

数据网络、IP与 Internet技术

Data Networks, IP and the Internet:
Protocols, Design and Operation

[德] Martin P. Clark 著
蔡丽 刘永军 等译



电子工业出版社

PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

<http://www.phei.com.cn>

数据网络、IP 与 Internet 技术

Data Networks, IP and the Internet: Protocols, Design and Operation

[德] Martin P. Clark 著

蔡丽 刘永军 等译

电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京 • BEIJING

内 容 简 介

本书把网络的各种知识和不同部件组合在一起,研究计算机之间的通信。全书共分 15 章,1~3 章介绍数
据通信的基本原理,4~15 章详细描述数据通信协议中的 IP 以及网络程序,涉及到网络拓扑结构、网络访问方
式、使用的协议、路由策略、冗余、安全、防火墙、分布式计算应用、网络服务、服务质量等。同时书后有
许多附录,方便读者查找和快速浏览。

本书既适合通信网络专业的本科生、研究生阅读,对从事通信网络工程、技术服务的工程技术人员和用
户来说也是极有价值的基础性参考读物。

Copyright © 2003 John Wiley & Sons Ltd.

All rights reserved. Authorized translation from the English language edition published by John Wiley & Sons, Inc.

本书简体中文专有翻译出版权由 John Wiley & Sons Ltd. 授予电子工业出版社,未经许可,不得以任何方式复
制或抄袭本书的任何部分。

版权贸易合同登记号 图字:01-2003-7876

图书在版编目(CIP)数据

数据网络、IP 与 Internet 技术/(德)克拉克(Clark, M.P)著;蔡丽,刘永军等译. —北京:电子工业出版
社,2004.6

书名原文:Data Networks,IP and the Internet:Protocols,Design and Operation

ISBN 7-102-00002-0

I. 数… II. ①克… ②蔡… ③刘… III. 计算机通信 IV. TN91

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 043483 号

责任编辑:沈艳波

印 刷:北京智力达印刷有限公司

出版发行:电子工业出版社

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编 100036

经 销:各地新华书店

开 本:787×1092 1/16 印张:45.25 字数:1152 千字

印 次:2004 年 6 月第 1 次印刷

印 数:5000 册 定价:59.00 元

凡购买电子工业出版社的图书,如有缺损问题,请向购买书店调换。若书店售缺,请与本社发行部联系。
联系电话:(010)68279077。质量投诉请发邮件至 zltz@phei.com.cn,盗版侵权举报请发邮件至
dbqq@phei.com.cn。

译者的话

当前网络技术已经渗透到生活的每个角落，技术发展也突飞猛进，越来越多的人不仅期望能够深刻理解网络基础知识，更希望能够提高实践能力。现在市场上有很多介绍网络的书籍，但是一般是两个极端，一是滔滔不绝地介绍 OSI 模型和 TCP/IP 等的原理，另一个是偏重介绍某种特定的网络技术或者产品，整篇都是代码。这两种书都不适合于入门者学习，也不适合真正搭建网络的工程师参考。

《数据网络、IP 和 Internet 技术》的作者是互联网早期研究者之一，本书以独树一帜的方法把技术上的准确性和当前网络研究热点完美结合起来，讲述了网络的底层技术和连网技术。讲述的内容都是网络设计者和操作者需要面对的所有主要问题，包括：网络拓扑结构、网络访问方式、协议、路由策略、冗余、安全、防火墙、分布式计算应用、网络服务、服务质量等。

《数据网络、IP 和 Internet 技术》以一种清晰和易于接受的方式将深奥的互联网技术问题表达给具有各种背景的读者。本书语言简朴，由浅入深地阐述各种网络技术理论，使得入门者不仅能够循序渐进地掌握各种概念和术语，同时可以获得网络建设的经验，以及搭建和运行现代数据网络的实用技巧。

我们很荣幸能够有机会承担本书的翻译工作。在拿到这本书时，我们没有立即翻译，而是首先通读了全书，深深感到本书对每个技术主题和实践经验的讲解详尽、全面、透彻。当然作者的写作方式和文采也深深吸引了我们。在翻译过程中，我们经常为了一个术语、一句话讨论半天。我们抱着认真的态度将这本书的中文版奉献给读者，希望广大读者能够从中有所收获，这是作者的初衷，也是我们良好的愿望！

本书的适用对象很广泛，对于学习和了解计算机网络技术的专科生、本科生和研究生，本书可以作为教辅材料和课外读物。对于从事网络工程、网络技术服务的工程技术人员和用户，本书也是一本极有价值的基础性参考读物。

本书由蔡丽、刘永军组织翻译，其他参与本书翻译、输入、审校的人员包括：龚超、田军、张莉、胡方霞、陈发吉、李志、张巧莉、龚志翔、季宁、李红玲、任宇斌、易向东、周松建、陈磊、冯军、张溟、王强、吴秋丽、张小潘、赵欣胜、亢慧娟、杨宏伟、赖擎、田野、韩存兵、许宁、姚宣霞、陈鹏、方淼、胡召欢、高利辉、王卓峥以及高玮等。

