



现代 通信网络 实用教程

XIANDAI
TONGXIN WANGLUO
SHIYONG JIAOCHENG

姚玉坤 主 编
鲜永菊 赵国锋 副主编

 机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



现代通信网络实用教程

主 编 姚玉坤
副主编 鲜永菊 赵国锋

目 录

第一章 绪论	1
第一节 通信系统的组成	1
第二节 通信系统的性能指标	2
第三节 通信系统的组成	3
第四节 通信系统的性能指标	4
第五节 通信系统的组成	5
第六节 通信系统的性能指标	6
第七节 通信系统的组成	7
第八节 通信系统的性能指标	8
第九节 通信系统的组成	9
第十节 通信系统的性能指标	10

参考文献

参考文献	11
参考文献	12
参考文献	13
参考文献	14
参考文献	15
参考文献	16
参考文献	17
参考文献	18
参考文献	19
参考文献	20



机械工业出版社

本书系统地介绍了各种通信信息网络的共性理论和相关技术,在整体内容和结构上可概括地划分为4个部分,共分11章:第一部分(第1章)为总体描述,主要介绍了通信网的基本概念、发展、组成、结构、分类、业务及其相关基础知识,以及通信网中的数学基础;第二部分(第2、3章)介绍了通信网的基本构成、网络拓扑结构及其特征、信息传输与复用技术、信息转接与交换技术、数据链路层的技术;第三部分(第4~10章)从实际使用的角度出发,主要讲解了局域网技术、IP网络技术、广域网技术、网络互连、网络应用、接入网技术和网络管理与安全;第四部分(第11章)主要介绍以网络融合为目标的新一代网络架构及技术理念。本书每一章后均附有思考与练习题,以便读者掌握和巩固所学知识。

本书在内容组织上着力体现“基础+实用+新颖”的特点,理论结合实际,注重系统知识的前后关联性;概念清晰,论述严谨,插图丰富。

本书可作为高等院校通信工程、信息工程、电子信息等专业本科高年级学生及研究生相关课程的教材,也可作为从事通信网络教学的教师、通信网络工作的科研和工程技术人员的学习参考书。

图书在版编目(CIP)数据

现代通信网络实用教程/姚玉坤主编. —北京:机械工业出版社, 2009.9

ISBN 978-7-111-27925-9

I. 现… II. 姚… III. 通信网-教材 IV. TN915

中国版本图书馆CIP数据核字(2009)第132720号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)

策划编辑:吉玲 责任编辑:吉玲 罗子超 责任校对:刘志文

封面设计:马精明 责任印制:杨曦

北京鑫海金澳胶印有限公司印刷

2009年9月第1版第1次印刷

184mm×260mm·21.25印张·524千字

0001—3000册

标准书号:ISBN 978-7-111-27925-9

定价:40.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换
销售服务热线电话:(010) 68326294

购书热线电话:(010) 88379639 88379641 88379643

编辑热线电话:(010) 88379768

封面无防伪标均为盗版

前言

随着现代社会步入信息化时代,通信网的发展正在对社会的进步产生着日益深远的影响。信息科学技术的不断创新和社会需求的不断提高已使通信网进入了高速发展时期。

现代通信网络技术是信息科学技术的一个重要组成部分,是信息化社会的重要支撑技术。然而,通信网络所涉及的技术范畴相当宽泛,通信网络绝非仅仅指计算机网络,而应该是所有用于电子信息通信的网络的所有共性的总称。它涵盖传统电信网络、计算机网络、互连网络,甚至广播电视网络等技术领域,因此,通信网络所涉及的问题既具有针对各种具体网络的特殊性,又具有广泛的综合性和整体性。

本书的基本思想是:以介绍通信网的综合性和整体性的共性理论问题为前提,同时兼顾讲解各种不同网络技术的原理和特点,但一般不涉及具体设备。

为了适应现代通信网的发展和课程教学的需要,我们在多年教学、科研及参考大量通信网方面的著作和文献的基础上编写了本书。因此,我们在本书的编写中特别注重内容的实用性和反映网络技术的新发展,力图在阐明基本原理的基础上,注意理论密切联系实际,以应用说明原理,对通信网中相关的网络通信基础知识、基本原理、新技术及发展趋势作了简明清晰的介绍。

本书第1、2、4、5、9章由姚玉坤编写,第3、6、8、11章由姚玉坤、赵国锋编写,第7、10章由鲜永菊编写,全书由姚玉坤统编定稿。董灿、覃思、龙人杰、石启国、曹晨、毛林、林华蓉、吴东伟等参与了资料收集、大量文字编辑和绘制插图工作,协助完成了本书的编写,在此表示感谢。

