

新世纪
中国
大学

高等院校通信工程专业系列教材

现代通信网概论

Modern Communication Networks

杨武家 张颖 张继荣 周军 编著
刘克明 主编

ADPT



清华大学出版社
http://www.tup.tsinghua.edu.cn

面向 21 世纪高等学校信息工程专业系列教材

现代通信网概论



杨武军 郭 娟 编著
张继荣 屈军锁

刘光明 主审

西安电子科技大学出版社

2004

内 容 简 介

本书系统地介绍了现代通信网的工作原理、体系结构、关键技术、分类、现状与发展趋势等。具体讲解时均以业务需求和网络交换技术为线索,从产生背景和基本原理入手,介绍了每一种网络技术的体系结构和各部分功能,并给出了与其他技术的比较和工作原理的实例。主要内容包 括:宽带传送网、电话通信网、分组通信网、移动通信网、计算机通信网、ATM 网、宽带综合 IP 网和电信支撑网等。

本书内容新颖详实,讲述深入浅出,便于自学,可以作为普通高等院校通信、信息、电子等专业的本科教材或教学参考用书,也可作为电信管理人员、工程技术人员的参考用书。

本书配有电子教案,有需要的老师可与西安电子科技大学出版社联系,免费索取。

图书在版编目(CIP)数据

现代通信网概论=Modern Communication Networks/杨武军等编著.

—西安:西安电子科技大学出版社,2004.1

ISBN 7-5606-1328-4

. 现... . 杨... . 通信网—高等学校—教材 . TN402

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2003)第 113834 号

策 划 马武装

责任编辑 宁殿艳 马武装

出版发行 西安电子科技大学出版社(西安市太白南路 2 号)

电 话 (029)88242885 88201467 邮 编 710071

http://www.xduph.com E-mail: xdupfxb@pub.xaonline.com

经 销 新华书店

印刷单位 西安文化彩印厂

版 次 2004 年 2 月第 1 版 2004 年 2 月第 1 次印刷

开 本 787 毫米×1092 毫米 1/16 印张 23.75

字 数 561 千字

印 数 1~4 000 册

定 价 25.00 元

ISBN 7-5606-1328-4/TN·0249(课)

XDUP 1599001-1

*** 如有印装问题可调换 ***

本社图书封面为激光防伪覆膜,谨防盗版。

前 言

在 20 世纪最后的 20 年里，网络通信技术和通信产业以一种异乎寻常的速度持续发展，通信网已深入到社会生活的各个层面，成为现代社会关键的基础设施，通信产业也成长为一部分发达国家的支柱产业。在现代社会中，政治、经济、军事、工作、生活越来越依赖于通信网，通信网已与人类社会之间形成了一种相互促进的互动关系。可以说，通信网的作用和意义已经超越了它本身原有的范畴，它就像水、电、文字、交通工具一样，成为人类社会生活中不可分割的一部分，它不仅将我们带进信息时代，而且深刻地影响和改变着我们的生活方式，通信网的广泛使用已成为这个时代的显著标志。

这种影响反映在高等教育上，则是各高校均将通信网课程列为相关理工科专业的必修课之一。然而实际的通信网已存在并发展了 100 多年，由于涉及面广、规模庞大、技术复杂、各地区经济发展的不平衡，注定其发展演变只能以一种渐变的方式进行；另一方面，为了保持与原有技术的兼容性，又往往导致网络结构进一步复杂化，并且至今通信网仍在不断发展演变之中。以上种种因素导致了现代通信网形成目前多种网络技术体制并存的混合式结构，这增加了通信网课程的讲授和学习难度。

西方哲学经常讨论这样一个问题：我们究竟是什么？是从哪儿来的，又将往哪儿去？这是一个永恒的哲学话题。对有 100 多年发展历史的通信网，如果只是对现存的各种网络技术进行简单的罗列式陈述，不对通信网发展演进的一般性规律进行分析论述，不对各种网络技术之间的共性与个性进行总结分析，不对各种技术的产生背景、最佳应用场合，以及技术间的关联性进行描述，则很难帮助学生对通信网有一个完整而深入的理解，这样面对众多近似的网络实现技术，他们依然可能感到无所适从。

基于上述的考虑，书中对于各种网络技术，均采用先是技术背景和要解决的问题，接着是相关概念和体系结构，最后是实例的方法进行介绍，并尽可能地给出相关、相似技术的比较分析，我们认为这样可以帮助读者更好地理解通信网。

强调技术背景和设计者最初的设计初衷是本书的一个显著特征。我们始终坚信：没有完美的网络技术，网络的设计者也绝不缺乏远见，任何一个成熟的网络技术体系，都是在当时的技术、市场需求、成本、政策等约束条件下共同作用的折衷结果。对于现存的网络技术，撇开当时的技术条件、需求背景、设计目标来评判其优劣是片面的、不公正的，对我们去把握通信网的本质和发展规律也是无益的。

工科学生应该清楚，在进行网络规划设计时，简单地去选择最复杂、最先进的技术并非他们工作的核心内容。一个优秀的网络工程师其基本职责应该是：根据问题域中具体的约束集（包括成本、业务需求、环境条件、政策，甚至是客户的个人好恶等），用最合适的技术来解决客户愿意斥资解决的问题，这本身也符合基本的市场法则。