由于时间仓促，且译者经验和水平有限，译文难免有不妥之处，我们殷切地期望读者能提出中肯的意见，以便于提高翻译水平，把更好的图书呈现给大家！

感 谢

任何一本涉及因特网的书都不会否认 Internet Engineering Task Force (IETF) 和它的上级机构 Internet Society 对因特网的发展所作出的巨大贡献, 还有许许多多致力于因特网进程和所有 RFC (request for comments 的缩写) 文档的有志之士, 由于人员众多而不能一一进行介绍。

我要感谢下面的机构在版权方面所作出的贡献:

- Apple Computer;
- Black Box Corporation 和 Black Box Deutschland GmbH;
- France Telecom;
- IBM;
- International Telecommunications Union;
- Microsoft Corporation/Waggener Edstrom;
- RS Components Ltd.。

对我的请求, 上述的每个机构都热心帮助并及时回复, 我衷心感谢他们, 尤其是 IBM 的联机帮助和技术支持 (www.ibm.com/ibm/history), 以及电缆、设备供应商: Black Box Corporation、Black Box Deutschland GmbH 和 RS Components Ltd.。

本书摘录于 ITU-T 的部分由 ITU 版权所有, 摘录部分都标注有出处。有关 ITU 的所有资料可以从 ITU 市场营销部获得。地址: CH-1211 Geneva 20, 瑞士。电话: +41 22 730 6141 (英语) / +41 22 730 6142 (法语) / +41 22 730 6143 (西班牙语)。邮编: 421000。传真: +41 22 730 5194。E-mail: Sales@itu.int。网址: www.itu.int/publications。

最后我要感谢我的助手们, 他们在文章起草时帮助过我并提出了宝贵的改进意见:

- 我的兄弟 Andrew Clark;
- 我的密友和同事 Hubert Gartner;
- 剑桥大学的 Jon Crowcroft, 他花费大量的时间仔细研究我的原稿并提出许多宝贵意见;
- Susan Dunsmore (编辑), 她不仅要修正文章中的斜体和格式, 还要改正我语法上的错误;
- John Wiley 的编辑人员——Zoë Pinnock, Sarah Hinton 和 Mark Hammond。

Martin P. Clark

前 言

商业社会越来越依赖数据通信，而现代数据网络主要基于因特网（Internet），或者说至少基于 IP（网际协议）网络。尽管存在这些事实，许多人依然被 IP 和多协议数据所困惑。所有的协议是怎样组合在一起的？怎样构建一个网络？将会遇见哪种类型的问题？本书既适用于有经验的网络设计者和建设者，也适用于网络建设的新手和学生，这里需要对“网络建设”这个复杂的专业词汇进行解释，即把众多的“协议”概念放入上下文中并为后续的阅读引用提供快捷、简易的手册。

即使是有经验的电信和数据网络专业人员，对数据网络部件和协议的工作过程以及它们对计算机应用程序的影响在理解上依然感到很混乱。我买过许多关于因特网、IP 以及多协议网络等方面的书籍，却发现它们当中许多书是“用代码编写”的，一些书中包含大量的计算机程序代码，而另一些书却要求读者必须具备面向对象的知识。

把网络的各种知识和不同部件组合在一起研究计算机之间的通信，是项很辛苦的工作，需要具有丰富的经验，或者研究过大量的相关书籍。我一直想把自己的经验编写成书和便利的参考手册，这就是本书出版的原因。我的目的就是用简朴的语言，由浅入深地阐述各种原理，即向新手们循序渐进地介绍各种概念，使他或者她熟悉数据通信的术语（数据通信是个不可避免的专业词汇），但是所有主题都离不开下列基本原则：

- 贴近实际而且容易理解；
- 分享网络建设的经验和实际案例；
- 不仅包含理论的“概念”，而且提供搭建和运行现代数据网络的实用技巧。

本书涉及到数据网络设计者和操作者要面对的所有主要问题：网络拓扑结构，网络访问方式，使用哪种协议，路由策略，冗余，安全，防火墙，分布式计算应用，网络服务，服务质量，等等。

本书采用简明扼要的语言进行阐述和编写，首先解释包数据网络以及现代数据通信所基于的分层协议的基本原理，然后详细地阐述与现代 IP 网络和因特网相关的术语。本书并不是按照层层铺垫、环环相扣的结构进行设计的，因此读者不必全部通读，我的目的就是让那些只想对事物有简单认识而快速浏览的读者满意，而读者也不必担心是否有这方面的基础知识。

本书后面的附录和术语表提供有关接口、协议字段的名称和格式、RFCs（Internet 规范），以及缩略语等方面的信息，有利于实习工程师参考（图表和一些附录也可以从下列站点下载获得：<http://www.wiley.co.uk/clarkdata/>）。这么多的简称、术语、协议、域代码，以及技术配置信息，要把它们全部牢记于心几乎是不可能的。