在本书编写过程中,参考了大量国内外著作和文献,在此向这些作者表示衷心的感谢。

由于作者水平有限,加之现代通信网络技术发展十分迅速,书中难免存在不足或错误之处,恳请广大读者批评指正。

编 者

目 录

前言

第1章 通信网的概论及数学基础 1

- 1.1 通信的基本概念及其发展 1
- 1.2 通信网的概念及其发展 1
 - 1.2.1 通信网的基本概念 1
 - 1.2.2 电信网的发展历程 2
 - 1.2.3 计算机网络的发展史 3
- 1.3 通信网的组成与结构 5
 - 1.3.1 通信网的组成和功能 5
 - 1.3.2 现代通信网的系统架构 6
 - 1.3.3 通信网的垂直结构和水平结构 7
 - 1.3.4 标准化组织 10
- 1.4 通信网的分类及其业务 11
 - 1.4.1 通信网的分类 11
 - 1.4.2 通信网的业务 13
- 1.5 数据通信基础 14
 - 1.5.1 数据、信号与信息 14
 - 1.5.2 数据通信系统的基本模型 16
 - 1.5.3 数据通信方式 17
 - 1.5.4 数据通信中的主要技术指标 21
 - 1.5.5 网络服务质量 23
- 1.6 通信网络中的数学基础 24
 - 1.6.1 图论基础知识 25
 - 1.6.2 排队论基础 28

思考与练习 34

第2章 信息通信的网络平台与

关键要素 36

- 2.1 通信网的基本构成 36
 - 2.1.1 系统与网 36
 - 2.1.2 通信网的基本要素及其组成 38
- 2.2 网络拓扑结构及特征 39
 - 2.2.1 网络拓扑结构类型及其特点 39
 - 2.2.2 网络拓扑结构的选择原则 41
- 2.3 信息传输与复用技术 42
 - 2.3.1 传输链路——信道 42
 - 2.3.2 无线通信线路及无线通信系统 43
 - 2.3.3 有线通信线路 45

- 2.3.4 信道复用技术 45

2.4 信息转接与交换技术 50

- 2.4.1 概述 50
- 2.4.2 电路交换、报文交换与
分组交换 50
- 2.4.3 快速分组交换 57
- 2.4.4 多址通信 58

2.5 通信网的约定 59

- 2.5.1 网络体系结构 60
- 2.5.2 开放系统互连参考模型 63
- 2.5.3 因特网的协议模型——TCP/IP
协议模型 68
- 2.5.4 No. 7 信令网的协议模型 71
- 2.5.5 通信网的传输标准和质量标准 73

思考与练习 75

第3章 数据链路层技术 77

- 3.1 设计数据链路层的原因 77
- 3.2 数据链路层的功能 77
 - 3.2.1 帧同步功能 78
 - 3.2.2 差错控制的主要功能 79
 - 3.2.3 流量控制功能 79
 - 3.2.4 链路管理功能 79
- 3.3 差错控制技术 80
 - 3.3.1 差错的产生 80
 - 3.3.2 差错的检测 80
 - 3.3.3 差错处理 82
- 3.4 流量控制 83
 - 3.4.1 停-等协议 83
 - 3.4.2 连续 ARQ 协议 83
 - 3.4.3 滑动窗口协议机制 85
- 3.5 HDLC 协议原理 88
 - 3.5.1 HDLC 协议概述 88
 - 3.5.2 HDLC 的帧格式 89
 - 3.5.3 HDLC 的帧类型及其工作过程 90
- 3.6 PPP 协议原理及其应用 91
 - 3.6.1 PPP 协议概述 91
 - 3.6.2 PPP 协议的帧格式 93