另外，通信网发展过程中的一个有趣的现象也反复印证了这一工程原则，即市场对技术的接受程度往往与技术实现的复杂度成反比，最先进、最复杂的技术并不能保证该技术

不被市场所淘汰。先进的ATM与简单的TCP/IP之争，稳定可靠的令牌环与简单的甚至有些简陋的以太网之争，以及铱星系统等成功和失败的例子，给了我们深刻的启示。因此，网络工程师应该牢记，市场和需求永远是第一位的，技术只是手段，而不是目的，在大多数情况下，技术是否领先往往不是决策时的主要依据，具体问题具体分析应是贯穿在一个工程师工程实践活动中的“灵魂”，任何生搬硬套的教条主义和经验主义在工程领域都是不可取的，也是不认真、不科学的。

如果单纯地只介绍计算机通信网，由于数据通信领域从一开始就采用良好的分层体系结构，并且发展历史短、分支不多，因此，采用分层的方式安排内容是自然而合理的。

对本书而言，同时包含了传统电信广域网和计算机通信网的内容，由于历史的原因，各种技术体系不统一，分支很多，采用分层的方式很难安排内容，因此，在章节的安排上，主要按照业务网的类型、功能群以及网络技术的发展历史来组织内容。对于支撑网，考虑到信令网和同步网是各类业务网的低层支撑网，而管理网处于所有业务网络之上，因此章节安排上将信令网和同步网放在业务网之前，而将管理网的内容放在最后。我们认为这样的安排更符合目前的网络现状，不仅方便授课内容的取舍，也有利于学生的学习和理解。

另外，对通信网发展历史中出现的各种技术，我们并不试图面面俱到，书中只介绍主流的网络技术，包括那些虽然目前只有理论意义，但对今后的网络发展会产生重大影响的技术。

本书的基本目标是作为普通高等院校通信、信息、电子等专业的本科教材或教学参考书，当然也可作为电信从业人员的培训教材。全书的侧重点是介绍各类业务网的底三层通信子网的组成和工作原理。

我们希望通过本书使学生掌握以下基本知识：通信网的基本概念、组成，通信网要解决的基本问题；各类业务网的设计目标和工作原理；各类业务网之间的共性和个性差异；导致各类业务网之间产生技术差异的原因；现代通信网为何被设计成今天这个样子；什么因素促使了通信网的发展变化；未来的通信网可能怎样发展和变化。在学习时，我们建议应以各类业务网面临的主要问题和设计目标为线索，来重点关注不同业务网的技术路线和设计方案。

本书的前言和第1、2、11、12、13章以及5.8节由杨武军编写，第3、4、9章由张继荣编写，第5(除5.8节)、6、7章由郭娟编写，第8、10章由屈军锁编写。四位编者均参加了所有章节的讨论，杨武军负责全书最后的统稿。

本书的编写得到了很多老师、同仁和亲友的帮助与支持，特别是重庆邮电学院刘光明教授对稿件进行了细致的审校，提出了很多中肯的修改意见。本书的编写和出版得到了西安电子科技大学出版社的大力支持，很多同志花费了不少时间与精力，作者在此对以上人士表示衷心的感谢。

由于编者水平有限，而通信网又是一个涉及多学科，发展迅速的领域，因此，书中难免存在一些不妥和错误，殷切希望广大同行、读者批评指正。

编 者
2003年8月

目 录

第 1 章 绪论.....	1	2.3.2 帧结构.....	41
1.1 通信网的基本概念.....	1	2.3.3 SDH 传送网的分层模型.....	45
1.1.1 通信系统的基本模型.....	1	2.3.4 基本网络单元.....	46
1.1.2 通信网的定义和构成.....	3	2.3.5 SDH 传送网的结构.....	47
1.1.3 通信网的类型.....	7	2.4 光传送网.....	48
1.1.4 通信网的拓扑结构.....	8	2.4.1 背景.....	48
1.1.5 通信网的业务.....	9	2.4.2 OTN 的分层结构.....	49
1.2 通信网的交换技术.....	11	2.4.3 OTN 的帧结构.....	50
1.2.1 交换技术概述.....	11	2.4.4 光传送网的结构.....	52
1.2.2 主要的交换技术.....	12	思考题.....	53
1.3 通信网的体系结构及标准化组织.....	16	第 3 章 No.7 信令网.....	54
1.3.1 网络分层的概念.....	16	3.1 信令基本概念.....	54
1.3.2 分层结构中的接口和服务.....	19	3.1.1 信令及作用.....	54
1.3.3 OSI 和 TCP/IP.....	20	3.1.2 信令分类.....	55
1.3.4 主要标准化组织.....	22	3.1.3 信令方式.....	56
1.4 通信网的服务质量.....	24	3.2 No.7 信令概述.....	58
1.4.1 服务质量总体要求.....	24	3.2.1 No.7 信令技术的发展.....	58
1.4.2 电话网的服务质量.....	25	3.2.2 No.7 信令方式的优点.....	58
1.4.3 数据网的服务质量.....	25	3.3 No.7 信号单元格式和信令系统结构.....	59
1.4.4 网络的服务性能保障机制.....	26	3.3.1 信号单元的种类和格式.....	59
1.5 通信网的发展史.....	28	3.3.2 No.7 功能级结构.....	61
思考题.....	31	3.3.3 No.7 信令系统结构.....	62
第 2 章 传送网.....	32	3.4 No.7 信令网.....	64
2.1 传输介质.....	32	3.4.1 No.7 信令网的组成.....	64
2.1.1 基本概念.....	32	3.4.2 信令工作方式.....	65
2.1.2 传输介质.....	33	3.4.3 信令网的结构.....	66
2.2 多路复用.....	36	3.5 信令网与电话网的关系.....	70
2.2.1 基带传输系统.....	36	3.5.1 信令网与电话网的对应关系.....	70
2.2.2 频分复用传输系统.....	37	3.5.2 信令传送举例.....	70
2.2.3 时分复用传输系统.....	37	3.6 No.7 信令网的管理.....	71
2.2.4 波分复用传输系统.....	38	3.6.1 信令业务管理.....	71
2.2.5 PDH 系统简介.....	40	3.6.2 信令路由管理.....	72
2.3 SDH 传送网.....	41	3.6.3 信令链路管理.....	73
2.3.1 简介.....	41	3.6.4 信令网管理实例.....	74