本书旨在为读者提供一本完整的关于现代数据网络的教科书和参考书，我希望它对广大读者能有所帮助。如果你有好的意见或建议，请与我联系，我将不胜感激！

Martin P. Clark

目 录

第 1 章 因特网、电子邮件、电子商务和万维网 (WWW)	(1)
1.1 起源——ARPANET	(1)
1.2 数据通信分层协议的出现	(1)
1.3 SNA (系统网络结构)	(3)
1.4 DECnet	(4)
1.5 其他大型计算机厂商	(4)
1.6 X.25 (由 ITU-T 推荐)	(5)
1.7 DTE (数据终端设备)、DCE (数据电路端接设备)、线路接口和协议	(6)
1.8 UNI (用户-网络接口)、NNI (网络-网络接口) 和 INI (网间接口)	(8)
1.9 开放系统互连 (OSI)	(9)
1.10 EDI (电子数据交换)	(14)
1.11 CompuServe, prestel, minitel, BTx (Bildschirmtext) 和 teletex	(15)
1.12 UNIX 在因特网发展史上的作用	(16)
1.13 PC (个人电脑) 的出现	(17)
1.14 局域网 (LAN)	(18)
1.15 LAN 服务器、网桥、网关和路由器	(19)
1.16 IP 为什么会成为“开放”通信的标准	(20)
1.17 IP (网际协议) 以及因特网的发展和文件	(20)
1.18 电子邮件和域名系统 (DNS)	(21)
1.19 HTML、Windows NT 和万维网	(22)
1.20 因特网地址和域名	(22)
1.21 什么是 ISP (因特网服务提供商) 和 IAP (因特网访问提供商)	(23)
1.22 电子商务的出现	(23)
第 2 章 数据通信和分组交换的基本原理	(24)
2.1 二进制码	(24)
2.2 二进制码数字的光电表示和存储	(25)
2.3 用二进制码表示文本信息	(25)
2.4 ASCII (美国信息交换标准码)	(25)
2.5 EBCDIC 和扩充的 ASCII	(29)
2.6 二进制码传输图形图像的用法	(29)
2.7 二进制消息的解码——要求同步并且避免误码	(31)
2.8 数字传输	(32)
2.9 利用调制解调器对模拟介质上的数字信息的调制	(32)
2.10 检波和解调——误码和眼图	(40)
2.11 减少误码——再生、误码检测和校正	(41)
2.12 同步	(43)
2.13 分组交换、协议和统计多路复用	(48)

2.14	对称和非对称通信: 全双工以及其他术语	(52)
2.15	串行和并行通信	(53)
2.16	长距离线路的问题——遵守最大线路长度的需要	(54)
第3章	基本的数据网络和协议	(58)
3.1	数据网络的基本构件	(58)
3.2	第1层——物理层接口: DTE/DCE、线路接口和协议	(61)
3.3	第2层——数据链路层	(84)
3.4	第3层——网络层和网络层地址	(89)
3.5	第4层——传输层协议	(97)
3.6	第5至第7层的更高层的协议	(99)
3.7	协议栈和嵌套式的协议控制信息 (PCI)	(102)
3.8	实际的网络协议栈表示法	(104)
3.9	协议封装	(105)
3.10	控制和管理协议	(105)
3.11	影响协议选择以及网络设计和操作的传播效果	(107)
第4章	局域网 (LAN)	(109)
4.1	局域网的拓扑结构和标准	(109)
4.2	以太网 (CSMA/CD, IEEE 802.3)	(110)
4.3	以太网标准 (IEEE 802.3 和 IEEE 802.2)	(112)
4.4	以太网的链路层协议——LLC 和 MAC	(112)
4.5	以太网的物理层——物理层信号 (PLS) 的基本功能	(118)
4.6	以太网集线器 (半双工中继器)	(119)
4.7	不同的物理层——以太网、快速以太网和千兆位以太网	(120)
4.8	局域网网段和中继器——扩展单个冲突域的范围	(124)
4.9	局域网交换机——局域网内的扩展网络覆盖范围和管理通信	(127)
4.10	其他类型的局域网 (令牌环网和令牌总线)	(130)
4.11	局域网操作系统软件和局域网服务器	(137)
4.12	网络互连——网桥、交换机、VLAN、路由器和网关	(138)
第5章	广域网、路由器和网际协议 (IP)	(145)
5.1	WAN (广域网)、路由器、网际协议 (IP) 和 IP 地址	(145)
5.2	路由器的主要功能	(146)
5.3	单播、广播、多播和任播转发	(150)
5.4	路由表的格式——静态路由和动态路由	(152)
5.5	路由表约定	(154)
5.6	简单路由控制机制: 生存期 (TTL) 和跃距数限制域	(155)
5.7	网际协议版本 4 (IPv4)	(155)
5.8	ICMP (网络控制消息协议)	(161)
5.9	网络地址分配方案 (IPv4)	(163)
5.10	区分服务 (区分服务和 DS 域)	(168)
5.11	网际协议版本 6 (IPv6)	(172)

