



信息通信专业教材系列

现代通信网

XIANDAI TONGXIN WANG

(第3版)

毛京丽 董跃武 编 著



北京邮电大学出版社
www.buptpress.com

信息通信专业教材系列

现代通信网

(第3版)

毛京丽 董跃武 编著



北京邮电大学出版社
[www. buptpress. com](http://www.buptpress.com)

内 容 简 介

本书在论述了通信网基本概念的基础上,全面地介绍了各种现代通信网技术,主要包括电话通信网、ATM网、基于IP的通信网、接入网、电信支撑网(包括No.7信令网、数字同步网和电信管理网);然后研究了通信网设计基础及通信网的规划设计;继而分析了软交换和下一代网络,最后探讨了三网融合问题。

全书共有10章:第1章概述,第2章电话通信网,第3章ATM网,第4章基于IP的通信网,第5章接入网,第6章电信支撑网,第7章通信网设计基础,第8章通信网规划,第9章下一代网络及软交换技术,第10章三网融合。

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学习参考书。

图书在版编目(CIP)数据

现代通信网 / 毛京丽, 董跃武编著. — 3版. — 北京: 北京邮电大学出版社, 2013.5

ISBN 978-7-5635-3489-0

I. ①现… II. ①毛…②董… III. ①通信网 IV. ①TN915

中国版本图书馆CIP数据核字 (2013) 第 017 215 号



书 名: 现代通信网(第3版)

著作责任者: 毛京丽 董跃武 编著

责任编辑: 李欣一

出版发行: 北京邮电大学出版社

社 址: 北京市海淀区西土城路10号(100876)

发行部: 电话: 010-62282185 传真: 010-62283578

E-mail: publish@bupt.edu.cn

经 销: 各地新华书店

印 刷: 北京鑫丰华彩印有限公司

开 本: 787 mm×960 mm 1/16

印 张: 27

字 数: 589千字

印 数: 1—3000册

版 次: 1999年7月第1版 2007年6月第2版 2013年5月第3版 2013年5月第1次印刷

ISBN 978-7-5635-3489-0

定价: 49.00元

• 如有印装质量问题,请与北京邮电大学出版社发行部联系 •

前 言

随着社会的不断进步、经济的飞速发展,人们已经进入信息化社会,因而对信息服务的要求会不断提高。为了满足人类对通信的需求,通信网不但要在容量和规模上逐步扩大,还要不断扩充其功能,发展新业务,由此各种现代通信网技术应运而生。

本书在简要阐述通信网基本理论的基础上,侧重于讨论和研究有关通信网的基本技术方面的问题。

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更强,在章节结构上进行了一些调整;同时为了使本教材更加实用、跟踪新技术,增加了一些新内容,具体为:在第1章增加了现代通信网的基础技术;在电话通信网一章中增加了移动电话通信网的内容;原宽带IP城域网一章改为基于IP的通信网,内容更丰富;另外增加了三网融合的探讨。

相比于第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10章。

第1章概述,简单介绍了通信网的定义、构成要素、分类、通信网的几种基本结构及各自的特点、现代通信网的构成、现代通信网的基础技术及发展趋势。

第2章电话通信网,首先介绍了电话通信网的基本概念,然后分别阐述了固定电话通信网和移动电话通信网的相关内容。

第3章ATM,主要介绍了B-ISDN、ATM基本概念、ATM网的网络结构、ATM标准、ATM交换及多协议标签交换(MPLS)。

第4章基于IP的通信网,首先给出了IP网络的基本概念,然后分别介绍了以太网和宽带IP城域网,最后讨论了路由器及IP网的路由选择协议。

第5章接入网,主要介绍了接入网的基本概念、几种常用的有线接入网(包括铜线接入网、光纤接入网、混合光纤/同轴接入网)和无线接入网(包括固定无线接入网、移动无

线接入网等)。

第6章电信支撑网,主要介绍了No.7信令网、数字同步网和电信管理网的基本概念及其相关内容。

第7章通信网络设计基础,主要介绍了两方面的内容:一是进行网络结构设计必备的图论基本概念和网络结构优化基本知识——最短路径算法和站址选择;二是进行网络流量设计必备的排队论基础知识及一些网络性能指标的计算。