3.6.3 PPP 协议的链路控制	94	5.1.5 子网的划分	133
3.6.4 PPP 协议的应用	94	5.1.6 无类地址与超网	136
思考与练习	95	5.2 网络层协议	138
第4章 局域网技术	96	5.2.1 IP 协议	138
4.1 概述	96	5.2.2 ARP 协议	140
4.1.1 局域网的特点	96	5.2.3 RARP 协议	141
4.1.2 局域网的分类	97	5.2.4 ICMP 协议	141
4.1.3 局域网的介质访问控制方法	97	5.2.5 DHCP 协议	143
4.2 局域网体系结构	98	5.2.6 IP 多播与 IGMP 协议	144
4.2.1 局域网的参考模型及协议标准	98	5.3 NAT	146
4.2.2 以太网和 IEEE 802.3 标准	101	5.4 IPv6 基础	147
4.2.3 令牌总线网与 IEEE 802.4 标准	104	5.4.1 概述	147
4.2.4 令牌环网与 IEEE 802.5 标准	105	5.4.2 IPv6 的报头格式	148
4.3 以太网的工作原理	106	5.4.3 IPv6 的地址空间和表示方法	150
4.3.1 网卡的作用	106	5.4.4 IPv4 向 IPv6 转换	151
4.3.2 以太网 MAC 层的硬件地址及其 表示	106	5.5 传输层协议	152
4.3.3 以太网的连接方式	107	5.5.1 传输层的基本功能	152
4.4 交换式以太网	111	5.5.2 TCP/IP 模型中的传输层	153
4.4.1 共享式集线器的局限性	111	5.5.3 用户数据报协议	155
4.4.2 共享式以太网存在的问题	112	5.5.4 传输控制协议	156
4.4.3 交换式以太网的工作机制和 组网结构	113	思考与练习	160
4.5 千兆以太网基础	116	第6章 广域网技术	163
4.5.1 概述	116	6.1 广域网概述	163
4.5.2 千兆以太网技术优势	117	6.1.1 广域网的组成	163
4.5.3 千兆以太网的组网应用	118	6.1.2 广域网的数据通信方式	164
4.6 虚拟局域网技术	118	6.2 广域网技术	165
4.6.1 虚拟局域网的概念	118	6.2.1 分组交换 X.25 网络	165
4.6.2 虚拟局域网的技术特点和类型	119	6.2.2 帧中继	168
4.6.3 虚拟局域网的优点	121	6.2.3 异步传输模式	172
4.7 无线局域网	122	6.2.4 MPLS	177
4.7.1 无线局域网的基本概念	122	6.3 IP 广域网的路由	181
4.7.2 无线局域网标准	123	6.3.1 路由选择与路由表	181
4.7.3 无线局域网的组网模式	126	6.3.2 路由及路由选择算法	184
思考与练习	127	6.3.3 IP 路由选择协议	189
第5章 IP 网络技术	129	6.4 拥塞控制与队列管理	195
5.1 IP 地址概述	129	6.4.1 拥塞的产生及拥塞控制的定义	195
5.1.1 IP 地址的结构及表示方法	129	6.4.2 拥塞控制的一般原理	196
5.1.2 IP 地址的分类	130	6.4.3 队列管理	197
5.1.3 特殊 IP 地址	131	6.5 IP 网络 QoS 控制	199
5.1.4 私有网络地址	132	6.5.1 IntServ 模型	199
		6.5.2 DiffServ 模型	200
		6.5.3 RSVP 协议	201
		思考与练习	202

第7章 网络互连	204	9.1 接入网概述	256
7.1 网络互连概述	204	9.1.1 接入网的基本概念	257
7.1.1 网络互连的目的和要求	204	9.1.2 接入网的定义与定界	258
7.1.2 网络互连的类型	206	9.1.3 接入网的主要接口与接入类型	260
7.2 基于距离的互连方式	206	9.1.4 接入网的功能与分类	262
7.3 基于层次的网络互连设备与网络互连方式	207	9.2 有线宽带接入技术	263
7.3.1 物理层互连	208	9.2.1 基于 PSTN 的铜线宽带接入技术	263
7.3.2 数据链路层互连	210	9.2.2 光纤接入技术	267
7.3.3 网络层互连	217	9.2.3 HFC 接入技术	270
7.3.4 高层互连	225	9.3 无线接入技术	274
7.3.5 网络互连的协议接口	227	9.3.1 固定无线接入技术	274
7.4 网络互连示例	229	9.3.2 移动接入技术	279
7.4.1 企事业网的组建	229	9.4 电力线接入技术	280
7.4.2 企业网组网实例	230	9.4.1 相关背景	280
7.4.3 校园网组网实例	231	9.4.2 电力线通信的基本概念和应用现状	280
思考与练习	231	9.4.3 电力线通信的基本原理和特点	281
第8章 网络应用	233	9.5 WiMAX 接入技术	282
8.1 因特网应用	233	9.5.1 WiMAX 与 IEEE 802.16	282
8.1.1 域名系统	233	9.5.2 WiMAX 的技术特点	283
8.1.2 电子邮件服务	236	9.5.3 IEEE 802.16 协议栈参考模型	283
8.1.3 文件传输协议	237	9.5.4 WiMAX 的网络架构	284
8.1.4 HTTP 与 WWW 服务	238	9.5.5 WiMAX 技术的应用前景	285
8.2 IP 电话	240	思考与练习	285
8.2.1 IP 电话概述	240	第10章 网络管理与安全	286
8.2.2 IP 电话网的基本结构	242	10.1 网络管理概述	286
8.2.3 IP 电话的标准	242	10.2 网络管理的体系结构	287
8.3 IP 多媒体应用及其协议	244	10.2.1 组织模型: 管理者-代理模型	287
8.3.1 IP 多媒体应用概述	244	10.2.2 网络管理的信息模型	288
8.3.2 实时传输协议	245	10.2.3 通信模型	291
8.3.3 实时传输控制协议	246	10.2.4 网络管理的功能	293
8.4 P2P 应用	248	10.3 网络安全概述	294
8.4.1 P2P 的概念	248	10.3.1 网络安全的目标	294
8.4.2 P2P 的原理	248	10.3.2 网络安全的主要防范机制	295
8.4.3 P2P 的应用	249	10.4 网络安全技术	296
8.5 网络应用及开发基础	250	10.4.1 加密技术	296
8.5.1 网络编程接口	250	10.4.2 数字签名基础	302
8.5.2 基于 Winsock 的网络编程方式	251	10.4.3 防火墙技术	304
8.5.3 Winsock 网络编程举例	252	10.5 网络安全协议	306
思考与练习	255	10.5.1 应用层安全协议	306
第9章 接入网技术	256	10.5.2 传输层安全协议	307
		10.5.3 网络层安全协议	308