5.12	IPv6 的 ICMP	(177)
5.13	IPv6 的地址分配	(178)
5.14	多播	(182)
第 6 章	路由表和协议	(187)
6.1	路由表: 变更后的静态和动态路由表	(187)
6.2	通过比较可选的路由距离或代价选择最佳路由	(188)
6.3	存储、更新和重新计算路由表和路由数据库	(190)
6.4	路由表的准确性和稳定性	(191)
6.5	路由表中的目的地址的描述	(193)
6.6	路由协议和相关算法及测量	(194)
6.7	网络间的路由信息分发	(195)
6.8	距离向量和链路状态协议的路由方法	(197)
6.9	初始化路由协议: 邻居发现和“hello”程序	(199)
6.10	路由协议以及与 IP 协议的关系	(200)
6.11	不同网络路由协议的使用	(200)
6.12	RIP (路由信息协议)	(202)
6.13	OSPF (开放最短路径优先)	(207)
6.14	BGP4 (边界网关协议版本 4)	(225)
6.15	源网络和目的网络内与路由相关的问题	(232)
6.16	路由管理问题	(239)
第 7 章	传输服务和协议	(241)
7.1	主机之间的传输服务和端对端的通信	(241)
7.2	用户数据报协议 (UDP)	(245)
7.3	TCP (传输控制协议)	(246)
7.4	资源预留协议 (RSVP)	(260)
7.5	多协议标记交换 (MPLS)	(265)
第 8 章	IP 网络实施: 构件、骨干网和接入	(274)
8.1	基于 IP 的数据网构成和层次	(274)
8.2	因特网、企业内部网、外部网和 VPN (虚拟专用网)	(276)
8.3	IP 骨干网的典型技术	(279)
8.4	接入网络技术	(286)
8.5	链路建立和控制	(292)
8.6	无线接入技术	(303)
8.7	主机性能和 IP 通信软件	(305)
第 9 章	网络管理	(307)
9.1	通过控制端口进行管理和配置	(307)
9.2	基础网络管理: 报警、命令、轮询、事件和陷阱	(308)
9.3	管理信息库 (MIB) 和管理对象 (MO)	(310)
9.4	管理信息结构 (SMIv1 和 SMIv2)	(312)
9.5	管理信息库第 2 版 (mib-2 或 MIB-II)	(313)
9.6	远程网络监控 (RMON)	(317)

9.7	网际协议第 6 版的管理信息库 (IPv6MIB)	(324)
9.8	简单网络管理协议 (SNMP)	(325)
9.9	ISO 管理模型: FCAPS, TMN, Q ₃ 和 CMIP/CMISE	(338)
9.10	网络管理工具	(341)
第 10 章	数据网络和互联网应用	(348)
10.1	计算机应用和数据网络: 应用层协议	(348)
10.2	Telnet	(351)
10.3	FTP (文件传输协议)	(355)
10.4	TFTP (简单文件传输协议)	(362)
10.5	安全 shell 程序和协议 (SSH or SECSH)	(364)
10.6	RTP/RTCP: 在 IP 网络上传输实时信号	(377)
10.7	应用、协议和现实的网络	(380)
10.8	其他网络/应用协议	(382)
第 11 章	万维网 (WWW)	(385)
11.1	万维网 (WWW) 的出现	(385)
11.2	域名系统 (DNS)	(386)
11.3	因特网缓存协议 (ICP)	(394)
11.4	WINS, Windows2000 ADS, Novell NDS	(394)
11.5	超文本传输协议 (HTTP)	(394)
11.6	超文本标识语言 (HTML)	(401)
11.7	Web 浏览器	(404)
11.8	基于 Web 的应用	(405)
第 12 章	电子邮件 (E-mail)	(407)
12.1	电子邮件样例	(407)
12.2	电子邮件的益处	(407)
12.3	Internet 邮件传输系统 (MTS) 的工作原理	(409)
12.4	Internet 邮件系统的工作原理	(410)
12.5	Internet 邮件格式	(412)
12.6	简单邮件传输协议 (SMTP)	(416)
12.7	Internet 邮件访问协议 (IMAP4)	(420)
12.8	邮局协议版本 3 (POP3)	(423)
第 13 章	网络数据安全	(427)
13.1	机密性和相互连接间的交换	(427)
13.2	网络数据保护: 主要威胁类型和应对方法	(427)
13.3	目的访问控制方法	(430)
13.4	防火墙	(434)
13.5	路径保护	(441)
13.6	网络接入访问控制	(455)
13.7	加密	(462)
13.8	针对安全协议的应用层接口	(470)
13.9	威胁数据安全和可靠网络运作的其他方式	(470)

第 14 章 服务质量 (QoS)、网络性能及优化 (474)

14.1 网络性能管理的框架 (474)

14.2 服务质量 (QoS) 及网络性能 (NP) (476)

14.3 服务质量 (QoS)、服务类型 (ToS) 及服务类 (CoS) (477)

14.4 数据网络通信量理论: 衡量数据网络 (482)

14.5 应用程序设计因素影响服务质量 (490)

14.6 设计有效、可靠、健壮的网络 (491)

14.7 网络操作及性能监测 (499)

14.8 网络管理、备份及恢复 (500)

14.9 在实践中优化性能 (508)

第 15 章 IP 面临的挑战 (512)

15.1 网络收费 (512)

15.2 网络架构、互连和结点 (513)

15.3 服务质量 (QoS) 和网络运行性能 (NP) (513)

15.4 构建网络的高速和实时性 (513)

15.5 网络管理 (514)

附录 A 协议地址、端口号、服务接入点标识符 (SAPI) 和通用表达格式 (515)

附录 B Internet 的高级域名 (TLD) 与一般域名 (531)

附录 C Internet 国家代码、高级域名 (ccTLD-ISO 3166-1) (532)

附录 D Internet 工程任务组 (IETF) 请求注解 (RFC) 列表 (536)

附录 E LAN 和 MAN 的 IEEE802 标准 (550)