思考题.....	75	5.5.2 编号方案.....	117
第4章 同步网.....	77	5.6 电话网的业务及计费方式.....	119
4.1 概述.....	77	5.6.1 电话网的主要业务性能.....	119
4.2 网同步设备和定时分配链路.....	78	5.6.2 电话网的计费系统.....	121
4.2.1 节点时钟设备.....	78	5.7 电话网的服务质量.....	122
4.2.2 定时分配.....	78	5.7.1 传输质量及指标的分配.....	122
4.3 网同步技术.....	82	5.7.2 接续质量及指标的分配.....	125
4.3.1 准同步.....	82	5.8 智能网.....	127
4.3.2 主从同步.....	83	5.8.1 背景.....	127
4.3.3 相互同步.....	84	5.8.2 智能网的总体介绍.....	128
4.3.4 外时间基准同步.....	84	5.8.3 智能网的国际标准.....	130
4.3.5 通信楼综合定时供给系统.....	86	5.8.4 智能网的概念模型.....	130
4.3.6 数字同步网结构.....	88	5.8.5 我国智能网的结构.....	135
4.4 同步网的主要技术指标.....	90	思考题.....	138
4.4.1 滑动.....	90	第6章 移动通信网.....	140
4.4.2 抖动和漂移.....	93	6.1 移动通信的基本概念及发展历史.....	140
4.4.3 时间间隔误差.....	93	6.1.1 移动通信的基本概念.....	140
4.5 我国的同步网.....	93	6.1.2 移动通信的发展历史.....	141
思考题.....	95	6.2 基本技术和网络结构.....	142
第5章 电话通信网.....	96	6.2.1 移动通信网的系统构成.....	142
5.1 电话网的基本概念.....	96	6.2.2 移动通信网的覆盖方式.....	143
5.1.1 电话网的构成要素.....	96	6.2.3 移动通信网中的基本技术.....	144
5.1.2 电话网的特点.....	97	6.2.4 移动通信网网络结构.....	149
5.2 电话交换机.....	98	6.3 GSM 系统.....	149
5.2.1 交换机的硬件基本结构.....	98	6.3.1 系统网络结构及接口.....	150
5.2.2 交换机的运行软件.....	101	6.3.2 移动通信网中的几种号码.....	152
5.2.3 交换机的交换原理.....	102	6.3.3 信道类型及时隙结构.....	154
5.3 电话网的网络结构.....	103	6.3.4 呼叫接续与移动性管理.....	155
5.3.1 电话网的等级结构.....	104	6.4 CDMA 系统.....	160
5.3.2 国内长途电话网.....	105	6.4.1 CDMA 系统概述.....	160
5.3.3 本地电话网.....	107	6.4.2 CDMA 网络结构及信道类型.....	161
5.3.4 国际电话网.....	111	6.4.3 CDMA 系统的关键技术.....	162
5.4 路由选择.....	111	6.4.4 呼叫处理及移动性管理.....	164
5.4.1 路由的概念及分类.....	112	6.5 卫星移动通信系统.....	167
5.4.2 路由选择.....	113	6.5.1 卫星移动通信概述.....	167
5.4.3 固定等级制选路规则.....	113	6.5.2 典型低轨道卫星移动通信系统.....	169
5.4.4 其他选路方法简介.....	115	6.6 第三代移动通信系统.....	172
5.5 编号计划.....	117	6.6.1 第三代移动通信系统(3G)概述.....	172
5.5.1 编号原则.....	117	6.6.2 3G 的标准化.....	173

6.6.3 3G 的应用及关键技术	175	8.5 DDN 网络及应用	220
思考题	176	8.5.1 DDN 的网络结构	221
第 7 章 分组交换网	177	8.5.2 DDN 的应用实例	221
7.1 分组交换的基本概念和网络结构	177	思考题	223
7.1.1 分组交换原理	177	第 9 章 ATM 网络	224
7.1.2 虚电路与数据报	179	9.1 ATM 产生背景和协议结构	224
7.1.3 分组交换网	182	9.1.1 ATM 产生背景	224
7.2 X.25 协议	185	9.1.2 ATM 基本概念	225
7.2.1 协议分层结构	185	9.1.3 ATM 协议参考模型	226
7.2.2 物理层	186	9.2 ATM 网络	229
7.2.3 数据链路层	186	9.2.1 ATM 网络组成和接口	229
7.2.4 分组层	192	9.2.2 ATM 的逻辑连接	231
7.3 路由选择	196	9.2.3 VP 交换和 VC 交换	233
7.3.1 路由选择概述	196	9.3 ATM 信元	234
7.3.2 路由选择方法	197	9.4 AAL	236
7.4 流量控制与拥塞控制	199	9.4.1 AAL1	237
7.4.1 流量控制的作用	199	9.4.2 AAL2	239
7.4.2 流量控制的层次	200	9.4.3 AAL3/4	241
7.4.3 流量控制方法	201	9.4.4 AAL5	243
7.4.4 拥塞控制方法	201	9.5 流量控制和拥塞控制	244
7.5 ChinaPAC 网	202	9.5.1 ATM 层业务分类	244
7.5.1 ChinaPAC 网简介	202	9.5.2 流量控制	245
7.5.2 ChinaPAC 网与 PSTN 的互连	204	9.5.3 拥塞控制	247
思考题	205	思考题	249
第 8 章 帧中继与 DDN	206	第 10 章 计算机网络及 Internet	250
8.1 帧中继技术	206	10.1 计算机网络概述	250
8.1.1 帧中继技术的发展背景	206	10.1.1 计算机网络发展	250
8.1.2 帧中继的参考模型	206	10.1.2 计算机网络的功能、组成和分类	252
8.1.3 帧中继技术的特点	207	10.2 计算机局域网	253
8.2 帧中继协议	208	10.2.1 计算机局域网体系结构	253
8.2.1 帧结构	208	10.2.2 以太网 Ethernet	256
8.2.2 帧中继相关协议	209	10.2.3 网络互连设备	260
8.3 帧中继网络	210	10.3 Internet 基本概念	264
8.3.1 网络组成	210	10.3.1 互联网结构及协议模型	264
8.3.2 帧中继的网络管理	211	10.3.2 IP 编址方式	266
8.4 数字数据网	215	10.3.3 域名系统	270
8.4.1 DDN 网络组成结构	216	10.4 IP 协议	271
8.4.2 DDN 的复用技术	218	10.4.1 IP 分组格式	271
8.4.3 DDN 的业务功能	219	10.4.2 IP 的分片与重装	273

