

中国通信学会普通高等教育「十二五」规划教材立项项目

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

现代通信网

姚军 毛昕蓉 主编

郭芳华 代新冠 副主编

Modern Communication Networks



精品系列



人民邮电出版社
POSTS & TELECOM PRESS

中国通信学会普通高等教育『十二五』规划教材立项项目

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

现代通信网

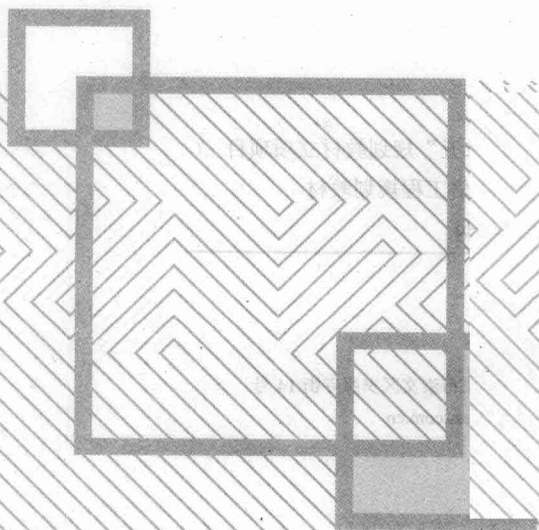
姚军 毛昕蓉 主编

郭芳华 代新冠 副主编

主要内容

本书主要介绍现代通信网的基本概念、组成、分类、应用及发展趋势。全书共分10章，第1章介绍通信网的发展概况；第2章介绍通信网的组成；第3章介绍通信网的分类；第4章介绍通信网的应用；第5章介绍通信网的发展趋势；第6章介绍通信网的规划与设计；第7章介绍通信网的维护与管理；第8章介绍通信网的安全与保密；第9章介绍通信网的标准化；第10章介绍通信网的未来展望。

Modern Communication Networks



人民邮电出版社

北京



精品系列

图书在版编目(CIP)数据

现代通信网 / 姚军, 毛昕蓉主编. — 北京: 人民
邮电出版社, 2010.9
21世纪高等院校信息与通信工程规划教材
ISBN 978-7-115-23309-7

I. ①现… II. ①姚… ②毛… III. ①通信网—高等
学校—教材 IV. ①TN915

中国版本图书馆CIP数据核字(2010)第132713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、宽带综合业务数字网、移动通信网、数字有线电视网、数据通信网、计算机网络与Internet以及信息传输网、宽带IP网、用户接入网等各种通信网络,最后落脚在今后通信网络发展的方向——下一代通信网。

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、电信、电子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和从事通信、计算机网络工作的工程技术人员的参考书。

中国通信学会普通高等教育“十二五”规划教材立项项目

21世纪高等院校信息与通信工程规划教材

现代通信网

- ◆ 主 编 姚 军 毛昕蓉
- ◆ 副 主 编 郭芳华 代新冠
责任编辑 蒋 亮
- ◆ 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>
北京艺辉印刷有限公司印刷
- ◆ 开本: 787×1092 1/16
印张: 21 2010年9月第1版
字数: 513千字 2010年9月北京第1次印刷

ISBN 978-7-115-23309-7

定价: 36.00元

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

人类社会进入 21 世纪，通信网络已经成为人们进行信息沟通的基础平台。通信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通信网络的发展方向。

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，并对通信网络的发展进行了展望。

全书共分 11 章。第 1 章通信网概述：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 章宽带综合业务数字网：介绍 ATM 技术的原理，在此基础上对宽带综合业务数字网进行描述。第 4 章移动通信网：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 5 章有线电视网：主要介绍两方面的内容：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 6 章数据通信网：主要介绍数据通信网中常用的几种通信网络，包括 X.25 网、帧中继网以及 DDN。第 7 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 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：主要介绍两方面的内容：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 7 章、第 9 章由姚军编写，第 8 章、第 10 章由毛昕蓉编写，第 4 章由郭芳华编写，第 3 章、第 5 章、第 6 章由代新冠编写，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，朱晓蒙、石伟作了大量辅助性工作，在此表示感谢。

