道以及较复杂的译码设备和控制系统。

差错控制技术中的编码又可分为检错码和纠错码。

检错码只能检查出传输中出现的差错,发送端只有重传数据才能纠正差错;而纠错码不仅能检查出差错也能自动纠正差错,避免了重传。

检错码有:奇偶校验码、循环码。

纠错码有:线性分组码、循环码、BCH码、卷积码、比特交织奇偶效验(BIP)码以及Turbo码等。

编码的检错和纠错能力由汉明距离(码的最小距离 $d_{\min}$)决定。通常存在下列几种情况:

- (1) 若要求检测 e 个错码,则 $d_{\min}$ 应满足 $d_{\min} \geq e+1$;
- (2) 若要求能够纠正 t 个错码,则 $d_{\min}$ 应满足 $d_{\min} \geq t+1$;
- (3) 若要求能够纠正 t 个错码,同时检测 e 个错码,则 $d_{\min}$ 应满足 $d_{\min} \geq e+t+1$ 。

1.3 通信网的体系与拓扑结构

通信网是一个庞大的复杂的通信实体,运用一般的概念化的方法对通信网进行整体分析将是非常困难的。因此,对于通信网的分析,一般采用分解合成的方法,并利用分层等概念来表示通信网的理想结构。

通信网的网络体系结构由硬件和软件组成。硬件部分即拓扑结构;而软件部分是有关通信网的规约、协议以及网络管理结构等,也就是我们通常说的通信网的体系结构。

1.3.1 通信网的体系结构

通信网络是由多个互连的网络节点组成的,节点之间要不断地交换数据和控制信息。要

使节点间能够准确无误地传递信息,各个节点都必须遵守一些事先约定好的规约。这些规约精确地规定了所交换信息的格式和时序。为网络信息交换而制定的规则、约定与标准被称为网络协议。一个通信网的网络协议主要由以下3个要素组成:

- (1) 语法,即用户数据与控制信息的结构和格式;
- (2) 语义,即需要发出何种控制信息,以及完成的动作与做出的响应;
- (3) 时序,即对事件实现顺序的详细说明。

网络协议对于通信网络是不可缺少的,一个功能完备的通信网络需要制定一整套复杂的协议集,对于复杂的通信网络协议最好的组织方式就是层次结构模型。通信网层次结构模型和各层协议的集合定义为通信网的网络体系结构。

通信网中采用层次结构,有以下的优点。

- (1) 各层之间相互独立。高层并不需要知道低层是如何实现的,仅需要知道该层通过层间的接口所提供的服务。
 - (2) 各层都可以采用最合适的技术来实现,各层实现技术的改变不影响其他层。
 - (3) 灵活性好。当任何一层发生变化时,只要接口保持不变,则在该层以上或以下各层均不受影响。另外,当某层提供的服务不再需要时,甚至可将这层取消。
 - (4) 易于实现和维护。因为整个系统已被分解为若干个易于处理的部分,这种结构使得一个庞大而又复杂系统的实现和维护变得容易控制。
 - (5) 有利于促进标准化。因为每一层的功能和所提供的服务都已有了精确的说明。
- 整个协议划分为多少层由协议的制定者来确定。确定层次的数量时应考虑以下因素。
- (1) 对协议分的层次应当足够多,从而使得为每一层确定的详细协议不致过分复杂。
 - (2) 层次的数量又不能太多,以防止对层次的描述和综合变得十分困难。
 - (3) 选择合适的界面使得相关的功能集中在同一层内而截然不同的功能分配给不同的层次。希望分层结构中各层之间的互相作用较少,使得某一层次的改变对接口所造成的影响较小。

世界上第一个网络体系结构是 IBM 公司于 1974 年提出的,命名为“系统网络体系结构 SNA”。在此之后,又产生了各种不同的网络体系结构。它们共同的特点是均采用分层技术,但层次的划分、功能的分配与采用的技术术语并不相同。

1. OSI/RM 参考模型

国际标准化组织(International Organization for Standardization, ISO)发布的最著名的标准是 ISO/IEC 7498,又称为 X.200 建议,即“开放系统互连参考模型”(Open Systems Interconnection Reference Model, OSI/RM)。在这一框架下进一步详细规定了每一层的功能,实现开放系统环境中的互连性(interconnection)、互操作性(interoperation)和应用的可移植性(portability)。