10.5 运输层协议	274	12.2.2 IP 交换	313
10.5.1 运输层端口	274	12.2.3 Tag 交换	315
10.5.2 用户数据报协议 UDP	274	12.3 多协议标记交换	318
10.5.3 运输控制协议 TCP	275	12.3.1 背景	318
10.6 互联网工作过程	278	12.3.2 MPLS 的总体结构	319
10.6.1 路由协议	278	12.3.3 标记的封装	323
10.6.2 分组在路由器上的转发	281	12.3.4 MPLS 的信令机制	325
10.7 Internet 基本业务	282	12.3.5 QoS 与流量工程	334
10.7.1 电子邮件	283	12.4 IP over SDH/SONet	338
10.7.2 远程文件传输	284	12.4.1 背景	338
10.7.3 万维网 WWW	285	12.4.2 基本原理	338
11.7.3 万维网 WWW	285	12.4.3 优缺点	340
思考题	286	12.5 IP over WDM	341
第 11 章 宽带接入网	288	12.5.1 背景	341
11.1 接入网的基本概念	288	12.5.2 工作原理	341
11.1.1 接入网的发展背景	288	12.5.3 优缺点	342
11.1.2 接入网的定义和定界	289	12.5.4 三种宽带 IP 技术的比较	342
11.1.3 主要功能和协议参考模型	290	思考题	343
11.1.4 接入网的主要接口	292	第 13 章 管理网	344
11.1.5 接入网的分类	292	13.1 电信管理网	344
11.2 V5 接口	293	13.1.1 TMN 的产生背景	344
11.2.1 V5 接口概述	293	13.1.2 TMN 的总体介绍	345
11.2.2 V5 接口支持的业务	293	13.1.3 TMN 的功能结构	347
11.2.3 V5 接口的功能描述	295	13.1.4 TMN 的信息结构	348
11.3 宽带有线接入网技术	297	13.1.5 TMN 的物理结构	351
11.3.1 ADSL 接入网	297	13.1.6 TMN 的网络结构和设备配置	352
11.3.2 光纤接入网	299	13.2 简单网络管理协议	353
11.3.3 HFC 接入网	303	13.2.1 SNMP 的网管模型	353
11.4 宽带无线接入网技术	305	13.2.2 SNMP 协议结构	354
11.4.1 3.5 GHz 固定无线接入	305	13.2.3 SNMP 管理消息	354
11.4.2 LMDS 接入技术	307	13.2.4 SMI	356
思考题	308	13.2.5 MIB	356
第 12 章 宽带综合 IP 网	309	13.2.6 SNMP v2 与 SNMP v3	357
12.1 背景介绍	309	思考题	357
12.1.1 传统 Internet 的主要问题	309	附录 英文缩写词汇表	359
12.1.2 实现宽带综合 IP 网的主要方案	310	参考文献	368
12.2 IP over ATM	311		
12.2.1 重叠模式和集成模式	312		

第1章 绪 论

本章对现代通信网作概要介绍，主要内容包括：通信网的组成、分类；通信网的业务；现代通信网的基本结构、功能；通信网的交换技术；通信网的标准化组织；通信网的发展等内容。

1.1 通信网的基本概念

1.1.1 通信系统的基本模型

1. 点到点的通信系统

通信网是通信系统的一种形式。本书中通信系统特指使用光信号或电信号传递信息的通信系统。为了更好地理解通信网，我们从点到点的通信系统开始介绍。

克服时间、空间的障碍，有效而可靠地传递信息是所有通信系统的基本任务。实际应用中存在各种类型的通信系统，它们在具体的功能和结构上各不相同，然而都可以抽象成如图 1.1 所示的模型，其基本组成包括：信源、发送器、信道、接收器和信宿五部分。