第8章通信网规划设计,在介绍了通信网络规划概述的基础上,分析了通信业务预测的方法,然后详细论述了固定电话网、传输网、接入网和No.7信令网的规划与设计。

第9章下一代网络及软交换技术,首先介绍了下一代网络(NGN)的基本概念和特点、体系结构等,然后阐述了软交换技术的基本概念、软交换系统支持的协议及软交换网关的作用。

第10章三网融合,首先探讨了三网融合的意义及发展前景,接着研究了三网融合接入网关键技术及承载网关键技术。

本书第1~5章、第7章和第10章由毛京丽编写,第6、8、9章由董跃武编写。

本书在编写过程中,得到了勾学荣和李文海教授的指导以及柴炜晨、徐明、陈全、徐鹏、贺雅璇、黄秋钧、魏东红、齐开诚、夏之斌、胡凌霄、高阳等的帮助,在此表示感谢!

另外,本书参考了一些相关的文献,从中受益匪浅,在此对这些文献的著作者表示深深的感谢!

由于编者水平有限,若书中存在缺点和错误,恳请专家和读者指正。

编 者

2013年3月

目 录

第 1 章 概述	1
1.1 通信网的基本概念	1
1.1.1 通信系统的组成	1
1.1.2 通信网的概念及构成要素	3
1.1.3 通信网的分类	5
1.1.4 通信网的基本结构	6
1.2 通信网的质量要求	9
1.3 现代通信网的构成	9
1.3.1 业务网	10
1.3.2 支撑网	10
1.4 现代通信网的基础技术	11
1.4.1 交换技术	11
1.4.2 传输技术	16
1.5 现代通信网的发展趋势	29
小结	31
习题	32
第 2 章 电话通信网	33
2.1 电话通信网的基本概念	33
2.1.1 电话通信网的基本构成	33
2.1.2 对电话通信网的质量要求	34

2.1.3 电话通信网的分类	34
2.2 固定电话通信网	35
2.2.1 固定电话网的等级结构	35
2.2.2 长途网	36
2.2.3 本地网	38
2.2.4 固定电话通信网的路由选择	41
2.3 移动电话通信网	47
2.3.1 移动电话通信的特点	47
2.3.2 移动电话通信网的分类	48
2.3.3 移动电话通信系统的组成	49
2.3.4 数字移动电话通信网结构	51
小结	53
习题	55
第3章 ATM网	56
3.1 宽带 ISDN(B-ISDN)	56
3.1.1 窄带 ISDN(N-ISDN)	56
3.1.2 B-ISDN 的概念	58
3.1.3 B-ISDN 的业务	58
3.1.4 B-ISDN 的信息传递方式	60
3.2 ATM 基本概念	62
3.2.1 ATM 的概念	62
3.2.2 ATM 的特点	64
3.2.3 ATM 的虚连接	65
3.3 ATM 网的网络结构	69
3.3.1 ATM 网络结构	69
3.3.2 B-ISDN 用户-网络接口	70
3.4 ATM 标准	73
3.4.1 CCIT(ITU-T)关于 B-ISDN 的建议	73
3.4.2 B-ISDN(ATM)协议参考模型	73
3.4.3 ATM 物理层规范	75
3.4.4 ATM 层规范	81
3.4.5 AAL 层规范(用户平面的 AAL 层规范)	82
3.5 ATM 交换	84