附录 F IEEE 802.11 无线局域网 (WLAN) (553)

附录 G 接口、电缆、连接器和管脚输出 (559)

附录 H X.25 分组交换 (ITU-T 的 X.25) (574)

附录 I 帧中继 (579)

附录 J 异步传输模式 (ATM) (585)

术语 (600)

缩写和标准快速参考 (613)

第1章 因特网、电子邮件、电子商务和万维网（WWW）

现在几乎每个人（值得一提的是老人）都有自己的电子邮箱地址，而且许多现代化大公司也有电子商务，这些公司在因特网上拥有声誉良好的域名，利用自己的万维网（WWW）站点做广告和商业交易。谁引起的这场革命？是因特网。但是数据网络和数据交换是什么时候、什么原因而且怎样开始的？因特网又是怎样发展的？它的前景如何？所有那些深奥的专业词汇是什么含义？（那些缩略语和协议是什么意思？）这些在本章中都可以找到答案。本章的内容涉及到计算机网络和万维网（WWW）的出现、ISP（因特网服务提供商），以及因特网的起源之地——20 世纪 70 年代的美国国防部。我们还将讨论网际协议（IP）的价值和前景，更为重要的是对专业词汇的阐述。

1.1 起源——ARPANET

因特网起源于阿帕网（ARPANET，即 Advanced Research Project Agency NETwork 的缩写），它是美国政府支持的研究项目，最初目的是建立一个网络，以实现美国各大学之间的资源共享。起初这个网络只有 4 个结点，分别是 UCLA（University of California in Los Angeles，加利福尼亚大学洛杉矶分校）、UCSB（University of California in Santa Barbara，加利福尼亚大学圣塔芭芭拉分校）、SRI（Stanford Research Institute，斯坦福研究院）和犹他州大学，1968 年由 BBN（Bolt, Beranek and Newman）公司实现。网络结点被称为因特网消息处理器（IMP），终端用户的设备通过被称为 1822 的协议连接到结点（该协议被定义为 1822 是因为因特网工程结点（IEN）的数目为 1822 个）。此后美国军事当局逐年给该机构增加经费，最终从 1972 年起该机构被更名为 DARPA（Defense Advanced Research Project Agency，国防部高级研究计划局）。

这些研究对计算机数据连网的后续发展和我们今天所熟知的因特网的出现产生了巨大影响。BBN 已成为分组交换设备的龙头企业。同时开发了一系列的协议，它们有时称为 TCP/IP（传输控制协议/网际协议），有时称为 IP（网际协议），正确的称呼应该是“IP-协议组”，它们在称为 RFC（Request For Comment，请求注解）的文档中被定义，而 RFC 是在 IETF（Internet Engineering Task Force，因特网工程任务组）的主持下产生的。其中，RFC 791 定义了当前使用最广泛的网际协议（IP）版本——版本 4 或者称 IPv4。RFC 793 定义了 TCP（传输控制协议）当前版本。

1.2 数据通信分层协议的出现

伴随着阿帕网（ARPANET）的发展，形形色色的计算机和电信设备厂商为了简化和标准化计算机设备之间的通信，也各自开发了许多标准化分层协议栈和协议组，但大多数协议都是不能共享的。换句话说，这些协议建立在厂商自己定义的规范和文档基础上，因而不具有

公用性。当时许多厂商相信“私有化”的协议既具有竞争力，又可以锁定用户只能使用该品牌的计算机硬件设备。虽然设计方案各不相同，但原理是类似的，因此各大开发商产生了共同开发标准化协议的想法。

所有的数据通信协议都是基于分组交换的，它是一种以电子交换形式为主的计算机通信协议，由 MIT 的 Leonard Kleinrock 在论文“大型通信网络中的信息流”（1961 年 7 月）中提出，（MIT 是 Massachusetts Institute of Technology 的缩写，即麻省理工学院，前身是 UCLA 即加利福尼亚大学洛杉矶分校）。分组交换这个术语是由 NPL（National Physical Laboratory，英国国家物理实验所）的 Donald Davies 在 1966 年正式提出的。

分组交换与邮局寄信相类似，数据内容类似于一页一页的信纸，是一个标准数据分组中的用户内容（或有效载荷），该用户内容被封装到数据分组或帧（类似于信封）内，并加上目的地址的标签。如果一个消息过大，一个数据分组不足以承载，那么可以把这个消息拆分开，有次序地进行发送，一个接着一个（参看图 1-1）。数据结点就像一个邮局分类处，它们读取每个分组上的“地址”（不读取内容），然后把分组传送到距离目的地址更近的下一个结点上。