10.5.4 网络接口层安全协议	309	11.2.1 软交换技术	316
思考与练习	310	11.2.2 IMS 技术	320
第 11 章 下一代网络架构与关键技术	311	11.2.3 IMS 的特点及其与软交换的 比较	324
11.1 下一代网络的基本概念 和体系结构	311	11.3 网络融合的发展现状	326
11.1.1 NGN 的基本概念和特征	311	11.3.1 NGN 替代传统核心网的进程 加快	326
11.1.2 NGN 的分层体系结构	313	11.3.2 IMS 发展迅速	328
11.1.3 NGN 的特点	314	思考与练习	329
11.1.4 NGN 的标准化活动	315	参考文献	330
11.2 NGN 的关键技术	316		

第1章 通信网的概论及数学基础



内容提要

本章介绍了通信网的一些基本概念, 主要内容包括通信网的发展史、组成、网络结构、分类及体系结构, 数据通信的基础知识以及通信网中的数学基础知识, 使读者首先在宏观上对通信网有一个梗概的全面了解。

1.1 通信的基本概念及其发展

人类社会建立在信息交流的基础上, 通信是推动人类社会文明、进步与发展的巨大动力。什么是通信? 通信是人与人之间通过某种媒体进行的信息交流与传递, 从广义上说, 无论采用何种方法, 使用何种媒质, 只要将信息从一地传送到另一地, 均可称为通信。例如, 古代, 人们通过驿站邮传、飞鸽传书、烽火报警等方式进行信息传递; 近代, 人们通过传统的文字书信、电报、电话传递信息; 现代, 随着信息技术的飞速发展, 相继出现了移动电话、互联网以及可视电话等各种通信方式。

因此, 在现实生活中, 人们通信的目的是实现信息的传递。需要说明的是, 在信息技术领域里所说的通信特指在电子化的通信系统中进行的信息传递。在这种系统中, 信息是利用电子技术的手段以电信号(或光信号)的形式来传输的, 即所谓的“电通信”。而电通信的最大特点就是能克服时间和空间上的障碍, 使大量远距离的信息传递和交换成为可能和现实。

早在 1837 年, 美国画家和发明家莫尔斯发明了电报。受电报启示, 人们开始研究用电信号传送语音的电话。直到 1876 年, 英国出生的美籍发明家亚历山大·格雷厄姆·贝尔设计了世界上第一部利用电信号传播声音的实用的电磁式电话机。至此, 出现了最早的电通信。

通信发展至今, 从传输媒体来说, 已由单一形式的电通信(有线电通信)发展到无线电通信、光通信; 从传输信号的形式来说, 已由模拟通信发展到数字通信; 从交换方式来说, 已由单一的电路交换发展到电路交换、分组交换和宽带交换三分天下的局面; 从传递的信息形式来说, 已由单一的语音发展到语音、传真、数据、图像等。

目前, 现代通信将朝着数字化、综合化、智能化、宽带化、个人化的方向继续演变发展。

1.2 通信网的概念及其发展

1.2.1 通信网的基本概念

从传统的意义上说, 通信是人们在日常生活工作中互相传递信息的过程。在当今的信息

社会中,人们对通信的需求更是与日俱增。为达到通信的目的,必须建造一个信息传递网,来满足整个社会或者具有某种属性的某个群体的通信需求,这个网络就是通信网。只有依靠由传输媒质组成的通信网络来完成信息的传输和交换,才能在众多的用户之间实现相互通信。最早存在于人们生活中的固定电话通信网,就是通过传输介质接通交换机,形成传输和交换声音信息的一种通信网络。

随着计算机技术的发展和其与通信技术的结合,计算机应用得到了快速普及,从而带动了以传递数据为主的数据通信网应运而生。数据通信网从其设计、建造和使用等方面都充分考虑了数据传输的特点,为计算机之间的数据传输提供了一种高效、快速的通信方法,成为继公用电话通信网后又一个迅速发展起来的公用通信网。公用数据网包括分组交换网、帧中继网、数字数据网等,它们从不同的层面向各种计算机用户提供全方位的通信服务。