3.5.1 ATM 交换的特点	84
3.5.2 ATM 交换的基本原理	84
3.5.3 ATM 交换机的分类与组成	85
3.5.4 ATM 交换的缓冲排队方式	87
3.5.5 ATM 交换结构	89
3.6 多协议标签交换	89
3.6.1 MPLS 的概念	89
3.6.2 MPLS 网的组成及作用	89
3.6.3 MPLS 的原理	90
3.6.4 转发等价类	91
3.6.5 MPLS 数据报的格式	92
3.6.6 MPLS 的技术特点及优势	94
小结	94
习题	97
第 4 章 基于 IP 的通信网	98
4.1 IP 网络的基本概念	98
4.1.1 IP 网络的概念及特点	98
4.1.2 TCP/IP 参考模型	99
4.2 以太网	104
4.2.1 传统以太网	104
4.2.2 高速以太网	111
4.2.3 交换式以太网	116
4.3 宽带 IP 城域网	119
4.3.1 宽带 IP 城域网基本概念	119
4.3.2 宽带 IP 城域网的分层结构	120
4.3.3 宽带 IP 城域网的骨干传输技术	123
4.4 路由器及 IP 网的路由选择协议	128
4.4.1 路由器	129
4.4.2 IP 网的路由选择协议	134
小结	148
习题	151

第5章 接入网	153
5.1 接入网概述	153
5.1.1 接入网的定义与接口	153
5.1.2 接入网的功能模型	155
5.1.3 接入网的分类	157
5.1.4 接入网支持的接入业务类型	158
5.2 铜线接入网	159
5.2.1 不对称数字用户线接入技术	159
5.2.2 甚高速数字用户线接入技术	167
5.3 HFC 接入网	170
5.3.1 混合光纤/同轴电缆网的概念	170
5.3.2 HFC 的网络结构	171
5.3.3 HFC 网的工作过程	173
5.3.4 HFC 网络双向传输的实现	173
5.3.5 HFC 的优缺点	175
5.4 以太网接入技术	176
5.4.1 以太网接入的概念	176
5.4.2 以太网接入的网络结构	176
5.4.3 以太网接入的优缺点	177
5.5 光纤接入网	178
5.5.1 光纤接入网基本概念	178
5.5.2 ATM 无源光网络	187
5.5.3 以太网无源光网络	188
5.5.4 吉比特无源光网络	195
5.6 无线接入网	199
5.6.1 无线接入网的概念及分类	199
5.6.2 本地多点分配业务系统	200
5.6.3 无线局域网	202
5.6.4 微波存取全球互通系统	214
小结	219
习题	223

第 6 章 电信支撑网	225
6.1 No. 7 信令网	225
6.1.1 信令的概念及分类	225
6.1.2 No. 7 信令简介	227
6.1.3 No. 7 信令网的组成与网络结构	228
6.1.4 我国 No. 7 信令网的结构与组网	234
6.2 数字同步网	237
6.2.1 同步网概述	237
6.2.2 同步网的同步方式	239
6.2.3 同步网中的时钟源	241
6.2.4 我国同步网的结构和组网原则	244
6.3 电信管理网	247
6.3.1 电信管理网的基本概念	247
6.3.2 电信管理网的体系结构	250
6.3.3 电信管理网的逻辑模型	253
6.3.4 我国电信管理网概述	255
小结	256
习题	259
第 7 章 通信网络设计基础	261
7.1 通信网络结构设计基础	261
7.1.1 图论基础知识	261
7.1.2 最短路径	271
7.1.3 站址选择	279
7.2 网络流量设计基础	283
7.2.1 排队论基本概念	284
7.2.2 $M/M/1$ 排队系统	289
7.2.3 $M/M/m/n$ 排队系统	292
7.2.4 排队论在通信网中的应用	292
小结	296
习题	299