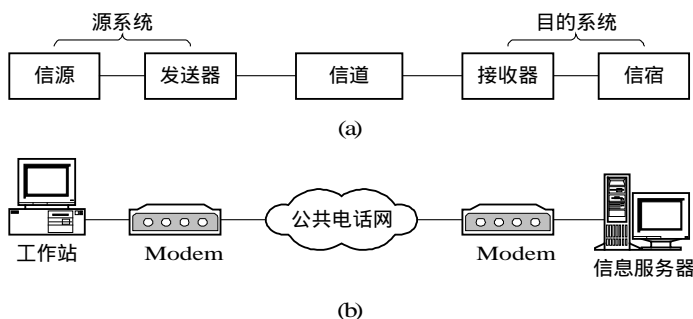


图 1.1 简单通信系统模型

(a) 模型图；(b) 实例

- (1) 信源：产生各种信息的信息源，它可以是人或机器(如计算机等)。
- (2) 发送器：负责将信源发出的信息转换成适合在传输系统中传输的信号。对应不同的信源和传输系统，发送器会有不同的组成和信号变换功能，一般包含编码、调制、放大和加密等功能。

(3) 信道：信号的传输媒介，负责在发送器和接收器之间传输信号。通常按传输媒介的种类可分为有线信道和无线信道；按传输信号的形式则可分为模拟信道和数字信道。

(4) 接收器：负责将从传输系统中收到的信号转换成信宿可以接收的信息形式。它的作用与发送器正好相反。主要功能包括信号的解码、解调、放大、均衡和解密等。

(5) 信宿：负责接收信息。

上述通信系统只是一个点到点的通信模型，要实现多用户间的通信，则需要一个合理的拓扑结构将多个用户有机地连接在一起，并定义标准的通信协议，以使它们能协同工作，这样就形成了一个通信网。

通信网要解决的是任意两个用户间的通信问题，由于用户数目众多、地理位置分散，并且需要将采用不同技术体制的各类网络互连在一起，因此通信网必然涉及到寻址、选路、控制、管理、接口标准、网络成本、可扩充性、服务质量保证等一系列在点到点模型系统中原本不是问题的问题，这些因素增加了设计一个实际可用的网络的复杂度。

2. 交换式网络

要实现一个通信网，最简单直观的方案就是在任意两个用户之间提供点到点的连接，从而构成一个网状网的结构，如图 1.2(a)所示。该方法中每一对用户之间都需要独占一个永久的通信线路，通信线路使用的物理媒介可以是铜线、光纤或无线信道。然而该方法并不适用于构建大型广域通信网，其主要原因如下：

(1) 用户数目众多时，构建网状网成本太高，任意一个用户到其他 $N-1$ 个用户都要有一个直达线路，技术上也不可行。

(2) 每一对用户之间独占一个永久的通信线路，信道资源无法共享，会造成巨大的资源浪费。

(3) 这样的网络结构难以实施集中的控制和管理。

为解决上述问题，广域通信网采用了交换技术，即在网络中引入交换节点，组建交换式网络，如图 1.2(b)所示。在交换式网络中，用户终端都通过用户线与交换节点相连，交换节点之间通过中继线相连，任何两个用户之间的通信都要通过交换节点进行转接交换。在网络中，交换节点负责用户的接入、业务量的集中、用户通信连接的创建、信道资源的分配、用户信息的转发，以及必要的网络管理与控制功能的实现。

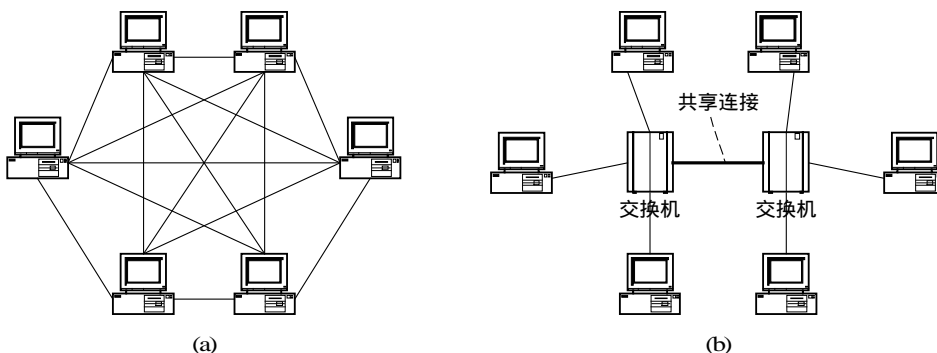


图 1.2 点到点的网络与交换式网络

“交换”概念背后的思想是：让网络根据用户实际的需求为其分配通信所需的网络资源，即用户有通信需求时，网络为其分配资源，通信结束后，网络再回收分配给用户的资源，让其他用户使用，从而达到网络资源共享，降低通信成本的目的。其中，网络负责管理和分配的最重要资源就是通信线路上的带宽资源，而网络为此付出的代价是，需要一套复杂的控制机制来实现这种“按需分配”。因此从资源分配的角度来看，不同的网络技术之间的差异，主要体现在分配、管理网络资源策略上的差异，它们直接决定了网络中交换、传输、控制等具体技术的实现方式。一般来讲，简单的控制策略，通常资源利用率不高，若要提高资源利用率，则需要以提高网络控制复杂度为代价。现有的各类交换技术，都根据实际业务的需求，在资源利用率和控制复杂度之间做了某种程度的折衷。

在交换式网络中，用户终端至交换节点可以使用有线接入方式，也可以采用无线接入方式；可以采用点到点的接入方式，也可以采用共享介质的接入方式。传统有线电话网中使用有线、点到点的接入方式，即每个用户使用一条单独的双绞线接入交换节点。如果多个用户采用共享介质方式接入交换节点，则需解决多址接入的问题。目前常用的多址接入方式有：频分多址接入(FDMA)、时分多址接入(TDMA)、码分多址接入(CDMA)、随机多址接入等。例如 CDMA 移动通信网中，就采用了无线、共享介质、码分多址接入方式；在宽带接入网中，也多采用了共享介质方式接入。