通信网的种类很多,不同的通信网为用户提供不同的通信服务。各种通信网络的相继问世,给“通信网”这一概念赋予了越来越丰富的内涵。因此,我们今天所说的通信网,不应该仅指某一种类型的通信网。它不只是电信网,也不专指计算机网,更不是广播电视网所能代表的,它应该是所有用于信息传递的网络的所有共性的总称,它包含了通常所说的计算机网、电信网、互联网以及广电网等。通信网所涉及的问题具有广泛的综合性和整体性。

因此,概括地讲,通信网是所有用于信息传递的网络的总称。

1.2.2 电信网的发展历程

自1876年贝尔发明了电话之后,直到今天电话业务(语音)一直是通信网络的主要业务。然而,在最近的20多年里,非话业务有了稳步增长。与此同时,为适应非话业务的需要,出现了一系列的新的通信网络。

20世纪60年代以前,主要是有线方式的模拟电话网。20世纪60年代初,采用数字传输和交换的电话网投入使用,一直延续到今天,现在全世界范围内运转着两种数字载波系统。

- E1系统:30个64kbit/s语音信道,速率为1.544Mbit/s的数字传输系统;
- T1系统:24个64kbit/s语音信道,速率为1.544Mbit/s的数字传输系统。

这就是最早的脉冲编码调制(PCM)时分通信系统。

20世纪60年代后期,计算机的出现,以及工业自动控制的发展,人们开始用计算机联网,实行工业自动控制的集中调度与共享。而后,由于业务项目增加,以及要求能够对信息进行存储、交换和处理,于是开始使用微处理器或小型计算机来完成这些复杂功能。同时,计算机也成了终端用户,因此,就形成了一个综合通信和计算机两大技术的计算机通信网。

随后,出现数据通信网,并使得分组交换网获得了长足发展;再后,卫星通信网开始布局全球,成为远距离通信的重要手段。20世纪70年代后期,移动通信得到了大发展。现在,移动通信网已经成为与固定通信网平分天下的极其重要的全球通信网络。

20世纪80年代,随着人们生活水平的不断提高,要求声音、图像和数据综合在一个网内同时进行传输,实现综合业务同一网络内的通信,一种称为综合业务数字网(ISDN)的通信网开始实施。这种以数字化为前提的通信网,是全数字化的。在宽带传输网技术的发展过程中,ISDN发挥过重要作用。但是,随着技术的发展,将其作为宽带综合业务数字网的独立制式的可能性越来越小。

20 世纪后期一直到目前,全球兴起的互联网热潮,已经日趋成熟。这一时期可以说是信息通信技术 (ICT) 发展的黄金时期,是新技术、新业务产生最多的时期。完全可以肯定,因特网已经成为了与电信网势均力敌的网络大户,并且两者将逐步走向融合。

因此,通信网络的产生和发展与通信技术和计算机技术的发展是密不可分的,纵观电信网的发展历程,可大致划分为 4 个阶段。

第一阶段始于 19 世纪末,电话广泛使用,自动接续;到 20 世纪中叶,初步形成了以较为完整的载波传输、纵横交换的电话通信为主,电报为辅的第一代通信系统。是典型的模拟通信网时代。

第二阶段是 20 世纪 60 年代,显著标志是第一台存储程序控制的本地交换机出现;PCM 技术,全球通信卫星。信息传递发生了根本变革——数字通信。

第三阶段是 20 世纪 70 年代,主要特征是产生了数据网络和分组技术。如 ARPANET, X.25, OSI/RM, 局域网。到 20 世纪 80 年代,就形成了以数字传输、程控交换的电话通信为主,其他非话通信为辅的第二代通信系统。

第四阶段始于 20 世纪 80 年代,以综合业务数字网 (ISDN) 和移动通信的应用为主要特征。第三代通信网络格局形成。

1.2.3 计算机网络的发展史

纵观计算机网络的发展历史可以发现,它和其他事物的发展一样,也经历了从简单到复杂,从低级到高级的过程。在这一过程中,计算机技术与通信技术不断紧密结合,相互促进,共同发展,最终产生了计算机网络。

计算机网络始于 20 世纪 50 年代。它的发展是从简单的为解决远程计算、信息收集和处理而形成的专用联机系统开始的。随着计算机技术和通信技术的发展,又在联机系统广泛使用的基础上,发展到将多台中心计算机连接起来,组成以共享资源为目的的计算机网络。概括而言,计算机网络的发展过程主要经历了 4 个阶段:面向终端阶段、面向通信网络阶段、面向应用 (标准化) 网络阶段、高速网络阶段。