第8章 通信网络规划	301
8.1 通信网络规划概述	301
8.1.1 通信网络规划的基本概念	301
8.1.2 通信网络规划的任务和步骤	303
8.1.3 通信网络规划的内容	304
8.2 通信业务预测	305
8.2.1 通信业务预测的基本概念	305
8.2.2 直观预测法	306
8.2.3 时间序列分析法	307
8.3 固定电话网规划	316
8.3.1 概述	316
8.3.2 电话业务预测	319
8.3.3 本地网规划	321
8.4 传输网规划	334
8.4.1 电路数量的一般计算方法	334
8.4.2 传输网络的生存性	335
8.4.3 本地 SDH 传输网设计实例	337
8.5 接入网规划	345
8.5.1 接入网规划的内容	346
8.5.2 接入网规划的原则和流程	346
8.5.3 接入网的网络组织	347
8.5.4 SDH 技术在接入网中的应用	349
8.6 No.7 信令网规划	352
8.6.1 No.7 信令网规划的内容	352
8.6.2 No.7 信令网规划的原则	352
8.6.3 信令链路的计算	353
小结	356
习题	358
第9章 下一代网络及软交换技术	360
9.1 下一代网络概述	360
9.1.1 NGN 的基本概念和特点	360
9.1.2 NGN 的体系结构	362

9.1.3 NGN 的关键技术	365
9.1.4 NGN 的演进路线	367
9.2 软交换技术概述	369
9.2.1 软交换的概念	369
9.2.2 软交换的主要特点	370
9.2.3 软交换系统架构	371
9.2.4 软交换系统功能	373
9.2.5 软交换与其他网络的互通	374
9.3 软交换系统支持的协议	377
9.4 软交换网关	381
9.4.1 网关概述	381
9.4.2 信令网关	383
9.4.3 媒体网关	385
小结	390
习题	393
第 10 章 三网融合	394
10.1 三网融合的意义及发展	394
10.1.1 三网融合的意义	394
10.1.2 我国三网融合的发展历程	396
10.1.3 三网融合面临的问题及发展趋势	397
10.2 三网融合接入网关键技术	398
10.2.1 三网融合对宽带接入网的需求	398
10.2.2 三网融合下的宽带接入技术	399
10.3 三网融合承载网关键技术	401
10.3.1 三网融合对承载网的总体要求	401
10.3.2 IP 网络技术	403
10.3.3 光传送网技术	407
10.3.4 内容分发网络技术	410
10.3.5 三网融合承载网建设方案	411
小结	414
习题	416
参考文献	417

第1章 概 述

随着社会的不断进步、经济的飞速发展,信息传输越来越重要,通信网也就与人们的生活密不可分。本章对通信网作概要的介绍,主要包括以下几方面的内容:

- 通信网的基本概念;
- 通信网的质量要求;
- 现代通信网的构成;
- 现代通信网的基础技术;
- 现代通信网的发展趋势。

1.1 通信网的基本概念

1.1.1 通信系统的组成

为了引出通信网的概念,首先简单介绍一下通信系统。

1. 通信系统的定义

所谓通信系统就是用电信号(或光信号)传递信息的系统,也叫电信系统。

2. 通信系统的分类

通信系统可以从不同的角度来分类:

(1) 按通信业务分类

如果按通信业务的不同,通信系统可以分为电话、电报、传真、广播电视、数据通信系统等。

(2) 按传输的信号形式分类

若按信道中传输的信号形式不同,通信系统可以分为模拟通信系统和数字通信系统等。

3. 通信系统的组成

通信系统构成模型如图 1-1 所示,其基本组成包括:信源、变换器、信道、噪声源、反变换器及信宿几个部分。

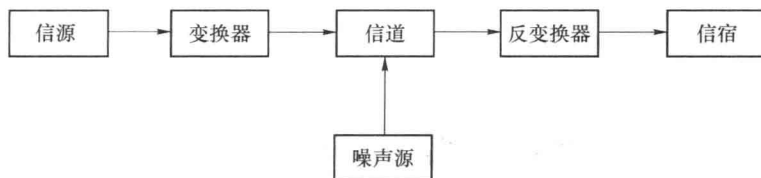


图 1-1 通信系统构成模型

(1) 信源

信源是指产生各种信息(如语音、文字、图像及数据等)的信息源,可以是人,也可以是机器,如计算机等。

(2) 变换器

变换器的作用是将信源发出的信息变换成适合在信道中传输的信号。对应不同的信源和不同的通信系统,变换器有不同的组成和变换功能。例如,对于数字电话通信系统,变换器包括送话器和模/数变换器等,模/数变换器的作用是将送话器输出的模拟话音信号经过模/数变换并时分复用等处理后,变换成适合于在数字信道中传输的信号。