另一方面，为了提高中继线路的利用率，降低通信成本，现代通信网采用复用技术，即将一条物理线路的全部带宽资源分成多个逻辑信道，让多个用户共享一条物理线路。实际上，在广域通信网上，任意用户间的通信，通常占用的都是一个逻辑信道，极少有独占一条物理线路的情况。

复用技术大致可分为静态复用和动态复用(又叫统计复用)两大类。静态复用技术包括频分多路复用和同步时分复用两类；动态复用主要指动态时分复用(统计时分复用)技术。实际上，在多址接入时也涉及复用问题，相关的内容将在后续的章节中详细介绍。

交换式网络主要有如下优点：

(1) 大量的用户可以通过交换节点连到骨干通信网上，由于大多数用户并不是全天候需要通信服务，因此骨干网上交换节点间可以用少量的中继线路以共享的方式为大量用户服务，这样大大降低了骨干网的建设成本。

(2) 交换节点的引入也增加了网络扩容的方便性，便于网络的控制与管理。

实际中的大型交换网络都是由多级复合型网络构成的，为用户建立的通信连接往往涉及多段线路、多个交换节点。

1.1.2 通信网的定义和构成

1. 定义

什么是通信网？对于这样一个复杂的大系统，站在不同的角度，应该有不同的观点。从用户的角度来看，通信网是一个信息服务设施，甚至是一个娱乐服务设施，用户可以使用它获取信息、发送信息、娱乐等；而从工程师的角度来看，通信网则是由各种软硬件设施按照一定的规则互连在一起，完成信息传递任务的系统。工程师希望这个系统应该可测、可控，便于管理和扩充。

这里，我们为通信网下一个通俗的定义：通信网是由一定数量的节点(包括终端节点、交换节点)和连接这些节点的传输系统有机地组织在一起的，按约定的信令或协议完成任意用户间信息交换的通信体系。用户使用它可以克服空间、时间等障碍来进行有效的信息交换。

在通信网上，信息的交换可以在两个用户间进行，在两个计算机进程间进行，还可以在一个用户和一个设备间进行。交换的信息包括用户信息(如话音、数据、图像等)、控制信息(如信令信息、路由信息等)和网络管理信息三类。由于信息在网上通常以电或光信号的形式进行传输，因而现代通信网又称电信网。

应该强调的一点是，网络不是目的，只是手段。网络只是实现大规模、远距离通信系统的一种手段。与简单的点到点的通信系统相比，它的基本任务并未改变，通信的有效性和可靠性仍然是网络设计时要解决的两个基本问题，只是由于用户规模、业务量、服务区域的扩大，因此使解决这两个基本问题的手段变得复杂了。例如，网络的体系结构、管理、监控、信令、路由、计费、服务质量保证等都是由此而派生出来的。

2. 通信网的构成要素

实际的通信网是由软件和硬件按特定方式构成的一个通信系统，每一次通信都需要软硬件设施的协调配合来完成。从硬件构成来看：通信网由终端节点、交换节点、业务节点和传输系统构成，它们完成通信网的基本功能：接入、交换和传输。软件设施则包括信令、协议、控制、管理、计费等，它们主要完成通信网的控制、管理、运营和维护，实现通信网的智能化。这里我们重点介绍通信网的硬件构成。

1) 终端节点

最常见的终端节点有电话机、传真机、计算机、视频终端和 PBX 等，它们是通信网上信息的产生者，同时也是通信网上信息的使用者。其主要功能有：

(1) 用户信息的处理：主要包括用户信息的发送和接收，将用户信息转换成适合传输系统传输的信号以及相应的反变换。

(2) 信令信息的处理：主要包括产生和识别连接建立、业务管理等所需的控制信息。

2) 交换节点

交换节点是通信网的核心设备，最常见的有电话交换机、分组交换机、路由器、转发器等。交换节点负责集中、转发终端节点产生的用户信息，但它自己并不产生和使用这些信息。其主要功能有：

(1) 用户业务的集中和接入功能。通常由各类用户接口和中继接口组成。

(2) 交换功能。通常由交换矩阵完成任意入线到出线的的数据交换。

(3) 信令功能。负责呼叫控制和连接的建立、监视、释放等。

(4) 其他控制功能。路由信息的更新和维护、计费、话务统计、维护管理等。

图 1.3 描述了一般交换节点的基本功能结构。

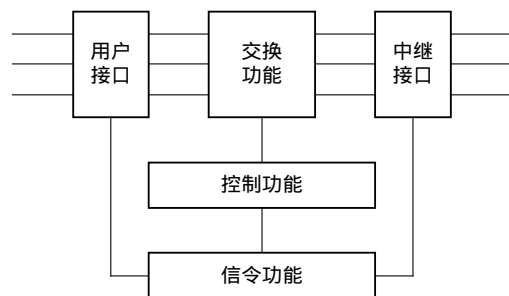


图 1.3 交换节点的基本功能结构

3) 业务节点

最常见的业务节点有智能网中的业务控制节点(SCP)、智能外设、语音信箱系统,以及 Internet 上的各种信息服务器等。它们通常由连接到通信网络边缘的计算机系统、数据库系统组成。其主要功能是:

- (1) 实现独立于交换节点的业务的执行和控制。
- (2) 实现对交换节点呼叫建立的控制。
- (3) 为用户提供智能化、个性化、有差异的服务。

目前,基本电信业务的呼叫建立、执行控制等由于历史的原因仍然在交换节点中实现,但很多新的电信业务则将其转移到业务节点中了。

4) 传输系统

传输系统为信息的传输提供传输信道,并将网络节点连接在一起。通常传输系统的硬件组成应包括:线路接口设备、传输媒介、交叉连接设备等。

传输系统一个主要的设计目标就是如何提高物理线路的使用效率,因此通常传输系统都采用了多路复用技术,如频分复用、时分复用、波分复用等。

另外,为保证交换节点能正确接收和识别传输系统的数据流,交换节点必须与传输系统协调一致,这包括保持帧同步和位同步、遵守相同的传输体制(如 PDH、SDH 等)等。

3. 通信网的基本结构

在我们日常的工作和生活中,经常接触和使用各种类型的通信网。例如电话网、计算机网络等。电话网是目前我们最熟悉和最普及的通信网,它主要用来传送用户的话音信息;计算机网络则是办公场所最为常见的一种网络,它主要用于信息发布、程序和数据的共享、设备共享等(如打印机、绘图仪、扫描仪等)。Internet 是计算机的互联网络,它将全球绝大多数的计算机网络互连在一起,以实现更为广泛的信息资源共享,目前 Internet 已成为电子商务和娱乐的一个基础支撑平台。

上述网络虽然在传送信息的类型,传送的方式,所提供服务的种类等方面各不相同,但是它们在网络结构、基本功能、实现原理上都是相似的,它们都实现了以下四个主要的网络功能:

(1) 信息传送。它是通信网的基本任务,传送的信息主要分为三大类:用户信息、信令信息、管理信息。信息传输主要由交换节点和传输系统完成。

(2) 信息处理。网络对信息的处理方式对最终用户是不可见的,主要目的是增强通信的有效性、可靠性和安全性,信息最终的语义解释一般由终端应用来完成。

(3) 信令机制。它是通信网上任意两个通信实体之间为实现某一通信任务,进行控制信息交换的机制,例如电话网上的 No.7 信令、Internet 上的各种路由信息协议、TCP 连接建立协议等均属此范畴。

(4) 网络管理。它负责网络的运营管理、维护管理、资源管理,以保证网络在正常和故障情况下的服务质量。它是整个通信网中最具智能的部分。已形成的网络管理标准有:电信管理网标准 TMN 系列,计算机网络管理标准 SNMP 等。

因此,从功能的角度看,一个完整的现代通信网可分为相互依存的三部分:业务网、传送网、支撑网,如图 1.4 所示。

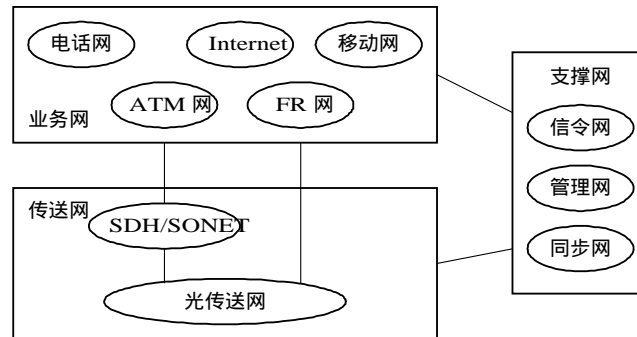


图 1.4 现代通信网的功能结构

1) 业务网

业务网负责向用户提供各种通信业务，如基本语音、数据、多媒体、租用线、VPN等，采用不同交换技术的交换节点设备通过传送网互连在一起就形成了不同类型的业务网。

构成一个业务网的主要技术要素有以下几方面内容：网络拓扑结构、交换节点技术、编号计划、信令技术、路由选择、业务类型、计费方式、服务性能保证机制等，其中交换节点设备是构成业务网的核心要素。各种交换技术的异同将在下一节介绍。

按所提供的业务类型的不同来分，目前主要的业务网的类型见表 1.1。

表 1.1 主要业务网的类型

业务网	基本业务	交换节点设备	交换技术
公共电话网	普通电话业务	数字程控交换机	电路交换
移动通信网	移动话音、数据	移动交换机	电路/分组交换
智能网 IN	以普通电话业务为基础的增值业务和智能业务	业务交换节点、业务控制节点	电路交换
分组交换网(X.25)	低速数据业务(64 kb/s)	分组交换机	分组交换
帧中继网	局域网互连(2 Mb/s)	帧中继交换机	帧交换
数字数据网 DDN	数据专线业务	DXC 和复用设备	电路交换
计算机局域网	本地高速数据(10 Mb/s)	集线器(Hub)、网桥、交换机	共享介质、随机竞争式
Internet	Web、数据业务	路由器、服务器	分组交换
ATM 网络	综合业务	ATM 交换机	信元交换

2) 传送网

传送网是随着光传输技术的发展，在传统传输系统的基础上引入管理和交换智能后形成的。传送网独立于具体业务网，负责按需为交换节点/业务节点之间的互连分配电路，在这些节点之间提供信息的透明传输通道，它还包含相应的管理功能，如电路调度、网络性能监视、故障切换等。构成传送网的主要技术要素有：传输介质、复用体制、传送网节点技术等，其中传送网节点主要有分插复用设备(ADM)和交叉连接设备(DXC)两种类型，它们是构成传送网的核心要素。