1. 以单个主机为中心的面向终端阶段

这种系统也称为简单的计算机联机系统,如图 1-1 所示。所谓联机系统,就是一台中央主计算机连接大量的在地理上处于分散位置的终端。

这种简单的计算机联机系统包括一台中心计算机和多台终端。系统主要功能是完成中心计算机和各个终端之间的通信,而终端之间通过中心计算机进行通信。严格地说,这种系统只是形成了计算机网络的雏形,与以后发展成熟的计算机网络相比,存在着一个根本的区别,就是这种系统中除了一台中心计算机外,其余的终端设备都没有自主处理数据的功能,还不能算作计算机网络。

世界上第一个联机数据通信系统是 20 世纪 50 年代初美国建立的半自动地面防空系统 (SAGE)。

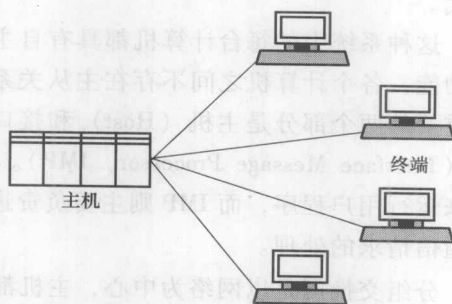


图 1-1 简单的计算机联机系统

随着连接终端个数的增多,上述联机系统存在两个显著缺点:一是主机系统负荷太重,它既要承担本身的数据处理任务,又要承担通信任务;二是通信线路利用率很低,特别是当终端远离主机时尤为明显。为了克服第一个缺点,可以在主机之前设置一个前端处理器(Front End Processor, FEP)或通信控制器(Communication Control Unit, CCU),专门负责与终端的通信工作,使主机能有较多的时间进行数据处理,从而更好地发挥中心计算机的数据处理能力。为克服第二个缺点,通常是在终端较为集中的区域设置线路集中器,它首先通过低速线路将附近群集的大量终端先连接到集中器上,集中器则通过通信线路与前端处理器相连,如图 1-2 所示。这种系统是以中央计算机为核心的具有通信功能的远程联机系统,终端与主机之间可以实现通信,也称面向终端的网络。如 20 世纪 60 年代初期美国建成的由一台计算机和遍布全美 2000 多个终端组成的美国航空公司飞机订票系统(SABRE)和随后出现的具有分时系统的通信网。

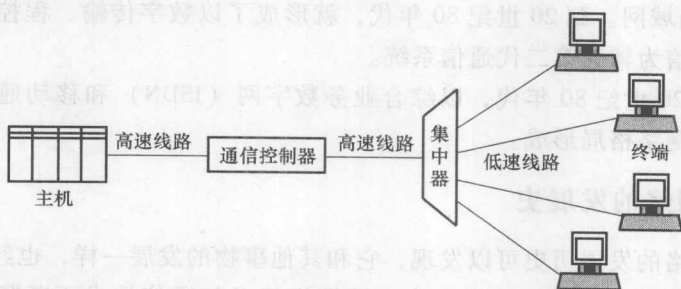


图 1-2 面向终端的远程联机系统

2. 面向通信网络阶段

联机系统的发展提出了在计算机系统之间进行通信的要求。20 世纪 60 年代中期,英国国家物理实验室(NPL)的戴维斯(Davies)提出了分组(Packet)的概念,1969 年美国的分组交换网 ARPANET 投入运行,使计算机网络的通信方式由终端与计算机之间的通信发展到计算机与计算机之间的直接通信,形成了多个主计算机通过通信线路互连起来的系统,如图 1-3 所示。从此,计算机网络的发展进入了一个崭新的时代。

这种系统中的每台计算机都具有自主处理数据的功能,各个计算机之间不存在主从关系。系统中最重要两个部分是主机(Host)和接口信息处理器(Interface Message Processor, IMP)。主机主要用来运行用户程序,而 IMP 则主要负责进行主机之间通信请求的处理。

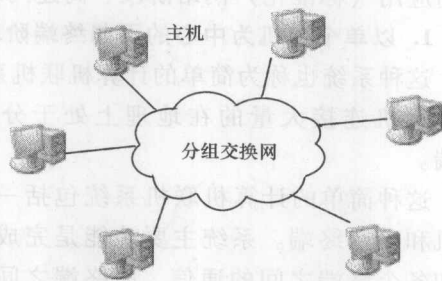


图 1-3 以分组交换网为中心的计算机网络

分组交换网是以网络为中心,主机都处在网络的外围,用户通过分组交换网可共享连接在网络上的多个硬件和各种丰富的软件资源。在讲述计算机网络原理的许多文献中,通常把分组交换网划入通信子网中,而将用户的主机划入资源子网中。关于通信子网与资源子网的概念在 2.5 节中有具体介绍。

以 ARPA NET 为代表,标志着我们目前常称的计算机网络的兴起。20 世纪 60 年代后

期, 由美国国防部高级研究计划局 (ARPA) (目前称为 Defense Advanced Research Projects Agency, DARPA) 提供经费, 联合计算机公司和大学共同研制而发展起来的 ARPANET, 主要目标是借助于通信系统, 使网内各计算机系统之间能够相互共享资源, 最终促使一个实验性的 4 个结点网络开始运行并投入使用。ARPA NET 是一个成功的系统, 它在概念、结构和网络设计方面都为后续的计算机网络打下了基础。