(3) 信道

信道是信号的传输媒介。信道按传输介质的种类可以分为有线信道和无线信道。在有线信道中电磁信号(或光信号)约束在某种传输线(电缆、光缆等)上传输;在无线信道中电磁信号沿空间(大气层、对流层、电离层等)传输。信道如果按传输信号的形式又可以分为模拟信道和数字信道。

(4) 反变换器

反变换器的作用是将信道上接收的信号变换成信息接收者可以接收的信息。反变换器的作用与变换器正好相反,起着还原的作用。

(5) 信宿

信宿是信息的接收者,可以是人或计算机。

(6) 噪声源

噪声源是系统内各种干扰影响的等效结果,系统的噪声来自各个部分,从发出和接收信息的周围环境、各种设备的电子器件,到信道所受到的外部电磁场干扰,都会对信号形成噪声影响。为了分析问题方便,将系统内所存在的干扰均折合到信道中,用噪声源表示。

以上所述的通信系统只能实现两用户间的单向通信,要实现双向通信还需要另一个

通信系统完成相反方向的信息传送工作。而要实现多用户间的通信,则需要将多个通信系统有机地组成一个整体,使它们能协同工作,即形成通信网。

多用户间的相互通信,最简单的方法是在任意两用户之间均有线路相连,但由于用户众多,这种方法不但会造成线路的巨大浪费,而且也是不可能实现的。为了解决这个问题,引入了交换机,即每个用户都通过用户线与交换机相连,任何用户间的通信都要经过交换机的转接交换。由此可见,图 1-1 所示的是两个用户间的专线系统模型,而实际中一般使用的通信系统则是由多级交换的通信网提供信道。

1.1.2 通信网的概念及构成要素

1. 通信网的概念

综上所述,可以得出通信网的定义为:通信网是由一定数量的节点(包括终端设备和交换设备)和连接节点的传输链路相互有机地组合在一起,以实现两个或多个规定点间信息传输的通信体系。

也就是说,通信网是由相互依存、相互制约的许多要素组成的有机整体,用以完成规定的功能。通信网的功能就是要适应用户呼叫的需要,以用户满意的程度传输网内任意两个或多个用户之间的信息。

2. 通信网的构成要素

由通信网的定义可以看出:通信网在硬件设备方面的构成要素是终端设备、传输链路和交换设备。为了使全网协调合理地工作,还要有各种规定,如信令方案、各种协议、网络结构、路由方案、编号方案、资费制度与质量标准等,这些均属于软件。即一个完整的通信网除了包括硬件以外,还要有相应的软件。下面重点介绍构成通信网的硬件设备。

(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 的信源、信宿与变换器、反变换器的一部分。终端设备的功能有三个:

- 将待传送的信息和在传输链路上传送的信号进行相互转换。在发送端,将信源产生的信息转换成适合于在传输链路上传送的信号;在接收端则完成相反的变换。
- 将信号与传输链路相匹配,由信号处理设备完成。
- 信令的产生和识别,即用来产生和识别网内所需的信令,以完成一系列控制作用。

(2) 传输链路

传输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 中的信道与变换器、反变换器的一部分。

信道有狭义信道和广义信道之分,狭义信道是单纯的传输媒介(比如一条电缆);广义信道除了传输媒介以外,还包括相应的变换设备(或通信设备)。由此可见,这里所说的传输链路指的是广义信道。传输链路可以分为不同的类型,各有不同的实现方式和适