传送网节点与业务网的交换节点相似之处在于：传送网节点也具有交换功能。不同之处在于：业务网交换节点的基本交换单位本质上是面向终端业务的，粒度很小，例如一个

时隙、一个虚连接；而传送网节点的基本交换单位本质上是面向一个中继方向的，因此粒度很大，例如 SDH 中基本的交换单位是一个虚容器(最小是 2 Mb/s)，而在光传送网中基本的交换单位则是一个波长(目前骨干网上至少是 2.5 Gb/s)。另一个不同之处在于：业务网交换节点的连接是在信令系统的控制下建立和释放的，而光传送网节点之间的连接则主要是通过管理层面来指配建立或释放的，每一个连接需要长期化维持和相对固定。

目前主要的传送网有 SDH/SONET 和光传送网(OTN)两种类型。

3) 支撑网

支撑网负责提供业务网正常运行所必需的信令、同步、网络管理、业务管理、运营管理等功能，以提供用户满意的服务质量。支撑网包含三部分：

(1) 同步网。它处于数字通信网的最底层，负责实现网络节点设备之间和节点设备与传输设备之间信号的时钟同步、帧同步以及全网的网同步，保证地理位置分散的物理设备之间数字信号的正确接收和发送。

(2) 信令网。对于采用公共信道信令体制的通信网，存在一个逻辑上独立于业务网的信令网，它负责在网络节点之间传送业务相关或无关的控制信息流。

(3) 管理网。管理网的主要目标是通过实时和近实时来监视业务网的运行情况，并相应地采取各种控制和管理手段，以达到在各种情况下充分利用网络资源，以保证通信的服务质量。

另外，从网络的物理位置分布来划分，通信网还可以分成用户驻地网 CPN、接入网和核心网三部分，其中用户驻地网是业务网在用户端的自然延伸，接入网也可以看成传送网在核心网之外的延伸，而核心网则包含业务、传送、支撑等网络功能要素。

1.1.3 通信网的类型

我们可以根据通信网提供的业务类型，采用的交换技术、传输技术、服务范围、运营方式、拓扑结构等方面的不同来对其进行各种分类。这里给出几种常见的分类方式。

1. 按业务类型分

按业务类型，可以将通信网分为电话通信网(如 PSTN、移动通信网等)、数据通信网(如 X.25、Internet、帧中继网等)、广播电视网等。

2. 按空间距离分

按空间距离，可以将通信网分为广域网(WAN：Wide Area Network)、城域网(MAN：Metropolitan Area Network)和局域网(LAN：Local Area Network)。

3. 按信号传输方式分

按信号传输方式，可以将通信网分为模拟通信网和数字通信网。

4. 按运营方式分

按运营方式，可以将通信网分为公用通信网和专用通信网。

需要注意的是，从管理和工程的角度看，网络之间本质的区别在于所采用的实现技术的不同，其主要包括三方面：交换技术、控制技术以及业务实现方式。而决定采用何种技术实现网络的主要因素则有：用户的业务流量特征、用户要求的服务性能、网络服务的物

理范围、网络的规模、当前可用的软硬件技术的信息处理能力等。

1.1.4 通信网的拓扑结构

在通信网中，所谓拓扑结构是指构成通信网的节点之间的互连方式。基本的拓扑结构有：网状网、星型网、环型网、总线型网、复合型网等，如图 1.5 所示。

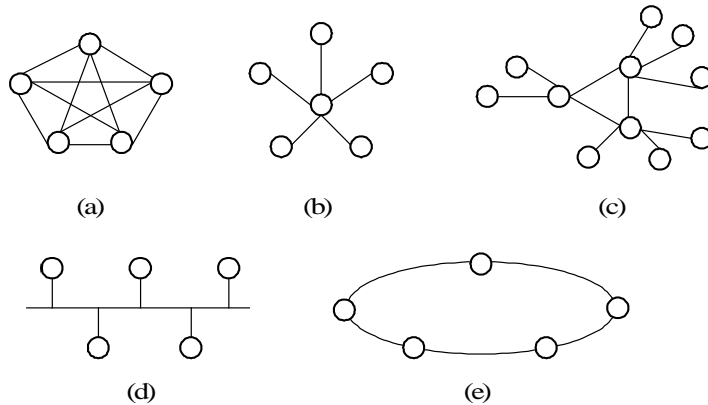


图 1.5 通信网的拓扑结构

1. 网状网

网状网的结构如图 1.5(a)所示。它是一种完全互连的网，网内任意两节点间均由直达线路连接， N 个节点的网络需要 $N(N-1)/2$ 条传输链路。其优点是线路冗余度大，网络可靠性高，任意两点间可直接通信；缺点是线路利用率低，网络成本高，另外网络的扩容也不方便，每增加一个节点，就需增加 N 条线路。

网状结构通常用于节点数目少，又有很高可靠性要求的场合。

2. 星型网

星型网的结构如图 1.5(b)所示。星型网又称辐射网，该结构与网状网相比，增加了一个中心转接节点，其他节点都与转接节点有线路相连。 N 个节点的星型网需要 $N-1$ 条传输链路。其优点是降低了传输链路的成本，提高了线路的利用率；缺点是网络的可靠性差，一旦中心转接节点发生故障或转接能力不足时，全网的通信都会受到影响。

通常在传输链路费用高于转接设备，可靠性要求又不高的场合，可以采用星型结构，以降低建网成本。

3. 复合型网

复合型网的结构如图 1.5(c)所示。它是由网状网和星型网复合而成的。它以星型网为基础，在业务量较大的转接交换中心之间采用网状网结构，因而整个网络结构比较经济，且稳定性较好。

由于复合网络兼具了星型网和网状网的优点，因此目前在规模较大的局域网和电信骨干网中广泛采用分级的复合型网络结构，但应注意在设计时要以转接设备和传输链路的总费用最小为原则。