3. 面向应用 (标准化) 的网络阶段

1974 年, 美国 IBM 公司公布了它研制的计算机系统网络体系结构 (System Network Architecture, SNA)。不久, 各种不同的分层网络系统体系结构相继出现。

对各种体系结构来说, 同一体系结构的网络产品互联是非常容易实现的, 而不同系统体系结构的产品却很难实现互联。但社会的发展迫切要求不同体系结构的产品都能够很容易地实现互联, 人们迫切希望建立一系列的国际标准来得到一个“开放”的系统。为此, 国际标准化组织 (ISO) 于 1977 年成立了专门的机构来研究该问题, 在 1984 年正式颁布了“开放系统互连基本参考模型 (Open System Interconnection Basic Reference Model)”的国际标准 OSI, 这就产生了第三代计算机网络, 即计算机网络是遵循国际标准化协议、具有统一网络体系的结构。这样, 只要遵循 OSI 标准, 一个系统就可以和位于世界上任何地方的、也遵循同一标准的其他任何系统进行通信。

4. 高速互联网络阶段

进入 20 世纪 90 年代, 计算机技术、通信技术以及建立在互联计算机网络技术基础上的计算机网络技术得到了迅猛的发展。特别是 1993 年美国宣布建立国家信息基础设施 (National Information Infrastructure, NII) 后, 全世界许多国家纷纷制定和建设本国的 NII, 从而极大地推动了计算机网络技术的发展, 使计算机网络进入了高速互联的网络阶段。目前, 全球以 Internet 为核心的高速计算机互联网络已经基本形成, Internet 已经成为人类最重要、最大的知识宝库。

20 世纪 90 年代至今都是属于第四代计算机网络, 第四代网络是随着数字通信的出现和光纤的接入而产生的, 其特点是网络化、综合化、高速化及计算机的协同能力。同时, 快速接入 Internet 的方式也不断地诞生。

1.3 通信网的组成与结构

1.3.1 通信网的组成和功能

通信网的基本组成单元是通信系统。所谓通信系统就是将一个用户的信息传送到另一个用户的全部软、硬件设施。这些系统大部分应用在点对点环境, 如微波系统、光通信系统和卫星通信系统等。实际应用中存在各种类型的点对点通信系统, 尽管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 1-4 所示的一般模型, 其基本组成包括: 信源、变换器、信道、反变换器、信宿及噪声源 6 个部分。

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)。



图 1-4 通信系统组成的一般模型

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，变换器则包括送话器和模/数转换器等，模/数转换器的作用是将送话器输出的模拟语音信号经过模/数转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）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，起还原的作用。

5. 信宿

信宿是信息的接收者，可以是人或设备。

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。

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。通信网可以看作是用于完成任意用户之间信息传递和交换的全部设备的总和，是通信系统的系统。通信网络离不开具体的通信系统，而网络的许多问题带有整体性和全局性，通信网的理论基础就是分析这些问题。

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因素，这些因素增加了设计一个实际可用的网络的复杂度。

1.3.2 现代通信网的系统架构

通信网络主要包括了能进行信息与信号互相转移的终端，传输信号所需要的传输与交换设备以及相应的通信机制（如信令、标准及管理系统等）。

客观地讲,现代通信网络是一个非常庞大的系统,可以把它看成是由若干个子系统或子网组成的。由于它包括了网络上所有的设施(软件、硬件)和大量的规程、标准及约定,不论是理论上还是技术上都是非常复杂的。从系统的角度全面来看,通信网由网络业务应用、网络软件及控制、网络拓扑及物理平台以及网络支撑等若干子系统组成,它们的相互关系够成了通信网的系统架构,如图 1-5 所示。

其中,网络拓扑及物理平台包括了交换转接设备、传输设备,以及用户接入设备、终端设备等,他们构成了整个网络的物理平台。物理平台通过软件系统来发挥其潜在的功能和协调地运转。

网络软件及控制子系统包括各种操作系统、协议、规程、约定和质量标准等。包括了传输交换结点的操作系统及应用程序;也包括了信令、规程和标准,是保证网络正常运转不可或缺的部分,它代表着信息传递的一种流程、一种程序。

网络业务应用子系统包括了网络能支持的全部信息传递业务,它是建立在网络的各种软、硬件资源上的一个信息通信业务服务子网。它的运行可以为网络用户提供更高层次的信息传递服务。

网络支撑子系统实现信令控制、网同步、网络管理以及网络安全等功能,完成对网络运行状况的监视与控制,从而提高网络资源的利用率,优化网络资源的使用、提高网络的可靠性、安全性和服务质量等。