用范围。

传输媒介就是通信线路,通信线路可分为有线和无线两大类。有线通信线路主要包括双绞线、同轴电缆、光纤等;无线通信线路是指传输电磁信号的自由空间。

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 1-2(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千米到几十千米,其传输衰减特性如图 1-3 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。

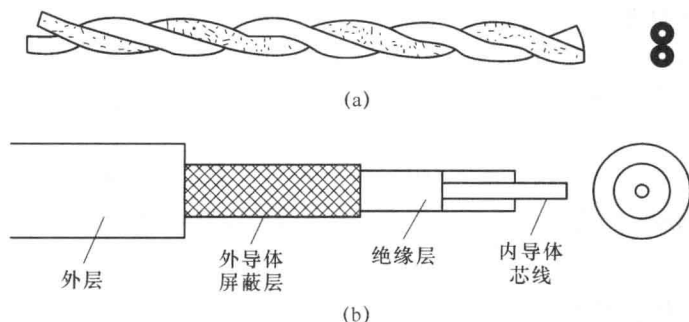


图 1-2 双绞线电缆和同轴电缆结构

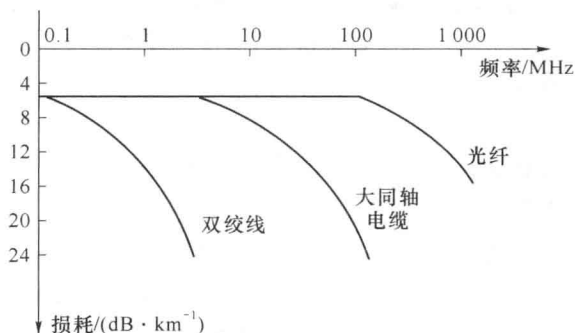


图 1-3 双绞线电缆和同轴电缆传输衰减特性

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介质。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 1-2(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,且它比双绞线具有较好的频率特性。同轴电缆与双绞线相比成本较高。

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 光缆

光缆的结构和电缆结构类似,主要由缆芯、加强构件和护层组成。光缆中负责传送信号的是光纤,若干根光纤按照一定的方式组成缆芯,光纤由纤芯和包层组成。纤芯和包层的折射率不同,利用光的全反射使光能够在纤芯中传播。光纤通信是以光波作载频传输信号,以光缆为传输线路的通信方式。光波是一种频率在 10^{14} Hz 左右的电磁波,波长范围在近红外区内,一般采用的三个通信窗口波长分别为: $0.85\ \mu\text{m}$ 、 $1.31\ \mu\text{m}$ 和 $1.55\ \mu\text{m}$ 。

光纤通信近几年来飞速发展,它具有以下突出的优点。

- 传输频带宽,通信容量大;
- 损耗低,尤其是 $1.55\ \mu\text{m}$ 附近,衰耗值可低至 $0.2\ \text{dB/km}$,中继距离可达 $50\ \text{km}$;
- 光纤是非金属材料,因此不受电磁干扰,无串音;
- 光纤还具有线径细、重量轻、资源丰富、成本低等优点。

④ 自由空间

自由空间又称理想介质空间,无线电波在地球外部的大气层中传播,可认为是在自由空间传播。

微波通信是利用微波频段($300\ \text{MHz}\sim 30\ \text{GHz}$)的电磁波来传输信息的通信。微波在空间沿直线视距范围传播,中继距离为 $50\ \text{km}$ 左右,适于地形复杂的情况下使用。

卫星通信是在地球站之间利用人造卫星做中继站的通信方式,是微波接力通信的一种特殊形式。它可以向地球上任何地方发送信息。

在自由空间传输信号易受大气变化等自然环境的影响,主要有大气折射引起的衰减、多径衰落、雨衰减等。卫星通信还存在线路长、时延大、衰耗较大等缺点。

(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。

1.1.3 通信网的分类

通信网从不同的角度可以分为不同的种类。

1. 按业务种类分

若按业务种类分,通信网可分为电话通信网、电报通信网、传真通信网、广播电视通信网以及数据通信网等。