开放系统中的“开放”是指只要遵循 OSI/RM 标准,一个系统就可以和位于世界上任何地方的、也遵循这同一标准的其他任何系统进行通信。

OSI/RM 定义了开放系统的层次结构、层次之间的相互关系及各层所包括的可能的服务。它是作为一个框架来协调和组织各层协议的制定,也是对网络内部结构最精炼的概括与描述。

OSI/RM 的服务定义详细地说明了各层所提供的服务。某一层的服务就是该层及其以下

各层的一种能力，它通过接口提供给更高一层。各层所提供的服务与这些服务是怎样实现的无关。同时，各种服务定义还定义了层与层之间的接口和各层所使用的原语，但不涉及接口是怎样实现的。

OSI/RM 标准中的各种协议精确地定义了应当发送什么样的控制信息，以及应当用什么样的过程来解释这个控制信息。

OSI/RM 并没有提供一个可以实现的方法。OSI/RM 只是描述了一些概念，用来协调进程间通信标准的制定。在 OSI/RM 的范围内，只有在各种协议可以被实现，而且各种产品和 OSI 的协议相一致时才能互连。这也就是说，OSI/RM 参考模型并不是一个标准，而只是一个在制定标准时使用的概念性的框架。

OSI/RM 将整个通信过程分为 7 层。划分层次原则是：

- (1) 网络中各节点都有相同的层次；
- (2) 不同节点的同等层具有相同的功能；
- (3) 同一节点内相邻层之间通过接口过渡；
- (4) 每一层使用下一层提供的服务，并向上层提供服务；
- (5) 不同节点的同等层按照协议实现同等层之间的通信。

根据上述原则，OSI/RM 的 7 层分别是：物理层（Physical Layer）、数据链路层（Data Link Layer）、网络层（Network Layer）、传输层（Transport Layer）、会话层（Session Layer）、表示层（Presentation Layer）和应用层（Application Layer），其中下三层与网络连接及网络中继有关，若网络节点是中继节点，则节点只完成 1~3 层的功能。图 1-5 所示各层相对独立，或者说下层对上层屏蔽了所有的细节，从而使得分配到各层的任务能够独立实现。这样当其中一层提供的实现细节变化时，不会影响其他层。

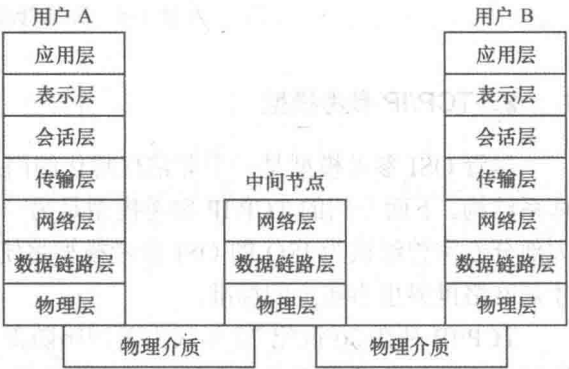


图 1-5 OSI/RM 结构示意图

应用 OSI/RM 传输信息时，在发送端从高到低依次将数据传递给各层进行处理。传输的数据由数据单元信息分组加报头（控制信息）构成，称为协议数据单元（Protocol Data Unit, PDU）。不同的协议层都有自己的协议数据单元。报头可使接收端借助报头来同步和检错。OSI 参考模型结构中除物理层外，其余 6 层都加有控制信息（应用层可为空），数据链路层还可能加一个帧尾。每一层从上层接收到一个数据单元，作为本层数据单元的数据部分，再加上本层的附加控制信息后，传给下一层。通信双方的同层利用其报头进行收发。邻层间相互不干扰。

在接收端，数据以相反的方向，从低层依次交给高层，直至应用层。在处理中以此去除发送端对应层添加的报文头。OSI/RM 传输过程中数据单元变化如图 1-6 所示。

在使用 OSI/RM 时，数据是垂直传输的，即在发送端，数据从发送进程依次向下传递，直到物理层；在接收端数据从物理层依次向上传递直到发送进程。但是在编程的时候却好像数据是在作水平传输。其中需要注意的一个细节是：由高层传来的协议数据单元，也许还会