（数据网络的类型不同，网络结点的名称也不同，例如路由器、交换机、网桥、终端控制器、簇控制器、前端处理器，等等。）

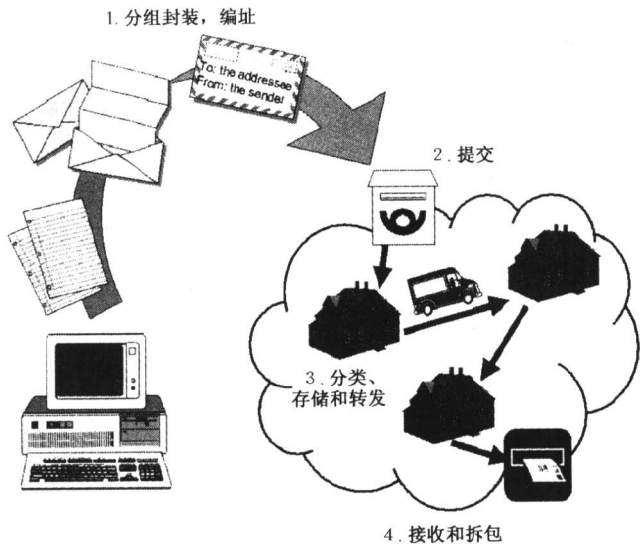


图 1-1 阐述分组交换原理的邮局模式

20 世纪 70 年代最知名的、使用最广泛的分组交换协议是：

- SNA（系统网络结构）——IBM（International Business Machines）计算机之间互相通信的网络协议。
- DECnet——DEC（Digital Equipment Corporation）计算机之间互相通信的网络协议。
- X.25（由 ITU-T 推荐）和它的姊妹协议 X.75——这是在国际电信同盟标准化部（ITU-T）的协调下创立“标准”协议的首次尝试，目的是为了不同厂商的计算机之间可以相互通信，因此称为开放系统互连（OSI）。

1.3 SNA（系统网络结构）

1974 年 IBM 发布系统网络结构（SNA），把它作为一种标准化通信结构来连接 IBM 各种类型的计算机硬件。1974 年以前，把数据或程序从一台计算机传送到另一台计算机上需要花费大量的时间，有时还需要重新进行手工格式化，并且经常需要传送大量的穿孔卡片或纸带。最初只有几台 IBM 计算机能支持 SNA，但是 1977 年 SNA 第三个版本（SNA-3）的出现改善了现况，它包括如下内容。

- 通信控制器（又称为 FEP 即前端处理器）——可以安装到大型计算机内用来处理远程通信。
- 终端控制器（又称为簇控制器）——通过它的用户终端（如打字机或者计算机的 VDU 即视频显示装置）可以连接到远程主计算机上。
- 远程终端控制器通过专线或者拨号可以连接到大型机/通信控制器的站点上。
- 可以实现多主机网络（通过一个简单的通信网络可以把终端连接到多个大型计算机上，例如簿记、人员等）。

图 1-2 描述了一个典型 SNA 网络的主要元素，展示了一流的拓扑结构。点对点线路通过广域网（WAN）把企业计算机中心的前端处理器（FEP 或通信控制器）连接到总部和远程操作室的终端上，这些线路可以是专线、点对点 X.25（也就是分组交换）连线、帧中继连线、拨号线等。

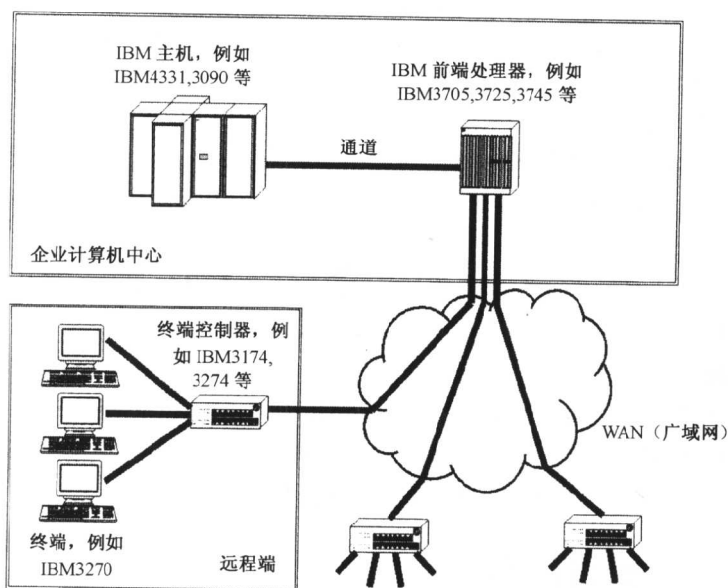


图 1-2 连接 IBM 计算机硬件的典型 SNA 网络

20 世纪八九十年代，基于 SNA 的网络被使用 IBM 大型计算机的公司广泛采用，那时 IBM 大型机是计算领域内的主力，IBM S/360, S/370 和 S/390 结构的大型机众所周知，用来支持它们的 SNA 网络包括如下内容。

- 前端处理器（FEP 或通信控制器）硬件：IBM 3705, IBM 3725, IBM 3745。
- 簇控制器硬件：IBM 3174, IBM 3274, IBM 4702, IBM 8100。
- VTAM（虚拟电信访问方法）软件——大型计算机通信软件。

- CICS（通信消息控制系统）——大型计算机管理软件。
- NCP（网络控制程序）——前端处理器通信控制软件。
- NPSI（NCP-分组交换接口）——用于连接基于 X.25 分组交换的 WAN 数据网络的大型机/FEP 软件。
- TSO（时间共享选项）——允许许多用户共享大型机资源的软件。
- NetView——大型计算机网络监测和管理软件。
- APPN（高级对等的连网技术）——用于 IBM AS-400 网络。
- ESCON（企业系统连接）——大型计算机与前端处理器之间的高速通道连接口。
- 令牌环网（LAN）。