由于通信网络技术涉及的知识面广，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
2010年7月

目 录

第 1 章 通信网络概论	1	3.1.1 N-ISDN 概述	48
1.1 通信网的组成与分类	1	3.1.2 B-ISDN 与 ATM 概述	49
1.1.1 通信网的组成	1	3.2 ATM 基本原理	50
1.1.2 通信网的分类	3	3.2.1 ATM 信元	50
1.2 通信网中的信息处理技术	4	3.2.2 异步时分复用技术	51
1.2.1 信息处理技术	5	3.2.3 面向连接的工作方式	52
1.2.2 差错控制技术	6	3.3 ATM 交换技术	53
1.3 通信网的体系与拓扑结构	7	3.3.1 ATM 交换原理	53
1.3.1 通信网的体系结构	7	3.3.2 ATM 交换系统	54
1.3.2 通信网的基本拓扑结构	12	3.3.3 ATM 网络组成和接口	57
1.4 通信网的发展趋势	14	3.3.4 ATM 呼叫控制信令	58
1.4.1 信息的融合	15	3.4 宽带综合业务数字网	68
1.4.2 技术的融合	15	3.4.1 B-ISDN 协议参考模型	68
1.4.3 基于软交换的下一代网络	16	3.4.2 B-ISDN 业务	75
练习题	17	练习题	76
第 2 章 电话通信网	18	第 4 章 数字移动通信网	77
2.1 电话通信网概述	18	4.1 移动通信概述	77
2.1.1 电话通信网的功能要求	18	4.1.1 移动通信的发展历程	77
2.1.2 电话通信网的组成	20	4.1.2 无线传播环境	81
2.2 电话通信网的结构	21	4.1.3 多址技术	82
2.2.1 本地网	21	4.1.4 抗衰落技术	82
2.2.2 长途电话网	25	4.1.5 数字蜂窝移动通信系统 组网技术	84
2.2.3 我国电话网的结构及演化	28	4.2 GSM 移动通信网	87
2.3 信令系统	31	4.2.1 GSM 系统频率配置	88
2.3.1 概述	31	4.2.2 GSM 系统结构	88
2.3.2 No.7 信令系统	35	4.2.3 无线空中接口	90
2.3.3 No.7 信令网	39	4.2.4 GSM 系统的信道	90
2.3.4 我国 No.7 信令网概况	44	4.2.5 GSM 系统的帧	91
2.4 电话网业务	45	4.2.6 GSM 网络编号计划	92
练习题	47	4.2.7 GSM 系统的呼叫过程	94
第 3 章 宽带综合业务数字网	48	4.2.8 GSM 系统的移动性管理	96
3.1 ATM 与 B-ISDN 的产生和发展	48	4.2.9 GSM 的安全性管理	97