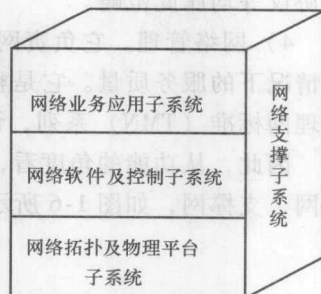


图 1-5 通信网的系统架构

1.3.3 通信网的垂直结构和水平结构

从通信网的规划、分析、设计、工程建设和运行维护的角度来考虑,通信网的基本结构又可以按垂直方向或水平方向进行分解。

1. 按垂直方向分解——垂直结构

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。如电话网、计算机网络等。电话网是我们每个人最早使用和最熟悉的通信网,它主要用来传送用户的语音信息;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(如打印机、绘图仪、扫描仪等)共享等。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。

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、实现原理上又存在共性之处,例如,它们都实现了以下 4 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 3 大类:用户信息、信令信息、管理信息。信息传输主要由交换结点和传输系统完成。

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3部分:业务网、传送网、支撑网,如图1-6所示,这就是通信网的垂直结构模型。

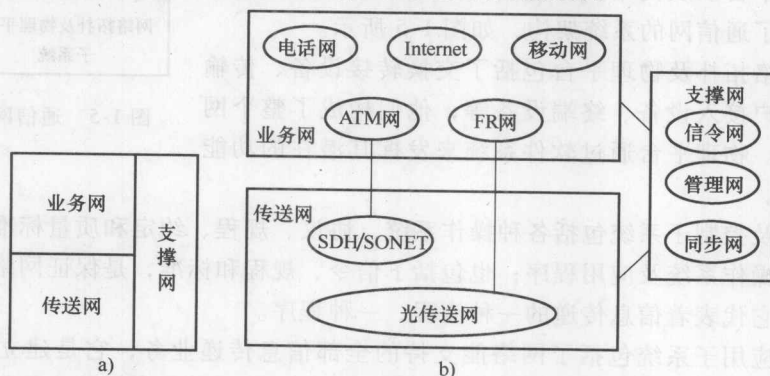


图 1-6 通信网的垂直结构模型

a) 模型结构 b) 举例

(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、电报、图像、数据、多媒体、租用线、VPN等,采用不同交换技术的交换结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。在业务网中传递的是各类业务的信息信号。

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、结点交换技术、寻址方式(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,其中交换结点设备是构成业务网的核心要素。表1-1列出了一些主要的业务网以及它们提供的业务、所采用的交换结点设备和交换技术。

表 1-1 主要的业务网类型

业 务 网	基 本 业 务	交 换 结 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	业务交换结点、业务控制结点	电路交换
分组交换网(X.25)	低速数据业务($\leq 64\text{ kbit/s}$)	分组交换机	分组交换
帧中继网	局域网互连($\geq 2\text{ Mbit/s}$)	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($\geq \text{Mbit/s}$)	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

传送网是整个通信网的基础,是负责将消息信号进行安全可靠有效传递的实现手段。传

送网应具备复用、传输、交换和交叉连接的功能，并具有强大的网络管理功能和网络保护功能。理想中的传送网应是一个服务于多业务、多环境的统一的传送平台。

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，负责按需为交换结点/业务结点之间的互连分配电路，在这些结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、传送网结点技术等，其中传送网结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。

SDH/SONET 和光传送网（OTN）是目前主要的两种传送网类型。传送网结点与业务网的交换结点相似之处在于：传送网结点也具有交换功能。不同之处在于：业务网交换结点的基本交换单位本质上是面向终端业务的，粒度很小，如一个时隙、一个虚连接；而传送网结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，如 SDH 中基本的交换单位是一个虚容器（最小是 2Mbit/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 2.5Gbit/s）。另一个不同之处在于：业务网交换结点的连接是在信令系统的控制下建立和释放的，而光传送网结点之间的连接则主要是通过管理层面来指派建立或释放的，每一个连接需要长期化维持和相对固定。

（3）支撑网

顾名思义，支撑网是对网络的正常运行起支持作用的。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。信令网主要有同步网、信令网和管理网。在支撑网中传送的是相应的控制、监测等信号。

1) 同步网。它处于数字通信网的最底层，负责实现网络结点设备之间和结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，它负责在网络结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、优化网络性能、发现和排查故障，是有效对通信业务网的运行实现集中监控、实时调度的自动化管理手段。

2. 按水平方向分解——水平结构

从网络的物理位置分布来划分，通信网又可以分成用户驻地网（CPN）、接入网和核心网 3 个部分，这就是通信网按水平方向分解得到的结构模型，如图 1-7 所示。



图 1-7 通信网的水平结构模型

其中用户驻地网是业务网在用户端的自然延伸，接入网可以看成是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。