由于 IBM 大型计算机的广泛使用，SNA 也获得了成功推广。但事实上，SNA 并不是一个公用标准，因此很难把其他厂商的网络和计算机硬件与 IBM 的计算机网络结合起来。虽然 IBM 推出的产品与公用标准数据网络协议例如 X.25 和 Frame Relay（帧中继）相兼容，但是到 20 世纪八九十年代末期随着 PC（个人计算机）和 LAN（局域网）数量的急剧增长，IBM 逐渐失去它在数据网络市场的领先地位，尽管它是从个人电脑市场开始发展的。LAN 和 PC-网络的出现产生了网际协议（IP）、路由器和一个新的数据网络龙头——Cisco Systems。

1.4 DECnet

DEC（Digital Equipment Corporation 的缩写）是 20 世纪八九十年代大型机和计算机设备的另一个龙头企业，它在迷你电脑、工作站、服务器等方面占领导地位，具有国际知名度，后来该领先地位被 COMPAQ 所占据（后来 COMPAQ 又被 Hewlett Packard 兼并）。DEC 于 1965 年首次成功地推出迷你电脑（PDP-8）。

与 IBM 一样，DEC 也有设施齐全的实验室和一群高素质的开发人员，它的主要理念就是软件应该兼容于不同种类、不同型号的 DEC 硬件平台，而且 DEC 是开发开放式和公用式通信标准运动的主要倡议者。

DECnet 是 DEC 计算机之间连网所需的结构、硬件和软件，虽然该结构中的一部分还未被公开，但 DEC 仍然把那些广泛使用的公用标准并入 DECnet，这就促进了与其他厂商设备之间的开放互连。DEC 技术上的影响力很大，它高性能的 alpha 服务器一直是 COMPAQ 服务器的基石，此外，出现最早而且名气最大的因特网搜索引擎 Alta Vista 最初就是由 DEC 创建的。然而遗憾的是，DEC 的商业管理很不成功，它在一些过于冒险的商业活动中经营失败，于 1998 年被 COMPAQ 兼并（2002 年 COMPAQ 又被 Hewlett Packard 兼并）。

1.5 其他大型计算机厂商

20 世纪七八十年代出现了许多大型计算机厂商，例如 Amdahl, Bull, Burroughs, DEC, Honeywell, IBM, Rockwell, Sperry, Sun Microsystems, UNIVAC, Wang 等，每个厂商都有自己的一套网络和操作系统结构，以 Amdahl 和 Wang 为例，它们以 IBM 硬件的替代品来定位自己的产品而价格便宜。后来这些公司都转向为服务、维护、支持和应用开发商，他们也销售其他厂商的计算机和网络硬件，并且擅长于系统集成、软件开发和支持，例如，Burroughs, Sperry 和 UNIVAC 都是今天所熟知的 UNISYS 这个计算机服务公司的一部分。

1.6 X.25 (由 ITU-T 推荐)

ITU-T 推荐的 X.25 定义了一个标准接口, 用来把计算机设备连接到一个交换分组的数据网络上 (参看图 1-3)。X.25 接口以及相应的分组交换协议的开发导致公众数据网 (PDN) 的出现, 公众数据网为企业计算机中心和它的远程终端的连网提供了另一种有价值的选择。

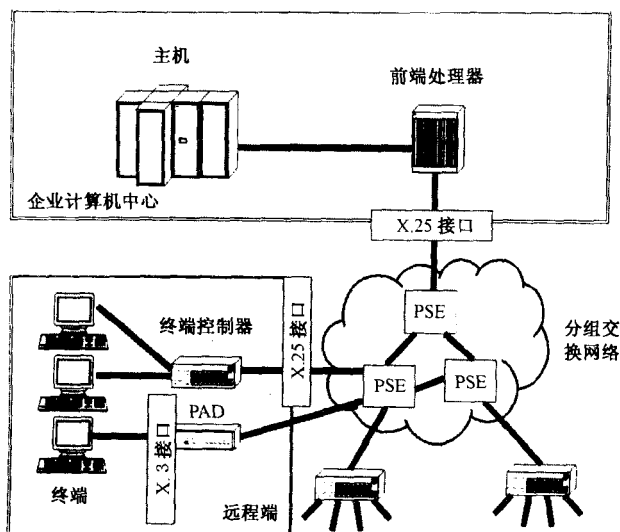


图 1-3 典型的公众分组交换网络

通过公众数据网, 搭建企业网络所需的线路可以更短一些, 不再需要如图 1-2 中所示的从远程站点到企业计算机中心的那些线路, 取而代之的是连接到最近 PSE (分组交换机) 上的短线路, 这样广域网 (WAN) 内 PSE 之间的长距离线路以及相关的费用可以由各个网络和用户分担 (参看图 1-3), 那么通过公众数据网就可以缩减全部的网络成本 (假定关税是合理的)。此外, 还可以缩减端口和连接线路。图 1-3 的例子中, 把前端处理器 (FEP) 连接到网络上只需要一个简单的线路, 而图 1-2 中却需要在中心站点处配置 3 个端口。