4.2.10 GSM 通向 3G 的一个重要里程碑——通用分组无线业务	98	5.3.2 接入网双向改造方案比较	131
4.3 CDMA 移动通信网	101	5.3.3 Cable Modem 双向有线电视网	133
4.3.1 CDMA 网络结构	102	练习題	138
4.3.2 CDMA 的信道	103	第 6 章 数据通信网	139
4.3.3 CDMA 系统的管理和控制	104	6.1 数据通信网概述	139
4.3.4 CDMA 技术实施中出现的问题	105	6.1.1 数据通信的基本概念	139
4.4 第三代移动通信系统	105	6.1.2 数据通信系统的性能指标	141
4.4.1 第三代移动通信系统概述	105	6.2 数据通信网	142
4.4.2 WCDMA 移动通信系统	107	6.3 分组交换网	144
4.4.3 cdma 2000 移动通信系统	109	6.3.1 X.25 协议概述	145
4.4.4 TD-SCDMA	111	6.3.2 X.25 分层协议	145
4.4.5 WiMAX	113	6.3.3 分组交换网网络结构	148
4.4.6 3G 业务	113	6.3.4 分组交换网的特点	150
4.4.7 2G 到 3G 的演进策略	114	6.3.5 中国分组交换网	150
4.5 移动通信的展望	115	6.4 数字数据网	152
4.5.1 个人通信的概念	115	6.4.1 数字数据网概述	152
4.5.2 关于个人通信的国际标准和研究进展	115	6.4.2 DDN 支持的业务	153
4.5.3 超(后)三代(B3G)或第四代(4G)移动通信的研究和开发	116	6.4.3 用户入网方式	153
4.5.4 3G 长期演进计划	118	6.5 帧中继	154
练习題	118	6.5.1 帧中继与 X.25 的比较	154
第 5 章 数字有线电视网	119	6.5.2 LAPF 帧格式	155
5.1 传统 CATV 系统概述	119	6.5.3 帧中继的虚电路	156
5.1.1 传统 CATV 系统的组成	119	6.5.4 帧中继应用	156
5.1.2 传统 CATV 网的特点及不足	120	练习題	156
5.2 HFC 宽带有线电视网	120	第 7 章 计算机网络与 Internet	157
5.2.1 概述	120	7.1 计算机网络概述	157
5.2.2 HFC 网络结构	121	7.1.1 计算机网络的产生与发展	158
5.2.3 HFC 有线电视网前端设备	123	7.1.2 计算机网络的结构与功能	158
5.2.4 HFC 网络管理	125	7.1.3 计算机网络的分类	160
5.2.5 HFC 有线电视网技术参数	126	7.2 计算机网络	161
5.3 宽带有线电视综合业务网	130	7.2.1 局域网的定义及特点	161
5.3.1 有线电视双向改造的意义	130	7.2.2 IEEE 802 标准	161
		7.2.3 以太网	163
		7.2.4 交换式局域网	164
		7.2.5 广域网	167
		7.3 计算机网络间互连	168

7.3.1 计算机网络间互连概述	168	练习题	247
7.3.2 计算机网络间互连设备	171	第9章 宽带IP网	248
7.4 Internet	177	9.1 宽带IP网产生的原因	248
7.4.1 Internet 概述	177	9.2 宽带数据交换技术	249
7.4.2 Internet 上提供的服务	179	9.2.1 IP 交换	249
7.4.3 网络安全	184	9.2.2 标记交换	251
7.5 网络新技术	191	9.2.3 多协议标记交换	254
7.5.1 P2P 技术	191	9.2.4 弹性分组环	257
7.5.2 IPv6	193	9.3 宽带IP网络的传输技术	259
7.5.3 网格技术	196	9.3.1 IP Over ATM	259
练习题	198	9.3.2 IP Over SDH	261
第8章 信息传输网	200	9.3.3 IP Over DWDM	263
8.1 传输网络的发展与演变	200	练习题	264
8.2 SDH 传送网	202	第10章 用户接入网	266
8.2.1 SDH 传送网的功能结构	203	10.1 接入网的定义	266
8.2.2 SDH 网的物理拓扑	209	10.2 接入网的功能结构	267
8.2.3 SDH 自愈网	213	10.3 铜线接入网	270
8.3 波分复用光网络	222	10.3.1 xDSL 接入	270
8.3.1 WDM 系统优点	223	10.3.2 Cable Modem 接入	275
8.3.2 WDM 光网络的构成	224	10.3.3 泄漏电缆接入	279
8.3.3 WDM 光网络的标称波长	226	10.4 光纤接入网	283
8.3.4 WDM 光网络的管理技术	226	10.4.1 光纤接入网概述	283
8.4 光传送网	229	10.4.2 有源光网络	285
8.4.1 光传送网的分层结构	230	10.4.3 无源光网络	285
8.4.2 光交叉连接节点的结构	231	10.4.4 光电混合接入网	287
8.4.3 光分插复用器的结构	233	10.4.5 光纤到家	290
8.5 分组传送网	234	10.5 无线接入技术	291
8.5.1 分组传送网关键技术	235	10.5.1 蓝牙无线接入	291
8.5.2 PTN 优化演进方案实例	237	10.5.2 家庭网络的 HomeRF	295
8.6 微波与卫星通信网	239	10.5.3 IEEE802.11 连接技术	297
8.6.1 数字微波通信网	239	练习题	302
8.6.2 卫星通信网	240	第11章 软交换及下一代网络	304
8.6.3 VSAT 卫星通信网	241	11.1 软交换技术	304
8.6.4 低轨道卫星通信网	244	11.1.1 软交换技术的基本概念	304
8.6.5 宽带多媒体卫星移动通信系统	246	11.1.2 软交换技术的网络结构及功能	305