与 SNA、DECnet 和其他数据网络结构一样, 分组交换的 X.25 版本最初也把注意力集中在连接远程终端和企业网络的计算机中心上, 然而这在商业上不能获得成功。虽然 X.25 在欧洲的一些国家很流行, 但是在美国却没有受到重视。X.25 标准 (1976 年) 发布时间比 SNA (1974 年) 晚, 而且不准许变革。从经济上来看, 连接到同一个远程站点上, 通过 SNA 使用一条专线与通过公用 X.25 网络来实现是同样价格的。因此, 企业计算机中心不会对 X.25 产生浓厚的兴趣, 而且计算机厂商也没有尽力支持它, 例如, IBM 对 X.25 的解决方案是通过 NPSI (NCP-分组交换接口) 来实现的, 但总是达不到同等 SNA 连接的性能。只有在那些专线花费昂贵的国家 (如德国), X.25 才能获得成功。在德国, Deutsche Bundespost 公司的 Datex-P 分组交换公众数据网是最成功的 X.25 网络之一。

如果要把远程无声终端通过公众数据网连接到一台计算机上, 这种情况下就需要 PAD。PAD (分组装/拆器) 是个标准装置, 由 ITU-T 提出的 X.3 中的分组交换标准所定义, 它的功能就是把一个简单终端的击键过程转变为分组, 该分组可以通过分组交换网络传送到远程计算机上。X.3 中定义了许多不同的参数来控制 PAD 的精确活动, 这些活动包括使用的线速、分组的内容和分组流控制等, PAD 被正确地进行调整以便把完整的指令传送到中央计算机。因此大量的击

键活动（由一系列的命令字符构成）首先被 PAD 采集到，一旦用户按下<返回>键，这些击键活动就会被打成分组进行传送。但是，通过设置不同的 PAD 参数，可以单独地发送每个击键活动，也可以把所有的击键活动在指定时间内一起发送。

流控制在 X.25 分组交换网络内用来调整数据发送以及消除传送过程中所产生的误差，简而言之，流控制就是在发送下一个分组之前用来等待上一个分组的接收方发出确认消息，这样可以确保消息被正确接收而不会产生混乱。这种方法有时也用于终端对计算机的通信：用户终端不会显示出打字时键盘输入的实际字符，而只显示每个字符的回波，回波是计算机确认接收后发回的同一个字符，采用回波作为流控制的一种形式可以提示用户在计算机没有接收到字符的情况下再输入一遍（否则该字符就不会出现在用户的终端屏幕上）。

尽管 X.25 在商业上没有获得成功，这并不能抹杀它技术上的价值，X.25 已经吸引更多的人来开发允许开放系统互连（OSI）的公用标准。计算机用户不再满足于计算机的计算和记录功能，相反他们急切地要把不同的计算机系统链接在一起（例如运行程序为“薪酬”、“簿记”、“人事档案”的计算机），这需要各个种类的计算机能够利用开放式而不是私人式互连标准互相连接，即开放系统互连。很快，公司内部计算机的互连也不能满足更多的要求：公司职员需要与客户和供应商们交换电子信息，用户要求电子数据交换（EDI）。OSI 和 EDI 的飞速发展都是 X.25 的重要成果，此外，X.25 还建立了分组交换的许多基本词汇和概念。

为了实现开放系统互连（OSI）和电子数据交换（EDI），需要克服的基本问题中最关键的就是理解因特网。但是在讨论这些问题之前，最好先详细地论述一个数据网络的基本构件以及相关的专业词汇。下面我们将介绍 DTE（数据终端设备）、DCE（数据电路端接设备）、协议、UNI（用户-网络接口）以及 NNI（网络-网络接口）等。

1.7 DTE（数据终端设备）、DCE（数据电路端接设备）、线路接口和协议

一个简单的广域（即长距离）数据通信链接如图 1-4 所示，图中左边的 PC 或计算机终端被连接到右边的大型计算机上，担负连接任务的长距离网络显示为“云彩”形状（与网络建设的现代规范相符合），我们并不很清楚该网络中所使用的技术、线路类型和接口，以及拓扑结构的形式，通常情形下也不需要知道。更重要的是每个网络端口处用来连接计算设备的接口，这些接口在 DTE（数据终端设备）、DCE（数据电路端接设备），以及所使用的协议中都有定义。

通信设备（PC 和大型计算机）从专业上说都是 DTE（数据终端设备），DTE 中的“T”并不仅仅是指具有屏幕和键盘的计算机设备（计算机终端），（它只是 DTE 的一个特例，）DTE 可以是连接到数据网络上的任意一个计算机设备。与 DTE 相比，DCE 是长距离网络的起点（长距离网络中与 DTE 第一个连接的设备，即 DTE 的直接通信伙伴）。

如果图 1-4 中只用一根短电缆来连接两个 DTE，那么这两个设备可以直接相连，而不需要 DCE 或者长距离网络，但是当两个 DTE 之间的距离超过几米（最大为 100m，具体情况要看所使用的 DTE 接口）时，就需要一个长距离通信方案。简而言之，DCE 就是一种调整设备，用来把 DTE 的短距离（即本地）通信能力延伸为适合长距离（即广域）数据网络的形式。这些年开发了许多标准的 DTE/DCE 接口，在连接 DTE 时允许使用各种不同类型的 DCE 以及广域网（WAN），而不用针对传送数据专用的 WAN 技术来调整 DTE。