11.1.3 软交换技术的应用及 发展	310	11.3.1 融合与开放是下一代网络 发展趋势	321
11.2 NGN	313	11.3.2 基于 IMS 的固定 NGN 已经 成为未来发展方向	324
11.2.1 NGN 的基本概念	313	11.3.3 下一代网络发展存在的 问题	325
11.2.2 NGN 的关键技术	313	练习题	327
11.2.3 NGN 的演进	314		
11.3 下一代网络发展趋势	321		

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的形式,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。

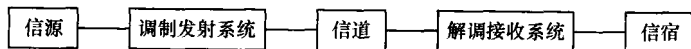


图 1-1 点对点通信模型

(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,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。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。如果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、散射和卫星信道等。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，它包括如图 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。它一般包括如图 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,是当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、正常的工作,除了硬件设备外,通信网还应该包括各种软件,主要有: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。

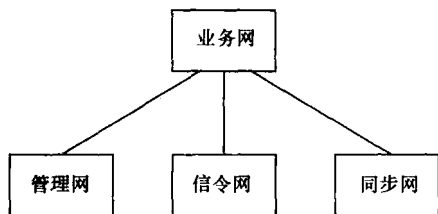


图 1-2 业务网与支撑网之间的关系示意图

2. 按业务类型划分

通信网按业务类型可划分为:

(1) 电话网——传输电话业务的网络,交换方式一般采用电路交换方式;

(2) 电报网——传输电报业务的网络;

(3) 传真网——传输传真业务的网络;

(4) 广播电视网——传输广播电视业务的网络;

(5) 数据通信网——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. 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、短波通信、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	30~3000Hz 10 ⁴ ~100km	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	3~30kHz 100~10km	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	30~300kHz 10~1km	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	300~3000kHz 1000~100m	同轴电缆 中波无线电	调幅广播、导航、业余无线电	
高频 短波	3~30MHz 100~10m	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	30~300MHz 10~1m	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	0.3~3GHz 100~10cm	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	3~30GHz 10~1cm	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	30~300GHz 10~1mm	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 3~0.03μm	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——由国家邮电部门组建的网络，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人提供服务，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

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,有语言信号编码、图像信号编码等。按信号处理域分,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,从而使接收端产生图像跳跃、不连续、出现马赛克等现象。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。C.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 码的扩展和进一步完善，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时，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；另一类是由冲突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。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。

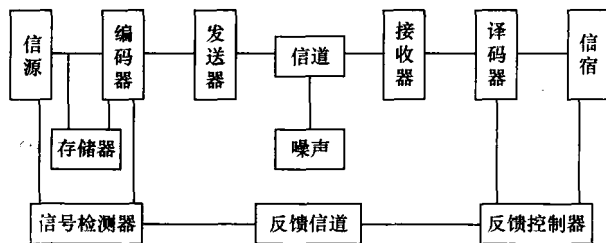


图 1-3 差错重发示意图

(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。

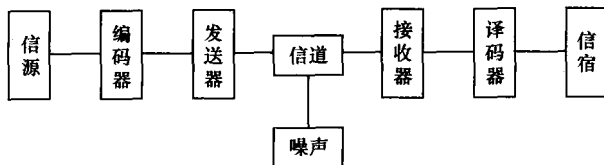


图 1-4 前向纠错示意图

(3) 混合纠错, 混合纠错方式记作 HEC, 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、比特交织奇偶校验 (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_0) 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。因为整个的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地概括与描述。

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的所使用的原语，但不涉及接